

Леонид Г. Мельник (Сумской государственной университет, Украина)
**АНАЛИЗ ЭНЕРГОЭНТРОПИЙНЫХ ПРЕДПОСЫЛОК
ПРОГРЕССИВНОГО РАЗВИТИЯ ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМ***

В статье рассматривается взаимодействие энергетических (квазиэнергетических) и информационных факторов развития открытых стационарных систем в рамках 4 законов самоорганизации систем: сохранения энергии, баланса притока-оттока энтропии, оптимума системообразующих факторов, адекватности реакций системы на воздействие внешней среды. Анализируются предпосылки прогрессивного развития систем.

Ключевые слова: система, упорядоченность, энергия, информация, энтропия, прогрессивное развитие.

Форм. 4. Рис. 1. Лит. 14.

Леонід Г. Мельник (Сумський державний університет, Україна)
**АНАЛІЗ ЕНЕРГОЕНТРОПІЙНИХ ПЕРЕДУМОВ
ПРОГРЕСИВНОГО РОЗВИТКУ ЕКОНОМІЧНИХ СИСТЕМ**

У статті досліджено взаємодію енергетичних (квазіенергетичних) та інформаційних чинників розвитку відкритих стаціонарних систем у межах 4 законів самоорганізації систем: збереження енергії, балансу припливу-відпливу ентропії, оптимуму системоутворюючих чинників, адекватності реакцій системи на вплив зовнішнього середовища. Проаналізовано передумови прогресивного розвитку систем.

Ключові слова: система, упорядкованість, енергія, інформація, ентропія, прогресивний розвиток.

Leonid G. Melnyk (Sumy State University, Ukraine)
**ANALYSIS OF ENERGY-ENTROPY PRECONDITIONS FOR
PROGRESSIVE DEVELOPMENT OF ECONOMIC SYSTEMS**

The article studies the interaction of energy (quasi-energy) and information factors in the development of open stationary systems within the framework of 4 laws of systems' self-organization: the energy conservation; the balance of entropy inflow-outflow; the optimum of system-forming factors; and the adequacy of a system's reaction to environmental effects. The preconditions for progressive development of systems are analyzed.

Keywords: system; ordering; energy; information; entropy; progressive development.

Постановка проблеми. Методологічний підхід, при якому економічні структури досліджуються як фізичні (відкриті стаціонарні) системи, оказується все більше востребованим економічною наукою. Це обумовлено, во-первых, потребами економічної практики, во-вторых, можливостями сучасного наукового інструментарія.

Аналіз останніх досягнень і публікацій. К числу наукових досягнень останнього періоду часу, позволивших значально углубити інструментарій економіки на основі естествонаучних підходів, належить синергетична теорія самоорганізації економічних систем. Ученими були досліджені багато частних питань управління економічними системами на основі механізмів зворотного зв'язу, проаналізовані процес-

* Стаття підготовлена в рамках госбюджетної теми N0111U002149.

сы материально-информационных переходов и конвертации различных форм капитала, изучены вопросы эволюции экономических систем. Эти и другие вопросы рассматривались такими учеными: А. Аткиссон [2], И.М. Гуревич [3], А.И. Демин [4], С.П. Капица [5], С.П. Курдюмов [5], К. Майнцер [6], Г.Г. Малинецкий [5], Н.Н. Моисеев [9], И. Пригожин [10], И.Н. Сотник [11], В.Н. Тарасевич [12], А.Д. Урсул [3], Г. Хакен [13].

Нерешенные части проблемы. В меньшей степени остаются исследованными условия устойчивости экономических систем и их прогрессивного развития.

Цель исследования. Исследование закономерностей, в рамках которых обеспечивается устойчивость и прогрессивное развитие экономических систем.

Основные результаты исследований. Любая открытая стационарная система функционирует и развивается в рамках существующих физических законов. Проанализируем предпосылки устойчивости и прогрессивного развития экономических систем.

Закон сохранения энергии. Одним из основополагающих законов существования материального мира является закон сохранения энергии. В контексте рассматриваемого вопроса сформулируем данный закон, взяв за основу и трансформировав формулировку Г.Н. Алексеева [1].

Основными направлениями расходования системой свободной энергии (квазиэнергии) (E) являются: *выполнение работы* по поддержанию основных функций системы (W), *диссипация* (рассеивание) энергии во внешнюю среду (Q_d); *изменение* внутреннего запаса энергии (ΔU):

$$E = W + Q_d + \Delta U. \quad (1)$$

Формула (1) характеризует энергетический баланс, в рамках которого функционирует система (для *социально-экономических систем* речь идет о квазиэнергетическом балансе).

В том случае, если за определенный период расход энергии системой *соответствует* поступлению *свободной энергии* извне, создаются предпосылки *устойчивого* функционирования системы; индикатором является изменение внутреннего запаса энергии (ΔU). Если же за определенный период времени расходование *свободной энергии* системой *меньше* поступления энергии извне, в ней начинает накапливаться свободная энергия и создаются предпосылки для *прогрессивного* развития системы ($\Delta U > 0$). В том случае, если за определенный период расходование системой *свободной энергии превышает* её поступление извне, в ней начинают уменьшаться запасы свободной энергии и создаются предпосылки для *регрессивного* развития (деградации) системы ($\Delta U < 0$).

Как видно из формулы (1), эффективность функционирования системы зависит от соотношения первых двух составляющих правой части равенства, а именно затрат энергии, идущей на функционирование системы (W), и диссипативных энергетических потерь энергии (Q_d). Соотношение $W / (W + Q_d)$ можно считать своеобразным коэффициентом полезного действия системы.

При более пристальном взгляде на компоненту W открываются новые структурные глубины реальной эффективности функционирования системы. Дело в том, что на осуществление жизнеподдерживающих функций системы расходуется лишь часть ее общих функциональных затрат свободной энергии (W). Ещё две их составляющих идут только лишь на реализацию механизмов обратной связи, в том числе механизмов отрицательной обратной связи, обеспечивающих поддержание существующего гомеостаза системы, и механизмов положительной обратной связи, призванных трансформировать в случае необходимости уровень гомеостаза и обеспечивающих необходимые структурные преобразования. В общем виде данные составляющие могут быть выражены следующим образом:

$$W = W_m + W_r + W_t, \quad (2)$$

где W_m – затраты энергии (для экономических систем – квазиэнергии), необходимые непосредственно для осуществления *функций метаболизма* в системе и производства ею свободной энергии (квазиэнергии); W_r – затраты энергии (квазиэнергии) на поддержание уровня *гомеостаза* (реализацию механизмов отрицательной обратной связи); для экономических систем данные затраты сопряжены с функциями управления, обеспечения безопасности, создания необходимых условий работы и пр.; W_t – затраты энергии (квазиэнергии) на осуществление *трансформации* уровня гомеостаза (реализацию механизмов положительной обратной связи); для экономических систем данный вид затрат сопряжен с реструктуризацией, модернизацией, перевооружением предприятий.

Таким образом, следует признать, что из всех функциональных затрат энергии (квазиэнергии) лишь некоторая их часть (именно та, которая обеспечивающая реализацию *метаболизма*) носит производительный характер и непосредственно сопряжена с производством *свободной энергии*. Повышение эффективности функционирования систем связано с увеличением доли именно этой составляющей в структуре затрат энергии системой.

Закон баланса притока-оттока энтропии. Данный закон логически продолжает и развивает предыдущий. В нем учитывается, во-первых, энтропийный характер различных видов энергии (энтропийное качество), а во-вторых, фактор времени.

Закон сохранения энергии обуславливает предпосылки *необходимости* для упорядочения системы. Фактически он открывает очень простую истину: без *необходимых* средств (денежных, материальных, информационных, трудовых) дом не построить, дорогу не отремонтировать и урожай не вырастить. Однако приток свободной энергии в систему является лишь *необходимым*, а не *достаточным* условием упорядочения системы. В частности, физическое наличие перечисленных выше средств – еще не гарантия реализации задуманного. Иными словами, это не является *достаточным* условием, что дом будет построен, дорога – отремонтирована, богатый урожай – выращен. Деньги могут быть потрачены не по назначению, материальные ресурсы (например, цемент, асфальт, семенной фонд) могут испортиться из-за неправильного хранения (а то и просто расхищены), информация неправильно понята исполнителями, а

потенциал трудовых факторов может быть растерян из-за неправильной организации работы.

Рассматриваемый закон *баланса притока-оттока энтропии* устанавливает соответствие между затратами энергии (квазиэнергии, в частности, средств) и конечным результатом её применения — повышением упорядоченности систем (например, завершением определенного этапа строительных работ, ремонтом участка дороги, выращиванием сельхозпродукции).

По выражению Нобелевского лауреата Э. Шредингера, «живые организмы питаются отрицательной энтропией» [14]. *Изменение энтропии* и должно рассматриваться в качестве критерия конечного результата работы системы. В свете сказанного рассматриваемый закон можно сформулировать следующим образом: изменение уровня *упорядоченности* системы за определенный период определяется уровнем *изменения энтропии* в системе за данный период; упорядоченность системы возрастает при уменьшении энтропии в системе и снижается при её росте.

Данный закон может быть формализован в виде формулы:

$$\int_0^T \frac{d(S_{вп} + S_{вш})}{dt} = \int_0^T \frac{d\sigma}{dt}, \quad (3)$$

где в левой части — производство за рассматриваемый период энтропии (S) в системе, обусловленное внутренними ($вп$) и внешними ($вш$) факторами; в правой части — отток за данный период энтропии из системы (σ), обусловленный *негэнтропийной* (т.е. креативной) деятельностью системы.

Упорядочение системы происходит в рамках баланса притока-оттока энтропии:

- *устойчивое состояние* системы обеспечивается, если за данный период времени производство энтропии в системе соответствует оттоку её во внешнюю среду;
- *повышение упорядоченности* системы достигается в том случае, если отток энтропии во внешнюю среду за период превышает её производство системой;
- *снижение упорядоченности* происходит в том случае, если производство энтропии системой за период превышает её отток во внешнюю среду.

Следствия из закона:

Следствие 1. Чем меньше приток энтропии в системе, тем меньше нужно обеспечивать ее отток для упорядочения системы («не сорить легче, чем убирать», или «чисто не там, где убирают, а там, где не насоряют», «ленивый два раза делает» и т.п.).

Следствие 2. Эффекты развития динамических систем прямопропорциональны произведению импульса внутреннего или внешнего воздействия и времени, в течение которого он действует. Небольшой импульс, воздействующий продолжительное время, может принести больше выгоды или нанести больший ущерб (в зависимости от направления действия), чем большее по величине воздействие краткосрочного характера («вода камень точит», «терпение и труд все перетрут»).

Чрезвычайно важно за конечным итогом, характеризующим суммарные результаты динамики состояния системы за период, видеть качественную сторону происходящих во времени процессов.

В частности, кратковременные, однако значительные по силе воздействия колебания параметров системы могут вести к тяжелым, даже необратимым последствиям в будущем. При этом в целом за период может наблюдаться позитивный суммарный баланс негентроийной и энтропийной составляющих системы (например, превышение полученного за период дохода над произведенными расходами предприятия). Иными словами, налицо ситуация, которая образно характеризуется врачами: «можно тяжело болеть и выздороветь, а можно легко болеть и умереть». Причиной фатального исхода и является обычно то самое кратковременное, но критичное отклонение какого-либо из важнейших параметров организма. Схематично это показано на рис. 1, где представлено два сценария изменения во времени свободной энергии в системе (E_i – заштрихованная часть графика) под воздействием показателей скорости прироста свободной энергии (σ_i) и скорости прироста энтропии (S_i) системы.

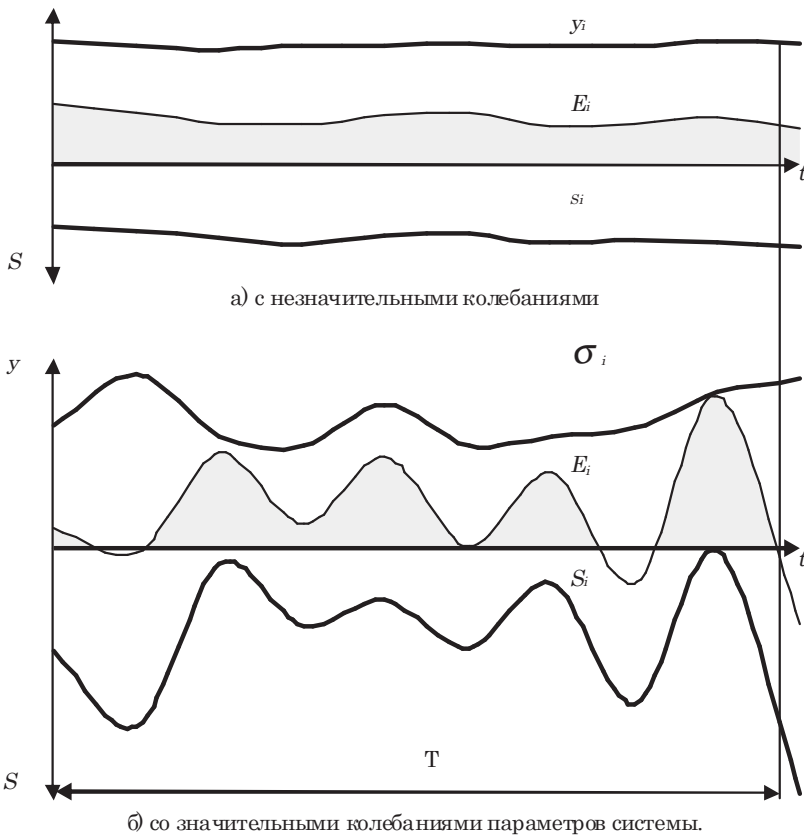


Рис. 1. Схематическая иллюстрация двух возможных сценариев функционирования условной системы, авторская разработка

При этом суммарное алгебраическое значение показателей уменьшения энтропии в системе ($\sum_{i=1}^n E_i = \sum_{i=1}^n (\sigma_i - \varepsilon_i)$) за период времени T в двух сценариях одинаково. Однако даже разовое кратковременное отклонение показателя E_i в зону отрицательных значений может оказаться критическим (фатальным) для системы – его система может не пережить [7].

Закон оптимума системообразующих факторов. Предыдущий закон (баланса притока-оттока энтропии) обуславливает результирующее состояние функционирования системы в зависимости от её энтропийной деятельности, которая является следствием взаимодействия системообразующих факторов. Закон *оптимума системообразующих факторов* обуславливает непосредственно сам процесс взаимодействия упомянутых факторов. По всей вероятности, он может быть сформулирован следующим образом: для любой открытой стационарной системы существует такой *набор и сочетание* в пространстве и времени системообразующих факторов (материальных, информационных, синергетических), при котором будет достигаться максимально возможное *снижение энтропии* в системе; при таком состоянии системы параметры системообразующих факторов максимально соответствуют целям и задачам функционирования системы и наилучшим образом увязываются между собой [8].

Закон адекватности реакций системы на воздействие внешней среды. Данный закон является логическим продолжением двух предыдущих. Посредством его законы «оптимума системоформирующих факторов» и «баланса притока-оттока энтропии» доводятся до каждого эпизода воздействия внешней среды на систему.

В любой из моментов времени существует некий гипотетический адекватный *оптимум* реакций системы (через механизмы обратной связи) на изменения внешней среды по качеству/(правильности) и своевременности/(скорости) реализации указанных механизмов; данный оптимум обеспечивает наиболее эффективный режим функционирования системы; отклонения от него ведут к увеличению производства системой энтропии (снижению её оттока во внешнюю среду).

На работу предприятия оказывают влияние многие изменения внешней среды, в том числе колебания экономической конъюнктуры. Такими изменениями могут быть: снижение спроса на одни группы товаров и увеличение спроса на другие; рост или снижение цен на различные виды ресурсов и энергоносителей; колебания погодных условий, влияющих на режим работы самого предприятия, предприятий поставщиков или потребителей продукции и многое другое.

Упомянутые изменения во внешней среде являются *сигналами (вызовами)* для перестройки работы предприятия, которое вынуждено принимать решения по изменению режимов своей деятельности. Эти решения могут затрагивать: изменение номенклатуры и ассортимента выпускаемой продукции (отказ от одних изделий и внедрение других), уменьшение или увеличение объема выпуска по различным группам товаров; изменение структуры потребляемых материалов и энергоносителей; выход из одних сегментов рынка и экспансия на другие; изменение ценовой политики и т.д.

Насколько правильно предприятие будет реагировать на сигналы внешней среды, настолько успешными будут результаты его работы. Теоретически можно предполагать, что существует некий гипотетический *оптимум* принимаемых предприятием решений об изменении показателей своей деятельности, например, структуры выпускаемых товаров, объемов производства (по каждой группе товаров), устанавливаемых цен, пр. Этот гипотетический оптимум будет обеспечивать предприятию максимальную эффективность работы (в частности, минимальные производственные издержки, максимальный объем продаж или максимально возможную цену, не уменьшающую объем реализации). Отклонение от данного оптимума в одну или другую сторону неизбежно будет вести к ухудшению упомянутых показателей работы предприятия.

В общем виде данный закон может быть формализован формулой:

$$\epsilon'_i = f(\Delta M_i; t_{mi}; \Delta I_i; t_{li}; \Delta S_i; t_{si}; \Delta T_i) \rightarrow \max, \quad (4)$$

где ϵ'_i – показатель удельного уменьшения энтропии в системе (за единицу времени) при наиболее адекватной i -той реакции системы на изменение состояния внешней среды; ΔM_i – изменение массива материальных факторов (M_i) за момент времени t_{mi} в ответ на внешний воздействующий импульс; ΔI_i – изменение массива информационных факторов (I_i) за момент времени t_{li} в ответ на внешний воздействующий импульс; ΔS_i – изменение массива синергетических факторов (S_i) за момент времени (t_{si}) в ответ на внешний воздействующий импульс; ΔT_i – изменение продолжительности отдельных операций и циклов деятельности системы в ответ на внешний воздействующий импульс (скажем, изменившаяся ситуация вынуждает предприятие ускорить процессы изготовления или реализации продукции по сравнению с предыдущим режимом работы (а главное, показателями деятельности конкурентов), или погодные условия требуют приостановить или замедлить производимые работы).

Следует подчеркнуть чрезвычайно важную роль, которую играет при принятии решений *фактор времени*. Более того, можно утверждать, что без учёта фактора времени какие-либо рассуждения о правильности решений теряют всякий смысл. Ведь *несвоевременность* любых действий является одним из признаков их *неправильности*. То, что уместно и эффективно в данный момент, может оказаться малоэффективным и даже ущербным, если будет принято раньше или позже. Эта мысль когда-то была выражена В. Маяковским: «Сегодня ... – рано, а послезавтра ... – поздно».

Выводы. Рассматриваемые законы могут служить теоретической основой для разработки эконометрических инструментов, диагностирующих *степень отклонения* параметров функционирования систем от оптимальных (наиболее эффективных) значений, что, в свою очередь, даёт возможность формировать механизмы приближения параметров системы к наиболее эффективному состоянию.

Данные законы могут служить также в качестве инструментальной основы для формирования *системы ограничений* параметров (режимов) функционирования систем посредством механизмов обратной связи.

1. *Алексеев Г.Н.* Энергоэнтропика. – М.: Знание, 1983. – 192 с.
2. *Аткиссон А.* Как устойчивое развитие может изменить мир / Пер. с англ. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012. – 455 с.
3. *Гуревич И.М., Урсул А.Д.* Информация – всеобщее свойство материи. Характеристика, оценки, ограничения, следствия. – М.: ЛИБИКОМ, 2012. – 312 с.
4. *Демин А.И.* Парадигма дуализма: Пространство-время, информация-энергия. – М.: ЛКИ, 2011. – 320 с.
5. *Капица С.П., Курдюмов С.П., Малинецкий Г.Г.* Синергетика и прогнозы будущего. – М.: Едиториал УРСС, 2003. – 288 с.
6. *Майнцер К.* Сложносистемное мышление: материя, разум, человечество. Новый синтез / Пер. с англ. – М.: ЛИБРОКОМ, 2009. – 464 с.
7. *Макарюк О.В.* Управління вартістю бізнесу в контексті формування його безпеки та розвитку // Актуальні проблеми економіки. – 2011. – №3. – С. 131–138.
8. *Мельник Л.Г.* Теория самоорганизации экономических систем: Монография. – Сумы: Университетская книга, 2012. – 439 с.
9. *Моисеев Н.Н.* Избранные труды: В 2-х т. – М.: Тайдекс Ко, 2003. – Т. 2. Междисциплинарные исследования глобальных проблем. Публицистика и общественные проблемы. – 264 с.
10. *Пригожин И.Р.* От существующего к возникающему: время и сложность в физических науках / Пер с англ. – М.: Едиториал УРСС, 2002. – 288 с.
11. *Сотник І.М.* Тенденції і проблеми управління де матеріалізацією виробництва і споживання // Актуальні проблеми економіки. – 2012. – №8. – С. 62–67.
12. *Тарасевич В.Н.* Экуника: гипотезы и опыты: Монография. – М.: ТЕИС, 2008. – 566 с.
13. *Хакен Г.* Информация и самоорганизация. Макроэкономический подход к сложным системам / Пер. с англ. – М.: КомКнига, 2005. – 248 с.
14. *Шредингер Э.* Что такое жизнь с точки зрения физики? / Пер. с англ. – М.: РИМИС, 2009. – 176 с.

Стаття надійшла до редакції 29.01.2013.