

УДК 004.9

ДИССИПАЦИЯ И ЭНТРОПИЯ В ФИЗИЧЕСКИХ И ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

Андрианова Е.Г., Мельников С.В., Раев В.К.

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет информационных технологий, радиотехники и электроники», Москва, e-mail: dtghmflysqa@gmail.com

Трактовка понятия информации в настоящее время полисемична и не охватывает всех её форм и свойств. Информация во многом остаётся метафизической категорией, математическая формализация её аспектов ожидает своего представления и осмысления. Энтропия в информационных системах имеет физический смысл и может быть рассчитана и измерена косвенными методами. Мониторинг энтропии в информационной системе целесообразен для поддержания устойчивой работы информационной системы. Выдвигается гипотеза: диссипация (рассеяние) информации в «чистом виде», т.е. в проявлениях? свойственных физическим системам, в информационных системах не существует. В литературе отсутствует математическое описание полной энергии информационной системы с учетом диссипативного вклада. В программных системах, эмулирующих физические (технические) диссипативные системы, диссипация может проявлять себя в форме устойчивых диссипативных структур, в колебательных и нестационарных поведении на фазовой плоскости, в возникновении блокирующих структур, «программных тромбов» и др. При этом физические диссипативные процессы могут эмулироваться программной системой как управляемо, так и случайно. Возможное появление блокирующих структур в потоке запросов к базам данных информационных систем на практике может привести к необходимости применения дополнительных средств тестирования и защиты программных систем.

Ключевые слова: диссипация, диссипативные структуры, диссипативная информационная система, информационная энтропия, энергия информации

STUDY DISSIPATION AND ENTROPY IN PHYSICAL AND INFORMATION SYSTEMS

Andrianova E.G., Melnikov S.V., Raev V.K.

Federal State Educational Institution of Higher Education «Moscow State University of Information Technologies, Radio Engineering and Electronics», Moscow, e-mail: dtghmflysqa@gmail.com

The interpretation of the concept of information currently polysemic and does not cover all of its forms and properties. The information remains largely a metaphysical category, mathematical formalization of its aspects is pending submission and consideration. The entropy in information systems has a physical meaning and can be calculated and measured by indirect methods. Monitoring of entropy in the information system is appropriate to maintain the stable operation of information systems. Extends gipotezauetsya: dissipation (scattering) of information in the «pure form», ie, in the manifestations of physical systems inherent in information systems do not exist. In the literature, there is no mathematical description of the total energy of an information system based on dissipative contribution. The software systems that simulate the physical (technical) dissipative systems, dissipation can manifest itself in the form of stable dissipative structures, vibration and transient behavior in the phase plane, in the event of blocking structures «software clots» and others. The physical dissipative processes can be emulated software system as a controllable and chance. Possible appearance of blocking patterns in the flow of queries to databases of information systems in practice may lead to the need for additional means of testing and software protection systems.

Keywords: dissipation, dissipative structures, dissipative information system, information entropy, the energy information

Базовые дефиниции.

О полноте понятия «информация»

Диссипация (от лат. «dissipatio», англ. «dissipation») – рассеяние.

Диссипация энергии (у физических систем) – переход части энергии упорядоченного процесса в энергию неупорядоченного процесса, в конечном счете тепловую энергию (Физический энциклопедический словарь, под редакцией академика А.М. Прохорова, М., 1983 г.).

Диссипативная система – система, в которой имеет место диссипация энергии упорядоченного процесса (ibid).

Информационная система – совокупность содержащейся в базах данных информации и обеспечивающих её обработку технологий и технических средств (Федеральный закон Российской Федерации от 27 июля 2006 г. № 149-ФЗ «Об информации, информационных технологиях и о защите информации», Москва).

Программа – данные, предназначенные для управления компонентами системы обработки информации в целях реализации конкретного алгоритма (ГОСТ 19781-90, ЕСПД, «Термины и определения», 1990).

Программная система – совокупность программ, программное обеспечение, подсистема информационной системы (ИС). Программная подсистема является самой сутью ИС, определяя все её функции и характеристики. В то же время технические средства ИС в большинстве применений тривиальны: компьютер (сервер), средства визуализации и исполнительный механизм. Во многих теоретических построениях и моделированиях программные и информационные системы рассматриваются как синонимы.

Информация – сведения, данные, сообщение. Это – базовое, совокупное, обобщенное определение термина «информация», бытующее в современных энциклопедических словарях и словарях иностранных слов. Будучи метафизической категорией, герменевтика «информации» очень богата (десятки, если не сотни, определений и толкований), при этом полисемия этой категории вытекает из многообразия форм её представления [1, 2]. Отметим, что «сведения» («данные») в приведенном выше базовом определении имеют более широкий смысл по сравнению с «сообщением», поскольку последнее имеет некое ограничительное свойство, предполагая наличие как минимум двух (не обязательно социальных) объектов: источника сообщения и его приёмника.

Но даже при весьма широком, почти «всеобщем» определении понятия «информация», приведенном выше, возникают вопросы, требующие уточнения и детализации. Например, можно ли отнести к понятию «информация» утаённые «сведения». В равной степени подобный вопрос относится и к голосу праведника, «вопиющему в пустыне», и к голосу совести, и к произнесённой в одиночестве молитве. Кому сообщаются, как и где «диссипируют» (рассеиваются) эти «сведения». Заметим, что если при «физической» диссипации тепло рассеивается в атмосфере, то при «информационной» диссипации информация должна рассеиваться в ноосфере? Говорим же мы при случае, что идея, мысль «носится в воздухе». Принятие этого спекулятивного тезиса потребует доопределения понятия «ноосфера», данного Леруа – Шарденом – Вернадским. Когда речь идёт об объёмах информации и её количественных оценках, то принято соотноситься с работами К. Шеннона, в которых количество информации выводится на основе теории передачи «сообщений» в системах связи и не рассматривается семантика сообщения [3]. Пока остаётся за пределами математического описания количественная сторона информации, её семантика, рассмотренная

на основе понятия «энергия информации». Хорошо известна «энергетика» слов. Словом и его тональностью можно активно влиять на состояние человека. Слово для «зомби» подвигает его к действию и, даже к самоуничтожению. Во всех этих и других подобных случаях информацию можно рассматривать как своего рода детонатор, спусковой крючок или триггер, запускающий «силовой» материальный процесс. Если исходить из того, что сознание человека не является информацией и нематериально, то является ли мысль, как продукт сознания, информацией? Если да, то вполне естественен вывод, что информации присуща энергия и природа информации материальна. При этом также естественен вопрос, есть ли у информации промежуточный носитель и что он собой представляет в опытах по передаче мыслей на расстоянии. Остаётся до конца невыясненным, лежат ли в основе таких феноменов, как телекинез, «внушение», «гадание», «ясновидение», «телепатия», информационные процессы и в какой мере они могут поддаваться формализации. Приведенные примеры и вопросы дают авторам статьи основание быть солидарными с авторитетным мнением доктора философских наук Е.А. Мамчур в том, что «мы пока не знаем со всей определённойностью, что такое информация» [4]. В этой связи одной из целей данной статьи является желание её авторов конструктивно участвовать в дискуссии относительно фундаментальных представлений о природе информации с позиции интерпретации некоторых новых результатов, полученных в экспериментах с информационными системами.

Энтропия и диссипация энергии в физических системах

Достаточно долгое время термины «энтропия» и «диссипация» связывались лишь с деструктивной функцией в физических системах, т.е. с рассеиванием тепла/энергии (в окружающую среду). С этой трактовкой, в частности, связано возникновение концепции «тепловой смерти вселенной». Впервые от деструктивной трактовки этих понятий отказался Илья Пригожин. Им введена величина S , названная энтропией, которая обладает следующими свойствами:

1. Аддитивность: энтропия всей системы есть сумма энтропии каждой части системы:

$$dS = d_i S + d_e S. \quad (1)$$

2. Неотрицательность: производство энтропии dS_e , связанное с изменениями внутри системы, всегда неотрицательно:

$$d_i S \geq 0. \quad (2)$$

В открытых системах, обменивающихся с внешней средой энергией или веществом, изменение энтропии представлено в виде суммы двух членов. Один из них обусловлен происходящими обмeнами и обозначен $d_e S$ – поток энтропии. Другой вклад обусловлен процессами внутри системы и обозначен $d_i S$ (производство энтропии):

$$\frac{dS}{dt} = \frac{d_i S}{dt} + \frac{d_e S}{dt}. \quad (3)$$

Понятие «энтропия» помогает ясно различать два типа процессов: обратимые и необратимые. Производство энтропии $d_i S$ становится равным нулю, когда в системе протекают только обратимые процессы, и всегда положительно во всех остальных случаях [7]. Для обратимых процессов

$$d_i S = 0 \quad (4)$$

и для необратимых

$$d_i S > 0. \quad (5)$$

В рамках данной аксиоматики для открытых систем, обменивающихся с окружающей средой энтропией, dS может быть любого знака, несмотря на то, что $d_i S > 0$, $d_e S$ может принимать значения как меньше, так и больше нуля. Несмотря на протекание необратимых процессов, в открытых системах за счет слагаемого $d_e S$ общее изменение энтропии системы может быть отрицательным.

Случай $dS < 0$ соответствует организации микрофлуктуаций в макроструктуры, названные Пригожиным «диссипативными структурами». При этом он стремился подчеркнуть конструктивную роль диссипативных процессов в образовании таких структур при переходе от беспорядка, теплового хаоса, к порядку. Самоорганизация и автопоэзис системы возникают при взаимодействии системы с «окружающей средой», то есть встречи внешней и внутренней энергии. Этот тезис прослеживается и в определении диссипативной ИС, данном в [1], где авторы фокусируют внимание на формировании и воспроизводстве эмерджентных свойств системы при постоянном взаимодействии с внешней информационной средой. С.С. Хоружий [1] термин Пригожина «диссипативные структуры» вполне справедливо посчитал «очевидным оксюмороном», исходя из базового определения диссипации, означающей убывание структурированности, возрастание энтропии и уменьшение энергии взаимодействия системы с внешней средой, как о необходимом условии возникновения «диссипативных структур». В ряде публикаций отрицается конструктивная роль энтропии

и критикуется трактовка энтропии как меры беспорядка, хаотичности. В этом отношении представляет интерес критическая статья С.Д. Хайтуна [1]. Главный тезис автора состоит в том, что «тождественность энтропии с беспорядком не может быть доказана в принципе». Антитезис авторов данной статьи в форме дискуссии подробно изложен в [1]. Следует особо отметить, что расчет, измерение и мониторинг энтропии возможны и целесообразны для поддержания устойчивости информационных систем [2, 3].

В математической литературе самостоятельно термин «диссипация» используется достаточно редко. Обычно используется понятие «диссипативная система». В [4] показан формальный математический критерий диссипативной системы: диссипативными считаются динамические системы, у которых $\Omega < 0$ [где $\dot{V} = \Omega V$, а V – элемент фазового пространства], хотя бы в некоторых областях фазового пространства. Систему

$$\frac{dy}{dx} = \bar{f}(t, y)$$

следует называть D-системой или диссипативной, если все решения ее $\bar{y}(t, t_0, \bar{y}_0)$ бесконечно продолжаемы вправо и существует число $R > 0$ такое, что

$$\lim_{t \rightarrow 0} \|\bar{y}(t, t_0, \bar{y}_0)\| < R. \quad (6)$$

Иными словами, для каждого решения $\bar{y}(t, t_0, \bar{y}_0)$ существует момент $t_1 = t_0 + T(t_0, \bar{y}_0) \geq t_0$, после которого оно навсегда погружается в фиксированную сферу $\|y\| < R$, т.е. $\|\bar{y}(t, t_0, \bar{y}_0)\| < R$, при $t_1 \leq t < \infty$.

В [5, 6] введен критерий диссипативности: рассматриваемая механическая система является диссипативной, если вдоль траектории производная $\frac{dS}{dx}$ отрицательна.

В физических системах для учета влияния диссипации при определенных условиях вводится диссипативная функция. Например, вклад энергии диссипации в полную энергию движущейся доменной границы в ферромагнитном кристалле описывается функцией диссипации [3].

Диссипация и энтропия в информационных системах

В технической и философской литературе диссипацию в ИС информации по аналогии с физическими системами связывают с парадигмой диссипативной самоорганизации в далёких от равновесия состояниях систем, по типу «порядок из хаоса». В качестве типичных примеров диссипативной

самоорганизации чаще всего приводят т.н. лазерную парадигму Хакена, оксюморон Пригожина, конвекцию Релея-Бенара и автоколебания, возникающие в неравновесных динамических системах. Примера «чистого рассеивания» информации, аналогичного рассеиванию энергии в физических системах, в информационных системах найти не удаётся. Действительно, если толковать информационную диссипацию буквально, т.е. как утрату информации, то подобное поведение программной системы может явиться лишь прямым следствием ошибки, когда программа попадает не туда, куда ей предписано, и в конечном счете теряется. В связи с этим уместно заметить, что если вдруг в банковской информационной системе «диссипирует» информация о состоянии вашего банковского счета, то это будет неприятной и неизбежной ошибкой системы.

Можно предположить, что диссипативные процессы в информационных (программных) системах существенным образом отличаются от проявлений «диссипации» в физических системах. Оказалось, например, что программа, являющаяся переложением модели «брюсселятора» в программный код, демонстрирует диссипативное поведение. Допустим, внутреннее состояние модели описывается двумя величинами – количеством объектов X и Y . Введем пространство, в котором первая координата описывает количество объектов X , а вторая – количество объектов Y . Такое пространство будет фазовым для модели, основанной на балансе процессов, приводящих систему к определённому состоянию, а также процессов, уводящих систему из этого состояния.

Экспериментальная фазовая траектория, полученная в результате тестового запуска модели, показана на рис. 1. Видны циклические колебания состояния модели (изменение количества объектов X и Y). Не-

смотря на то, что логика работы программы и операционной системы компьютера определяются детерминистскими алгоритмическими законами, поведение системы в общем случае выглядит случайным и не воспроизводится в точности при перезапуске тестовой программы. На первый взгляд, получается парадоксальная вещь: программная система, не являющаяся диссипативной, демонстрирует диссипативное поведение. Причина этого, как мы видим, в эмуляции программой физической модели, где, собственно, и происходит диссипация уже «эмулируемой» физической энергии.

В работе [3] впервые показана связь между «диссипацией» и возникновением «диссипативных макроструктур» в программных системах и рассмотрены некоторые следствия такого поведения этих систем. Допустим, что в результате возникновения «диссипативных макроструктур» компонент системы перешел в нелинейный режим работы и вместо ламинарного, постоянного потока запросов генерирует нелинейный, циклический поток. Если последующие компоненты системы (например, СУБД), обрабатывающие данный поток, имеют конечную производительность, меньшую, чем пиковая скорость генерации запросов, то могут возникать эффекты, названные в [3] «программными тромбами». На рис. 2 представлено нестационарное поведение программы, следствием которого является эффект замедления или даже блокировки информационных потоков («программные тромбы») к базам данных. Сплошной линией обозначена необходимая производительность СУБД для того, чтобы обрабатываемые запросы не скапливались во входном буфере СУБД и быстро обрабатывались. Если производительность СУБД ограничена на уровне 1,5 или 2 раза относительно средней скорости генерации запросов, то в некоторые моменты времени СУБД

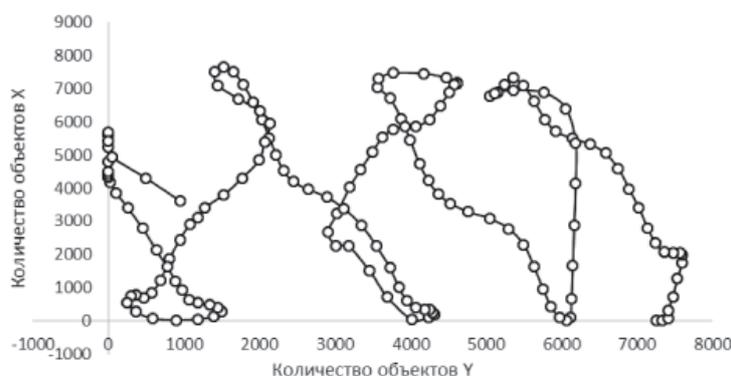


Рис. 1. Пример «диссипативного» поведения программной системы – экспериментальная фазовая траектория

будет перегружена. При этом суммарное время выполнения запроса увеличится, так как ко времени выполнения запроса самой СУБД добавится время ожидания во входном буфере. Также явно видны плато, возникающие из-за ограниченности производительности СУБД, обозначенные пунктирной или точечной линиями. В эти моменты времени необработанные запросы будут скапливаться в некотором входном буфере, в результате чего время обработки запроса будет увеличено. Это может крайне негативно повлиять на производительность всей информационной системы в целом.

в информационных системах имеет физический смысл и может быть рассчитана и измерена косвенными методами. Мониторинг энтропии в ИС желателен и целесообразен для поддержания устойчивой работы ИС. Гипотезируется тезис, суть которого в том, что диссипация (рассеяние) информации в «чистом виде», т.е. в проявлениях, свойственных физическим системам, в информационных системах существовать не может. В литературе отсутствует математическое описание полной энергии информационной системы с учетом диссипативного вклада. В программных системах, эмулирующих физические (технические) диссипативные

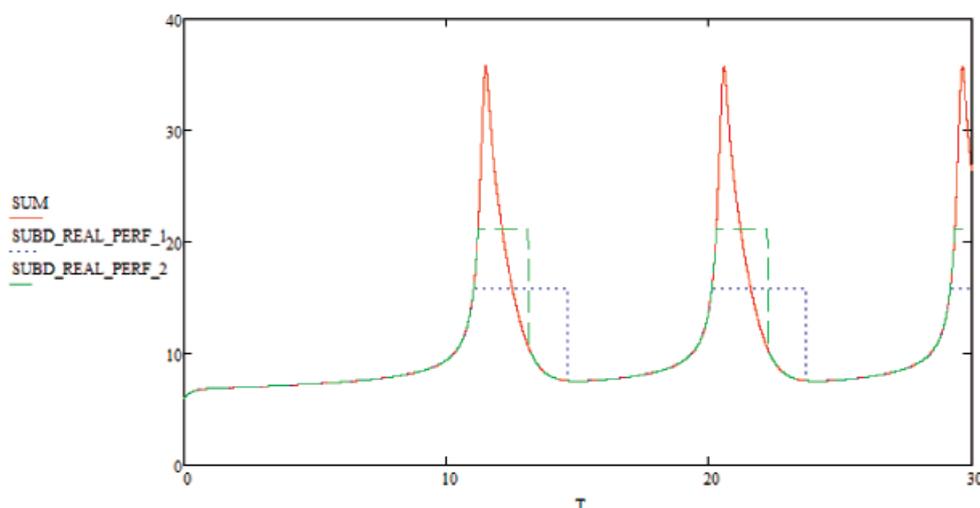


Рис. 2. Пример блокирования информационных потоков в результате «диссипативного» поведения одного из компонентов программной системы

Мы имеем поведение, далекое от интуитивного: несмотря на то, что средняя скорость генерации запросов меньше производительности СУБД, в некоторые моменты времени мы получаем задержки в обработке, вызванные нелинейными эффектами в одном из компонентов программной системы. В работе [3] выведен формальный критерий перехода программной системы из линейного в «диссипативный» режим.

Выводы

Трактовка понятия информации в настоящее время полисемична и не охватывает всех её форм и свойств. Информация во многом остаётся метафизической категорией, математическая формализация ряда важных её аспектов ожидает своего представления и осмысления. Энтропия

системы, диссипация может проявлять себя в самых причудливых формах, в том числе в форме устойчивых диссипативных структур, в колебательных и нестационарных поведении на фазовой плоскости, в возникновении блокирующих структур, «программных тромбов» и др. При этом физические диссипативные процессы могут эмулироваться программной системой как управляемо, так и случайно. Возможное появление блокирующих структур в потоке запросов к базам данных информационных систем на практике может привести к необходимости применения дополнительных средств тестирования и защиты программных систем. Продолжение исследований в этом направлении, по мнению авторов, может принести новые полезные для практики результаты и рекомендации.

Список литературы

1. Иванников А.Д., Тихонов А.Н., Соловьёв И.В., Цветков В.Я. Инфосфера и инфология. – М.: Торус Пресс, 2013. – 174 с.

2. Кудж С.А., Цветков В.Я. Особенности развития направлений информатики // Перспективы науки и образования. – 2013. – № 6. – С. 11.

3. Маркин А.А., Мельников С.В. Философский и естественнонаучный аспекты понятия информационной энтропии // Труды российской научной конференции «Инновационные стратегии развития науки, техники и общества», Минобрнауки РФ, МГТУ МИРЭА. – М., 2014. – С. 98–102.

4. Пригожин И., Глендсдорф П. Термодинамическая теория структуры, устойчивости и флуктуаций. – М.: МИР, 1973. – 124 с.

5. Хайтун С.Д. Трактовка энтропии как меры беспорядка и ее негативное воздействие на современную научную картину мира // Вопросы философии. – 2013. – № 2. – С. 62.

6. Хоружий С.С. Что такое SYNERGIA // Вопросы философии. – 2011. – № 12. – С. 19.

7. Шеннон К. Работы по теории информации. – М.: Изд-во иностранной литературы. – 1966. – 88 с.

References

1. Ivannikov A.D., Tihonov A.N., Solovjov I.V., Cvetkov V.Ja. Infosfera i infologija. M.: Torus Press, 2013. 174 p.

2. Kudzh S.A., Cvetkov V.Ja. Osobennosti razvitiya napravlenij informatiki // Perspektivy nauki i obrazovanija. 2013. no. 6. pp. 11.

3. Markin A.A., Melnikov S.V. Filosofskij i estestvennonauchnyj aspekt ponjatija informacionnoj jentropii // Trudy rossijskoj nauchnoj konferencii «Innovacionnye strategii razvitiya nauki, tehniki i obshhestva», Minobrnauki RF, MG TU MIRJeA. M., 2014. pp. 98–102.

4. Prigozhin I., Glensdorf P. Termodinamicheskaja teorija struktury, ustojchivosti i fluktuacij. M.: MIR, 1973. 124 p.

5. Hajtun S.D. Traktovka jentropii kak mery besporjadka i ee negativnoe vozdejstvie na sovremennuju nauchnuju kartinu mira // Voprosy filosofii. 2013. no. 2. pp. 62.

6. Horuzhij S.S. Chto takoe SYNERGIA // Voprosy filosofii. 2011. no. 12. pp. 19.

7. Shennon K. Raboty po teorii informacii. M.: Izd-vo inostranoj literatury. 1966. 88 p.

Рецензенты:

Клепарский В.Г., д.ф.-м.н., главный научный сотрудник, Институт проблем управления РАН, г. Москва;

Головин С.А., д.т.н., профессор, зав. кафедрой МОСИТ, Московский государственный университет информационных технологий, радиотехники и электроники, г. Москва.