

УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ И КРИЗИСНЫЕ ЯВЛЕНИЯ В ЭВОЛЮЦИИ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ¹

Ю.И. Бродский

В данной работе делается попытка проследить цикличность развития сложных систем: выявляется наличие относительно коротких циклов, связанных со стремлением компонент сложной системы оптимизировать свою деятельность, а также более длительных циклов, связанных с ростом потенциала динамического равновесия сложной системы.

Введение

Цель данной работы – попытаться взглянуть на мировую динамику [1] не как на взаимодействие демографии, экономики, экологии, ресурсов и, быть может, еще каких-либо важных ее характеристик, а в первую очередь как на сверхсложную систему, объединяющую множество сложных систем. Сложная система является таковой, потому что, во-первых, она обладает структурой. Структура сложной системы – это ее многофункциональность, связи между компонентами, связи с другими сложными системами и способы смены функционирования, при изменении внешних условий. Во-вторых, сложная система рефлектирует, т. е. прогнозирует собственную деятельность и изменения внешней среды, и может изменять свое поведение в зависимости от такого прогноза [2].

¹ Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант 07-07-00071-а.

Следствием закона сохранения энергии является то, что сложной системе необходимо для обеспечения процесса ее функционирования все время тратить определенную часть своей мощности, которую далее будем называть потенциалом динамического равновесия сложной системы. Существенную часть потенциала динамического равновесия составляют затраты на поддержание структуры сложной системы – это можно считать проявлением второго начала термодинамики.

Основным инструментом данной работы будет гуманитарный анализ ([3]), а именно попытка описать мировую динамику на гуманитарном уровне с помощью понятий и представлений, возникших при исследовании и моделировании сложных систем, а также при исследовании оптимизационных и нелинейных задач. В свою очередь, гуманитарное понимание происходящих процессов может стать основой для будущего построения более подробных математических моделей в данной области.

Сложные системы

Сложная система – составной объект, части которого можно рассматривать как системы, закономерно объединённые в единое целое в соответствии с определенными принципами или связанные между собой заданными отношениями.

Н.П. Бусленко. Статья «Сложная система» в БСЭ.

Начнем с описания компоненты — основной конструкции, предложенной в [2] концепции моделирования сложных систем. С одной стороны, компонента – это элементарная сложная система. Причем, несмотря на элементарность, в ней полностью воплощена определенная концепция сложной системы. С другой стороны – она потому и названа компонентой,

что может быть кирпичиком для построения еще более сложных систем.

Одна из самых важных и нетривиальных задач, связанных со сложными системами – это их синтез. Обычно бывает достаточно ясно, какие функциональности содержит сложная система и что они «умеют делать» по отдельности. Гораздо сложнее заставить их работать вместе так, чтобы поведение системы правильно реагировало на изменения состояния ее самой и внешнего мира. Описание концепции такого синтеза можно найти в [2].

Опишем «устройство» компоненты.

Характеристики

Компонента имеет характеристики. Их мы будем разбивать на внутренние и внешние. Внутренние характеристики – это то, что компонента моделирует, внешние – это то, что она знает о внешнем мире. Предполагается справедливой гипотеза замкнутости – знаний о внешнем мире (значений внешних переменных) и собственного состояния (значений внутренних переменных) достаточно для вычисления внутренних переменных в следующий момент времени.

Методы

Компонента имеет методы — элементарные, алгоритмически однородные функциональности. Излагаемая концепция компоненты различает два типа методов: один тип реализует функциональности, т. е. то, что компонента умеет делать, эти методы будем называть элементами. Другой тип методов прогнозирует наступление событий, об этих методах поговорим в следующем пункте.

Функциональность компоненты удобно структурировать следующим образом: считается, что компонента реализует один или несколько параллельно выполняющихся процессов.

Процесс состоит в чередовании элементов – алгоритмически элементарных методов.

Порядок чередования элементов в процессе определяется наступлением тех или иных событий.

События

«Что такое событие? Сразу же приходит в голову аналогия с бифуркациями, которые изучаются, прежде всего, в неравновесной физике».

И. Пригожин. «Кость еще не брошена».

Содержательно, события – это то, что нельзя пропустить при моделировании динамики системы – точки синхронизации различных ее функциональностей. Например, поезд доехал до станции – должна быть остановка, вне зависимости от того, что стандартный шаг моделирования по времени еще не закончился.

Формально событие – функция внутренних и внешних переменных (следствие гипотезы о замкнутости компоненты). Что делает компоненту по-настоящему сложной системой – это необходимость рефлексировать – прогнозировать наступление событий. Если в предметной области модели с последним высказыванием, возможно и поспорить, то в области моделирования, без прогнозирования событий не обойтись. Поэтому в конструкции компоненты есть специальные методы, прогнозирующие то или иное событие. Эти методы, используя внутренние и внешние характеристики компоненты, вычисляют время наступления соответствующего события. Если это время равно нулю – значит, событие уже наступило. Например, событием может являться окончание выполнявшегося элемента.

Реакция на события

Для каждого текущего (выполняющегося в текущий момент времени) элемента каждого процесса заранее задаются реакции на различные сочетания произошедших в компоненте событий. Эти реакции могут состоять либо в переходе к выполнению некоторого другого элемента процесса или же в продолжении выполнения того же самого элемента. Можно считать, что с каждым процессом связан конечный автомат, состояниями которого являются элементы процесса, а входным алфавитом некая часть множества всех подмножеств множества событий.

Креативность компонент

Наиболее трудно поддающаяся моделированию, и поэтому не упомянутая в [2] способность сложных систем время от времени, спонтанно или в ответ на события, создавать новую функциональность, которой у компоненты ранее не было.

Комплексы и компоненты

По определенным правилам, описанным в [2], компоненты могут объединяться в комплексы, которые, в свою очередь, могут рассматриваться как компоненты более сложных комплексов.

Потенциал динамического равновесия

«Чтобы делать золото, нужно иметь золото»

Слоган, с которым средневековые алхимики шли в бой за гранты на свои исследования.

Чтобы функционировать, сложной системе необходимо тратить часть своей мощности на поддержание процесса ее функционирования, а также на поддержание ее структуры, в том числе и функциональностей, не задействованных в данный момент. Средневековые алхимики хорошо представляли себе

этот факт, что и вынесено в эпиграф раздела. Затем долгое время данный факт оставался на периферии научного внимания. В новейшей науке интерес к этой теме возобновился в работах И. Пригожина (например, [4]).

К примеру, четырехтактный двигатель внутреннего сгорания, получая мощность на такте сжигания топливно-воздушной смеси, часть ее отдает на тактах выхлопа, набора и сжатия смеси, а также на работу топливного насоса, системы охлаждения, смазки и т. д. Чтобы запустить такой двигатель, как известно, нужно специальное внешнее воздействие стартера – устройства, вообще говоря, не имеющего никакого отношения к работе уже запущенного двигателя. Потенциал динамического равновесия в данном случае коррелирует с минимальной частотой оборотов двигателя. Если частоту оборотов уменьшить ниже минимальной, двигатель остановится. Чтобы завести его снова, придется снова сообщать ему потенциал динамического равновесия посредством стартера.

Еще один пример – работа предприятия. Нужно платить зарплату сотрудникам, в том числе и подразделениям, не имеющим прямого отношения к функциональности организации, таким как бухгалтерия, охрана, хозяйственные службы и т. д. Нужно оплачивать кредиты, аренду помещений и оборудования, обучение персонала, услуги связи, отопление, электричество, удерживать и расширять сеть клиентов, поддерживать в «боевом» состоянии производственные мощности, дружить с учебными заведениями, поставляющими кадры, и многое другое. Все это вместе и составляет потенциал динамического равновесия предприятия. Если на достаточно длительном интервале времени доходы предприятия упадут ниже этого потенциала, предприятие станет банкротом, остановится и перестанет существовать в прежнем своем качестве. Чтобы «запустить» предприятие, нужно сообщить ему потенциал ди-

намического равновесия, для чего существуют специальные механизмы, не имеющие отношения непосредственно к функционированию предприятия, например, привлечение инвесторов, банковский кредит, или же эмиссия акций.

Подводя итог, скажем, что потенциал динамического равновесия — это цена, которую сложная система платит в единицу времени за то, чтобы оставаться самой собой, за сохранение и поддержание своей структуры. Причем цена эта складывается из множества отдельных параметров. Если сложная система оказывается не в состоянии платить эту цену хотя бы по одному из них — она перестает существовать в прежнем своем качестве, либо, если это возможно, переходит на некий другой уровень, характеризующийся меньшим потенциалом динамического равновесия (например, отказываясь от некоторых своих функциональностей), либо вообще распадается на отдельные компоненты и полностью прекращает существование (например, фирма обанкротилась и закрылась, — работников уволили).

Подчеркнем, что к потенциалу динамического равновесия мы относим все необходимое для функционирования сложной системы. Например, в проекции на человеческое общество или организацию это не только капитал (hardware, материальная часть потенциала динамического равновесия), но и (software, или, точнее, следуя В.И. Вернадскому, элементы ноосферы — информационная часть потенциала динамического равновесия) — культура в широком смысле, включая бытовую, производственную, научную и даже религиозно-нравственную — все без чего невозможно самоподдержание и самовоспроизведение сложной системы. При этом следует заметить, что роль информационной составляющей постоянно возрастает: без соответствующей квалификации персонала, даже самое лучшее оборудование — лишь бесполезная груда

железа, а при оптимизации задач, решаемых с помощью оборудования, растет его сложность и соответственно требования к квалификации тех, кто должен на нем работать.

Наконец, отметим одно важное отличие материальной и информационной составляющих потенциала динамического равновесия. Поддержание в «боевом» или даже в законсервированном состоянии материальной части неиспользуемой функциональности сложной системы всегда затратно, с другой стороны, эта часть потенциала динамического равновесия может быть обменена на нечто полезное для используемых функциональностей, поэтому особенно в условиях конкуренции с материальной составляющей потенциала неиспользуемых функциональностей обычно расстаются. Информационная составляющая не требует для своего поддержания больших затрат, а в случае изменения внешних условий может оказаться весьма полезной, по русским пословицам: «ремесло пить-есть не просит, а хлеб приносит», или «мастерство за плечами не носят, с ним хлеба не просят».

Динамический хаос и кризис

Не было гвоздя, —	Конница разбита,
Подкова пропала.	Армия бежит.
Не было подковы, —	Враг вступает в город,
Лошадь захромала.	Пленных не щадя, —
Лошадь захромала, —	Оттого что в кузнице
Командир убит.	Не было гвоздя!

С.Я. Маршак «Гвоздь и подкова» (Англия – в детских песенках).

Динамическим хаосом называют поведение детерминированной динамической системы, напоминающее поведение стохастической системы. Один из самых характерных примеров динамического хаоса – поведение логистического уравнения:

$$\frac{dx}{dt} = \alpha x \left(1 - \frac{x}{x^*}\right), \quad x(0) = x_0.$$

Как известно, его решение можно выразить формулой

$$x(t) = \frac{x_0 x^* e^{\alpha t}}{x^* - x_0 (1 - e^{\alpha t})}.$$

Рассматривается дискретный аналог логистического уравнения

$$x_{i+1} = x_i + \Delta t \alpha x_i \left(1 - \frac{x_i}{x^*}\right), \quad \text{известно } x_0.$$

Оказывается, что

- решение дискретного аналога логистического уравнения нам не известно, однако при $\Delta t \ll 1/\alpha$ это решение достаточно близко к решению непрерывного уравнения

$$x_i = \frac{x_0 x^* e^{\alpha i \Delta t}}{x^* - x_0 (1 - e^{\alpha i \Delta t})} \quad \text{и тем ближе, чем меньше } \Delta t, \text{ в пределе переходя в него;}$$

- при $\Delta t > 2/\alpha$ решение дискретного логистического уравнения становится совершенно непохожим на непрерывный аналог. Например, вместо единственной предельной точки x^* решения непрерывного уравнения, у дискретного с ростом Δt их сначала становится две, затем четыре, восемь и т. д. Происходит это из-за того, что решение непрерывного уравнения ни при каких обстоятельствах не может перескочить асимптоту $x = x^*$ (непрерывность не позволяет!), а решение дискретного – очень даже может при достаточно больших Δt .

Почему при стремлении Δt к нулю решение дискретного уравнения стремится к решению непрерывного понятно – из-за непрерывности и ограниченности логистических кривых. Чтобы понять причину непохожести решения дискретного уравнения на решение непрерывного, заметим, что если в случае непрерывной системы мы вычисляем новое состояние системы, используя ее состояние прямо сейчас, то в случае дискретного уравнения, мы используем прошлое ее состояние, бывшее Δt назад. Чем меньше Δt , тем ближе это прошлое к настоящему моменту, и прогноз на его основе – почти такой же, как и на основе настоящего момента в непрерывной задаче. Запаздывание $\Delta t > \frac{2}{\alpha}$ на самом деле для логистического уравнения очень велико. Сравнивая его с характерным временем $\ln \frac{2}{\alpha}$ удвоения x , при $x \ll x^*$, когда логистическое уравнение еще похоже на экспоненту, приходим к выводу, что за время $\Delta t > \frac{2}{\alpha}$, величина x может измениться на порядок. Поэтому, на наш взгляд, не слишком удивительно, что решение разностного уравнения на сетке с шагом, за который вычисляемая величина может изменяться на порядок, оказывается непредсказуемым (сильно изменяющимся при малых изменениях начальных условий и параметров) и совсем непохожим на решение непрерывного аналога.

Рассмотрим бросание монетки – самый простой и распространенный в мире генератор случайных событий. Вроде бы и движение центра тяжести монетки в поле тяготения Земли можно описать вполне детерминированными дифференциальными уравнениями, и вращение монетки как твердого тела вокруг центра масс, и даже столкновение с поверхностью. Где же здесь случайность? Случайность в том, что незаметные, не ощущаемые бросающим изменения начальных условий (век-

торов скорости и момента количества движения, придаваемых монетке), на самом деле для монетки столь велики, что могут привести к доброму десятку лишних, или наоборот, недостающих ее оборотов. А исходов только два – орел или решка. Причина случайности здесь – различие на порядок и более характерных величин начальных скорости и момента количества движения, необходимых для еще одного оборота монетки, и тех, которые бросающий способен отличить друг от друга.

Перейдем теперь к кризисам в сложных системах.

С точки зрения сложной системы, которая сама является компонентой сложной системы, кризис это резкое изменение внешних условий, когда внешняя среда, которую мы считаем малоизменяющейся, тем не менее предъявляет сложной системе-компоненте новый запрос, для ответа на который у нее нет соответствующей функциональности. В этом случае сложная система должна или создать нужную функциональность, или рискует прекратить существование в прежнем качестве.

С точки зрения сложной системы, являющейся комплексом сложных систем, периодически возникающие кризисы, о которых пойдет речь далее, связаны с недостаточным развитием потенциала динамического равновесия макросистемы.

В известном смысле все такие кризисы подобны кризису злостного неплательщика, например, за электроэнергию. Кризис наступает далеко не сразу, но, несмотря на то, что «и в прошлом месяце не платил, и в позапрошлом, и год назад, и ничего плохого от этого не случилось...» «...и вообще, ведь за газ я платил регулярно!», однажды приходит монтер с большими кусачками, и начинается кризис.

Разница здесь только в том, что сложной системе в отличие от злостного неплательщика никто ежемесячно не присылает счета. За что платить, а за что не платить, — решает она сама. А кризис является горьким лекарством от наивных представлений о том, что некоторые жизненно важные вещи

не нуждаются в их поддержании. (Например, давно ли мы осознали и осознали ли до конца, что чистая вода, чистый воздух и нравственные отношения между людьми — тоже входят в потенциал динамического равновесия человечества.) Предъявление в виде кризиса компоненте-должнику вовремя не оплаченных ею счетов, можно рассматривать, как стремление охватывающей макросистемы сохранять свою структуру в ответ на нарушающие ее действия упомянутой компоненты.

Кризис не преодолеть просто так, для этого нужно резко восполнить потенциал динамического равновесия (например, погасить долг нескольких лет за электроэнергию), а взять это увеличение, как правило, неоткуда. Можно попытаться реструктурировать долг, например взять кредит под определенные обязательства (правда, такой способ вряд ли возможен, если многие вокруг оказались в подобной ситуации), можно расстаться с частью функциональностей (например, продать любимое авто), наконец, можно придумать новую функциональность, которая в короткое время поможет накопить нужный потенциал (очень благоприятный, но редко встречающийся вариант), или же полностью признать себя банкротом, распродать все и перестать существовать в прежнем качестве.

Может возникнуть вопрос, а причем здесь явление динамического хаоса, с которого начинался параграф? Динамический хаос из приведенных примеров — следствие дисбаланса основных характеристик системы, когда характерный масштаб осреднения одних величин на порядок и более отличается от масштаба других. Такое состояние может возникнуть при чрезмерном развитии одних составляющих потенциала динамического равновесия, и заметном отставании других. Например, человечество последние 60 с лишним лет находится в состоянии динамического хаоса в вопросах, связанных с исполь-

зованием ядерной энергии. Мы вполне детерминированно умеем вызывать ядерную реакцию и даже более-менее сносно управлять ею. Управлять же собой и тем более политикой своих стран не умеем никак. В результате небольшие отклонения в начальных условиях, например неполная информированность правительств о намерениях друг друга, как это было во время Карибского кризиса, могут вызвать чудовищные изменения всего нашего мира вплоть до сценария «ядерной зимы». С нашей точки зрения, это следствие того, что развивая потенциал динамического равновесия, последние лет 300, мы много сил и средств вложили в развитие науки, и очень мало — в развитие нравственности и культуры. И вот теперь, в положении неисправного должника, уже более 60 лет ждем «монтера с кусачками», и он уже несколько раз за это время подходил к нашей двери, но, по счастью, пока проходил мимо...

Локальная оптимизация и поддержание глобальной структуры

«Оптимизация (от лат. *optimum* — наилучшее), процесс нахождения экстремума (глобального максимума или минимума) определенной функции или выбора наилучшего (оптимального) варианта из множества возможных».

«Структура – совокупность устойчивых связей объекта, обеспечивающих его целостность и тождественность самому себе, т. е. сохранение основных свойств, при различных внешних и внутренних изменениях».

БСЭ.

Автору приходилось слышать легенду о том, как внедрялось придуманное Л.В. Канторовичем в конце 30-х гг XX в. линейное программирование на заводе, штамповавшем металлические заготовки из листа проката. Согласно этой легенде,

внедрив методы линейного программирования, завод сэкономил немало проката, но существенно недовыполнил план по сдаче металлолома. Время было предвоенное, металлолом был нужен для производства стратегически важных легированных сталей. Поэтому все на том заводе вернулось на круги своя (хорошо еще, что не сочли выдающееся открытие, отмеченное впоследствии Нобелевской премией, вредительством, времена-то были весьма суровые – включает легенда).

Очень похожий случай был и в ВЦ АН СССР в 60-х гг. XX в., когда коллектив ученых под руководством Н.Н. Моисеева решил попробовать принести пользу народному хозяйству работой по специальности, а не участием в авральных сельхозработах, как это часто практиковалось в те времена. Для одного из московских автопредприятий в течение квартала каждую ночь ЭВМ решала транспортную задачу на предстоящий рабочий день, и все перевозки осуществлялись по оптимальным маршрутам в соответствии с ее решением. В конце квартала оказалось, что все заявки на перевозки автопредприятие успешно выполнило и сэкономило при этом уйму горючего. Однако план, который задавался в тонно-километрах, был завален, оптимальные маршруты оказались существенно короче тех, по которым ездили раньше. Не выполнен план – водители не получили привычную квартальную премию (составлявшую заметную часть их заработка), после чего собрались и заявили, что такая наука им больше не нужна. Назревавший социальный конфликт тоже никому не был нужен – в результате все снова вернулось на круги своя.

По этому поводу Н.Н. Моисеев заметил, что если народному хозяйству так важны тонно-километры, – можно выезжать с полным грузом на Московскую кольцевую дорогу и ездить кругами, до полного выполнения плана. (Аналогично в первом примере можно было бы сдавать в металлолом и нерас

кроенные листы проката.) Времена уже были совсем другими, подобные замечания уже не были опасными для жизни, однако по-прежнему спор между оптимизацией и сохранением структуры решился в пользу структуры.

Серию подобных примеров можно было бы продолжить, однако и этих двух достаточно, чтобы обратить внимание на то, что оптимизация деятельности одной из компонент сложной системы вызывает изменение структуры охватывающей системы, так как неизбежно затрагивает связи оптимизированной компоненты с внешним по отношению к ней миром (т. е. с другими компонентами сложной системы).

Далее предстоит решать, что же важнее – оптимизация компонент системы или сохранение ее структуры, или пытаться найти какой-то компромисс между оптимизацией и структурой. При восточном (в смысле Ю.И. Семенова [5]) способе организации общества, к которому относятся приведенные выше примеры, примат, конечно же, оставался за структурой (ведь она же была самая правильная в мире, за нее проливали кровь свою и чужую отцы и деды!), что эти примеры и иллюстрируют. При организации общества на основе рынка и конкуренции, «священной коровой» является право каждого оптимизировать свою деятельность, – максимизировать прибыль внутри ограничений правового поля. Поэтому и внедрение оптимизационных и вообще математических методов в управление обществом и экономикой проходило там намного успешнее, вызвав появление в 40–50-х гг. XX в. нового направления в прикладной математике, известного как «исследование операций», и входящего сейчас в учебные программы университетов.

Сказанное выше – вовсе не стремление лишней раз «пнуть мертвого льва». Как мы увидим далее, примат оптимизации над сохранением структуры также имеет свои весьма

существенные недостатки, проявляющиеся в периодических кризисах. Наша цель – заметив определенное противоречие между оптимизацией компонент и сохранением структуры объединяющей их системы, рассмотреть исторические способы его разрешения, выявить тенденции развития сложных систем, избравших тот или иной способ упомянутого разрешения.

Среди свойств сложной системы нам самыми важными представляются ее способность оптимизировать свою деятельность, а также сохранять свою структуру, что как мы видели содержит в себе некоторое диалектическое противоречие. Перейдем теперь к примерам, иллюстрирующим способы разрешения этого противоречия.

Государство как структура, осуществляющая синтез компонент в комплекс

«В лето 859. Имели дань варяги, приходившие из-за моря, на Чюди, и на Словенах, и на Мере, и на всех Кривичах. В лето 862. Изгнали варягов за море, и не дали им дани. И начали сами собой владеть, и не было у них правды. И встал род на род, и были усобицы, и стали сами с собой воевать. И сказали: Поищем себе князя, который владел нами и управлял по ряду, по праву. Пошли за море к варягам. Говорили Русь, Чудь, Словени, Кривичи и вси. Земля наша велика и обильна, а порядка в ней нет. Да поидите княжить и владеть нами».

Повесть временных лет (Ипатьевский список).

«...итак поставь над нами царя, чтобы он судил нас, как у прочих народов».

1 Цар. 8:5.

Обычно о призвании варягов вспоминают с долей иронии, когда хотят подчеркнуть чью-либо неспособность навести у себя элементарный порядок. Нам, воспитанным на буйстве

национально-освободительных движений XX в. непросто понять, чего же добивались славяне и примкнувшие к ним «все» остальные. Попробуем описать это математически. Жили-были славяне, по уже упомянутому выше логистическому закону $\frac{dx}{dt} = \alpha x(1 - \frac{x}{x^*})$. Здесь x^* - емкость среды, способность земли славянской прокормить определенное количество населения. Варяги из-за моря наезжали, как было сказано, не с улыбками и цветами, а за данью, величину которой в единицу времени обозначим Δ . И вот, в лето 862, славяне вполне в духе современных национально-освободительных движений, сообразили, что вообще-то говоря, $\alpha x(1 - \frac{x}{x^*}) > \alpha x(1 - \frac{x}{x^*}) - \Delta$, и сказали варягам, мол, хватит, плывите-ка вы, ребята, к себе обратно за море. Грустные варяги с пустыми руками отплыли восвояси. И вдруг выясняется (правда, как-то подозрительно быстро!), что стало не лучше, а хуже. Почему? По-видимому, отсутствие «правды» в жизни национально-освободившихся славян уменьшило емкость среды $x^* > \bar{x}^*$, да так, что теперь стало уже $\alpha x(1 - \frac{x}{x^*}) - \Delta > \alpha x(1 - \frac{x}{\bar{x}^*})$. Задумались славяне: дальше так пойдет — совсем выйдем как мамонты! Хочешь, не хочешь, — а придется, пожалуй, ехать за море, там ребята проверенные, да еще и подарками стоит запастись!

Емкость среды как раз и зависит от правил взаимодействия представителей популяции друг с другом, стало быть, от таких понятий как «суд», «правда», «право», «ряд» (т. е. договор), о которых говорится в эпитафее.

Функцией государства, как мы знаем, является поддержание некоего общественного договора, правил взаимодействия граждан. С точки зрения исследования сложных систем — правил синтеза компонент в единый комплекс, обеспечиваю-

щий им определенные удобства совместного существования, которые очень агрегированно можно описать именно как увеличение емкости среды.

Далее перейдем к описанию и анализу с позиций исследователя сложных систем исторических способов такого синтеза.

Между прочим, возвращаясь к нашим варягам. Шутки шутками, а хоть одному из освободившихся в XX в. народов стало легче после ухода «проклятых колонизаторов»? А что сейчас происходит на просторах СНГ? У славян-то, по крайней мере, хватило ума и мужества быстро сообразить, что к чему и исправиться. Так что у кого как, а у автора никакой иронии по поводу призвания варягов на княжение нет!

Способ синтеза – западный: оптимизация важнее сохранения структуры

«Каждый за себя и Бог против всех»

Название фильма 70-х гг.

«И сказали они: построим себе город и башню, высоту до небес, и сделаем себе имя...»

И сказал Господь: вот, один народ, и один у всех язык; и вот что начали они делать, и не отстанут они от того, что задумали делать; сойдем же и смешаем там язык их, так чтобы один не понимал речи другого.

И рассеял их Господь оттуда по всей земле; и они перестали строить город [и башню]».

Быт. 11:4-8.

При этом способе синтеза предполагается, что выходом творческой деятельности компонент сложной системы является оптимизация ими своей деятельности (максимизация прибыли). Компоненты ограничены в оптимизации лишь общими

заданными для всех ограничениями (правовым полем). При этом имеет место конкуренция: некоторая часть компонент, имеющих худшие результаты оптимизации, перестает существовать, при этом часть их компонент и динамического потенциала на льготных условиях достается компонентам, имеющим лучшие результаты оптимизации.

В качестве способа заставить компоненты эффективно работать, используется поддержание ими достаточно высокого потенциала динамического равновесия и угроза его утраты. Система говорит своим компонентам, даже наименее успешным, нечто вроде: «Ты не стал ни известным артистом, ни спортсменом, ни банкиром, ни бизнесменом, но все равно для нас ты очень ценный высококвалифицированный специалист (к примеру, оператор ассенизационной установки), не хочешь ли взять кредит на покупку нового автомобиля? Что, у тебя уже есть ипотека и еще не выплачен прошлогодний кредит на мебель и домашний кинотеатр? Ну, тогда придется подождать до будущего года, а чтобы легче было их отдавать, после обычной работы почисти, пожалуйста, там, там и еще вот там». Этот способ и гораздо эффективнее классического капиталистического, и не оставляет времени и сил на ненужную социальную активность, а может и на ненужную с точки зрения охватываемой структуры оптимизацию — все силы уходят на искусство ежемесячной оплаты всех счетов («the skills to pay the bills»). Надо отметить, что этот способ принуждения к труду возник явно не без влияния событий, происходивших в России в XX в., о которых пойдет речь в следующем разделе. Однако бесплатно этот способ ничего не дает, вместо этого появляется инструмент, поначалу укрепляющий связи между компонентами системы — добровольное принятие ими на себя определенных обязательств, которые с момента их принятия

имеют определенную вполне материальную ценность, о них мы еще поговорим.

Попробуем проследить тенденции развития такой системы. Конкуренция с отбором по ее результатам вынуждает каждую компоненту решать оптимизационную задачу с ограничениями. Основное противоречие этой задачи состоит в том, что с одной стороны для оптимизации функциональностей компоненты, ей нужен все больший потенциал динамического равновесия, с другой стороны, в наличии этот потенциал всегда ограничен. В результате происходит специализация деятельности компонент, сокращение количества их функциональностей. Компоненты начинают делать не все, что умеют, а лишь то, что у них лучше получается в смысле функционала, на остальное просто не остается их потенциала.

На уровне комплекса, охватывающего компоненты при этом создается структура, объединяющая функциональности отдельных компонент в своего рода «производственные цепочки», обеспечивающие полную функциональность процессов. Заметим, что эта структура создается «снизу» в рамках все той же оптимизации компонентами своей деятельности. Это так называемый рыночный механизм синтеза. Компонента вступает в связь с конкретной компонентой из множества представляющих на рынке необходимую ей функциональность только потому, что эта вторая компонента предоставляет ее на условиях, лучших чем остальные в смысле оптимизируемого функционала первой компоненты.

Как уже говорилось выше, каждый акт оптимизации каждой компоненты изменяет ограничения оптимизационных задач других компонент. Это «напрягает» структуру охватывающей компоненты. Можно сказать, что оптимизация одной из компонент своей деятельности сужает область допустимых значений оптимизационных задач остальных компонент.

Например, в примере с линейным программированием и металлоломом из предыдущего раздела при рыночном способе организации производства, заводу, внедрившему линейное программирование, пришлось бы выполнять контракт по металлолому до его истечения, при этом неважно как — хоть поставкой нераскroенных листов, хоть выплатой неустойки (скорее всего, пришлось бы потрудиться и найти поставщика недостающего металлолома, возможно, даже с некоторым небольшим убытком для себя). После окончания контракта он полностью свободен для заключения нового на выгодных для него условиях, и тогда уже потребителю металлолома пришлось бы искать другого (по-видимому, худшего, если предположить, что он оптимизировал свою деятельность) поставщика на недостающий объем. Множество его поставщиков металлолома, таким образом, сужается.

Далее мы придерживаемся гипотезы, что оптимизация компонентами своей деятельности, с одной стороны, и возрастание потенциала динамического равновесия компонент с другой, приводят к уменьшению областей допустимых значений оптимизационных задач компонент. Эта гипотеза основана на наблюдении, что для поддержания конкурентоспособности приходится увеличивать потенциал динамического равновесия компоненты, внедряя новые технологии. Эти технологии, решая задачу повышения конкурентоспособности, в то же время обычно предъявляют повышенные требования к качеству используемого сырья и оборудования, к точности соблюдения технологического процесса и т.д., например, становясь сперва точными, а затем даже прецизионными.

Рассмотрим следствия принятой гипотезы. Если области допустимых значений оптимизационных задач компонент имеют непустое пересечение, компоненты могут образовывать связь, прочность которой можно оценить объемом этого пере

сечения. Процесс оптимизации уменьшает области допустимых значений, соответственно уменьшается и объем их пересечения. Например, если пересекаются два n -мерных шара, диаметра D , расстояние между центрами которых d , и при этом $d \rightarrow D$, то порядок убывания объема их пересечения есть $O(D-d)^{(n+1)/2}$. Таким образом, прочность связи компонент в результате оптимизации убывает существенно быстрее, чем линейные изменения характеристик компонент, которые обычно и отслеживаются.

Уменьшение прочности связей вследствие оптимизации, вызывает конфликты между компонентами. Компоненты все хуже понимают друг друга, примерно так, как это сформулировано в эпиграфе. То, что приносит оптимум одной из компонент, оказывается весьма неудобным для других. Для облегчения взаимопонимания между компонентами существуют специальные юридические услуги, так как конфликты в системе разрешаются, как уже упоминалось выше, в правовом поле. В связи с этим очень востребованными становятся юридические услуги, настолько, что в США, например, юристов не меньше, чем было в СССР «бумажных важных людей», о которых речь пойдет в следующем разделе. По данному поводу есть шутка, что американцу помимо традиционных «построить дом, вырастить сына, посадить дерево», положено еще досыта накормить адвоката.

Накладные расходы такого способа разрешения конфликтов хорошо иллюстрирует венгерская сказка про то, как лиса делила головку сыра поровну между двумя жадными медведжатами, всегда откусывая от большей части, после чего та становилась меньшей. Наевшись досыта, она вручила им по маленькому кусочку, и со словами: «ну вот, ребята, хоть помалу, зато поровну!» — довольная удалилась. Однако лучшего механизма разрешения конфликтов пока не придумано.

Еще один способ поддержания структуры охватывающего комплекса — это реклама. Компоненты, осознавая хрупкость связей между ними, лихорадочно ищут новые. Так что изнывая от безудержной рекламы по телевидению и ежедневно выгребая горы мусора из почтового ящика, мы должны утешать себя тем, что этим система пытается, как умеет, сохранять свою структуру.

Следующий способ поддержания структуры системы — прогнозирование компонентами системно-важных событий, которое уже упоминалось выше при формализации понятия сложной системы. Здесь все начинается со вполне невинных желаний определить наиболее вероятные тенденции развития системы, с целью выбрать правильное направление наращивания своего потенциала динамического равновесия, с желанием подстраховать хрупкие связи между компонентами (обеспечить будущие поставки и сбыт), с желанием резко увеличить свой потенциал динамического равновесия, что дает преимущества в конкуренции (кредит). Кончается же все торговлей будущим, как настоящим, разве что по цене чуть ниже настоящего. Предметом отношений между компонентами, помимо вполне материальных вещей, становятся обязательства что-то сделать в будущем. При этом совершенно упускается из виду, что «человек не властен над своим ближайшим будущим». Конечно, наступление нежелательных событий и ненаступление желательных принято страховать, однако страховая система эффективна лишь пока страховые случаи редки, когда же страховые случаи становятся правилом, закон сохранения материи рушит страховую систему. В целом можно подвести итог сказанному выше: если прогноз необходим для функционирования сложной системы, то смешивание реальности с возможностью делает структуру охватывающей системы все более хрупкой. Например, набор из десяти событий, каждое из которых

наступает с весьма высокой вероятностью 0,95, имеет вероятность реализации меньшую 0,6. Ненаступление события, которое воспринималось, как должнствующая быть реальность, неизбежно вызовет за собой цепочку событий, существенно ослабляющих структуру охватывающей системы.

Не исключено, что отслеживая увеличение объема юридических услуг, рекламы и вторичных финансовых инструментов, можно предсказать скорое наступление кризиса, так как эти характеристики охватывающей системы коррелируют с уменьшением устойчивости связей между компонентами.

Наконец, вопреки стараниям юристов, пиарщиков и аналитиков, неизбежно наступает момент, когда связь между компонентами разрывается, так как компоненты несмотря ни на что продолжают свою оптимизацию. Причем в силу указанного выше характера убывания устойчивости связи, наступает этот момент раньше, чем ожидался, ибо эвристические прогнозы чаще всего основываются на линейных оценках и подкрепляются рассуждениями, что «прежде ведь все было хорошо». Можно образно сказать, что оптимизируя свою деятельность, каждая компонента системы тянет на себя одеяло структуры системы, это одеяло становится все тоньше и, наконец, неожиданно для компонент, но вполне естественно, начинает рваться, причем одновременно во многих местах. В условиях, когда структура охватывающего комплекса достаточно напряжена (прочности связей компонент невелики), разрыв одной из связей компонент вызывает разрыв многих других связей. Механизм разрушения связей между компонентами сам характеризуется наличием положительной обратной связи.

Например, будущие результаты деятельности компонент, утративших связь, могли быть многократно проданы, деньги потрачены, и теперь тот, кто их потратил, ставится перед фактом, что будущее, в которое он инвестировал, ни-

когда не наступит, что в свою очередь, вызывает целую цепочку последствий, напоминающую цитированное выше стихотворение Маршака «Гвоздь и подкова». Разница только в том, что гвозди начинают вылетать из многих подков разом, а для кризиса в отдельно взятом городе из детской песенки хватило всего лишь одного потерянного гвоздя.

Прогнозы аналитиков перестают сбываться, поскольку в большинстве своем это были эвристические прогнозы, основанные на данных прошлого, а прошлое было качественно иным — там было постоянное развитие по восходящей. Естественно, что и управления, принятые на основании этих прогнозов, приводят к непредсказуемым результатам. В системе начинается классический динамический хаос, который мы называем кризисом. То, что кризис имеет природу динамического хаоса, подтверждается, например, и тем, что часто он заканчивается совсем уж катастрофическими последствиями, такими как мировые войны (хотя изначально все их будущие участники провозглашают свою приверженность идеям мира), а следующая мировая война может закончиться, как известно, «ядерной зимой».

Заметим, что здесь один и тот же механизм — оптимизация компонентами своей деятельности, — как создает структуру охватывающей системы, так затем и разрушает ее, доводя систему до динамического хаоса.

В эпиграф раздела вынесено описание одного из первых кризисов, постигших человечество, да и само греческое слово κρίσις в данном контексте вполне можно перевести как Суд Божий. С точки зрения нашей работы, в описании данного кризиса важно разрушение структуры сложной системы: все ее компоненты утратили связи друг с другом, после чего система потеряла способность функционировать в прежнем своем качестве.

Кризис является временем перераспределения потенциала динамического равновесия между компонентами системы. При этом потенциал динамического равновесия системы в целом, конечно, уменьшается.

Многие связи системы разрушаются, многие функциональности становятся невостребованными, т. е. затратными, если учитывать необходимость их поддержания, поэтому возникает желание поскорее избавиться от них. Это желание может быть усилено, например наличием невыполненных обязательств. С другой стороны, экономику в целом можно уподобить игре с нулевой суммой — в каждый момент времени, в том числе и во время кризиса, если кто-то с долгами, то кто-то и с деньгами, и наоборот. Те же, кто оказался во время кризиса с деньгами, имеют возможность увеличить свой потенциал так, как им и не мечталось на стадии восходящего развития системы, в том числе приобретая новые функциональности — на стадии восходящего развития все испытывают дефицит средств на развитие существующих функциональностей.

Можно сказать, что во время кризиса происходит определенная гармонизация функциональностей системы. Дело в том, что на интервале восходящего развития системы многие даже базовые функциональности упрощаются вследствие оптимизации (например, из-за стремления быстрее и дешевле получать нужных специалистов образование становится все более специализированным). В то же время появляются инновационные функциональности [6], среди которых нередко весьма экзотические и далекие от фундаментальных потребностей, но находящие спрос на этапе восходящего развития. Кризис в некотором роде устраивает экзамен функциональностям.

После перераспределения потенциалов и функциональностей между компонентами, не утратившими способности

оптимизировать, снова начинают устанавливаться связи, система начинает новый цикл. При этом, так как потенциал динамического равновесия всей системы за время кризиса уменьшается, то, что от него останется, может оказаться недостаточным для возрождения на прежнем уровне. К счастью, на исторической памяти человечества такого не случалось (А, может, мы просто не помним, есть ведь легенды об Атлантах, материальные свидетельства владения древними некоторыми технологиями, которые пока неизвестны нам). Во всяком случае не стоит упускать из вида слова А. Эйнштейна: «Я не знаю, каким оружием будет вестись третья мировая война, но четвертая — точно палками и камнями».

Способ синтеза – восточный: структура важнее оптимизации

«Скованные одной цепью,
Связанные одной целью...»

В. Бутусов — И. Кормильцев, «Скованные».

«Все существа и растения при своем рождении нежные и слабые, а при гибели - сухие и гнилые. Твердое и крепкое - это то, что погибает, а нежное и слабое - это то, что начинает жить.

Лао-Цзы, «Дао-Дэ-Цзин».

Здесь структура комплекса задается извне, например, как «самая лучшая в мире» (т. е. обусловленная определенными идеологическими постулатами). Понятно, что в этом случае нельзя надеяться, что сами компоненты будут воссоздавать эту структуру в результате своей деятельности, как это было в предыдущем разделе. В бывшем Советском Союзе поддержанием структуры системы занималась специальная и достаточно многочисленная группа населения, о которой Э. Рязанов в

словах песни одного из своих фильмов сказал, а Т. и С. Никитины спели:

«Мы не пашем, не сеем, не строим,
Мы гордимся общественным строем.
Мы бумажные важные люди,
Мы и были, и есть, мы и будем».

В том, что специальная группа людей занимается поддержанием структуры общества, ничего плохого нет. Как мы видели в предыдущем разделе, при западном способе синтеза, функционально этим же занимается ничуть не менее многочисленная армия юристов, пиарщиков и аналитиков, и при этом пользы обществу от них ничуть не больше.

Плохо было, что система не придумала как заставить работать свои компоненты. Народу она говорила примерно так: «Товарищ, ты не стал ни артистом, ни писателем, ни ученым, ни врачом, ни учителем, не выучился на инженера, ни даже в торговлю не пристроился, ни в начальники не выбился — значит, ты соль Земли, гегемон, носитель уникального качества — пролетарского классового сознания, посредством которого ты и писателей можешь учить, как писать, и художников — как рисовать (вот начальников только лучше не учи, как командовать — целее будешь!). Это твоя система, и тебе от нее положено: бесплатное образование, лечение, жилье, оплачиваемый отпуск, путевка в санаторий, пенсия в старости..., так что ты уж работай, пожалуйста, как следует!» Такое вот в конце пожелание хорошо трудиться, без конкретного механизма его исполнения. Народу больше запоминался список, чего положено бесплатно, и с грустью он видел, что список этот выполнен едва ли на половину, да и из того, что платно, к сожалению, далеко не все наличествовало, и сразу возникали мысли, что вот начальники, такие-сякие, себе, конечно, берут по полной, а

народу не дают. И работать с такими мыслями уже совсем не хотелось. А дело тут не в плохих начальниках, а в законе сохранения материи — при любых начальниках нельзя раздать ни бесплатно, ни платно, того, что не произвели, а вот с производительностью труда как раз и было туго — получался порочный круг. И чтобы разорвать его, одних призывов работать на совесть было недостаточно. Пробовали, как известно, и жесткие методы организации труда, но это были старые рабовладельческий и феодальный способы, исторически доказавшие свою неэффективность по сравнению с капиталистическим.

Плохо было и то, что творческая инициатива компонент, наиболее ценное их начало, не находила себе применения в виде оптимизации. Как мы видели на приводившихся примерах, оптимизация компоненты постоянно приходит в противоречие со структурой охватываемой системы. Здесь это противоречие почти всегда решалось в пользу структуры. Исключением было научное творчество в области не затрагивающих систему фундаментальных наук и тех прикладных наук, которые были признаны системой, имеющими высокое народнохозяйственное значение, а также с некоторыми ограничениями, сфера образования.

Потребность творчества и оптимизации, по-видимому, является одной из фундаментальных потребностей человека. Поэтому, не имея возможности, например, максимизировать прибыль, очень многие компоненты начали вместо этого минимизировать усилия, необходимые для удержания своего статус-кво в системе. Творческое начало при этом находило выход на стороне: в строительстве дачи, ремонте автомобиля, прочих хобби. Для удержания своего положения в системе требовалось очень немного: для народа — более или менее регулярно появляться на работе, причем выкладываться там до

предела было вовсе не обязательно, для «бумажных важных людей» — быть лояльным к начальству.

К сожалению ни одно, ни другое требование не имеют ничего общего с функциональностью компонент, поэтому функционировали они неважно, и управляли ими тоже неважно. Например, в обычных, мирных условиях жизни системы всякая творческая инициатива снизу, даже полезная системе в целом, минимизирующему свои усилия представителю структуры могла принести наверняка лишь дополнительные хлопоты и вряд ли что-либо полезное. Поэтому с инновациями было непросто, если, конечно, они не попадали в поле повышенных интересов служителей структуры. В целом из-за этого экономическое соревнование с «западной» такая система проигрывает.

Данный факт был известен много тысяч лет назад, например, уже цитированному выше Лао-Цзы. В «Дао-Дэ-Цзине» он пишет: «...когда в стране много запретительных законов, народ становится бедным». Это неизбежно вытекает из сказанного выше, это мы знали и по себе, и видим сейчас, на примере народов Северной Кореи и Кубы.

Справедливость требует отметить также и сильные стороны рассматриваемой сложной системы.

Это, во-первых, ее устойчивость в критических ситуациях. Перед лицом какого-либо всеобщего бедствия удавалось преодолеть указанные выше два основных недостатка системы. Удавалось и мобилизовать народ на ударный труд, и дать выход творческому потенциалу, например, под лозунгом «все для фронта — все для победы». Очень помогало преодолеть кризисы и то, что система изначально строилась в условиях международной изоляции как автономная, способная обеспечить себя всем необходимым, и эта многофункциональность никогда не приносилась в жертву никакой оптимизации. Отчасти эти качества удавалось проявлять и в рамках специальных

национальных приоритетных программ, на которые было направлено особое пристальное внимание, таких как ядерная или космическая программы.

Во-вторых, для системы был характерен высокий уровень и универсальный фундаментальный характер образования — важнейший элемент информационной составляющей потенциала динамического равновесия системы. Главное преимущество такого характера образования — умение самостоятельно учиться, что незаменимо в условиях кризиса, когда старые наработанные схемы перестают действовать. Отметим, что поддержание многофункциональности в информационной области обходится существенно дешевле, чем поддержание ее в области материальной, а в кризисной ситуации оказывается весьма востребованным, как и всякая многофункциональность.

Как же получилось, что столь устойчивая структура всем на удивление рухнула в одночасье? На общефилософском уровне на этот вопрос, по-видимому, отвечает взятая эпиграфом цитата из Лао-Цзы.

Поясняя эту цитату с точки зрения специалиста по сложным системам, отметим, что система, спроектированная более ста лет назад, реализованная затем в виде макета в одну десятую натуральной величины и не из материала, указанного в проекте, а из того, что в руках оказалось, притом со многими отступлениями от первоначального проекта, вряд ли годится для вечности. Более того, изучение сложных технических систем (например, [7]), приводит к заключению, что для вечности не годится любая такая система: важно рассматривать ее полный жизненный цикл от начала проектирования до специально рассчитываемого оптимального момента списания. Эксплуатация системы после оптимального момента списания ведет к значительным неоправданным потерям.

Переходя на еще более конкретный уровень, автор склонен считать, что систему подвели четыре бескризисных десятилетия и человеческий фактор. Система так и не решила свои основные системообразующие задачи: заставить компоненты работать и дать выход их творческой инициативе. А каких-то экстраординарных событий, способных, как бывало раньше, объединить всех в едином порыве, не было. Народ в рабочее и нерабочее время продолжал подсчитывать, что ему недодали из провозглашенного списка положенного бесплатно. Недодали много — уж точно не меньше, чем он недоработал, ведь закон сохранения материи никто не отменял. «Бумажные важные люди» уже имели в своей массе приличное образование, любили бывать на Западе, и как никто другой понимали, что если в экономическом соревновании систем простой народ по уровню жизни проигрывает в разы, то они — своим функциональным коллегам — на порядки. Интеллигенция вообще была «чужой» для системы (вспомним данную ей ленинскую характеристику!): ее творческий потенциал с трудом находил себе применение в мирное время, постоянно отвлекал занятых людей от важных бумажных дел, и очень этим их раздражал. В результате все компоненты системы оказались к концу 80-х весьма недовольными и системой, и друг другом.

Поэтому точно так же, как в феврале-марте 1917 г., Российская монархия пала из-за того, что у царя Николая II просто не осталось верноподданных, в августе 1991 г. у падающей советской системы не осталось ни сторонников, ни защитников: многие пошли тогда защищать Белый Дом и Ельцина — никто не пошел защищать Кремль и ГКЧП с Горбачевым.

У сложной системы, явно пережившей свое оптимальное время списания (по мнению автора, это время приходилось на конец 50-х — начало 60-х гг.), но казавшейся со стороны все еще очень крепкой, разом отказало все.

Заключение

«Что умеете хорошего, то не забывайте, а чего не умеете, тому учитесь...»

Владимир Мономах, «Поучение».

Мы рассмотрели противоречие между оптимизацией деятельности компонент и сохранением структуры охватывающей системы, а также два исторических способа разрешения этого противоречия, являющихся противоположными друг другу крайностями, с противоположными достоинствами и недостатками.

Очевидно, их синтез, обеспечивающий устойчивое бескризисное развитие нужно искать между этими крайностями и на более высоком уровне, объединяющем достоинства и устраняющем недостатки указанных способов. Как — об этом слова завещания русского князя, написанные в XII в.

Хорошо бы сохранить от западной системы простор для творческого самовыражения компонент и имеющую место в начале каждого цикла самоорганизацию связей между компонентами. При этом нужно научиться распознавать момент, когда такая самоорганизация оказывается недостаточной для сохранения структуры системы. По-видимому, на близость этого момента должно указывать увеличение объема юридических и рекламных услуг, а также вторичных финансовых инструментов.

По выявлении этого важного момента, необходимо прилагать определенные усилия, направленные на укрепление внутрисистемных связей. Например, можно изменить культуру аналитики: включать в оптимизируемый функционал математическое ожидание убытков от возможного разрушения связей между компонентами вследствие оптимизации. Можно пытаться создать механизм поощрения многофункциональности

компонент в предкризисных условиях. И, наконец, наименее затратный способ повышения устойчивости системы – укреплять многофункциональность в плане ноосферы – поощрять универсальность и фундаментальность образования. Фундаментальное образование удаляет нас от упоминавшегося выше «вавилонского столпотворения» взаимонепонимания, а специализированное – влечет к нему.

В этой связи не лишне напомнить, что усиленно внедряемая сейчас «Болонская система» образования досталась нам явно с восходящего периода цикла развития сложной системы. Сейчас же, во время кризиса особенно, да и вообще всегда, так как образование это не то на чем следует экономить, гораздо больше подошла бы наша «советская» фундаментальная система образования.

Впрочем, автор осознает, что этот его призыв сходен с призывом лесковского Левши не чистить ружья кирпичом – слишком много уже вложили в кампанию по реформе образования, наверняка на порядок больше, чем может сэкономить специализированное образование по сравнению с фундаментальным!

Л и т е р а т у р а

1. Форрестер Дж. Мировая динамика. М. Физматгиз. 1978. 168 с.
2. Белотелов Н.В., Бродский Ю.И., Павловский Ю.Н. Разработка инструментальной системы распределенного моделирования. //Тр. IV Всеросс. научн. конф. «Математическое моделирование развивающейся экономики и экологии» ЭКОМОД-2009, г. Киров 6-12 июля 2009 г.
3. Белотелов Н.В., Бродский Ю.И., Павловский Ю.Н. Сложность. Математическое моделирование. Гумани-

- тарный анализ. М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2009, 320 с.
4. Пригожин И., Стенгерс И. Порядок из хаоса: Новый диалог человека с природой. М.: Прогресс, 1986, 432 с.
 5. Семенов Ю.И. Политарный («азиатский») способ производства: сущность и место в истории человечества и России. Философско-исторические очерки. М.: Волшебный ключ, 2008, 401 с.
 6. Высоцкий М.Н., Павловский Ю.Н. О колебательных режимах в одной модели инновационной экономики. //Моделирование, декомпозиция и оптимизация сложных динамических процессов, М.: ВЦ РАН, 2009, С. 3-12.
 7. Павловский Ю.Н. Имитационные системы и модели М.: Знание, 1990, 46 с.