

ИНФОРМАЦИЯ И МИРОПОНИМАНИЕ

Взаимосвязь информации с энергией и массой

БОРИСОВ В.И.

заслуженный деятель науки РФ,
доктор технических наук, профессор,
лауреат государственной премии,
член корреспондент РАН
концерн «Созвездие»,
Москва

На протяжении всей своей истории человечество овладело веществом, энергией и информацией. Целые эпохи в развитие человечества получили названия по имени наиболее передовой технологии этой эпохи. Так "каменный век" — это эпоха технологии обработки камня для получения орудий труда, "бронзовые век" — эпоха овладения технологией обработки металла, "век книгопечатания" — эпоха овладения новыми методами распространения информации. Еще 20–30 лет назад говорили, что наступил "атомный век", сейчас все чаще можно слышать о "веке информации". Более того, считается, что сегодня мир переживает информационный бум. Если в средние века удвоение количества информации происходило за 100 лет, в начале века — за 10 лет, то начиная с 1980 года удвоение количества информации в мире происходит ежегодно.

Для ее создания, хранения, переработки и распределения идет непрерывный процесс перекачки трудовых и финансовых ресурсов из сферы материального производства в информационную сферу. Так сегодня в США более 50% всех трудовых ресурсов заняты в сфере информационных услуг, планируется рост до 80%, а доля средств, направленных на информатику, в валовом национальном продукте приближается к 10% и уже опережает другие области промышленности, в том числе автомобильную.

Растущая зависимость промышленно-развитых стран от источников информации (технической, экономической, политической, военной) привела к формированию на рубеже 1980-х годов принципиально нового понятия — национальных информационных ресурсов, которые становятся новой экономической категорией и играют для промышленно-развитых стран ту же роль, которую относительно недавно играла тяжелая индустрия.

Несмотря на определяющую роль информационной технологии в жизни общества, исследователей не престаёт волновать вопрос: что же такое информация — понятие, категория или процесс.

Понятие "Информация" в своем наиболее раннем определении [1] означало знание человека тех или

иных явлений природы и общества, т.е. связывалось со свойством человеческого мозга отражать закономерности окружающей среды. В этом смысле понятие "информация" не утрачивает своего значения и в настоящее время, однако оно порождает элементы эклектизма о "нефизичности", "неосвязаемости" информации, вплоть до независимости существования и переноса информации от существования и переноса энергии.

В более общем смысле под информацией, согласно [2], предполагается понимать процесс взаимодействия, превращения и сохранения энергии движения и масс в микро- и макроструктурах Вселенной.

Все процессы, происходящие в микро- и макроструктурах, генерируются соответствующими силами (энергиями). В настоящее время известны и учитываются четыре вида фундаментальных сил (энергий) [3]:

- электромагнитная;
- сильная ядерная (взаимодействие на расстоянии $\sim 10^{-15}$ м и за время $0.3 \cdot 10^{-23}$ с);
- слабая ядерная (взаимодействие на расстоянии $\sim 10^{-11}$ м и за время $\sim 10^{-19}$ с);
- гравитационная.

Во Вселенной возможны другие процессы, неизученные на сегодняшний день. Между различными видами энергии, а также массой и энергией установлены количественные соотношения, а для информации они неизвестны. Так, например, Ньютоном были введены понятия массы, силы, скорости (значительно меньшей, чем скорость света). Эйнштейн в 1905 году в рамках специальной теории относительности установил предельности скорости света и взаимосвязь массы и энергии ($E=mc^2$). На уровне микромира мировые константы на рубеже 20-го столетия получили фундаментальное пополнение: скорость света $c \gg 3 \cdot 10^8$ м/с⁻¹ и постоянная Планка $h = 6.63 \cdot 10^{-20}$ Дж/с, что позволило установить соотношение $hn = mc^2$.

В настоящей работе предпринята попытка установления связи между массой, энергией и информацией на примере электромагнитных излучений, передаваемых и принимаемых специальными передатчиками и приемниками в системах связи.

Для определения количества информации, передаваемого по каналу связи с шумами, воспользуемся энтропийным подходом, ибо в теоретическом отношении информация представляет собой меру неопределенности (энергию) того или иного объекта или события.

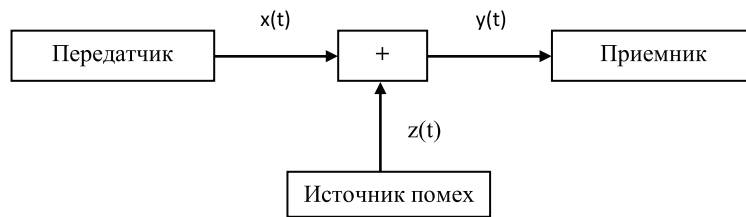


Рис. 1. Канал связи с шумами.
 $x(t)$ – передаваемое сообщение, $z(t)$ – гауссовый шум с дисперсией σ_z^2 , $y(t)=x(t)+z(t)$

Большой класс дискретных сообщений, передаваемых в системах связи, можно представить в общем виде, состоящем из n элементов, каждый из которых может находиться в одном из m различных фиксированных состояний.

Количество возможных сообщений при этом $L=m^n$. Величина L при равновероятностных состояниях сообщений может быть принята за меру количества информации, содержащейся в нем. Однако выбор L за меру количества информации связан с рядом неудобств. Например, когда $L=1$ (т.е. $n=0$), сообщение несет нулевую информацию. Этот выбор неудобен тем, что при сложении количества информации нескольких независимых источников сообщений не выполняется условие аддитивности. Более удобной мерой является логарифмическая мера количества информации, введенная Хартли в 1928 году:

$$I_0 = \log L; \quad I_0 = n \log m.$$

Если передается одно состояние, то количество информации $I_0=0$, что соответствует случаю, когда передача информации отсутствует.

Для K различных источников сообщений общее число возможных состояний равно:

$$L = L_1 \cdot L_2 \cdot \dots \cdot L_K;$$

$$I_0 = \log L = \log L_1 + \log L_2 + \dots + \log L_K;$$

$$I_0 = I_1 + I_2 + \dots + I_K,$$

т.е. общее количество информации равно сумме количеств информации, создаваемых отдельными источниками сообщений.

Количество информации, приходящейся на один элемент сообщения, называется удаленной информативностью или энтропией.

$$H = \frac{I_0}{n} = \log m$$

Количество информации $I(x,y)$ в сообщении $x(t)$, $t \in [0, T]$ в канале связи (рис. 1) с дисперсией $\sigma_s^2 = P_s$ (средней мощностью сообщения за время T), наблюдаемое в $y(t)=x(t)+z(t)$, где $z(t)$ – гауссовский шум; W – полоса пропускания в Гц; G [Вт/Гц] – спектральная плотность процесса $x(t)$, можно определить используя известное соотношение Клода Шеннона:

$$I(x,y) = W \cdot T \ln \left(1 + \frac{\sigma_s^2}{\sigma_{ш}^2} \right). \quad (1)$$

Соотношение (1) выведено в предположении, что частотная характеристика приемника имеет прямоугольный вид, а сигнал и шум гауссовские, что возможно в том случае, если при квантовании сигнала и шума согласно теореме выбора Уиттекера-Котельникова-Шеннона отсчеты взяты через интервал $T_0 = \frac{1}{2W}$, при этом $T \geq T_0$. Поскольку

T_0 – длительность выборок, то $T/T_0 = N$; N – постоянное положительное число.

Выразим σ_s^2 и $\sigma_{ш}^2$ через среднюю энергию случайных процессов $x(t)$ и $z(t)$.

Строго говоря, понятие "средняя энергия" случайного процесса является довольно искусственным и в теории случайных процессов не используется. Однако для рассматриваемой модели стационарного гауссовского шума с ограниченной полосой, не нарушая корректности дальнейших действий, его можно ввести.

Среднюю энергию сигнала обозначим (\mathcal{E}_s)

$$\mathcal{E}_s = \sigma_s^2 \cdot T = N \cdot T_0 \sigma_s^2 = \frac{N \sigma_s^2}{2W} = \frac{N \cdot G_0}{2}. \quad (2)$$

С учетом (2) преобразуем выражение (1)

$$I(x,y) = W \cdot T \ln \left(1 + \frac{\sigma_s^2 \cdot T}{\sigma_{ш}^2 \cdot N \cdot T_0} \right) = W \cdot T \ln \left(1 + \frac{\mathcal{E}_s \cdot 2W}{N \cdot \sigma_{ш}^2} \right) \quad (3)$$

Энергия \mathcal{E}_s может быть получена любыми известными способами.

Таким образом, установлено однозначное количественное соотношение между информацией и энергией.

Далее рассмотрим связь массы и информации. Введем массу m [кг] через количество тепла сжигаемого (окисляемого) вещества. Для этого воспользуемся понятием энергии горения и тепловой энергии \mathcal{E}_r . Тепловая энергия (называемая также количеством тепла) подобно механической и электрической представляет собой один из видов энергии. Она подчиняется закону сохранения энергии, имеет размерность [джоуль].

Введем коэффициент K_r , характеризующий теплоемкость горения. Теплоемкость горения

$$\text{вещества равна } K_r = \frac{\mathcal{E}_r}{m} \text{ [Дж/кг].}$$

ИНФОРМАЦИЯ И МИРОПОНИМАНИЕ

Если известна удельная теплоемкость горения

$$K_{1\Gamma} = \frac{\mathcal{E}_{\Gamma}}{1\text{кг}}, \text{ то энергия горения равна } \mathcal{E}_{\Gamma} = m \cdot K_{1\Gamma}.$$

При преобразовании энергии горения \mathcal{E}_{Γ} в электрическую или электромагнитную происходят потери, которые могут быть учтены введением коэффициента преобразования $0 \leq \gamma_S \leq 1$. Тогда

$$\mathcal{E}_S = m \cdot K_{1\Gamma} \cdot \gamma_S. \quad (4)$$

С учетом (4) выражение (3) может быть записано

$$I(x,y) = W \cdot \text{Tn} \left(1 + \frac{m \cdot K_{1\Gamma} \cdot \gamma_S}{N \cdot T_0 \cdot \sigma_{\text{ш}}^2} \right) \quad (5)$$

Таким образом, установлена взаимосвязь между массой, энергией и информацией.

Задавая конкретными величинами T , T_0 , σ_m^2 , $K_{1\Gamma}$, γ_S , можно определить количество информации в соответствии с (5).

Величины $K_{1\Gamma}$ известны практически для любых веществ [4]:

- сухое дерево – $18 \cdot 10^6$ Дж/кг
- уголь антрацит – $31 \cdot 10^6$ Дж/кг
- керосин – $40.8 \cdot 10^6$ Дж/кг
- нефть – $41 \cdot 10^6$ Дж/кг
- бензин – $42 \cdot 10^6$ Дж/кг

Возможно постановка вопроса определения определенной величины информации, которую можно получить при заданном количестве вещества. Для этого можно воспользоваться соотношением, полученным Эйнштейном $E=mc^2$. Величины энергии подобного уровня могут быть получены в результате ядерного распада. При этом энергия $\mathcal{E}_{\text{SA}} = m \cdot K_{\text{IA}}$, где $K_{\text{IA}} = 8.987 \cdot 10^6$ Дж/кг.

Тогда

$$I_{\text{пред}}(x,y) = W \cdot \text{Tn} \left(1 + \frac{8.987 \cdot 10^6 \text{ Дж/кг} \cdot m \cdot \gamma}{N \cdot T_0 \cdot \sigma_{\text{ш}}^2} \right). \quad (6)$$

Подход, близкий к обсуждаемому, устанавливающий связь между массой, энергией и информацией, использован Хансом Бреммерманном на уровне микромира, который решил задачу определения количества информации, которую могла бы обработать гипотетическая компьютерная система, имеющая массу, равную массе Земли, за период равный примерно возрасту Земли. Для обработки информации, в соответствии с представлениями Бреммерманна, она должна быть закончена в виде энергетических уровней в интервале $[0, E]$, где E – количество энергии, которым мы располагаем. Далее предполагается, что энергетические уровни измеряются с точностью до ΔE .

Это возможно только до некоторого предела, так как нужно различать полученные уровни с помощью какой-то измерительной процедуры, которая, независимо от ее сути, всегда имеет ограниченную точность. Максимальная точность на уровне

микромира определяется принципом неопределенности Гейзенберга: энергия может быть измерена с точностью до ΔE , если выполняется неравенство $\Delta E \cdot \Delta t \geq h$, где Δt – длительность времени измерения. Представляя энергию E соответствующим количеством массы согласно формуле Эйнштейна $E=mc^2$, количество информации можно определить как

$$N = \frac{mc^2 \cdot \Delta t}{h} \quad (7)$$

Подставив значения для c и h (7) можно записать $N = 1.36 m \Delta t 10^{47}$.

Так, для массы 1г ($m=1$) и времени 1с ($t=1$) получим указанное значение

$$N = 1.36 \times 10^{47}.$$

Используя полученный предел для обработки информации граммом массы за 1с процессорного времени, Бреммерманн вычислил число бит, которое могла бы обработать гипотетическая компьютерная система, имеющая массу, равную массе Земли. Поскольку масса Земли оценивается примерно в 6×10^{27} г, а возраст 10^{10} лет этот воображаемый компьютер смог бы обработать порядка 10^{93} бит. Это число называют пределом Бреммерманна, а задачи, требующие более чем 10^{93} бит информации задачами Бреммерманна.

Таким образом, приведенные рассуждения и количественные оценки подтверждают, что есть все основания утверждать, что под информацией следует понимать процесс взаимодействия, превращения и сохранения энергии движения и массы в микро- и макроструктурах Вселенной; и информация выступает как изначальное первичное свойство объектов, определяющее его структурные свойства, связанные с количеством и распределением вещества, количеством и распределением энергии.

Литература

1. Клюев Н.И. Информационные основы передачи сообщений. М.: Сов. радио, 1966.
2. Юзвизин И.И. Информациология. М.: Радио и связь, 1996.
3. Конторов Д.С., Конторов М. Д., Слока В.К. Радиоинформатика / Под ред. В.К. Слоки. М.: Радио и связь, 1993.
4. Борисов В.И. О единстве массы, энергии и информации «Информация и космос» №1, 2001. С.8-10