

2. ИНФОРМАЦИЯ И КИБЕРНЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

2.1. ЭНТРОПИЯ

Всякий процесс управления должен быть целенаправленным. У. Р. Эшби сказал, что кибернетика – «наука о том, как надо управлять очень сложной системой, чтобы в итоге она вела себя желательным для нас образом».

В процессах управления, осуществляемых человеком, требуемое поведение управляемых систем определяется сознательно намеченными целями.

В процессах управления живыми организмами, существующими в природе, обеспечивается поведение управляемых систем, определяемое условиями сохранения и развития организма или вида.

Конкретное выражение «желательного» поведения может быть весьма различным для различных объектов. Есть, однако, нечто общее во всех случаях управления, где бы и как бы оно ни происходило. Это общее состоит в том, что всякий процесс управления вносит в управляемый объект порядок или организованность, упорядоченность и придает смысл его действиям.

В связи с этим возникает задача **количественного** выражения упорядоченности или неупорядоченности управляемых объектов. Чтобы решать такую задачу, необходимо прежде всего выделить совокупность признаков, по которым определяется состояние упорядоченности рассматриваемого объекта. Это состояние может быть различным по разным признакам.

Например, упорядоченность библиотеки по топографическому признаку будет совершенной, когда все книги находятся на своих местах, но в то же время эта библиотека может быть очень неупорядоченной по признаку полноценности, если книги испорчены и в них не хватает страниц.

Предположим, что интересующий нас признак, определяющий состояние некоторого объекта, выбран. Но число его состояний может быть очень большое, которое поэтому неудобно для количественной оценки состояния объекта.

Пусть n – число равновероятных состояний, в которых по заданному признаку может находиться объект.

Например, полка книг, на которой поддерживается порядок, по топографическому признаку может находиться лишь в одном состоянии; если же порядок не поддерживается, то в пределе число ее состояний равно числу перестановок всех книг.

Составим меру неупорядоченности, т. е. количественное выражение неупорядоченности объекта, как некоторую функцию $F(n)$ возможного числа его равновероятных состояний по выбранному признаку. Потребуем, чтобы функция $F(n)$ удовлетворяла следующим условиям:

1) $F(1) = 0$ – неупорядоченность вполне упорядоченного объекта, находящегося в единственно возможном состоянии, равна нулю;

2) $F(n_2) > F(n_1)$, если $n_2 > n_1$ – неупорядоченность монотонно возрастает с увеличением числа возможных состояний объекта;

3) $F(n_1 n_2) = F(n_1) + F(n_2)$ – неупорядоченность объекта равна сумме неупорядоченностей его частей, так как при n_1 возможных состояниях одной из двух частей объекта и n_2 – другой число его возможных состояний равно $n_1 n_2$.

Этим условиям, очевидно, удовлетворяет логарифм числа n , и можно доказать, что им не удовлетворяет никакая другая функция от n . Логарифмическая мера неупорядоченности применима ко всем объектам, неупорядоченность которых по выбранному признаку не зависит от способа соединения и взаимодействия их частей. В противном случае, третье из перечисленных условий не имеет места. Не рассматривая здесь подобные случаи и применяя натуральный логарифм, напишем выражение меры неупорядоченности в виде

$$S = k \ln n, \quad (1)$$

где k – постоянный коэффициент, определяемый выбором единиц измерения неупорядоченности.

Величину S , численно выражающую неупорядоченность рассматриваемого объекта по некоторому признаку, назовем энтропией по этому признаку.

Энтропия характеризует общее состояние объекта, с которым может совпадать n конкретных его состояний. Общее состояние определяется именно тем, что оно допускает n конкретных состояний. Может быть известно число n , можем знать энтропию как функцию этого числа, но нет возможности узнать, какое из n состояний имеет место, т. е. отличить эти состояния друг от друга. Поэтому энтропия является **мерой** нашего **незнания**. Ее называют также **мерой неупорядоченности**, употребляя слово «мера» в смысле количественного выражения.

Энтропия растет с увеличением числа n возможных равновероятных состояний объекта, когда упорядоченность объекта уменьшается. Поэтому упорядоченность будет возрастать с увеличением $\frac{1}{n}$. Из предыдущего выражения имеем:

$$-S = k \ln \frac{1}{n} \quad (2)$$

Отсюда следует, что с возрастанием упорядоченности объекта увеличивается отрицательная энтропия или негэнтропия (негативная энтропия)

$$N = -S, \quad (3)$$

которая является, следовательно, мерой упорядоченности.

Поскольку все рассматриваемые состояния системы, число которых равно n , равновероятны, вероятность каждого из них соответствуют выражению

$$P = \frac{1}{n}. \quad (4)$$

Это позволяет выразить энтропию и негэнтропию через вероятность P :

$$S = -k \ln P, \quad (5)$$

$$N = k \ln P. \quad (6)$$

Любое состояние каждого из рассматриваемых объектов характеризуется по выбранному признаку некоторой неупорядоченностью и некоторой упорядоченностью. Энтропия является мерой неупорядоченности, а мерой упорядоченности служит негэнтропия. Если энтропия уменьшается, т. е. получает отрицательное приращение, то негэнтропия получает такое же по абсолютному значению положительное приращение, т. е. увеличивается. Это означает, что упорядоченность объекта увеличивается, а неупорядоченность уменьшается. Можно, следовательно, улучшать упорядоченность объекта, воздействуя на него так, чтобы его негэнтропия увеличивалась, или, как еще говорят, питая его негэнтропией. При этом энтропия объекта будет уменьшаться или, по крайней мере, не будет возрастать.

Можно сказать, следовательно, что задачей управления является борьба с неупорядоченностью управляемой системы посредством введения в эту систему негэнтропии. Тем самым управление борется с существующей в неуправляемой природе тенденцией к разрушению организованного, к возрастанию дезоргани

2.2. Понятие информации

Информация (лат. *informatio* – разъяснение, изложение, осведомленность) – одно из наиболее общих понятий, обозначающее некоторые сведения, совокупность каких-либо данных, знаний¹.

Информацию можно рассматривать как *средство взаимодействия* человека с другими людьми и с окружающим миром. Само познание возможно лишь благодаря способности человека выделять из окружающего мира информацию и пригодности мира быть источником или проводником для передачи информации.

Информация не может быть передана, принята или хранима в чистом виде. Для ее существования обязательно необходим *носитель*. Носителем информации является сообщение.

Сообщение – это кодированный эквивалент события, зафиксированный источником информации и выраженный с помощью последовательности условных знаков (алфавита), образующих некую упорядоченную

¹ Новейший философский словарь // Материалы Интернет-сайта:
<http://www.slovopedia.com/6/200/770565.html>

совокупность. Средствами передачи сообщений являются каналы связи. По каналу связи сообщения могут передаваться лишь в определенной для этого канала форме – в виде сигналов.

Сигнал – это знак, физический процесс или явление, распространяющийся в канале связи и несущий сообщение о каком-либо событии, состоянии объекта, команды управления и т.п. (например, электрические сигналы распространяются в электронных и электрических цепях, акустические – в среде газа, жидкости или твердого тела и т.д.).

Несущий информацию сигнал, переданный источником сообщения и воспринятый реципиентом, обретает для последнего определенный смысл, отличный от самого факта поступления сообщения, то есть сигнал *интерпретируется*. Таким образом, физическая регистрация принятого сигнала еще не свидетельствует о том, что получена информация от источника, если из этого сигнала не будет извлечен смысл. При этом важно, что сам сигнал может и не иметь непосредственной физической связи с событием или явлением, о котором он несет информацию.

Условно эту схему передачи информации можно представить следующим образом (рис. 2.1):



Рис. 2.1. Схема передачи информации

Важным качеством информации является возможность передачи ее с помощью различной совокупности сигналов (различного алфавита). Кроме того, сообщения, имеющие различные содержания, могут быть переведены на общий язык, а информация, которую эти сообщения несут, может быть количественно измерена.

Количество переданной информации и тем более эффект воздействия информации на получателя не определяются количеством энергии, затраченной на ее передачу. Особенностью использования информации является возможность приведения в действие больших масс вещества и процессов передачи и преобразования больших количеств энергии с помощью небольших масс и количеств энергии, несущих информацию.

Свойства информации отражены в ее способности:

- передаваться на расстоянии;
- подвергаться переработке;
- сохраняться в течение любых промежутков времени и изменяться во времени;

– переходить из пассивной формы в активную (например, извлекаться из памяти).

Успешное управление осуществимо лишь при наличии достаточных знаний о свойствах управляемого объекта. Источники этих знаний – прежде всего наблюдения и опыт. Пусть происходит исследование какого-либо объекта. Ограниченность знаний заставляет допускать, что этот объект может находиться в некотором числе n_0 равновероятных состояний. Наблюдения и опыты дают сведения, на основании которых определяем новое число возможных равновероятных состояний объекта, равное n . В действительности в каждый момент времени объект находится в каком-то одном состоянии. Если бы наблюдатель определил, какое это состояние, то в результате опыта он положил бы $n=1$. Но исход опыта обычно характеризуется некоторой неопределенностью, из-за которой $n > 1$, то есть наблюдатель может установить лишь то, что объект находится в одном из n состояний. Это связано с воздействием средств испытания на объект, и там, где этим воздействием нельзя пренебречь, необходимо учитывать обусловленную им неопределенность результатов испытаний. Кроме того, испытания и измерения всегда сопровождаются систематическими и случайными ошибками, также приводящими к некоторой неопределенности результата. Во многих случаях она бывает обусловлена помехами. Неопределенность возникает также вследствие выборочного способа испытаний, когда без этого способа нельзя обойтись. Наконец, неопределенность наблюдаемого состояния объекта зависит от его неупорядоченности: чем больше неупорядоченность, тем больше число возможных состояний и тем труднее определить, какое из них фактически имеется.

Неопределенность результата испытаний означает неупорядоченность нашего представления об их объекте. В силу перечисленных причин эта неупорядоченность больше неупорядоченности объекта.

Если сведения, полученные об объекте исследования, содержат какие-либо новые данные, то представление о нем уточняется и

$$n < n_0 \quad (7)$$

Если в этих сведениях нет ничего нового, то

$$n = n_0 \quad (8)$$

Если же полученные сведения противоречивы и делают наше представление об объекте менее ясным, то

$$n > n_0 \quad (9)$$

Когда имеет место соотношение (7), знания об объекте исследования увеличиваются. Это увеличение может быть различным, в одних случаях оно больше, в других – меньше.

Слова «больше» и «меньше» недостаточны, чтобы оценить прирост знаний наблюдателя. Для этого необходимо иметь количественное выражение прироста знаний. Такое выражение может быть получено из

соображений, аналогичных тем, которые привели нас к выражению энтропии. Действительно, рассматривая энтропию как меру незнания, следует оценить прирост знаний, получаемый при условии (7), разностью энтропии, вычисленных по числам состояний n_0 , и n , или, что тоже, разностью негэнтропий, вычисленных по числам n и n_0 . По формуле (1) энтропия имеет при этом, соответственно, значения:

$$\left. \begin{aligned} S_0 &= k \ln n_0 \\ S &= k \ln n \end{aligned} \right\} . \quad (10)$$

Следовательно, прирост знаний определяется положительной величиной

$$I = S_0 - S, \quad S_0 > S, \quad (11)$$

откуда

$$I = k \ln \frac{n_0}{n}, \quad n \leq n_0. \quad (12)$$

При условии (9) прирост знаний определяется отрицательной величиной

$$D = S_0 - S, \quad S_0 < S, \quad (13)$$

показывающей, что знания уменьшились. Отсюда

$$D = k \ln \frac{n_0}{n}, \quad n \leq n_0. \quad (14)$$

Величины I и D называют, соответственно, **информацией** и **дезинформацией**. Они подчиняются условиям:

$$\begin{aligned} I &\leq 0, \\ D &\geq 0. \end{aligned}$$

По формуле (12) при каждом значении n_0 наблюдатель получает наибольшую информацию, если

$$n = 1. \quad (15)$$

Смысл этого ясен: представление наблюдателя об объекте становится в таком случае вполне определенным.

После получения информации I энтропия системы уменьшается по формуле (11) до

$$S = S_0 - I. \quad (16)$$

– Это означает, с одной стороны, что представление об объекте становится более упорядоченным.

Заметим, что как получение этой информации, так и основанные на ней действия, приводящие к уменьшению энтропии объекта, всегда требуют совершения некоторой работы. А при этом обязательно происходит обесценение энергии и возрастание физической энтропии. Управление неизбежно сопровождается общим возрастанием физической энтропии. Но при этом достигается уменьшение энтропии, являющейся мерой

неупорядоченности управляемого объекта по признаку, определяемому целью управления. И это достигается обязательно, хотя бы в течение ограниченного времени: без этого процесс управления был бы бессмысленным и бесполезным.

Следует обратить внимание на различный смысл явлений потери информации и потери энергии. Потеря энергии означает ее преобразование в энергию другого вида по закону сохранения. Потеря информации означает ее уничтожение. Это показывает, что для информации нет закона ее сохранения: ее потеря приводит лишь к возрастанию энтропии системы.

С учетом всего вышесказанного необходимо различать представление структурных схем как потоковые и информационные, которые принципиально отличаются законами преобразования переменных в этих схемах рис. 2.1.



Рис. 2.1

Если в потоковых схемах имеют место условия сохранения баланса массы и энергии, то в информационных таких балансовых соотношений не существует, информация никуда не исчезает и может многократно распараллеливаться.

Отличие от энергетики состоит здесь еще в том, что за счет некоторого количества энергии можно совершить работу только один раз, тогда как одной и той же информацией можно пользоваться в неограниченном числе случаев.

Это наглядно поясняет следующий пример. Профессор, читающий лекцию, сообщает некоторое количество информации студентам. При этом обладателем этого количества информации остается сам профессор и становится каждый студент, слушающий лекцию, причем каждый из них может, если только информация не будет потеряна, пользоваться ею для эквивалентного уменьшения энтропии объектов, к которым информация относится, в любом числе случаев. Существует, таким образом, принцип многократного применения информации.