

**ИНФОРМАЦИЯ И ЭНТРОПИЯ ВИРТУАЛЬНЫХ МИРОВ МЫШЛЕНИЯ ЧЕЛОВЕКА НООСФЕРНОГО** — это важнейшие характеристики мышления *homo noospheres*. При оценке информационно-энтропийного содержания сложных систем используем известные результаты работ по теории информации. Заметим, что в последнее время понятие информации существенно расширилось по сравнению с каноническим ее смыслом, данным в свое время Больцманом, К. Шенноном и Н. И. Кобозевым. Это расширение качественного порядка и относится, в основном, к связи информации с динамикой исследуемых процессов и спецификой открытых систем. Наконец, это связано — для объектов и процессов живого мира — с образованием диссипативных структур (по И. Пригожину) и синергетизмом этих структур (по Г. Хакену).

Поскольку базовым процессом передачи информации является электродинамический, акустический... вообще — волновой, то вводится основополагающее понятие *информационного содержания волновой функции*. Таким образом, сам смысл волнового процесса двоякий: энергетический и информационный. Совмещение же этих двух функций является нерациональным по самой сути. Отсюда, кстати говоря, вытекает и нелогичность содержания весьма распространенного термина «биоэнергоинформатика». То есть волновой процесс либо доставляет в нужную точку (зону, область, ...) пространства энергию  $E$ , либо информацию  $I$ . Хотя, конечно, и в информационной доставке определенное количество квантов энергии необходимо. Однако здесь принципиальная разница: в энергетическом волновом процессе  $E \gg I$ , в информационном же  $I \gg E$ .

Соответственно, в первом случае вид волновой функции предельно простой, например,  $f_E = E \sin \omega t$ , а объектом переноса является значительная по величине амплитуда  $E$ . В информационном же волновом процессе функция имеет тем более сложный вид, чем бóльший объем информации

она переносит:  $f_I = E [\overline{lin}]_P \left( \sum_i \omega_i t + \sum_j \varphi_j \right)_\chi$ . Здесь энергетичность  $E$  может быть сведена к минимуму квантов, а вот число квантов информации

может быть максимизировано следующими усложнениями функции  $f_j$ : нелинейностью функции  $[\overline{lin}]$ ; усложнением (расширением) частотного спектра  $\sum_i \omega_i t$ ; усложнением фазовых характеристик  $\sum_j \varphi_j$ ; введением характеристик киральности  $\chi$ ; введением характеристик поляризации  $P$  и так далее.

*Диссипативные открытые системы.* Коль скоро мы рассматриваем виртуальную реальность в аспекте жизнедеятельности человека, то сопутствующие информационные процессы необходимо рассматривать в контексте диссипативных открытых систем, каковыми являются все живые системы (биосистемы). Как уже говорилось, создание теории таких систем связано с фундаментальными исследованиями Г. Хакена и И. Пригожина.

Предварительно заметим, что в пионерских работах К. Шеннон содержится два определения информации. Одно из них адекватно энтропийной характеристике Больцмана, то есть информация, равно как и энтропия (только с другим знаком), является обобщенной характеристикой степени неопределенности в статистическом описании системы. Это называется *S-информацией*; такое определение используется в (термодинамически) изолированных системах, подчиняющихся второму началу термодинамики.

У нас же речь изначально идет об открытых системах, то есть системах, динамически обменивающихся с окружающей средой энергией и/или массой (тепломассоперенос). Таким образом, информационно-энтропийное содержание такой системы не есть автономная субстанция. Такому положению более соответствует второе, данное К. Шенноном, определение информации, которое можно назвать *I-информацией*. Согласно определению, информация связывается с функцией распределения двойного набора переменных  $f(X, Y)$  — в отношении анализируемой системы, что позволяет характеризовать информацию  $X(Y)$  и  $Y(X)$ , то есть информацию об объекте  $X$  относительно  $Y$ , и, естественно, наоборот.

В том и в другом случаях собственно информация определяется разностью между безусловной и условной энтропией, то есть определяется изначально *динамикой изменения* степени неопределенности состояния рассматриваемой системы. Сюда же можно отнести и аспект *ценности* информации; соответствующая теория была развита Р. Л. Стратоновичем.

Сложные макроскопические открытые системы в живом мире, особенно — ноосфера, по преимуществу являются диссипативными. Само это понятие (диссипативные структуры) было введено И. Пригожиным, а смысл его состоит в следующем.

В открытых системах, в отличие от изолированных, возможно спонтанное зарождение и скорое развитие — по принципу цепной реакции — упорядоченных структур. В химических средах классическим примером такого процесса (диссипации) является реакция Белоусова-Жаботинского, а в биологических — практически любая биохимическая реакция, процессы хемотаксиса и пр.

На рис. 1 проиллюстрировано образования диссипативных структур: в первичной (неупорядоченной) открытой системе возникает по той или

иной причине — внутренней или внешней — центр диссипации (ЦД). Поскольку рассматриваемая система является многочастичной, то при притоке в систему извне, из окружающей среды, отрицательной энтропии —  $\Delta S$  в течение времени диссипации  $t_{дис}$  образуется упорядоченная открытая система, характеризующаяся наличием диссипативной структуры. Данная система-структура динамически обменивается с окружающей средой информацией  $\Delta I$ , энергией  $\Delta E$  и массой (веществом)  $\Delta M$ .

И. Пригожин выделил три типа диссипативных структур, а именно: временные, пространственные и пространственно-временные. Еще раз подчеркнем, что нас интересуют ноосферные макроскопические открытые системы, то есть системы многочастичные, для которых характерны кооперативные явления. Последние являются базой для самоорганизации открытой диссипативной структуры, а движителем самоорганизации служат неравновесные фазовые переходы. Таким образом, кооперативное действие (синергетика — по Г. Хакену) есть основной фактор формирования диссипативных структур в открытых системах.

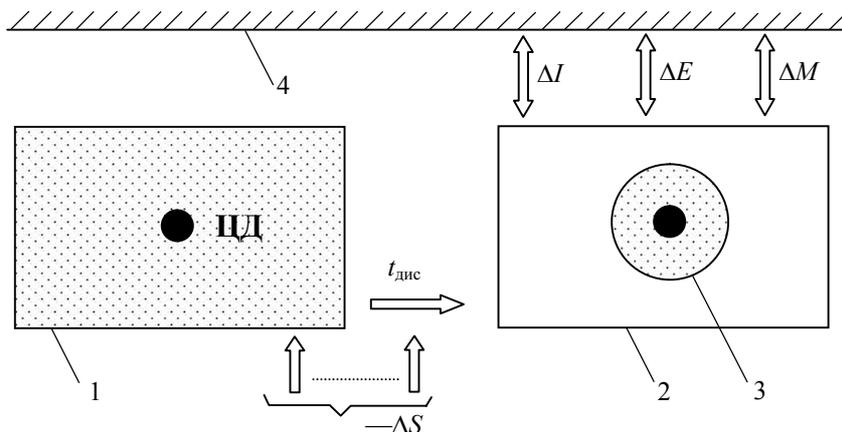


Рис. 1. К образованию диссипативных структур: 1 — неупорядоченная открытая система; 2 — упорядоченная открытая система; 3 — диссипативная структура; 4 — окружающая среда

Для определения  $I$ -информации требуется определенное преобразование формулы Шеннона, записанной в общем виде, а именно требуется выявление зависимости информации от управляющих параметров. Кроме того, накладываются и определенные условия для определения положитель-

ной информации, а также для систем, в которых действует закон сохранения информации и энтропии.

**Энтропия и информация виртуальных миров — открытых систем.**

Принадлежность виртуальных миров к открытым системам а priori вытекает из определения базиса виртуальной реальности, как онтологического дополнения к реальности живого мира, который есть открытая система с выраженными диссипативными структурными образованиями — людьми. Зададимся целью определить (или оценить) энтропию и информацию виртуальной реальности, как важнейшего субъекта ноосферы.

В качестве определения информации целесообразно использовать характеристику разности S-энтропии (Больцмана) и условной энтропии:

$$I[X, Y] = S[X] - S[X|Y], \quad (1)$$

где 
$$S[X] = - \int f(X) \ln f(X) dX \quad (2)$$

есть энтропия Больцмана, а

$$S[X|Y] = - \int f(X, Y) \ln f(X|Y) dXdY \quad (3)$$

— условная энтропия (функция  $f(X, Y)$  в (1) — (3) была определена выше).

С учетом (2), (3) выражение (1) можно представить в симметричном виде:

$$I[X, Y] = I[Y, X] = \int \ln \frac{f(X, Y)}{f(X)f(Y)} f(X, Y) dXdY \geq 0. \quad (4)$$

В этом определении  $I$ -информации по Шеннону (4) полагается, что параметры  $X$  и  $Y$  статистически независимы, поэтому функция  $I[X, Y]$  суть корреляционная. Это соответствует ситуации статистически независимых  $X$ - и  $Y$ -параметров виртуального мира. Типичные примеры: информация о действии двух независимых компьютерных вирусов на один объект внедрения (ЭВМ); информация о двух пересекающихся сновидениях и т.п.

Вообще говоря, корреляционная информация (4) не характеризует специфику виртуальной реальности, поэтому необходимо доопределить информацию собственно открытых систем. Ю. Л. Климонтовичем (1998) предложено с этой целью один из независимых параметров в  $I[X, Y]$  заменить на так называемый управляющий параметр  $a \equiv Y$ . В этом случае симметрия (4) нарушается, а функция распределения  $f(Y)$  полностью характеризуется набором первых моментов  $f(Y) = \delta(Y - a)$ ,  $\langle Y \rangle = a$ . Отсюда имеем выражение для информации о совокупности  $X$  при заданном значении управляющих параметров:

$$I[X|a] = S[X] - S[X|a] \equiv S[X] + \int f(X|a) \ln f(X|a) dX. \quad (5)$$

Характерные примеры виртуальных ситуаций, информация о которых зависит от системы управляющих параметров, весьма многочисленны и достаточно образны. В то же время для (требуемого по определению) выполнения условия  $I[X|a] > 0$  в (5) требуются определенные дополнительные условия.

Исходя из выражения (5), можно сформулировать закон сохранения суммы информации и энтропии, то есть закон, конкретизирующий связь информации и энтропии.

Прежде всего заметим, что соотношение (5) справедливо при  $I[X|a] > 0$ , то есть положительность информации является априорным свойством системы. Далее рассмотрим критерий « $S$ -теоремы», из которой вытекает собственно закон сохранения суммы информации и энтропии. Для этого следует выполнить определенную перенормировку энтропии таким образом, чтобы сопоставление состояний открытой системы в процессе ее эволюции производилось при одних и тех же значениях эффективной средней энергии.

Если обозначить через  $\tilde{S}_0$  перенормированное состояние энтропии, а через  $S_1$  — исходное состояние, тогда можно записать:

$$\tilde{I}(E) = \tilde{S}_0 - S_1 = \int \left( \ln \frac{f_1(E)}{f_0(E)} \right) f_1(E) dE \geq 0, \quad (6)$$

то есть определить информацию  $\tilde{I}(E)$  стационарных состояний системы при всех значениях параметра порядка (см. 5).

Из соотношения (6) следует чрезвычайно важный вывод: при одной и той же энергии  $\langle E \rangle = \text{const}$  системы энтропия может изменяться в широком диапазоне; соответственно, информация может принимать различные значения, в том числе и нулевое. И второй, косвенный, вывод: информация требует расхода энергии на свое «производство» и поддержание. Например, для виртуальных миров сновидения и творчества — это энергия, потребляемая вещественной структурой мозга. А нулевая информация виртуальной реальности — тот же забытый сон.

Использование такого мощного средства теории информации, как  $S$ -теорема, однако, ограничено для сложных открытых систем, к которым относятся системы виртуальные. Все дело в том, что для практического использования  $S$ -теоремы необходимо знать математическую модель анализируемого процесса, точнее — эффективную функцию Гамильтона. Поэтому в

данной ситуации важен экспериментальный подход. Например, если за начало отсчета информации принять состояния физического хаоса ( $a = a_0$ ), то «избыточная информация», которая появляется при упорядочении открытой системы, соответствует  $a = a_0 + \Delta a$  (при этом  $\langle E \rangle = \text{const}$ , как это делалось и выше) и равна

$$\tilde{I}(X) = \tilde{S}_0 - S = \int \left( \ln \frac{f(X, a_0 + \Delta a)}{\tilde{f}_0(X, a_0)} \right) f_1(X, a_0 + \Delta a) dX \geq 0. \quad (7)$$

Для исчисления информации сложных открытых систем, прежде всего биосистем и адекватных им по сложности виртуальных систем, необходимо учитывать, в первую очередь, их качество самоорганизации. Это означает, что при условии  $\langle E \rangle = \text{const}$  при удалении от (исходного) равновесного состояния энтропия уменьшается, а информация, следуя закону сохранения суммы информации и энтропии

$$I + S = \text{const}, \quad (8)$$

или в энергозависимой форме

$$I\langle E \rangle + S\langle E \rangle = \text{const}\langle E \rangle, \quad (9)$$

возрастает. Именно в таких процессах И. Пригожин и полагал временную диссипацию систем.

Образование диссипативных структур И. Пригожин связывает с термодинамической спецификой необратимых неравновесных процессов. Спецификой самоорганизующихся систем, с энтропийно-информационной точки зрения, является состояние, выражаемое диаграммой

$$[I \rightarrow 0] \Leftarrow C \Rightarrow [S \rightarrow 0], \quad (10)$$

то есть для такой системы  $C$  недостижимо ни тепловое равновесие (полный хаос), ни полный порядок (сверхорганизация). Поэтому для сложных открытых систем характеристикой является норма хаотичности, а процесс самоорганизации суть снижение нормы хаоса. Здесь можно привести массу примеров в части виртуальных систем, являющихся ранговым отображением систем реального мира.

**Энергия и информация открытых (виртуальных) систем.** Информация открытых систем связана с функционалом Ляпунова  $\Lambda_S$ , который, в свою очередь, определяется разностью энтропий равновесного и неравновесного состояний. Также необходимо знать и распределение значений энергии, что в математической физике определяется решением уравнения Фоккера-Планка, например, для генератора Ван дер Поля:

$$\frac{\partial f}{\partial E} = D \frac{\partial}{\partial E} \left( E \frac{\partial f}{\partial E} \right) + \frac{\partial}{\partial E} [(-a + bE)Ef], \quad (11)$$

где  $D$  — интенсивность шума;  $a = a_f - \gamma$ ;  $a_f$  — параметр обратной связи;  $\gamma$  и  $b$  — коэффициенты линейного и нелинейного трения.

Как известно, стационарное решение  $f_0(E)$  уравнения (11) есть экспоненциальная функция вида

$$f_0(E) = \exp\left(\frac{F_0 - H(E)}{D}\right), \quad H(E) = -aE + \frac{1}{2}E^2. \quad (12)$$

В (12)  $H(E)$  — эффективная функция Гамильтона;  $F_0$  — свободная энергия. Отсюда следует, что

$$F_0 = \langle H(E) \rangle_0 - DS_0, \quad (13)$$

где  $S_0$  — энтропия стационарного решения уравнения Фоккера-Планка (11), а  $D$  в (13) играет роль эффективной температуры.

Уравнение (13) в предельно наглядной форме показывает: свободная энергия открытой системы тем больше, чем меньше термодинамические параметры системы: температура и энтропия. Соответственно, количество свободной энергии пропорционально информационному содержанию системы. Например, в электронном виртуальном мире чем больший объем информации содержит компьютерный вирус (КВ), тем больше требуется энергетических затрат на его передачу в сети.

Понятно, что выше мы говорили именно о свободной энергии, но это эквивалентно энергозатратам на передачу, поскольку, если бы передачи не было, свободное время канала передачи есть зарезервированная (свободная) энергия.

Исходя из соотношений (11)—(13), функционал Ляпунова (для броуновского движения) определится разностью свободных энергий  $F(t)$  и  $F_0$ :

$$\Lambda_E = F(t) - F_0 = D \int_0^{\infty} \left( \ln \frac{f(E, t)}{F_0} \right) f(E, t) dE \geq 0; \quad (14)$$

$$\frac{d\Lambda_E}{dt} = \frac{d(F(t) - F_0)}{dt} \leq 0. \quad (15)$$

*Основной вывод из сказанного выше: среди всего набора термодинамических параметров только энтропия обладает совокупностью свойств, которые необходимы для характеристики меры неопределенности при статистическом описании системы, а наиболее адекватным для откры-*

тых систем является определение информации разностью безусловной и условной энтропий при сохранении средней энергии.

По аналогии с информацией Шеннона вводится также мера информации через функционал  $\Lambda_E$  Ляпунова:

$$I_F[E|t] = \Lambda_E = F[E|t] - F_0[E] = D \int_0^{\infty} \left( \ln \frac{f(E,t)}{F_0} \right) f(E,t) dE \geq 0. \quad (16)$$

Определяемая выражением (16) величина  $I_F[E|t]$  есть мера информации о степени удаленности неравновесного состояния в текущий момент от стационарного состояния при заданных параметрах системы. То есть информация уменьшается по мере приближения к стационарному состоянию.

Кроме того, из (16) следует закон сохранения: разность свободной энергии неравновесного состояния  $F[E|t]$  и информации  $I_E[E|t]$  в процессе временной эволюции при заданном значении параметров (обратной связи) остается неизменной:

$$F[E|t] - I_E[E|t] = F_0[E], \quad (17)$$

а константа неизменности определяется величиной свободной энергии.

Это весьма многозначительный закон, трактовка которого в приложении к открытым виртуальным системам возможна следующей. Чем выше значение свободной энергии в виртуальной системе в стационарном состоянии  $F_0[E]$ , тем больше порядок неравенства

$$F[E|t] > I_E[E|t]. \quad (18)$$

Возрастание этого порядка в (18) [ $\llcorner \gg \Rightarrow \llcorner \gg \gg$ ] означает, что «динамическая» свободная энергия  $F[E|t]$  растет опережающе по сравнению с возрастанием динамической информации  $I_E[E|t]$ . Это означает, что чем более «разогревается» открытая система, тем большие энергетические затраты требуются на единицу информации. То есть информативность виртуальной системы тем ниже, тем больше ее разогрев, что полностью соответствует второму началу термодинамики. Но, опять-таки, не забываем, что ноосферная виртуальная система открытая, обменивается энергией и информацией с окружающей средой (см. рис. 1). Значит, процесс (18) характеризуется либо оттоком информации вовне (или притоком извне энтропии), либо притоком извне энергии.

Э. Шредингер на уровне знаний того времени пришел к выводу, что жизнедеятельность несомненно основана на общих физических законах, но также несомненно, что эта деятельность живой материи базируется и на

других (физических) законах, которые нехарактерны для неживого мира, а потому пока еще не открыты.

Эта цепь рассуждений привела Э. Шредингера к анализу законов термодинамики для открытых систем, то есть выдающийся физик здесь выступил прямым предтечей теорий И. Пригожина и Г. Хакена. Законы физики суть статистические законы, то есть выражают тенденцию перехода материи в неупорядоченное состояние. Но в биосистемах, как сложных открытых системах, требуется как раз высокая степень упорядоченности.

Живая материя есть, прежде всего, макроскопическая система, с точки зрения термодинамической приближающаяся в своем поведении к неживому веществу, к механической системе, особенно при  $T \rightarrow 0$  К, когда снимается молекулярная неупорядоченность.

Однако биосистема функционирует только при определенной температуре  $t^\circ \gg 0$  К, поэтому высокая степень неупорядоченности в «разогретой» биосистеме должна сниматься согласно совсем иным физическим законам. В то же время живое вещество подчиняется все тем же базовым физическим законам. Разгадку поэтому следует искать в энтропийном втором начале термодинамики, но — со спецификой открытых систем.

Живая система функционирует достаточно долго, но только в теснейшем взаимодействии с окружающей средой. В изоляции от этой среды биосистема разрушается, превращается в инертную (неживую) материю. С точки зрения физики наступает термодинамическое равновесие, при котором в бывшем живом веществе прекращается движение масс, выравнивается разность электрических, электромагнитных и химических потенциалов, а также температура, то есть состояние максимальной энтропии.

Процесс этот происходит достаточно быстро  $t_{н.пр.}$  — по сравнению с естественной длительностью существования биосистемы  $t_{ест.}$ , энтропия от нормы жизнедеятельности  $S_{жс}$  резко возрастает до  $S_{н.пр.}^0$ , но  $S_{н.пр.}^0$  еще не максимизирована, а достигает  $S_{max}$  достаточно долго (например, то же гниение биомассы) —  $t_{ок.}$ :

$$S_{жс} \xrightarrow{t_{н.пр.}} (S_{н.пр.}^0 \gg S_{жс}) \xrightarrow{t_{ок.} \gg t_{н.пр.}} (S_{max} \gg S_{н.пр.}^0). \quad (19)$$

В (19) этап  $S_{н.пр.}^0 \rightarrow S_{max}$  уже не есть жизнь, а ее последствие. Но в любом случае для перехода живой материи в неживую требуется необходимое время.

Переходу живого организма к равновесию противодействуют процессы *метаболизма* (от греч. μεταβιβάλλω — обмен), которые имеют прямую связь с энтропией. Каждый живой организм в течение жизни постоянно увеличи-

вает свою энтропию, пока не доводит ее до  $S_{н.пр.}^0$  (19). Самое существенное, что вырабатываемая каждым биообъектом положительная энтропия по принципу суперпозиции вливается в энтропию биосферы — ноосферы.

А чтобы биосистема продолжала жить, необходимо этой биосистеме постоянно извлекать из окружающей среды энтропию отрицательную, которая призвана компенсировать «выделяемую» биосистемой положительную энтропию:  $|\Delta S| \equiv |\Delta S|$ . Эту задачу и решает процесс метаболизма, то есть организм функционирует только потому, что извлекает «упорядоченность» из окружающей среды. Так это определяет Э.Шредингер, а упорядоченность есть отрицательная энтропия

$$-\Delta S = k \lg(1/D), \quad (20)$$

где  $D$  — мера неупорядоченности.

**Энтропийно-информационная связь между реальными и виртуальными мирами.** Выше были определены информация и энтропия виртуальной реальности, как открытой макроскопической системы, сопоставленные — на конкретных примерах — с природой виртуальных миров. Данный материал является вспомогательным в контексте темы главы и позволяет сформулировать теорему, определяющую энтропийно-информационную связь между реальным миром и порожденным им миром виртуальным, что важно не столько в познавательном плане, сколько для уточнения сущности виртуальной реальности как диалектически закономерного дополнения реальности.

Рассмотрим в самом общем виде «треугольник связей» между реальным миром, порожденным им виртуальным миром и окружающей средой (рис. 2).

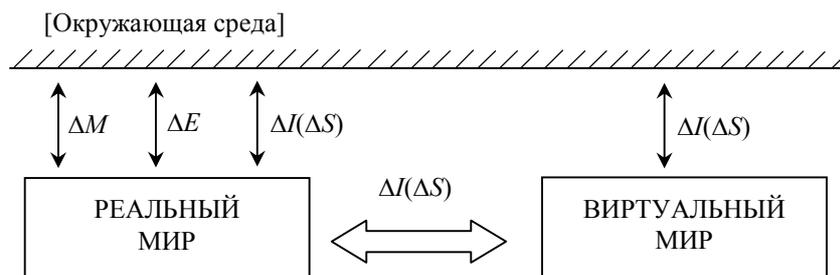


Рис. 2. «Треугольник связей» между действительным и виртуальными мирами и окружающей средой

Как уже выше отмечалось, реальный мир (открытая система) обменивается с окружающей средой массой  $\Delta M$ , энергией  $\Delta E$  и информацией (энтропией)  $\Delta I(\Delta S)$ . Виртуальная же система обменивается с окружающей средой только информацией — энтропией; обмена массой и энергией здесь нет. Объясним этот момент на двух характерных примерах.

1. *Виртуальный мир KB*. Распространяясь по телекоммуникационной сети, KB передают информацию ЭВМ-абонентам сети; также они изменяют энтропийное содержание системы абонента. Понятно, что масса не передается, энергия также.

2. *Виртуальный мир (художественного) творчества*. Объективированные носители виртуального мира творчества передают окружающей среде — читателям, зрителям, слушателям... только информацию.

Теперь мы вплотную подошли к сущности информационно-энтропийного обмена между реальным и виртуальным мирами (рис. 2).

Виртуальный мир создается *homo sapiens*, то есть субъектом реального мира, в то же время между этими мирами идет динамический или дискретный обмен информацией. Понятно, что виртуальная система получает всю информацию от реальной системы — ее создателя. Но и реальный мир черпает ее из виртуального. Типичный тому пример: сновидения (виртуальные миры подсознания) и навязчивые виртуальные миры людей с ослабленной психикой.

Реальные системы функционируют на грани устойчивости, минимизируя энтропию системы, поэтому справедлива

**Теорема 1.** *Виртуальный и реальный миры в своей совокупности подчиняются закону сохранения суммы обобщенной информации и обобщенной энтропии  $(I_p + S_p) + (I_g + S_g) = \text{const}$ , причем реальная система, функционирующая на грани устойчивости, в зависимости от заданного человеком назначения виртуальной системы, либо повышает свою устойчивость, получая от последней информационную подпитку ( $I_g \gg S_g$ ), либо понижает (разрушается), получая ( $S_g \gg I_g$ ).*

Доказательство теоремы со всей очевидностью следует из предшествующих рассуждений. То есть *homo sapiens* может сконструировать как безэнтропийный, строго логический виртуальный мир, так и хаотический виртуальный мир с максимальной энтропией. Все это в максимальной мере характерно для ноосферы.

*Лит. Яш и н А. А.* Живая материя: Онтогенез жизни и эволюционная биология / предисловие В. П. Казначеева.— М.: Изд-во ЛКИ / URSS, 2007. — 240 с. (2-ое издание в 2010); *Яш и н А. А.* Информационная вирту-

---

альная реальность.— Тула: «Тульский полиграфист», 2003.— 244 с.; *Стратонович Р. Л.* Теория информации.— М.: «Советское радио», 1975.— 424 с.; *Пригожин И., Стенгерс И.* Время, хаос, квант: Перевод с англ.— М.: ИГ «Прогресс», 1999.— 268 с.; *Хакен Г.* Информация и саморегуляция. Макроскопический подход к сложным системам: Пер. с англ.— М.: Ком Книга / URSS, 2005.— 248 с. *Шредингер Э.* Что такое жизнь? Физический аспект живой клетки: Перевод с англ.— Ижевск: Ижевск. республ. тип., 1999.— 96 с.; *Кобозев Н. И.* Исследование в области термодинамики процессов информации и мышления.—М.: Изд-во МГУ. 1971.— 196 с.