ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

12(172) 2010

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ И ПРИКЛАДНОЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Издается с ноября 1995 г.

УЧРЕДИТЕЛЬ
Издательство "Новые технологии"

СОДЕРЖАНИЕ

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ

Гуревич И. М. Информационные методы исследования физических систем: обзор первых достижений. 2

БЕЗОПАСНОСТЬ ИНФОРМАЦИИ И УПРАВЛЕНИЕ РИСКАМИ

Алгулиев Р. М., Имамвердиев Я. Н., Деракшанде С. А. Пути повышения точности методов оценки рисков информационной безопасности 6

Генералов Д. Н. Противодействие нарушению целостности модулей специализированного программного обеспечения бортового устройства 12

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ И СЕТИ

Саак А. Э. Локально-оптимальный синтез расписаний для GRID-технологий. 16

Умбиталиев А. А., Шипилов Н. Н., Фахми Ш. С. Сложнофункциональный блок транскодирования видеоконтента 21

Панько С. П., Нагорный А. В. Особенности многостанционного доступа в сеть с разделяемым ресурсом 24

Аббасова Т. С. Повышение эффективности эксплуатации высокоскоростной кабельной системы с помощью виртуальных технологий 28

ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

Струченков В. И., Козлов А. Н., Егунов А. С. Кусочно-линейная аппроксимация плоских кривых при наличии ограничений 32

Гальяно Ф. Р. Алгоритм классификации участков поверхности Земли на основе сингулярного разложения матриц. 35

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЭКОНОМИКЕ И УПРАВЛЕНИИ

Казаков П. В. Автоматизация синтеза оптимальных инвестиционных портфелей на основе кластерного генетического алгоритма. 38

Чучуева И. А. Модель экстраполяции временных рядов по выборке максимального подобия . . 43

Гюльмамедов Р. Г. Выбор стратегии информатизации инновационного региона. Когнитивный подход 48

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МЕДИЦИНЕ

Малыхин В. М., Меркушева А. В. Нейронные сети с вейвлет-преобразованием для классификации биосигналов 51

Зыкин С. В., Полуянов А. Н., Чернышев А. К., Ревзин А. И. Технология подготовки и анализа данных для построения медицинских оценочных шкал 57

ПРОГРАММНЫЕ ПРОДУКТЫ И БАЗЫ ДАННЫХ

Киселева Н. Н., Дударев В. А. База данных "Информационные ресурсы неорганической химии и материаловедения". 63

ДИСКУССИОННЫЙ КЛУБ

Вяткин В. Б. Введение в синергетическую теорию информации 67

Указатель статей, опубликованных в журнале "Информационные технологии" в 2010 г. . . . 74

Указатель приложений к журналу "Информационные технологии", опубликованных в 2010 г. 78

Contents 78

Приложение. Шилов В. В. Говорящие головы. Мифы и реальность в истории механических генераторов речи

Информация о журнале доступна по сети Internet по адресу http://www.**informika.ru/text/magaz/it/** или **http://novtex.ru/IT.**

Журнал включен в систему Российского индекса научного цитирования.

Журнал входит в Перечень научных журналов, в которых по рекомендации ВАК РФ должны быть опубликованы научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук.

УДК 519.72

В. Б. Вяткин, канд. техн. наук,
г. Екатеринбург,
e-mail: vbvvbv@yandex.ru

Введение в синергетическую теорию информации

С помощью синергетического подхода к определению количества информации рассмотрены особенности отражения дискретных систем через свои части и их взаимоотношения с окружающей средой. Получены новые информационные функции и показана их взаимосвязь с традиционными мерами информации. Установлены структурный закон сохранения суммы хаоса и порядка, информационный закон отражения и закон сохранения информации.

Ключевые слова: *информация, негэнтропия, энтропия, отражение, система, часть, структура, хаос, порядок*

Введение

Ранее [1] автором был представлен новый — синергетический — подход к определению количества информации, в котором за информацию принимаются сведения о конечном множестве как едином целом, а мерой информации является средняя длина интегративного кода элементов. При этом были получены формула количества информации (I_A), самоотражаемой произвольным конечным множеством A, и формула негэнтропии отражения (I_{AB}), т. е. количества информации, которую отражают (воспроизводят) друг о друге как о целостном образовании два пересекающихся конечных множества A и B:

$$I_A = \log_2 M_A; \tag{1}$$

$$I_{AB} = \frac{M_K^2}{M_A M_B} \log_2 M_K, \tag{2}$$

где $K = A \cap B$; M_A, M_B, M_K — число элементов в составе множеств A, B, K.

В настоящей статье дается дальнейшее развитие синергетического подхода к определению количества информации, которое позволяет говорить о том, что нами разрабатывается новое направление в исследовании количественных аспектов феномена информации, именуемое как *синергетическая теория информации.* В нижеследующем изложении с помощью формул (1) и (2) рассматриваются информационные особенности отражения множества A через совокупность пересекающихся с ним множеств $B_1, B_2, ..., B_N$, таких что $\bigcup_{i=1}^{N} B_i \geqslant A$ и $\bigcap_{i=1}^{N} B_i = \varnothing$. При этом указанные множества выступают в качестве автономных систем, выделенных в составе некоторой системы D по единичному значению признака P_A и совокупности значений признака $P_B = P_{B_1}, P_{B_2}, ..., P_{B_N}$ соответственно. Также предварительно отметим, что отражаемая система A по отношению к окружающей среде (элементам дополняющего множества $D \backslash A$) может быть как закрытой, так и открытой в информационном отношении. То есть система A информационно закрыта, если $\bigcup_{i=1}^{N} B_i = A$ (рис. 1, *а*), и информационно открыта, если $\bigcup_{i=1}^{N} B_i > A$ (рис. 1, *б*).

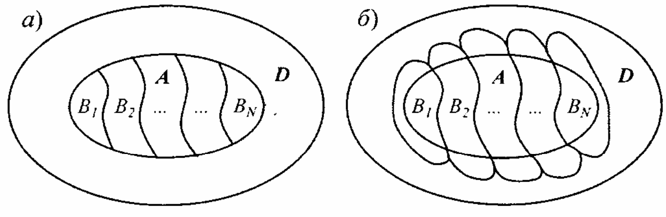

Рис. 1. Отражение системы A через совокупность множеств B_1, B_2, ..., B_N:
а — система A информационно закрыта; *б* — система A информационно открыта

С учетом сделанных замечаний перейдем к непосредственному рассмотрению особенностей отражения системы A через совокупность множеств (систем) $B_1, B_2, ..., B_N$ и начнем со случая, когда система A информационно закрыта.

Отражение информационно закрытых систем

Первое, что выступает перед нами при анализе информационных аспектов отражения системы A, — это информация I_A, отражаемая системой о самой себе как о целостном образовании. Посредством множеств $B_1, B_2, ..., B_N$ система делится на N частей с числом элементов $M_{B_1}, M_{B_2}, ..., M_{B_N}$. Очевидно, что каждая часть отражает о системе как о целом определенную информацию, численно равную негэнтропии отражения (2). Соответственно, общее количество информации о системе A, отражаемое (отраженное) через совокупность ее частей, равно аддитивной негэнтропии отражения (I_Σ), формула которой с учетом того, что в условиях информационной закрытости системы $M_{B_i} = M_{K_i}$, имеет вид

$$I_\Sigma = \sum_{i=1}^{N} I_{AB_i} = \sum_{i=1}^{N} \frac{M_{K_i}}{M_A} \log_2 M_{K_i}. \quad (3)$$

Сравним между собой отражаемую (I_A) и отраженную (I_Σ) информации, для чего правые части выражений (1) и (3) умножим на M_A и разделим на $\log_2 M_A$. В результате этой операции для $N > 1$ получаем очевидное неравенство

$$M_A > \sum_{i=1}^{N} M_{K_i} \frac{\log M_{K_i}}{\log_2 M_A},$$

из которого следует, что $I_A > I_\Sigma$. Иначе говоря, *не вся информация о системе A как едином целом отражается через совокупность ее частей, и всегда существует некоторая часть отражаемой информации I_A, которая остается неотраженной.* Эта неотраженная информация характеризует неопределенность, неадекватность отражения системы через свои части, что в соответствии с распространенной интерпретацией термина *энтропия* как меры неопределенности чего-либо позволяет назвать ее *энтропией отражения.* Обозначим энтропию отражения символом S и определим ее величину как разность между отражаемой и отраженной информациями:

$$S = I_A - I_\Sigma. \quad (4)$$

В соответствии с формулами (1) и (3) запишем:

$$S = \log_2 M_A - \sum_{i=1}^{N} \frac{M_{K_i}}{M_A} \log_2 M_{K_i}. \quad (5)$$

Умножив и разделив аргумент второго логарифма в выражении (5) на M_A и заменяя при этом логарифм произведения суммой логарифмов, получаем:

$$S = \log_2 M_A - \sum_{i=1}^{N} \frac{M_{K_i}}{M_A} \log_2 \frac{M_{K_i}}{M_A} - \log_2 M_A \sum_{i=1}^{N} \frac{M_{K_i}}{M_A}.$$

Так как $\sum_{i=1}^{N} M_{K_i} = M_A$, то из последнего выражения следует:

$$S = -\sum_{i=1}^{N} \frac{M_{K_i}}{M_A} \log_2 \frac{M_{K_i}}{M_A}. \quad (6)$$

Отношение M_{K_i}/M_A с позиций теории вероятностей представляет собой вероятность p_i встречи элементов, обладающих i-м значением признака P_B среди общего числа элементов системы A. Поэтому формула энтропии отражения информационно закрытых систем (6) может быть представлена также в следующем виде:

$$S = -\sum_{i=1}^{N} p_i \log_2 p_i. \quad (7)$$

Полученная формула (7) широко известна в науке как энтропия множества вероятностей Шеннона [2] и занимает в традиционной теории информации фундаментальное положение, являясь мерой количества информации, возможности выбора и неопределенности. Данный факт говорит о том, что *вероятностная и синергетическая теории информации, имея предметом своего познания различные виды информации (вероятностный, связанный с управлением, и синергетический, существующий независимо от управления), в то же самое время непосредственно взаимосвязаны между собой отношением взаимного проникновения друг в друга.* При этом необходимо отметить следующее. В теории информации Шеннона энтропия (7) вводится в рассмотрение эмпирическим путем как функция, удовлетворяющая априорным требованиям к мере неопределенности выбора одной из N различных возможностей. В синергетической теории информации, в свою очередь, энтропия (7) получена аналитически как разность (4) между отражаемой и отраженной информациями. Иначе говоря, в синергетической теории информации энтропия (7) представляет собой меру неотраженной информации и в силу этого является вторичной, т. е. выводимой через негэнтропию отражения функцией. Сказанное, по-видимому, позволяет утверждать, что *с информационно-генетических позиций синергетическая теория информации является первичной по отношению к вероятностной теории информации Шеннона.* Примечательно, что данное утверждение полностью согласуется с выводом академика А. Н. Колмогорова о том, что "теория информации должна предшествовать теории вероятностей, а не опираться на нее" [3, с. 249].

Анализ выражений (3) и (6) показывает, что аддитивная негэнтропия I_Σ и энтропия отражения S зависят от числа частей системы и их соотношения между собой по числу элементов. При этом чем более хаотичной является структура системы, т. е. чем больше частей выделяется в ее составе и чем меньше эти части отличаются друг от друга по числу элементов, тем больше S и меньше I_Σ. И, наоборот, чем больше порядка в структуре системы, т. е. чем меньше число ее частей и чем больше части отличаются друг от друга по числу элементов, тем

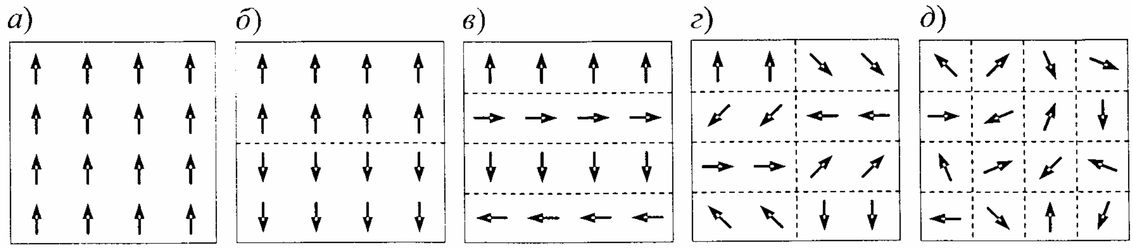

Рис. 2. Деление системы на части по признаку "направление движения элементов"

больше I_Σ и меньше S. Это означает, что I_Σ и S зависят от степени структурной упорядоченности и хаотичности отражаемой системы и, соответственно, могут рассматриваться как меры порядка и хаоса.

Проиллюстрируем сказанное примером. На рис. 2 приведены различные состояния системы, состоящей из 16 элементов, которые характеризуются признаком "направление движения". По значениям этого признака система последовательно принимает пять состояний, которым соответствует ее деление на 1, 2, 4, 8, 16 равновеликих (для простоты) частей.

В состоянии, соответствующем рис. 2, *а*, все элементы движутся в одном направлении, и в структуре системы наблюдается идеальный порядок. На рис. 2, *д* имеем полярную противоположность, т. е. каждый элемент системы обладает строго индивидуальным направлением движения и структура системы является максимально хаотичной. Состояния системы, соответствующие рис. 2, *б*, *в*, *г*, занимают промежуточное положение по отношению к состояниям на рис. 2, *а*, *д* и характеризуются тем, что в их структуре присутствует как хаотичность, так и упорядоченность. Рассчитывая для каждого состояния системы по формулам (3) и (6) значения аддитивной негэнтропии и энтропии отражения, последовательно получаем: $I_\Sigma = 4$; 3; 2; 1; 0; $S = 0$; 1; 2; 3; 4. То есть нарастанию хаоса и уменьшению порядка в структуре системы на рис. 2 соответствует уменьшение значений аддитивной негэнтропии и увеличение значений энтропии отражения.

Аддитивная негэнтропия I_Σ как отраженная информация и энтропия отражения S как неотраженная информация являются составными частями отражаемой информации I_A и

$$I_A = I_\Sigma + S. \tag{8}$$

В то же самое время, как было показано, I_Σ и S количественно характеризуют структуру отражаемой системы со стороны ее упорядоченности и хаотичности. Поэтому равенство (8) интерпретируется также в виде следующего выражения:

$$\textit{порядок} + \textit{хаос} = \text{const}.$$

То есть можно констатировать, что в лице равенства (8) мы имеем *закон сохранения суммы хаоса и порядка*, который справедлив при любых структурных преобразованиях системы. Иначе говоря, *чтобы мы ни делали с системой без изменения общего числа элементов, на сколько бы частей ни разбивали ее по значениям какого-либо признака и в каком бы соотношении по числу элементов ни находились между собой части, сумма хаоса и порядка в структуре системы всегда будет оставаться неизменной*. Например, для вышеописанной системы на рис. 2 по всем состояниям имеем:

$$I_\Sigma + S = 4.$$

Хаотичность и упорядоченность структуры в своей совокупности определяют в целом структурную организацию системы, и, соответственно, для ее количественной характеристики может использоваться та или иная функция, аргументами которой являются меры хаоса и порядка. В качестве такой функции структурной организации может использоваться отношение аддитивной негэнтропии к энтропии отражения, которое будем называть R-функцией[1]:

$$R = \frac{I_\Sigma}{S}. \tag{9}$$

То есть значения R-функции говорят о том, что и в какой мере преобладает в структуре системы: хаос или порядок. Так, если $R > 1$, то в структуре системы преобладает порядок, в противном случае, когда $R < 1$, — хаос. При $R = 1$ хаос и порядок уравновешивают друг друга, и структурная организация системы является равновесной. Например, для состояний системы на рис. 2 последовательно имеем: $R = \infty$, 3, 1, 0,33, 0.

Рассмотрим теперь особенности взаимоотношений аддитивной негэнтропии I_Σ и энтропии отражения S при постоянном числе элементов системы M_A и различном числе ее частей N, соотносящихся между собой по числу элементов M_{B_i} произвольным образом. При этом сначала определим максимальные и минимальные значения I_Σ и S при данном N, основываясь на формулах (3) и (6) и выражении (8).

[1] Название функции дано по первой букве англ. слова *reflection*, что в переводе на русский язык означает *отражение*.

Энтропия отражения является максимальной, когда все части системы представлены одинаковым числом элементов, т. е.:

$$S^{\max} = -N\frac{1}{N}\log_2\frac{1}{N} = \log_2 N. \qquad (10)$$

Соответственно, минимальное значение аддитивной негэнтропии отражения имеет вид

$$I_\Sigma^{\min} = \log_2 M_A - \log_2 N = \log_2\frac{M_A}{N}. \qquad (11)$$

Максимальное значение, в свою очередь, аддитивная негэнтропия будет принимать тогда, когда число элементов в одной части равно $M_A - N + 1$, а каждая из остальных $N - 1$ частей включает в себя только один элемент, т. е.

$$I_\Sigma^{\max} = \frac{M_A - N + 1}{M_A}\log_2(M_A - N + 1). \qquad (12)$$

Соответственно, минимальное значение энтропии отражения

$$S^{\min} = \log_2 M_A - \frac{M_A - N + 1}{M_A}\log_2(M_A - N + 1). \qquad (13)$$

Построим графики $I_\Sigma^{\min}$, $I_\Sigma^{\max}$, $S^{\min}$, $S^{\max}$ как функций от N при фиксированном M_A и проведем анализ полученной диаграммы, которую будем называть *информационным полем отражения дискретных систем* (рис. 3).

Приведенные графики изначально образуют два контура: энтропийный — *abdefha* и негэнтропийный, или информационный, — *cdfghbc*, которые локализуют соответствующие области всех возможных значений энтропии и аддитивной негэнтропии отражения информационно закрытых систем. Пересечение данных контуров по точкам *b* и *f*, где наблюдаются равенства $I_\Sigma^{\min} = S^{\max}$ и

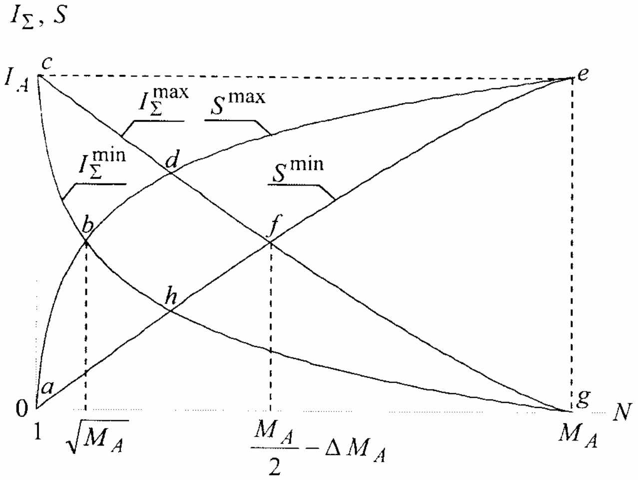

Рис. 3. Информационное поле отражения дискретных систем (M_A = 100)

$I_\Sigma^{\max} = S^{\min}$, позволяет по проекциям этих точек на горизонтальную ось выделить три интервала значений N (левый, центральный, правый) с присущими каждому интервалу особенностями взаимоотношений I_Σ и S. Рассмотрим эти особенности, предварительно определив значения N, соответствующие точкам *b* и *f*.

В точке *b* согласно выражениям (10) и (11) имеем уравнение $\log_2 N_b = \log_2\frac{M_A}{N_b}$, решение которого дает $N_b = \sqrt{M_A}$ (с округлением до ближнего большего целого). Аналогичное уравнение для точки *f*, образованное правыми частями выражений (12) и (13), не имеет аналитического решения. То есть значение N_f может быть определено только численным путем. (Для членов последовательности $N = 1, 2, ..., M_A$ определяются $I_\Sigma^{\max}$ и $S^{\min}$, и в качестве значения N, соответствующего точке *f*, принимается то значение, после которого $S^{\min} > I_\Sigma^{\max}$.) Но при этом, как показывают расчеты, значение N_f остается меньше $\frac{M_A}{2}$ на некоторую величину ΔM_A, которая увеличивается по мере роста M_A, т. е. $N_f = \frac{M_A}{2} - \Delta M_A$.

Таким образом, при заданном M_A имеем три формализованных интервала значений N:

- левый: $1 \leqslant N < \sqrt{M_A}$;
- центральный: $\sqrt{M_A} \leqslant N \leqslant \frac{M_A}{2} - \Delta M_A$;
- правый: $\frac{M_A}{2} - \Delta M_A < N \leqslant M_A$.

Отражение систем, попадающих в левый интервал, характеризуется тем, что при любых соотношениях их частей между собой по числу элементов сохраняется неравенство $I_\Sigma > S$. То есть в левом интервале значений N структурная упорядоченность системы всегда больше ее хаотичности и $R > 1$.

В правом интервале наблюдается противоположная ситуация, когда при любых структурных преобразованиях системы выполняется неравенство $S > I_\Sigma$, что соответствует преобладанию хаоса над порядком. При этом $R < 1$.

В центральном интервале происходит пересечение областей возможных значений I_Σ и S, вследствие чего между ними здесь наблюдаются различные соотношения и проявляется тенденция к взаимному уравновешиванию структурного порядка и хаоса. R-функция при этом может быть как больше, так и меньше единицы, а в ряде случаев (по линии bf) имеет место и равенство $R = 1$.

Иначе говоря, в левом интервале значений N наблюдается необратимое преобладание в структуре системы порядка над хаосом, а в правом интервале, наоборот, — необратимое преобладание хаоса над порядком. В центральном интервале, в свою очередь, преобладание как порядка над хаосом, так и хаоса над порядком является обратимым.

Указанные особенности интервалов значений N позволяют любые дискретные системы с конечным множеством элементов в зависимости от числа частей, на которые они разделяются в плоскости какого-либо признака, формализованно классифицировать на три типа:

- упорядоченные (левый интервал);
- синергетичные (центральный интервал);
- хаотичные (правый интервал).

Например, система на рис. 2 в различных своих состояниях будет классифицироваться как: *а*, *б* — упорядоченная; *в* — синергетичная; *г*, *д* — хаотичная.

Отражение информационно открытых систем

При информационном открытии системы (см. рис. 1, *б*) осуществляется ее непосредственная взаимосвязь (взаимодействие) с окружающей средой, в результате чего часть отражаемой информации I_A переходит в окружающую среду и распределяется по элементам дополняющих множеств $B_i \backslash K_i \neq \varnothing$. Соответственно, по отношению к информационно закрытому состоянию системы уменьшается аддитивная негэнтропия и увеличивается энтропия отражения. То есть собственно отражение системы становится более неопределенным, рассеянным, хаотичным. Так как отношение M_{K_i}/M_A не зависит от того, открыта или закрыта система, то энтропия S (6), являясь функцией внутреннего строения системы, при информационном открытии последней не изменяется, т. е. является инвариантной величиной относительно любых взаимоотношений системы с окружающей средой. Это говорит о том, что при открытии системы в общей энтропии ее отражения появляется новая составляющая (ΔS) как функция, характеризующая взаимосвязь системы с внешней средой. В соответствии со сказанным, для того чтобы отличать друг от друга энтропии S и ΔS, будем пользоваться терминами ***внутренняя*** (S) и ***внешняя*** (ΔS) ***энтропии отражения***.

Определим величину ΔS исходя из соблюдения баланса между отражаемой, отраженной и неотраженной информациями. Так как отражаемая информация I_A и внутренняя энтропия S при информационном открытии системы не изменяются, то внешняя энтропия ΔS равна соответствующему уменьшению аддитивной негэнтропии I_Σ информационно закрытого состояния системы:

$$\Delta S = I_\Sigma - I_\Sigma^*, \tag{14}$$

где I_Σ^* — аддитивная негэнтропия отражения информационно открытой системы.

Представляя выражение (14) в развернутом виде и проводя простые преобразования, получаем:

$$\Delta S = \sum_{i=1}^{N} \frac{M_{B_i} - M_{K_i}}{M_{K_i}} \frac{M_{K_i}^2}{M_A M_{B_i}} \log_2 M_{K_i}. \tag{15}$$

Первый сомножитель в выражении (15) представляет собой отношение числа элементов дополняющего множества $B_i \backslash K_i$ к числу элементов связующего множества $K_i = A \cap B_i$. Иначе говоря, этот сомножитель есть отношение области непосредственной взаимосвязи множества B_i с окружающей систему A средой к области непосредственной взаимосвязи этого же множества с самой системой A. Будем называть это отношение *коэффициентом информационной открытости системы* (μ_{B_i}) *по множеству* B_i:

$$\mu_{B_i} = \frac{M_{B_i}}{M_{K_i}} - 1, \quad 0 \leqslant \mu_{B_i} < \infty. \tag{16}$$

Совокупность второго и третьего сомножителей, в свою очередь, представляет собой негэнтропию отражения $I_{AB_i}^*$ открытой системы. Поэтому, с учетом (16), формула внешней энтропии ΔS имеет вид

$$\Delta S = \sum_{i=1}^{N} \mu_{B_i} I_{AB_i}^*. \tag{17}$$

Вернемся к рассмотрению информационного поля отражения дискретных систем, представленного на рис. 3. Очевидно, что прямоугольный контур *acega* ограничивает в целом площадь информационного поля, включающего в себя, при данном M_A, все возможные значения аддитивной негэнтропии и энтропии отражения как открытых, так и закрытых в информационном отношении систем. В предыдущем разделе было показано, что если система является информационно закрытой, то области возможных значений аддитивной негэнтропии и энтропии отражения ограничены контурами *cdfghbc* и *abdefha* соответственно. Когда система информационно открывается, ее отражение становится более неопределенным и области возможных значений как аддитивной негэнтропии, так и энтропии отражения начинают увеличиваться. При этом новые возможные значения аддитивной негэнтропии располагаются ниже графика $I_\Sigma^{\min}$, а энтропии отражения — выше графика $S^{\max}$. В случае неограниченного возрастания общего информационного открытия системы, т. е. когда $\forall \mu_{B_i} \to \infty$, минимум аддитивной негэнтропии и максимум общей энтропии отражения выходят на свои асимптотические значения, лежащие на линиях *ag* и *ce* соответственно. Таким образом, комплексные области возможных значений отраженной и неотраженной информации ограничены контурами: аддитивная негэнтропия отражения — *acdfga*, энтропия отражения — *acefha*. Заканчивая описание распределения отражаемой информации по информационному полю отражения *acega*, отметим также, что в его пределах существует довольно обширная область *efge*, в которую никогда не попадают значения как отраженной, так и неотраженной информации.

Информационный закон отражения и закон сохранения информации

Составим информационный баланс отражения дискретных систем для общего случая:

$$I_A = I_{\Sigma}^{*} + S + \Delta S. \qquad (18)$$

Выражение (18) является устойчивым однозначным соотношением между отражаемой, отраженной и неотраженной информациями, справедливым для любых дискретных систем, представленных конечным множеством элементов, вне зависимости от степени их информационной открытости, числа отражающих объектов и их соотношения между собой по числу элементов, что позволяет придать ему статус закона. Дадим этому закону название *информационный закон отражения* и сформулируем его следующим образом: *при отражении системы A через совокупность систем $B_1, B_2, ..., B_N$, таких что $\bigcup_{i=1}^{N} B_i \geq A$ и $\bigcap_{i=1}^{N} B_i = \varnothing$, происходит разделение отражаемой информации на отраженную и неотраженную части, первая из которых равна аддитивной негэнтропии, а вторая — сумме внутренней и внешней энтропий отражения.*

Информационный закон отражения по своей форме (18) подобен известным физическим законам сохранения (энергии, электрического заряда и т. д.). О необходимости установления подобного рода законов в теории информации указывалось математиками и философами еще в 50—60 гг. прошлого столетия [4, 5]. Отмечалось, что законы сохранения в теории информации должны учитывать взаимные переходы друг в друга различных видов информации. Такие переходы можно видеть при анализе выражения (18), если, в соответствии с формулой (7), рассматривать внутреннюю энтропию отражения S в качестве вероятностной

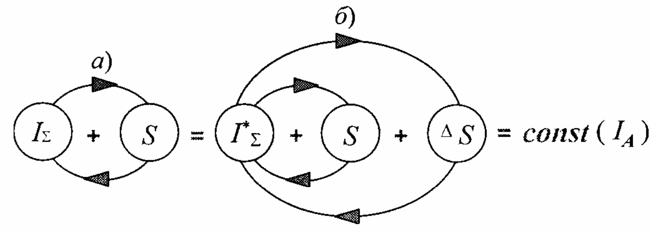

Рис. 4. Графическое выражение закона сохранения информации: *а* — информационно закрытая система; *б* — информационно открытая система

информации, а I_{Σ}, I_{Σ}^{*}, ΔS считать, естественно, разновидностями синергетической информации. Короче говоря, выражение (18) на межвидовом информационном уровне представляет собой *закон сохранения информации*, который можно сформулировать следующим образом: *суммарное количество синергетической и вероятностной информации, характеризующей структуру дискретной системы и ее взаимоотношения с окружающей средой, при фиксированном числе элементов системы является постоянной величиной.*

Раскроем содержание установленного закона сохранения информации, для чего представим его в иллюстративной форме (рис. 4).

Информационно закрытые системы. Когда система информационно закрыта, соотношения между различными видами информации и их взаимные переходы друг в друга (рис. 4, *а*) определяются тем, в каком направлении осуществляются структурные преобразования системы. Так, если число частей системы уменьшается, а тем более, если при этом какая-то часть системы начинает доминировать по числу элементов, то возрастает количество синергетической информации I_{Σ} и уменьшается количество вероятностной S. В пределе, когда все элементы системы в плоскости какого-либо признака становятся неотличимыми друг от друга и, соответственно, система не разделяется на части ($N = 1, p = 1$), ее вероятностная информация полностью переходит в синергетическую информацию и как вид перестает существовать в системе, т. е. $I_{\Sigma} = I_A$, $S = 0$. Разнообразия элементов и возможности выбора при этом нет. При обратных структурных преобразованиях, когда система все более делится на части, т. е. увеличивается разнообразие ее элементов и возрастают возможности выбора, идет противоположный информационный процесс и синергетическая информация переходит в вероятностную. Этот процесс исчерпывает себя и прекращается, когда число частей системы становится равным числу ее элементов ($N = M_A$, $p_i = 1/M_A$) и, соответственно, $I_{\Sigma} = 0$, $S = I_A$.

Таким образом, мы видим, что каждый из отмеченных противоположных процессов в информационно-количественном отношении заканчивается одним и тем же математическим результатом, выражаемым чисто комбинаторной формулой количества информации. При этом, с содержательной точки зрения, в первом случае, когда уменьшается число частей и в структуре системы возрастает порядок, мы приходим к формуле количества информации, самоотражаемой конечным множеством [1], а во втором случае, при максимальной хаотичности структуры, имеем также равенство двоичному логарифму Хартли [6], который лежит в основе традиционного комбинаторного подхода к определению количества информации [7]. По-видимому, можно сказать, что *комбинаторное количество информации имеет двойственную природу и в зависимости от того, с какой стороны его рассматривать, может относиться как к синергетическому, так и к вероятностному виду информации.*

Обращаясь теперь к равенству (8), в свете сказанного можно также утверждать, что это равенство, помимо прочего, представляет собой уравнение взаимосвязи различных подходов к количественному определению информации. То есть *комбинаторный, вероятностный и синергетический подходы к определению количества информации неразрывно взаимосвязаны между собой и в своей совокупности составляют единую количественную основу общей теории информации.*

Информационно открытые системы. Когда система информационно открывается, начинается ее взаимодействие с окружающей средой, в результате чего часть информации, отражаемой системой, переходит в окружающую среду в виде внешней энтропии отражения ΔS, равной уменьшению аддитивной негэнтропии отражения (рис. 4, *б*). Если в последующем система начинает обратно закрываться ($\forall \mu_{B_i} \to 0$), то эта информация возвращается в систему в виде соответствующего увеличения значений I_Σ^*. Так как по определению (14) $\Delta S < I_\Sigma$, то независимо от степени увеличения открытости системы ($\forall \mu_{B_i} \to \infty$) во внешнюю среду может перейти только ограниченное количество информации. То есть можно сделать следующий вывод: *система не может отдать во внешнюю среду, а также получить обратно из внешней среды количество информации, превосходящее аддитивную негэнтропию отражения ее информационно закрытого состояния.*

Так же, как в случае информационной закрытости, рассмотрим два полярных друг другу структурных состояния системы. В первом случае, когда система предельно упорядочена ($N = 1$), в ней актуализирована только синергетическая информация и до открытия системы $I_\Sigma = I_A$, $S = 0$. После информационного открытия системы и его неограниченного возрастания по окружающей среде распространяется практически вся отражаемая системой информация и, соответственно, $I_\Sigma^* \to 0$, $\Delta S \to I_A$.

Во втором случае, при максимальной хаотичности структуры системы ($N = M_A$), вся ее информация представлена только вероятностным видом, который инвариантен относительно взаимоотношений системы с внешней средой. Соответственно, как до открытия системы, так и после ее открытия сохраняется равенство $S = I_A$, говорящее о том, что при любой степени открытости системы обмена информации с окружающей средой не происходит и, следовательно, $I_\Sigma^* = 0$, $\Delta S = 0$. То есть, достигая максимально возможной структурной хаотичности, система становится "невидимой" для внешней среды или, выражаясь по-другому, множество A в плоскости признака $P_B = P_{B_1}, P_{B_2}, \ldots, P_{B_N}$ при $N = M_A$ перестает восприниматься окружающей средой как система.

Заключение

В двух статьях (настоящей и [1]) на основе простого аксиоматического базиса, без опоры на теорию вероятностей и традиционную теорию информации пройден путь от рассмотрения информационных аспектов элементарного конечного множества до установления на межвидовом информационно-количественном уровне закона сохранения информации. Получены неизвестные ранее информационно-синергетические функции и показана их непосредственная взаимосвязь с традиционными мерами информации. Все это говорит о том, что в лице синергетической теории информации мы имеем новую научную теорию. Дальнейшее развитие этой теории и внедрение ее в практику научных и прикладных исследований, по нашему мнению, будет иметь значение не только для общей теории информации, но и для тех предметных областей, где объекты познания представимы в виде дискретных систем с конечным множеством элементов.

Список литературы

1. **Вяткин В. Б.** Синергетический подход к определению количества информации // Информационные технологии. 2009. № 12. С. 68—73.

2. **Шеннон К.** Работы по теории информации и кибернетике. М.: Изд-во иностр. лит., 1963. 830 с.

3. **Колмогоров А. Н.** Теория информации и теория алгоритмов. М.: Наука, 1987. 304 с.

4. **Харкевич А. А.** Очерки общей теории связи. М.: Гостехиздат, 1955. 268 с.

5. **Новик И. Б.** Негэнтропия и количество информации // Вопросы философии. 1962. № 6. С. 118—128.

6. **Хартли Р. В. Л.** Передача информации // Сб.: Теория информации и ее приложения. М.: Физматгиз, 1959. С. 5—35.

7. **Колмогоров А. Н.** Три подхода к определению понятия "количество информации" // Проблемы передачи информации. 1965. Т. 1. № 1. С. 3—11.