



**БИБЛИОТЕКА
ПО
АВТОМАТИКЕ**

А.А. ДЕНИСОВ

**ИНФОРМАЦИОННЫЕ
ОСНОВЫ
УПРАВЛЕНИЯ**



БИБЛИОТЕКА ПО АВТОМАТИКЕ

ВЫПУСК 635

А. А. ДЕНИСОВ

**ИНФОРМАЦИОННЫЕ
ОСНОВЫ
УПРАВЛЕНИЯ**



Ленинград
ЭНЕРГОАТОМИЗДАТ
Ленинградское отделение
1983

ББК 32.965

Д 33

УДК 81.518

Редакционная коллегия:

*И. В. Антик, Г. Т. Артамонов, А. А. Воронов, А. М. Закс,
В. К. Левин, В. С. Малов, В. Э. Низе, Д. А. Поспелов,
И. В. Прангишвили, Ф. Е. Темников, Г. М. Уланов,
Ю. М. Черкасов, А. С. Шаталов*

Рецензент *Ф. Е. Темников*

Денисов А. А.

Д 33 Информационные основы управления.—Л.: Энергоатомиздат, Ленингр. отд-ние, 1983.—72 с., ил.—(Б-ка по автоматике; Вып. 635.)

30 к.

Рассмотрены методы формального информационного анализа систем управления произвольной структуры и физической природы, одинаково пригодные для описания как автоматических систем, так и управления в социальных и биологических системах.

Книга может быть полезна специалистам в области теории систем, АСУ, кибернетики, теории информации, а также студентам вузов соответствующих специальностей.

Д $\frac{1504000000-139}{051(01)-83}$ 221-83

ББК 32.965
6Ф6.5

© Энергоатомиздат, 1983

ВВЕДЕНИЕ

ИНФОРМАЦИОННАЯ СТРУКТУРА УПРАВЛЕНИЯ

Все XX столетие ознаменовано попытками создания общей теории систем (в особенности систем управления) различной природы и происхождения. В начале века, по-видимому, первую попытку построения «всеобщей организационной науки» предпринял А. А. Богданов [5]; в середине столетия эту мысль развил отец кибернетики Н. Винер, который даже вынес ее в заголовок своей основной работы [3]; наконец, в наши дни можно наблюдать значительное число все новых попыток создания универсальной системологии.

Характеризуя эпопею системологических изысканий, необходимо отметить, что хотя эти изыскания обогатили науку специальными методами формализованного представления и описания систем, в ряде случаев они были обречены на неудачу в достижении своей конечной цели, поскольку не признавали в качестве единственной универсальной и всеобщей теории систем диалектический материализм, на что, критикуя махизм А. А. Богданова, указывал еще В. И. Ленин [1].

В самом деле, любая системология, т. е. сколько-нибудь действительно общая теория систем, претендует на описание любых систем, как материальных, составляющих объективную реальность, так и идеальных, составляющих наше отражение объективной реальности. Тем самым она претендует на философский уровень описания бытия и сознания, чем как раз и занимается материалистическая диалектика. Иными словами, нет и не может быть иной системологии, кроме марксистской материалистической диалектики, что вовсе не исключает, а, напротив, требует поисков формализованного представления диалектического метода, ибо, по мысли К. Маркса, наука лишь тогда достигает зрелости, когда ей удается пользоваться математикой [6].

Это означает, во-первых, что термин «системология» (общая теория систем) имеет право на существование лишь как синоним формализованной диалектики; во-вторых, что такая системология должна опираться на материю (вещь в себе) как единственную универсальную базу построения материальных систем, а не на бесплодные (и бесплотные!) позитивистские «элементы», которые применимы лишь при описании конкретных систем, состоящих из конкретных элементов; в-третьих, что единственным продуктом межсистемного и внутрисистемного взаимодействия (отражения) является информация, которая выступает лишь как синоним отраженной материи (вещи для нас) и не несет никакого иного содержания, составляя базу для построения в нашем сознании идеальных систем, отражающих структуру бытия.

Таким образом, с позиций диалектического материализма всякая система представляет собой либо материальный объект (вещь в себе), наделенный в общем случае как способностью отражения объективной

реальности (окружающей материи), так и способностью самоотражения (рис. 1), реализующейся в форме обратных связей; либо идеальное отражение этого объекта в нашем сознании (вещь для нас). Обладая совокупностью свойств M_k , включая свойства M_3 , созданные системой, и свойства M_4 самой системы, материя частью их воздействует на чувствительные органы, измерительные устройства, которые обеспечивают чувственное отражение материи системой в форме чувственной (первичной) информации J_k (ощущения).

По мысли В. И. Ленина [1], этот уровень чувственного отражения, по существу родственный ощущениям, свойствен всей (а не только живой) материи, т. е. в той или иной степени присущ любой материальной системе. На этом уровне информация в системе знится на вполне материальных носителях, имеющих, правда, отличную от отражаемой материи физическую природу — вроде нервных импульсов и др.

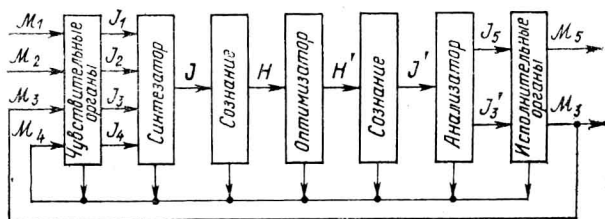


Рис. 1. Структурная схема управления

В более или менее совершенных живых организмах, имеющих центральную первичную систему, а также в искусственных системах, имитирующих соответствующие функции живых организмов, первичная чувственная информация может синтезироваться в целостное восприятие J . Роль синтезатора (рис. 1) не сводится в этом случае к простому арифметическому суммированию первичных информаций, а заключается в представлении их в виде компонент единого многомерного вектора информации J , т. е. сводится к геометрическому векторному сложению. На этой стадии уместно уже говорить о восприятии как об идеальном продукте синтезатора в том смысле, что вектор информации J (восприятие) в отличие от своих компонент J_k не имеет определенного материального носителя, а создается совокупным взаимодействием носителей этих компонент. Векторное сложение компонент требует задания системы координат, в которой компоненты образуют связное целое и которая формируется в процессе обучения и накопления жизненного опыта.

Высшую форму отражения — сознание осуществляет наше мышление, продуктом которого является знание, выступающее в форме сущности H вектора чувственной информации J . Наше знание, т. е. суть H явления, выступающая в форме понятия, есть конечно тоже информация, но в отличие от чувственной информации сущность представляет собой логическую информацию, так что понятие в оговоренном выше смысле не только само не имеет определенного материального носителя (если не считать мозг в целом), но даже и не соответствует никакому конкретному материальному объекту. Иными словами, абстрактной сущности H соответствует своего рода ощущение общности множества однородных явлений, выступающее в форме «вещи для нас», которой не соответствует никакая конкретная «вещь в себе». Именно это обстоятельство позволяет сознанию усматривать в одном

и том же реальном явлении различную суть в зависимости от целей, которые преследует рассмотрение этого явления. Так, человек с позиций биологии — животное, с позиций экономики — часть производительных сил, с позиций экологии — основной источник загрязнения среды и т. д.

Сформированные понятия отражают реальную суть вещей, однако для управления характерна выработка понятий, выражающих желаемую суть, т. е. цель H' системы, поэтому когда речь идет об управлении, невозможно обойтись без определения цели управления. Не останавливаясь на анализе существующей в этом вопросе путаницы, отметим, что для жизнедеятельности (существования) любой системы, т. е. для исполнения ею своих функций, объективно необходимы определенные условия, которые с математической точки зрения совместно образуют некоторый функционал существования системы, оптимум (экстремум) которого соответствует объективно наилучшему для системы сочетанию условий ее существования. Поэтому с позиций диалектики цель — это отраженный системой экстремум функционала ее существования, соответствующий оптимальным условиям жизнедеятельности. При этом в зависимости от обстоятельств различные системы отражают («формулируют») свои цели как на уровне ощущений в форме стремления к теплу, сытости и т. д. (на уровне восприятий и представлений — в форме стремления оказаться в совершенно конкретном месте или обзавестись совершенно конкретной вещью), так и на уровне понятий в форме стремления к власти, добру и т. д.

На схеме (рис. 1) выработка цели на уровне понятия осуществляется оптимизатором, который ищет экстремум H' функционала H , так что цель $H' = \text{ext} H$.

Описанная до сих пор цепь информационных преобразований соответствует первой части известной ленинской формулы познания объективной реальности: от живого созерцания к абстрактному мышлению и от него — к практике. Второй части этой формулы соответствует изображенная на рис. 1 обратная цепь преобразований. При необходимости использования понятие H' извлекается из памяти, которой обладают центральные процессоры от синтезатора до анализатора, воплощается в конкретный образ (представление) J' , разлагается анализатором на совокупность скалярных чувственных информационных (управлений), которые воплощаются исполнительными органами в те или иные свойства материальных объектов. При этом как число компонент J'_k , так и сами компоненты, соответствующие набору исполнительных органов, могут отличаться от компонент вектора восприятия J , соответствующих набору органов чувств.

Суммируя сказанное, можно сделать вывод, что управление включает в себя, во-первых, познание (измерение) реальных условий существования системы, включая ограничения (предельные значения) ее параметров и окружающей среды; во-вторых, выработку целей, т. е. познание (отражение) объективного оптимума функционала существования H управляемой системы; в-третьих, принятие управляющего решения (выработка распоряжения), т. е. констатация обязательности устранения расхождения между желаемым оптимумом и реальным значением функционала существования системы; в-четвертых, исполнение (практика), т. е. реализация исполнительными органами близких к оптимальным условий существования системы; наконец, в-пятых, контроль исполнения (обратная связь), т. е. познание новых условий существования системы, возникших вследствие управления ими.

Если бы отражение системой самой себя и окружающей среды было абсолютно истинным, решения безукоризненны, а исполнение безупречным, то управление исчерпывало бы себя в одном цикле.

Однако ввиду эволюции среды и самой системы под воздействием возмущений, вследствие самосовершенствования и старения; ввиду совершенствования познания и связанного с этим изменения целей управления; наконец, ввиду несовершенства исполнительных органов приходится многократно повторять циклы управления, так что реальная система управления фактически должна функционировать непрерывно.

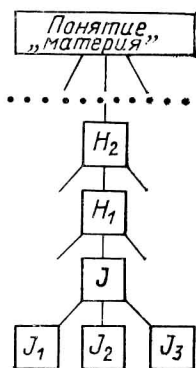


Рис. 2. Структура познания

Отметим, что структура категорий познания по сути своей в общем случае носит иерархический характер, причем множество первичных чувственных информаций (ощущений) J образует нижний, или первый, уровень иерархии (рис. 2); множество восприятий (представлений) J образует второй снизу уровень; множество понятий H образует третий уровень и т. д. При этом первичные понятия при дальнейшем абстрагировании образуют более сложные понятия четвертого уровня; те, в свою очередь, образуют понятия следующего уровня до тех пор, пока в общем случае вся структура не сойдется на верхнем уровне к одному понятию — понятию «материя». Степень разветвления структуры и число ее уровней характеризует то, что в литературе получило наименование тезауруса. Чем проще система, чем беднее ее тезаурус, тем проще понятия, которыми она оперирует на верхнем уровне своей иерархии, и тем ближе этот уровень к уровню ощущений.

Таким образом, любая система управления представляет собой материальный объект, помещенный в материальную среду и оперирующий информацией, являющейся как продуктом отражения системой окружающей среды, так и продуктом самоотражения системы. По этой причине дальнейшее изложение базируется на анализе информационных процессов в системах управления, что позволяет получить универсальное описание работы систем любой природы и сложности.

В отличие от основополагающего вклада в диалектику теории систем таких советских авторов, как В. С. Тютин [9], А. И. Уемов [10], Ю. А. Урманцев [11], Ф. Е. Темников [7] и др., в этой брошюре основное внимание уделяется выработке математического аппарата системного анализа посредством прямого применения диалектического метода.

Анализу деятельности систем управления как целого посвящается гл. 2. В гл. 1 рассматривается только формализм отражения, т. е., по существу, первые три из пяти перечисленных операций управления. Опыт формализации управления на основе диалектического метода изложен в гл. 3.

ГЛАВА ПЕРВАЯ

ФОРМАЛИЗМ ПРИНЯТИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ

1. УПРАВЛЕНИЕ В НЕИЗМЕННЫХ СИТУАЦИЯХ

Если обратиться к схеме на рис. 1, то станет понятным, что применительно к ней неизменная ситуация означает постоянство во времени свойств \mathcal{M}_k окружающей среды и самой системы. Естественно, в таком установившемся режиме остаются неизменными во времени также и первичная чувственная информация J , вектор информации (восприятие) \mathbf{J} и сущность (понятие) H , так что задача исследования сводится в этом случае к установлению отношений этих величин. Поскольку нас здесь интересуют прежде всего формальные, т. е. в сущности математические соотношения, которые всегда связывают измеримые величины, то мы должны прежде всего решить вопрос об измерении всех участвующих в отражении величин.

Измерение сущности. Что касается измерения скалярных величин, то в принципе этот вопрос решен еще Шенноном [12] для дискретной информации в форме

$$H = - \sum_{k=1}^m p_k \log p_k \quad (1)$$

и для непрерывной информации в форме

$$H = - \int_{-\infty}^{\infty} f(x) \log \int_{x-\Delta x/2}^{x+\Delta x/2} f(x) dx dx, \quad (2)$$

где p_k — вероятность того или иного состояния изучаемой материи; $f(x)$ — плотность вероятности этих состояний; Δx — разрешающая способность прибора, которым фиксируются состояния, а логарифм берется с основанием 2, так что информация согласно уравнениям (1) и (2) измеряется в битах.

Поскольку всегда $\sum_{k=1}^m p_k = \int_{-\infty}^{\infty} f(x) dx = 1$, то для равномерных распределений при $p_k = 1/m = \text{const}$ и $f(x) = 1/x = \text{const}$ вычисление информации упрощается:

$$H = \log m = \log \frac{x}{\Delta x}. \quad (3)$$

Так, например, сущность переключателя четырех телевизионных программ ($m=4$) при условии равномерного распределения интересов членов семьи по всем программам составляет согласно (3) $H = \log 4 = 2$ бит, а сущность системы телевизионной строчной развертки, обес-

печивающей равномерное распределение 625 строк по всему экрану, с точностью до одной строки ($\Delta x=1$) составляет $H=\log 625=9,3$ бит.

Речь здесь идет об измерении так называемой собственной сущности [4] того или иного материального объекта, т. е. сущности его самого по себе вне взаимодействия с окружающей средой и другими объектами. В дальнейшем эту собственную сущность, для которой характерно равномерное распределение вероятностей, будем обозначать H . Рассматривая же сущность объекта в составе той или иной системы, т. е. во взаимодействии с другими объектами, приходится пользоваться исходными соотношениями (1) и (2), поскольку внешние взаимодействия приводят в общем случае к неравномерному распределению вероятностей состояний объекта. Для этой сущности объекта будем пользоваться обозначением H_c . Наконец, разность этих сущностей будем называть взаимной сущью H_v составляющих систему объектов, так что

$$H_v = H_c - H. \quad (4)$$

В качестве примера рассмотрим вычисление сущности букв русского алфавита. Если принять число этих букв равным 32, то собственная суть любой буквы вне контекста согласно выражению (3) составит $H=\log 32=5$ бит, поскольку буквы в алфавите распределены равномерно и каждая попадает всего один раз. В свою очередь, системная сущность букв в русском тексте в соответствии с табл. 1 [2], которая демонстрирует распределение вероятностей букв в системе речи, составляет, включая промежуток между словами $\langle - \rangle$, согласно (1), $H_c=4,42$ бит. Наконец, взаимная суть русских букв в тексте согласно (4) составляет $H_v=-0,58$ бит.

Таблица 1

Буква	P_k	Буква	P_k	Буква	P_k	Буква	P_k
$\langle - \rangle$	0,145	р	0,041	я	0,019	х	0,009
о	0,095	в	0,039	ы	0,016	ж	0,008
е	0,074	л	0,036	з	0,015	ю	0,007
а	0,064	н	0,029	ъ, ь	0,015	ш	0,006
и	0,064	м	0,026	б	0,015	ц	0,004
т	0,056	д	0,026	г	0,014	щ	0,003
н	0,056	п	0,024	ч	0,013	э	0,003
с	0,047	у	0,021	й	0,010	ф	0,002

Целостность системы. Поскольку взаимная суть частей, составляющих систему, определяется степенью их взаимосвязи в системе как целом, можно заключить, что H_v представляет собой также и характеристику целостности системы, т. е. количественное выражение того нового качества, которым обладает система в целом, но которое не присуще ее частям, рассматриваемым в изоляции друг от друга. Иными словами, чем больше взаимная суть частей, тем больше целостность системы. Однако оценка целостности непосредственно по H_v не всегда удобна, в особенности при сравнении разнородных систем. Более универсальна относительная оценка

$$\alpha = -H_v/H, \quad (5)$$

которую будем прямо именовать целостностью. Согласно этому выражению целостность системы русской речи на уровне букв составляет всего $\alpha=0,58/5=0,116$. Для сравнения укажем, что если разнообразие

одежды гражданских лиц, т. е. вероятность встретить тот или иной набор вещей определяет собственное содержание одежды H , а одежда солдата регламентирована до мелочей, так что вероятность обнаружить ее в воинском строю практически равна единице, чему, согласно соотношениям (1) и (4), соответствует $H_c=0$, то в соответствии с выражением (5) целостность строя приближается к абсолютной, для которой характерно $\alpha=1$.

Может показаться, что формула (5) применима лишь к однородным системам, состоящим из одинаковых элементов, имеющих одинаковые H и H_c , поскольку в противном случае для разных элементов получатся разные значения α . Однако в этом последнем случае можно предварительно просуммировать соответствующие сущности отдельных элементов и взять отношение соответствующих суммарных сущностей, что вновь приведет к выражению (5):

$$\alpha = -\Sigma H_{\text{в}} / \Sigma H = -H'_{\text{в}} / H',$$

поскольку суммарная взаимная сущность частей есть взаимная сущность $H'_{\text{в}}$ системы как целого, а суммарная собственная сущность частей есть собственная сущность H' всей системы. При этом $H'_{\text{в}}$ и H' определяются посредством тех же формул (3) и (4), но по вероятностям состояния всей системы как единого целого. Например, рассматривая двузначное число, можно найти для него согласно формуле (3) $H' = \log 100 = 6,65$ бит. Зная, однако, что это число относится к шахматным фигурам на доске, следует ограничить его пределами от 0 до 32, чему при условии равной вероятности любого числа фигур в этих пределах соответствует $H_c = \log 33 = 5,04$ бит и $H'_{\text{в}} = -1,61$ бит, а целостность системы $\alpha = 0,242$. При этом двузначное число как система состоит из двух различных частей (цифр), первая из которых в пределах системы может принимать значения от 0 до 3, а вторая — от 0 до 9, а, взятая сама по себе, каждая из них может принимать значения от 0 до 9, так что для каждой из них $H = \log 10 = 3,32$ бит. В то же время в младшем разряде в 30 из 33 случаев может быть любая цифра, а в оставшихся трех случаях могут быть лишь цифры от 0 до 2, так что

$$H_{c2} = \frac{30}{33} \log 10 + \frac{3}{33} \log 3 = 3,16 \text{ бит.}$$

В старшем разряде каждая из цифр от 0 до 2 встречается в 10 случаях из 33, а цифра 3 встречается только в 3 случаях, так что

$$H_{c1} = -\frac{30}{33} \log \frac{10}{33} - \frac{3}{33} \log \frac{3}{33} = 1,88 \text{ бит.}$$

Таким образом, $H_{\text{в}1} = -1,44$ бит, $H_{\text{в}2} = -0,16$ бит, и, хотя это дает различные оценки целостности по разрядам $\alpha_1 = 1,44/3,32 = 0,435$ и $\alpha_2 = 0,16/3,32 = 0,048$, результирующая оценка $\alpha = -(H_{\text{в}1} + H_{\text{в}2}) / (2H) = 0,242$ совпадает с исходной для всей системы.

Приведенные примеры касались положительной целостности, характерной для устойчивых систем с той или иной степенью специализации элементов, т. е. с ограничением в процессе объединения множества их исходных возможностей. Между тем можно обнаружить и системы с отрицательной целостностью, характерной, например, для объединений типа товариществ по совместной обработке земли (ТОЗ), не связанных с разделением труда. Так, если двое земледельцев, каждого из которых до объединения можно было с равной вероятностью обнаружить на своем участке либо вне его, объединяются в ТОЗ, так что после этого, помимо их суммарных исходных четырех состояний, появ-

ляются еще состояния, когда они оба обрабатывают участок одного из них, то до объединения $H = \log 2 = 1$ бит, а после объединения $H_c = -0,5 \log 6 = 1,3$ бит, так что целостность $\alpha = (H - H_c) / H = -0,3$. Отрицательная целостность указывает на неустойчивость системы, на ее склонность к распаду тем в большей степени, чем больше модуль α . Как раз по этой причине ТОЗ, в которых было трудно договориться об очередности совместной обработки участков, пришлось заменить колхозами, разделение труда в которых обеспечило им положительную целостность и устойчивость. С другой стороны, некоторые, в целом обладающие положительной α системы при оценке целостности отдельных своих состояний обнаруживают переход от положительных целостных устойчивых состояний ($\alpha_k > 0$) к отрицательным целостным неустойчивым состояниям ($\alpha_k < 0$), т. е. такие системы стремятся укрепить первые состояния и отторгнуть последние. Например, если тот или иной технический журнал из ста статей напечатал 40 — по автоматическому управлению, 30 — по вычислительной технике, 20 — по общетеоретическим вопросам и 10 — по элементам автоматики, то согласно выражению (5) имеем соответственно для каждого из четырех возможных состояний тематики журнала:

$$\alpha_1 = \frac{\log 4 + \log 0,4}{\log 4} = 0,34; \quad \alpha_2 = \frac{\log 4 + \log 0,3}{\log 4} = 0,13;$$

$$\alpha_3 = \frac{\log 4 + \log 0,2}{\log 4} = -0,16; \quad \alpha_4 = \frac{\log 4 + \log 0,1}{\log 4} = -0,66,$$

$$a \text{ в среднем } \alpha = \frac{\log 4 + \sum_{k=1}^4 p_k \log p_k}{\log 4} = 0,08.$$

Таким образом, редакция журнала охотно печатает статьи по первым двум тематикам и стремится отвести статьи по двум остальным. Имея такого рода характеристики по нескольким журналам, осмотрительный автор статьи должен предпочесть те из них, в которых состояние тематики его статьи соответствует максимальному значению α_k . Отметим, что как собственная суть H объекта, так и его суть H_c в системе объектов могут измеряться лишь с точностью до некоторой постоянной, связанной с выбором исходного множества состояний, т. е. с выбором того или иного уровня иерархии системы (рис. 2) в качестве исходного (нижнего) уровня. Так, структуру твердого тела можем рассматривать как на уровне его кристаллов, так и на уровне молекул, атомов и, наконец, элементарных частиц, каждый раз увеличивая число возможных состояний по мере детализации рассмотрения, т. е. имея каждый раз дело с различной сутью тела.

Точно так же непрерывное нормальное распределение какой-либо величины x , если в законе $f(x) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \exp -\frac{x^2}{2\sigma^2}$ ограничиться сколь

угодно большой, но конечной областью $-m\sigma < x < m\sigma$, где m — любое число, большее единицы, имеет согласно выражению (2) системную суть

$$H_c = -\log \frac{\Delta x}{\sigma \sqrt{2\pi}} + \int_{-m\sigma}^{m\sigma} \frac{x^2}{2\sigma^3 \sqrt{2\pi} \ln 2} \exp \left(-\frac{x^2}{2\sigma^2} \right) dx$$

и согласно формуле (3) собственную суть $H = \log \frac{2m\sigma}{\Delta x}$, которые явно

зависят от выбора Δx . Это, однако, не относится к взаимной сущности H_B , которая не зависит от абсолютных значений H и H_C и имеет в каждой системе определенное значение, как, например, для нормального распределения:

$$H_B = H_C - H = -\log \frac{2m}{\sqrt{2\pi}} + \int_{-m\sigma}^{m\sigma} \frac{x^2}{2\sigma^3 \sqrt{2\pi} \ln 2} \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma^2}\right) dx,$$

где взаимная сущность не только не зависит от Δx , но при достаточно больших m не зависит и от σ : $H_B \approx 1 - \log m$.

Некоторые авторы [2] только эту взаимную сущность именуют информацией (взаимной энтропией). Мы же здесь исходили из того, что все сущности есть информации, т. е. вещи для нас, в той или иной степени отражающие реальные вещи в себе. При этом, чтобы не создавать путаницы, мы будем именовать H , H_C и H_B сущностями в отличие от первичной чувственной информации J .

Измерение первичной информации. Как и всякая информация, первичная чувственная информация может измеряться теми же соотношениями, которые используются для измерения сущностей, однако применительно к ней эти соотношения сильно упрощаются. Действительно, говорить о том или ином законе распределения вероятностей состояний можно, лишь имея всю их совокупность, т. е. имея целостную картину, характерную для понятий как носителей сущности. Чтобы система имела такую картину, она должна по меньшей мере обладать памятью и логикой, увязывающей отдельные явления в единое целое. Что же касается измерительных, чувствительных органов, собирающих первичную информацию, то они, не обладая ни памятью, ни логикой, воспринимают каждое состояние исследуемой материи лишь само по себе, вне всякой связи с другими возможными состояниями. Иными словами, эти органы судят лишь о том, есть то или иное состояние в данный момент и в данном месте или его нет, причем, не обладая никаким априорным знанием, они воспринимают наличие или отсутствие того или иного состояния как равновероятные события ($p=0,5$). В таких условиях информация о каждом дискретном объекте всегда составляет, согласно формуле (3), $J_d = -\log 0,5 = 1$ бит.

При одновременном наличии нескольких (m) однородных дискретных состояний, не обладая логическим аппаратом, чувствительные органы просто суммируют информацию, так что $J = mJ_d$; или при непрерывном поступлении измеряемой величины x , когда $m = x/\Delta x$, они дают информацию в битах

$$J = x/\Delta x, \quad (6)$$

где Δx — разрешающая способность чувствительного органа.

Соотношение (6) позволяет измерять первичную чувственную информацию любого происхождения и природы, причем как непрерывную, так и дискретную, если в последнем случае принять разрешающую способность равной «размеру» дискретного материального носителя. Например, согласно выражению (6) информация о количестве людей в том или ином помещении с точностью до одного человека равна выраженному в битах числу людей в этом помещении, а информация о напряжении $x=220$ В в электрической сети с точностью до $\Delta x=1$ В — равна 220 бит, а с точностью до 10 В — равна 22 бит, поскольку увеличение точности сопровождается пропорциональным увеличением информации, что прямо следует из формулы (6). Последнее свойство присуще только первичной информации и не свойственно

сущности. Действительно, если в соотношении (2) разделить Δx на K , то получим

$$H_k = - \int_{-\infty}^{\infty} f(x) [\log f(x) \Delta x - \log K] dx = H + \int_{-\infty}^{\infty} f(x) dx \log K.$$

Поскольку последний интеграл всегда равен единице, то имеем для сущности явления свойство

$$H_k = H + \log K. \quad (7)$$

Это свойство свидетельствует о том, что при увеличении чувствительности прибора в K раз — в отличие от первичной информации — сущность возрастает не в K раз, а лишь на $\log K$. Иными словами, если например, увеличить чувствительность того или иного прибора в 1024 раза, то первичная информация J согласно выражению (6) возрастет во сколько же раз, но сущность ее H , т. е. наше понимание явления, увеличится только на $\log 1024 = 10$ бит. Поскольку рост информации и ее сущности происходит во времени, то согласно формуле (6) можно записать $J_t = KJ_0$, где J_t — информация в любой заданный момент времени, а J_0 — информация в момент начала отсчета времени.

Точно так же согласно уравнению (7)

$$H_t = H_0 + \log K.$$

Если добиваться стабильного линейного роста наших знаний во времени t , т. е. стремиться к $H_t = H_0 + \beta t$, где β — константа, характеризующая интенсивность роста, то, исключая K из этих соотношений, получим экспоненциальный рост информации

$$J_t = J_0 2^{\beta t}, \quad (8)$$

т. е. тот самый «информационный взрыв», о котором теперь столько говорится.

Возвращаясь к измерениям, отметим, что соотношение (6) пригодно также и для измерения материи. Действительно, согласно утверждению В. И. Ленина [1], материя, или вещь в себе, есть объективная реальность, данная нам в ощущениях. Однако поскольку ощущения несут первичную, чувственную информацию J (вещь для нас), можно заключить, что материя дана нам в информации. При этом В. И. Ленин неоднократно подчеркивал, что между вещью для нас и вещью в себе нет решительно никакой принципиальной разницы. Иными словами, измеренная посредством выражения (6) информация в идеальных условиях в количественном отношении должна быть равна отражаемой материи. При этом имеется в виду, во-первых, что в зависимости от цели сбора информации мы принимаем во внимание не вообще всякую материю, а лишь ту, которая обладает интересующими нас свойствами, как, например, в случае военного наблюдателя, который, наблюдая за танками противника, игнорирует цветы на полях, птиц на деревьях и вообще всю ту материю, которая не имеет прямого отношения к танкам. Во-вторых, имеется в виду, что количественное равенство информации и материи достижимо лишь в идеальных условиях отражения, т. е. в условиях полнейшей исправности чувствительных органов и при полном отсутствии помех. В противном случае, т. е. в реальных условиях, информация J меньше отражаемой материи \mathcal{M} :

$$J = R_k \mathcal{M}, \quad (9)$$

где R_k обычно меньше единицы и характеризует условия отражения. В дальнейшем будем называть R_k относительной информационной

проницаемостью среды. Следует отметить, что нам довольно часто приходится иметь дело с идеальными условиями, позволяющими точно измерить материю, обладающую заданным свойством, однако и затрудненные условия измерения, к сожалению, тоже далеко не редкость. Например, считая солдат в строю, мы не имеем оснований не верить своим глазам, т. е. получаем информацию, в точности равную материи, обладающей свойством солдата ($R_k=1$); однако считая солдат противника, замаскированных на местности, мы явно получим меньше информации, чем имеется соответствующей материи ($R_k<1$). В последнем случае R_k в буквальном смысле характеризует проницаемость местности для наблюдения, что и определило ее наименование. Поскольку среда, в которой происходит отражение, всегда может быть изучена, т. е. может быть определено R_k , постольку формула (9) позволяет вычислить материю даже посредством неполной по необходимости информации J :

$$\mathcal{M}=J/R_k=x/(R_k\Delta x).$$

Таким образом, выражение (9) формально фиксирует тот очевидный для материалиста факт, что на пути от вещи в себе к вещи для нас нет никакого трансцензуса, никакого запрета, а могут быть лишь временные технические трудности, связанные с экспериментальным или теоретическим определением относительной информационной проницаемости среды R_k . При этом не следует удивляться, что согласно соотношению (9) с учетом уравнения (6) материя зависит от разрешающей способности Δx чувствительного органа, так как объективно, например, материи, обладающей свойством солдата Δx_1 , больше, чем материи, обладающей свойством полка Δx_2 , а последней больше, чем материи, обладающей свойством дивизии Δx_3 , и т. д., что и отражается отношением $\Delta x_1<\Delta x_2<\Delta x_3$.

Если рассматривать систему, приведенную на рис. 1, то соотношение (9) формализует операцию сбора системой первичной информации об окружающем ее материальном мире в условиях установившегося режима работы.

Измерение восприятий. Следующий шаг — формализация восприятий J , которые не поддаются непосредственному измерению, поскольку, как отмечалось во введении, образуются в воображаемом многомерном пространстве косоугольных аффинных координат, в роли которых выступают первичные информации (ощущения) J_k :

$$J=(J_1, J_2, J_3, \dots, J_m). \quad (10)$$

Особенность как восприятия, так и представления состоит в том, что при одном и том же наборе ощущений J_k каждая отражающая система имеет собственную индивидуальную систему координат, по которым располагаются ощущения. Таким образом, условная запись выражения (10), которая не содержит ортов, является неоднозначной и фиксирует сразу все множество индивидуальных восприятий одного и того же материального объекта, объясняя, почему этот объект одному кажется прекрасным, а другому — безобразным. Что касается индивидуального восприятия (представления), то для него можно прибегнуть к сокращенной тензорной форме записи:

$$J=J^k e_k, \quad (11)$$

в которой фигурируют те же самые первичные информации, что и в выражении (10), но только в контрвариантных координатах их порядковый индекс принято писать сверху; e_k — орты индивидуальной координатной системы, в которой индекс k может принимать значения от 1 до m .

Несмотря на отличие индивидуальных представлений, мы все тем не менее опознаем соответствующий им материальный объект, поскольку эта операция (идентификация) происходит посредством формулы (10), которой с учетом выражения (9) соответствует матричная запись

$$\left\| \begin{array}{c} J_1 \\ J_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ J_m \end{array} \right\| = \left\| \begin{array}{cccc} R_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & R_2 & \dots & 0 \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ 0 & \cdot & \dots & R_m \end{array} \right\| \left\| \begin{array}{c} M_1 \\ M_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ M_m \end{array} \right\| \quad \text{или} \quad \left\{ \begin{array}{l} J_1 = R_1 M_1 \\ J_2 = R_2 M_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ J_m = R_m M_m \end{array} \right. , \quad (10a)$$

т. е. попросту система уравнений (9).

Между тем при целостном восприятии помимо элементарных ощущений, вызванных действием воспринимаемого объекта на тот или иной конкретный чувствительный орган, возникают еще синтетические ощущения, например удовольствия или дискомфорта, являющиеся результатом смешения в разных пропорциях элементарных ощущений. В этом общем случае число m первичных информаций J_k может отличаться от числа n материальных свойств объекта M_k , а матрица их преобразований друг в друга становится неквадратной:

$$\left\| \begin{array}{c} J_1 \\ J_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ J_m \end{array} \right\| = \left\| \begin{array}{cccc} R_{11} & R_{12} & \dots & R_{1n} \\ R_{21} & R_{22} & \dots & R_{2n} \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ R_{m1} & R_{m2} & \dots & R_{mn} \end{array} \right\| \left\| \begin{array}{c} M_1 \\ M_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ M_n \end{array} \right\| . \quad (10б)$$

С позиций излагаемого информационного подхода к системологии все правила преобразования установившихся представлений и образования понятий, т. е. вся формальная метафизическая логика (интеллект), исчерпываются правилами матричной алгебры или правилами тензорного исчисления, если пользоваться записью в форме выражения (11) с учетом формулы (9):

$$J = R^{\alpha\beta} M^\beta e_\alpha,$$

где индексы α проходят все значения от 1 до m , а индексы β — все значения от 1 до n . Отметим, что запись матрицы (10б) соответствует в естественном языке системе суждений типа: «Яблоко есть нечто круглое, розовое, вкусное, ароматное и т. д.», причем яблоко как целое символизируется вектором J , а все его свойства — скалярами J_k .

Сущность и содержание. До сих пор мы занимались математизацией чувственного (бессознательного) отражения, обусловленного лишь наличием органов чувств (измерительных приборов) и некоторого как индивидуального, так и коллективного опыта, связанного с формированием и согласованием индивидуальных систем координат для синтеза представлений. Между тем человеку свойственно не только чувственное, но и логическое отражение действительности, т. е. способность проникать в суть H вещей и явлений. Поскольку речь теперь пойдет о математизации логического отражения, то неизбежно обращение к формальной логике, законы которой должны получить математическое выражение.

Особый интерес с этой точки зрения представляет логический закон обратной зависимости объема понятия и его содержания (сущности), который уже имеет математическую формулировку:

$$H = \mathcal{M}/n, \quad (12)$$

где n — объем понятия; \mathcal{M} — коэффициент пропорциональности, хотя, строго говоря

$$H = \mathcal{M}/n + \text{const}, \quad (13)$$

где const определяется выбором начала отсчета.

Например, если выражение (13) соответствует суждению: «Сущность цвета — в электромагнитных колебаниях определенной длины волны», то с точностью до цвета согласно соотношениям (6) и (9) $\mathcal{M} = 7$ бит, а H определится равновероятным выбором из 7 длин волн, соответствующих 7 основным цветам: $H = \log 7 = 2,8$ бит, откуда $n = 2,5$.

Таким образом, информационная емкость n , которая в формальной логике именуется обычно объемом понятия, численно равна количеству (доле) элементарных материальных носителей, пошедших на формирование одного бита сущности H . С другой стороны, определяя сущность H как содержание S материи в расчете на один дискретный носитель, т. е. на 1 бит материи, имеем

$$C = \mathcal{M}H. \quad (14)$$

Соотношение (14) служит для вычисления собственного содержания S системы через сущность ее носителей; так, например, содержание всего светового спектра составляет $C = 19,6$ бит², где $H = 2,8$ бит, а $\mathcal{M} = 7$ бит, поскольку полная совокупность основных цветов содержит 7 носителей, из чего ясно также, что содержание измеряют в квадратных битах, т. е. информацией (материей) в квадрате. Отметим еще, что с учетом выражения (14) можно переписать (13) в форме $n = \mathcal{M}^2/C$, это выражение, как и формула (13), представляет собой известный в логике закон обратной пропорциональности объема понятия n и его содержания C , но в отличие от (13) сформулированное применительно к группе однородных понятий. Вообще, различие между выражениями (13) и (14) такое же, как различие между суждениями: «Мышь — млекопитающее» и «Мыши (все или несколько) — млекопитающие», поскольку содержание мышей в соответствии с выражением (14) числом \mathcal{M} штук ровно в \mathcal{M} раз больше содержания одной мыши [см. формулу (13)].

Точно так же, если суть шарикоподшипника в том, что он в пределах допуска на изготовление Δr представляет собой сферу радиуса r , т. е. согласно уравнению (6) $H = \log(r/\Delta r)$, а обработанная материя определяется величиной сферической поверхности: $\mathcal{M} = 4\pi r^2/\Delta S$, где $\Delta S = \Delta(4\pi r^2) = 8\pi r\Delta r$, то содержание его изготовления согласно выражению (14) составляет $C = \mathcal{M}H = (0,5r/\Delta r) \log(r/\Delta r)$, т. е. тем больше, чем больше радиус шарика и чем выше точность его изготовления.

Логика. Соотношения (12), (13) и (14), как было показано, представляют собой суждения относительно сути тех или иных вещей или понятий. Совокупность таких суждений образует систему уравнений, решение которой представляет собой умозаключение. Например, если два суждения: «Мышь (x) — млекопитающее (y)» и «Млекопитающее — живородящее (z)» рассматривать как систему уравнений $x = ay$ и $y = bz$, то, исключая из них y , получим умозаключение $x = abz = cz$, т. е. «Мышь» (x) — живородящее (z), где a , b , c — константы, соответствующие информационным емкостям (объемам понятий).

Поскольку под логикой понимается обычно совокупность правил, посредством которых исходные суждения преобразуются в умозаключе-

чение, то в пределах информационной трактовки правила формальной логики сводятся к обычной алгебре, алгебре матриц или определителей в зависимости от того, в какой форме представлена система исходных суждений (4). Например, система суждений о семье, состоящей из отца (H_1), матери (H_2), сына (H_3) и дочери (H_4), типа: «Отец — мужчина (H_{11}); родитель сына (H_{13}), родитель дочери (H_{14}), муж матери (H_{12});» «Мать — женщина (H_{22}), родительница сына (H_{23}), родительница дочери (H_{24}), жена отца (H_{21});» «Сын — мальчик (H_{33}), ребенок отца (H_{31}), ребенок матери (H_{32}), брат дочери (H_{34});» «Дочь — девочка (H_{44}), ребенок отца (H_{41}), ребенок матери (H_{42}), сестра сына (H_{43}), сводится к системе уравнений:

$$\begin{cases} H_1 = H_{11} + H_{12} + H_{13} + H_{14}; \\ H_2 = H_{21} + H_{22} + H_{23} + H_{24}; \\ H_3 = H_{31} + H_{32} + H_{33} + H_{34}; \\ H_4 = H_{41} + H_{42} + H_{43} + H_{44}, \end{cases} \quad (15)$$

в которых системная (т. е. семейная) суть каждого из этих лиц имеет один индекс, собственная суть имеет два одинаковых индекса, а взаимная суть имеет два индекса, указывающие на тех лиц, семейные отношения которых она отражает, причем подразумевается, что $H_{ik} \neq H_{hi}$.

С учетом выражения (13) из (15) следует:

$$\begin{cases} H_1 = J_1/n_{11} + J_2/n_{12} + J_3/n_{13} + J_4/n_{14}; \\ H_2 = J_1/n_{21} + J_2/n_{22} + J_3/n_{23} + J_4/n_{24}; \\ H_3 = J_1/n_{31} + J_2/n_{32} + J_3/n_{33} + J_4/n_{34}; \\ H_4 = J_1/n_{41} + J_2/n_{42} + J_3/n_{43} + J_4/n_{44}, \end{cases} \quad (16)$$

где информационные емкости с одинаковыми индексами называются собственными, а емкости с разными индексами — взаимными емкостями, причем $n_{j,k} = n_{k,j}$.

Система (16) в отличие от (15) уже иллюстрирует понятия членов семьи на конкретном примере и сводится к суждениям типа: «Отец (H_1) — это, например, Иван Петров (J_1), женой которого является Мария Петрова (J_2), а детьми — Юрий (J_3) и Ольга (J_4) Петровы» и т. д. Подчеркнем, что в системе (16) фигурирует не материя \mathcal{M} , а информация J , поскольку математические операции мы производим не над реальными людьми, а над их отражениями в нашем сознании, т. е. над информацией. Умножая каждое из уравнений (15) или (16) на информацию, имеющую тот же индекс, что и системная суть, получим с учетом выражения (14):

$$\begin{cases} C_1 = C_{11} + C_{12} + C_{13} + C_{14}; \\ C_2 = C_{21} + C_{22} + C_{23} + C_{24}; \\ C_3 = C_{31} + C_{32} + C_{33} + C_{34}; \\ C_4 = C_{41} + C_{42} + C_{43} + C_{44}, \end{cases} \quad (17)$$

где системное содержание членов семьи имеет один индекс, собственное содержание имеет два одинаковых индекса, а взаимное содержание имеет два разных индекса, причем эта форма соответствует суждениям типа: «Содержание (C_1) И. Петрова (J_1) как отца (H_1) складается из его содержания как мужчины (H_{11}), содержания (C_{12}) его взаимоотношений с М. Петровой (J_2), содержания (C_{13}) его взаимоотношений с Юрием (J_3) и содержания (C_{14}) его взаимоотношений с Ольгой (J_4)» и т. д. Достоинство системы уравнений (17) состоит в том, что в отли-