

РЕЛЯЦИОННЫЙ ПОДХОД К МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СМЫСЛА ИНФОРМАЦИИ¹

А.Л. Круглый²

*ФГУ ФНЦ Научно-исследовательский институт системных исследований
Российской академии наук
Российская Федерация, 117218, Москва, Нахимовский пр-т, 36, корп. 1*

Аннотация. Предлагается математическая модель смысла сигнала. Смыслом обладает не сам сигнал, а его воздействие на получателя. Под действием сигнала состояние получателя изменяется, что и составляет смысл сигнала. Наиболее общей математической моделью является описание состояния получателя с помощью некоторого математического объекта, а смысл моделируется действием некоторого оператора на этот объект. Рассматриваются различные конкретные формализмы: абстрактные автоматы, матричное представление, алгоритмы, марковские цепи, пространства параметров. Рассматриваются конечные, счетные и континуальные смыслы, обратимые и необратимые смыслы, неоднозначные смыслы, разложение в элементарные смыслы.

Ключевые слова: информация, смысл, кибернетика, математическое моделирование, абстрактный автомат, алгоритм

Введение

Многими авторами высказывались идеи о необходимости включения информации в физическую картину мира (см., например, [1; 2]). Сторонниками включения информации в физическую картину мира на самом фундаментальном уровне были Уилер [3] и фон Вайцзеккер [4]. По мнению автора, в настоящее время для этого созрела потребность, причем наиболее естественно такое включение в рамках реляционного подхода к описанию физической картины мира. В рамках этого подхода в основу кладутся отношения объектов, из которых выводятся свойства этих объектов. В первую очередь, реляционный подход используется для построения моделей микромира [5].

¹ Настоящая работа является расширенной версией доклада, прочитанного на IV Российской конференции «Основания фундаментальной физики и математики» и в краткой форме опубликованного в материалах конференции [8].

Публикация выполнена в рамках государственного задания ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН (Проведение фундаментальных научных исследований (47 ГП) по теме № 0580-2021-0007 «Развитие методов математического моделирования распределенных систем и соответствующих методов вычисления», рег. № 121031300051-3).

² E-mail: akrugly@mail.ru

Однако он может быть плодотворен и при описании макроскопических явлений. Так, в настоящей работе предлагается реляционный подход к математическому моделированию смысла информации.

Как правило, в физических теориях учитывается только количество информации, что недостаточно. Так Добрушин пишет, что «...столь общий многообразный объект, как информация, не может допускать единого метода численного измерения, а идеи Шеннона обоснованы лишь в применении к той важной, но все же ограниченной ситуации, когда рассматриваются оптимальные методы кодирования декодирования информации в целях ее передачи по каналам связи или ее хранения» [6. С. 254]. Это все равно, что свести анализ литературного произведения к подсчету числа печатных знаков. Два различных сигнала могут содержать одинаковое количество информации, но иметь различный смысл и, соответственно, вызывать различную реакцию получателя. Ниже будут использоваться термины *сигнал* и *получатель*, понимаемые самым широким образом.

Согласно международному стандарту ISO/IEC информация – это «знания относительно фактов, событий, вещей, идей и понятий, которые в определенном контексте имеют конкретный смысл» [7]. Кратко приведенное определение можно сформулировать в следующем виде: информация – это то, что имеет смысл. Смысл является определяющим свойством информации. И смысл возникает в определенном контексте.

Информация должна быть включена в физические модели таким образом, чтобы в явном виде учитывался ее смысл. Поскольку теоретическая физика строит математические модели явлений, необходима математическая модель смысла.

1. Ценность информации

Имеется ряд работ, в которых рассматривается ценность информации. При этом строятся соответствующие математические модели. Обзор имеется в монографии [9]. Ценность информации связана с наличием цели у получателя информации и определяется тем, насколько получение информации способствует достижению цели.

Например, мера ценности информации может определяться увеличением вероятности достижения цели [10–12]. Известный физик теоретик Карло Ровелли в своей недавней работе [13] также определяет смысл в увязке с ценностью. В его подходе смысл определяется в связи с целью выживания биологического организма, получателя информации. То есть под смыслом фактически понимается ценность информации.

Ценность информации может определяться и без использования вероятностей. Например, ценность можно определить через сокращение материальных или временных затрат на достижение цели [14]. В работе [15] рассматривается частный случай оптимизации математических моделей. Вводится набор числовых характеристик сложности математической модели, которые образуют вектор сложности. Мера новой информации, позволяющей

оптимизировать математическую модель с точки зрения потребления какого-то ресурса (например, объема оперативной памяти компьютера), описывается через изменение вектора сложности модели.

Однако смысл и ценность – это различные характеристики. Во всех определениях ценности информации для получателя эта ценность является некоторой мерой помощи для достижения некоторой цели. Если отождествить смысл и ценность информации, то при отсутствии у получателя определенной цели любая информация для него оказывается бессмысленной. С этим сложно согласиться. Безусловно, ценность является характеристикой информации, которая может играть важную роль в ряде явлений, но ценность и смысл являются различными характеристиками информации.

В настоящей работе предлагается математическая модель смысла информации, которая не связана с ее ценностью.

2. Смысл как интерпретация

Смысл не является характеристикой информации самой по себе. Один и тот же сигнал может иметь разный смысл для разных получателей. В приведенном во введении определении по стандарту ISO/IEC информация имеет смысл в определенном контексте. Согласно подходу Бейтсона [16], который разделяет автор, именно в процессе восприятия происходит придание смысла объекту восприятия. Смысл зависит от контекста. «Контекст же создает именно получатель сообщения» [16. С. 59]. «Епископ Беркли был прав по крайней мере в том, что происходящее в лесу *бессмысленно*, если в лесу нет никого, на кого оно могло бы воздействовать» [16. С. 111].

В качестве примера рассмотрим два автоматических космических аппарата, которые путешествуют в космическом пространстве и могут получать команды в виде радиосигналов. Аппараты запрограммированы различным образом и на одну и ту же некоторую команду выполняют различные действия. То есть смысл одной и той же команды различен для этих аппаратов. Сами аппараты цели не имеют, и для них информация не имеет ценности. Но она имеет смысл, так как они при получении команды выполняют некоторые действия. Ценностью команда может обладать для создателей аппаратов или иных отправителей команды. Причем ценность существенно зависит от отправителя, так как целью некоторого отправителя может быть срыв миссии аппарата.

Предположим, что аппарат спроектирован неудачно с точки зрения помехоустойчивости и воспринял как рассматриваемую команду некоторый случайный шум. У шума нет отправителя, преследующего какую-то цель. Тем самым мы не можем определить ценность информации ни для отправителя, ни для получателя. Однако смысл у информации есть, так как аппарат в ответ на получение сигнала выполнил некоторое действие. На рассмотренном примере наглядно видно, что смысл и ценность являются различными характеристиками информации, и смысл характеризует процесс восприятия информации, точнее, реакцию на информацию.

Субъективный характер различия между осмысленным сигналом и шумом отмечал Эшби. «Следует отметить, что шум по существу не отличим от любой другой формы разнообразия. Установить различие между сообщением и шумом можно только в том случае, когда имеется некоторый получатель, решающий, какая информация имеет для него значение» [17. Раздел 9/19. С. 267]. Хотя при этом Эшби исключал смысл из предметной области кибернетики. «Я опускаю рассмотрение любых “смыслов”, которые могут приписываться сообщению...» [17. Раздел 8/5. С. 204].

Смысл – это эмергентное свойство, которое возникает в процессе воздействия сигнала на получателя. Без получателя у сигнала нет смысла. Нерасшифрованная надпись на никому неизвестном языке не имеет смысла. С другой стороны, человек может любоваться закатом, и это вызывает существенное изменение его психического состояния. Человек может сказать, что закат наполнен глубоким смыслом. В предлагаемом подходе это утверждение является не поэтической метафорой, а констатацией факта. Только более точно надо сказать, что смысл имеет не закат, а процесс его созерцания. Вид заката без наблюдателя смысла не имеет.

Предлагаемый подход может быть выражен следующей математической моделью общего вида:

$$A(ab)B(b)=C(b), \quad (1)$$

где a – сигнал, b – получатель сигнала, $B(b)$ – математический объект, описывающий исходное состояние получателя, $A(ab)$ – оператор, описывающий действие сигнала на получателя, который зависит и от сигнала, и от получателя, $C(b)$ – математический объект, описывающий состояние получателя после получения сигнала. Состояние получателя понимается самым общим образом. Например, для сложного процесса – это может быть вариант протекания процесса.

Предлагается по определению считать формулу (1) математической моделью смысла. Исходный математический объект – это множество состояний получателя. Смысл – отображение множества состояний получателя в себя.

В рассматриваемой модели изменение состояния получателя – это интерпретация сигнала. В связи с этим для получателя сигнала может использоваться термин *интерпретатор*. Смысл – это свойство не самой информации, а процесса ее восприятия, интерпретации. Он возникает из отношения сигнала и его получателя. Тем самым смысл имеет реляционную природу.

3. Смысл и значение

В обыденном языке слова *смысл* и *значение* часто используются как синонимы. В предлагаемом подходе это принципиально различные термины.

Изучением значения занимается семиотика. Она состоит из синтактики, семантики и прагматики. Значение изучает семантика. «Основная задача семантических теорий – объяснить, как слова и другие языковые выражения, такие как предложения и словосочетания, могут обладать значением, а также что эти значения собой представляют» [18. Гл. 1. С. 14].

Согласно семантике «Значения – это то, что описывается языком. В этом и заключается существенное отличие слов от щебетания птиц, которое, насколько нам известно, ничего *не описывает*» [18. Гл. 1. С. 15]. В семантике для значения используется термин денотат. Денотатом информационного объекта (знака) является объект в общем случае неинформационной природы, который обозначается этим знаком.

Пример щебетания птиц показывает принципиальное различие значения и смысла. У щебетания птиц действительно может отсутствовать значение. Но это щебетание имеет смысл, иначе оно бы не сформировалось в процессе биологической эволюции. Этот смысл понятен и другим птицам того же вида и изучающему их орнитологу. Как правило, смысл заключается в привлечении полового партнера, то есть в соответствующем изменении его состояния.

В качестве другого примера можно привести портрет человека. Значение (денотат) – это изображенный человек. Смысл – это изменение психологического состояния зрителя, рассматривающего портрет.

Отметим, что определение смысла, увязанное со значением, предложено Мельниковым [19]. «Смысл связан со значением и трактуется как образ в памяти, находящийся в конце ассоциативной последовательности» [19. С. 253]. «...Объект становится знаком некоторого смысла только тогда, когда его абстрактный образ как внутренний знак ассоциирован со смыслом как внутренним денотатом» [19. С. 270]. «Смысл в нашей схеме – это образы действительных или воображаемых явлений. Значения – тоже образы, но обобщенные, объединенные, причем образы таких классов смыслов, которые оказались целесообразно выделить лишь при данном способе коммуникации, при данном грамматическом строе» [19. С. 321].

В подходе Мельникова смыслом считается образ в памяти, то есть состояние памяти после восприятия сигнала. В формуле (1) так трактуемый смысл – это конечное состояние $C(b)$ получателя b . При этом считается обязательным наличие мыслительной деятельности. «Смысл, как ясно из нашей схемы, – единица мыслительная...» [19. С. 273].

В семиотике используется ряд терминов, близких к смыслу в подходе Мельникова: сигнификат, десигнат. Сигнификат является идеальным образом денотата, отражением в психике человека свойств денотата. Отметим, что точное значение терминов варьируется в зависимости от контекста и автора.

В предлагаемом подходе наличие мыслительной деятельности у получателя сигнала необязательно для возникновения у сигнала смысла. Достаточно наличия простейшей реакции на сигнал. Главное же отличие в том, что в предлагаемой модели смысл это не состояние, а процесс интерпретации.

4. Специфика информационных взаимодействий

Формула (1) описывает любые воздействия на любой объект. Встает вопрос о специфике информационных воздействий. Предлагается не выделять некий класс воздействий, которые можно было бы называть информационными, имеющими смысл, а посмотреть на любые воздействия с точки зрения информации и ее смысла.

В простых явлениях этот взгляд не даст ничего нового, сведется к замене терминологии. Однако в других случаях это наиболее адекватный способ описания, а может быть и единственный. Например, человек получает однозначный приказ и выполняет его. Рассмотрим два варианта получения приказа. Поскольку человек одинаково понимает и исполняет приказ в обоих случаях, то у приказа есть что-то инвариантное в обоих случаях. Пусть эти два варианта получения приказа устный и письменный. Все их физические характеристики различны. В одном случае – это акустические колебания, а в другом – молекулы краски на бумаге. Приказы могут быть изложены разными словами на разных языках и быть разного объема. То есть их характеристики различны с точки зрения теории информации. Единственным инвариантом является смысл приказа. Без включения в модель смысла невозможно понять и описать одинаковую реакцию получателя в обоих случаях.

Предлагаемый подход согласуется с теорией познания Сантьяго [20], которая получила свое название из-за того, что разработана чилийскими учеными Матураной и Варелой. Согласно этой теории, процесс познания живым организмом не является каким-то особым процессом, а вся жизнедеятельность организма должна рассматриваться как процесс познания. «Организм отвечает на воздействие окружающей среды структурными изменениями, которые, в свою очередь, изменяют его следующий ответ, так как ответ на любые возмущения определяются структурой организма, а эта структура уже стала другой. Именно такой процесс модификации поведения на основе предыдущего опыта мы и подразумеваем под обучением» [21. Часть III, 6.2. С. 255].

Таким образом, согласно теории Сантьяго, любое воздействие на живой организм должно рассматриваться как информация, имеющая смысл для этого организма. Такой подход можно распространить и на неживые объекты. Например, на искусственно созданные машины, как в приведенном выше примере с автоматическими космическими аппаратами.

Однако остается вопрос о том, какие воздействия могут быть содержательно описаны в терминах смысла. Приведенные выше примеры показывают, что это определяется получателем. Любое воздействие, например случайный радишум в примере с космическим аппаратом, может иметь нетривиальный смысл, если получатель является достаточно сложной системой. В этом случае воздействие называется когнитивным. «Взаимодействие системы с окружающей средой когнитивно, то есть определяется ее собственной внутренней организацией» [21. С. 343].

5. Понимание смысла

Состояния получателя в формуле (1) могут кодироваться различными математическими объектами. Этим кодировкам должны соответствовать операторы $A(ab)$. Оператор $A(ab)$ является моделью сигнала, а моделью смысла является действие оператора на состояние получателя. В общем случае представление сигнала зависит от множества состояний получателя, что обозначается зависимостью оператора $A(ab)$ от получателя сигнала b . Если

рассматриваются различные кодировки одних и тех же состояний и соответствующие операторы, то смысл не меняется. Это различные математические представления одних и тех же смыслов.

Вместе с тем при одинаковой кодировке состояний у различных получателей один и тот же сигнал может иметь для них различный смысл. Пусть задано некоторое множество состояний как множество некоторых математических объектов одной и той же природы и задано множество операторов, действующих на элементы множества состояний. Различные получатели сигнала могут обладать различными множествами состояний, которые являются непересекающимися подмножествами заданного множества состояний. Соответственно, под действием одного и того же оператора они будут изменять свое состояние различным образом, то есть смысл одного и того же сигнала будет для них различным. В предлагаемой модели пониманием смысла сигнала является любое изменение состояния получателя под действием сигнала. Мы можем сказать, что различные получатели в общем случае по-разному понимают сигнал.

Смысл сигнала будет строго одинаковым для получателей, которые при получении сигнала находятся в одинаковых состояниях и под действием сигнала переходят в одинаковые состояния. Если ввести понятие близости состояний, то можно ввести понятие близкого понимания. Два получателя близко понимают смысл сигнала, если они находились в близких состояниях при получении сигнала и под его действием перешли в близкие состояния. При этом близость состояний может рассматриваться только в части характеристик, существенных для моделируемой задачи.

Целью передачи сигнала является передача смысла. Соответственно, одинаковое понимание смысла сигнала означает унификацию получателей, строгую или в терминах близости состояний. В частности, целью обучения является унификация обучаемых. Это положение носит общий характер и следует из требования унификации понимания некоторого множества смыслов. Даже если целью является развитие творческих способностей, обучение означает унификацию обучаемых. В данном случае под состоянием обучаемого можно понимать возможную траекторию его будущего развития. Целью обучения является ограничение множества возможных траекторий до желательного подмножества.

6. Однозначный конечный смысл

Предположим, что множество состояний получателя дискретно. Этот случай является достаточно общим. «Мир смысла, организации и коммуникации нельзя представить без разрывности, без пороговых значений» [16. С. 215]. Это связано с существенной нелинейностью когнитивных взаимодействий.

Рассмотрим наиболее простой случай конечного множества состояний получателя. В этом случае смысл может моделироваться в формализме алгебраической теории автоматов, которая является разделом теоретической

кибернетики [22]. Однозначные конечные смыслы моделируются с помощью хорошо изученного класса конечных автоматов.

Автоматом называется объект, который задается тремя непустыми множествами и двумя функциями. Это множество состояний, входной алфавит, то есть множество входных сигналов, выходной алфавит, то есть множество выходных сигналов, функция переходов, которая отображает прямое произведение множеств состояний и входных сигналов на множество состояний, и функция выходов, которая отображает прямое произведение множеств состояний и входных сигналов на множество выходных сигналов. При интерпретации формулы (1) на языке алгебраической теории автоматов множество операторов $\{A(ab)\}$ является входным алфавитом, а сам оператор $A(ab)$ – символом этого алфавита, состояния $B(b)$ и $C(b)$ являются элементами множества состояний, а сама формула (1) задает функцию перехода.

Сделаем замечание технического характера. В теоретической физике, например в квантовой теории, принято, что состояние пишется справа, а действующий на него оператор – слева, как в формуле (1). В алгебраической теории автоматов принята зеркальная запись. Состояние пишется слева, а действующий на него оператор – справа.

При моделировании смысла нас не интересуют выходные сигналы. Поэтому вместо автомата общего вида, называемого трансдьюсером или автоматом Мили, при моделировании смысла рассматривается частный случай автомата без выходов, называемого акцептором. Такой автомат задается множеством состояний входного алфавита и функции переходов. Также может рассматриваться частный случай, который «...представлен автоматами, выход которых зависит только от того состояния, в которое они попадают» [22. С. 27]. «Такие специальные автоматы называются автоматами Мура, или автоматами типа состояние-выход» [22. С. 28]. При этом за счет переопределения множества состояний автомата любой автомат Мили может быть представлен эквивалентным автоматом Мура. «Для заданного автомата с функцией выходов общего вида всегда можно построить имитирующий его внешнее поведение автомат типа состояние-выход» [22. С. 28]. При моделировании смысла выходной сигнал автомата Мура представляет интерес с точки зрения исследования наблюдателем состояний автомата и смыслов символов входного алфавита.

Функцию переходов можно интерпретировать как то, что каждый символ входного алфавита задает монарную операцию на множестве состояний. Согласно предлагаемой модели смысла эта монарная операция и является смыслом соответствующего символа входного алфавита.

Рассмотрим последовательность символов входного алфавита, последовательно действующих на автомат, и «...отображения множеств состояний в себя, определяемые входными последовательностями. Эти отображения – основа алгебраической теории автоматов» [22. С. 30]. В теории автоматов предполагается, что последовательности символов образуют полугруппу, называемую свободной полугруппой. Свободная полугруппа над алфавитом – это полугруппа, элементами которой являются всевозможные конечные

последовательности символов алфавита (слова), а полугрупповая операция состоит в приписывании одной последовательности к другой. Множество преобразований состояний автомата называется полугруппой автомата. Имеется гомоморфизм свободной полугруппы на полугруппу автомата, так как различные последовательности могут осуществлять одинаковые преобразования автомата. Такие последовательности называются конгруэнтными. Единицей является тождественное преобразование, порожденное пустым словом. Полугруппа с единицей называется моноидом. То, что последовательности символов образуют полугруппу, означает, что приписывание последовательностей символов обладает ассоциативностью. В предлагаемой интерпретации свободная полугруппа является полугруппой сигналов, а полугруппа автомата – полугруппой смыслов сигналов для этого автомата. Конгруэнтные сигналы – это сигналы, имеющие одинаковый смысл.

Понятие полугруппы можно использовать для классификации автоматов и соответствующих смыслов. Конечные автоматы принадлежат конечным полугруппам. Также можно выделить классы коммутативных и групповых автоматов. Можно рассмотреть и недетерминированный автомат, то есть автомат, у которого функции переходов и выходов являются многозначными.

Для некоторых физических явлений может не выполняться условие ассоциативности сигналов. В этом случае вместо свободной полугруппы мы получаем группоид, и модель выходит за пределы алгебраической теории автоматов. Физически неассоциативность означает учет взаимодействия сигналов. Например, изменение состояния получателя под действием сигнала происходит не мгновенно, а с некоторым временем задержки, то есть переходного процесса. Если сигналы поступают с интервалом, превышающим время задержки, то временем задержки можно пренебречь и рассматривать процесс мгновенных переходов под действием мгновенных сигналов-символов в соответствующем дискретном времени, называемом автоматным временем. Если последующий сигнал иногда поступает до завершения переходного процесса, вызванного предыдущим сигналом, это может влиять на то, в каком конечном состоянии окажется получатель. Общий итог действия последовательности сигналов на получателя зависит от того, какие из сигналов наложились друг на друга рассмотренным образом, что математически и описывается как неассоциативность.

7. Матричное представление однозначного конечного смысла

Рассмотрим простое и удобное для практических применений матричное представление однозначного конечного смысла. В случае конечного множества состояний получателя эти состояния можно пронумеровать и математическим объектом, описывающим состояние получателя, считать номер состояния.

Представим состояние получателя матрицей-столбцом, у которой число элементов n равно числу возможных состояний. Элемент с номером, равным номеру состояния получателя, равен 1. Остальные элементы равны 0. В этом

случае воздействие описывается умножением слева на квадратную матрицу размера $n \times n$, у которой в каждом столбце один из элементов равен 1, а остальные элементы равны 0. Матрицей нулевого смысла является единичная матрица. Отметим, что один и тот же сигнал может описываться различными матрицами, если он воздействует на разных получателей.

Матрицы обратимых смыслов имеют по одной единице в каждой строке. Детерминант равен 1 или -1 . Имеется обратная матрица, которая соответствует смыслу сигнала, отменяющего действие исходного сигнала. Полученные матрицы являются матрицами перестановок, которые образуют группы. По теореме Кэли любая конечная группа изоморфна некоторой подгруппе некоторой группы перестановок. Соответственно, математическая теория однозначных обратимых конечных смыслов – это теория конечных групп, то есть групп перестановок. В матричном представлении все обратимые сигналы представляются матрицами перестановок.

Матрицы однозначных необратимых конечных смыслов имеют в некоторой строке более одной единицы. Соответственно они имеют строку из нулевых элементов. Детерминант такой матрицы равен 0, обратной матрицы не существует. За счет нескольких единиц в одной строке под действием сигнала с необратимым смыслом система переходит в одно состояние из нескольких исходных.

8. Разложение в элементарные смыслы

Предлагаемая модель смысла позволяет конструктивно рассмотреть вопросы о существовании множеств элементарных смыслов и разложении произвольного смысла на элементарные смыслы. Смыслы являются элементарными, если они не могут быть разложены на другие элементарные смыслы.

Как было рассмотрено выше, «существуют два основных вида отображений переходов:

1) перестановки, когда отображение взаимно однозначно на множестве состояний; автомат только с такими переходными отображениями обладает полугруппой, которая в действительности есть группа;

2) стягивания, когда два различных состояния переходят в одно и то же состояние» [22. С. 31].

Классификация однозначных обратимых конечных смыслов сводится к классификации конечных групп. По теореме Кэли любая конечная группа изоморфна некоторой подгруппе некоторой группы перестановок. В свою очередь, любая перестановка разложима в произведение коммутирующих циклических перестановок. Такое разложение однозначно с точностью до порядка сомножителей. Циклические перестановки можно интерпретировать как сигналы, обладающие элементарными смыслами, и любые конечные обратимые смыслы однозначно разложимы в произведения элементарных конечных обратимых смыслов.

В случае необратимых конечных смыслов к циклическим перестановкам должны быть добавлены элементарные стягивания. Элементарное стягивание

переводит некоторое состояние i в некоторое отличное состояние j . Все остальные состояния, включая состояние j , остаются неизменными. Таким образом, нет состояния, переходящего в состояние i .

В общем случае неэлементарный смысл состоит из отображения множества начальных состояний в множество конечных состояний, при котором для каждого начального состояния имеется одно конечное состояние, в которое оно отображается. Для некоторых состояний из множества конечных состояний нет начальных состояний, которые в них отображаются. Такой неэлементарный смысл может быть разложен в произведение элементарных смыслов, включающих циклические перестановки и элементарные стягивания. Каждое состояние, в которое не переходит никакое начальное состояние, соответствует состоянию i в рассмотренном выше примере элементарного стягивания и формирует соответствующее элементарное стягивание в разложении неэлементарного смысла. Таким образом, в разложении неэлементарного смысла число элементарных стягиваний равно числу состояний, в которые не отображаются никакие начальные состояния. Отображения остальных состояний образуют перестановки и разлагаются в циклические перестановки. Элементарные стягивания коммутируют между собой, циклические перестановки коммутируют между собой, но некоторые элементарные стягивания не коммутируют с некоторыми циклическими перестановками. Так в рассмотренном выше примере элементарное стягивание не коммутирует с циклической перестановкой, включающей состояние j . Поэтому в разложении неэлементарного смысла в произведение элементарных смыслов элементарное стягивание должно стоять слева от циклической перестановки, с которой оно не коммутирует.

Однозначный конечный смысл однозначно раскладывается в произведение элементарных смыслов с точностью до перестановки коммутирующих сомножителей. Интересна будущая интерпретация этого общего результата в различных дисциплинах, особенно в гуманитарных.

Отметим, что рассмотренное разложение произвольного смысла в произведение элементарных смыслов выполнено в предположении, что смыслы образуют полугруппу. Как уже было отмечено, это не всегда выполняется, например, в случае взаимодействия последовательно поступающих сигналов.

9. Неоднозначный конечный смысл

Рассмотрим неоднозначные конечные смыслы. В этом случае получатель в результате воздействия сигнала переходит не в однозначно заданное состояние, а может перейти в различные состояния. На уровне классической физики мы предполагаем, что получатель всегда находится в некотором определенном состоянии. Тем самым возможность перехода в различные состояния должна трактоваться в смысле вероятностей перехода в некоторое состояние. Мы получаем модель разложения неоднозначного смысла в спектр однозначных смыслов с некоторыми вероятностями $p(k)$, где индекс k нумерует однозначные смыслы. Сумма вероятностей $p(k)$ равна 1, так как после получения сигнала получатель оказывается хоть в каком-то состоянии.

В случае неоднозначного конечного смысла оператор в формуле (1) можно представить в виде

$$A = \sum p(k)A(k), \quad (2)$$

где A – оператор неоднозначного смысла, $A(k)$ – операторы однозначных смыслов, составляющих спектр неоднозначного смысла. Если множество состояний получателя конечно и мы отождествляем операторы конгруэнтных для него сигналов, то для заданного получателя множество операторов однозначных смыслов конечно. Даже если до получения сигнала с неоднозначным смыслом получатель достоверно находился в некотором состоянии, то после получения этого сигнала он может находиться в различных состояниях с некоторыми вероятностями, сумма которых равна единице. В теории автоматов получатель случайных сигналов называется случайным или вероятностным автоматом.

Предлагаемая модель неоднозначных конечных смыслов тесно связана с теорией марковских процессов. Если получатель получает последовательность сигналов, которые описываются одним и тем же оператором неоднозначного смысла, то этот процесс является однородной марковской цепью, или просто марковской цепью. В общем случае, когда получатель получает сигналы, которые описываются различными операторами неоднозначного смысла, этот процесс является неоднородной марковской цепью.

Матричное представление является стандартным для марковских цепей. Состояние получателя описывается матрицей-столбцом, элементами которой являются вероятности нахождения получателя в этом состоянии. Это неотрицательные числа, не превышающие 1. Сумма элементов столбца равна 1. Матрица неоднозначного смысла является стохастической матрицей общего вида, то есть квадратной матрицей, элементами которой являются неотрицательные числа, не превышающие 1, и сумма элементов каждого столбца равна 1. Неоднозначные смыслы также можно разделить на обратимые и необратимые. Неоднозначный конечный смысл является обратимым, если его матрица имеет обратную и обратная матрица является стохастической.

10. Бесконечный смысл

Число возможных состояний получателя может быть бесконечным. В этом случае любой получаемый им сигнал действует на состояние из бесконечного множества состояний, то есть имеет бесконечный смысл. Для описания бесконечных смыслов может использоваться различный формализм.

Если смыслы образуют полугруппу, то их можно описывать, используя алгебраическую теорию автоматов. Произвольной входной полугруппе соответствует понятие обобщенного автомата, но они менее исследованы, чем конечные автоматы. Событием во входном алфавите называется произвольное множество слов полугруппы этого алфавита. Среди бесконечных автоматов наиболее полно исследован класс магазинных автоматов. События, представленные в таких автоматах, являются контекстно-свободными языками.

Если множество состояний получателя счетно, то мы можем использовать ряд формализмов, описывающих одни и те же математические объекты с разных точек зрения. Это алгоритмы, машины Тьюринга, машины с неограниченными регистрами, вычислимые функции, рекурсивные функции, диофантовы множества (например, см. [23]).

Предположим, что множество состояний получателя образует перечислимое множество. Это означает, что существует алгоритм, позволяющий последовательно идентифицировать все состояния получателя и, соответственно, их последовательно нумеровать. Перечислимые множества являются областями определения и значения вычислимых функций вида $f(n)=m$, где n и m – натуральные числа. Такие функции описывают смыслы сигналов, когда множества состояний получателя до и после получения сигнала перечислимы. Область определения $f(n)$ – это номера состояний получателя до получения сигнала. Область значений $f(n)$ – это номера состояний получателя после получения сигнала. Соответственно, такие смыслы можно назвать перечислимыми.

В матричном формализме смысл описывается бесконечной матрицей. Функции $f(n)=m$ соответствует матрица, у которой в строке номер m в столбце номер n стоит единица, а остальные элементы этой строки равны нулю.

Наиболее простому случаю соответствуют вычислимые функции, определенные для любого натурального n , они же общерекурсивные. Возможен случай, когда состояние получателя определено не для любого n . В этом случае смыслы описываются функциями, которые определены на множестве номеров состояний получателя. Для других номеров они могут быть не определены. Это вычислимые, или частично рекурсивные, функции.

Предположим, что множество номеров состояний получателя задано неявно. Пусть множество номеров состояний получателя разрешимо, то есть существует алгоритм, позволяющий для любого n определить, является ли это номером допустимого состояния получателя или нет. Тогда мы можем полностью доопределить любой вектор состояния получателя, положив равным нулю все элементы, соответствующие номерам недопустимых состояний. Соответственно, можно доопределить вычислимые функции, описывающие смыслы сигналов для этого получателя. Для этого положим $f(n)=n$ для всех номеров недопустимых состояний.

Некоторые смыслы могут соответствовать невычислимым функциям. В этом случае не существует алгоритма построения матрицы смысла. Множество состояний, в которое переходит получатель при получении соответствующего сигнала, является неперечислимым.

Рассмотрим пример, предложенный Пенроузом. Пенроуз рассматривает понимание математических утверждений и обосновывает, что человеческое понимание не сводится к алгоритму: «...человеческое понимание нельзя свести к алгоритмическим процессам» [24. С. 93]. «Нельзя создать такую систему правил, которая оказалась бы достаточной для доказательства даже тех арифметических положений, истинность которых, в принципе, доступна для человека с его интуицией и способностью к пониманию, а это означает,

что человеческие интуицию и понимание невозможно свести к какому бы то ни было набору правил» [24. С. 112].

Пусть математик находится в некотором произвольном ментальном состоянии. Он получает сигнал, который является объяснением некоторого математического утверждения x . Если математик понял объяснение, то он переходит в некоторое ментальное состояние, которое принадлежит множеству $\{x\}$ ментальных состояний понимания указанного математического утверждения. В частности, если математик изначально понимал x , то он переходит из начального ментального состояния в конечное в пределах множества $\{x\}$. Согласно Пенроузу этот переход описывается невычислимой функцией и множество $\{x\}$ неперечислимо. В результате «смысл можно передать лишь от человека к человеку, потому что все люди имеют схожий жизненный опыт или аналогичное внутреннее ощущение “природы вещей”» [24. С. 97].

Подобная ситуация может быть не редкой экзотикой, а типовой, так как множество невычислимых функций имеет мощность континуума, а множество алгоритмов только счетно. Теоретическая физика строит модели тех явлений, для которых она может предложить некоторый алгоритм, позволяющий что-то вычислить. Но это не означает, что мир состоит только из таких явлений. Мы вычлняем из потока событий соответствующие явления, потому что только их умеем моделировать.

Рассмотрим формализм в случае континуального множества состояний получателя. Состояние наблюдателя зависит от n параметров, которые могут принимать континуум значений. Состоянию соответствует точка в n -мерном пространстве параметров. В общем случае имеется функция распределения, описывающая вероятности нахождения получателя в различных состояниях. Нормировка состоит в равенстве 1 интеграла от функции распределения по пространству параметров. Это стандартное описание в теории вероятностей. Смысл сигнала заключается в преобразовании функции распределения в другую функцию распределения. Примером пространства параметров является фазовое пространство консервативной системы в классической механике. В этом примере в рамках предлагаемого формализма смыслом наделяется действие оператора эволюции, которым является оператор Лиувилля.

В континуальном случае математическая форма предлагаемой модели близка математической форме модели Налимова, в частности, формула (1) соответствует формуле Налимова, приведенной в параграфе 3, главы 2 [25]. Однако интерпретация формулы принципиально отлична. Налимов постулирует наличие континуума «всех смыслов мира». Конкретно рассматривается одномерная числовая ось, где каждое число соответствует некоторому абсолютному смыслу. Каждому тексту соответствует нормированная функция распределения, которая задает вероятности, с которыми смысл текста включает абсолютные смыслы. Таким образом, в основу положено представление о некоторых абсолютных неизменных смыслах, которые математически описываются как точки одномерного пространства «всех смыслов мира». Это пространство названо Налимовым семантическим вакуумом. Смысл текста отождествляется с его функцией распределения, заданной на пространстве

абсолютных смыслов. Смысл текста может меняться, что описывается указанной выше формулой. Это изменение трактуется как эволюция текста. При этом весь мир рассматривается как множество текстов, что придает модели всеобщность. Приведенное краткое описание модели Налимова показывает ее принципиальное отличие от предлагаемой модели при наличии аналогии математической формы в частном случае континуального смысла.

В континуальном случае воздействие сигналов на получателя может происходить как в дискретные моменты времени, так и в непрерывном времени. В связи с практическими потребностями такие системы исследуются в рамках математической теории оптимального управления.

Очевидны дальнейшие возможные обобщения множества состояний получателя. Пространство параметров может быть бесконечномерным. Часть параметров может принимать континуум значений, часть – счетное множество значений, а часть – конечное.

Существующие математические средства позволяют моделировать бесконечные смыслы. Однако остается вопрос, насколько такие модели адекватны реальным системам. Концепция смысла представляет интерес при описании сложных самоорганизующихся систем, а для таких систем характерно наличие дискретного множества качественно различных состояний. Если система ограничена в пространстве и времени, то число таких состояний конечно, хотя и может быть комбинаторно большим. Естественно возникает вопрос о достаточности моделей конечных смыслов. Наличие счетного множества дискретных состояний у конечной системы означает, что в формировании этих состояний существенным образом участвует бесконечная Вселенная. Если Пенроуз прав и человеческое понимание неалгоритмично, то это означает, что в формировании психического состояния человека участвует не только его мозг (или мозг и тело), то есть конечная система, а мозг и Вселенная.

11. Квантовый смысл

Аналогичный формализм развит в квантовой теории, где состояние объекта описывается вектором состояния в бесконечномерном гильбертовом пространстве, а воздействие на объект описывается действием оператора на вектор состояния. Используемый в квантовой механике формализм можно рассматривать как обобщение предлагаемого формализма. Состояние квантового объекта описывается матрицей-столбцом, элементами которого являются комплексные числа. Элементами матрицы оператора, действующего на состояние квантового объекта, также являются комплексные числа.

Квантовый формализм описывает тот факт, что квантовый объект может находиться в квантовой суперпозиции состояний, что нельзя интерпретировать как нахождение объекта в некотором состоянии с некоторой вероятностью. Квантовая суперпозиция состояний не имеет общепринятой интерпретации. Существуют различные интерпретации. В рамках предлагаемого подхода возможна интерпретация в терминах некоторого особого

квантового смысла. Однако без изменения математического формализма любая интерпретация является вариантом терминологии и способа думать об объекте. Это дело вкуса конкретного исследователя. Интерпретация становится содержательной, если на ее основе удастся внести изменения в математический формализм и получить экспериментально проверяемые следствия. Но в этом случае интерпретация перестает быть интерпретацией и становится новой теорией (новым вариантом теории). Возможно, предлагаемый подход будет полезен в такой активно развивающейся области, как квантовая информатика и близкие к ней направления: запутанные состояния, квантовый ластик, квантовая телепортация, защищенные каналы связи, квантовые вычисления и др.

Отметим, что в квантовой механике имеется два принципиально различных типа воздействия на объект: обратимое и необратимое во времени. Первый тип – это эволюция под действием унитарного оператора эволюции. Второй тип описывает измерения и описывается действием проекторов, то есть эрмитовых идемпотентных операторов проектирования. Соответственно, воздействия первого типа образуют группы. Измерения образуют полугруппу, в которой операцией композиции является последовательное выполнение измерений.

12. Кодировка состояний

Смысл зависит от описания состояний получателя. «Реальные предметы могут давать целое множество одинаково приемлемых “систем”, которые могут сильно отличаться друг от друга по интересующим нас здесь свойствам» [17. Раздел 12/9. С. 323].

Количество состояний получателя зависит от цели описания. Например, динамическая система в результате воздействия сигнала может менять свою траекторию в фазовом пространстве. Если нас интересует конкретная траектория, то мы траекторию считаем состоянием и количество состояний континуально. Но если нас интересует только факт нахождения траектории в области притяжения того или иного аттрактора, то число таких областей может быть небольшим для весьма широкого класса динамических систем.

Рассмотрим простой пример выполнения рядовым строевых команд. С точки зрения сержанта, отдающего команды, сложность внутреннего мира рядового не играет роли. Множество состояний рядового конечно, невелико и сводится к положениям рядового до и после выполнения строевых команд. Обучение строевой подготовке новобранца имеет своей целью унификацию состояний новобранца и восприятия им строевых команд в соответствии с образцом, которым является Строевой устав Вооруженных сил Российской Федерации.

Отметим, что хотя в предлагаемой модели смысл описывается действием матрицы с единичными и нулевыми элементами, но модель охватывает все богатство возможных смыслов. Это достигается за счет того, что вся содержательная составляющая модели заключена в определении состояний получателя. Если состояния получателя описаны с полнотой, определяемой целью

описания, то смысл сигнала полностью описывается указанием состояния, в которое перешел получатель в результате получения сигнала. При этом смысл существенно зависит от выбранной модели состояния. Так, в рассмотренном выше примере смысла строевых команд психолог, который интересуется психологическим состоянием новобранца, будет рассматривать иную модель состояний новобранца, нежели сержант. Соответственно, строевые команды приобретут иной смысл.

Для описания состояний получателя используются различные математические объекты. Например, матрица-столбец при использовании матричного формализма для описания получателя с дискретным множеством состояний. Точка в пространстве параметров описывает состояние получателя с континуальным множеством состояний. В теории алгоритмов Колмогорова получатель описывается графом, вершины которого имеют веса. «...Конструктивные объекты естественно изображаются графами, или одномерными топологическими комплексами, вершины которых помечены символами из некоторого конечного алфавита B , а ребра никак не помечены» [26. С. 282].

В рамках предлагаемого подхода для описания смысла удобна теория автоматов. При этом получатель описывается как автомат, имеющий некоторое множество состояний. В рамках этой модели важную роль играет задача декомпозиции автоматов. «Любой групповой автомат разлагается на автоматы простых групп, являющихся гомоморфными образами подгрупп первоначальной группы. Автоматы простых групп неразложимы» [22. С. 35]. «Основной результат теории декомпозиции Крона – Роудза заключается в том, что посредством собственной декомпозиции произвольного автомата получаются компоненты, являющиеся групповым автоматом или весьма элементарным стягивающим автоматом» [22. С. 32]. Этот элементарный автомат имеет два состояния, а его функция переходов является полугруппой из трех элементов: 1) тождественного, 2) переводящего в первое состояние, 3) переводящего во второе состояние. Он называется простейшим тождественно возвратным автоматом. Эти три элемента функции переходов должны интерпретироваться как элементарные смыслы. Тождественный элемент, очевидно, является обратимым смыслом. Второй и третий элементы являются элементарными конечными необратимыми смыслами. «Для одного и того же автомата может существовать несколько разложений в последовательно-параллельное соединение автоматов простых групп и тождественно возвратных автоматов с двумя состояниями» [22. С. 38].

Приведенные модели имеют общий характер. Однако при описании конкретных получателей могут быть более эффективны частные модели. Концепция смысла представляет интерес при описании воздействия сигналов на сложную систему. Такая система имеет иерархическую структуру, составляющие систему элементы, в свою очередь, являющиеся сложными системами, что может быть учтено при построении модели. Например, в колмогоровской модели графа под изменениями состояния системы можно понимать добавление/удаление вершин/ребер. Изменение метки вершины описывает изменение внутреннего состояния элемента системы, который моделируется этой вершиной.

Сигнал имеет различный смысл, когда мы рассматриваем его действие на всю систему и когда мы рассматриваем его действие на отдельные элементы системы. В качестве очевидного примера приведем получение приказа кораблем. Если мы рассматриваем в качестве получателя весь корабль с экипажем, то мы получаем одну модель смысла. Другую, более сложную модель смысла мы получим, если помимо корабля будем рассматривать действие приказа на отдельных членов экипажа, ознакомленных с приказом.

13. Обратимые и необратимые смыслы

Классификация смыслов на обратимые и необратимые отражает наличие обратимых и необратимых процессов во Вселенной.

Обратимый смысл типичен для исполняемых команд. Например, для выключателя командами с обратным смыслом являются «включить» – «выключить». Отметим, что для всего включаемого – выключаемого устройства эти команды могут быть и необратимыми, например, если устройство запоминает историю включений – выключений.

В качестве примера сигнала с необратимым смыслом приведем сообщение о некотором факте x . Все множество состояний получателя можно разбить на два непересекающихся подмножества, в состояниях первого подмножества получатель знает факт x , в состояниях второго подмножества получатель не знает факт x . До получения сигнала получатель мог находиться в любом состоянии. Если получатель находился в некотором состоянии из первого подмножества, то после получения сигнала его состояние не меняется. Если получатель находился в некотором состоянии из второго подмножества, то после получения сигнала его состояние изменится на некоторое состояние из первого подмножества. Необратимость связана с потерей информации об исходном состоянии. Рассмотренный пример можно попытаться опровергнуть. В качестве сообщения с обратным смыслом можно предложить сообщение: «Предыдущее сообщение недостоверно». Однако это означает переопределение состояний получателя. Такое сообщение возможно, если получатель помнит свои прошлые состояния. При этом состояние должно иметь вид: «Получатель знает (не знает) факт x и помнит, что знал (не знал) это раньше. Сообщение о факте x имеет необратимый смысл для получателя, который забывает свое предыдущее состояние при получении сигнала. Предлагаемый формализм построен в предположении, что получатель не помнит своих предыдущих состояний. Это не является ограничением. Вся память получателя включается в определение его состояния. При этом число состояний получателя остается конечным, если его память имеет конечный объем. О важной роли памяти при определении состояний указывал Эшби: «Если детерминированная система наблюдаема лишь частично и потому становится (для данного наблюдателя) непредсказуемой, то наблюдатель может оказаться способным восстановить предсказуемость, приняв во внимание прошлую историю системы, то есть допустив существование в ней некоторого рода “памяти”» [17. Раздел 6/21. С. 166].

В качестве другого примера рассмотрим множество состояний получателя, включающее состояние «получатель умер». Это состояние обладает тем свойством, что после попадания в него состояние получателя не меняется при получении любых сигналов. Тем самым смысл любых сигналов эквивалентен нулевому. Полученный результат имеет естественную интерпретацию, что для умершего получателя любая информация теряет смысл. Это пример перехода в поглощающее множество состояний, из которого нет выхода, что в теории автоматов называется переходом модели в собственный подавтомат.

В современной теоретической физике фундаментальные законы обратимы во времени. Необратимая во времени эволюция возникает за счет неустойчивости. «Необратимость и неустойчивость тесно связаны между собой: необратимое, ориентированное время может появиться только потому, что будущее не содержится в настоящем» [27. С. 252]. Механизм является спонтанным нарушением симметрии. За счет неустойчивости симметричной во времени траектории эволюции система переходит к одному из вариантов устойчивой асимметричной во времени эволюции под действием случайных флуктуаций или внешних воздействий.

Представляет интерес ситуация, когда система находится в состоянии, устойчивом только к малым воздействиям. В этом случае маловероятен переход в другое состояние под действием случайных факторов, но возможен перевод системы в другое состояние за счет целенаправленного слабого сигнала. Такая ситуация характерна для задач управления, и в таких ситуациях математическое моделирование смысла может быть продуктивным.

14. Квантовая гравитация

Математическое моделирование смысла может оказаться плодотворным не только при изучении макроскопических явлений, но и в микромире. В стандартной модели физики элементарных частиц исходный набор частиц является заданным. «Но, в конце концов, элементарная частица вопреки ее названию не является объектом, который нам “дан”: его необходимо построить, и не исключено, что в процессе построения существенную роль может играть *возникновение* – участие частиц в эволюции физического мира» [27. С. 252]. Самоорганизация частиц предполагает наличие сложной нелинейной динамики на фундаментальном уровне. Возможно, такая динамика будет реализована в пока не созданной теории квантовой гравитации.

Одним из направлений квантовой гравитации являются различные модели дискретной предгеометрии, в которых не только элементарные частицы, но и пространство-время должно возникнуть в результате самоорганизации первичных дискретных элементов. В таких моделях законы динамики не могут формулироваться в форме дифференциальных уравнений, так как для дискретных элементов отсутствует исчисление бесконечно малых. Естественной формой для формулировки базовых законов являются алгоритмы [28; 29]. Подобное изменение языка теоретической физики способствует включению смысла в физические модели.

Самоорганизация является процессом, направленным во времени, и в ряде моделей предгеометрии фундаментальные законы динамики необратимы во времени. При этом обратимые во времени динамические законы должны возникать как частные случаи в некоторых идеализированных ситуациях. «...Основные понятия классической (или квантовой) механики, такие как траектории и волновые функции, соответствуют ненаблюдаемым идеализациям» [27. С. 164].

В качестве примера можно привести динамику последовательного роста причинностного множества (causal set) [30].

Другим примером является модель бинарных систем комплексных отношений (БСКО) [31]. БСКО являются комплексными квадратными матрицами с нулевыми детерминантами, которые задают переход от множества начальных состояний к множеству конечных состояний. Перемножение БСКО – это последовательные шаги дискретной динамики. Поскольку БСКО имеют нулевой детерминант, то они не имеют обратных матриц. Соответственно, динамика в модели необратима во времени и БСКО образуют полугруппу по умножению. Обратимая во времени динамика возникает для подсистем, для которых переход из начального состояния в конечное описывается минором с ненулевым детерминантом.

Заключение

По мнению автора, предлагаемый подход позволяет при исследовании смысла перейти от рассуждений гуманитарного типа к математическому моделированию. Возможны два направления развития предлагаемого формализма.

Первое направление заключается в построении моделей конкретных явлений. Эффективность формализма зависит от предметной области и моделируемых явлений. В каких-то областях он может быть неэффективным. В каких-то областях аналогичный формализм уже используется, но с другой терминологией. Автору представляется интересной процедура разложения любого смысла в произведение элементарных смыслов, которая может осуществляться в рамках предлагаемого формализма. Интересна интерпретация такого разложения в гуманитарных дисциплинах. Возможным направлением может быть применение алгебраической теории автоматов и теории алгоритмов при построении математических моделей нелинейных явлений в теоретической физике. Предлагаемый процессный подход к смыслу может оказаться полезным при создании систем машинного перевода. Только дальнейшие исследования могут показать, насколько полезным может быть предлагаемый формализм для описания и изучения конкретных явлений.

Другим направлением является получение общих результатов. Предлагаемый формализм претендует на максимально широкую область применения, включая все гуманитарные дисциплины. Он является заявкой на общую математическую теорию смысла. В рамках этой теории можно ожидать классификацию смыслов, общих теорем о свойствах различных классов смыслов.

Автор выражает благодарность Александру Владимировичу Коганову за ценные замечания, а также Юрию Сергеевичу Владимирову за любезно предоставленную возможность выступить с докладом на научном семинаре «Основания фундаментальной физики», которым он руководит, и всем участникам семинара за участие в дискуссии.

Литература

1. Ллойд С. Программируя вселенную: Квантовый компьютер и будущее науки. 2-е изд. М.: Альпина нон-фикшен, 2014. 256 с.
2. Гуревич И.М. Законы информатики, квантовая механика и вопросы происхождения и развития Вселенной: Продолжение и развитие идей Сета Ллойда. М.: ЛЕНАНД, 2016. 264 с.
3. Wheeler J. Information, Physics, Quantum: The Search for Links in Proceedings III International Symposium on Foundations of Quantum Mechanics. Tokyo, 1989. P. 354–358.
4. von Weizsäcker, C.F. Binary alternatives and space-time structure // Quantum theory and the structures of time and space / ed. by L. Castell, M. Drieschner, and C. F. von Weizsäcker. Vol. 2. München, Vienna: Hauser, 1977. P. 86–112.
5. Владимиров Ю.С. Реляционная концепция Лейбница–Маха. М.: ЛЕНАНД, 2017. 232 с.
6. Добрушин Р.Л. Теория информации // Колмогоров А.Н. Теория информации и теория алгоритмов. М.: Наука, 1987. С. 254–257.
7. ISO/IEC 2382:2015 Information technology.
8. Круглый А.Л. Модель смысла информационных сообщений // Основания фундаментальной физики и математики: материалы IV Российской конференции (ОФФМ – 2020). М.: РУДН, 2020. С. 14–19.
9. Чернавский Д.С. Синергетика и информация (динамическая теория информации). Изд. 2-е. М.: Едиториал УРСС, 2004. 288 с.
10. Бонгард М. М. Проблемы узнавания. М.: Наука, 1967. 220 с.
11. Харкевич А.А. О ценности информации // Проблемы кибернетики. Вып. 4. М.: Физматгиз, 1960. С. 53–58.
12. Корогодин В. И. Информация и феномен информации. Пущино: АН СССР, 1991. С. 22–24.
13. Rovelli C. Meaning = Information + Evolution. URL: arXiv: 1611.02420 [physics.hist-ph] (accessed: 15.06.2021).
14. Стратонович Р.Л. Теория информации. М.: Сов. Радио, 1975.
15. Коганов А.В. Векторные меры сложности, энтропии, информации // Математика. Компьютер. Образование. Вып. 7, ч. 2. М.: Прогресс-Традиция, 2000. С. 540–546.
16. Бейтсон Г. Разум и природа: Неизбежное единство. Изд. 3-е, испр. и доп. М.: УРСС: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2016. 256 с.
17. Эшби У.Р. Введение в кибернетику. М.: URSS: ЛЕНАНД, 2021. 432 с.
18. Бах Э. Неформальные лекции по формальной семантике. М.: ЛИБРОКОМ, 2010. 224 с.
19. Мельников Г.П. Системология и языковые аспекты кибернетики. Изд. 2-е. М.: ЛЕНАНД, 2020. 368 с.
20. Матурана У., Варела Ф. Дерево познания: Биологические корни человеческого понимания, изд. 2-е, доп. М.: УРСС: ЛЕНАНД, 2019. 320 с.
21. Капра Ф., Луизи П.Л. Системный взгляд на жизнь: Целостное представление. М.: УРСС: ЛЕНАНД, 2020. 504 с.
22. Алгебраическая теория автоматов, языков и полугрупп / под ред. М. Арбиба. М.: Статистика, 1975. 335 с.

23. Боос В. Лекции по математике. Т. 6: Алгоритмы, логика, вычислимость. От Диофанта до Тьюринга и Геделя: учебное пособие. М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2017. 208 с.
24. Пенроуз Р. Тени разума: в поисках науки о сознании. Москва – Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2005. 688 с.
25. Налимов В.В. Спонтанность сознания: Вероятностная теория смыслов и смысловая архитектура личности. М.: Изд-во «Прометей» МГПИ им. Ленина, 1989. 288 с.
26. Успенский В.А., Семенов А.Л. Алгоритмы, или Машины Колмогорова // Колмогоров А.Н. Теория информации и теория алгоритмов. М.: Наука, 1987. С. 279–289.
27. Пригожин И. От существующего к возникающему: время и сложность в физических науках. М.: Наука, 1985. 328 с.
28. Finkelstein D. Space-time code // Physical Review. 1969. 184. P. 1261–1271.
29. Wolfram S. A New Kind of Science. Wolfram Media, Inc., 2002.
30. Rideout D., Sorkin R. A classical sequential growth dynamics for causal sets // Physical Review. 2000. D61. P. 024002-1 – 024002-16. URL: arXiv: gr-qc/9904062 (accessed: 15.06.2021).
31. Владимиров Ю.С. Метафизика и фундаментальная физика. Кн. 3: Реляционные основания искомой парадигмы. М.: ЛЕНАНД, 2018. 256 с.

THE RELATIONAL APPROACH TO THE MATHEMATICAL MODEL OF MEANING OF INFORMATION

A.L. Krugly³

*Research Institute for System Analyses of the Russian Academy of Sciences
36, build. 1, Nakhimovskiy Pr., Moscow, 117218, Russian Federation*

Abstract. A mathematical model of the meaning of the signal is proposed. The meaning is not the signal itself, but its effect on the recipient. Under the action of the signal, the state of the receiver changes, which is the meaning of the signal. The most general mathematical model is the description of the recipient's state with the help of some mathematical object, and the meaning is modeled by the action of some operator on this object. Various concrete formalisms are considered: abstract automata, matrix representation, algorithms, Markov chains, parameter spaces. The article deals with finite, countable and continuous meanings, reversible and irreversible meanings, ambiguous meanings, decomposition into elementary meanings.

Keywords: information, meaning, cybernetics, mathematical modeling, abstract automaton, algorithm.

³ E-mail: akrugly@mail.ru