30 к.

БИБЛИОТЕКА
ПО
АВТОМАТИКЕ

А. А. ДЕНИСОВ

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ОСНОВЫ УПРАВЛЕНИЯ

ЭА

БИБЛИОТЕКА ПО АВТОМАТИКЕ

ВЫПУСК 635

А. А. ДЕНИСОВ

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ОСНОВЫ УПРАВЛЕНИЯ

Ленинград
ЭНЕРГОАТОМИЗДАТ
Ленинградское отделение
1983

ББК 32.965
Д 33
УДК 81.518

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

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 $\mathcal{M}_k$, включая свойства $\mathcal{M}_3$, созданные системой, и свойства $\mathcal{M}_4$ 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 зиждется на вполне материальных носителях, имеющих, правда, отличную от отражаемой материи физическую природу — вроде нервных импульсов и др.

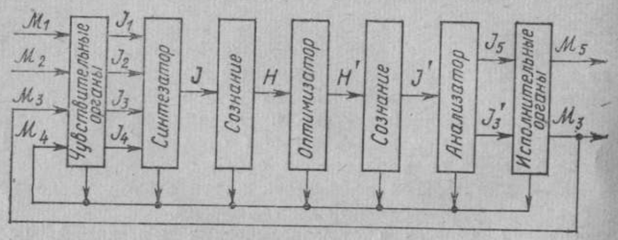

Рис. 1. Структурная схема управления

В более или менее совершенных живых организмах, имеющих центральную нервную 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 $H' = \mathrm{extr}\, H$.

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) $\mathbf{J}'$, разлагается анализатором на совокупность скалярных чувственных информаций (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.

2—3176

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.

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) $\mathbf{J}$ 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.

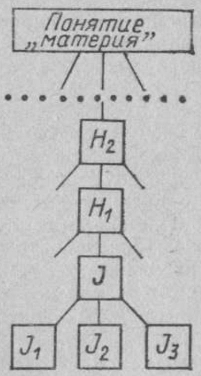

Рис. 2. Структура познания

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. Тюхтин [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

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

и для непрерывной информации в форме

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

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:

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

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, обеспечивающей 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 сутью $H_в$ составляющих систему объектов, так что

$$H_в=H_c-H. \qquad (4)$$

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 попадается 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 <—>, согласно (1), $H_c=4{,}42$ бит. Наконец, взаимная суть русских букв в тексте согласно (4) составляет $H_в=-0{,}58$ бит.

Таблица 1

Буква	p_k	Буква	p_k	Буква	p_k	Буква	p_k
⟨—⟩	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	к	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 $H_в$ 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 $H_в$ не всегда удобна, в особенности при сравнении разнородных систем. Более универсальна относительная оценка

$$\alpha=-H_в/H, \qquad (5)$$

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):

$$\alpha=-\Sigma H_в/\Sigma H=-H'_в/H',$$

поскольку суммарная взаимная сущность частей есть взаимная сущность $H'_в$ системы как целого, а суммарная собственная сущность частей есть собственная сущность H' всей системы. При этом $H'_в$ 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 $H'_в=-1{,}61$ 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, $H_{в1}=-1{,}44$ бит, $H_{в2}=-0{,}16$ 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 $\alpha=-(H_{в1}+H_{в2})/(2H)=0{,}242$ 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, появляются 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:

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

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

а в среднем $\alpha=\dfrac{\log 4+\sum\limits_{k=1}^{4} p_k\log p_k}{\log 4}=0{,}08.$

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 $f(x)=\dfrac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}\exp-\dfrac{x^2}{2\sigma^2}$ ограничиться сколь угодно большой, но конечной областью $-m\sigma<x<m\sigma$, где m — любое число, большее единицы, имеет согласно выражению (2) системную суть

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

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

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

$$H_в=H_c-H=-\log\frac{2m}{\sqrt{2\pi}}+\int\limits_{-m\sigma}^{m\sigma}\frac{x^2}{2\sigma^3\sqrt{2\pi}\ln 2}\exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma^2}\right)dx,$$

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

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 $H_в$ 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), $J_д=-\log 0{,}5=1$ бит.

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

$$J=x/\Delta x, \tag{6}$$

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

$$H_k = H + \log K. \tag{7}$$

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

$$J_t = J_0 2^{\beta t}, \tag{8}$$

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 $\mathscr{M}$:

$$J = R_k \mathscr{M}, \tag{9}$$

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:

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

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 $\mathbf{J}$, 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:

$$\mathbf{J} = (J_1, J_2, J_3, \ldots, J_m). \tag{10}$$

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:

$$\mathbf{J} = J^k \mathbf{e}_k, \tag{11}$$

в которой фигурируют те же самые первичные информации, что и в выражении (10), но только в контрвариантных координатах их порядковый индекс принято писать сверху; $\mathbf{e}_k$ — 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

$$\begin{Vmatrix} J_1 \\ J_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ J_m \end{Vmatrix} = \begin{Vmatrix} R_1 & 0 & \ldots & 0 \\ 0 & R_2 & \ldots & 0 \\ \cdot & \cdot & \cdots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdots & \cdot \\ 0 & \cdot & \ldots & R_m \end{Vmatrix} \begin{Vmatrix} \mathscr{M}_1 \\ \mathscr{M}_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \mathscr{M}_m \end{Vmatrix} \quad \text{или} \quad \left\{ \begin{array}{l} J_1 = R_1\mathscr{M}_1 \\ J_2 = R_2\mathscr{M}_2 \\ \cdot \quad \cdot \quad \cdot \\ \cdot \quad \cdot \quad \cdot \\ J_m = R_m\mathscr{M}_m \end{array} \right. , \qquad (10а)$$

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 $\mathscr{M}_k$, а матрица их преобразований друг в друга становится неквадратной:

$$\begin{Vmatrix} J_1 \\ J_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ J_m \end{Vmatrix} = \begin{Vmatrix} R_{11} & R_{12} & \ldots & R_{1n} \\ R_{21} & R_{22} & \ldots & R_{2n} \\ \cdot & \cdot & \cdots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdots & \cdot \\ R_{m1} & R_{m2} & \ldots & R_{mn} \end{Vmatrix} \begin{Vmatrix} \mathscr{M}_1 \\ \mathscr{M}_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \mathscr{M}_n \end{Vmatrix}. \qquad (10б)$$

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):

$$\mathbf{J} = R^{\alpha\beta}\mathscr{M}^{\beta}\mathbf{e}_{\alpha},$$

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 $\mathbf{J}$, 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:

$$H = \mathscr{M}/n, \qquad (12)$$

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

$$H = \mathscr{M}/n + \mathrm{const}, \qquad (13)$$

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) $\mathscr{M}=7$ 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 C материи в расчете на один дискретный носитель, т. е. на 1 бит материи, имеем

$$C = \mathscr{M}H. \qquad (14)$$

Соотношение (14) служит для вычисления собственного содержания C системы через сущность ее носителей; так, например, содержание всего светового спектра составляет $C = 19{,}6$ бит², где $H = 2{,}8$ бит, а $\mathscr{M} = 7$ 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 $n = \mathscr{M}^2/C$, 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 $\mathscr{M}$ штук ровно в $\mathscr{M}$ 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: $\mathscr{M} = 4\pi r^2/\Delta S$, где $\Delta S = \Delta(4\pi r^2) = 8\pi r \Delta r$, то содержание его изготовления согласно выражению (14) составляет $C = \mathscr{M}H = (0{,}5r/\Delta r)\log(r/\Delta r)$, 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 умозаключение, 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:

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

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 $H_{ik} \neq H_{ki}$.

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

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

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

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 $\mathscr{M}$, а информация J, поскольку математические операции мы производим не над реальными людьми, а над их отражениями в нашем сознании, т. е. над информациями. Умножая каждое из уравнений (15) или (16) на информацию, имеющую тот же индекс, что и системная суть, получим с учетом выражения (14):

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

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) слагается 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-

чие от (15) в этой системе $C_{ik} = C_{ki}$, поскольку содержание взаимоотношений, например, мужа и жены (C_{12}) такое же, как содержание взаимоотношений жены и мужа (C_{21}).

Понятно, что система уравнений (16) может быть разрешена относительно информаций J_1, J_2, J_3, J_4, что будет соответствовать умозаключениям типа: «Иван Петров (J_1) — такой-то (хороший, средний, плохой и т. п.) отец (H_1), определенным образом взаимодействующий с матерью (H_2) в деле воспитания детей (H_3 и H_4)» и т. д.:

$$\begin{cases} J_1 = n'_{11}H_1 + n'_{12}H_2 + n'_{13}H_3 + n'_{14}H_4; \\ J_2 = n'_{21}H_1 + n'_{22}H_2 + n'_{23}H_3 + n'_{24}H_4; \\ J_3 = n'_{31}H_1 + n'_{32}H_2 + n'_{33}H_3 + n'_{34}H_4; \\ J_4 = n'_{41}H_1 + n'_{42}H_2 + n'_{43}H_3 + n'_{44}H_4. \end{cases} \tag{18}$$

Из математики известно, что, например, система уравнений (18) может быть получена из системы (16), только если определитель системы уравнений отличен от нуля, если же он равен нулю, то либо система несовместна, либо некоторые ее уравнения представляют собой линейные комбинации из остальных уравнений и т. д. Совокупность подобных математических правил и представляет собственно логику. Конечно, речь здесь идет лишь о логике застывших, неизменных понятий и отношений, которую уместно назвать метафизической логикой, но именно она исторически монополизировала термин «формальная логика», не оставив в логике места для формальной диалектики, которой коснемся в дальнейшем изложении.

2. УПРАВЛЕНИЕ В УСЛОВИЯХ СТАРЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ

Поскольку управление подразумевает в общем случае изменение условий среды или параметров системы, то, оговорив в предыдущем разделе неизменность ситуации, мы свели управление к получению и анализу информации. Между тем в реальных условиях эволюции материи информация о ней неизбежно стареет, что делает необходимой соответствующую коррекцию управления.

Время усвоения. Для понимания информации, т. е. для ее узнавания, усвоения, идентификации, требуется некоторое время. Например, иностранцу, изучающему произношение букв русского алфавита, при предъявлении ему той или иной буквы приходится обращаться к пособию, в котором даны соответствующие транскрипции, и производить сравнение предъявленной буквы с 32 имеющимися в пособии. При этом в самом счастливом случае, когда он сразу попадет на нужную букву, потребуется всего одно сравнение, а в самом неудачном случае — 32 сравнения. Если предъявляемые буквы равновероятны, то в среднем ему придется производить 16,5 сравнений, что займет у него некоторое время τ. Вот это среднее время, потребное для опознания буквы и, с одной стороны, ограничивающее скорость работы, а с другой стороны, создающее запаздывание, так что поступившая информация успевает устареть на τ, мы будем называть информационным сопротивлением системы.

Информационное сопротивление обратно пропорционально пропускной способности системы, т. е. предельной скорости восприятия информации, на какую только способна система.

В большинстве случаев (линейные системы) информационное сопротивление τ не зависит от средней скорости поступления информации I (информационного тока), однако в некоторых условиях, например в экстремальных ситуациях у человека, время понимания может быть функцией тока. В линейных информационных цепях (системах) вероятность p того, что реальный период T поступления информации меьше среднего времени понимания τ, подчиняется закону $p=e^{-I\tau \ln 2}=$ $=2^{-I\tau}$ или с учетом выражения (3):

$$H=I\tau. \tag{19}$$

Соотношение (19), подобное закону Ома для электрических цепей, представляет собой информационный закон Ома, где $I=dJ/dt=1/T_{ср}$ ($T_{ср}$ — средний период поступления информации, а I измеряется в битах в секунду). Оно, с одной стороны, характеризует производительность труда, связанного с пониманием информации, поскольку с учетом выражения (14)

$$IH=HdJ/dt=dC/dt=N, \tag{20}$$

где N — информационная мощность (производительность интеллектуального труда) системы.

Из уравнения (20) с учетом (19) следует также, что

$$N=I^2\tau=H^2/\tau. \tag{21}$$

С другой стороны, выражение (19) описывает суть происходящих в той или иной системе изменений и соответствует суждениям типа: «Суть (H), происходящих с Ивановым (J) изменений состоит в том, что он учится на инженера», причем τ — время обучения в институте (т. е. время понимания Ивановым инженерной премудрости), а $I=dJ/dt$ — количество информации по специальности, усваиваемой Ивановым в единицу времени.

Символическое суждение типа (19), которое констатирует настоящее той или иной информации, предсказывая ее будущую суть на фоне происходящих изменений, дополняет суждения типа (13), так что вместо него более точно писать

$$H=J/n+I\tau=H_n+H_\tau. \tag{22}$$

Уравнение означает, например, что Иванов (J) в настоящее время имеет диплом техника (H_n) и учится (I) на инженера (H_τ). Это суждение можно выразить дифференциальным уравнением, подставляя в выражение (22) либо $I=dJ/dt$, либо $J=\int Idt$, причем в первом случае оно сформулировано в настоящем времени и означает применительно к Иванову, что он уже чем-то является и продолжает учиться, а во втором случае оно сформулировано в прошедшем времени, т. е. что он уже проучился какое-то время в прошлом и продолжает учиться сейчас.

Временная логика. В развернутом виде, подобно системе уравнений (16), набор такого рода суждений составит систему дифференциальных (интегральных) уравнений первого порядка, совместное решение которых представляет собой соответствующее умозаключение, а правила ее преобразования — соответствующую логику. При этом, поскольку суждения, соответствующие выражению (22), касаются не только настоящего, но и прошлого предмета суждения, в такой логике присутствует элемент исторического подхода, требуемого диалектикой. Вместе с тем это еще не диалектическая логика в полном смысле слова, поскольку в ней отсутствует элемент прогнозирования будущего, который будет введен в следующем разделе. Пока же, не выписывая

целиком громоздкую систему уравнений, подобную (16), для какого-либо примера умозаключения, приведем образец одного из уравнений такой системы, которое соответствует суждению: «Суть (H_1) Иванова (J_1) в том, что он в настоящее время холост (n_{11}), но собирается (I_1) жениться (т. е. женится через промежуток времени τ_1) на Петровой (J_2), которая сейчас является его невестой (n_{12}), но собирается (I_2) стать его женой»:

$$H_1=J_1/n_{11}+I_1\tau_1+J_2/n_{12}+I_2\tau_2. \tag{23}$$

В данном суждении, очевидно, $\tau_2=\tau_1$, поскольку женитьба Иванова и замужество Петровой по времени должны совпасть, однако если изменить конец фразы, например на «готовится стать матерью его ребенка», то скорее всего τ_1 должно быть несколько меньше τ_2, хотя возможны и иные отношения между ними.

Вместе с аналогичным суждением о сути (H_2) Петровой (J_2) соотношение (23) составит систему двух дифференциальных уравнений первого порядка, решение которой дает в явном виде зависимость J_1 и J_2 от времени, т. е. представляет собой умозаключение о жизненном пути (биографии) действующих лиц на определенном отрезке времени. Примеры некоторых решений информационных уравнений можно найти в гл. 2, здесь же мы ограничимся этими замечаниями и перейдем к прогностической логике.

Прежде, однако, пользуясь изложенными соображениями, вернемся к вопросу о целостности системы. Нетрудно заключить, что та оценка, которая в § 1 была проделана для статики системы, может теперь быть дополнена оценкой ее кинетической целостности:

$$\alpha(I)=-H_{\tau в}/H_\tau, \tag{5а}$$

где H_τ и $H_{\tau в}$ — соответственно собственная и взаимная сущности установившегося движения системы, т. е. сущности соответствующих информационных токов. Обращаясь к прежнему примеру с журнальными статьями, можно констатировать, что если журнал ежегодно печатает 100 статей из 200 поступивших, то согласно выражению (19) $\tau=$ $=0{,}01$ года, а системная сущность информационного тока $I=$ $=200$ бит/год составляет $H_с=I\tau=2$ бит. Если при этом на каждую из тематик приходится по 50 статей в год, то системная сущность каждой из тематик составит $0{,}25H_с=0{,}5$ бит.

Поскольку фактически журнал печатает по каждой из тематик соответственно 40, 30, 20 и 10 статей в год, то $\tau_1=0{,}025$ года, $\tau_2=$ $=0{,}033$ года, $\tau_3=0{,}05$ года и $\tau_4=0{,}1$ года при одинаковых токах $I_k=$ $=50$ бит/год, чему соответствует $H_1=50\cdot 0{,}025=1{,}25$ бит, $H_2=1{,}67$ бит, $H_3=2{,}5$ бит и $H_4=5$ бит. Таким образом, согласно выражению (5а) кинетическая целостность отдельных тематик составляет $\alpha_1=0{,}75/1{,}25=$ $=0{,}6$; $\alpha_2=0{,}7$; $\alpha_3=0{,}8$; $\alpha_4=0{,}9$, а кинетическая целостность всего журнала $\alpha=(\Sigma H_k-H_с)/\Sigma H_k=0{,}808$.

Нетрудно заключить, что кинетическая целостность журнала значительно превосходит его статическую целостность: $\alpha(J)=0{,}08$, и делает систему устойчивой в целом, несмотря на отрицательную статическую целостность отдельных тематик, которые и сохраняются в журнале только благодаря большому запасу положительной кинетической целостности.

Отметим в заключение, что результирующая оценка, учитывающая как статическую, так и кинетическую целостность системы, определяется соотношением

$$\alpha(J,\ I)=-\frac{H_{nв}+H_{\tau в}}{H_n+H_\tau}. \tag{5б}$$

3. УПРАВЛЕНИЕ В ПРОИЗВОЛЬНЫХ СИТУАЦИЯХ

Ригидность. Как отмечалось, диалектика требует не только рассмотрения всякого явления в его становлении и развитии, т. е. не только историчности, но и прогностичности суждения, рассмотрения явления в его возможном дальнейшем развитии в будущем. Так, характеризуя того или иного человека, мы должны не только констатировать, что он, к примеру, является техником (H_n) и учится ($I=dJ/dt$) на инженера, но и оценить его намерения (dI/dt) продолжать или прекратить свое образование, т. е. оценить вероятность того, что он не прекратит обучение в ближайшем будущем. Способность человека сохранять верность своим целям, т. е. способность эволюционировать с постоянной скоростью, несмотря на возникающие помехи, именуют ригидностью. Это качество далеко не однозначно и может выполнять как положительную роль, например в борьбе с помехами, так и отрицательную роль, например препятствуя быстрой перестройке для достижения иных целей, нежели те, которым была посвящена предшествующая деятельность. В первом случае применительно к человеку ригидность часто называют стойкостью, целеустремленностью, а во втором случае — косностью, догматизмом. Поскольку эти термины несут отпечаток субъективного отношения и применяются только к людям, мы далее будем пользоваться только нейтральными терминами «ригидность» и «индуктивность», трактуя их как синонимы и обозначая L.

Вновь возвращаясь к ранее рассмотренному примеру, в котором иностранец должен был идентифицировать русские буквы, представим себе, что он впервые приступает к этой работе и должен для достижения предельного для себя темпа предъявления букв $1/\tau$ прежде выработать определенные навыки.

Понятно, что по мере выработки навыков предельный темп предъявления букв будет все время возрастать от нуля до $1/\tau$ в конце. Если принять, что выработка навыков происходит с постоянной скоростью и занимает время Δt, то предельное для данного индивида ускорение темпа предъявления букв составит $1/(\tau\Delta t)=1/t^2_{у}$, а величина, обратная этому предельному ускорению, и есть индуктивность L, которая очевидно имеет размерность квадрата времени. Более точно $L=t^2_{у}$, поскольку в линейных цепях вероятность p того, что реальное ускорение dI/dt процесса меньше предельного, подчиняется закону $p=\exp(-L \ln 2dI/dt)=2^{-LdI/dt}$, откуда согласно выражению (3)

$$H_L=LdI/dt. \tag{24}$$

Соотношение (24) относится к суждениям типа: «Способность Иванова проявлять настойчивость H_L (волю) в условиях помех dI/dt составляет L». Применительно к техническим системам выражение (24) характеризует инерционность механического или электрического происхождения, а применительно к человеку — его волевые качества, так что H_L — есть логарифм вероятности того, что целенаправленная система сохранит движение к цели, а человек преодолеет препятствия на своем пути. В форме (24) речь идет лишь о намерениях, желаниях, воле к чему-либо без непременной актуализации этих намерений, зато сочетание (24) и (19) констатирует не только намерение, но и движение к цели:

$$H=H_\tau+H_L=I\tau+LdI/dt. \tag{25}$$

Но, конечно, наиболее полное, даже исчерпывающее суждение, присущее диалектической логике, возможно лишь с учетом настоящего,

прошлого и вероятного будущего исследуемого объекта, т. е. с учетом выражений (13), (19) и (24):

$$H=H_n+H_\tau+H_L=\frac{1}{n}\int Idt+I\tau+LdI/dt. \tag{26}$$

Форма (26) присуща, в частности, характеристикам, которые даются администрацией и общественными организациями тому или иному своему работнику, претендующему на повышение в должности.

В них сначала приводятся биографические данные (прошлое H_n) работника, затем характеризуется исполняемая в данный момент работа (настоящее H_τ) и, наконец, оценивается его способность исполнять будущую работу H_L. Суждение (26) позволяет делать ряд умозаключений на основе изучения и решения этого дифференциального уравнения, т. е. сводит формализм диалектической логики к математическим операциям.

В частности, как известно, динамическая система, описываемая линейным дифференциальным уравнением второго порядка (26), склонна к колебаниям информационного тока, т. е. к колебаниям в своем движении к цели, в тем большей степени чем меньше τ и n и чем больше L; при $L=0$ [см. выражение (22)] при внезапном исчезновении непосредственного стимула система начинает отрабатывать назад, т. е. удаляться от цели стимулирования; в том же случае, но при $n=0$ [см. выражение (25)], система постепенно перестает двигаться к цели, но не возвращается к исходному состоянию; при $n=\infty$ и $\tau=0$ [см. выражение (24)] система самостоятельно продолжает работу в том же темпе, в каком ее застало исчезновение стимула, и т. д. Все эти умозаключения делаются посредством математического аппарата и демонстрируют тот факт, что математика по существу представляет собой достаточную основу для автоматизации весьма сложного поведения.

Отметим, что точно так же, как мы представляли системную емкостную суть H_n более подробно в виде суммы собственной и взаимных емкостных сущностей, а системную активную (кинетическую) суть H_τ — в виде суммы собственной и взаимных активных сущностей, может быть представлена и системная индуктивная сущность:

$$H_L=H_с+H_в=L_с dI/dt+L_в dI'/dt, \tag{27}$$

где $L_с$ — собственный ток элемента системы; I' — приведенный ток всех других элементов системы, индуктивно связанных с рассматриваемым элементом.

Если $L_с$ характеризует собственные качества элемента системы (например, человека), рассматриваемого вне связи с другими элементами, то $L_в$ характеризует такие качества элемента, как способность к совместной работе (совместимость) с другими элементами, уживчивость, способность считаться с чужим мнением или поведением (или противостоять им), и т. п., т. е. относится к суждениям типа: «Подходящий (неподходящий) элемент».

Ввиду всего изложенного, с учетом того, что в общем случае n, τ и L могут быть функциями тока, система уравнений (26) представляет собой универсальную диалектическую модель бытия, пригодную для исчерпывающего описания логики системы с сосредоточенными параметрами любого происхождения и структуры, исследование которой исчерпывается формальным математическим аппаратом. Так, например, логика экономической системы с позиций информационного подхода должна описываться системой развернутых уравнений типа (26) в виде:

$$H_1 = J_1/n_{11} + \cdots + J_m/n_{1m} + I_1\tau_{11} + \cdots + I_m\tau_{1m} +$$
$$+ L_{11}dI_1/dt + \cdots + L_{1m}dI_m/dt;$$
$$\dots\dots\dots\dots\dots$$
$$H_m = J_1/n_{m1} + \cdots + J_m/n_{mm} + I_1\tau_{m1} + \cdots + I_m\tau_{mm} +$$
$$+ L_{m1}dI_1/dt + \cdots + L_{mm}dI_m/dt,$$

где H_k — относительная цена (в битах) единицы продукта $J_k = \int I_k dt$; I_k — выпуск в битах (т. е. в штуках) продукта J_k в единицу времени; n_{ik} — емкость рынка для i-го продукта при наличии k-го продукта; τ_{ik} — время производства одной штуки i-го продукта при условии параллельного выпуска k-го продукта и при максимальной производительности труда; наконец, L_{ik} — взаимозаменяемость (взаимообусловленность) i-го и k-го продуктов; L_{kk} — влияние привычек (инерции) потребителей на сбыт k-го продукта.

Решение такой системы позволяет грамотно спланировать динамику выпуска продукции $I_k = f_k(t)$ для любой предписанной программы изменения цен $H_k = \varphi_k(t)$, а ее анализ позволяет определить устойчивость экономики, совместность и избыточность тех или иных продуктов и т. п.

Диалектическая целостность. С позиций изложенного можно говорить о динамической целостности системы $\alpha(dI/dt)$, определяемой влиянием ускорения dI/dt (замедления) эволюции каждой из ее частей на эволюцию системы как целого. При этом взаимная суть системы может определяться как взаимной индуктивностью частей, так и схемным взаимодействием их собственных индуктивностей. Как бы то ни было, динамическая целостность при всех обстоятельствах определятся соотношением

$$\alpha(dI/dt) = -H_{L\text{в}}/H_L. \qquad (5\text{в})$$

Продолжая рассмотрение примера с журнальными статьями, можно на этом основании заключить, что если пропускная способность журнала выросла за год от 90 до 100 статей в год, а пропускные способности отдельных тематик изменились за то же время соответственно от 30 до 40, от 25 до 30, от 18 до 20 и от 17 до 10 статей в год, то согласно выражению (24) индуктивности (ригидности) журнала и отдельных тематик составят: $L_c = 0{,}1$ год^2; $L_1 = 0{,}1$ год^2; $L_2 = 0{,}2$ год^2; $L_3 = 0{,}5$ год^2; $L_4 = -0{,}143$ год^2.

Если при этом поток статей, поступающих в журнал, изменился за год от 150 до 200 статей в год, а по отдельным тематикам соответственно от 35 до 50, от 35 до 50, от 40 до 50 и от 40 до 50 статей в год, то согласно выражению (24): $H_c = 0{,}1 \cdot 50 = 5$ бит; $H_1 = 1{,}5$ бит; $H_2 = 3$ бит; $H_3 = 5$ бит; $H_4 = -1{,}43$ бит.

Поскольку на каждую из тематик априорно приходится по 0,25 $H_c = 1{,}25$ бит, то согласно формуле (5в) динамическая целостность отдельных тематик составит: $\alpha_1 = (1{,}5-1{,}25)/1{,}5 = 0{,}167$; $\alpha_2 = 0{,}583$; $\alpha_3 = 0{,}75$; $\alpha_4 = 1{,}87$, а целостность всего журнала α $(dI/dt) = 0{,}368$.

Динамическая целостность сама по себе характеризует лишь частное явление, одну сторону процесса. Полностью и всесторонне диалектический переход количества частей в новое качество целого характеризует только диалектическая целостность системы, включающая все рассмотренные частные оценки:

$$\alpha(J,\ I,\ dI/dt) = -\frac{H_{n\text{в}} + H_{\tau\text{в}} + H_{L\text{в}}}{H_n + H_\tau + H_L} = 11{,}64/20{,}49 = 0{,}568, \qquad (5\text{г})$$

где

$$H_n = -\sum_k p_k \log p_{nk} = J/n; \qquad H_\tau = -\sum_k p_k \log \frac{p_k - p_{nk}}{p_{nk}} = I\tau;$$

$$H_L = -\sum_k p_k \log \frac{p_k}{p_k - p_{nk}} = L dI/dt$$

(p_k — вероятность k-го состояния с учетом динамики системы; p_{nk} — вероятность того же состояния в установившемся режиме, в статике).

Из этих выражений следует, что если сущность системы в статике (H_n) всегда положительна, а статическая целостность не превосходит единицу, то кинетическая (H_τ) и динамическая (H_L) сущности могут быть как положительные, так и отрицательные, а соответственные оценки целостности могут быть как меньше единицы, так и больше ее, что как раз имело место в последнем примере ($\alpha_4 > 1$).

Таким образом, системы любой природы тем совершеннее и устойчивее, чем больше их целостность. Отрицательно целостные (парадоксальные) системы неустойчивы и тяготеют к распаду. Наконец, ускоренно развивающиеся системы потенциально обладают большей целостностью и устойчивостью, нежели системы, застывшие в своем развитии.

Управление. Понятно, что объектом управления могут быть лишь системы, имеющие более одного состояния, причем одно (или несколько) из этих состояний, отвечающее оптимуму существования управляющей системы, выступает как цель управления.

В зависимости от условий, в которых осуществляется управление, цель может быть достигнута с вероятностью $p_\text{ц}$, в общем случае меньшей единицы, так что соответствующее желаемой цели состояние системы даже вследствие управления все же имеет некоторую неопределенность, оцениваемую энтропией (сутью) [см. выражения (1), (2)]: $H_\text{ц} = -\sum_k p_{\text{ц}k} \log p_{\text{ц}k}$. Если до управления система характеризовалась сутью $H_0 = -\sum_k p_{0k} \log p_{0k}$, где p_{0k} — вероятность состояний системы до управления ими, то сущность управления составляет $\Delta H = H_0 - H_\text{ц}$, причем согласно формуле (26) только часть сути управления относится к его результату (статике системы), в то время как другая часть связана с процессом установления нужного результата (с динамикой системы).

Сущность H системы и есть тот функционал ее существования, который подлежит оптимизации в процессе управления. Поскольку, однако, сущность связана с образованием понятия, то управление на таком уровне присуще лишь системам, обладающим сознанием или имитирующим его (искусственный интеллект), примитивные организмы и обычные технические системы способны лишь к управлению на уровне оптимизации ощущений (чувствительной информации J) либо на уровне оптимизации восприятий и представлений **J**, что характерно, например, для художественного творчества.

ГЛАВА ВТОРАЯ

ИНФОРМАЦИЯ В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ

4. ЦЕПНЫЕ СТРУКТУРЫ СИСТЕМ

Источники и потребители информации. Под информационной цепью понимается совокупность взаимодействующих источников, преобразователей и потребителей информации.

С практической точки зрения наибольший интерес представляют информационные цепи систем управления, понимаемых в самом широком смысле как целеустремленные биологические, социальные и автоматические системы. Например, информационная цепь системы управления дыханием высших животных состоит из нервного центра управления дыханием, выполняющего функции источника информации, нервных волокон, передающих управляющую информацию легочной мускулатуре, самой этой мускулатуры, выступающей в роли потребителя управляющей информации (информационной нагрузки), и потоков крови, доставляющих в центр управления информацию о насыщенности кислородом и выполняющих функции обратной связи.

Примером информационной цепи социальной системы управления может служить структура государственного управления, где законодательные органы выступают в качестве источников управляющей информации для исполнительной власти, выполняющей в этом случае роль информационной нагрузки, а отчеты местных органов, газетные репортажи и статьи и реакция избирателей обеспечивают обратный поток информации к законодательным органам. Наконец, информационная цепь автоматической системы управления состоит из регулятора, служащего источником управляющей информации для объекта управления, выступающего в роли информационной нагрузки, и устройств обратной связи, обеспечивающих поток информации от объекта управления к регулятору.

В общем случае информационные цепи представляют собой довольно сложные, сильно разветвленные многоконтурные иерархические структуры, подобные системам государственного управления или системам управления жизнедеятельностью биологических образований. Однако в простейшем случае элементарная информационная цепь состоит из одного источника информации (рис. 3), одного потребителя информации (информационной нагрузки) и связывающих их проводников информации (информационных каналов).

Такие информационные цепи всегда замкнуты на источник либо посредством каналов прямой и обратной связи, либо (в отсутствие одного из них) посредством логических связей между источником и нагрузкой. Так, при отсутствии обратной связи в некоторых системах, программного управления ее роль выполняет уверенность в предопределенности поведения объекта под воздействием программы.

Напротив, в чисто познавательных (измерительных) системах, где отсутствует канал воздействия на объект познания (прямая связь), его функции компенсируются установлением логических связей между познающим объектом и объектом познания по мере изучения последнего. Наконец, в отсутствие казалось бы заметной связи между источником и приемником связь между ними обеспечивает интуиция.

Состояние окружающей нас материи характеризуется некоторой неопределенностью, или энтропией, $H_0 = -\log p_0$, которая, как показано в гл. 1, выступает в роли информационного потенциала (сути) события, априорная вероятность которого равна p_0. Целью и смыслом всякого управления является изменение в ту или иную сторону этой априорной вероятности события до некоторого нового значения $p_{усл}$, которому соответствует новое значение потенциала $H_{усл} = -\log p_{усл}$, где $p_{усл}$ — вероятность события при условии управления им.

Таким образом, сущность управления, осуществляемого источником информации, может быть охарактеризована некоторым информационным напряжением:

$$\Delta H = H_0 - H_{усл} = \log \frac{p_{усл}}{p_0}. \qquad (28)$$

В управленческой деятельности, представляющей наибольший прикладной интерес, источниками информации являются обычно люди, коллективы людей либо соответствующие технические устройства. Так, оператор, управляющий прокатным станом, является источником управляющей информации, напряжение которого равно логарифму отношения вероятности успешной работы оператора к вероятности успешной работы стана при устранении оператора. Точно так же министерство является источником управляющей информации для отрасли, имея информационное напряжение, определяемое вероятностями выполнения отраслью государственного плана при наличии и при устранении всего управленческого аппарата министерства. Наконец, система программного управления станком является источником информации, напряжение которого определяется вероятностями успешного выполнения станком нужной операции при наличии и при отсутствии соответствующей программы.

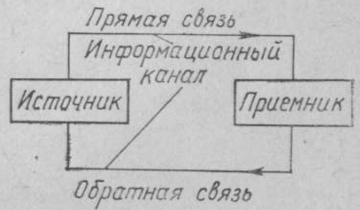

Рис. 3. Цепь управления

Из соотношения (28) можно сделать вывод, что информационное напряжение (суть) источника ΔH может быть как положительным, когда его целью является увеличение вероятности события, так и отрицательным, когда его целью является снижение вероятности события. Если же $p_{усл} = p_0$, то напряжение источника равно нулю, т. е. его роль в управлении несущественна, и он бесполезен.

Естественно, что эффективность источника зависит от того, насколько быстро он выдает управляющую информацию при изменении состояния нагрузки. Запаздывание, имеющееся в источнике, обесценивает выданную им управляющую информацию и выполняет функции внутреннего информационного сопротивления источника.

Действительно, если при стрельбе по быстродвижущимся целям источник управляющей информации медленно вычисляет координаты целей, то может оказаться, что когда он их выдаст, цель окажется уже вне пределов досягаемости средств поражения, т. е. напряжение такого источника упадет практически до нуля и он будет бесполезен, хотя чисто теоретически, без учета запаздывания, он вычислял бы координаты целей со сверхвысокой точностью и на холостом ходу в отсутствие целей обладал бы весьма высоким напряжением. Это напряжение источника, которым он обладает на холостом ходу, без информационной нагрузки, иными словами, без учета внутреннего сопротивления (запаздывание в источнике), мы будем называть информодвижущей логикой (ИДЛ) источника и обозначим ее h. При наличии нагрузки информационный ток I создает падение напряжения на внутреннем сопротивлении $\tau_в$ (рис. 4), которое снижает h до рабочего напряжения на величину $I\tau_в$, так что

$$\Delta H = h - I\tau_в. \tag{29}$$

Таким образом, чем больше запаздывание в источнике, т. е. чем больше времени занимает процесс переработки информации и принятия решения, тем меньше его напряжение по сравнению с ИДЛ, т. е. тем меньше он способен изменить вероятность достижения цели управления. Кроме того, этот дефект еще усугубляется по мере увеличения нагрузки, т. е. по мере роста информационного тока. Поэтому при проектировании источника для работы на определенную нагрузку (на заданный информационный ток) приходится с учетом внутреннего сопротивления завышать его ИДЛ на $I\tau_в$ с целью обеспечить заданную вероятность нужного события.

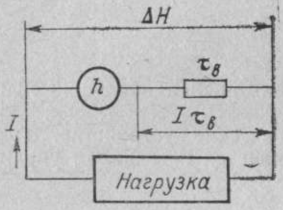

Рис. 4. Простая цепь

Переписав выражение (29) в форме

$$p_{усл} = p_{ИДЛ}\, 2^{-I\tau_в}, \tag{30}$$

получим, что для больших информационных токов источники с заметным внутренним сопротивлением (запаздыванием) $\tau_в$ могут обеспечить лишь сравнительно низкую вероятность $p_{усл}$ желаемого события. Поскольку, однако, любые рельные источники информации (люди и ЭВМ) обладают конечным информационным сопротивлением, рассмотрим способы его уменьшения посредством схемных ухищрений, пока же отметим, что применительно к человеку ИДЛ характеризует его потенциальные творческие возможности при практически неограниченном времени, отведенном для принятия решений.

Что касается внутреннего информационного сопротивления человека, то оно характеризует только быстроту соображения, например скорость арифметических операций, вне зависимости от потенциальных возможностей индивида. Информационное же напряжение человека как источника информации определяется согласно выражению (29) совокупным действием этих факторов. В результате часто весьма одаренные, но с замедленной реакцией люди оказываются беспомощными при оперативном управлении быстроизменяющимися ситуациями, обеспечивая согласно формуле (30) лишь сравнительно низкую вероятность достижения цели управления. Напротив, люди даже весьма ограниченные, но решительные и с хорошей реакцией, обладая низким информационным сопротивлением, способны при ограниченных значениях информационных токов обеспечить в соответствии с уравнением (30) довольно успешное оперативное управление.

Однако положение изменяется радикальным образом, когда речь заходит о стратегическом планировании, на которое отводится достаточно времени, чтобы информационные токи были малы, а потери напряжения $I\tau_в$ даже при значительных $\tau_в$ оставались несущественными. В этом случае согласно выражению (29) $\Delta H \approx h$ и $p_{усл} \approx p_{ИДЛ}$

Таким образом, здесь быстрота соображения не играет существенной роли, а высокая вероятность достижения цели обеспечивается только ИДЛ, т. е. только талантом и опытом человека. Эти соображения следует принимать во внимание при распределении кадров по ступеням управленческой иерархии, на вершине которой принимаются относительно нечастые, зато весьма ответственные решения, а на нижних ступенях, напротив, принимаются относительно не слишком важные решения, зато в большом количестве и в ограниченное время.

Соединения источников и приемников информации. В процессе работы часто приходится комбинировать соединение элементарных источников информации либо с целью увеличения ИДЛ, либо с целью

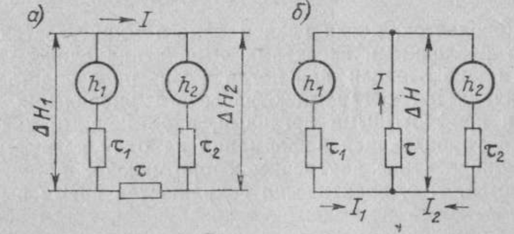

Рис. 5. Соединение источников

увеличения пропускной способности. При этом применяют соответственно последовательное или параллельное соединение элементарных источников. При последовательном соединении (рис. 5,*а*) через источники и нагрузку течет один и тот же информационный ток I, а их результирующее информационное напряжение равно сумме напряжений отдельных источников:

$$\Delta H = \Delta H_1 + \Delta H_2,$$

что увеличивает вероятность достижения желаемого события, так как

$$\log \frac{p_2}{p_0} = \log \frac{p_1}{p_0} + \log \frac{p_2}{p_1} > \log \frac{p_1}{p_0},$$

где $p_1 < p_2$.

Вместе с тем последовательное соединение источников приводит к увеличению их суммарного внутреннего сопротивления: $\tau_в = \tau_1 + \tau_2$, и эффективно только в том случае, если суммарная задержка решения в источниках значительно меньше информационного сопротивления нагрузки τ, представляющего собой время реакции исполнительного органа (время ощутимых изменений управляемого процесса: $\tau \gg \tau_в$). В этом случае $I = (h_1 + h_2)/\tau$; в противном случае, т. е. при $\tau_в \gg \tau$, последовательное соединение источников ничего не дает, так как информационный ток не изменяется, что хорошо видно при одинаковых источниках:

$$I = (h_1 + h_2)/(\tau_1 + \tau_2) = 2h_1/(2\tau_1) = h_1/\tau_1.$$

Это обстоятельство нужно учитывать при организации источников, в которых отделы (люди или автоматы) последовательно во времени осуществляют экспертизу (визируют) с разных точек зрения подготовленное одним из них решение, что, с одной стороны, повышает ИДЛ источника (вероятность достижения цели управления), но, с другой стороны, при длительной бюрократической волоките ($\tau_в \gg \tau$) в вышестоящих контрольных органах может сделать бессмысленным существование последних, так как они, не увеличивая информационного тока, экономически обременительны.

В общем случае соизмеримых информационных сопротивлений источников и нагрузки с учетом выражения (29) имеет место следующее основное соотношение:

$$I = \frac{h_1 + h_2}{\tau + \tau_1 + \tau_2} = \frac{\Delta H_1 + \Delta H_2}{\tau}. \quad (31)$$

При параллельном соединении источников (рис. 5,*б*) они работают с одинаковым напряжением ΔH, а в нагрузку поступает их суммарный ток

$$I = I_1 + I_2.$$

Такое наблюдается, когда главки одного министерства параллельно управляют различными аспектами выполнения единого общего для министерства плана отрасли или когда жизнь производственного предприятия направляется органами отраслевого управления, советскими, партийными и профсоюзными органами, работающими как параллельные источники управляющей информации на одну нагрузку. В результате этого эквивалентное внутреннее сопротивление источников значительно снижается, т. е. практически сокращается время выработки ими управляющих решений по сравнению со случаем, когда всю разнородную управляющую информацию должен выдать лишь один из перечисленных источников.

Действительно, если ИДЛ$_1$=ИДЛ$_2$=ИДЛ, то имеют место соотношения $I_1\tau_1 = I_2\tau_2 = I\tau_в$, где $I = I_1 + I_2$, а $\tau_в$ — эквивалентное внутреннее сопротивление источников.

Из этих соотношений, исключая токи, можно получить

$$\tau_в = \frac{\tau_1\tau_2}{\tau_1 + \tau_2} \quad \text{или} \quad 1/\tau_в = 1/\tau_1 + 1/\tau_2. \quad (32)$$

Отсюда следует, что внутреннее сопротивление источников, соединенных параллельно, с одинаковыми ИДЛ меньше любого из них, взятого в отдельности, и что их эквивалентная проводимость (величина, обратная сопротивлению) равняется сумме проводимостей каждого из них.

При этом ток через нагрузку

$$I = h/(\tau_в + \tau).$$

Это явно больше, чем в состоянии обеспечить один источник при той же нагрузке τ:

$$I_1 = h/(\tau_1 + \tau) < I.$$

Однако этот эффект имеет место, только если внутренние сопротивления источников соизмеримы с сопротивлением нагрузки. В противном случае, когда $\tau \gg \tau_в$, источники, соединенные параллельно, дают такой же ток, как и каждый из них в отдельности.

Отметим, что, как следует из схемы рис. 5,*б*, параллельное соединение источников только тогда выполняет свою роль, когда источники имеют равные ИДЛ, т. е. равнокомпетентны в деле управления. В противном случае тот из них, компетентность которого ниже других, сам становится для них нагрузкой и потребляет (вместо того, чтобы выдавать) управляющую информацию, не только шунтируя основную нагрузку, но и перегружая остальные источники управляющей информации. Такое положение нередко складывается, когда в одной из перечисленных сфер параллельного управления оказываются люди, не имеющие соответствующей профессиональной подготовки.

Рассмотрим, например, случай управления энергосистемой двумя или большим числом равноправных, параллельно работающих диспетчеров. Если все они равнокомпетентны, т. е. если вмешательство любого из них увеличивает вероятность успешной работы на одну и ту же величину, то их совместная параллельная работа ускоряет управление, уменьшая согласно выражению (32) внутреннее сопротивление диспетчерского пункта во столько раз, сколько там диспетчеров. Если же один из них имеет низкую квалификацию или недостаточный опыт, т. е. если его вмешательство увеличивает вероятность успешного управления в меньшей степени, чем вмешательство каждого из остальных диспетчеров, то остальные вынуждены взять на себя часть его работы, что за счет перегрузки приводит к снижению их потенциала до уровня низкоквалифицированного диспетчера, который в этой ситуации выступает в роли дополнительной нагрузки для них, параллельной обычным объектам управления.

Действительно, для источников с различными ИДЛ имеем

$$h_1 - I_1\tau_1 = h_2 + I_2\tau_2 = I\tau$$

при условии, что $h_1 > h_2$.

При этом условии ток I_2 течет не из источника, а в источник с ИДЛ$_2$ как в нагрузку. Из приведенных соотношений с учетом $I = I_1 - I_2$ имеем:

$$I = \frac{h_1\tau_2 + h_2\tau_1}{(\tau_2 + \tau_1)\tau + \tau_1\tau_2} \quad \text{и} \quad I = \frac{h_1\tau_2 + h_2\tau_1}{(\tau_1 + \tau_2)\tau}, \quad (33)$$

если $\tau \gg \tau_1 + \tau_2$.

Выражения (33) доказывают, что ток через нагрузку при параллельной работе на нее источников с различными ИДЛ всегда меньше, чем ток при работе на ту же нагрузку только одного источника с большей ИДЛ$_1$.

Кроме того, этот источник, работая на бóльшую нагрузку в паре с другим, перегружается последним, так как вынужден генерировать ток

$$I_1 = \frac{h_1 - h_2}{\tau_1 + \tau_2},$$

который при всех обстоятельствах больше тока от этого источника в отсутствие параллельного ему:

$$I'_1 = \frac{h_1}{\tau + \tau_1} < I_1.$$

Наконец, можно подсчитать, что источник, соединенный параллельно, снижает первоначальное напряжение источника с большей ИДЛ$_1$ по сравнению с работой его только на нагрузку на

$$\Delta H = (I_1 - I'_1)\tau_1 = \frac{(h_1 - h_2)\tau_1}{\tau_1 + \tau_2}.$$

Если $\tau_1 = \tau_2$, то $\Delta H = 0{,}5(h_1 - h_2)$, т. е. снижение большего напряжения составит половину разницы ИДЛ источников.

Таким образом, параллельная работа различных источников допустима лишь при условии их равной компетентности в вопросах управления, что не обязательно подразумевает эквивалентность их образования или положения в социальной структуре. Например, составитель программы для станка с программным управлением и уборщик, очищающий станок от стружки, окажутся равнокомпетентными, т. е. имеющими одинаковые ИДЛ, если вероятность сбоев в работе станка из-за ошибок программы окажется равной вероятности сбоев из-за попадания стружки в систему управления.

Нетрудно себе представить, что не только источники, но и информационные сопротивления (нагрузки) могут быть соединены как последовательно (рис. 6,*а*), так и параллельно (рис. 6,*б*).

При этом под последовательным соединением нагрузок понимается не схемная, а временная последовательность поступления информации в нагрузки, что характерно для временной селекции. О последовательном соединении можно говорить только тогда, когда информация от источника либо сначала поступает в первую нагрузку и лишь после

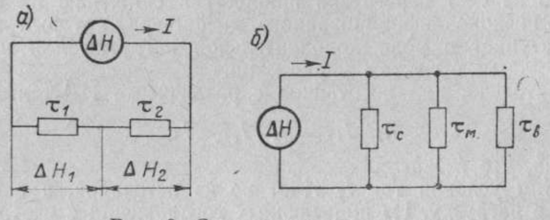

Рис. 6. Соединение приемников

выполнения программы — во вторую, либо когда одна из нагрузок после выполнения всей программы сама передает ее другой нагрузке.

Так или иначе, общее время работы последовательно соединенных нагрузок должно равняться сумме времен отработки своих программ отдельными нагрузками, так что для схемы рис. 6,*а*: $\tau=\tau_1+\tau_2$.

Иными словами, при последовательном соединении нагрузок их информационные сопротивления должны складываться. При этом напряжение источника распределяется между нагрузками пропорционально их сопротивлениям:

$$\Delta H_1=I\tau_1;\quad \Delta H_2=I\tau_2;\quad \Delta H=\Delta H_1+\Delta H_2;$$

$$I=\Delta H/\tau,\ \Delta H_1/\Delta H=\tau_1/\tau;\ \Delta H_2/\Delta H=\tau_2/\tau. \qquad (34)$$

Например, если для выполнения поставленной цели — разгрома вражеской группировки — наступающим вдоль железной дороги войскам необходимо захватить последовательно расположенные на этой дороге опорные пункты *А*, *Б* и *В*, то, получив приказ о взятии пункта *А*, войска затратят на его штурм время τ_A, прежде чем получат приказ о взятии пункта *Б*, на что тоже потребуется время $\tau_Б$.

Наконец, получив приказ о взятии пункта *В* и затратив на его штурм время $\tau_В$, войска выполнят задачу, общее время выполнения которой $\tau_A+\tau_Б+\tau_В$. При этом очевидно, что чем важнее опорный пункт, тем лучше он укреплен и тем больше времени потребуется для его штурма, но зато и тем больший вклад его успешное взятие вносит в дело выполнения всей задачи по разгрому группировки врага, т. е. тем сильнее изменение вероятности достижения цели и, соответственно, информационного напряжения. В частности, если все опорные пункты равнозначны и на их штурм затрачивается одинаковое время τ, а вероятность того, что, не получая приказов и не зная цели наступления, войска сами займут нужный опорный пункт, составляет *p*, то можно вычислить, что отношение информационного сопротивления τ к общему информационному сопротивлению 3τ составит 1/3, а отношение изме-

нения напряжения при штурме каждого пункта $\Delta H_k=-\log p$ к напряжению всей операции $\Delta H=-\log p^3=-3\log p$ также равно 1/3, что, с одной стороны, подтверждает соотношение (34), а с другой стороны, требует от командования, согласно выражению (13), в три раза большего запаса информации, чем при штурме одного опорного пункта.

При параллельном соединении нагрузок речь идет о том, что несколько исполнительных органов, каждый из которых в состоянии в одиночку достичь цели, одновременно получают управляющую информацию и одновременно исполняют операции, необходимые для достижения цели (рис. 6,*б*), соответственно сокращая время ее достижения.

Так, если войскам, подступившим к морскому порту с суши для захвата порта, необходимо время $\tau_с$, морскому десанту для этого требуется время $\tau_м$, а воздушному десанту — время $\tau_в$, то все вместе они возьмут порт значительно скорее, чем каждый в отдельности.

Действительно, поскольку информационный потенциал порта $\Delta H=-\log p$, где *p* — вероятность захвата без приказа не зависит от рода штурмующих войск, то очевидно соотношение:

$$\Delta H=I_с\tau_с=I_м\tau_м=I_в\tau_в,$$

из которого следует, что информационные токи, связанные с тем или иным родом войск, обратно пропорциональны их информационным сопротивлениям:

$$I_с/I_м=\tau_м/\tau_с;\quad I_м/I_в=\tau_в/\tau_м;\quad I_с/I_в=\tau_в/\tau_с, \qquad (35)$$

или, иными словами, их эквивалентная информационная проводимость, обратная эквивалентному информационному сопротивлению τ параллельного соединения информационных нагрузок, равна сумме информационных проводимостей отдельных нагрузок:

$$1/\tau=1/\tau_с+1/\tau_м+1/\tau_в. \qquad (35а)$$

Естественно, при этом источник должен обеспечить ток, равный сумме токов отдельных нагрузок: $I=I_с+I_м+I_в$, т. е. управление одновременным наступлением нескольких родов войск требует от командования переработки за меньшее время такого же объема информации, как при наступлении одного рода войск.

В качестве параллельных основной нагрузке могут выступать всякого рода утечки информации. В такой роли нередко оказываются всевозможные контролирующие органы, которые иногда настолько перегружают источник составлением для них справок и отчетов, что он снижает свое напряжение, т. е. снижает вероятность достижения цели своим управлением, поскольку не в состоянии параллельно обеспечивать информацией объект управления и контрольные органы, и делает это в ущерб управлению. Конечно, когда такая параллельная работа запланирована заранее, т. е. когда источник выбран в расчете на такую нагрузку, а контролирующие органы не превышают своих полномочий, напряжение источника соответствует требуемой вероятности достижения цели (надежности управления), но за счет выработки им избыточного (не необходимого для управления) информационного тока $I_и$. Это можно обеспечить, либо увеличив напряжение источника на $\Delta H=I_и\tau_в$, где $\tau_в$ — внутреннее сопротивление (время реакции) источника информации, либо уменьшив его внутреннее сопротивление до $\tau'_в=\dfrac{I_н\tau_в}{I_н+I_и}$, где $I_н$ — ток, необходимый полезной нагрузке. Первая из указанных мер требует при чисто человеческом управлении использования более квалифицированного управленческого персонала, а вторая — требует увеличения штата сотрудников управления.

Произвольные комбинации источников и нагрузок. Реальные информационные цепи нередко представляют собой сложные переплетения источников и приемников, не сводимые только к последовательным или параллельным соединениям.

Это относится прежде всего к стадным объединениям животных, социальным системам и человеческим коллективам, каждый член которых, являясь одновременно приемником и источником информации, обменивается информацией практически с каждым из остальных членов, образуя сложное переплетение информационных связей.

К подобным цепям применимы информационные законы Кирхгофа, первый из которых выражает закон сохранения информации (принцип непрерывности тока) и формулируется следующим образом: сумма токов, протекающих через любой узел схемы, равна нулю, где под узлом

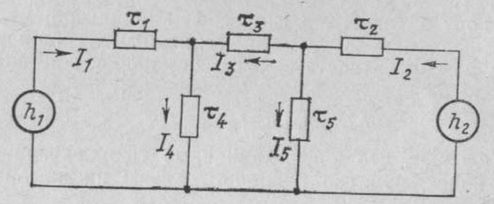

Рис. 7. Пример кооперации

понимается любое пересечение или разветвление проводников информации. Второй закон Кирхгофа выражает основное свойство потенциального поля и гласит, что суммарные падения напряжения по любым путям между двумя узлами равны между собой (не зависят от пути).

Итак, для любого узла информационной цепи

$$\sum_{k=1}^{n} I_k = 0, \tag{36}$$

а для любого контура

$$\sum_{k=1}^{n} \Delta H_k = 0. \tag{37}$$

Рассмотрим применение этих законов на примере схемы рис. 7, которая символизирует межрайонную кооперацию, когда в одних местах (столичные города) имеются мощные источники h_1 проектной и другой управляющей информации, обладающие малым внутренним сопротивлением τ_1, но из-за недостатка рабочей силы ограничены производственными возможностями (большое τ_4), а в других местах (периферия) — иногда ограничены творческие возможности $h_2<h_1$, $\tau_2>\tau_1$, зато имеются значительные производственные резервы $\tau_5<\tau_4$. В этом случае целесообразна кооперация, когда часть разработанных в центрах изделий, реализуется на периферии, причем к времени τ_5 реализации одного изделия на периферии добавляется время τ_3 доставки готового изделия к месту назначения (в центр). Применяя закон (36) к верхним узлам цепи, получим $I_1+I_3-I_4=0$ и $I_2-I_3-I_5=0$, а применяя закон (37) к внутренним контурам, получим $h_1+I_1\tau_1+I_4\tau_4=0$, $-I_4\tau_4-I_3\tau_3+I_5\tau_5=0$, $-I_5\tau_5-I_2\tau_2-h_2=0$.

Эта система из пяти уравнений позволяет найти пять неизвестных токов в ветвях, т. е. рассчитать производительность всех кооперированных звеньев.

5. ПЕРЕХОДНЫЕ РЕЖИМЫ В ИНФОРМАЦИОННЫХ ЦЕПЯХ

Информационные цепи с памятью. Рассмотрим теперь цепи, обладающие способностью запоминать и хранить информацию, извлекая ее при отсутствии иных источников или совместно с ними. Такой способностью обладают не только живые существа, но и ЭВМ, и автоматизированные системы управления, и просто объекты неживой природы. В последнем случае, например, влажная почва «помнит» о прошедшем дожде, а отпечатки на известняке — о давно исчезнувших животных и растениях.

На рис. 8,*а* изображена цепь заполнения памяти с емкостью n от источника информации с напряжением ΔH через сопротивление τ, включающее в себя время заполнения одной ячейки памяти. В непрерывных системах τ соответствует времени заполнения минимально различимой доли памяти.

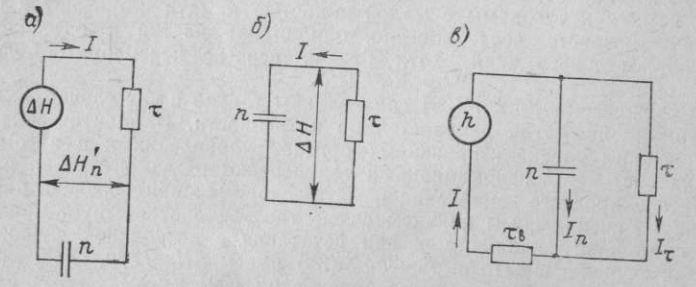

Рис. 8. Цепи с памятью

В такой цепи напряжение источника уравновешивается падением напряжения на информационном сопротивлении τ и напряжением на памяти $\Delta H'_n$: $\Delta H=I\tau+\Delta H'_n$.

При этом поскольку за время заполнения памяти ток будет изменяться, то $I=\int I dt$, а из выражения (13) следует, что

$$\Delta H'_n = \frac{1}{n}\int I dt. \tag{38}$$

Итак, для цепи на рис. 8,*а* имеем

$$\Delta H = I\tau + \frac{1}{n}\int I dt.$$

Решение этого уравнения дает

$$I = \frac{\Delta H}{\tau}\exp-\frac{t}{n\tau}. \tag{39}$$

Введя понятие постоянной времени $T=n\tau$ заполнения памяти, можем теперь заключить, что если в системе отсутствует специальный регулятор информационного тока, последний весьма велик в начале заполнения памяти (например, в детском возрасте у человека) и уменьшается по экспоненте по мере заполнения тем быстрее, чем меньше T, стремясь к нулю в практически заполненной памяти (в преклонном возрасте у человека).

Обычно принято считать, что экспонента достигает установившегося значения, т. е. память заполняется, практически при $t=(3\div5)T$. Следовательно, быстрее всего набираются жизненного опыта, соответствующего предельным возможностям их памяти, люди сообразительные (малое τ), но с малой емкостью памяти (малое n). Такие люди раньше других начинают использовать свои ограниченные знания в практических целях. Напротив, очень долго и медленно приобретают практические навыки тугодумы (большое τ) с большой емкостью памяти (большое n), которые обычно становятся эрудитами, не приспособленными к самостоятельному использованию своих значительных по объему знаний, поскольку все еще (нередко до конца дней) пребывают в стадии заполнения своей памяти. Большинство же людей группируется между этими двумя крайними явлениями, обладая тем или иным промежуточным значением T.

Отметим еще, что с точки зрения времени наступления готовности к практической отдаче знаний сообразительные люди с большой емкостью памяти и тугодумы с малой емкостью памяти созревают в одинаковом возрасте, если, конечно, они имеют доступ к одинаковым источникам информации, хотя отдача первых неизмеримо больше, чем вторых.

Соотношения (38) и (39) справедливы только в тех случаях, когда информационный ток изменяется по потребности. В практической же деятельности специализированных органов управления и в автоматических системах информационный ток нередко регламентирован и постоянен в процессе заполнения памяти, например при передаче информации по специальным каналам связи, где ток соответствует пропускной способности канала, или при печатании с постоянной скоростью. В этих случаях, вместо выражения (38) имеем $\Delta H=IT/n$, где T — время заполнения памяти, а вместо уравнения (39) имеем

$$\Delta H=I(\tau+T/n). \tag{40}$$

Соотношение (40) позволяет определить ток заполнения памяти при заданном времени заполнения и заданной вероятности определенного состояния памяти после заполнения.

Переходя к изображениям по Лапласу и Карсону в выражениях (38) и (39), получим информационную передаточную функцию памяти $\frac{I(s)}{\Delta H'_n(s)}=sn$, которая является идеальным дифференцирующим звеном, и передаточную функцию цепи заполнения памяти (рис. 8,*а*)

$$\frac{I(s)}{\Delta H(s)}=\frac{ns}{Ts+1},$$

справедливые при любом законе изменения напряжения и тока во времени.

Рассмотрим теперь цепь выдачи информации, заполненной памятью (рис. 8, *б*), на внешнюю нагрузку τ. В этом случае $\Delta H=I\tau=$ $=\frac{1}{n}\int I\,lt$, откуда $I=\frac{\Delta H_0}{\tau}\exp-\frac{1}{n\tau}$, что по форме аналогично выражению (39), но ΔH_0 — начальное значение напряжения памяти. Вообще же напряжение памяти уменьшается по мере выдачи информации:

$$\Delta H=I\tau=\Delta H_0\exp(-t/T), \tag{41}$$

и, естественно, обращается в нуль, когда память выдала всю свою информацию по данному поводу и больше не представляет интереса для дела.

В этом случае очевидно, что память считывается тем быстрее, чем она меньше и чем быстрее усваивает информацию нагрузка, т. е. чем меньше τ. Отсюда следует, что потенциал учителя в каждый момент тем больше относительно его учеников, чем больше объем его знаний (емкость памяти) и чем тупее его ученики (большое τ).

Способные ученики быстро выравнивают свой потенциал с потенциалом учителя, так что разность потенциалов (напряжение) быстро падает в соответствии с формулой (41), тем более, если объем знаний учителя относительно невелик.

Обратимся теперь к такой цепи (рис. 8,*в*), когда исполнительный орган помимо выполнения управляющих распоряжений должен еще их запоминать, т. е. работает параллельно памяти. В этом случае

$$h-I\tau_в=I_\tau\tau=\frac{1}{n}\int I_n dt \text{ и } I=I_\tau+I_n,$$

откуда

$$I_\tau=\frac{h}{\tau+\tau_в}\left(1+\exp-\frac{t}{T}\right);$$

$$I_n=\frac{h}{\tau_в}\exp-\frac{t}{T}, \tag{42}$$

где $\tau_в$ — внутреннее сопротивление источника; $T=\frac{n\tau\tau_в}{\tau+\tau_в}$.

Из выражений (42) следует, что в таких условиях ток в нагрузке (рис. 9) и напряжение на ней в момент включения источника равны нулю и экспоненциально возрастают по мере заполнения памяти, достигая наибольшего значения $h/(\tau+\tau_в)$ только после ее заполнения. Напротив, ток в памяти максимален: $h/\tau_в$, в момент включения и уменьшается по мере заполнения памяти вплоть до нуля. Что же касается суммарного тока I, то он все время (рис. 9) несколько уменьшается от $h/\tau_в$ до $h(\tau+\tau_в)$. Таким образом, люди, организации и технические системы, которым приходится обучаться в процессе выполнения работы, вначале малоэффективны в работе, так как большую часть тока отправляют в память, но по мере научения и заполнения памяти они все большую часть управляющего информационного тока реализуют в деле, т. е. на нагрузке τ. Кроме того, на рис. 9 видно, что управление в процессе обучения требует от источника большей мощности, чем управление обучившимся персоналом. При этом поскольку нагрузка и память работают при одинаковом напряжении, то $I_\tau/I_n=C_\tau/C_n$, а значит, вначале и большая часть смысла работы источника направлена на обучение (заполнение памяти) и лишь затем на саму работу, причем этот переход осуществляется тем быстрее, чем меньше информационное сопротивление нагрузки τ и емкость памяти.

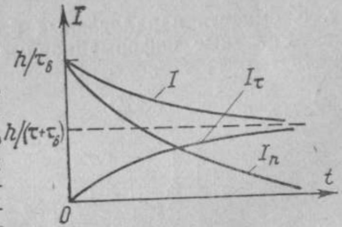

Рис. 9. Процессы запоминания

Передаточная функция, соответствующая выражению (42), имеет вид

$$\frac{I_\tau(s)}{h(s)} = \frac{1}{(\tau + \tau_в)(Ts + 1)},$$

из чего следует, что нагрузка с параллельной памятью является для источника инерционным звеном.

При последовательном соединении двух нагрузок с памятью n_1 и n_2 через них течет одинаковый ток:

$$\Delta H_1 = \frac{1}{n_1}\int I dt; \quad \Delta H_2 = \frac{1}{n_2}\int I dt,$$

откуда $\Delta H_1/\Delta H_2 = n_2/n_1$, т. е. напряжение на последовательных блоках памяти обратно пропорционально их емкостям, а эквивалентная емкость схемы

$$\frac{\int I dt}{\Delta H_1 + \Delta H_2} = \frac{n_1 n_2}{n_1 + n_2} = n, \tag{43}$$

что для одинаковых блоков памяти в два раза меньше, чем емкость каждой из них.

При параллельной работе нагрузок с памятью они имеют одинаковое напряжение:

$$\Delta H = \frac{1}{n_1}\int I_1 dt = \frac{1}{n_2}\int I_2 dt,$$

откуда заключаем, что в каждый момент содержащиеся в блоках памяти информации пропорциональны их емкостям, а эквивалентная емкость всей схемы

$$n = \frac{\int I_1 dt + \int I_2 dt}{\Delta H} = n_1 + n_2, \tag{44}$$

т. е. емкость параллельных блоков памяти равна сумме их емкостей.

Ригидные информационные цепи. Под ригидностью принято понимать (гл. 1) негибкость, неспособность психики человека приспосабливаться к изменяющимся условиям его окружения. Поскольку, однако, эти черты проявляются в управленческих цепях любой природы, включая человеческие коллективы и технические устройства, мы распространим на них термин «индуктивность» наряду с термином «ригидность» для характеристики таких проявлений, как упрямство, привычки, догматичность, консерватизм, неспособность изменять алгоритм своей работы. Несмотря на многообразие перечисленных свойств, внешне все они проявляются в активном противодействии управлению, т. е. в выработке встречного информационного напряжения, противодействующего управлению:

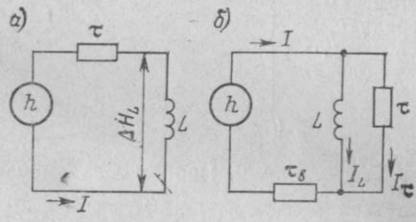

Рис. 10. Ригидные цепи

$$\Delta H_L = L dI/dt,$$

где L — индуктивность, с^2.

Отметим, что в книге [4] ригидность названа также интуитивностью, однако ввиду труднопроизносимости этого слова мы будем употреблять термин «индуктивность».

На рис. 10,*а* показана схема работы управляющего источника на нагрузку, обладающую ригидностью L и сопротивлением τ.

Для этой схемы с учетом выражения (24) имеем:

$$h - I\tau = L dI/dt \text{ или } I = h/\tau[1 - \exp(-t/T)],$$

где $T = L/\tau$ — постоянная времени цепи.

В такой цепи ток в момент подключения управления равен нулю, а затем нарастает по экспоненте вплоть до установившегося значения h/τ, которое не зависит от ригидности. Таким образом, ригидные цепи в установившемся режиме (при постоянном алгоритме работы) ничем не отличаются от цепей без ригидности, но входят в этот режим тем дольше, чем больше их ригидность и чем меньше их информационное сопротивление, поскольку время переходного режима

$$t_п = (3 \div 5) T.$$

Отсюда следует также очевидное соотношение

$$(3 \div 5) L = \tau t_п.$$

Лапласово изображение дифференциального уравнения этой цепи дает

$$\frac{I(s)}{h(s)} = \frac{1}{\tau(Ts + 1)},$$

т. е. передаточную функцию инерционного звена.

Отметим, что ток в нагрузке с ригидностью изменяется так же, как ток в нагрузке с параллельной памятью. Эти токи совершенно равны при условии равенства информационных сопротивлений τ и постоянных времени T, т. е. при условии $\tau^2 n = L$. Однако при обрыве цепи управления т. е. при отключении источника, эти схемы ведут себя по-разному. Если при обрыве цепи управления схема с памятью (рис. 8,*в*) может еще некоторое время управляться по памяти, то цепь с ригидностью становится неуправляемой, но зато она прилагает колоссальные усилия для восстановления управления. Действительно, при обрыве ток от источника практически мгновенно падает до нуля, т. е. $dI/dt \to \infty$. Следовательно, согласно выражению (24) ригидность создает напряжение $\Delta H \to \infty$, которое стремится «пробить» разрыв и восстановить связь с источником.

Таким образом, ригидные цепи, хотя трудно поддаются перестройке, зато весьма стойки к помехам, вызывающим кратковременные случайные изменения тока управления. Стало быть, связанные с привычками проявления ригидности могут быть как положительными, так и отрицательными в зависимости от условий их проявления.

Например, когда православное украинское население Закарпатья попало под власть католических завоевателей, ригидность населения проявилась в борьбе против насильственного насаждения католичества, т. е. практически за сохранение национальной самобытности, что явилось положительным проявлением ригидности. Зато после освобождения от католического засилия ригидность проявилась в том, что Ватикан посредством униатской церкви некоторое время еще оказывал влияние на отсталые слои населения Закарпатья.

Ригидность отдельного человека проявляется прежде всего в том, что он не сразу принимает прогрессивные начинания и согласно выражению (24), тем неохотнее, чем большую новизну они вносят, т. е. чем больше dI/dt. Но она же позволяет ему сохранять свои убеждения, несмотря на случайные трудности и злонамеренную подтасовку фактов враждебной пропагандой.

В самонастраивающихся технических системах ригидность сводится к инерции различной физической природы, которая характеризуется в любых инерционных звеньях постоянной времени T, причем это та же самая постоянная времени, что и в информационной цепи, поскольку речь идет о двух сторонах (информационной и энергетической) одного и того же процесса управления.

Это обстоятельство означает, что нормированные (безразмерные) передаточные функции информационной и энергетической цепей одной и той же системы управления одинаковы по соответствующим каналам.

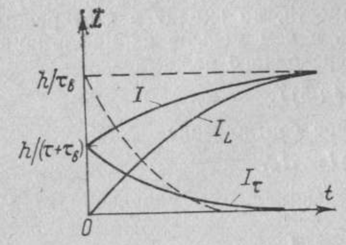

Рис. 11. Процессы приспособления

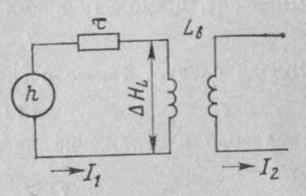

Рис. 12. Индуктивно связанные цепи

На схеме рис. 10,*б* демонстрируется параллельная работа нагрузок, одна из которых практически не обладает памятью и ригидностью, а другая, напротив, обладает столь большой ригидностью, что ее информационное сопротивление и память практически не проявляют себя. Такая схема справедлива, например, тогда, когда двум людям поручают совместно выполнять новое задание, выполнению которого они заранее обучены, но один из них (лабильный) включается в работу немедленно, а другой (ригидный) долго присматривается и настраивается, прежде чем полностью войдет в дело. Зато первого работа совсем не захватывает (он легко переключается на другое), а второй в конце концов настолько увлекается, что работа становится его кровным делом.

Для этой схемы $I=I_\tau+I_L$; $h-I\tau_в=I_\tau\tau=LdI_L/dt$.

Решение этих уравнений имеет вид:

$$I_\tau=\frac{h}{\tau+\tau_в}\exp-\frac{t}{T};$$

$$I_L=\frac{h}{\tau_в}\left(1-\exp-\frac{t}{T}\right),$$

где $T=L(\tau+\tau)(\tau\tau_в)$.

Из полученных решений следует, что в момент включения управляющего источника всю работу принимает на себя лабильный исполнитель (кривая I_τ на рис. 11), а ригидный исполнитель практически не дает отдачи (кривая I_L). Затем картина меняется: все большую часть работы берет на себя постепенно освоившийся ригидный исполнитель, а лабильный, пользуясь этим, постепенно разгружает себя и

в конце концов сбрасывает всю работу на своего увлекшегося коллегу. Несмотря на это, общая их производительность все время постепенно нарастает (кривая I на рис. 11) от $h/(\tau+\tau_в)$ до $h/\tau_в$.

Посмотрим теперь, что произойдет в этой системе, если вдруг отключится управление, т. е. иссякнет поток информации. В таком случае $I=0$; $I_L=-I_\tau$; $I_\tau\tau=LdI_L/dt$, откуда получим

$$I=\frac{h}{\tau_в}\exp\left(-t/T_1\right),$$

где $T_1=L/\tau$.

Это значит, что при отключении управления в установившемся уже режиме ригидный исполнитель не только некоторое время будет продолжать выполнять работу, лишь постепенно, экспоненциально снижая активность (штриховая кривая на рис. 11), но заставит работать в таком же темпе и своего лабильного коллегу, который перед тем совсем было перестал работать.

При последовательном соединении нагрузок с ригидностью L_1 и L_2 через них течет общий ток I:

$$\Delta H_1=L_1dI/dt;\ \Delta H_2=L_2dI/dt,$$

откуда $\Delta H_1/\Delta H_2=L_1/L_2$, т. е. их напряжения пропорциональны ригидностям, а эквивалентная ригидность схемы равна сумме ригидностей отдельных нагрузок:

$$L=\frac{\Delta H_1+\Delta H_2}{dI/dt}=L_1+L_2. \tag{45}$$

При параллельной работе ригидных нагрузок они имеют одинаковое напряжение

$$\Delta H=L_1dI_1/dt=L_2dI_2/dt,$$

откуда следует, что их эквивалентная ригидность составляет

$$L=\frac{\Delta H}{d(I_1+I_2)/dt}=\frac{L_1L_2}{L_1+L_2}. \tag{46}$$

До сих пор речь шла о собственной ригидности объекта управления, являющейся отражением его внутренних особенностей. Между тем, можно обнаружить еще проявления ригидности, вызванные внешними влияниями, когда приверженность определенному поведению (алгоритму) диктуется не привычками и собственными убеждениями, а тем, что «все так делают», или тем, что так поступает лицо (организация), пользующееся непререкаемым авторитетом у объекта управления. Такого рода взаимовлияние информационных цепей мы будем называть взаимной ригидностью. Влияние взаимной ригидности может проявляться не только в согласовании алгоритмов работы различных цепей, но и противоположным образом, когда одна из нагрузок умышленно пользуется алгоритмом, отличным от алгоритмов работы нагрузок в других аналогичных цепях по конкурентным соображениям, из духа противоречия и антипатии, либо из стремления к оригинальности.

Посмотрим, как будет изменяться ток нагрузки, связанной посредством взаимной ригидности $L_в$ с информационным током I_2 в смежной цепи (рис. 12).

Если цепи склонны к взаимному согласованию алгоритмов работы, то мы будем брать ригидность $L_в$ со знаком минус; если же они пребывают в конфликтных отношениях и мешают друг другу, то будем брать $L_в$ со знаком плюс, так что наводимое током I_2 напряжение в цепи тока I_1 по аналогии с выражением (26) определится соотношением

$$\Delta H_в = L_в dI_2/dt.$$

Итак, с учетом уравнения (25) имеем для схемы на рис. 12

$$h = I_1\tau + L_в dI_2/dt \quad \text{или} \quad I_1 = \frac{h - L_в dI_2/dt}{\tau}. \qquad (47)$$

Отсюда следует, что в установившемся режиме ток I_1 определяется только информационным сопротивлением своей собственной цепи и не зависит от I_2. Если же I_2 изменяется с постоянной скоростью $dI_2/dt=\zeta=\text{const}$, т. е. если цепь I_2 постоянно эволюционирует, то согласно выражению (47) ток I_1 становится большим или меньшим установившегося на $L_в\zeta/\tau$ в зависимости от того, в согласии или, соответственно, в противоречии пребывают цепи токов I_1 и I_2. При согласной работе цепей ($L_в<0$) увеличение тока I_2 приводит к появлению в цепи тока I_1 дополнительного напряжения $\Delta H_в$, которое прибавляется к ИДЛ источника. Это значит, что при работе двух организаций по схожим алгоритмам успех одной из них стимулирует деятельность другой, так как увеличивает вероятность достижения цели. Напротив, трудности в работе одной из них (уменьшение I_2) уменьшают вероятность достижения цели другой организацией и снижают потенциал управления.

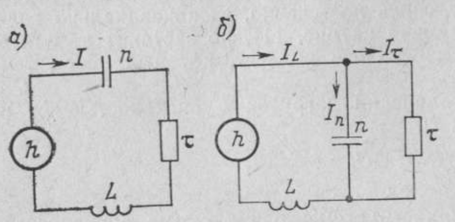

Рис. 13. Цепи с полным набором свойств

Зато если эти организации разрабатывают альтернативные варианты ($L_в>0$), то, наоборот, неуспех одной из них повышает шансы другой добиться успеха.

Информационные цепи с памятью и ригидностью. В самом общем случае информационные цепи обладают и сопротивлением, и памятью, и ригидностью, поэтому представляет интерес работа такой цепи (рис. 13).

На рис. 13,*а* изображена схема заполнения памяти ригидной нагрузки, что соответствует процедуре заучивания непривычного материала, например иностранных слов.

Уравнение такой цепи

$$h = I\tau + L\,dI/dt + \frac{1}{n}\int I\,dt$$

имеет двоякое решение:

$$I = \frac{h\delta}{\tau\sqrt{\delta^2-1}}\left[\exp\left(\frac{-\delta+\sqrt{\delta^2-1}}{T}\,t\right) - \exp\left(\frac{-\delta-\sqrt{\delta^2-1}}{T}\,t\right)\right], \qquad (48а)$$

если $\delta>1$, где $\delta=0{,}5\tau\sqrt{n/L}$, $T=\sqrt{nL}$, или

$$I = \frac{2h\delta}{\tau\sqrt{1-\delta^2}}\exp(-\delta t/T)\sin\frac{t\sqrt{1-\delta^2}}{T}, \qquad (48б)$$

если $\delta<1$.

Первое решение соответствует сравнительно малой ригидности $4L<\tau^2 n$, удерживающей низкую скорость усвоения материала лишь в начале процесса (кривая $\delta>1$ на рис. 14,*а*), а затем, после приспособления к работе, практически не влияющей на производительность запоминания, которая тогда определяется лишь остатком свободного места в памяти, причем в этих условиях однажды заученный материал не забывается.

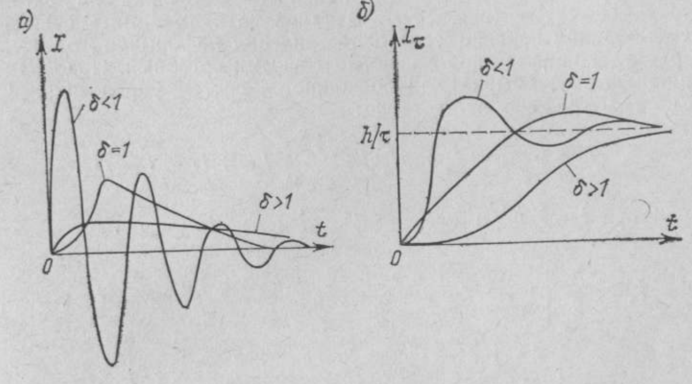

Рис. 14. Процессы обучения

Второе решение соответствует большой ригидности $4L>\tau^2 n$ (кривая $\delta<1$), которая вначале препятствует усвоению материала, а затем, когда эта работа становится привычной, заставляет ее продолжать сверх необходимого, что приводит к переполнению памяти, например, иностранными словами, знание которых необязательно для чтения определенных специальных текстов.

Естественно, через некоторое время память освобождается от ненужного багажа, чему ригидность вначале препятствует, а потом усугубляет этот процесс сверх меры, так что забывается и часть нужных слов, что требует нового запоминания, и т. д. В результате этого возникает колебательный процесс (рис. 14,*а*) запоминания с частотой $\sqrt{1-\delta^2}/T$ и затуханием δ/T, когда периоды активного усвоения материала сменяются периодами частичного забывания. Этот процесс постепенно затухает и память в конце концов заполняется.

Анализ полученных выражений показывет, что плавный процесс заполнения памяти (заполнение с одного раза) имеет место у неконсервативных людей и организаций (малое L) с большой емкостью памяти и замедленным восприятием информации (большое τ). Напротив, колебательный процесс заполнения свойствен относительно консервативным людям и организациям (большое L) с ограниченной емкостью памяти при быстром восприятии информации (малое τ). Пожалуй, плавный процесс заполнения характерен в основном для многолюдных организаций, которые обладают большим объемом памяти и медленнее усваивают информацию, чем отдельный человек, которому скорее свойствен колебательный процесс ввиду быстрого восприятия и меньшей емкости памяти.

Тем не менее, самое быстрое заполнение памяти имеет место при $\delta=1$, т. е. $4L=\tau^2 n$, когда из выражения (48б) предельным переходом получается

$$I=\frac{2h\delta t}{\tau T}\exp(-t/T). \qquad (48в)$$

В этом случае возникает кратковременный мощный всплеск тока (кривая $\delta=1$), быстро заполняющий память.

Рассмотрим еще работу управляющего источника на ригидную нагрузку с памятью (рис. 13,*б*). В таких случаях память существует для сглаживания неравномерного поступления информации от источника и работает параллельно с исполнительными органами. Подобная схема, по-видимому, обычна для большинства систем управления.

Система уравнений имеет вид:

$$h=L\frac{dI_L}{dt}+I_\tau\tau; \quad I_\tau\tau=\frac{1}{n}\int I_n dt; \; I_L=I_n+I_\tau.$$

Решение при $I=\sqrt{nL}$ и $\delta=\frac{1}{2\tau}\sqrt{L/n}$ имеет либо форму

$$I_\tau=\frac{h}{\tau}\left[1-\frac{\delta+\sqrt{\delta^2-1}}{2\sqrt{\delta^2-1}}\exp\left(\frac{-\delta+\sqrt{\delta^2-1}}{T}\,t\right)+\right.$$
$$\left.+\frac{\delta-\sqrt{\delta^2-1}}{2\sqrt{\delta^2-1}}\exp\left(\frac{-\delta-\sqrt{\delta^2-1}}{T}\,t\right)\right] \qquad (49а)$$

при $\delta>1$, либо форму

$$I_\tau=\frac{h}{\tau}\left[1+\left(\frac{\delta}{\sqrt{1-\delta^2}}\sin\frac{\sqrt{1-\delta^2}}{T}\,t-\cos\frac{\sqrt{1-\delta^2}}{T}\,t\right)\exp(-\delta t/T)\right] \qquad (49б)$$

при $\delta<1$.

Из полученных решений следует (рис. 14,*б*), что при малых нагрузке и памяти при большой ригидности ($L>4\tau^2 n$) система управления достигает своей проектной производительности ($I_\tau=I_L=h/\tau$) согласно выражению (49а) в результате плавного и постепенного наращивания темпов по мере освоения нового алгоритма работы (кривая $\delta>1$). При относительно больших нагрузке и памяти при ограниченной ригидности ($L<4\tau^2 n$) из формулы (49б) следует, что систему будет некоторое время лихорадить (кривая $\delta<1$), прежде чем она достигнет проектной производительности, причем частота колебаний производительности составит $\sqrt{1-\delta^2}/T$, а затухание δ/T. Интересно отметить, что при $\delta=1$, т. е. когда $L=4\tau^2 n$, имеет место самое быстрое достижение установленной производительности труда (кривая $\delta=1$), которое описывается предельным переходом в выражении (49б):

$$I_\tau=\frac{h}{\tau}[1+(t/T-1)\exp(-t/T)]. \qquad (49в)$$

Это уравнение дает лишь однократный небольшой (примерно 14%) всплеск производительности труда с последующим постепенным уменьшением до нормы, что является несомненно оптимальным среди всех вариантов переходного режима.

Отметим еще раз, что обе рассмотренные здесь схемы (рис. 13) характерны для процессов обучения новому. Однако схема на рис. 13,*а* соответствует заучиванию (записи в памяти) нового алгоритма работы подобно освоению студентами лекционного материала без его практического использования, а схема на рис. 13,*б* соответствует освоению нового в процессе его использования, т. е. если обратиться к примеру со студентами, — освоению материала с учетом упражнений и лабораторных занятий. Применительно к процессу обучения студентов время затухания информационного тока (рис. 14,*а*) соответствует времени освоения только лекционного теоретического материала, а время установления тока (рис. 14,*б*) — всему сроку обучения студентов в вузе.

Соотношения (48) и (49) описывают значения токов (информационных производительностей) в любой будущий момент времени относительно принятого за настоящий момент $t=0$. Значит, решая исходные дифференциальные уравнения схем, мы тем самым прогнозируем их будущие состояния по заданным начальным условиям. Соответственно, правило, алгоритм решения дифференциального уравнения — есть алгоритм прогностического суждения, которое применительно, например, к процессу обучения позволяет по заданному содержанию ИДЛ обучения и известным параметрам τ, L, n обучаемого предсказать ход этого процесса. В линейных системах, описываемых линейными же дифференциальными уравнениями, наиболее удобной формой записи оператора прогностического суждения являются передаточные функции систем. Так, для схемы на рис. 13,*а* передаточная функция имеет вид

$$\frac{I(s)}{h(s)}=\frac{ns}{1+\tau ns+nLs^2},$$

а для схемы на рис. 13,*б*

$$\frac{I(s)}{h(s)}=\frac{1}{\tau(1+Ls/\tau+nLs^2)}, \qquad (49г)$$

где $h(s)$ и $I(s)$ — изображения по Лапласу или Карсону ИДЛ и соответствующих токов; s — комплексный оператор дифференцирования.

Однако при всем своем удобстве передаточные функции оперируют не с самими процессами, а с их изображениями в комплексной плоскости. По этой причине прогнозированию с их помощью всегда сопутствуют прямое и обратное преобразования Лапласа, что связано в общем случае со значительными математическими трудностями.

Из выражений (48) и (49) следует, что процесс обучения как будто не имеет конца, т. е. соответствующий ток устанавливается только при $t=\infty$, что вполне соответствует суждению: «Век живи, век учись». Однако практически чем больше состояний изучаемой системы человек запомнил и усвоил, тем меньше вероятность встретить незнакомую ситуацию. Таким образом, обучение может быть прекращено при $t=(3\div5)T$, где $T=\sqrt{Ln}$, если δ не слишком далеко от единицы. В противном случае, если δ весьма велико, обучение может оказаться слишком долгим, чтобы иметь смысл, а если δ слишком мало, обучение может оказаться неуспешным ввиду чрезмерной возбудимости обучаемого и невозможности длительного сосредоточения его внимания на определенном вопросе.

Может показаться, что по завершении обучения информационный ток определяется только сопротивлением цепи и не зависит ни от памяти, ни от ригидности. Это действительно было бы так, если бы человек обучался только поведению в одной и той же неизменной ситуации, например нажимать одну и ту же кнопку при загорании одной и той же лампочки. Однако обучение даже рутинному труду предусматривает реакцию на более или менее значительный набор различных ситуаций, которые могут периодически повторяться. Если все они повторяются с одинаковой частотой ω_0, то применительно к последней схеме обучения $h=h_0\sin\omega_0 t$; а $I_\tau=h_0 A(\omega_0)\sin[\omega_0 t+\theta(\omega_0)]$, где

$$A(\omega_0)=\frac{1}{\tau\sqrt{(1-nL\omega^2_0)^2+(L/\tau)^2\omega^2_0}}$$ — модуль передаточной функции (49г) при $s=j\omega_0$, а $\theta(\omega_0)=\frac{L\omega_0}{\tau(nL\omega^2_0-1)}$ — ее фаза.

Нередко, однако, изучавшиеся ситуации повторяются с разными частотами, тогда $h=\sum_{k=1}^{m}A_{k0}\sin(\omega_k t+\theta_{k0})$, а $I_\tau=\sum_{k=1}^{m}A_k(\omega_k)\sin[\omega_k t+\theta_k(\omega_k)]$, где m — число ситуаций с различными частотами повторения.

Наконец, если возникают единичные не изучавшиеся ранее ситуации, то процесс обучения протекает непрерывно и описывается посредством передаточной функции (49г), при $s=j\omega$, где ω непрерывно изменяется от $-\infty$ до $+\infty$.

6. ИЕРАРХИЧЕСКИЕ И НЕЛИНЕЙНЫЕ ЦЕПИ

Обратимся теперь к широко распространенным древовидным иерархическим цепям управления и сбора информации. При этом иерархичность будем отождествлять с последовательным соединением источников или приемников информации, не вкладывая в это понятие никакого иного содержания, кроме последовательного прохождения информации от уровня к уровню. Действительно, как легко убедиться, только место в последовательном соединении определяет потенциал (сущность) априорно равнопотенциальных и равнозначных элементов цепи. Так, в иерархии десятичной системы счисления единицы, десятки, сотни, тысячи обозначаются одними и теми же априорно равнопотенциальными цифрами и только место в последовательности записи или чтения числа придает им соответствующее значение. Например, если сущность цифры, означающей единицу, составляет $\Delta H_ц=\log 10=3{,}32$ бит, поскольку определяется равновероятным выбором из десяти, то сущность цифры, означающей десятки, равна сущности двузначного числа $\Delta H_ч=\log 100=6{,}64$ бит, которая определяется равновероятным выбором из ста. Но эта же сущность равна сумме сущностей отдельно взятых двух цифр $\Delta H_ч=\log 100=2\log 10=2\Delta H_ц$, что соответствует последовательному их соединению. Точно так же m-значное десятичное число имеет сущность $\Delta H_ч=\log 10^m=m\log 10=m\Delta H_ц$, определяемую последовательным соединением m цифр, выступающих в качестве элементов m-уровневой иерархии.

Таким образом, с позиций информационного анализа всякое последовательное соединение, как с преобразованием информации, так и без оного, представляет собой иерархическую структуру, число уровней иерархии в которой равно числу последовательных элементов в цепи, причем потенциал каждого уровня определяется вероятностью достижения цели всей цепью, начиная с этого уровня и ниже по иерархии.

Что же касается древовидности, т. е. разветвления цепей от уровня к уровню, то оно ассоциируется с параллельным соединением цепей между уровнями.

Важно отметить, что любая управленческая структура сопровождается организацией обратной связи в виде системы контроля, вместе с которой она всегда образует замкнутый контур.

На рис. 15 показан пример типичной древовидной иерархической структуры управления (сплошные линии) из трех уровней с разветвлениями в каждом уровне, работающей совместно с аналогичной по структуре системой сбора информации (штриховые линии) и образующей с ней замкнутый контур управления и контроля, причем направления информационных токов показаны стрелками.

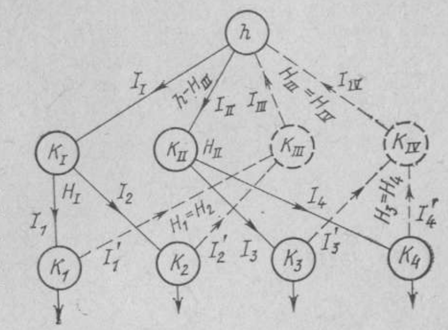

Рис. 15. Замкнутая иерархическая структура

Такая структура примерно соответствует верхним уровням управления исследовательской организации, в которой директор имеет двух заместителей K_I и K_{II}, каждый из которых руководит деятельностью двух начальников отделов K_1 и K_2 и соответственно K_3 и K_4. Кроме того, в распоряжении директора имеются два консультанта K_{III} и K_{IV}, в обязанности которых входит контроль и оценка результатов деятельности отделов K_1 и K_2 и соответственно K_3 и K_4.

Символы K означают передаточные функции соответствующих руководителей при анализе структуры в переходном режиме (при переходе к новой теме исследований) или их коэффициенты усиления интеллектуального труда (информационной мощности) в установившемся режиме работы. Напряжение и токи всех уровней структуры в разомкнутой системе обычно легко установить. Так, если принять, что в течение всего рабочего времени T директор в среднем успевает решить J вопросов управления; его заместители — соответственно J_I и J_{II} вопросов, входящих в их обязанности; начальники отделов — J_1, J_2, J_3 и J_4 вопросов; наконец, консультанты — J_{III} и J_{IV} вопросов, то их средние информационные токи составляют соответственно $I_I+I_{II}=J/T$; $I_1+I_2=J_I/T$; $I_3+I_4=J_{II}/T$; $I'_1=J_1/T$; $I'_2=J_2/T$; $I'_3=J_3/T$; $I'_4=J_4/T$; $I_{III}=J_{III}/T$; $I_{IV}=J_{IV}/T$, конечно, при условии, что рабочий день у всех одинаков.

Если при этом каждый из руководителей при предельно добросовестном отношении в среднем на решение каждого вопроса должен был бы затратить соответственно время τ, τ_I, τ_{II}, τ_1, τ_2, τ_3, τ_4, τ_{III}, τ_{IV}, то можно подсчитать их суть для установившегося режима работы посредством выражения (19): $h=(I_I+I_{II})\tau$; $H_I=(I_1+I_2)\tau_I$; $H_{II}=(I_3+I_4)\tau_{II}$; $H_1=I'_1\tau_1$; $H_2=I'_2\tau_2$; $H_3=I'_3\tau_3$; $H_4=I'_4\tau_4$; $H_{III}=I_{III}\tau_{III}$; $H_{IV}=I_{IV}\tau_{IV}$; $H_1=H_2$; $H_3=H_4$.

Это позволяет с помощью формулы (20) определить производительность труда работников всех уровней ($N=IH$) и коэффициенты усиления:

$$K_I=\frac{H_I(I_1+I_2)}{hI_I};\quad K_{II}=\frac{H_{II}(I_3+I_4)}{hI_{II}};\quad K_1=\frac{H_1 I'_1}{I_1 H_1};$$

$$K_2=\frac{H_2 I'_2}{H_I I_2};\quad K_3=\frac{H_3 I'_3}{H_{II} I_3};\quad K_4=\frac{H_4 I'_4}{I_1 H_I};$$

$$K_{III}=\frac{H_{III}I_{III}}{H_1(I_1+I_2)};\quad K_{IV}=\frac{H_{IV}I_{IV}}{H_3(I_3+I_4)}.$$

Подобным же образом, если известны емкости памятей и индуктивности всех звеньев, с помощью выражения (26) могут быть определены и соответствующие передаточные функции звеньев, которые, в свою очередь, позволят определить передаточную функцию всей замкнутой системы по структуре на рис. 15, где K_1 и K_2 соединены параллельно между собой и последовательно с K_I, т. е. их эквивалентная передаточная функция $K_I(K_1+K_2)$. Точно так же соединены K_{II}, K_3 и K_4, поэтому их передаточная функция $K_{II}(K_3+K_4)$. В свою очередь, каждая из этих цепочек охвачена обратной связью с коэффициентом соответственно K_{III} и K_{IV}, т. е. они имеют эквивалентные передаточные функции:

$$\frac{K_I(K_1+K_2)}{1+K_I(K_1+K_2)K_{III}}\quad \text{и}\quad \frac{K_{II}(K_3+K_4)}{1+K_{II}(K_3+K_4)K_{IV}}.$$

Поскольку оба этих замкнутых контура параллельны друг другу, то передаточная функция схемы, представляющая собой отношение суммарной интеллектуальной мощности всех отделов N_Σ к мощности ИДЛ руководителя, будет

$$N_\Sigma/N_h=\frac{K_I(K_1+K_2)}{1+K_I(K_1+K_2)K_{III}}+\frac{K_{II}(K_3+K_4)}{1+K_{II}(K_3+K_4)K_{IV}}. \qquad (50)$$

Наличие обратной связи в лице консультантов, осуществляющих критическую оценку деятельности организации, существенно изменяет характеристики всей системы.

Так, если критика консультантов заставляет организацию заниматься переделками и дополнениями (отрицательная обратная связь), передаточная функция (50) в установившемся режиме дает меньший коэффициент усиления смысловой мощности по сравнению с разомкнутой системой, когда $K_{III}=K_{IV}=0$.

Напротив, если консультанты идеализируют результаты работы, что позволяет отделам выпускать незавершенную продукцию (положительная обратная связь, соответствующая $K_{III}<0$ и $K_{IV}<0$ в установившемся режиме), то согласно выражению (50) организация обеспечит более высокую производительность, чем в отсутствие консультантов, и более высокую, чем для нее запланирована.

Автоматические системы. Традиционная теория автоматического управления хотя и признает информационную природу процессов управления, тем не менее зиждется на изучении преобразований, которым подвергаются носители информации (сигналы), но не сама информация. Это означает, по существу, энергетический, а не информационный подход к анализу автоматов, который для них явно недостаточен.

Этот подход интересуется преобразованиями, которым подвергается лишь первичная чувственная информация J, оставляя в стороне содержательную сторону управления. Действительно, если линейная автоматическая система описывается передаточной функцией $W(s)=y(s)/x(s)$, где x и y — физические величины, характеризующие соответственно входной и выходной сигналы, то согласно выражению (6) $J_x(s)=x(s)/\Delta x$; $J_y(s)=y(s)/\Delta y$, откуда $J_y(s)/J_x(s)=\Delta y W(s)/\Delta x$. Таким образом, обычный детерминистский подход к анализу автоматических систем посредством их дифференциальных уравнений и передаточных функций не поднимается над уровнем чувственного анализа.

Обратимся теперь к оценке сущности управляющей системы общего вида. Целью любого управления является увеличение до заданного значения $p_{усл}$ априорной вероятности p_0 нахождения сигнала в зоне, определяемой разрешающей способностью применяемых измерительных приборов. Например, если в стохастической системе управление локализует сигнал в зоне $\pm\Delta x/2$ с вероятностью $p_{усл}=\int\limits_{x-\Delta x/2}^{x+\Delta x/2} f_{усл}(x)\,dx$, в то время как без управления эта вероятность составляла $p_0=\int\limits_{x-\Delta x/2}^{x+\Delta x/2} f_0(x)\,dx$, то согласно выражению (28) суть системы управления составит $\Delta H=\log(p_{усл}/p_0)$, причем в стационарном режиме $\Delta H=\mathrm{const}$.

При малых Δx, когда внутри этого промежутка распределение практически равномерно, имеем $\Delta H=\log(f_{усл}/f_0)$. В детерминированных системах, в которых $p_{усл}=1$ в пределах, определяемых погрешностью системы $\pm\Delta x/2$, сущность управления составляет $\Delta H=-\log p_0$. Сравнивая выражения (28) и (7), можно заключить, что в линейных безынерционных системах с коэффициентом усиления K имеет место $\Delta H=\log(p_{усл}/p_0)=\log(f_{усл}/f_0)=\log K$.

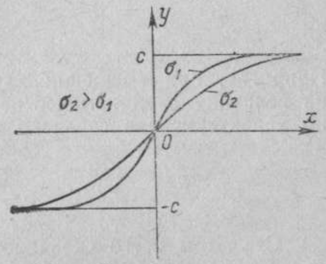

Рис. 16. Сглаживание релейной характеристики

Нелинейные цепи. В безынерционных нелинейных системах коэффициент усиления является функцией сигнала так что

$$K(x)=dy/dx=f(x)/f(y). \qquad (51)$$

Так, при идеальной релейной нелинейности $y=c\,\mathrm{sign}\,x$ (рис. 16) и симметричном относительно $x=0$ законе распределения, если умножить числитель и знаменатель выражения (51) на Δy, получим $K(x)=2\Delta y f(x)$, поскольку в этом случае $y>0$ и $y<0$ равновероятны. Следовательно, например, для равномерного распределения $f(x)=f_0=\mathrm{const}$ имеем $K(x)=2\Delta y f_0=\mathrm{const}$, а для нормального распределения $f(x)=\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}\exp-\frac{x^2}{2\sigma^2}$ имеем $K(x)=(\Delta y/\sigma)\sqrt{2/\pi}\exp-\frac{x^2}{2\sigma^2}$, причем поскольку $\int\limits_0^\infty K(x)\,dx=c$, то в обоих случаях $\Delta y=c$.

Таким образом, при равномерном распределении входного сигнала идеальное релейное преобразование с информационной точки зрения вполне эквивалентно обыкновенному усилению сигнала в $K=2cf_0$ раз, т. е. с этой точки зрения идеальное реле — линейный элемент.

При наиболее естественном нормальном распределении релейная характеристика сильно сглаживается в зависимости от σ (рис. 16): $K(x)=(c/\sigma)\sqrt{2/\pi}\exp-\frac{x^2}{2\sigma^2}$, и становится легко линеаризуемой обычным образом для малых x:

$$K(x) \approx K(0) = (c/\sigma)\sqrt{2/\pi} = \text{const},$$

а анализ системы сводится к рассмотренному выше аппарату линейных цепей.

Понятно, что при смещении нелинейной характеристики по оси x вправо или влево на x_0 вместе с ней переместятся и линеаризованные характеристики, так что динамические коэффициенты усиления вместо $K(x)$ станут $K(x-x_0)$, а нелинейная характеристика примет вид

$$y + c = \int\limits_{-\infty}^{x} K(x - x_0)\,dx.$$

Например, при смещенной вправо идеальной релейной характеристике для нормального распределения получим

$$K(x - x_0) = \frac{c}{\sigma}\sqrt{\frac{2}{\pi}}\exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x - x_0}{\sigma}\right)^2\right].$$

Напротив, при смещении характеристики по оси y вверх или вниз на величину y_0 динамические коэффициенты усиления не изменяются, но характеристика согласно выражению (51) получает вместо

$$y = \int\limits_{-\infty}^{x} K(x)\,dx - c \quad \text{вид} \quad y - y_0 = \int\limits_{-\infty}^{x} K(x)\,dx - c.$$

С учетом всего сказанного, изображенная на рис. 17 нелинейная характеристика представляет собой совокупность двух идеальных ре-

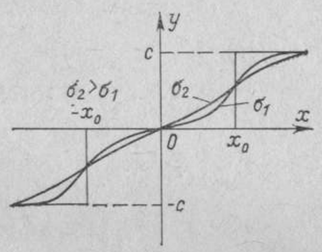

Рис. 17. Ступенчатая характеристика системы

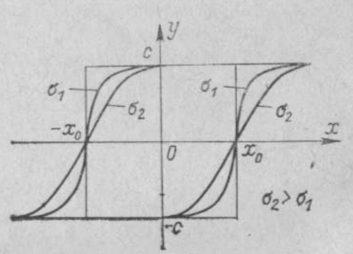

Рис. 18. Гистерезисная петля

лейных характеристик каждая высотой не $2c$, а c, одна из которых смещена вправо и вверх, а другая — влево и вниз, так что для нормального распределения

$$K(x + x_0) + K(x - x_0) = \frac{c}{\sigma}\sqrt{\frac{2}{\pi}}\exp\left(\frac{-x^2 + x_0^2}{2\sigma^2}\right)\operatorname{ch}\frac{xx_0}{\sigma^2} = K(x).$$

Соответственно, (рис. 17):

$$c + y = \int\limits_{-\infty}^{x} K(x + x_0)\,dx + \int\limits_{-\infty}^{x} K(x - x_0)\,dx.$$

Линеаризация такой характеристики дает для малых x

$$K(x) \approx K(0) = \frac{c}{\sigma}\sqrt{\frac{2}{\pi}}\exp - \frac{x_0^2}{2\sigma^2} = \text{const}.$$

Наконец, неоднозначная релейная характеристика, образующая прямоугольную гистерезисную петлю (рис. 18), может быть представлена совокупностью двух идеальных релейных характеристик, одна из которых смещена вправо на x_0, а другая — влево на такую же величину, причем выбор той или иной из них определяется знаком производной от x, т. е. $\operatorname{sign} x'$:

$$K(x - x_0 \operatorname{sign} x') = \frac{c}{\sigma}\sqrt{\frac{2}{\pi}}\exp - \frac{(x - x_0 \operatorname{sign} x')^2}{2\sigma^2}.$$

Таким образом, и для прямоугольной гистерезисной петли имеем

$$y = \int\limits_{-\infty}^{x} K(x - x_0 \operatorname{sign} x')\,dx - c \operatorname{sign} x'.$$

Сглаживающее действие информационного подхода на нелинейные характеристики объясняется тем, что информация всегда подразумевает конечную точность задания или измерения параметров процессов. Но, пытаясь измерить нелинейную характеристику с резкими изломами и другими разрывами непрерывности посредством прибора, имеющего ограниченную разрешающую способность, мы, естественно, не обнаружим никаких изломов и разрывов, если они не выходят за рамки разрешающей способности измерительного прибора. Поскольку же для нормального распределения ошибок разрешающая способность прибора определяется среднеквадратическим отклонением σ, то и сглаживание нелинейных характеристик тем значительнее, чем больше σ, т. е. чем больше ошибки, допускаемые измерительным прибором.

Эффект сглаживания нелинейных характеристик имеет место при случайных воздействиях на систему управления даже при чувственном анализе. Что касается содержательного анализа, то он при всех обстоятельствах приводит к эффекту точной линеаризации нелинейностей.

Действительно, в общем случае нелинейной безынерционной системы вместо формулы (7) имеем

$$H_y = H_x + \int\limits_{-\infty}^{+\infty} f(x)\log\frac{\Delta x}{\Delta y}K(x)\,dx, \tag{52}$$

где интеграл, представляющий собой среднее значение логарифма дифференциального коэффициента усиления системы, не зависит от x. Сравнивая выражения (7) и (52), приходим к выводу, что уравнение (52) соответствует линейной системе с коэффициентом усиления $K_л$, для которой

$$\log K_л = \int\limits_{-\infty}^{+\infty} f(x)\log K(x)\,dx. \tag{53}$$

Таким образом, с позиции соотношения сущности сигналов на входе и выходе (52) существуют только линейные системы со статической характеристикой $y = K_л x$. Иными словами, содержательный анализ приводит к точной замене нелинейной характеристики полностью эквивалентной по своей сути линейной характеристикой. Разумеется, такая замена действительно абсолютно точна, если точно известна $f(x)$ в соотношении (53).

Однако в замкнутых нелинейных системах даже при известной плотности распределения входного сигнала системы плотность распределения $f(x)$ на входе нелинейного звена практически может быть определена лишь с той или иной степенью точности, так что в замкнутых системах $K_л$ часто можно определить лишь приближенно. Тем не менее сама по себе линеаризация любых нелинейных систем с позиций содержательного анализа всегда правомерна.

Таким образом, например, при синусоидальном сигнале, имеющем $f(x) = \frac{1}{\pi\sqrt{a^2 - x^2}}$, эквивалентный линейный коэффициент усиления для идеального реле (рис. 16) согласно выражению (53) составит

$$\log K_л = \frac{2}{\pi} \int\limits_0^a \frac{dx}{\sqrt{a^2 - x^2}} \log \frac{4c}{\pi\sqrt{a^2 - x^2}} = \log \frac{4c}{\pi a},$$

что совпадает с коэффициентом гармонической линеаризации идеального реле. Таким образом, с содержательных позиций гармоническая линеаризация является не приближенной, а точной операцией, дающей коэффициенты усиления сущности сигнала.

ГЛАВА ТРЕТЬЯ

УПРАВЛЕНИЕ В ПРОСТРАНСТВЕННЫХ СИТУАЦИЯХ

7. УПРАВЛЕНИЕ В НЕИЗМЕННЫХ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ

Закон отражения. Рассматривая в гл. 1 процесс отражения, мы отвлекались от того обстоятельства, что процесс этот протекает в пространстве и времени, воспринимая информацию как готовый результат отражения. Между тем, имея дело с пространственными ситуациями, мы вынуждены собирать чувственную информацию что называется «по крупицам», так что $J = \Sigma J_k$ или в предельном случае:

$$J = \oint\limits_S \mathbf{O} d\mathbf{S}, \tag{54}$$

где $\mathbf{O} = dJ/dS$ — вектор плотности информации (потока отражения), снимаемой с отражающей поверхности S, замкнутой вокруг исследуемого объекта. С учетом этой формулы можно переписать выражение (9):

$$\mathscr{M} = \oint\limits_S \mathbf{O} d\mathbf{S}/R_k. \tag{55}$$

Это и есть закон отражения (теорема Гаусса), означающий, что произвольный материальный объект с поправкой на информационную проницаемость R_k окружающего пространства адекватно отражается этим пространством и может быть полностью восстановлен по суммарному информационному потоку отражения сквозь произвольную поверхность, замкнутую вокруг материального объекта отражения. С другой стороны, это значит, что любой материальный объект создает вокруг себя некое материальное поле вектора $\mathbf{O}/R_k$, которое в данных условиях может быть зафиксировано как информационное поле вектора $\mathbf{O}$.

Закон отражения (55) позволяет определить, сколько информации об объекте может быть получено каждой точкой окружающего его пространства. Так, например, выбрав поверхность S такой, чтобы условия отражения были одинаковы во всех ее точках, получим из выражения (55) $\mathbf{O} = R_k\mathscr{M}/S$, а для сферической поверхности $\mathbf{O} = R_k \times \mathscr{M}/(4\pi r^2)$, где r — радиус сферы.

В дифференциальной форме закон отражения принимает вид:

$$\operatorname{div} \mathbf{O} = R_k \rho, \tag{56}$$

где $\rho = d\mathscr{M}/dV$ — плотность материи в объеме V пространства. Дифференциальное уравнение (56) позволяет по заданному произвольному распределению в пространстве интересующей нас материи определить поток отражения в каждой точке пространства.

Например, при стрельбе по воздушным целям, если залп зенитной артиллерии приводит к распределению разрывов с постоянной объемной плотностью ρ_0 вокруг некоего центра в пределах сферы радиусом r_0, то согласно выражению (56) в сферических координатах имеем: $2\mathbf{O}/r + \partial\mathbf{O}/\partial r = R_k\rho_0$.

Решение этого линейного уравнения имеет вид: $\mathrm{O} = (R_k\rho_0 r^3/3 + c_1)$ при $r \leqslant r_0$ и $\mathrm{O} = c_2/r^2$ при $r \geqslant r_0$, причем поскольку при $r \geqslant r$, согласно формуле (55), $4\pi r^2 \mathrm{O} = R_k\mathscr{M}$, а $\rho_0 = \mathscr{M}/V = \frac{3\mathscr{M}}{4\pi r^3_0}$, то $c_7 = 0$; $c_2 = \frac{R_k \mathscr{M}}{4\pi}$, так что $\mathrm{O} = \frac{\mathscr{M}R_k}{4\pi r^3_0} r$ при $r \leqslant r_0$ и $\mathrm{O} = \frac{\mathscr{M}R_k}{4\pi r^2}$ при $r \geqslant r_0$, где $\mathscr{M}$ — общее число разрывов в одном залпе, а R_k характеризует ту долю энергии разрыва, которая способна оказать реальное воздействие на цель. Таким образом, в этом примере $\mathbf{O}$ характеризует реальное (с учетом проницаемости среды и удаления цели от центра распределения разрывов) число разрывов, приходящихся на единицу площади поверхности цели, обращенной к центру распределения разрывов.

Особый интерес, однако, представляет определение сущности H_n ситуации в каждой точке пространства, связанной согласно выражению (1) с логарифмом вероятности достижения соответствующей цели управления. Применим соотношение (13) к материальному объекту, охваченному замкнутой сферической поверхностью S радиуса r, так что $S = \oint dS$, $\Delta S = R_0\Delta r$, а информационная емкость объем понятия «сфера») с учетом проницаемости пространства R_k составляет $nR_k = S/\Delta S$. Таким образом,

$$\mathscr{M} = n\Delta H_n = \frac{S\Delta H_n}{\Delta S R_k} = \frac{S\Delta H}{R_0 R_k \Delta r} = -\oint\limits_S \frac{\operatorname{grad} H_n}{R} dS, \tag{57}$$

где R_0 — произвольная константа, имеющая единицы длины, а $R = R_0 R_k$.

Соотношение (57) представляет собой еще одну форму закона отражения, в которой материальный объект выражается через градиент его сущности, что позволяет назвать эту форму также законом познания.

Сравнивая выражения (57) и (55), получаем

$$\mathbf{O}R = -\operatorname{grad} H_n, \tag{58}$$

т. е. плотность потока отражения (поверхностная плотность информации) в той или иной точке пространства пропорциональна градиенту сущности в той же точке.

Дифференциальная форма закона познания получается из формулы (56) с учетом (58) в форме $\operatorname{div}\operatorname{grad} H = -R\rho$ или в форме уравнения Пуассона

$$\Delta H_n = -R\rho, \tag{59}$$

где в декартовых координатах оператор $\Delta = \partial^2/\partial x^2 + \partial^2/\partial y^2 + \partial^2/\partial z^2$.

Возвращаясь к примеру с зенитной стрельбой, с учетом выражения (58), где в данном случае $\operatorname{grad} H_n = dH_n/dr$, получим: $H_n = c_3 - \frac{R\mathcal{M}}{8\pi r^3_0} r^2$ при $r \leqslant r_0$ и $H_n = \frac{R\mathcal{M}}{4\pi r} + c_4$ при $r \geqslant r_0$, причем поскольку оба эти выражения должны совпадать при $r = r_0$, а при $r = \infty$ $H_n = 0$, то $c_3 = \frac{3R\mathcal{M}}{8\pi r_0}$ и $c_4 = 0$, так что $H_n = \frac{R\mathcal{M}}{8\pi r^3_0}(3r^2_0 - r^2)$ при $r \leqslant r_0$ и $H_n = \frac{R\mathcal{M}}{4\pi r}$ при $r \geqslant r_0$. С помощью этих выражений и с учетом (1) можно определить вероятность поражения цели, находящейся на том или ином расстоянии от центра зоны разрывов в форме $p = 1 - 2^{-H_n}$. Нетрудно видеть, что в пределах зоны разрывов и в непосредственной близости от нее опасность поражения для объекта убывает по мере удаления от центра к периферии на одну треть максимального значения на каждое r_0, но дальше $2r_0$ опасность убывает значительно медленнее, конечно пока все разрывы еще способны поражать цель.

Управление. Частное решение уравнения Пуассона (59) в сферических координатах для произвольного распределения $\rho(r)$ имеет вид

$$H_n = \frac{R}{4\pi}\int\limits_V \rho dV/r \tag{60}$$

и определяет суть ситуации в каждой точке пространства.

В этих условиях задача управления, например, зенитным огнем сводится к обеспечению максимальных значений (60) в тех точках пространства, где находятся цели. В свою очередь, задача управления воздушными объектами, оказавшимися в роли целей, сводится к размещению их в точках с минимальной вероятностью поражения, т. е. в точках, где H_n минимальна. Между тем выражение (60) характеризует лишь вероятность поражения одного объекта, поэтому может оказаться, что большая группа объектов в точке с малой H_n понесет количественно больший урон, нежели малая группа в точке с относительно высокой сущностью H_n ситуации. Таким образом, если цели распределены в пространстве с плотностью $\rho_ц$, то наиболее полно ситуация в каждой точке характеризуется не сущностью (60), а плотностью смысла

$$c_n = dC_n/dV = \rho_ц H_n, \tag{61}$$

являющейся дифференциальной формой (14). При этом вся ситуация в целом, т. е. во всем объеме пространства, характеризуется ее смыслом:

$$C_n = \int\limits_V \rho_ц H_n dV. \tag{62}$$

Соотношение (61) требует, чтобы в конфликтных ситуациях типа стрельбы по воздушным целям управление зенитным огнем добивалось

максимального значения H в тех точках, где наибольшая плотность $\rho_ц$ целей, а управление целями добивалось уменьшения плотности $\rho_ц$ своих объектов в тех точках, где максимально H, так что с математической точки зрения обе стороны стремятся к $dc/dr = 0$, но нападающая сторона добивается $d^2c/dr^2 < 0$, а обороняющаяся сторона добивается $d^2c/dr^2 > 0$. Управление, исходящее из соотношения (61), соответствует относительно примитивной стратегии, стремящейся обеспечить предельно возможное значение плотности смысла в каждой точке пространства, и поэтому неспособной к жертвам и хитростям во имя достижения глобальной цели, т. е. достижения предельно возможного смысла ситуации во всем пространстве, которое обеспечивается лишь с помощью выражения (62).

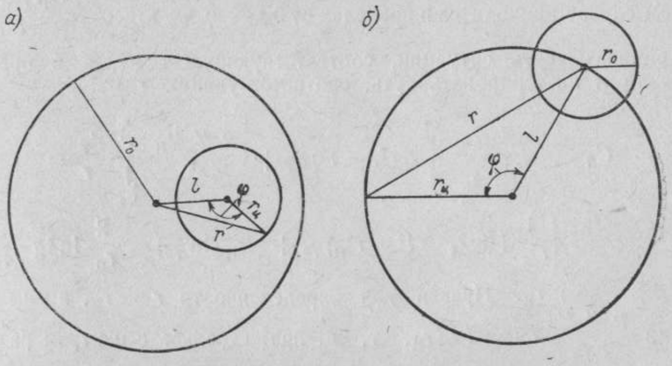

Рис. 19. Управление стрельбой

Покажем это на том же примере стрельбы по воздушным целям для случая, когда траектория полета целей представляет собой окружность радиусом $r_ц$ в горизонтальной плоскости, в пределах которой $\mathcal{M}_ц$ целей распределены равномерно с плотностью $\rho_ц = \mathcal{M}_ц/(2\pi r_ц)$. Естественно, стремление достичь максимума плотности смысла (61) приведет к совмещению центра распределения разрывов с какой-либо точкой траектории (окружности) целей, где и обеспечится искомый максимум. Практически это означает, что управление на основе выражения (61) потребует стрельбы с прицелом на одну из целей. Вместе с тем, управление на основе формулы (62), как мы сейчас убедимся, требует прицеливания в центр кривизны траектории, где нет никаких целей, обеспечивая в конечном итоге больший эффект стрельбы. Чтобы убедиться в этом, рассмотрим вначале случай, когда даже при стрельбе по траектории целей равномерное распределение разрывов полностью покрывает все цели, т. е. когда $r_0 > l + r_ц$ (рис. 19,*а*), где l — расстояние между центром кривизны траектории целей и центром распределения разрывов. В этом случае согласно выражению (62) с учетом ранее полученных значений потенциала для $r \leqslant r_0$ имеем

$$C_n = \frac{R\mathcal{M}\mathcal{M}_ц}{8\pi^2 r^3_0}\int\limits_0^\pi (3r^2_0 - r^2)\,dr = \frac{R\mathcal{M}\mathcal{M}_ц}{8\pi r^3_0}(3r^2_0 - l^2 - r^2_ц),$$

где согласно рис. 19 $r^2 = l^2 + r^2_ц - 2lr_ц \cos\varphi$, а интегрирование ведется по траектории с элементами $r_ц d\varphi$. Оптимизируя полученное выражение по параметру l, получаем $\partial C/\partial l=0$ при $l_{\text{оп}}=0$, что соответствует стрельбе в центр окружности целей. При этом $C_{\text{опт}}=\frac{R\mathcal{M}\mathcal{M}_{\text{ц}}}{8\pi r^3_0}(3r^2_0-r^2_{\text{ц}})$. Стрельбе же непосредственно по траектории целей ($l=r_{\text{ц}}$) соответствует меньше смысла: $C_n=\frac{R\mathcal{M}\mathcal{M}_{\text{ц}}}{8\pi r^3_0}(3r^2_0-2r^2_{\text{ц}})$, так что при этих условиях выгоднее стрельба по центру окружности целей, нежели по самой окружности.

Рассмотрим теперь более сложный случай, когда радиус траектории целей больше радиуса сферы распределения разрывов (рис. 19,*б*). В этом случае приходится в пределах от 0 до $\varphi_0=\arccos\frac{l^2+r^2_{\text{ц}}-r^2_0}{2lr_{\text{ц}}}$ интегрировать суть ситуации, соответствующую $r\leqslant r_0$, а в пределах от φ_0 до π интегрировать суть, соответствующую $r\geqslant r_0$:

$$C_n=\frac{R\mathcal{M}\mathcal{M}_{\text{ц}}}{8\pi^2r^3_0}\int\limits_0^{\varphi_0}(3r^2_0-r^2)\,d\varphi+\frac{R\mathcal{M}\mathcal{M}_{\text{ц}}}{4\pi^2}\int\limits_{\varphi_0}^{\pi}\frac{d\varphi}{r}=$$

$$=\frac{R\mathcal{M}\mathcal{M}_{\text{ц}}}{8\pi^2}\left\{\frac{1}{r^3_0}\left[(3r^2_0-l^2-r^2_{\text{ц}})\varphi_0+2lr_{\text{ц}}\sin\varphi_0\right]-\frac{2}{r_{\text{ц}}}\ln\operatorname{tg}\frac{\varphi_0}{4}\right\},$$

если l близко к $r_{\text{ц}}$. Приняв для определенности $r_0=r_{\text{ц}}$, имеем $C_n=5{,}43\frac{R\mathcal{M}\mathcal{M}_{\text{ц}}}{8\pi^2r_{\text{ц}}}$ при $l=r_{\text{ц}}$, т. е. при стрельбе с центром разрывов на траектории целей, но $C_n=5{,}53\frac{R\mathcal{M}\mathcal{M}_{\text{ц}}}{8\pi^2r_{\text{ц}}}$ при $l=0{,}8r_{\text{ц}}$, т. е. при стрельбе внутрь окружности целей, а при стрельбе в центр $C_n=6{,}28\frac{R\mathcal{M}\mathcal{M}_{\text{ц}}}{8\pi^2r_{\text{ц}}}$. Однако смысл стрельбы в центр круга целей при $r_0\leqslant r_{\text{ц}}$ не зависит от r_0, в то же время смысл стрельбы по периферии круга растет по мере уменьшения r_0, так что при $r^2_0\approx 0{,}03r^2_{\text{ц}}$ они уже практически одинаковы.

Таким образом, в большинстве случаев стрельба внутрь области, ограниченной траекторией целей, имеет больше смысла, нежели стрельба по самой траектории. И только при $r_0=0$, т. е. при одиночном разрыве, имеет смысл стрельба прямо по цели. Отметим, что для получения численных значений смысла в подобного рода пространственных ситуациях необходимо иметь численное значение R, которое может быть получено либо на основе предшествующего опыта работы с аналогичными ситуациями, либо в специальном эксперименте. Так, применительно к зенитной стрельбе необходима предварительная статистическая обработка, например, случаев поражения цели одиночным разрывом на том или ином расстоянии от нее. И если окажется, что, например, вероятность поражения цели $p=0{,}5$ достигается на расстоянии $r_{0,5}$ от разрыва, то согласно выражениям (55) и (58) для $\mathcal{M}=1$ бит имеем $H_n=-\log 0{,}5=1=\frac{R\mathcal{M}}{4\pi r}=\frac{R}{4\pi r_{0,5}}$, откуда $R=4\pi r_{0,5}$, причем это значение R справедливо в любых ситуациях с участием тех же целей и разрывов того же типа в пределах пространства, где

ощутимо воздействие всех разрывов. В той же зоне, где воздействие разрывов практически неощутимо, $R=0$.

Управлению путем оптимизации смысла на основе описанной процедуры поддаются любые пространственные ситуации, включая пространственное проектирование (конструирование), размещение ресурсов, размещение элементов схемы на печатных платах и т. п. Во всех этих случаях следует только помнить, что материя $\mathcal{M}$ может быть как положительной, так и отрицательной в зависимости от целей управления. Так, в примере с зенитной стрельбой по противнику, его объектам приписывался тот же знак, какой был у материи разрывов, что приводило к положительности их взаимного смысла. В этом случае своим самолетам необходимо приписать противоположный знак, т. е. отрицательный взаимный смысл с разрывами, чтобы в случае их появления максимум смысла (минимум отрицательного смысла) соответствовал возможно большему расстоянию между самолетами и разрывами.

Отметим в заключение, что кроме взаимного смысла, каждый объект обладает еще собственным смыслом (содержанием), которое в общем случае определяется его отражением в окружающем пространстве, так что

$$C_n=0{,}5R_0\int\limits_V O^2/R_k\,dV, \tag{62г}$$

где O — поток отражения, создаваемый только рассматриваемым объектом. Так, собственный смысл зоны разрывов

$$C_n=\frac{R\mathcal{M}^2}{8\pi r^6_0}\int\limits_0^{r_0}r^4dr+\frac{R\mathcal{M}^2}{8\pi}\int\limits_{r_0}^{\infty}\frac{dr}{r^2}=\frac{3R\mathcal{M}^2}{20\pi r_0},$$

причем его максимум достигается при $r_0=0$, что соответствует сосредоточению огня в одной точке.

8. УПРАВЛЕНИЕ ДВИЖЕНИЕМ В ПРОСТРАНСТВЕ

Анализ статики, достаточный в такого типа ситуациях, о которых речь шла выше, оказывается неудовлетворительным в тех даже стационарных ситуациях, где движение объектов является существенным для управления. Например, в ситуации со стрельбой по окружности движения воздушных целей, если важно лишь поразить возможно больше летающих объектов, то безразлично, по какой именно части окружности вести огонь, при условии, что они равноудалены от зенитной батареи. Однако ситуация становится иной, если задачей стрельбы является не столько уничтожение воздушных целей, сколько защита от их атак того или иного наземного объекта. В этом случае гораздо больше смысла вести огонь по той части окружности, где цели движутся в сторону объекта бомбардировки, нежели по той части, где они выходят из атаки, удаляясь от защищаемого батареей объекта. Точно так же, если вероятность сесть в стоящий у железнодорожной платформы поезд близка к единице, то вероятность благополучно сесть в движущийся поезд тем меньше, чем больше скорость движения, хотя обе ситуации при достаточной длине поезда можно считать стационарными.

Таким образом, во многих стационарных ситуациях, которыми мы пока ограничиваемся, направление и скорость движения существенно изменяют смысл управления за счет появления помимо смысла покоя C_n еще и смысла равномерного движения C_L. Соответственно при движении помимо статической сути H_n появляется еще кинетическая суть H_L ситуации.

Закон сохранения материи. Для стационарной задачи этот закон означает, что сумма материальных токов сквозь замкнутую поверхность должна быть равна нулю $\Sigma I_k=0$, поскольку в противном случае либо материя внутри замкнутой поверхности аннигилирует (возникает), либо накапливается (расходуется), что противоречит условию стационарности. В предельном случае это означает, что

$$\oint_S \mathbf{j}_{\text{м}} d\mathbf{S} = 0 \tag{63}$$

либо в дифференциальной форме $\operatorname{div} j_{\text{м}}=0$, где вектор плотности материального тока $\mathbf{j}_{\text{м}}=dI/d\mathbf{S}$.

Умножив числитель и знаменатель последнего выражения на dx, перпендикулярное $d\mathbf{S}$, с учетом $I=d\mathcal{M}/dt$ получим также

$$\mathbf{j}_{\text{м}} = \frac{dx}{dt}\frac{d\mathcal{M}}{dV} = \rho\mathbf{v}, \tag{64}$$

где $\mathbf{v}=dx/dt$, а $V=dSdx$.

Закон сохранения (принцип непрерывности тока) позволяет в соответствии с выражением (64) решать задачи о стационарном распределении объектов в пространстве при заданном распределении их скоростей либо о распределении скоростей при заданной плотности распределения материи. Например, если скорострельная зенитная артиллерия боевого корабля создает полусферически симметричную огневую завесу с начальными плотностью огня $\rho(r_0)=\rho_0$ и скоростью снарядов v_0, то в сферических координатах согласно уравнению (63) имеем $2j/r+\partial j/\partial r=0$, т. е. в соответствии с выражением (64) $\rho=\frac{\rho_0 v_0 r^2{}_0}{vr^2}$, что при обычно известном законе изменения скорости полета снарядов $v(r)$ позволяет определить плотность огня на любом расстоянии от корабля с учетом замедления снарядов. В равной мере закон сохранения материи (63) пригоден для определения плотности и скорости течения жидкостей и газов в стационарных режимах, плотности и скорости ионов в зоне коронного разряда и т. д.

Кинетическая форма закона познания. Особую практическую ценность для управления имеет закон отражения в форме, которая позволяет связать те или иные условия в пространстве с вероятностью достижения цели управления. Дифференцируя выражение (55) по времени и учитывая, что проницаемости R_k пространства для отражения материального объекта и для отражения происходящих с ним изменений a_k в общем случае неодинаковы, получим $I=\partial\mathcal{M}/dt=\oint_S j_0 dS$, где $j_0=a_k\partial\mathbf{O}/\partial t$. Полагая далее $dS=dl^2$, получим окончательно

$$I = a_k \oint_l \mathbf{И} dl, \tag{65}$$

где $a_k\mathbf{И}=\mathbf{j}_0 dl$, а интеграл берется по кривой, замкнутой вокруг тока. Это одна из форм кинетического закона отражения, которой в дифференциальной форме соответствует $a_k \operatorname{rot} \mathbf{И}=\mathbf{j}_{\text{м}}$.

Мы будем именовать **И** вектором индукции, поскольку он характеризует потенциальную способность тока I воздействовать на токи в окружающем пространстве в зависимости от расстояния; этот вектор является той долей тока, которая приходится на единицу длины в раз-

личных частях пространства. Так, например, длинный кильватерный строй, представляющий собой ток кораблей I_0, равный числу кораблей, проходящих через определенную точку в единицу времени, согласно выражению (65) индуктивно отражается по сторонам от себя с интенсивностью $И=I/(2\pi a_k r)$, поскольку длина окружности интегрирования, на которой $И=\text{const}$, составляет $2\pi r$, а ток в пределах $r\leqslant r_0$ равен $I_0 r^2/r^2{}_0=I$ и в пределах $r\geqslant r_0$ равен I_0, так что $И=I_0 r/(2\pi a_k r^2{}_0)$ при $r\leqslant r_0$ и $И=I_0/(2\pi a_k r)$ при $r\geqslant r_0$.

В этом случае индукция обратно пропорциональна расстоянию от данной точки до кильватерной колонны, т. е. реакция капитанов других судов на это движение при прочих равных условиях тем сильнее, чем ближе соответствующее судно находится к колонне.

Определим, однако, вначале собственный смысл кильватерной колонны, воспользовавшись формулой, подобной (62а):

$$C_L = 0{,}5a_k/a_0 \int_V \mathbf{И}^2 dV. \tag{66}$$

В соответствии с этим выражением

$$C_L = \frac{I^2{}_0}{8\pi^2 a r^4{}_0}\int_0^{r_0} 2\pi r^3 l dr + \frac{I^2{}_0}{8\pi^2 a}\int_{r_0}^{r}\frac{2\pi l dr}{r} = \frac{I^2{}_0 l}{16\pi a}\left(r^4/r^4{}_0 + 4\ln\frac{r}{r_0}\right),$$

где l — длина колонны. Таким образом, собственный смысл колонны зависит от ее длины и расстояния r от нее, в пределах которого рассмотрение целесообразно, но при прочих равных условиях он тем больше, чем компактнее колонна, т. е. чем меньше r_0.

Воспользуемся теперь соотношением (19) в форме $I=H/\tau$. Полагая, что $\tau=\Delta l/(a_k v)$, где v — скорость носителей тока, и обозначая $A=Hv/v^2{}_0$, где v_0 — скорость отражения, получим

$$I = Hva_k/\Delta l = \frac{Aa_k v^2{}_0 l}{\Delta l l} = \frac{a_k v^2{}_0 \Delta l}{(\Delta l)^2 l}\oint_l \mathbf{A} dl,$$

что в пределе с учетом $\operatorname{rot}\mathbf{A} = \lim\limits_{\Delta S\to 0}\frac{\int \mathbf{A} dl}{\Delta S}$ дает $I = a_k \oint a_0 \operatorname{rot}\mathbf{A} dl$, где имеющая единицы ускорения константа $a_0 = v^2{}_0/l$. Сравнивая полученное выражение с формулой (65), приходим к выводу, что

$$\mathbf{И} = a_0 \operatorname{rot}\mathbf{A} \text{ или } a_0 \oint_l \mathbf{A} dl = \int_S \mathbf{И} dS, \tag{67}$$

откуда с учетом дифференциальной формы (65) получаем также

$$\mathbf{j}_{\text{м}} = a \operatorname{rot}\operatorname{rot}\mathbf{A} = a(\operatorname{grad}\operatorname{div}\mathbf{A} - \Delta\mathbf{A}) = -a\Delta\mathbf{A}, \tag{68}$$

где $a=a_0 a_k$. Это соотношение представляет собой еще одну, наиболее удобную форму кинетического закона познания, которая позволяет определить изменение вероятности достижения цели управления, связанное с движением объектов, а его частное решение имеет вид

$$\mathbf{A} = \frac{1}{4\pi a}\int_V j_{\text{м}}/r dV.$$

В качестве примера рассмотрим стрельбу движущейся колонны кораблей по неподвижной цели или, что то же самое, стрельбу неподвижного кильватерного строя по движущейся вдоль него цели. В этом случае появляется дополнительная погрешность, т. е. вероятность промаха, связанная с относительным движением цели и случайными отклонениями в скорости наводки.

Подставляя в выражение (67) полученное ранее соотношение для **И**, приходим к линейному уравнению в цилиндрических координатах $-\partial A/\partial r = И/a_0$, решение которого принимает вид $A = c_1 - \frac{r^2 I_0}{4\pi a r_0}$ при $r \leqslant r_0$ и $A = \frac{I_0}{2\pi a}\ln(c_2/r)$ при $r \geqslant r_0$. Поскольку при $r = r_0$ оба решения должны совпадать, а на пределе досягаемости (наблюдаемости) $r_{пр}$ должно быть $A = 0$, то $c_1 = \frac{I_0}{4\pi a}[1 + 2\ln(r_{пр}/r_0) - r^2/r^2_0]$ и $c_2 = r_{пр}$, откуда $A = \frac{I_0}{4\pi a}[1 + 2\ln(r_{пр}/r_0) - r^2/r^2_0]$ при $r \leqslant r_0$ и $A = \frac{I_0}{4\pi a}\ln(r_{пр}/r)$ при $r \geqslant r_0$.

Таким образом, получаем возможность определить вероятность промаха, связанного с движением цели, в зависимости от скорости v этого движения:

$$\log p = -Av^2{}_0/|v_A| = -\left|\frac{Av^2{}_0}{v\cos(A, v)}\right|. \qquad (69)$$

Отсюда следует, что вероятность тем больше, чем больше скорость движения по сравнению со скоростью отражения ситуации, которая при визуальном наблюдении равна скорости света.

Управление. Однако при управлении чаще необходимо добиваться оптимальной с той или иной точки зрения ситуации вне зависимости от значения вероятности достижения цели. В этом случае нет необходимости прибегать к выражению (69), а можно сразу заняться оптимизацией кинетического смысла ситуации:

$$C_L = \int_V \mathbf{A}\mathbf{j}_{м} dV. \qquad (70)$$

Применительно к случаю, когда две одинаковых колонны кораблей, идущие параллельным курсом на расстоянии x друг от друга, имеют общую цель движения, формула (70) для участка длиной l колонн дает

$$C_L = \frac{I^2{}_0 l}{4\pi a r_0}\int_{x-r_0}^{x+r_0}\ln\frac{r_{пр}}{r}dr = \frac{I^2{}_0 l}{4\pi a r_0}\left(2r_0 + x\ln\frac{x-r_0}{x+r_0} + r_0\ln\frac{r_{пр}}{x^2 - r^2{}_0}\right),$$

причем при обычной малости r_0 по сравнению с x отсюда следует также

$$C_L = \frac{I^2{}_0 l}{2\pi a}[1 + \ln(r_{пр}/x)],$$

что очевидно растет по мере уменьшения x.

Таким образом, при выполнении обеими колоннами единой цели для них имеет смысл максимальное сближение. Если же их цели противоположны, что соответствует либо встречному движению своих колонн, либо параллельному движению конфликтующих колонн, то смысл движения становится отрицательным, так как **A** и **j** направлены навстречу друг другу (или имеют носители противоположных знаков),

а его наибольшее значение соответствует увеличению x вплоть до бесконечности, чему также соответствует и взаимное уничтожение.

При всех этих оценках численное значение a не так уже существенно. Если же есть необходимость получить численные значения тех или иных величин, то необходимо располагать экспериментальными данными о вероятности любой сколь угодно простой и доступной для расчета ситуации, что позволит вычислить a с помощью выражения (69). С другой стороны, как будет ясно из дальнейшего, проницаемость a среды для отражения изменений может быть вычислена через информационную проницаемость R и скорость отражения v_0 с помощью формулы

$$v^2{}_0 = Ra. \qquad (71)$$

9. УПРАВЛЕНИЕ В ПРОИЗВОЛЬНО ЭВОЛЮЦИОНИРУЮЩИХ СИТУАЦИЯХ

Динамический закон сохранения материи. Особенность эволюционирующих пространственных ситуаций состоит в том, что процесс эволюции сопровождается изменением величины материи, заключенной внутри любой замкнутой поверхности, выделенной в этом пространстве. Это значит, что при нарушении стационарности сумма материальных токов сквозь замкнутую поверхность равна не нулю, как в выражении (63), а скорости изменения материи внутри этой поверхности:

$$\oint_S \mathbf{j}_{м} d\mathbf{S} = -\partial\mathcal{M}/\partial t, \qquad (72)$$

или в дифференциальной форме:

$$\operatorname{div}\mathbf{j}_{м} = -\partial\rho/\partial t.$$

Закон (72) означает, что если токи материи текут наружу замкнутой поверхности (положительные токи), то материя убывает внутри поверхности, а если токи текут внутрь (отрицательные токи), то внутри материя возрастает. В отличие от выражения (63) закон (72) позволяет определять не только распределение в пространстве плотности и скоростей движения материальных объектов, но и процесс установления этого распределения при заданных начальных и граничных условиях. Так, если в ранее рассмотренном примере зенитного огня корабля огневой зонтик создается непрерывным синхронным и синфазным вращением орудийных башен, то по каждому направлению начальная плотность ρ_0 изменяется циклически: $\rho_0 = \rho_{0\max}\sin\omega_0 t$. В этом случае, приняв для простоты $v = v_0 = \mathrm{const}$, получим из уравнения (72) в сферических координатах $2j/r + \partial j/\partial r = -\partial\rho/\partial t$ или с учетом формулы (64)

$$\rho = c - \rho_{0\max}\int\left(\frac{\omega_0}{v_0}\cos\omega_0 t + \frac{2}{r}\sin\omega_0 t\right)dr =$$

$$= c - \frac{r\omega_0\rho_{0\max}}{v_0}\cos\omega_0 t - 2\rho_0\ln r\sin\omega_0 t,$$

где $c = (v_0 + r_0\omega_0)\rho_{0\max}/v_0$, поскольку $\rho = \rho_{0\max}$ при $t = 0$ и $r = r_0$.

Универсальный закон сохранения. Дифференцируя выражение (55) по времени и сравнивая результат с формулой (72), получим

$$\oint_S (\mathbf{j}_{м} + a_k\partial O/dt)d\mathbf{S} = \oint_S (\mathbf{j}_{м} + \mathbf{j}_{о})d\mathbf{S} = \oint_S \mathbf{j}d\mathbf{S} = 0 \text{ или } \operatorname{div}\mathbf{j} = 0, \qquad (73)$$

где j_0 — плотность тока отражения; j — плотность тока материи и тока отражения.

Соотношение (73) представляет собой универсальный закон сохранения материи и информации, свидетельствующий о том, что на свете нет ничего такого, что бы полностью и адекватно не отражалось бы в окружающей природе (включая наше сознание). Иными словами, согласно выражению (73), если в замкнутое пространство извне поступает материя, то наружу из него течет точно такой же информационный ток отражения. В частности, известный в электротехнике ток смещения представляет собой ток отражения окружающей средой эволюции заряда.

Сравнивая между собой выражения (73) и (65), нетрудно заключить, что последнее в переходных режимах должно обрести вид $a_k \operatorname{rot} \mathbf{И} = \mathbf{j}_м + a_k \partial \mathbf{O}/\partial t = \mathbf{j}$.

С другой стороны, изменения потока отражения ввиду конечной скорости v_0 его распространения в пространстве запаздывают относительно изменений отражаемого материального объекта тем больше, чем больше расстояние r от него, так что в общем случае время запаздывания

$$t_з = \int_0^r dr/v_0. \qquad (74)$$

Таким образом, закон отражения в динамике должен принять вид

$$\operatorname{div}\left[\mathbf{O}(t) + \int_t^{t+t_з} \mathbf{j}_0 dt\right] = R_k \rho(t)$$

или, что то же самое,

$$\operatorname{div} \mathbf{O}(t) = R_k \rho(t - t_з).$$

Последнее равенство с учетом выражения (58) приводит к уравнению Пуассона (59) в форме $\Delta H_n(t) = -R\rho(t - t_з)$, решение которого по аналогии с уравнением (60) имеет вид

$$H_n(t) = \frac{R}{4\pi} \int_V \frac{\rho(t - t_з)}{r} dV. \qquad (75)$$

Отсюда следует, что суть эволюционирующей ситуации в каждой точке определяется не текущим распределением материи в пространстве, а предшествующим и тем более ранним, чем, в соответствии с формулой (74), дальше та или иная точка пространства находится от точки, в которой определяется суть ситуации. Точно так же решение уравнения (68) в динамике принимает форму

$$\mathbf{A}(t) = \frac{1}{4\pi a} \int_V \frac{j_м(t - t_з)}{r} dV. \qquad (76)$$

Практически применительно, например, к зенитной стрельбе все это означает, что в каждый данный момент самолету угрожает не тот залп, который сделан в этот момент, а тот, который ему предшествовал $t_з$ тому назад, в соответствии с графиком скорости $v_0(t)$ полета снаряда или ракеты.

Управление. Особенность динамического управления, которое, как и статическое, требует достижения максимального смысла ситуации, состоит в том, что этот максимум сам является функцией времени, так что управление уже не может ограничиться однократным выбором наилучшей ситуации, но требует постоянной корректировки. При этом

смысл всей ситуации описывается совокупностью выражений (62) и (70), но H_n и $\mathbf{A}$ определяются в них согласно уравнениям (75) и (76) и являются функциями времени:

$$C = \int_V (H_n \rho + \mathbf{A} \mathbf{j}_м) dV. \qquad (77)$$

В частности, для групповой мишени, включающей $\mathscr{M}$ объектов и перемещающейся со скоростью v в поле произвольно движущихся охотников за ней, имеет место $C = \mathscr{M}(H_n + \mathbf{A}\mathbf{v})$.

Пришла пора заметить, что экстремум смысла (77) с учетом соответствующих ограничений есть по сути формальное описание желаемой ситуации, т. е. цели, однако управление не может ограничиваться целеуказанием. Более того, в распространенном узком смысле слова под управлением понимают даже не целеуказание, а программу деятельности всех частей системы, ведущую к цели. Так, в сложной ситуации воздушного боя управление обычно подразумевает инструкции (команды) воздушным объектам во всех частях пространства боя, выполнение которых ведет к экстремуму смысла ситуации. Команды подразумевают кратчайший путь к цели, т. е. изменения в направлении отрицательного градиента смысла, так что для всей ситуации

$$\mathbf{Л} = -\operatorname{grad} C = -\int_V \operatorname{grad}(H_n \rho + \mathbf{A} \mathbf{j}_м) dV = \int_V \rho(\mathbf{E} + \mathbf{v} \times \mathbf{Ц}) dV, \qquad (78)$$

где $\mathbf{Л}$ — зависящий от времени вектор логической связи, или указание (команда); $\mathbf{E} = -\operatorname{grad} H_n$ — напряженность материального поля; $\mathbf{Ц} = \mathbf{И}/a$ — напряженность поля движения (целевого поля).

Команда типа (78) относится сразу ко всем исполнителям с целью направить их всех к тому или иному объекту или сосредоточить на определенной высоте. При необходимости конкретизировать команды для разных исполнителей, т. е. выработать множество индивидуальных команд, следует вместо выражения (78) использовать формулу объемной плотности c смысла и вектора $\mathbf{л}$ объемной плотности логики:

$$\mathbf{л} = -\operatorname{grad} c = \rho(\mathbf{E} + \mathbf{v} \times \mathbf{Ц}), \qquad (78а)$$

которые зависят от координат пространства, т. е. индивидуальны для каждой его точки, так что

$$\mathbf{Л} = \int_V \mathbf{л} dV.$$

Так, согласно выражению (78) команда движущейся со скоростью v компактной группе $\mathscr{M}$ объектов в произвольной ситуации, характеризующейся $\mathbf{E}$ и $\mathbf{Ц}$, формируется в соответствии с логикой: $\mathbf{Л} = \mathscr{M}(\mathbf{E} + \mathbf{v} \times \mathbf{Ц})$, где $\mathbf{E}$ и $\mathbf{Ц}$ вычисляются с помощью уравнений (75) и (76), т. е. определяются расположением и движением всех без исключения воздушных объектов, как своих, так и противника, с учетом противоположных знаков их материи.

При управлении пространственной ситуацией вектор $\mathbf{Л}$ указывает управляемым объектам направление перемещения и его значимость, т. е. величину смысла, приходящуюся на единицу пути следования к цели.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

АНАЛИЗ ИЕРАРХИЧЕСКИХ СТРУКТУР*

Иерархический принцип является основным средством представления сложных систем.

В настоящее время преобладает качественный подход к исследованию иерархических структур. На основе качественного анализа можно сделать вывод, что иерархическая структура должна влиять на проявление закономерности целостности системы, являющейся одним из основных средств исследования объектов и явлений с большой неопределенностью. Иерархическая структура позволяет как бы разделить «большую неопределенность», описываемую с помощью категории целостности: «Сумма свойств частей (элементов) не есть свойство целого (системы)», на «мелкие неопределенности», которые в силу опять-таки свойства целостности не должны в сумме равняться «большой неопределенности».

С помощью качественных исследований получены также некоторые рекомендации по построению иерархических структур. Например, рекомендуется, чтобы иерархическая структура была равномерной, т. е. чтобы деление по ветвям на каждом уровне иерархии было соразмерным.

И, наконец, качественные исследования показывают, что для решения одной и той же задачи в ряде случаев можно использовать разные иерархические структуры.

Однако для уточнения этих положений необходимы количественные оценки. Имеющиеся попытки количественного исследования иерархических структур базируются на введении критериев оценки (как правило, временных), связывающих между собой разные уровни иерархической структуры (см., например, [8]) и справедливых только для рассматриваемых конкретных условий. По этой причине ниже демонстрируется применение к оценке и исследованию иерархических структур рассмотренных выше категорий информации J, сущности H, смысла C и др., которые могут быть интерпретированы практически для любых задач.

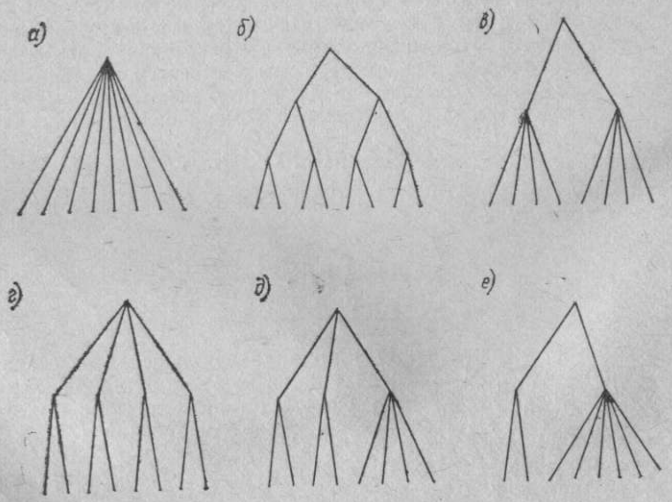

Рис. 20. Иерархические структуры систем

* Раздел подготовлен В. Н. Волковой.

Статика. Оценим, например, с помощью информационной категории смысла C труд, затрачиваемый на выбор одного из восьми элементов с помощью различных структур, представленных на рис. 20.

Для простоты расчетов примем, что выбор в каждом узле, независимо от числа сходящихся в нем ветвей, равновероятен и что каждая ветвь несет 1 бит необходимой для выбора информации. Тогда в структуре на рис. 20,*а* суть выбора из восьми составит согласно выражению (1) $H=3$ бит, среднее значение информации, с которым приходится иметь дело при выборе, составит $J=(m+1)/2=4{,}5$ бит, где m — число ветвей, а труд выбора (смысл) составит согласно уравнению (14) $C_a=4{,}5\cdot 3=13{,}5$ бит². Точно так же в структуре на рис. 20,*б* на каждом уровне $H_1=1$ бит, $J_1=1{,}5$ бит, $C_1=1{,}5$ бит², а для всей структуры $C_{«б»}=3C_1=4{,}5$ бит². В схеме на рис. 20,*в* на верхнем уровне $H_1=1$ бит, $J_1=1{,}5$ бит, $C_1=1{,}5$ бит², на нижнем уровне $H_2=2$ бит, $J_2=2{,}5$ бит, $C_2=5$ бит², а для всей схемы $C_{«в»}=C_1+C_2=6{,}5$ бит².

В равноценной схеме на рис. 20,*г* $H_1=2$ бит, $J_1=2{,}5$ бит, $C_1=5$ бит², $H_2=1$ бит, $J_2=1{,}5$ бит, $C_2=1{,}5$ бит², $C_{«е»}=C_1+C_2=6{,}5$ бит².

В неоднородной схеме на рис. 20,*д* в среднем $H_1=1{,}5$ бит, $J_1=1{,}75$ бит, $C_1=2{,}625$ бит², $H_2=1{,}5$ бит, $J_2=2$ бит, $C_2=3$ бит², $C_{«д»}=5{,}625$ бит².

Наконец, в схеме на рис. 20,*е* в среднем $H_1=0{,}8$ бит, $J_1=1{,}25$ бит, $C_1=1$ бит², $H_2=2{,}2$ бит, $J_2=3$ бит, $C_2=6{,}6$ бит², $C_{«е»}=7{,}6$ бит².

Таким образом, наиболее трудоемка неструктуризованная деятельность по схеме, изображенной на рис. 20,*а*, а наименее трудоемка — по схеме на рис. 20,*б*, что соответствует выводам качественного анализа. Кроме того, схема на рис. 20,*а* требует высокой квалификации H труда, а схема на рис. 20,*б* допускает квалификацию в 3 раза ниже. В неоднородных схемах на рис. 20,*в—е* квалификация труда и его объем различны на разных уровнях иерархии, отличаясь, например, для схемы на рис. 20,*е* соответственно в 3 и 6,5 раз, что создает известные неудобства в работе с ними. Вместе с тем емкость памяти, необходимая для работы со схемой на рис. 20,*а*, составляет согласно выражению (13) $n_{«а»}=1{,}5$, а для работы со схемой на рис. 20,*б* — уже $n_{«б»}=4{,}5$, поскольку в последней работа на всех уровнях может выполняться параллельно (одновременно).

На основе приведенных расчетов можно сделать вывод, что причиной возникновения иерархических структур и одним из их замечательных свойств является уменьшение затрат труда на решение задач выбора. При этом помимо того, что уменьшаются общие затраты труда, этот труд делится на порции, которые можно поручить выполнять последовательно одному человеку или распределить между помощниками.

Содержательно рассмотренный количественный анализ легко интерпретируется, если вспомнить историю возникновения иерархических организаций при разделении труда, когда мастер подбирал себе помощников с равными возможностями, но вместе выполняющих больший объем работы, или делил работу на операции так, чтобы, совершенствуя мастерство помощников в выполнении той или иной операции, в целом ускорять производство. Выполняя отдельные операции, отдельный помощник не всегда может себе представить работу всей мастерской.

Однако правомерно ли распространять рекомендации, полученные для задач выбора, на организационные структуры? Изучение задач, решаемых руководителем научно-исследовательского института, показывает, что многие из них могут быть сведены к задачам выбора. Примерами таких задач являются решение вопроса о целесообразности включения в план новой темы (которая решается с учетом связи этой темы с соответствующим участком структуры плана и с определением места этой темы в плане), избирательное распределение отчетной информации, поступившей от соисполнителей, или научно-технической информации по тематике института, выбор темы для заслушивания на ученом или научном совете института с целью контроля за ходом исследования. Названные задачи — основные, с помощью которых руководитель может влиять на ход научных исследований. Однако это не единственные задачи, которые приходится решать руководителю. Он должен организовывать ответы на письма (и при этом тоже решает задачу выбора), распределять разовые поручения вышестоящих организаций (тоже — выбор), контролировать частоту смены тематики подразделениями и т. п. Разные задачи могут решаться с помощью разных структур (целевой структуры, положенной в основу плана или организационной структуры), но желательно, чтобы эти структуры были древовидными иерархическими и по возможности равномерными, тогда руководитель будет затрачивать меньше труда на решение названных задач, связанных с выбором.

Таким образом, с точки зрения решения задач выбора, которых у руководителя довольно много, желательно, чтобы и организационная структура, и целевая структура, положенная в основу плана, были бы древовидными иерархическими, как можно более равномерными. Но на практике эти структуры не всегда получаются равномерными, а целевые структуры плана могут быть даже не древовидными, а иметь так называемые слабые иерархические связи, когда одна вершина нижележащего уровня подчинена одновременно двум или нескольким вершинам вышележащего уровня. Почему это происходит? Хорошо это или плохо? Попытаемся ответить на эти вопросы, проанализировав структуры с помощью оценки целостности, согласно выражению (5).

Для всех структур на рис. 20 $H_с=3$, так как суть любой из этих структур сводится к выбору из восьми, но совокупные собственные сути элементов, составляющих структуру, для разных вариантов структур различны. Для структуры на рис. 20,*а* $H=H_с$ и $\alpha_{«а»}=0$, так как структура представляет собой один элемент, способный осуществлять выбор из восьми. Для структуры на рис. 20,*б* $H=7$ бит (сумма H_i элементов, если бы они не были соединены в структуру) и $\alpha_{«б»}=(7-3)/7=0{,}57$. Для остальных структур на рис. 20: $\alpha_{«в»}=(5-3)/5=0{,}4$; $\alpha_{«г»}=(6-3)/6=0{,}5$; $\alpha_{«д»}=(5{,}6-3)/5{,}6=0{,}46$; $\alpha_{«е»}=(4{,}6-3)/4{,}6=0{,}35$.

Сравнивая оценки целостности рассматриваемых структур, можно сделать следующие выводы. Наибольшей целостностью обладает структура на рис. 20,*б*, т. е. самая равномерная из всех рассматриваемых структур. В этой структуре при объединении элементов появляется больше всего нового качества. Действительно, каждый отдельно взятый элемент мог совершать только выбор из двух, а при объединении этих

элементов в систему появилась возможность осуществлять выбор из восьми. Однако сделать вывод, что наличие элемента с более близкими возможностями к выбору из восьми равноценно сказывается на оценке целостности, нельзя. Структура на рис. 20,*е*, содержащая элемент, способный осуществлять выбор из шести, обладает наименьшей целостностью (0,35), а структуры на рис. 20,*г* и *д*, содержащие по одному элементу, способному осуществлять выбор из четырех, имеют неодинаковую целостность. Неоднозначным становится и требование равномерности. Казалось бы структура на рис. 20,*в* больше отвечает требованиям равномерности, чем структура на рис. 20,*д*, которая с точки зрения оценки целостности ближе к самой равномерной структуре на рис. 20,*б*, в ней появляется больше нового качества, чем в структуре на рис. 20,*в*.

Следует ли из приведенных оценок целостности, что нужно стремиться к равномерности структуры, как это было показано при оценке структур с точки зрения наименьших затрат труда при решении задач выбора? Если стремиться к тому, чтобы выполнить требуемую работу (в данном случае — выбор из восьми) с помощью элементов, обладающих наименьшими возможностями (или, что то же самое, стремиться к тому чтобы все элементы структуры выполняли минимальную работу), то действительно, наилучшей структурой является равномерная, и с этой точки зрения структура на рис. 20,*д* является более равномерной, чем структура на рис. 20,*в*, так как в ней всего один элемент осуществляет выбор из четырех, а остальные — из трех (тоже только один) и из двух (наибольшее число элементов — 2), а в структуре на рис. 20,*в* наибольшее число элементов (два) осуществляют выбор из четырех. Однако, если подойти к оценке структур с точки зрения экономичности использования отдельных элементов, объединенных в структуру, то в наиболее равномерной структуре на рис. 20,*б*, обладающей наибольшей целостностью, отдельные элементы используются наименее экономично, не объединенные в структуру, они могли бы выполнить выбор из 128 состояний (7 элементов, каждый — выбор из двух). Соответственно наиболее экономично используются элементы в структуре на рис. 20,*е*, обладающей наименьшей целостностью.

Таким образом, при сравнении иерархических структур с применением оценки целостности появляется возможность неоднозначно вводить критерий принятия решения: либо при выборе отдавать предпочтение наименьшей загруженности элементов, либо экономичности использования элементов в целом.

Кинематика. Положим теперь, что перед структурами на рис. 20 стоит задача пропускать поступающий к ним извне информационный ток I, т. е. перерабатывать поступающую информацию. Положим для простоты, что все элементы всех структур осуществляют одну операцию сравнения минимум за T секунд. В этом случае информационное сопротивление τ любого узла определится как среднее значение времени сравнения: $\tau=T\sum\limits_{k=1}^{m} kp_k$, где m — число ветвей в узле; k — порядковый номер ветви; p_k — вероятность обращения к этой ветви, причем в однородных структурах $\tau=(m+1)T/2$. Оценим для всех структур их смысловую нагрузку, т. е. выраженную в битах в квадрате в секунду производительность труда, которую им согласно выражению (20) придется обеспечить, а также H_τ согласно формуле (19).

Для схемы на рис. 20, *а* имеем $\tau=4{,}5T$, $H_\tau=I\tau=4{,}5IT$, $N_{«а»}=IH_\tau=4{,}5I^2T$. В дальнейшем будем опускать индекс τ у H подобно тому, как это делалось для H_n в статике.

Точно так же для верхнего уровня схемы на рис. 20,*б* $\tau_1=1{,}5T$, $H_1=1{,}5IT$, $N_1=1{,}5I^2T$; для среднего уровня, в котором имеющие $\tau'_2=\tau_1$ звенья работают в параллель, перерабатывая совместно тот же ток I, $\tau_2=\tau_1/2=0{,}75T$, $H_2=0{,}75IT$, $N_2=0{,}75I^2T$; соответственно для нижнего уровня $\tau_3=\tau_1/4=0{,}375T$, $H_3=0{,}375IT$, $N_3=0{,}375I^2T$, а смысловая производительность всей схемы $N_{\text{„б“}}=2{,}625I^2T$.

Для схемы на рис. 20, *в* $\tau_1=1{,}5T$, $N_1=1{,}5I^2T$, $\tau_2=1{,}25T$, $N_2=1{,}25I^2T$, $N_{\text{„в“}}=2{,}75I^2T$.

Для схемы на рис. 20, *г* $\tau_1=2{,}5T$, $N_1=2{,}5I^2T$, $\tau_2=0{,}375T$, $N_2=0{,}375I^2T$, $N_{\text{„г“}}=2{,}875I^2T$.

Для неоднородных схем примем (как и в статике) наиболее оптимальный для них вариант, при котором сравнение начинается с наиболее вероятной ветви. Тогда для схемы на рис. 20,*д* $\tau_1=1{,}75T$, $N_1=1{,}75I^2T$, $\tau_2=2T$, $N_2=2I^2T$, $N_{\text{„д“}}=3{,}75I^2T$.

Наконец, для схемы на рис. 20, *е* $\tau_1=1{,}25T$, $N_1=1{,}25I^2T$, $\tau_2=3T$, $N_2=3I^2T$, $N_{\text{„е“}}=4{,}25I^2T$.

Сопоставление этих цифр показывает, что выполнение одной и той же задачи требует наибольшего напряжения сил при работе по схеме на рис. 20,*а* и наименьшего — по схеме на рис. 20,*б*, причем при использовании последней затрачивается ежесекундно почти в 2 раза меньше умственного труда, чем при использовании схемы на рис. 20,*а*. Все остальные схемы занимают промежуточное положение, но равномерные схемы более совершенны, чем неравномерные. Отметим еще, что схема на рис. 20,*в* оказалась в работе лучше схемы на рис. 20,*г*, хотя в статике они были равноценны.

С другой стороны, если руководствоваться критерием равномерности нагрузки различных уровней иерархии, то в лучшем положении оказываются схемы на рис. 20,*в* и *д*, в которых оба уровня нагружены практически одинаково, а в худшем положении — схема на рис. 20,*г*, где нагрузки уровней различаются более чем в 6,5 раз, и схема на рис. 20,*б*, где нагрузки уровней различаются более чем в 4 раза, в то время как пропускная способность всех узлов во всех схемах одинакова и составляет $I_{\text{пр}}=1/T$.

Кинетическая целостность. Согласно выражению (5а) для определения кинетической целостности необходимо знать собственные суммарные сущности отдельно взятых элементов и сущность каждой из систем как целого. Если при этом определять сущность элементов и систем как произведения информационных сопротивлений и одинакового для всех тока (например, предельного), то последний сократится в соответствии с формулой (5а) и дело сведется к отношению соответствующих информационных сопротивлений.

Таким образом, для схемы на рис. 20,*б* информационное сопротивление составляет $\tau_c=(1{,}5+1{,}5/2+1{,}5/4)T=2{,}625T$, для ее элементов, взятых в отдельности, $\tau=1{,}5\cdot 7T=10{,}5T$, $\alpha_{\text{„б“}}=(10{,}5-2{,}625)/10{,}5=0{,}75$.

Для схемы на рис. 20,*в* соответственно $\tau_c=(1{,}5+2{,}5/2)T=2{,}75T$, $\tau=(1{,}5+1\cdot 2{,}5)T=6{,}5T$, $\alpha_{\text{„в“}}=(6{,}5-2{,}75)/6{,}5=0{,}58$.

Для схемы на рис. 20,*г* $\tau_c=(2{,}5+1{,}5/4)T=2{,}875T$, $\tau=(2{,}5+4\cdot 1{,}5)T=8{,}5T$, $\alpha_{\text{„г“}}=(8{,}5-2{,}875)/8{,}5=0{,}66$.

Для схемы на рис. 20,*д* $\tau_c=(1{,}75+1{,}5/2+2{,}5/2)T=3{,}75T$, $\tau=(2+1{,}5\cdot 2+2{,}5)T=7{,}5T$, $\alpha_{\text{„д“}}=(7{,}5-3{,}75)/7{,}5=0{,}5$.

Для схемы на рис. 20,*е* $\tau_c=(1{,}25+1{,}5/4+3\cdot 3{,}5/4)T=4{,}25T$, $\tau=(1{,}5+1{,}5+3{,}5)T=6{,}5T$, $\alpha_{\text{„е“}}=(6{,}5-4{,}25)/6{,}5=0{,}33$.

Сравнивая полученные результаты, можно констатировать, что наибольшей кинетической целостностью (как и в статике) обладает структура на рис. 20,*б*, а наименьшей — структура на рис. 20,*е*, если не считать обладающую нулевой целостностью структуру на рис. 20,*а*, так что собственные кинетические свойства элементов в наибольшей степени используются схемой на рис. 20,*е*, а свойство целостности в наибольшей степени присуще схеме на рис. 20,*б*.

Динамика. Любая система может быть охарактеризована не только структурно и в установившемся режиме работы, но и в переходном режиме, т. е. с точки зрения ее приемистости, способности освоения нового вида деятельности. Особо мы исследуем поведение системы в режиме стабильного роста производительности труда, который регламентируется только ригидностью системы. Положим, что минимальное время освоения одного сравнения при выборе составляет для всех узлов всех структур рис. 20 t_0. Так как t_0 есть время роста тока от нуля до $I_{\text{пр}}$, а суть H_L этого процесса состоит в освоении информации всех m ветвей, то предельное ускорение работы $dI/dt=I_{\text{пр}}/(mt_0)=1/(mTt_0)$ и ригидность согласно выражению (24) $L=m^2Tt_0$.

Таким образом, для схемы на рис. 20, *а* $L_{\text{„а“}}=64Tt_0$. Для схем на рис. 20, *б* по уровням $L_1=4Tt_0$, $L_2=L_1/2$, $L_3=L_1/4$, а для всей схемы $L_{\text{„б“}}=7Tt_0$. Для схемы на рис. 20, *в* $L_1=4Tt$, $L_2=16Tt_0/2=8Tt_0$, $L_{\text{„в“}}=12Tt_0$. Для схемы на рис. 20, *г* $L_1=16Tt_0$, $L_2=4Tt_0/4=Tt_0$, $L_{\text{„г“}}=17Tt_0$. Для схемы на рис. 20, *д* $L_1=9Tt_0$, $L_2=(4/4+4/4+16/2)Tt_0=10Tt_0$, $L_{\text{„д“}}=19Tt_0$. Наконец, для схемы рис. 20, *е* $L_1=4Tt_0$, $L_2=(4/4+36\cdot 3/4)Tt_0=28Tt_0$, $L_{\text{„е“}}=32Tt_0$.

В результате, если потребовать от всех структур одинакового ускорения в работе, то их инерционное противодействие H_L будет пропорционально L схемы. Поэтому наилучшей приемистостью (минимальными значениями L и H_L) обладает схема на рис. 20,*б*; а наихудшей — схема на рис. 20,*а*, ригидность которой больше, чем у схемы на рис. 20,*б*, в 9 раз. Равномерные схемы лучше неравномерных в динамике, как и в других режимах, а схема на рис. 20,*в* лучше схемы на рис. 20,*г*, как и в кинематике. Зато схема на рис. 20,*д* оказывается лучше всех с точки зрения равномерности распределения ригидности по уровням, хуже всех — схема на рис. 20,*г*, а схема на рис. 20,*б* занимает среднее положение.

Динамическая целостность. Если нагрузить отдельно взятые элементы каждой схемы предельным для них ускорением работы, то суммарная динамическая их суть согласно выражению (24) численно равна общему числу ветвей в структуре $H_L=m$ бит, так что $H_{\text{„б“}}=14$ бит, $H_{\text{„в“}}=10$ бит, $H_{\text{„г“}}=12$ бит, $H_{\text{„д“}}=11$ бит, $H_{\text{„е“}}=10$ бит.

С другой стороны, их системная суть при ускорении, предельном для уровня с наибольшей ригидностью, $H_{\text{с, „б“}}=7/2=3{,}5$ бит, $H_{\text{с, „в“}}=12/\sqrt{8}=4{,}25$ бит, $H_{\text{с „г“}}=17/4=4{,}25$ бит, $H_{\text{с „д“}}=19/\sqrt{10}=6$ бит, $H_{\text{с „е“}}=6$ бит.

Таким образом, согласно формуле (5в) динамическая целостность составит $\alpha_{\text{„б“}}=(14-3{,}5)/14=0{,}75$, $\alpha_{\text{„в“}}=(10-4{,}25)/10=0{,}575$, $\alpha_{\text{„г“}}=(12-4{,}25)/12=0{,}645$, $\alpha_{\text{„д“}}=(11-6)/11=0{,}455$, $\alpha_{\text{„е“}}=(10-$

—6)/10=0,4, что вновь подтверждает преимущество равномерных иерархических структур перед неравномерными, которое в динамическом режиме даже несколько усиливается по сравнению со статикой и кинематикой.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

ИНФОРМАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ ФИЗИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ

Продемонстрируем применение информационного подхода к нелинейным задачам на примере теории относительности, что позволяет осветить с новой точки зрения парадоксы этой теории.

Напомним, что лоренцево сокращение длин, замедление времени и возрастание массы движущихся тел были введены в физику для объяснения странных результатов измерения скорости света, которые в любых системах отсчета давали одинаковые значения c=const. Этот результат всегда воспринимался онтологически как действительно имеющее место постоянство скорости света в любых системах, не зависящее от их относительного движения, вследствие чего и его лоренцево объяснение носило онтологический характер, т. е. тоже претендовало на объективную реальность.

Покажем, однако, что измерения скорости света посредством оптических опытов носят неадекватный характер и должны всегда давать чувственное отраженное значение c=const независимо от действительного значения скорости света в данных условиях. С этой целью рассмотрим движение в произвольной среде с постоянной скоростью v стержня, имеющего длину l_0. Если скорость распространения информации в этой среде составляет c, то наблюдатель, располагающий часами и линейкой, обнаружит в тот момент, когда стержень поравняется с ним своим началом, что стержень имеет длину $l_1>l_0$, поскольку в этот момент он увидит дальний конец стержня в положении, соответствующем моменту выхода информации от этого конца, т. е. $l_1=l_0+vl_1/c$ или $l_1=l_0/(1-v/c)$.

Отметив время по своим часам и дождавшись момента, когда конец стержня поравняется с ним, наблюдатель обнаружит, что удаляющееся от него начало стержня по той же причине занимает положение $l_2=l_0-vl_2/c$ или $l_2=l_0/(1+v/c)$, что при $l_k/\Delta l=J_k$, $l_0/\Delta l=\mathscr{M}$ и $1/(1+v/c)=R_k$ совпадает с выражением (9).

Покажем теперь, что приведенные формулы отражения длин, которые отличаются от преобразования Лоренца, все же приводят к обычным релятивистским эффектам применительно к физическим взаимодействиям. Обратимся к процессу распространения чувственной информации, который в статике описывается теоремой Гаусса [см. формулу (55)]: $\mathscr{M}=\oint \mathrm{O}_0 dS$, где $\mathscr{M}$ — физическая материя (электрический заряд, масса); $\mathbf{O}_0$ — вектор плотности потока информации (отражения) сквозь произвольную замкнутую поверхность S. Поскольку принцип близкодействия по существу подразумевает взаимодействие зарядов и масс не непосредственно с зарядами и массами, а с доступной информацией о них, то искажение информации в процессе отражения является для взаимодействия определяющим фактором. При движении перпендикулярно потоку это искажение выражается в анизотропии потока информации, поскольку чувственное отражение приводит, во-первых, к кажущемуся растяжению пространства в направлении движения (спереди) и тем самым к уменьшению там плотности потока отражения: $\mathbf{O}_1=\mathbf{O}_0(1-v/c)$; а во-вторых, к кажущемуся

уплотнению пространства в противоположном направлении (сзади) и тем самым к увеличению там плотности потока отражения: $\mathbf{O}_2=\mathbf{O}_0(1+v/c)$.

Таким образом, в отличие от статики, где материя взаимодействует с потоком $\mathbf{O}_0$, при движении тела ему приходится иметь дело сразу с двумя потоками — $\mathbf{O}_1$ и $\mathbf{O}_2$. Реакция материи на эти потоки определяется уже не чувственным, а логическим отражением, т. е. той объективной логикой, которая присуща природе данной материи. Если предположить, что природе электромагнетизма (зарядам) свойственна линейная логика усреднения потоков в форме $\mathbf{E}=0{,}5(\mathbf{O}_1+\mathbf{O}_2)/\varepsilon_0=\mathbf{O}_0/\varepsilon_0$ ($\mathbf{E}$ — напряженность электрического поля; ε_0 — абсолютная диэлектрическая проницаемость), то оказывается, что движение только одного из взаимодействующих зарядов не изменяет отраженную напряженность $\mathbf{E}$ поля по сравнению со статикой, когда $\mathbf{E}_0=\mathbf{O}_0/\varepsilon_0$. Напротив, при стационарном параллельном движении обоих заряженных тел (например, заряженного стержня и точечного заряда) со скоростями v_1 и v_2 вначале происходит отражение потока $\mathbf{O}_0$ информации средой, разделяющей тела, в форме $\mathbf{O}_1=\mathbf{O}_0(1-v_1/c)$ и $\mathbf{O}_2=\mathbf{O}_0(1+v_1/c)$ *, а затем отражение этих потоков другим телом в форме $\mathbf{O}'_1=\mathbf{O}_1(1+v_2/c)=\mathbf{O}_0(1-v_1/c)(1+v_2/c)$ и $\mathbf{O}'_2=\mathbf{O}_0(1+v_1/c)(1-v_2/c)$, что после усреднения приводит к выражению (78): $\mathbf{E}=0{,}5(\mathbf{O}'_1+\mathbf{O}'_2)/\varepsilon_0=\mathbf{E}_0(1-v_1v_2/c^2)$. Это значит, что при обоюдном движении зарядов напряженность электрического поля, претерпев двукратное отражение, получает обычную релятивистскую добавку v_1v_2/c^2, соответствующую действию магнитного поля.

Отсюда прямо следует релятивистская формула сложения скоростей при электромагнитном взаимодействии: $v_\Sigma=\dfrac{v_1+v_2}{1+v_1v_2/c^2}$, которая при $v_1=c$ или при $v_2=c$ дает $v_\Sigma=c$, но вопреки теории относительности свидетельствует лишь о постоянстве отраженной (измеренной) скорости света, а не действительной его скорости.

Если же предположить, что природе гравитации (массе) свойственна логика геометрического усреднения потока в форме $E=\gamma\sqrt{\mathrm{O}_1\mathrm{O}_2}=\gamma\mathrm{O}_0\sqrt{1-v^2/c^2}$ (γ — ньютоновская гравитационная постоянная; E — однократно отраженная напряженность гравитационного поля, т. е. ускорение, которое получает равномерно и прямолинейно движущаяся со скоростью v масса в поперечном движению поле тяготения), то физическое ускорение E движущегося тела оказывается меньше ускорения $E_0=\gamma\mathbf{O}_0$ неподвижного тела в том же поле.

Из рассуждений следует, что это происходит вследствие ослабления потока достигающей тела информации в $\sqrt{1-v^2/c^2}$ раз и пропорциональной этому потоку логической реакции тела $F=F_0\sqrt{1-v^2/c^2}$.

Однако поскольку $E=F/m$ (F — сила; m — масса движущегося тела), то формально математически это можно трактовать и как возрастание движущейся массы: $m=m_0/\sqrt{1-v^2/c^2}$, при постоянстве

---

* Если при первом отражении v_1 означает скорость первого заряда относительно среды, то при повторном отражении v_2 означает скорость среды относительно второго заряда, поэтому при согласном движении зарядов скорости v_1 и v_2 встречны и берутся с разными знаками, а при встречном движении эти скорости согласны и берутся с однаковыми знаками.

силы, что и делается в теории А. Эйнштейна, причем это кажущееся явление выдается за имеющее место в действительности.

При параллельном стационарном движении двух масс со скоростями v_1 и v_2 двойное отражение приводит к $E = E_0\sqrt{(1 - v^2{}_1/c^2)(1 - v^2{}_2/c^2)}$. Отсюда следует правило сложения скоростей при гравитационном взаимодействии: $v_\Sigma = (v_1 + v_2)/\sqrt{(1 - v^2{}_1/c^2)(1 - v^2{}_2/c^2)}$, которое при $v_1 = c$ или при $v_2 = c$ дает $v_\Sigma = \infty$. Это значит, что отраженная (кажущаяся) скорость гравитационных волн не поддается измерению, а сами эти волны не могут быть зафиксированы механическими способами, что подтверждается неуспехом многолетних попыток такого рода.

В статике без учета отражения точечная масса создает ньютоновский потенциал $V^2 = -\gamma m/r$, который предписывает свободно падающему из бесконечности пробному телу иметь скорость V в точке, удаленной от центра тяготения на расстояние r. Эта скорость является мнимой, поскольку в статике пробное тело неподвижно. Тем не менее, если бы свободное движение пробного тела реализовалось, то вместо своей истинной скорости тело бы отражало $V > V_0$, поскольку движущееся тело в среднем завышает свою скорость: $V = V_0/\sqrt{1 - V^2{}_0/c}$.

Таким образом, истинная скорость пробного тела, т. е. истинный потенциал поля, $V^2_0 = V^2/(1 + V^2/c^2) = -\gamma mc^2/(rc^2 - \gamma m)$. Отсюда следует, во-первых, что при $r = 0$ потенциал поля $V^2_0 = c^2$, т. е. полная энергия тела массой m составляет $W = mc^2$.

Во-вторых, характер изменения потенциала V^2_0 с изменением r подобен характеру сильного взаимодействия нуклонов в ядре, так как оба они по мере уменьшения расстояния вначале резко притягиваются, а затем резко отталкиваются, что позволяет сделать предположение о гравитационной природе сильного взаимодействия.

В заключение необходимо развеять два наиболее распространенных заблуждения насчет экспериментов, якобы подтверждающих возрастание массы и замедление собственного времени движущегося тела. Выше уже отмечалось, что движение заряженных частиц в поперечных магнитных и электрических полях (в ускорителях) свидетельствует лишь об уменьшении их ускорения по сравнению с ожидаемым, но не о возрастании массы. Действительно, взяв производную по времени от отраженной скорости $\frac{d\mathbf{v}}{dt} = \frac{d}{dt}\left(\frac{\mathbf{v}}{\sqrt{1 - v^2{}_0/c^2}}\right)$, получаем

$$\frac{d\mathbf{v}_0}{dt} = \left[\frac{d\mathbf{v}}{dt} - \left(\frac{d\mathbf{v}}{dt} \cdot \frac{\mathbf{v}_0}{c^2}\right)\mathbf{v}_0\right]\sqrt{1 - v^2{}_0/c^2},$$

из чего следует, что истинное ускорение dv_0/dt всегда меньше заданного dv/dt и не зависит от массы частицы. Умножив обе части последнего выражения на неизменную массу частицы, получим силу Минковского:

$$m\frac{d\mathbf{v}_0}{dt} = \left(\mathbf{F} - \frac{\mathbf{F} \cdot \mathbf{v}_0}{c^2}\mathbf{v}_0\right)\sqrt{1 - v^2{}_0/c^2},$$

где лоренцев фактор относится не к массе, а к скорости (ускорению). Что касается быстрых мезонов, длина траекторий которых превосходит путь, который они могли бы пройти со скоростью света за время своего существования, что это скорее свидетельствует о том, что они движутся со скоростью, большей, нежели скорость света (на что наши рассуждения снимают запрет), чем о замедлении собственного времени.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Брошюра не является справочным пособием, поэтому в ней тщетно было бы искать исчерпывающие исследования каких-либо конкретных задач или систем управления. Ее целью была демонстрация универсальности и эффективности информационного формализма теории отражения и диалектики вообще, что и определило иллюстративный характер рассматриваемых примеров, которые не претендуют на глубину, но охватывают широкий круг вопросов. По этой причине, не желая усложнять изложение, автор специально не подчеркивал применение законов отрицания отрицания, всеобщей изменчивости, единства противоположностей, хотя эти законы в явной форме присутствуют во всех разделах брошюры. Напротив, за редкими исключениями автор не прибегал к использованию закона перехода количественных изменений в коренные качественные, т. е. в большинстве случаев сознательно ограничивал рассмотрение линейным приближением. Тем не менее читатель мог бы попытаться использовать этот аппарат как отправной пункт, базу для конкретного исследования практически любых задач управления, в особенности таких, для которых пока не существует иного аппарата.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **В. И. Ленин.** Материализм и эмпириокритицизм. — Полн. собр. соч., т. 18.
2. **Е. С. Вентцель.** Теория вероятностей. — М.: Наука, 1964.
3. **Н. Винер.** Кибернетика. — М.: Советское радио, 1968.
4. **А. А. Денисов.** Теоретические основы кибернетики. — Л.: Изд-во ЛПИ им. М. И. Калинина, 1975.
5. **Т. Котарбинский.** Трактат о хорошей работе. — М.: Экономика, 1975.
6. **П. Лафарг.** Воспоминания о Марксе. — В кн.: Воспоминания о Марксе и Энгельсе. — М.: Политиздат, 1956.
7. **Теория** систем и методы системного анализа в управлении и связи/ В. Н. Волкова, В. А. Воронков, А. А. Денисов и др. — М.: Радио и связь, 1983.
8. **Теория** иерархических многоуровневых систем/ М. Месарович, Д. Мако, И. Такахара. — М.: Мир, 1973.
9. **В. С. Тюхтин.** Отражение, системы, кибернетика. — М.: Наука, 1972.
10. **А. И. Уемов.** Системный подход и общая теория систем. — М.: Мысль, 1978.
11. **Ю. А. Урманцев.** Опыт аксиоматического построения общей теории систем. — В кн.: Системные исследования. — М.: Наука, 1972.
12. **К. Шеннон.** Работы по теории информации и кибернетике. — М.: Изд-во иностр. лит., 1963.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ. ИНФОРМАЦИОННАЯ СТРУКТУРА УПРАВЛЕНИЯ . . . 3

ГЛАВА ПЕРВАЯ. **ФОРМАЛИЗМ ПРИНЯТИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ** . . . 7

1. Управление в неизменных ситуациях . . . —
2. Управление в условиях старения информации . . . 17
3. Управление в произвольных ситуациях . . . 20

ГЛАВА ВТОРАЯ. **ИНФОРМАЦИЯ В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ** 24

4. Цепные структуры систем . . . —
5. Переходные режимы в информационных цепях . . . 33
6. Иерархические и нелинейные цепи . . . 44

ГЛАВА ТРЕТЬЯ. **УПРАВЛЕНИЕ В ПРОСТРАНСТВЕННЫХ СИТУАЦИЯХ** . . . 50

7. Управление в неизменных пространственно-временных условиях . . . —
8. Управление движением в пространстве . . . 55
9. Управление в произвольно эволюционирующих ситуациях 59

ПРИЛОЖЕНИЕ 1. **АНАЛИЗ ИЕРАРХИЧЕСКИХ СТРУКТУР** . . . 62

ПРИЛОЖЕНИЕ 2. **ИНФОРМАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ ФИЗИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ** . . . 68

Заключение . . . 71

Список литературы . . . —

АНАТОЛИЙ АЛЕКСЕЕВИЧ ДЕНИСОВ

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ОСНОВЫ УПРАВЛЕНИЯ

Научный редактор *Ю. А. Бычков*
Редактор *В. Н. Миханкова*
Художественный редактор *Д. Р. Стеванович*
Технический редактор *А. Г. Рябкина*
Корректор *А. Н. Акимов*

ИБ № 2487

Сдано в набор 26.04.83. Подписано в печать 19.09.83. М-32882 Формат 84 × 108$^1/_{32}$. Бумага типографская № 2. Гарнитура литературная. Печать высокая. Усл. печ. л. 3,78. Усл. кр.-отт. 3,99. Уч.-изд. л. 5,85 Тираж 7000 экз. Заказ 3176. Цена 30 к.

Ленинградское отделение Энергоатомиздата.
191041, Ленинград, Марсово поле, 1.

Ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового Красного Знамени Первая Образцовая типография имени А. А. Жданова Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли, Москва, Валовая, 28.