

Информационно-энтропийные свойства социальных систем

Это было последнее выступление Евгения Александровича Седова (1929—1993), профессора, кандидата технических и доктора философских наук¹. Тяжело боля, он успел за два дня до смерти подготовить текст статьи по материалам доклада, который мы публикуем ниже.

Разносторонне одаренный и удивительно скромный человек, живший в постоянном творческом напряжении, Евгений Александрович многое успел. Его перу принадлежат шесть научных и научно-популярных монографий, десятки статей по электронике, термодинамике, теории информации, системологии и философии, художественные повести (частично опубликованные под псевдонимом Е. Ларин, частично же пока не дошедшие до массового читателя). Всюду он вносил дух междисциплинарности, обнаруживая нетривиальные параллели в далеких друг от друга областях знания.

Одной из стержневых тем в размышлениях Евгения Александровича последних лет стала общенаучная проблема разнообразия. В частности, ему удалось найти оригинальное решение спора, продолжающегося со времен Анаксагора и Эмпедокла и уже давшего массу теоретически важных результатов: возрастает или, напротив, сокращается внутреннее разнообразие систем в процессе эволюции? Используя разнородный фактический материал в совокупности с тщательно проработанными концептуальными соображениями, Е. А. Седов показал, что действительный рост разнообразия на высшем уровне обеспечивается его эффективным ограничением на предыдущих уровнях. Закон иерархической компенсации (закон Седова), охватывающий живую и неживую природу, язык, культуру, все сферы социального управления, существенно дополняет классический закон необходимого разнообразия У. Р. Эшби и представляет собой богатое следствием открытие в области методологии. В частности, он выводит на новое качество острые дискуссии о том, как в современных условиях теоретически и практически сочетать ориентацию на уникальность каждой национальной культуры, традиций, стиля жизни, языка с необходимым распространением общечеловеческих ценностей, представлений и норм деятельности.

Указанное открытие — только один из наиболее ярких результатов научной работы Е. А. Седова, тезисно изложенных в его первой посмертной публикации и подробнее — в предыдущих работах, ссылки на которые содержатся в статье.

Введение

В середине нашего века в науке произошла революция, последствия которой еще предстоит по достоинству оценить. Если до этого времени наука способна была объяснить только тенденции деградации, опреде-

¹ Выступление на очередном заседании Междисциплинарного семинара по изучению цивилизационных кризисов 28 января 1993 года.

вторым началом термодинамики (законом роста энтропии), то с 50-х годов, с развитием методов неравновесной термодинамики, теории информации, синергетики, начали выявляться механизмы взаимодействий, которые обуславливают самоорганизацию различных по своей природе систем.

В частности, в данной работе будет показано, что методы теории информации, разработанные К. Шенноном для чисто прикладных задач техники связи, оказываются универсальным средством анализа процессов самоорганизации как простейших физических тел, так и сложнейших интеллектуальных и социальных систем.

1. Что измерил Клод Шеннон

Для измерения количества информации, содержащейся в тех или иных сообщениях, в частности в письменных текстах, Шеннон предложил использовать заимствованную у статистической физики вероятностную функцию энтропии: $H = -\sum P_i \log P_i$, где i в общем случае принимает значения: $i = 1, 2, 3 \dots N$, а в случае текста: $i = а, б, в \dots я$.

Свойства указанной функции таковы, что при равных значениях вероятностей $P_a = P_b = P_c = \dots = P_j$ величина энтропии H становится максимальной (H_{max}). Очевидно, что максимальной энтропии соответствует лишенный какой-либо упорядоченности хаотичный текст.

В реальном тексте различным буквам соответствуют разные вероятности. Так, например, в русскоязычном тексте вероятности появления букв «ф» или «э» в 30 раз меньше, чем буквы «о». Вследствие этого, а также с учетом того, что вероятности последующих букв зависят от предыдущих (свойство корреляции), реальная энтропия текста H_r составляет около 20% от H_{max} .

Разность $H_{max} - H_r = I_a$ Шеннон назвал «избыточной информацией». Термин «избыточность» означает, что данная информация может быть предсказана до ее получения (например, можно с вероятностью 100% предсказать, что вслед за сочетанием ТБС появится буква Я).

Для дальнейшего рассмотрения нам важно подчеркнуть то обстоятельство, что разность $H_{max} - H_r$ характеризует одновременно и избыточность (предсказуемость), и степень упорядоченности текста и может быть оценена количественно как величина структурной информации I_s , содержащейся в тексте, т. е. $I_s = H_{max} - H_r$.

Для уяснения факта совпадения количеств избыточной и структурной информации текста рассмотрим следующий наглядный пример.

Допустим, что некто получил сообщение о том, что из яйца вылупился птенец. Далее следуют уточнения, что это именно птенец, а не малек, потому что он дышит легкими, а не жабрами, имеет не плавники, а крылья и т. п. Разумеется, все это будет избыточной информацией для получателя, который знает, чем птенец отличается от малька.

Однако та же самая информация, заключенная в генетическом коде, является именно той структурной информацией, которая определяет весь процесс эмбриогенетического формирования птенца. Вот почему оказывается справедливым равенство $I_s = I_a$, а разность $H_{max} - H_r = I_s$ может служить количественной мерой упорядоченности текста или структуры любых систем.

Важно отметить, что при исчислении количества информации по Шеннону игнорируется ее смысл и ее ценность. Так, например, для

¹ См. Шеннон К. Предсказание и энтропия английского печатного текста. В кн. «Работы по теории информации и кибернетике». М., 1963; Яглом А. М.; Яглом И. М. Вероятность и информация. М., 1973.

гражданина Белова одно и то же количество информации (1 бит) содержится в таких двух различных по своей ценности сообщениях, как «Завтра не будет дождя» и «У вас родился сын». Попытки введения количественных мер смысла и ценности информации показали, что эти меры не могут обладать такой же степенью универсальности, как мера, предложенная Шенноном, по той простой причине, что нельзя одними и теми же единицами измерить ценности закона Ома и признания в любви.

Абстрагируясь от смысла и ценности информации, Шеннон фактически поступил так же, как Галилей в свое время поступил с силой трения: исключение этих факторов из поля зрения позволило установить более общий закон.

Мера, найденная Шенноном, оказалась единой универсальной мерой упорядоченности для всех существующих в мире систем.

2. Информация и развитие

Чтобы перейти к рассмотрению информационно-энтропийных взаимодействий в социальной системе, нам необходимо предварительно рассмотреть более общие закономерности развития информационных систем.

Среди теорем, доказанных Шенноном, есть одна, имеющая, на наш взгляд, непосредственное отношение к механизмам накопления структурной информации в процессах взаимодействий. Согласно этой теореме, энтропия множества (X, Y) , образовавшегося в результате взаимодействий исходных множеств X и Y , будет меньше или равна суммарной энтропии множеств X и Y до их взаимодействий. В переводе на язык математических символов теорема эта выглядит так:

$$H(X, Y) < H(X) + H(Y).$$

Заметим, что сам Шеннон подразумевал под символами X и Y чисто абстрактные математические множества. Автором этой статьи было предложено распространить действие указанной теоремы сначала на простейшие физические взаимодействия², а затем на самые разнообразные виды взаимодействующих систем³.

При этом равенство величин $H(X, Y)$ и $H(X) + H(Y)$ соблюдается только при отсутствии взаимодействий, например в случае воздействия магнитного поля на немагнитную среду. Во всех остальных случаях (например, при воздействии магнита на опилки железа) происходит процесс упорядочения структуры, сопровождающийся накоплением структурной информации I_s , исчисляемой как: $I_s = H(X) + H(Y) - H(X, Y)$.

Последнее выражение можно представить наглядно, если принять условно, что величины $H(X)$ и $H(Y)$ равны площадям соответствующих окружностей (рис. 1).

Механизм накопления информации I_s можно описать более детально, исследуя вероятностные свойства функции Y .

До создания теории информации эта функция использовалась статистической физикой односторонне. Было показано, что по мере перехода систем к состоянию термодинамического равновесия величина Y возрастает вследствие выравнивания вероятностей различных состояний атомов и молекул, обозначаемых символами P_i .

Шеннон использовал ту же самую формулу для анализа заведомо далеких от равновесия структурированных систем, каковым является, в частности, письменный текст.

² См. С е д о в Е. А. К вопросу соотношения энтропии в теории информации и физической энтропии. «Вопросы философии», 1965, № 1.

³ См. С е д о в Е. А. Эволюция и информация. М., 1976; он же. Одна формула и весь мир. М., 1982.

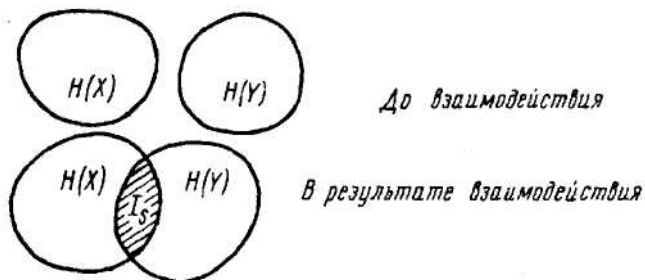


Рис. 1.

Автором этой статьи было предложено с помощью той же формулы исследовать все стадии перехода системы от состояния предельного хаоса и максимальной энтропии до состояния жесткой детерминации и нулевой энтропии⁴.

Все вышесказанное можно представить в виде витка спирали, исходной точкой которого (точка «И») является состояние хаоса и максимальной энтропии, а конечной точкой — жесткая детерминация (точка «К») (см. рис. 2).

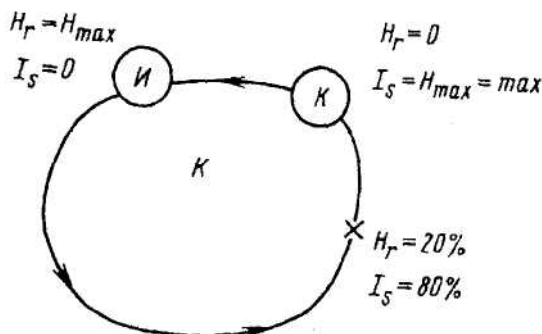


Рис. 2.

Путь из точки «И» к точке «К» — это процесс накопления структурной информации I_s . Исследования показали, что русскоязычные и многие европейские тексты в своем развитии прошли около 80% такого пути. По-видимому, соотношение $H_r / I_s = 20\% / 80\%$ является оптимальным, причем не только для письменных текстов, но и для самых разнообразных по своей природе систем⁵.

В 80% детерминации сохраняются правила, обуславливающие целостность языковой структуры. В 20% энтропии содержатся те самые новости, ради которых составляется или прочитывается текст. Если лишить текст этих 20% непредсказуемой информации, то по первой его странице можно вычислить алгоритм и заранее знать, что будет написано на страницах 57, 119 или 533.

Если система, преодолев точку оптимального соотношения, продолжает двигаться к конечному состоянию «К», она начинает терять свои адаптивные свойства вследствие чрезмерного уменьшения энтропии H_r (способности бифуркаций, мутаций, случайных ассоциаций и т. п.). Достигшая жесткой детерминации система (например, планетарная) спо-

⁴ При этом следует учитывать, что для систем, имеющих конечный алфавит (т. е. представляющих полную группу событий), выполняется условие нормировки: $\sum P_i = 1$. Это значит, что увеличение одних вероятностей приводит к уменьшению других, а предельному состоянию жесткой детерминации соответствуют условия: $P_k = 1; P_1 = P_2 = \dots = P_{k-1} = \dots = 0$.

⁵ См. Седов Е. А. Эволюция и информация. М. 1976.

собна существовать только в жестко стабильных условиях и обречена на разрушение в случае изменения этих условий, т. е. на скачкообразный переход из точки «К» в точку «И».

Рассмотренные нами общие информационно-энтропийные механизмы развития можно теперь взять за основу анализа общих свойств и конкретных примеров развития и деградации социальных систем.

3. Условия развития и деградации социальных систем

Как отмечалось выше, новая научная интерпретация понятия «структурная информация» позволяет использовать его при анализе взаимодействий самых различных по своей природе систем. Вместе с тем необходимо учитывать, что по мере усложнения самих информационных систем и процессов информация приобретает все новые и новые свойства, не присущие более простым видам систем. Так, например, на уровне биологических систем возникают специальные органы хранения (память), передачи (нервные ткани), перекодировки (например, из органов слуха и зрения в мозг) информации, отсутствующие у более простых физических систем.

На уровне интеллектуальных и социальных систем информация называется СМЫСЛОМ. Человек создает информацию с определенными ЦЕЛЯМИ, а там, где есть цель, информация приобретает и ЦЕННОСТЬ, поскольку способствует достижению цели.

Но вместе с тем информация не теряет и те общие свойства, благодаря которым она смогла стать общенаучным понятием. Таким общим свойством является ее функция увеличения УПОРЯДОЧЕННОСТИ (ДЕТЕРМИНАЦИИ) ДВИЖЕНИЯ, распространяющаяся, в частности, и на процессы, протекающие при функционировании социальных систем.

Так, например, недостаток информации у диспетчерских служб приводит к хаосу транспортного движения, недостаток информации у органов безопасности и следственных органов — к хаосу преступности, недостаток информации у медицинских служб — к хаосу заболеваемости и преждевременных смертных исходов и т. п.

Существует некий общий фактор, препятствующий нормальному развитию почти всех без исключения социальных систем. Таковой оказывается тенденция чрезмерного обюрокрачивания управленческих структур.

На рассмотренной в предыдущем разделе схеме (см. рис. 2) эта тенденция отражена как переход через точку оптимального соотношения

$\frac{H_i}{I_i} = \frac{20\%}{80\%}$ и продолжение движения в сторону точки «К». Наиболее

близко к точке «К» приближаются тоталитарные системы. В качестве примера рассмотрим историю развития и деградации социалистических стран.

Лозунг о превращении аграрной страны в индустриальную мог претворяться в жизнь только в первые пятилетки и то ценой варварского расходования природных и людских ресурсов. С 60-х годов на смену развитию пришли застой и развал.

Это случилось не потому, что председатель прежнего Совнаркома В. Молотов оказался умнее или опытнее руководителей, пришедших после него. Изменились условия. Если в первые пятилетки достаточно было управлять добычей угля, нефти и выплавкой стали и чугуна, то произошедшая в середине века научно-техническая революция, связанная с развитием сложных компьютерных и электронных систем, потребовала

сложной кооперации, основанной не на централизованном управлении, а на горизонтальных связях.

Жестко детерминированная, предельно централизованная тоталитарная система не способна была адаптироваться к новым условиям. Начался развал, обозначаемый на схеме (см. рис. 2) как скачок из точки «К» в точку «И».

В 60-е годы еще трудно было понять, в какой части информационно-энтропийной спирали оказалась наша страна. С одной стороны, жесткая детерминация, каждый шаг продиктован сверху. С другой стороны, на местах — разгильдяйство, воровство и развал. Только ретроспективный взгляд позволяет понять, что развал, начавшийся снизу, постепенно двигался вверх.

Чтобы проанализировать этот процесс, следует рассмотреть проблему взаимодействий личности с социальной системой.

Схема информационно-энтропийных взаимодействий в нормально функционирующей социальной системе изображена на рис. 3.

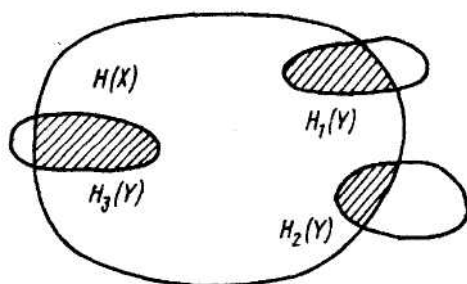


Рис. 3.

Большой круг с условным обозначением энтропии $H(X)$ обозначает интегральную энтропию социальной среды. Малые круги $H_1(Y)$, $H_2(Y)$, $H_3(Y)$ — энтропия индивидуумов. Заштрихованные части пересекающихся кругов — структурная информация I_s , накопленная каждым из индивидуумов в результате его взаимодействий с социальной средой.

Пересечение $H_1(Y)$ с $H(X)$ соответствует состоянию некоего «среднего» индивидуума. Можно предположить, что для него оптимальным окажется соотношение H_r / I_s , равное приблизительно 20% к 80%.

Для творческого индивидуума нормально функционирующий социум предоставляет большую степень свободы (пересечение $H_2(Y)$ с $H(X)$).

Для преступника-рецидивиста степень свободы весьма ограничена (либо тюрьма, либо регистрация, подписка о невыезде и т. п.).

Тоталитарная система функционирует по-иному. Для нее каждый член общества — потенциальный рецидивист. Все круги $H_1(Y)$, $H_2(Y)$, $H_3(Y)$ она стремится «всосать в себя» без разбора, не оставляя для индивидуума никаких личных свобод. Для этого на каждом звене управления сидит Польшаев⁶. Его функции сводятся к постановке печати «Запрещаю. Польшаев» или «Разрешаю. Польшаев». Чаще он пользуется первой печатью, потому что запреты не требуют ответственности. Запрещено все, что не разрешено.

Что остается индивидууму для борьбы за частицы своей свободы? Только обман!

Повсеместный обман государства приобретает форму неписаного за-

* Один из персонажей И. Ильфа и Е. Петрова.

кона. Например, заплатить нормальную ставку рабочему бригадир может, только закрыв наряды на 200%, что он и делает с легким сердцем.

Если суммировать все наряды цеха или бригады, должно получиться 200% плана. А цех едва тянет на 100%. Но никого это особенно не смущает: двойная бухгалтерия — это тоже новый, порожденный социалистической системой закон.

Тот факт, что двойная бухгалтерия, зародившаяся «в низах», постепенно начала подниматься до самых высоких уровней управления государством, можно проиллюстрировать примером известной истории с неудавшейся попыткой отчетности по нормативно-чистой продукции (НЧП).

Потребность в дутых планах и цифрах породила своеобразную организацию контрагентных связей: вместо того чтобы свести все комплектующие детали в какое-то одно место и там собрать изделие в целом, каждую из деталей гоняли в несколько городов. И каждый раз стоимость этой детали входила в отчетность какого-то предприятия: выпуская колеса, предприятие включало в их стоимость чьи-то шины, в стоимость сеялки включались чужие колеса и т. д. Так удавалось «догнать и перегнать Америку», если уж не по качеству, то хотя бы по валу.

И вот решили чужие изделия из отчетности исключать...

Спустя год я присутствовал на одном из ответственных совещаний, где представитель горкома КПСС посетовал, что предприятия «слишком медленно переходят на отчетность по НЧП».

— Простите,— перебил я выступавшего,— что значит «медленно»? Переход на отчетность по НЧП — это самодеятельность или директива?

— Директива,— ответил докладчик.

— Тогда «медленно» быть не может. Перестанет Госплан принимать другие отчеты, и все в одночасье перейдут на требуемую форму отчетности.

Докладчик не смог разъяснить ситуацию. А мне она ясна была и без него.

Экономически безграмотные партийные руководители приняли директиву по НЧП, не предвидя ее последствий. А в Госплане тут же прикинули, что при переходе на такую отчетность объем вала за пятилетку упадет приблизительно в 10 раз. А кто виноват? Госплан! Начнут «искать рыжих», освобождать от высоких постов и ставок! Нет уж, лучше спускать директиву на тормозах...

Так постепенно зародившаяся в низах энтропия проникала на верхние уровни, подготавливая произошедший в последние годы скачок из точки «К» в точку «И».

В отличие от тоталитарных систем, в $\frac{H_1}{I_1} = \frac{20\%}{80\%}$ вивающийся социум, достигнув оптимального соотношения $\frac{H_1}{I_1} = \frac{20\%}{80\%}$, ность перейти на следующий иерархический уровень развития, т. е. начать

формировать между элементами прежнего уровня новые информационные связи. Чтобы представить себе, в какой степени возрастают при этом информационные возможности развивающейся системы, обратимся еще раз к примеру письменных текстов.

Согласно правилам комбинаторики, составляя комбинации («слова») из N элементов («буква») по k элементов в каждой комбинации, можно составить N^k таких комбинаций.

Если искусственный текст имеет в своем начальном алфавите $N = 30$ букв, а каждое слово содержит $k = 6$ слов, то весь лексикон составит: $30^6 = 729\ 000\ 000$ слов.

Очевидно, что среди этих «слов» будут встречаться не только бессмысленные, но и не произносимые вслух «слова» (из шести гласных,

шести согласных и др.). Но если хотя бы 0,01% всех комбинаций окажутся значащими словами, то лексикон уже составит 72 900 слов.

В такой пропорции возрастает информационная емкость системы с переходом ее на более высокую иерархическую ступень.

Однако тут возникает иная проблема, обусловленная необходимостью энергетической платы за каждую вновь устанавливаемую межэлементную связь.

Вся расходуемая на наши нужды энергия получена нами за счет разрыва внутренних связей каких-то систем. С этой целью мы подвергаем разрушению атомы, сжигаем органическое топливо и т. п.⁷ Это значит, что, используя предоставляемые природой ресурсы, мы заимствуем не только энергию их внутренних связей, но и ту структурную информацию, которая содержалась в этих связях до их разрушения. Таким способом осуществляется взаимосвязь второго начала термодинамики с негэнтропийным принципом информации, установленным Л. Бриллюэном⁸: накопление информации (отрицательной энтропии) внутри какой-либо системы всегда оплачивается возрастанием энтропии внешней среды. Вследствие этого в процессах перехода систем на новый иерархический уровень неизбежно возникает проблема ограниченности внешних ресурсов. Только при разумном соотношении энергетических потребностей человечества и внешних ресурсов возможно теперь избежать угрожающих нашему миру возрастания энтропии, кризисов и катастроф⁹. К сожалению, эта проблема до сих пор не стала предметом всеобщего внимания. Повсеместно преобладающая на земном шаре погоня за сиюминутной выгодой без учета ее последствий смогла опровергнуть и технократический оптимизм В. Вернадского, и веру в высокое предназначение разума П. Тейяра де Шардена.

Каждый этап перехода на новую ступень развития человечества — это не только приобретение новых возможностей, но и разумные ограничения в их использовании.

Одновременность соблюдения требований «Свобода, равенство, братство!» оказалось на практике не таким простым делом, как это казалось во времена революций. Стремление к равенству ведет к уравниловке. Свобода личности предусматривает широкую дифференциацию возможностей и потребностей в конкурентной борьбе.

Однако полное отсутствие ограничений этой свободы приводит к деструктуризации системы как целого. Эта закономерность вытекает из информационно-энтропийных соотношений и распространяется на все виды систем¹⁰.

Если каждой молекуле в данном сосуде предоставлена наибольшая свобода перемещений, то все вместе они создают известное броуновское движение и образуют в целом лишенный РАЗНООБРАЗИЯ однородный бульон.

И только в результате ограничения разнообразия движения атомов и молекул однородная жидкость превращается в обладающий более сложной упорядоченной структурой кристалл. Толпа, в которой каждый кричит, что захочет, создает неразборчивый гул. Транспортный пере-

⁷ Подробнее об этом см. С е д о в Е. А. Взаимосвязь энергии, информации и энтропии в процессах управления и самоорганизации. В сб. «Информация и управление». М., 1985.

⁸ См. Б р и л л ю э н Л. Наука и теория информации. М., 1960.

⁹ О средствах, предоставляемых современной информатикой для экономии энергии и уменьшения технологических выбросов энтропии в окружающую среду, см. С е д о в Е. А. Экология и информатика. В сб. «Экологические проблемы в условиях перестройки». М., 1991, № 11.

¹⁰ Этой проблеме посвящена специальная работа: С е д о в Е. А. Информационные критерии упорядоченности и сложности организации структуры систем. В сб. «Системная концепция информационных процессов». М., 1988, № 3.

кресток без ограничений направлений движения становится местом хаоса и катастроф.

Только при условии ОГРАНИЧЕНИЯ РАЗНООБРАЗИЯ нижележащего уровня можно формировать разнообразные функции и структуры находящихся на более высоких уровнях социальных систем. Таким образом, и в этом аспекте возникает проблема поисков оптимального соотношения детерминации (D_s) и непредсказуемости (H_f) граждан и их сообществ как составных элементов социальных систем.

Поиски оптимального соотношения между предоставлением необходимой свободы каждому члену общества и разумными ограничениями этой свободы во имя поддержания общественного порядка были и остаются одной из самых сложных, деликатных и актуальных для всех человеческих сообществ социальных проблем.