

Колесников Анатолий Аркадьевич

Южный Федеральный Университет

«КИБЕРНЕТИКА – ИНФОРМАТИКА – СИНЕРГЕТИКА» – КОНЦЕПТУАЛЬНЫЙ СИНТЕЗ

*«Развитие любой динамической системы происходит
в окрестности некоторого аттрактора.»*

Никита Моисеев

1. Введение

В наше время все в большей мере проявляется кризис технократического мышления, который связан с фундаментальными основами современного мировоззрения. Этот кризис является составной частью общего цивилизационного кризиса науки и общества конца XX – начала XXI веков и во многом обусловлен отчуждением естественно-технической и гуманитарной составляющих науки, как части общей культуры. Неизбежным следствием этого является фрагментарность в понимании окружающего мира, неадекватность реакции на разрушительные тенденции в современном мире и, как следствие, нарастающие угрозы экологического, техногенного и, вообще, общесистемного характера.

В основе научно-фундаментальных знаний лежит, как известно, та научная картина мира, которая формируется в процессе изучения принятой базовой концепции естествознания. Существовавшая до настоящего времени научная картина мира опиралась в основном на классический редукционистский подход, согласно которому окружающие нас природные явления состоят из мира вещей и мира законов. Такое представление означает, что свойства целого объясняются свойствами частного, т.е. характеристики целого полностью определяются некоторой суммой характеристик его элементарных составляющих. Редукционистская парадигма естествознания, берущая свое начало еще от Платона, нашла яркое и успешное воплощение в научном методе Галилея, который был затем обоснован и принципиально развит Ньютоном. Современное общество обязано этой парадигме крупными успехами в области науки, технологии и промышленности. Фундаментальными, основополагающими понятиями редукционистской картины мира являются материя и движение; согласно им природа – это машина, состоящая, как и любой механизм, из отдельных частей со своими индивидуальными свойствами и описываемая раз и навсегда установленными законами математического естествознания.

Однако до Галилея и Ньютона доминировала, в основном, аристотелева система мира, согласно которой в природных процессах целое важнее его составляющих. Это так называемый холистический, т.е. целостный, глобальный подход к пониманию картины мира. По Аристотелю, наш мир представляет собой иерархическую систему, в которой одни формы подчинены другим формам, т.е. находятся в динамической взаимосвязи друг с другом. Холистический, целостный подход ориентирован на системный характер того или иного явления, для него целое представляет собой нечто большее, чем простая сумма составляющих. Этот подход уделяет важное внимание связям и взаимодействию между частями целого как некоторой системы.

В предисловии «Наука и изменение» к знаменитой книге И. Пригожина и И. Стенгерс [1] известный философ О. Тоффлер в порядке диалога с авторами писал: «Современная западная цивилизация достигла необычайных высот в искусстве расчленения целого на части, а именно в разложении целого на мельчайшие компоненты. Мы изрядно преуспели в этом искусстве, преуспели настолько, что нередко забываем собрать разъятые части в то единое целое, которое они некогда составляли. Особенно изощренные формы искусство разложения

целого на составные части приняло в науке. Мы имеем обыкновение не только вдребезги разбивать любую проблему на осколки размером в байт или того меньше, но и нередко вычленим такой осколок с помощью весьма удобного трюка. Мы произносим: «*Ceteris paribus*» – при прочих равных, и это заклинание позволяет нам пренебречь сложными взаимосвязями между интересующей нас проблемой и прочей частью Вселенной». Однако еще в древнекитайском учении Дао утверждалось, что «*все в одном, и одно во всем*». В этой связи приведем высказывание выдающегося российского ученого Н.Н. Моисеева: «Принцип материального единства мира и принцип развития – только такое соединение и может послужить гносеологической базой системы знаний, в которую однажды окажется уложенной растущая, как снежный ком, совокупность сведений о всех тех процессах развития, с которыми нас сталкивает человеческий опыт и которые являются лишь фрагментами единого процесса – мирового процесса самодвижения, самоорганизации материи!»

2. Базовая триада «вещество – энергия – управление»

Сегодня, когда формируется постиндустриальное информационное общество, кардинальной проблемой становится существенное увеличение удельного веса искусственных регуляторов в единой целостной системе «общество – природа». Основное внимание ученых, политиков и общественности все в большей мере концентрируется на фундаментальных проблемах управления, связанных с *ресурсосберегающими технологиями*, новой организацией социально-экономических систем, экологической и ядерной безопасностью информационного открытого общества [2].

Очевидное существенное отличие стратегий технологической деятельности в начале XXI века состоит в освоении принципиально новых типов объектов и процессов, представляющих собой весьма сложные саморазвивающиеся макросистемы. Помимо других, важное место будут занимать *человекоразмерные* системы, которые включают в себя человека в качестве особого компонента [3]. Это означает, что наступило время создания целостных человекомашинных комплексов, представляющих собой развивающиеся динамические макросистемы «человек – техническая система – среда», в которые внедряются новые перспективные технологии с учетом особенностей социокультурной среды. В таких комплексах, как в открытых самоорганизующихся макросистемах, возникают, как известно, кооперативные явления, базирующиеся, в первую очередь, не на силовых, а на информационных взаимодействиях. В результате проявления кооперативных эффектов развивающиеся системы порождают новые структуры без каких-либо внешних силовых воздействий. Иначе говоря, в сложных системах возникают процессы самоорганизации, изучаемые современной нелинейной динамикой и синергетикой. Такого рода принципиально новые кооперативные явления в сложных макросистемах следует непременно учитывать при разработке эффективных стратегий деятельности человека. Эти явления и стратегии естественным образом должны быть включены в образовательные процессы новой мировоззренческой ориентации, связанные с переходом современного общества от индустриального к постиндустриальному развитию [3].

Совершенно очевидно, что при проектировании и создании новой техносферы необходимо, помимо выполнения заданных технических и экономических требований, учитывать важнейшие параметры взаимодействия новой технологии с природной средой, а именно негативные экологические последствия реализации и особенно тиражирования этой технологии. На современном этапе развития цивилизации угроза для природной среды исходит, прежде всего, от вещественно-энергетических компонентов техносферы, что приводит к трудным инженерным и политическим проблемам. Такой важнейшей стратегической проблемой современной науки и техники является разработка новых подходов, направленных как на создание принципиально нового поколения ресурсосберегающих, экологически чистых и экономичных технологий, так и на формирование нового общественного взгляда и выработку рациональных решений в области эффективного использования имеющихся в стране природных ресурсов и особенно

производства энергии. Дело в том, что, с одной стороны, энергетика – это ядро современной техносферы, а с другой стороны, энергетика – это системообразующий фактор, важнейший компонент любой экосистемы, т.к. все природные процессы в своей основе являются, в первую очередь, энергетическими. В этой связи естественно возникает вопрос об энергетическом совершенствовании современных и особенно перспективных технологий и сравнение их с энергетическими свойствами природных систем. Этот вопрос непосредственно связан с выявлением базовых направлений в решении проблем эффективного использования энергии и вообще ресурсосбережения в широком смысле этого слова.

Основным и традиционным из таких направлений до настоящего времени было термодинамическое и электроэнергетическое совершенствование технологических процессов в различных энергообъектах. Такое совершенствование связано, в первую очередь, с принятой конструкторами технологической схемой объекта и природой протекающих в них процессов. Вплоть до последнего времени наука и техника уделяли основное внимание изучению и совершенствованию, в первую очередь, естественно-энергетической организации технологических процессов в энергоемких объектах. На этом пути к настоящему времени достигнуты крупные успехи, а в мировой конструкторской практике накоплен огромный опыт, найдены многие типовые решения и схемы построения и организации технологических процессов. Следует, однако, подчеркнуть, что во многих областях энергетики и промышленности уже близко подошли к достижению пределов совершенствования, хотя указанный путь все еще остается традиционным.

Для поиска путей кардинального энергетического совершенствования современных и перспективных технологических процессов, в том числе и с учетом экологических факторов, требуется перейти на новые идейные и концептуальные основы. На наш взгляд, уже давно наступило время рассмотрения технических и природных систем в неразрывной *динамической взаимосвязи*, когда протекающие в них технологические и экологические процессы оказывают непосредственное динамическое влияние друг на друга, образуя саморазвивающуюся макросистему. Такой фундаментальной направляющей концепцией, на наш взгляд, является базовая *концепция управляемого динамического взаимодействия вещества, энергии и информации*, которая позволит совершить принципиальный прорыв в решении проблемы эффективного использования энергии и ресурсосбережения в их широком понимании [4, 5].

Возникает естественный вопрос, почему кардинальные проблемы поиска новых подходов к эффективному использованию энергии и ресурсосбережению лежат в русле анализа и синтеза *взаимоотношений между вещественно-энергетическими и информационно-управляющими процессами техносферы и техноэволюции*? Иначе говоря, почему именно информационно-управляющий подход позволяет эффективно решить проблему ресурсосбережения с минимальным технологическим риском для окружающей природной среды? Действительно, хотя в настоящее время в технологическом обороте находится грандиозный и ранее небывалый объем вещественно-энергетических ресурсов, однако в сформулированной здесь концепции на первое место все же выводятся информационно-управляющие процессы. Суть дела состоит в том, что именно информация и управление позволяют эффективно овладеть этими ресурсами, рационально извлечь их из природной среды, а затем оптимально использовать в соответствующих технологических процессах [4-7].

Выдвигаемый в настоящее время приоритет информационно-управляющей компоненты в фундаментальной триаде *«вещество–энергия–управление»* наиболее проявляется в принципиальной, первостепенной роли науки об управлении технологическими процессами и объектами различной физической (химической, экологической и т.д.) природы [4-7]. Итак, возникает важнейшая проблема эффективного использования энергии и вообще ресурсосбережения в управляемых природно-технических макросистемах с естественным учетом социокультурных, экономических, экологических и других факторов. Понимание сущности этой глобальной междисциплинарной проблемы XXI века потребует подготовки

высококвалифицированных системных специалистов новой генерации и различного профиля – от инженеров, физиков и биологов до экологов и социологов.

В основу решения поставленной здесь крупной проблемы предлагается положить указанную концепцию управляемого динамического взаимодействия вещества, энергии и информации в протекающих процессах различной физической (химической, биологической и др.) природы. Конкретнее говоря, эту общую концепцию на основе отражающих ее сущность ключевых понятий: «кибернетика (Cybernetic) – информатика (Informatics) – синергетика (Synergetic)» можно сформулировать как фундаментальную системообразующую *CIS-концепцию*.

Современное естествознание показало, что в основе системных конструкций живой природы лежат именно кибернетические, информационные и синергетические принципы их построения. Распространение этих принципов на искусственные, в частности технические системы, открывает ранее неизвестные новые перспективы колоссального практического значения. Рассмотрим теперь базовые компоненты, входящие в развиваемую здесь *CIS-концепцию* высшего образования.

3. Кибернетическая компонента CIS-концепции

Среда жизнедеятельности и существования современного человека – это мир весьма разнообразных систем – живых, технических, природных (экологических) и социальных, непрерывно взаимодействующих друг с другом. Окружающая нас техносфера стала несравненно сложнее и гораздо подвижнее, чем когда-либо ранее.

Такие сложные и динамичные комплексы, как авиационно-космические, энергосистемы, гибкие автоматизированные производства, биотехнические и транспортные системы и многие другие, а также отдельные современные агрегаты и установки имеют огромные мощности протекания происходящих в них процессов и создают для человека острые технические, экологические, этические и социально-политические проблемы, требующие от него быстрых и целесообразных управляющих воздействий. Ответом на эту ситуацию с целью проектирования и эксплуатации такого рода сложных систем явилось рождение множества новых научно-технических направлений, в которых нередко обособляются, разрабатываются свои частные методы и технические средства, но, по существу, занимаются весьма узкой областью знаний. Однако в современной науке и технике имеется и противоположная тенденция формирования общих единых представлений и принципов. К таким объединяющим наукам как раз и относится теория управления – кибернетика [8], которая находит все расширяющееся применение в различных областях знаний.

Наука об управлении является неотъемлемой и одной из основных частей научной революции нашего времени [9]. С помощью этой науки могут быть решены многие конкретные сложные проблемы, стоящие перед современной техникой, экономикой и социальным прогрессом общества. Наука об управлении возникла в результате осмысления и обобщения многих наук. Благодаря такому синтезу эта наука дала в руки человека методы и средства для отыскания и реализации эффективных стратегий управления в весьма широких областях – от технических комплексов до сложных биосистем, экономических и производственных систем. Другими словами, наука об управлении является наукой нового, синтетического типа, она базируется на *единых принципах* управления живыми, техническими, экономическими, экологическими и, во многом, социальными системами [8].

В общем случае управлять – значит достигать каких-либо целей, а любой процесс целенаправленной деятельности – это всегда управление. Ни одна наука, возможно, за исключением физики, не знала столь стремительного развития и не вовлекла в свою сферу так много людей и технических средств, как кибернетика – теория управления. Яркие примеры фундаментальной роли управления дает нам природа. Принципиальное отличие биологических процессов от процессов, протекающих в неживой природе, состоит в том, что биологические – это, как правило, управляемые процессы. Именно это свойство обеспечивает

живые организмы высокой адаптивностью (приспособляемостью). Для живых систем одна из главных целей управления состоит в максимальном самосохранении (гомеостазисе) при действии различных возмущений со стороны внешней среды.

В основу базовой концепции кибернетики, как известно, были положены *идея слежения, принцип отрицательной обратной связи и вход-выходные соотношения*. Реализуемые на основе этой концепции разнообразные технические системы строятся по широко известной схеме: на входе системы имеется некоторое задающее воздействие, программа (эталонный сигнал); необходимо синтезировать регулятор, который стремится свести к нулю отклонение (ошибку), т.е. разность между входным задающим воздействием и выходными координатами системы. Указанная концепция оказалась настолько плодотворной для технических систем (в первую очередь, линейных), что с подачи Н. Винера она была за последние 50 лет в работах многих ученых формально распространена на биологию, экономику, социологию и другие науки. Кибернетику, основанную на описанной здесь *концепции гомеостазиса*, можно отнести к *кибернетике первого рода*.

Однако кибернетика – наука об управлении в своем классическом и современном развитии так и не смогла в должной мере удовлетворить потребности промышленности, экономики и, вообще, общества. Здесь много причин, связанных, в первую очередь, с аксиоматическими основами этой науки. Так, например, кибернетика первого рода, уделив основное внимание нейтрализации нежелательных отклонений от заданного движения, похоже, упустила из рассмотрения обширный класс систем, нередко доминирующий в природе, в которых преобладают внутренние взаимодействия, усиливающие отклонение системы от ее исходного состояния. Такого рода самоорганизующиеся системы весьма распространены в биологии, экологии, экономике, социологии и др. Эти системы, основанные на нелинейной динамике, включают в себя также положительные обратные связи и базируются на *принципе внутренней генерации*, когда система в результате ее эволюции неизбежно выходит на некоторый аттрактор – притягивающее многообразие или множество в ее пространстве состояний. Назовем такие системы синергетическими. Тогда *синергетику*, опирающуюся на идею кооперативного движения и целенаправленной самоорганизации, можно назвать *кибернетикой второго рода* [4, 5]. Именно с синергетикой и нелинейной динамикой связаны принципиально новые перспективы в науке, технике и, вообще говоря, развитии постиндустриального информационного общества.

4. Информационная компонента CIS-концепции

В технических системах сигнал управления обычно очень мал по сравнению с силовым воздействием через усилитель мощности на соответствующий объект. Для задач управления важна не столько мощность сигнала управления, а в большей мере его смысловое содержание, отражаемое информационными символами.

Современная теория самоорганизации показала, что аналогичные информационные процессы протекают не только в искусственно созданных системах управления, но и могут возникать в естественных физических системах, находящихся на границе устойчивости. Маломощные сигналы, действующие на такие системы в точках их бифуркаций, могут привести к значительным и даже катастрофическим последствиям. Это так называемые сложные *открытые системы*. Попав в область неравновесности, эти системы показывают сложное динамическое поведение, в том числе и хаотическое. Для такого рода сложных систем существенно важно двойственное рассмотрение их поведения: как с точки зрения динамики, когда доминирующую роль играет энергия, так и с точки зрения протекающих в них информационных процессов, когда основную роль играет «смысловое» содержание сигналов управления [10]. Иначе говоря, возникает крупная проблема исследования совместного взаимодействия энергии, вещества и информации в сложных нелинейных системах в условиях их термодинамической неравновесности и влияния бифуркаций. В таких условиях в системе может возникнуть самоорганизация, когда оба процесса – энергетический

(и, следовательно, динамический) и информационный – образуют неразрывное единое целое, приводящее к когерентному поведению огромного числа переменных нелинейной системы.

Итак, возникает новая актуальная проблема изучения нелинейных процессов в сложных физических открытых системах, через которые протекают потоки энергии, вещества и информации (негэнтропии) [10–12]. В таких системах могут формироваться сложные диссипативные структуры и протекать кооперативные процессы, т.е. проявляться свойство самоорганизации.

В открытой макросистеме со сложной внутренней структурой может произойти разделение, по меньшей мере, на две подсистемы: динамическую (силовую) и информационную (управляющую), которые тесно взаимодействуют друг с другом. Указанное явление расслоения единой макросистемы суть следствие существенной сложности ее фазового портрета, когда параметры порядка, описывающие поведение системы в неравновесной области, находятся в сложной нелинейной зависимости друг от друга. В этом случае траектории системы могут быть чрезвычайно чувствительны к малым флуктуациям, проходя последовательно многие точки бифуркаций. В результате изображающая точка системы будет легко перебрасываться с одной траектории на другую вследствие действия малых внешних возмущений или небольших структурных изменений в системе. Учитывая возможность указанного структурного разделения, в таких системах целесообразно выделить в отдельную *структуру управления* те блоки, которые оказывают сильное влияние на динамику систем с помощью малых информационных сигналов. Отсюда следует, что сложные физические системы могут сами собой разделяться на два иерархических уровня: во-первых, энергетический (динамический) и, во-вторых, информационно-управляющий. При этом, вообще говоря, в качестве второй, управляющей подсистемы может выступать весь внешний мир. Более подробно эти проблемы поведения естественных физических систем излагаются, в частности, в книге [12].

Подытожим сказанное здесь о разложимости сложных самоорганизующихся макросистем различной природы. Такого рода макросистемы состоят из некоторой совокупности локальных систем, каждая из которых, в свою очередь, включают в себя энерго-вещественную (т.е. динамическую или силовую) и информационную или управляющую подсистемы, находящиеся друг с другом в тесном взаимодействии. Иначе говоря, на общем энергетическом фоне силовой динамики поведение сложной макросистемы, находящейся в изменяющейся внешней среде, будет также определяться и ее информационными свойствами. Добавление к энергетической компоненте макросистемы ее информационной составляющей расширяет область фазового пространства ее устойчивого существования. Информационная составляющая такой макросистемы связана с ее целью и во многом определяется структурой формируемых обратных связей, а энергетическая или силовая составляющая создает основу для ее информационного поведения [10–12]. В свою очередь, каждая из указанных локальных подсистем, входящих в общую макросистему, может содержать несколько уровней иерархии, когда на более высокий уровень поступает некоторая обобщенная информация, а на низших уровнях эта информация конкретизируется. Пользуясь биологическим языком, можно сказать, что объект более высокого уровня иерархии выступает по отношению к объекту более низкого уровня как *род к виду* [13]. Очевидно, что повышение статуса объекта в иерархии общей макросистемы ведет к соответствующему увеличению числа его степеней свободы, т.е. к расширению фазового пространства системы путем, например, перевода ряда ее существенных показателей и параметров в разряд новых переменных. Другими словами, для преодоления «проклятия размерности» необходимо, согласно *принципу «расширения – сжатия»* фазового пространства, выдвинутому в [4, 5], уметь рассматривать систему в пространстве с большим числом координат. Очевидно, что такое расширение должно производиться с учетом *целей* – аттракторов, поставленных перед синтезируемой системой. В целом это означает, что сложные системы необходимо рассматривать в виде некоторой иерархической макросистемы, динамика которой на каждом уровне иерархии описывается динамикой подсистем с переменными состояниями и параметрами, соответствующими данному

конкретному уровню [12]. На каждом таком иерархическом уровне макросистема имеет свои *инварианты* – локальные цели. Изложенные здесь положения позволяют выдвинуть тезис о «*благодарности высокой размерности*» управляемых макросистем.

Подведем итоги. Современная теория самоорганизации позволила существенно продвинуться в решении проблемы изучения процессов иерархического расслоения сложных систем, а также процессов управления динамикой таких иерархически организованных систем. Сущность нового подхода к исследованию проблем управления и информации в подобного рода макросистемах состоит в идее самоорганизации – образовании в пространстве состояний этих систем совокупности аттракторов (синергий), т.е. некоторых притягивающих множеств [4, 5]. В основе таких систем лежит *информационная динамика*, отличительная особенность которой состоит не в значительных затратах энергии на управление, как это обычно осуществляется в классической теории управления, а в использовании информации о возможных вариантах асимптотически устойчивых состояний движения систем и в способах перехода в такие состояния. Очевидно, что реальная нелинейная система той или иной физической природы может обладать многими асимптотически устойчивыми состояниями, которым будут соответствовать свои области перемежаемости траекторий с различным динамическим поведением. Отсюда следует, что для перевода системы в желаемый асимптотический режим движения достаточно иметь лишь информацию о том, к какому аттрактору относится в данный момент времени соответствующая траектория системы. Другими словами, управление будет сводиться к «подкорректировке» системы и, следовательно, к ее удержанию на желаемом семействе асимптотически устойчивых траекторий. Такого рода *информационное управление* динамикой сложных макросистем требует не столько значительных энергетических затрат на управление, а информации о «метке» траектории. В синергетическом подходе роль указанной метки выполняют динамические макропеременные (синергетические информаторы), формирующие желаемые инвариантные многообразия – аттракторы систем [4, 5, 10–12, 14].

5. Синергетическая компонента CIS-концепции

В настоящее время чрезвычайно актуальна проблема целостного видения и понимания окружающего мира – природы, техники, человека и общества – как единого эволюционного процесса. Учитывая же существующую непомерно узкую специализацию многих наук, в первую очередь физических и технических, необходимо поставить непростой вопрос о единой научной основе для формирования такого целостного взгляда на мир. В последние годы в силу самой логики развития науки в ней начались и значительно ускорились интеграционные процессы, связанные с изучением кооперативных явлений в системах существенно разной природы. В этой связи синергетика – наука о кооперативных процессах – стала претендовать на роль базовой и целостной парадигмы современного естествознания. Принципиальное отличие синергетического подхода от редукционистских методов классической науки, на которых во многом основано существующее естественнонаучное знание, состоит в выявлении фундаментальной роли свойства самоорганизации в нелинейных динамических системах. Синергетика соединяет два противоположных подхода в науке – редукционистский и холистический. При этом рассмотрение нелинейных процессов происходит на промежуточном (мезо-) уровне, а макроскопические свойства этих процессов возникают вследствие явлений самоорганизации [12, 14].

Между синергетикой и другими физическими, техническими, химическими, биологическими, экономическими науками имеется внутренняя взаимосвязь. В то же время синергетика в каждую из наук вносит свои особенности и подходы, которые были не присущи или даже чужды традиционным направлениям этих наук [14]. В основе классического понимания науки всегда лежала некоторая совокупность экспериментальных результатов и выдвинутых учеными принципов или гипотез. Современная же наука, в отличие от классической, все в большей мере становится *концептуальной*. В этом отношении синергетика – это не новая наука в классическом понимании слова, а по существу новая

концепция, базирующаяся на свойстве самоорганизации систем различной природы. Синергетический подход стремится, в первую очередь, выявить макроскопические свойства того или иного процесса, например целых образований, популяций и т.д. Указанный подход не выделяет поведение отдельной особи или частицы, как это делается, например, в классической механике, для него наиболее важным является количество отдельных компонентов, входящих в общую систему. В синергетическом подходе предполагается, что само это *количество – параметр порядка – управляет* поведением каждого компонента (особи, частицы и т.д.) системы. В основе самоорганизующихся процессов лежит синергетический *принцип подчинения*, согласно которому исходная сложная система может быть представлена в виде некоторой сложной иерархической системы, состоящей из совокупности динамических подсистем. Эти подсистемы подчинены друг другу и находятся между собой в определенной динамической взаимосвязи.

Важно подчеркнуть, что основные принципы синергетики в полной мере согласуются с фундаментальными идеями современной физики, в которой кардинальное значение придается не силовым внешним воздействиям, на чем основана классическая механика, а *взаимодействиям* между компонентами системы [15]. Причем эти взаимодействия реализуются через динамические *паттерны* – некоторые энергетические «сгустки» (*аттракторы*) в окружающем поле, пронизывающем все пространство системы. Именно паттерны отражают динамическую, преходящую природу рассматриваемых явлений. И чем больше энергия, которая перераспределяется в результате образования новых паттернов, тем быстрее протекают процессы обмена между компонентами и, следовательно, тем сильнее взаимодействие.

Динамические взаимодействия отражают основную идею современной физики. В классической физике вся сущность окружающего мира объяснялась через понятие «силы», извне действующей на расстоянии. В отличие от этого, в современной физике силовые представления заменяются взаимодействиями между частицами, осуществляемыми посредством полей. Основная идея современной физики состоит в самосогласованности и внутренней последовательности всех законов природы. Здесь, по-видимому, уместно напомнить, что знаменитое древнекитайское учение Дао также рассматривает окружающий нас мир как динамический процесс взаимодействий и изменений. В «И цзин» – «Книге перемен» указывается: «Природные законы не являются внешними силами по отношению к вещам, они воплощают гармонию движения, свойственную самим вещам». Приведем еще один из постулатов учения Дао: «Вещи получают свое существование и свою природу посредством взаимозависимости и не являются ничем сами по себе» [15]. Эти определения в современном научном толковании означают понимание сил взаимодействия как проявление некоторых динамических паттернов, присущих компонентам (частицам) системы. Иначе говоря, в современной физике, как и в учении Дао, картина мира понимается как непрерывная цепь взаимоотношений со своими внутренними динамическими связями, т.е. определяется в терминах взаимодействий между компонентами системы, имеющими собственную динамическую природу. Основная, базовая идея современной физики состоит в самосогласованности и внутренней последовательности всех явлений и процессов природы. В синергетике изложенная здесь фундаментальная идея взаимодействий проявляется в процессах упорядочения и самоорганизации динамических систем.

Таким образом, в основе синергетики лежит фундаментальное явление самоорганизации в сложных нелинейных динамических системах. Однако синергетика еще не построила всеобщую и единую теорию самоорганизации, справедливую для всех видов природных и технических систем, поэтому в зависимости от конкретных свойств предметной области той или иной науки синергетический подход приобретает свои отличительные особенности и содержание. В этой связи в настоящее время мы можем говорить о синергетическом подходе как о некоторой направляющей концепции в соответствующей науке. Синергетика становится тем эволюционным естествознанием, которое позволяет теперь уже говорить о возникновении своего рода метаязыка целостного понимания

различных природных и технических явлений на основе единой научной концепции. Эта концепция позволяет построить новое отношение к процессу интегрального познания различных наук.

Однако недостаточно указать лишь на те или иные особенности синергетической парадигмы современной постнеклассической науки. Не менее важным для проблемы познания природных процессов является усвоение нелинейного способа мышления, избавление от повсеместного доминирования линейного подхода. А. Эйнштейн указывал, что «... истинные законы не могут быть линейными». Кардинальным в познании процессов самоорганизации природных систем является понимание неотделимости «порядка и хаоса», их парной дополнительности друг к другу.

Синергетика показала, что между процессами управления в технических системах и процессами самоорганизации в природных системах существует глубокая и весьма нетривиальная связь. Отсюда возникает фундаментальная проблема переноса основных положений синергетики на идеи и методы современной физической (химической, биологической и др.) теории управления. Однако в подходах этих наук существуют и определенные различия. Так, Г. Хакен утверждает, что «... и кибернетика, и синергетика придают первостепенное значение понятию *управления*, но при этом преследуют совершенно различные цели. Кибернетика занимается разработкой алгоритмов и методов, позволяющих управлять системой для того, чтобы та функционировала заранее заданным образом. В синергетике мы изменяем управляющие параметры более или менее непредсказуемым образом и изучаем *самоорганизацию* системы, т.е. различные состояния, в которые она переходит под воздействием «рычагов управления» [14]. Приведенное высказывание Г. Хакена в отношении аналогий и отличий в подходах синергетики и кибернетики, с одной стороны, указывает на охват этими интегральными науками общих закономерностей, включающих частные законы других наук. Однако, с другой стороны, вовсе не следует противопоставлять цели синергетики и кибернетики в отношении проблемы управления. В конечном итоге суть любой науки, в том числе и синергетики, состоит, во-первых, в познании человеком окружающего его мира и самого себя, и, во-вторых, в конструктивном использовании полученных знаний для формирования гармоничной окружающей среды и затем, по В.И. Вернадскому, ноосферы в составе мирового эволюционного процесса [16]. Кибернетика и, следовательно, теория управления отражают современный взгляд на науку как на некоторое конструктивное начало, а не только как на пассивное наблюдение за природными процессами и явлениями. Дело в том, что вплоть до последнего времени наука уделяла основное внимание изучению естественно-энергетической организации природных систем, оставляя несколько в стороне такую важную их особенность, как управление с целью самосохранения, причем в максимально возможной степени. В настоящее время возникла настоятельная необходимость выявления механизмов управления, действующих в природных системах и лежащих в основе их функционирования и развития. Представляется достаточно очевидным, что указанные механизмы должны базироваться на *концепции управляемого динамического взаимодействия* вещества, энергии и информации в природных системах [4, 5].

Итак, по Г. Хакену, в синергетических процессах, где отсутствуют целеполагающие причины, происходит стихийное изменение управляющих параметров, что дает возможность изучить свойство самоорганизации на диссипативных структурах фактически неуправляемой нелинейной системы. Другими словами, здесь важнейшими свойствами являются *самодвижение* и *самоорганизация*, а истинное понимание процессов заключается в изучении причин самоорганизации. Отсюда вытекает важный методологический вывод: для эффективного применения идеологии синергетики в проблемах управления следует осуществить переход от непредсказуемого поведения системы по алгоритму диссипативной структуры к *целенаправленному движению вдоль желаемых синергий – инвариантных многообразий*, к которым будут подстраиваться все другие переменные динамической системы. В данном случае цель уже выступает как определяющая сущность процесса, а его

истинное понимание состоит в *самоуправлении* и *самоорганизации* в соответствии с поставленной целью. Таким образом, в нелинейных динамических системах необходимо различать *причинный* и *целенаправленный* способы *самоорганизации*. Эти способы реализуются соответственно в синергетике с помощью обычных (адиабатических) связей [14], а в синергетической теории управления – путем введения динамических связей [4, 5].

В терминах синергетики обычные и динамические связи могут быть интерпретированы как способы введения соответственно «жестких» и «гибких» синергий. Существенное отличие этих синергий друг от друга состоит в том, что «гибкие синергии» образуют некоторую *информационную модель*, т.е. своеобразный «временный творческий коллектив» [17], который формируется законом управления для решения требуемой целевой задачи. И после решения указанной задачи этот «коллектив» может быть распущен и сформирован новый для реализации другой программы движения. Указанное динамическое осуществление инвариантных многообразий является практически важной и привлекательной особенностью с точки зрения основной задачи теории управления – синтеза эффективных систем. В распоряжении конструктора системы управления обычно имеется математическая модель объекта, однако модель – это не воплощенная в реальность жесткая, в частности, механическая конструкция, а некоторое адекватное информационное отражение объекта, в которое можно нежестко «ввести» различные внутренние динамические связи. Эти связи реализуются не с помощью неизменных, например, механических звеньев (твердых тел, соединенных шарнирами, и т.д.), а в виде информационных сигналов управления. Тем самым, условно говоря, «конструируется» фактически новый электромеханикоинформационный объект в виде замкнутой системы «исходный объект – регулятор». Новый объект обладает, по сравнению с исходным, расширенными показателями и характеристиками. Синтезируя должным образом соответствующие динамические регуляторы, т.е. вводя динамические связи, можно придать замкнутой системе (новому объекту) желаемые свойства с точки зрения решаемой ею технологической задачи управления. Следовательно, в механической интерпретации такой подход может быть представлен как своеобразный способ конструирования новых объектов с меняющимися по нашему желанию их динамическими свойствами и характеристиками [4, 5].

Подведем теперь итоги. В последнее время формируется *синергетическое видение и познание* окружающего нас мира, что отражает постнеклассический, бифуркационный этап развития современной науки. Синергетика, впитав в себя основополагающие идеи кибернетики и теории нелинейных динамических систем, принципиально обогащает их концептуальной идеей универсального эволюционизма [16], идеей возникновения и формирования самоорганизующихся диссипативных структур в системах различной природы.

Список литературы:

1. Пригожин И., Стенгерс И. Порядок из хаоса. М.: Прогресс, 1986.
2. Назаретян А.П., Новотный У. Русский космизм и современная прогностика // Вестник РАН, 1998, том 68, № 5.
3. Степин В.С. Саморазвивающиеся системы и перспективы техногенной цивилизации // Синергетическая парадигма. М.: Прогресс-Традиция, 2000.
4. Колесников А.А. Синергетическая теория управления. М.: Энергоатомиздат, 1994.
5. Колесников А.А. Синергетические методы управления сложными системами: теория системного синтеза. –М.: УРСС/КомКнига, 2006, 2012.
6. Келле В.В. Информация и технологический риск // Системная концепция информационных процессов. Сб. тр. ВНИИСИ, вып. 3, М.: 1988.
7. Красовский А.А. Проблемы физической теории управления // Автоматика и телемеханика, 1990, № 11.
8. Винер Н. Кибернетика или управление и связь в животном и машине. М.: Сов. радио, 1968.
9. Неймарк Ю.И., Коган Н.Я., Савельев В.П. Динамические модели в теории управления. М.: Наука, 1983.
10. Кадомцев Б.Б. Динамика и информация. М.: УФН, 1997.

11. Хакен Г. Информация и самоорганизация. М.: Мир, 1991.
12. Николис Дж. Динамика иерархических систем. Эволюционное представление. М.: Мир, 1989.
13. Лобковский Б.А. Наука изобретать. СПб.: Нордмет-Издат, 2000.
14. Хакен Г. Синергетика. Иерархия неустойчивостей в самоорганизующихся системах и устройствах. М.: Мир, 1985.
15. Капра Ф. Дао физики. СПб.: Орис, 1994.
16. Моисеев Н.Н. Расставание с простотой. М.: Аграф, 1998.
17. Беркинблит М.Б., Гельфанд И.М., Фельдман А.Г. Двигательные задачи и работа параллельных программ // Интеллектуальные процессы и моделирование. Организация движения. М.: Наука, 1991.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ (проект №620 базовой части госзадания)