

DOI:

ЭНТРОПИЙНЫЙ ПОДХОД К ПРОБЛЕМАМ УСТОЙЧИВОГО РЕГИОНАЛЬНОГО РАЗВИТИЯ

Соломатин А.Н.

Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» РАН,
Россия, г. Москва, ул. Вавилова, д.40
a.n.solomatin@bk.ru

Аннотация: Обеспечение устойчивого регионального развития рассмотрено с позиций теории энтропии. Предложены различные направления борьбы с ростом энтропии, формально определены необходимые условия устойчивого развития. Детально анализируются технологические, экономические, экологические и управленческие аспекты противодействия росту энтропии.

Ключевые слова: устойчивое региональное развитие, глобальные проблемы, энтропия, предотвращение роста энтропии, научно-технический прогресс, экономическая система, стратегическое управление, экологические проблемы, управление.

Вместо введения: устойчивое развитие и глобальные проблемы

Настоящая работа развивает полученные в [1] результаты, где проблематика устойчивого развития нефтегазодобывающих регионов рассматривается с позиций энтропийного подхода. Концепция устойчивого развития получила широкое распространение со времени международной конференции в Рио-де-Жанейро 1992 года. Под устойчивым развитием понимается «развитие, при котором удовлетворяются потребности настоящего времени, но не ставится под угрозу способность будущих поколений удовлетворять свои потребности» [2]. Основной причиной возникновения этой концепции являются пределы роста, когда для развивающихся стран становится невозможен путь западной цивилизации из-за ресурсных и экологических ограничений.

Мировое сообщество состоит из отдельных государств и регионов, и все больше исследователей отмечают, что устойчивость развития является более важной стратегической целью для региональных социо-эколого-экономических систем, чем экономический рост и даже повышение качества жизни населения [2]. Аналогично, у биологических систем всегда имеет место приоритет выживания системы над развитием и размножением, а для экономических систем (компаний) в современном стратегическом управлении постулируется приоритет выживания компании в нестабильной среде над прибылью.

Поскольку именно в регионе осуществляется полный цикл общественного воспроизводства, необходимым условием устойчивого развития региональных систем является обеспечение расширенного воспроизводства для всех локальных воспроизводственных циклов – природных и трудовых ресурсов, денежных и финансовых ресурсов, основных фондов, научных знаний и т.д. [3]. К сожалению, в настоящее время воспроизводственные циклы в подавляющем числе регионов РФ оказались серьезно нарушены: бюджеты являются дотационными, слабо обновляются производственные фонды, внедряются новые технологии, готовятся кадры, решаются экологические проблемы и т.д.

Поэтому ведущей парадигмой регионального развития должна быть концепция устойчивого развития регионов – экономически эффективного, социально целесообразного и экологически безопасного в силу самой природы региона как единой социально-эколого-экономической системы.

Концепция устойчивого развития как теория развития общества органично связана с современными общенаучными теориями. Так, в работах Н.Н. Моисеева, внесшего большой вклад в развитие концепции универсального эволюционизма, одними из центральных являются понятия «коэволюции человека и природы», предполагающей согласованное развитие человечества и биосферы, «экологического императива», обозначающего «ту границу допустимой активности человека, которую он не имеет права переступить ни при каких обстоятельствах» и системы «УЧИТЕЛЬ» как универсального средства обеспечения роста негэнтропии в обществе [4].

На пути к устойчивому развитию стоят многочисленные глобальные проблемы, такие как угрозы мировой войны, глобальных пандемий, риски новых технологий, расслоение на бедные и богатые страны, перенаселение планеты, голод и нищета, рост международного терроризма и преступности, истощение природных ресурсов, экологические проблемы, глобальные изменения климата и т.д.

Эти проблемы распространяются по цепочке «мировая цивилизация-государство-регион-город (район)-предприятие-индивид», влияя на жизнь каждого человека. При этом многие проблемы взаимно

вливают друг на друга, усиливая негативный эффект за счет возникновения положительных обратных связей: так, технологическое отставание влечет за собой бедность с последствиями в виде голода и болезней.

Рост груза глобальных проблем и прогрессирующая хаотизация характеризуются термином «нестабильность», когда частота, скорость протекания, сила и непредсказуемость изменений постоянно возрастают при одновременном росте сложности проблем, требующих решения. Поэтому уже несколько десятилетий мировая бизнес-среда оценивается специалистами по управлению как нестабильная [5].

Нетрудно видеть, что глобальные проблемы представляют собой либо проблемы нехватки различных ресурсов (сырьевых, инвестиционных, технологических и т.д.) и борьбы за эти ресурсы либо негативного влияния загрязнений, что накладывает соответствующие ограничения на перспективы устойчивого развития цивилизации в целом, отдельных стран и регионов.

Анализ свойств энтропии и информации позволяет предположить, что глобальные проблемы и проблемы устойчивого развития, в частности, экологические, можно рассматривать как проблемы, возникающие вследствие роста энтропии в глобальной системе «планета Земля». На самом деле, как изъятие невозобновляемых природных ресурсов, так и выбросы в окружающую среду отходов и загрязнений дают в итоге общий рост глобальной энтропии.

1 Энтропия и ее свойства

Важнейшим понятием теории систем и теории информации является энтропия как мера неопределенности информации, внутренней неупорядоченности и дезорганизации систем любой природы. Негэнтропия как связанная информация, наоборот, является мерой упорядоченности материи и мерой внутренней структурированности. Она рассчитывается аналогично энтропии, но действует противоположно ей, причем эти две величины изменяются в системах по различным закономерностям и их значения мало зависят друг от друга. Так, по одним показателям энтропия может расти, а по другим – убывать, причем энтропия и негэнтропия могут расти и уменьшаться одновременно [6].

Только живые системы могут действовать против всеобщего увеличения энтропии. По словам Шредингера, организм может оставаться живым, «только постоянно извлекая из окружающей его среды отрицательную энтропию. Отрицательная энтропия — это то, чем организм питается» [6].

Энтропия обладает следующими основными свойствами [6]:

- чем больше число состояний системы и чем меньше отличаются их вероятности, тем больше энтропия;
- в изолированной системе (которая не обменивается со средой веществом и энергией) энтропия не может убывать, что ведет в конечном счете к гибели системы;
- если энтропия системы убывает, то это сопровождается ростом энтропии в среде (других системах);
- при объединении систем энтропия уменьшается вследствие образования новых структурных связей, т.е. $H(X \cup Y) \leq H(X) + H(Y)$, где $X \cup Y$, X, Y – системы (теорема Шеннона для систем).

Представляют интерес также другие свойства энтропии [6, 7]:

- энтропия не возникает и не исчезает, она просто переходит от системы к среде и наоборот;
- вероятность отсутствия порядка в системе (число хаотических состояний) всегда намного выше, чем вероятность порядка;
- при росте энтропии увеличивается размерность системы, количество независимых переменных, количество состояний системы, растут неопределенность и беспорядок в системе;
- при конкуренции систем за ограниченные ресурсы система с меньшим уровнем энтропии обычно притягивает больше ресурсов и быстрее развивается;
- информация самопроизвольно передается от системы с меньшей негэнтропией в систему с большей негэнтропией.

Из перечисленных свойств энтропии следуют выводы, которые налагают существенные ограничения на возможности равного устойчивого развития для социально-экономических систем различного уровня - государств, регионов, компаний, а также индивидов:

- поскольку вероятность отсутствия порядка (число хаотических состояний) всегда намного выше, чем вероятность порядка, то функционирование любой системы – это непрерывное решение постоянно возникающих проблем;

- при взаимодействии стран, регионов, компаний с разным уровнем развития (то есть негэнтропии) ресурсы всех видов автоматически перетекают от менее развитых систем к более развитым;
- развитие цивилизации неминуемо влечет за собой рост энтропии окружающей природной среды в виде сокращения запасов ресурсов, деградации и загрязнения среды;
- развитие любой системы (государства, региона, компании, индивида) всегда осуществляется за счет внешней среды или других систем того же уровня, что ставит под сомнение возможность всемирного благоденствия;
- по мере экспансии цивилизации естественная среда постепенно исчезает, заменяясь на искусственную, и цивилизация из открытой системы (в окружающей среде планеты Земля) все более превращается в замкнутую относительно космоса систему (совпадающую с сушей планеты);
- для уменьшения энтропии системы требуются целенаправленные дополнительные усилия - осуществление управления, т.е. внесение дополнительной информации, увеличивающей открытость системы;
- для каждого уровня открытости конкретной системы существует свой критический уровень организации - баланс энтропии и негэнтропии, вокруг которого происходят энтропийные колебания; при этом чрезмерное повышение негэнтропии автоматически вызывает соответствующий рост энтропии (например, рост преступности в современных высокотехнологичных городах), для преодоления чего требуется повышать открытость системы.

2 Борьба с энтропией

Вся история человеческой цивилизации представляет собой непрерывную борьбу с энтропией в самых различных областях – в политике, экономике, культуре и т.д. Классическим способом решения энтропийных проблем всегда были захватнические войны и освоение новых территорий в разных формах – от Великих географических открытий в 15 веке и до создания колониальной системы в 19 веке. Причина постоянной экспансии – это стремление увеличить освоенную территорию и как самостоятельную ценность, и как источник разнообразных ресурсов.

В настоящее время оба направления являются фактически закрытыми из-за наличия оружия массового уничтожения и полного заселения пригодных для проживания территорий планеты. В качестве их аналога в современных условиях, т.е. в качестве дальнейших направлений для экспансии можно рассмотреть освоение космоса, Мирового океана и подземного пространства как источников ресурсов и стоков для загрязнений с переходом от «двумерной» к «трехмерной» модели внешней среды.

После исчезновения возможностей территориальной экспансии капитализму удавалось избежать тотального кризиса за счет постоянного экономического роста, постоянно расширяя систему за счет: отмены привязки к золотому стандарту (50-е гг. 20 в.), развития культа потребления (50-60-е гг.), роста банковского кредитования (80-е гг.), использования краха СССР и мировой системы социализма, создавшие огромный новый рынок (90-е гг.), развития информационных технологий, Интернета и виртуальной деятельности (нулевые годы 21 в.).

Но в настоящее время человеческая цивилизация, которая сформировалась в условиях «пустого мира» по Г. Дейли, мира неизведанных территорий и избытка ресурсов, оказалась в условиях «полного мира» [8], когда расширяться более некуда.

При этом, вследствие свойств негэнтропии, ресурсы, капиталы, трудовые ресурсы всегда будут перетекать из страны с меньшим уровнем развития (негэнтропии) в страну с большим уровнем развития. Поэтому высокоразвитые страны обычно являются переработчиками сырья, а слаборазвитые – поставщиками, движение денег происходит от рынка потребителей к рынку производителей.

Этот механизм в полной мере справедлив для России, которая несколько десятилетий постоянно экспортирует негэнтропию, повышая свой энтропийный уровень. Экономика во многом основана на добыче и экспорте ресурсов (углеводороды, металлы, лес, продукция сельского хозяйства), причем полученные средства также выводятся за рубеж; ученые и специалисты эмигрируют, а оставшаяся наука во многом обслуживает западных исследователей.

По мере сокращения ресурсной базы, загрязнения среды и роста численности населения все более вероятными становятся такие пугающие сценарии, как мировая экологическая война за ресурсы,

утверждение диктатуры «золотого миллиарда» с сокращением численности населения планеты, «цифровой концлагерь» с ограниченным потреблением и т.д.

Антигуманным и неприемлемым вариантом мирового развития и борьбы с энтропийным загрязнением является сокращение цивилизации как системы до границ стран «золотого миллиарда» с превращением остальной территории планеты в «окружающую среду» как источника ресурсов и стока для загрязнений. Доказывается, что однополюсный мир (страны «золотого миллиарда») является по своей природе неустойчивым, а масштабное освоение космического пространства, наоборот, ведет к образованию устойчивого двухполюсного мира [9].

При освоении космоса одновременно решается несколько задач, снижающих энтропийное загрязнение планеты:

- кардинально увеличивается степень открытости системы «планета Земля»;
- повышается критический уровень, до которого может происходить усложнение планетарной цивилизации;
- объекты космического пространства станут источниками ресурсов, а оно само – стоком для отходов и загрязнений.

Принятие устойчивого развития как основной стратегической цели для любого региона и использование энтропийного подхода дают четкие критерии при оценке любых решений по региональному развитию: хорошо все то, что уменьшает энтропию в обозримом будущем (например, привлечение инвестиций и технологий, развитие обрабатывающей промышленности, образования, здравоохранения), плохо все то, что ее увеличивает, например, перекоп в сторону добывающей промышленности, неконтролируемая миграция, вывоз невозобновляемых природных ресурсов, утечка капиталов и квалифицированных кадров.

С позиций системного подхода и на основании рассмотренных свойств энтропии можно выделить следующие общие направления борьбы с энтропийным загрязнением и, в частности, решения экологических проблем (см. табл. 1), которые подходят как для систем-стран, так и для систем-регионов:

1. уменьшение продукции энтропии и увеличение продукции негэнтропии в системе;
2. уменьшение экспорта и увеличение импорта негэнтропии в систему;
3. уменьшение импорта и увеличение экспорта энтропии из системы;
4. упрощение системы - уменьшение ее размера и сложности;
5. увеличение емкости (размеров) внешней среды системы;
6. увеличение степени открытости системы;
7. объединение системы с другими системами;
8. улучшение управления системой.

Схематически потоки энтропии и негэнтропии при взаимодействии произвольной системы и внешней среды приведены на рис. 1, а примеры борьбы с энтропийным загрязнением – в табл. 1.

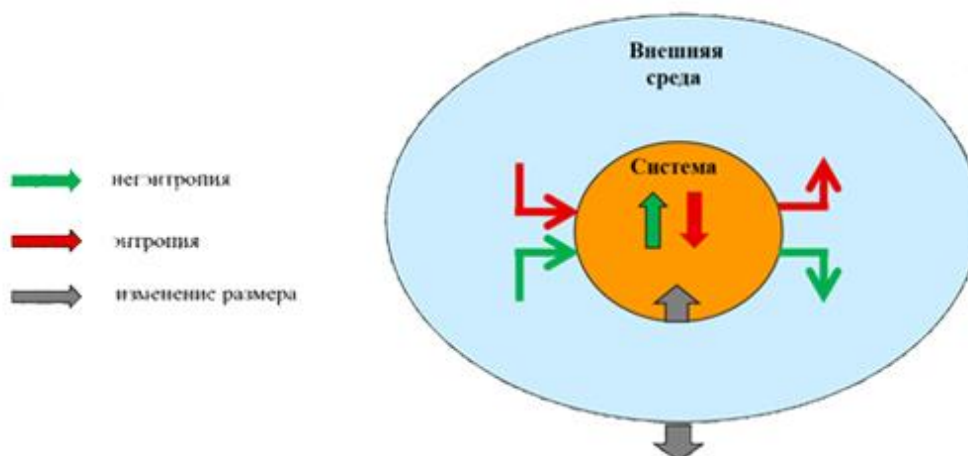


Рис.1. Направления борьбы с энтропийным загрязнением.
Направление стрелки отражает процесс роста или уменьшения

Таблица 1. Примеры борьбы с энтропийным загрязнением

Направления борьбы с энтропией	Примеры	Анти-примеры
1. Уменьшение продукции энтропии и увеличение продукции негэнтропии в системе.	Научно-технический прогресс, ресурсо- и энергосбережение, безотходное производство, «экономика знаний», развитие культуры, религии, медицины, сильное государство.	Недостаточное внимание развитию науки и образования, затратная экономика, массовая культура, десакрализация общества, слабое государство, коррупция, преступность.
2. Уменьшение импорта и увеличение экспорта энтропии из системы.	Вывос вредных производств и захоронение отходов в странах третьего мира.	Развитие вредных производств (особенно на привозных ресурсах), неконтролируемая миграция, экспорт массовой культуры.
3. Уменьшение экспорта и увеличение импорта негэнтропии в систему.	Экономика стран «золотого миллиарда»: - уменьшение экспорта природных ресурсов, предотвращение «утечки мозгов» и капиталов; - вывоз природных ресурсов, финансовых средств и рабочей силы из развивающихся стран.	«Утечка мозгов» из стран третьего мира, «нефтяная игла» в РФ, экономика, основанная на экспорте природных ресурсов и рабочей силы, бегство капиталов и «мозгов».
4. Упрощение системы – уменьшение ее размеров и сложности.	Распад империй, образование национальных государств, разделения в компаниях, малый бизнес.	Войны, эпидемии, природные и техногенные катастрофы, реализация концепции «золотого миллиарда».
5. Увеличение емкости (размеров) внешней среды.	В прошлом - территориальная экспансия, Великие географические открытия, колониальная система. В перспективе - освоение космического, подводного и подземного пространства, а также тундры, пустынь и гор.	Вытеснение естественной среды искусственной в мировом масштабе.
6. Увеличение степени открытости системы.	Открытые границы, глобализация, туризм, развитие Интернета и мобильной связи, ликвидация таможенных, информационных и иных барьеров, выход в космическое пространство.	Таможенные и информационные барьеры, экономические санкции, закрытие государств при пандемиях, «железный занавес» в СССР.
7. Объединение системы с другими системами.	Захватнические войны, создание империй, колониальная политика, глобализация, монополии, ТНК, союзы, ТПК.	Распад империй, государств (распад СССР), союзов и компаний.
8. Улучшение управления системой.	Сильное государство, стратегическое управление, цели устойчивого развития, развитие информационных технологий	Слабое государство, стихия рынка, коррупция в эшелонах власти.

Далее рассмотрены различные аспекты предотвращения роста энтропии, обеспечивающие устойчивое региональное развитие – технологические, экономические, экологические и управленческие.

3 Технологические аспекты

Известно, что человек фактически не использует вещество и энергию как таковые - он использует их определенные полезные свойства, которые требуются для достижения определенных целей; например, требуется не вода вообще, а вода для питья, промышленных целей, орошения и т.д. Поскольку свойства вещества и энергии представляют собой некоторую информацию, то можно считать, что используются не вещество и энергия как таковые, а содержащаяся в них информация.

Можно говорить об эквивалентности вещества, энергии и негэнтропии как различных форм, различных ипостасей материи, количественные характеристики которых можно пересчитать друг в друга [7]. Так, знаменитое уравнение Эйнштейна $E=mc^2$ связывает вещество (m), энергию (E) и информацию (c). Материя и информация взаимозаменяемы: эффективное структурирование материи (внесение дополнительной информации) позволяет снижать затраты этой материи, изготавливать промышленные изделия более эффективными, компактными и менее ресурсоемкими. Достаточно сравнить канат из пеньки и нить из композитных материалов, процессоры ЭВМ БЭСМ-2 и Intel Core, паровой котел и двигатель современного автомобиля.

Данный факт определяет лидирующую роль науки и новых технологий для реализации устойчивого и экологически безопасного развития. Именно использование технологий и науки, обеспечивающее производство и внесение дополнительной информации, позволяет превращать ранее бесполезную материю и отходы производства в полезные ресурсы, как это уже было с такими веществами и изделиями как нефть и природный газ, электромагнитное поле, старые автопокрышки, опилки, кварцевый песок и т.д.

Можно сказать, что вся история развития цивилизации есть история постепенного превращения бесполезной с точки зрения человеческой деятельности материи (а в последнее время – и отходов) в полезные ресурсы. Тем самым открывается потенциальная возможность бесконечного устойчивого развития: поскольку материя неисчерпаема, из нее можно получать все больше и больше информации, т.е. ресурсы на планете не ограничены с точки зрения наличия негэнтропии.

Будущие технологии – это новые материалы (сверхпроводники, композиты), источники энергии (термоядерная, гравитационная), химические и биохимические реакции (искусственный фотосинтез, изменение генетического кода, био-нанорасщепление отходов), вычислительная техника (квантовые компьютеры) и т.д.

Определим формально условия устойчивого развития. Пусть $M(t)$ – множество всех существующих материальных элементов (химические элементы, соединения, материалы, поля и т.д.) в момент времени t , $M(t) = R(t) \cup N(t) \cup P(t)$.

Структура $M(t)$ постоянно изменяется: множества полезных ресурсов $R(t)$ и загрязнений $P(t)$ расширяются, а множество не используемых в хозяйственной деятельности элементов $N(t)$ - сужается, поскольку бесполезные ранее элементы становятся ценными ресурсами.

Далее, для любого элемента $x \in M(t)$ определим его объем в натуральном выражении $v_x(t)$ и эффективность (полезность) $e_x(t)$, где $e_x(t) > 0, x \in R(t); e_x(t) = 0, x \in N(t); e_x(t) < 0, x \in P(t)$, т.е. считаем, что загрязнения имеют отрицательную полезность.

Пусть далее $R(t) = \bigcup_{i=1}^{n(t)} R_i(t)$, где $R_i(t)$ - множество взаимозамещающих ресурсов i -го типа

(например, дрова, уголь, нефть, газ и т.д. для энергетики), $P(t) = \bigcup_{j=1}^{m(t)} P_j(t)$, где $P_j(t)$ - множество

загрязнений j -го типа с аналогичным негативным воздействием.

Тогда суммарная эффективность ресурсов i -го типа в душевом измерении есть $R_i^*(t) = (\sum_{x \in R_i(t)} v_x(t) \cdot e_x(t)) / S(t)$, где $S(t)$ - численность населения, а суммарная эффективность всех

ресурсов - $R^*(t) = \sum_{i=1}^{n(t)} R_i^*(t)$.

По аналогичным формулам определяется суммарная вредность загрязнений каждого j -го типа в душевом измерении $P_j^*(t) = -(\sum_{x \in P_j(t)} v_x(t) \cdot e_x(t)) / S(t)$, а потом - суммарная вредность всех

$$\text{загрязнений } P^*(t) = \sum_{j=1}^{m(t)} P_j^*(t).$$

Суммарная эффективность ресурсов $R^*(t)$ не убывает с течением времени при выполнении следующих условий: $n(t)$ не убывает (появляются качественно новые типы ресурсов); $|R_i(t)|$ не убывает для всех i (появляются новые ресурсы каждого типа); появляются новые ресурсы какого-либо типа с существенно **большой** эффективностью (атомная энергия в 50-е гг. 20 в.). Аналогичным образом определяются условия невозрастания $P^*(t)$ с течением времени.

Поэтому можно сформулировать следующие необходимые (но не достаточные) условия устойчивого развития: с течением времени суммарная полезность ресурсов каждого типа не убывает, а суммарная вредность загрязнений каждого типа не возрастает в душевом измерении (невозрастание энтропии системы) с учетом изменения состава, объемов и эффективности различных ресурсов и загрязнений, т.е. для всех $i = \overline{1, n(t)}$, $j = \overline{1, m(t)}$ и любого t справедливо

$$(1) R_i^*(t) \leq R_i^*(t+1), P_j^*(t) \geq P_j^*(t+1).$$

В случае выполнения условий устойчивого развития при $t \rightarrow \infty$ можно получить, что $|R(t)| \rightarrow |M(t)|$, $|N(t)| \rightarrow 0$, $|P(t)| \rightarrow 0$, т.е. циклы преобразования материи в техноценозах приобретают те же свойства, что и циклы в природных экосистемах, в которых отсутствуют отходы и бесполезная материя, а все является полезными ресурсами для множества трофических цепей.

Возможно, что именно развитие био- и нанотехнологий позволит заменить существующую разомкнутую и губительную для окружающей среды схему функционирования экономики «ресурсы \rightarrow система \rightarrow отходы» на малореальную схему «ресурсы \rightarrow система \rightarrow отходы \rightarrow ресурсы», а на замкнутую схему, которая работает во всех природных экосистемах: «ресурсы \rightarrow система \rightarrow отходы \rightarrow первичные элементы \rightarrow ресурсы». В этом случае при разложении до безопасных первичных элементов техноценозы становятся такими же самоочищающимися, как и биоценозы.

В природе не существует безэнтропийных процессов, поэтому не существует безотходных технологий и производств. Но в любом случае отходов должно быть меньше, менее вредных, преобразуемых в ресурсы и удаляемых максимально далеко от полей высокой концентрации. Также актуальны принципы экологии замкнутого цикла 5R: reduce – уменьшить энерго- и материалоемкость; replacement – замена на возобновляемые ресурсы; recovery – использование переработанных отходов; recycling – рециркуляция отходов; reuse – многократное использование продукции [7].

Потенциальная возможность устойчивого развития подтверждается также тем, что природные экосистемы тратят до 40% своих энергоресурсов на решение собственных «экологических проблем» (разложение продуктов метаболизма и погибших организмов), а даже наиболее развитые страны – не более 5%. Из этого следует, что топливно-энергетический комплекс является основным потребителем природных ресурсов, основным (с учетом автотранспорта) источником загрязнений и одновременно - основным будущим инструментом решения проблем экологии на новой технологической базе, позволяющей получать дешевую и экологически чистую энергию.

Помимо известных перспективных источников энергии (возобновляемые источники, использование газовых гидратов, термоядерная и водородная энергетика), в перспективе возможны также такие экзотические источники как космические солнечные электростанции, энергия искусственного фотосинтеза, аннигиляционное топливо, энергия гравитационная, мезонная, нейтринодинамическая, физического вакуума, темная энергия и т.д.

4 Экономические аспекты

1. В современном обществе потребления главным средством извлечения прибыли для компаний является не уменьшение издержек на оплату труда, как до 20 в., а увеличение доходов за счет роста продаж на основе кейнсианской модели. Ориентация на неограниченный рост, стимулирование спроса, поиск и удовлетворение индивидуализированных потребностей являются как основой научно-

технического прогресса и увеличения благосостояния сотен миллионов людей, так и основной причиной роста энтропии. Современная экономическая система в целом враждебна устойчивому развитию, поскольку ориентация на неограниченное потребление ведет к непрерывному росту как потребляемых природных ресурсов, так и производимых отходов [4, 8].

Для обеспечения устойчивого развития и уменьшения роста энтропии просматриваются следующие возможные варианты:

- переход мирового капитализма на более экологичный путь развития с сохранением существующей нормы прибыли по таким возможным направлениям как снижение себестоимости продукции за счет автоматизации и энергоресурсосбережения, сохранение выручки за счет повышения цен на продукцию (монопольных и/или включающих значительные экологические издержки), экономика услуг и эмоций, реализация концепции «золотого миллиарда» и т.д.;
- конвергентная модель развития, аналогичная китайской, где сочетаются элементы капитализма (рыночная экономика с частной собственностью) и социализма (государственное планирование, ориентация на благосостояние народа).

При этом следует иметь в виду, что переход к более прогрессивной модели производственных отношений – это необходимое, но не вовсе не достаточное условие решения энтропийных проблем устойчивого развития.

2. Рост энтропии на уровне мирового сообщества проявляется не только глобальными проблемами, но и кардинальным изменением свойств бизнес-среды, которая приобретает свойства нестабильности – изменчивости и сложности. В ответ на это в 80-е гг. 20 в. сформировалось стратегическое управление – форма современного корпоративного управления [5, 10]. Его ключевыми положениями являются следующие: 1) поведение хозяйствующих субъектов определяется в основном вызовами внешней среды; 2) будущее ограничено предсказуемо, а формирование долгосрочных стратегий – ограничено эффективно; 3) процесс управления должен быть упреждающим; 4) стратегические решения могут корректироваться.

На стыке стратегического управления и региональной экономики за рубежом и в РФ бурно развивается стратегическое управление регионом [11], которое может и должно стать основным инструментом реализации стратегий устойчивого развития региональных социально-экономических систем.

3. В стратегическом менеджменте в настоящее время получила также широкое распространение концепция стоимостного управления [12], согласно которой главной задачей любого компании (экономического субъекта) должен быть не текущий рост прибылей, а будущий рост доходов и максимизация стоимости компании. Стоимость оценивается как сумма будущих дисконтированных денежных потоков и рассматривается как наиболее эффективный критерий оценки деятельности компании – формализуемый, долгосрочный и информативный.

Использование стоимостного подхода позволяет подвести экономический фундамент под устойчивое региональное развитие, обосновать важность развития социальной сферы и охраны окружающей среды. Если стремиться только к максимизации текущей прибыли, то в перспективе истощение природных ресурсов, загрязнение среды, ухудшение здоровья населения и прочие энтропийные явления неминуемо уменьшат стоимость региональной системы.

5 Экологические аспекты

Экологические проблемы являются одними из основных в проблематике устойчивого развития. Если ранее основной целью любой общественной формации было создание максимального удобства для жизни человека, а основной идеей был антропоцентризм («все для человека, все для блага человека»), то в настоящее время главным становится сохранение биосферы как общего дома всего человечества: «Нас ожидает...перестройка самого процесса антропогенеза и, в частности, содержания цивилизации, ее целей, взаимоотношений с природой, людей между собой» [5].

Незаметно, но коренным образом меняются отношения цивилизации и биосферы: если раньше стремились не навредить биосфере, то теперь возникает вопрос, сможет ли цивилизация скомпенсировать обратное негативное влияние на нее потоков энтропии от деградировавшей биосферы.

При этом качественная перестройка биосферы в непригодное для жизни состояние вовсе не требует крупномасштабной ядерной войны: из-за нелинейности суперсистемы биосферы и наличия в ней

бифуркаций порог устойчивости и переход в качественно новое состояние может произойти в результате незначительных, но постоянно действующих возмущений.

Об остроте экологических проблем говорит тот факт, что для сохранения устойчивости потребление первичной продукции биоты не должно превышать 1-2%. Но сейчас цивилизация потребляет 6-8% продукции биоты прямо и 30-32% косвенно за счет сжигания углеводов. При этом 63% территории суши занимают искусственные системы, не обладающие устойчивостью [10].

В экологической проблематике имеется много противоречивых положений и благих пожеланий, которые намеренно или непреднамеренно не учитывают, в частности, следующие факты:

- экологические цели (охрана природы) прямо противоположны экономическим (интенсивная эксплуатация природных ресурсов в целях извлечения прибыли);
- при решении экологических проблем воздействие производится только на природу (мониторинг, охрана природы, ликвидация загрязнений и т.д.), а экономические и социальные отношения не рассматриваются;
- безотходных технологий пока не существует;
- развитие системы-цивилизации (рост негэнтропии) обязательно сопровождается ростом энтропии в окружающей природной среде.

При этом многие исследователи [4] справедливо критикуют концепцию устойчивого развития за то, что часто в ней абсолютизируются экологические проблемы и скрывается основная социально-экономическая причина глобальных проблем – бесконтрольная погоня за прибылью.

Кроме того, под ресурсами и загрязнениями более правильно рассматривать не только материальные субстанции (опосредованная форма энтропии), но и информацию в чистом виде. Тогда под «экологическими проблемами» цивилизации можно понимать также определенную деградацию популяции (физическую, умственную, психологическую, моральную) в условиях дефицита качественного воздуха, воды, продуктов питания, движения и загрязнения информационного пространства негативной информацией (насилие, ужасы, фейки, информационный мусор) при сокращении информации позитивной, относящейся к науке, культуре, религии, природе.

Сложность экологических проблем связана с многоплановой ролью природной среды для современной цивилизации: она одновременно является средой обитания, источником ресурсов, производственной средой и полигоном для отходов. В качестве метафоры можно представить себе проживание в комнате, которая одновременно является жильем, складом, мастерской и свалкой.

Важнейшей экологической проблемой являются глобальные изменения климата как следствие загрязнения воздушного бассейна планеты парниковыми газами – углекислым газом и метаном. На самом деле, с конца 18 века концентрация CO₂ в атмосфере увеличилась почти на 40% и достигла максимума за последние 650 тысяч лет.

При этом глобальное потепление опасно не сколько изменением температур, сколько скоростью этих изменений, учащением и усилением экстремальных погодных явлений, увеличением амплитуды и частоты колебаний температур и количества осадков.

Для регионов России, среди которых много добывающих, глобальное потепление может вызвать такие негативные последствия как уменьшение потребности в ископаемых углеводородах и ухудшение условий добычи и транспорта углеводородов в Западной Сибири. Поэтому для этих регионов противодействие глобальным изменениям климата в контексте обеспечения устойчивого развития должно стать важнейшей стратегической целью.

И для любого региона должны использоваться свои специфические решения, зависящие от географического положения региона и особенностей его климата: на Севере России основными проблемами могут стать таяние вечной мерзлоты и наводнения из-за разлива рек, в зоне лесов – те же наводнения и лесные пожары, в южных регионах – засуха и деградация пахотных земель.

6 Аспекты управления

Улучшение управления системами, включая региональные, является эффективным и наиболее доступным способом уменьшения системной энтропии за счет привлечения дополнительной, а именно, управляющей информации.

К сожалению, сложность социо-эколого-экономических систем любого уровня (от государств и до крупных городов), видимо, уже превышает допустимые пределы, устанавливаемые законом необходимого разнообразия Эшби, в соответствии с которым для успешного управления разнообразие субъекта управления должно быть не меньше разнообразия объекта управления (ОУ) [6]. Следствием этого является ухудшение управления, рост количества нерешенных проблем,

включая глобальные. А причина состоит в том, что за короткий исторический период разнообразие объектов управления выросло колоссально, а разнообразие субъекта во многом ограничено физиологически возможностями мозга.

Пусть $H(Y)$ – разнообразие состояний ОУ, $H(X)$ – разнообразие состояний субъекта управления, $H(X \setminus Y)$ – неоднозначность управления относительно состояний ОУ (субъект также подвержен внешним воздействиям и не обладает полной информацией о состоянии ОУ и среды), $H(Y \setminus X)$ – реальная энтропия ОУ при управлении. Тогда

$$(2) H(Y \setminus X) = H(Y) - H(X) + H(X \setminus Y).$$

Поэтому для повышения качества управления – т.е. уменьшения $H(Y \setminus X)$, имеются следующие возможности: уменьшать сложность ОУ $H(Y)$, увеличивать разнообразие управления $H(X)$ и уменьшать неоднозначность управления $H(X \setminus Y)$ за счет сбора более полной информации о среде и об ОУ:

- изменения объекта управления: упорядочение системы, увеличение открытости системы, декомпозиция системы, упрощение системы (война), организация управляемого хаоса, организация допустимых систем и т.д.;
- изменения субъекта управления: децентрализация управления, иерархические структуры управления, рефлексивное управление, планирование и стратегическое управление, переход от управляемого к направляемому развитию [4], автоматизация, использование искусственного интеллекта и т.д.

Отсюда вытекает важность использования математических методов и информационных технологий, которые позволяют увеличивать сложность (разнообразие) субъектов управления. Следует подчеркнуть особую роль искусственного интеллекта, «мягких вычислений», нечеткой математики, которые дают возможность оперировать с качественной информацией различной степени неопределенности.

Для непосредственного повышения уровня организованности и управляемости объекта управления было предложено формировать так называемые допустимые системы [13], в которых уровень системных патологий и дисфункций (СПД) не превышает некоторого заданного уровня, что является необходимым (но не достаточным) условием эффективного функционирования, развития и выживания системы. СПД возникают, в частности, как результат нарушения принципов построения систем и общесистемных закономерностей. Общесистемные закономерности – это закономерности построения, функционирования и развития сложных систем, которые действуют с очень высокой, но не со 100% вероятностью, например, закономерности целеполагания, ресурсные, управления, устойчивости, развития, энтропийные и т.д. [6].

Наличие высокого уровня СПД в системе существенно уменьшает как ее способность к самоорганизации (система является «не совсем системой» с точки зрения выполнения цели ее функционирования), так и управляемость (делая процесс управления неэффективным или бесполезным). Поэтому при наличии проблем в функционировании и развитии системы предлагается последовательно провести диагностику допустимости системы, устранить найденные СПД и только потом обеспечить самоорганизацию системы либо управление системой. Для технических и биологических систем, в отличие от систем социально-экономических, все происходит именно так: вначале производится диагностика, затем – ремонт (лечение), и только потом встает вопрос о функционировании и развитии системы.

В условиях глобальной нестабильности перспективы любого региона четко не определены – это могут быть как новые технологии, так и экономические кризисы, природные катаклизмы, эпидемии и т.д. Но если региональная система является допустимой, то ее шансы на устойчивое развитие существенно повышаются.

При управлении региональным развитием следует учитывать результаты, полученные в теории систем и в синергетике. Они относятся к процессам развития и самоорганизации сложных систем различной природы и накладывают определенные ограничения на возможности реализации целей устойчивого развития региональных систем.

В силу слабой структурированности, возможности формализованного описания, анализа, моделирования и прогнозирования развития таких систем принципиально ограничены, а их модели обычно содержат качественную, неопределенную, многокритериальную и многоэкстремальную

информацию. В таких системах не всякая поставленная цель достижима, а стратегия ее достижения реально осуществима [14]:

- существенная нелинейность сложных систем при огромном количестве входных параметров делает их поведение слабо прогнозируемым;
- всегда сохраняется возможность перехода в режим с обострением, когда выходные характеристики системы неограниченно растут за конечное время с возможным распадом системы;
- в траекториях развития таких систем чередуются каналы развития, когда система практически неуправляема из-за малой чувствительности к внешним воздействиям, и точки бифуркации, в которых система сверхуправляема - крайне чувствительна к малым внешним возмущениям и случайным образом может перейти на одну из новых траекторий развития;
- в пространстве состояний сложных систем обычно имеются аттракторы – области устойчивого притяжения траекторий развития системы, и области готовности, отражающие возможности адаптации системы; если цели системы лежат вне таких областей, то достижимость этих целей весьма проблематична;
- в сложных системах сила положительных и отрицательных обратных связей постоянно меняется вплоть до перехода положительных связей в отрицательные и наоборот, что качественно меняет все поведение системы.

7 Особенности регионов РФ

Рассмотрим сильные и слабые стороны российских регионов с точки зрения возможностей устойчивого развития и предотвращения роста энтропии.

Регионы РФ имеют значительные преимущества перед большинством стран мира с точки зрения энтропийного загрязнения:

- богатые природные ресурсы – минеральные, энергетические, водные, земельные и т.д.;
- обширные лесные массивы, обеспечивающие утилизацию парниковых газов;
- из-за обширности территории - высокий ассимиляционный потенциал, т.е. то количество загрязнений, которое можно выбрасывать без опасений в силу самоочищения территории;
- большая площадь естественных ландшафтов – более устойчивых, чем искусственные;
- наличие самого большого в мире источника пресной воды – озера Байкал;
- низкий уровень критических природных катастроф, кроме, может быть затоплений;
- географическое положение России как геополитической оси, соединяющей Запад и Восток;
- уникальность российской цивилизации, где на протяжении веков мирно уживаются люди разных наций, рас и религий; опыт РФ важен для будущего с его рисками борьбы различных цивилизаций и стран за истощающиеся ресурсы;
- пока еще высокий уровень образования и особенности менталитета населения (креативность, смекалка), без которых было невозможно эффективное выживание в условиях неблагоприятного климата;
- наличие широко распространенного чисто российского феномена «дачи», которая является опорой экологического сознания и где органично сочетаются работа и отдых, польза и красота, технологии, природа и человеческое общение;
- культура народов России не антиэкологична в отличие от культуры Запада, откуда пришли идеи «покорения природы» и для которой характерны принципы самоутверждения личности, конкуренции и агрессивности этой личности по отношению к обществу и природе;

К сожалению, ряд процессов в современной России не позволяют полностью реализовать перечисленные антиэнтропийные преимущества [14]:

- часть проблем, которые имеют чисто системный характер и которые привели к распаду СССР, продолжают сохраняться и сейчас: суперцентрализация, отсутствие обратной связи, догоняющее развитие, засилье бюрократии, так называемая «нефтяная игла»;
- продолжается вывоз за пределы России негэнтропии в виде ресурсов самого различного вида: нефти, газа, металлов, удобрений, леса, сельскохозяйственной продукции, финансовых средств, научных знаний и ученых;
- одновременно Россия экспортирует западные ценности, культуру и стандарты, например, в науке и образовании;

- при низких темпах экономического роста не устраняются основные проблемы большинства регионов, имеющие чисто энтропийный характер: дотационность и дефицитные бюджеты, деградация села, дезинтеграция и т.д.

Заключение

На основании всего вышесказанного можно сделать вывод, что проблемы экологически безопасного устойчивого развития региональных социо-эколого-экономических систем следует рассматривать в контексте предотвращения роста энтропии.

Известно, что любая проблема проявляется только тогда, когда возникают условия для ее успешного решения. Именно развитие индустриальной цивилизации на базе научно-технического прогресса привело к росту энтропийного загрязнения планеты за счет роста изъятия как невозобновляемых природных ресурсов, так и роста объемов отходов и загрязнений. И, как парадокс, именно научно-технический прогресс позволит решать эти проблемы и дать положительный ответ на возможности устойчивого развития - за счет новых источников энергии и материалов, безотходных технологий, информационных технологий и искусственного интеллекта, освоения космического, подводного и подземного пространства планеты.

Закончить хотелось бы словами Шредингера для живых систем, которые можно отнести к произвольным системам, включая региональные: «существенно в метаболизме то, что организму удается освободиться от всей той энтропии, которую он вынужден производить, пока жив».

Литература

1. Соломатин А.Н. Устойчивое развитие добывающих регионов и экологические проблемы: энтропийный подход // Экология промышленного производства. 2012, вып. 3. – С. 72-79.
2. Методологические аспекты обеспечения устойчивого развития регионов / О.Л.Кузнецов, А.С.Щеулин, С.В.Девяткин и др. – Дубна, 2001. –197 с.
3. Шнипер Р.И. Регион: экономические методы управления. – Новосибирск: Наука, Сиб. Отд., 1991. – 320 с.
4. Моисеев Н.Н. Как далеко до завтрашнего дня...Свободные размышления 1917-1993 / Изд. 2-е., доп. – М.: Экономика и жизнь, 2007. – 511 с.
5. Зуб А.Т. Стратегический менеджмент: теория и практика / Изд.4-е, доп. – М: Юрайт, 2014. – 375 с.
6. Прангшвили И.В. Системный подход и общесистемные закономерности. – М.: СИНТЕГ, 2000. – 528 с.
7. Лийв Э.Х. Инфодинамика, обобщенная энтропия и негэнтропия. – Таллинн, 1998. – 198 с.
8. von Weizsaecker E., Wijkman A. Come On! Capitalism, Short-termism, Population and the Destruction of the Planet. – Springer, 2018. – 220 p.
9. Хачатуров В.Р. Геополитический и геоэкономический анализ мира на основе энергетических факторов. – М.: ВЦ РАН, 2001. – 97 с.
1. Левашов В.К. Устойчивое развитие общества: парадигма, модели, стратегии. – М.: Academia, 2001. – 174 с.
10. Сангадиева И.Г. Методология стратегического управления регионом. – Красноярск, 2006. –260 с.
11. Оценка бизнеса / Под ред. А.Г.Грязновой, М.А.Федотовой. – М.: Финансы и статистика, 2000. – 512 с.
12. Соломатин А.Н. Построение допустимых крупномасштабных систем как условие их управляемости и самоорганизации // Управление развитием крупномасштабных систем (MLSD'2010): Труды Четвертой межд. конф. – М.: ИПУ РАН, 2010. Т.1. – С. 18-26.
13. Князева Е.Н., Курдюмов С.П. Основания синергетики. – М.: УРСС, 2005. – 240 с.