по курсу концепций

современного естествознания

Тема: *«Синергетика – теория самоорганизации»*

План :

**1. Введение……………………………………………………..….…..…...2**

**2. Основная часть.**

2.1 Ключевые положения синергетики…………………………………...5

2.2 Синергетика и синергетики…………………………………………..14

2.3 Пути формирования синергетики……………………………………16

**3. Заключение…………………………………………………….………20**

**Словарь терминов………………………………………………….……22**

**Библиографический список……………………………………….…...24**

**Введение**

**Синергетика** – современная теория самоорганизующихся систем, основанная на принципах целостности мира, общности закономерностей развития всех уровней материальной и духовной организации; нелинейности (многовариантности, альтернативности) и необратимости, глубинной взаимосвязи хаоса и порядка, случайности и необходимости.

Почему целое может обладать свойствами, которыми не обладает ни одна из его частей? В чем человек видит сложность окружающего его мира? Почему, зная фундаментальные физические законы, мы не можем предсказывать поведение простейших биологических объектов? Как согласовать следующую из классической термодинамики тенденцию к установлению равновесия с переходом от простого к сложному, от низшего к высшему, который мы видим в ходе биологической эволюции?

Перечисленные вопросы еще совсем недавно можно было бы смело назвать общефилософскими и отнести к той науке, которые представляет собой учение об общих принципах пребывания человека в мире, взаимодействия человека с миром и его преобразования – а наукой этой является философия.

И, на самом деле, не более как полтора десятилетия назад эти вопросы специалисты относили к компетенции философии. Сейчас же они встают в конкретном контексте физических, химических, биологических задач. В их решении все больше помогает теория самоорганизации, или *синергетика* (от греческого synergeia – совместное действие).

Почему, однако, общефилософские вопросы вдруг стали предметом рассмотрения теории синергетики и почему в этом возникла необходимость?

Что стало причиной возникновения науки самоорганизации, какие причины привели к возникновению этой науки, чем отличается взгляд на мир этой науки от представлений, выработанных раньше? Попробуем ответить на эти вопросы.

Очевидно, что системы, существующие в природе, безусловно, не похожи на те, которые созданы человеком и существенно отличаются от них.

Для систем, существующих в естественной природной среде, характерны устойчивость относительно внешних воздействий, возможность к самоусложнению, развитию, росту, самообновляемость и согласованность всех составных частей. Для систем же, являющихся творением рук человеческих, свойственны такие черты, как резкое ухудшение функционирования даже при сравнительно небольшом изменении внешних воздействий или ошибках в управлении.

При этом сам собой напрашивается вывод: нужно позаимствовать опыт построения организации, накопленный природой, и использовать его в нашей деятельности. Отсюда вытекает одна из *задач синергетики*: выяснение законов построения организации, возникновения упорядоченности. В отличие от кибернетики здесь акцент делается не на процессах управления и обмена информацией, а на принципах построения организации, ее возникновении, развитии и самоусложнении.

При решении задач в самых разных областях от физики и химии до экономики и экологии, создание и сохранение организации, формирование упорядоченности является либо целью деятельности, либо ее важным этапом. Покажем это на следующих примерах.

Первый – задачи, связанные с управляемым термоядерным синтезом. В большинстве проектов самый важный момент – создание необходимой пространственной или пространственно-временной упорядоченности.

Другой пример – формирование научных коллективов, где активная творческая работа большинства сотрудников должна сочетаться с возможностью совместно решать крупные задачи. Такой коллектив должен быть устойчив и быстро реагировать на все новое. Какова же оптимальная организация, позволяющая добиваться этого?

Данный вопрос особенно остро стоит при исследованиях таких глобальных проблем, как энергетические, экологические и многие другие проблемы, которые требуют привлечения огромных ресурсов. И здесь нет возможности искать ответ методом проб и ошибок, а «навязать» системе необходимое поведение очень трудно. Гораздо разумнее действовать, опираясь на знание внутренних свойств системы, законов ее развития. В такой ситуации значение законов самоорганизации, формирования упорядоченности в биологических, физических и других системах трудно переоценить.

Еще одной причиной, обусловившей создание синергетики, является необходимость при решении ряда задач науки и техники анализировать сложные процессы различной природы, используя при этом новые математические методы.

Классическая математическая физика (наука об исследовании математических моделей физики) имело дело с линейными уравнениями. Формально это уравнения, в которые неизвестные входят только в первой степени. А реально они описывают процессы, идущие одинаково при разных внешних воздействиях. С

увеличением интенсивности воздействия изменения остаются количественными, новых качеств не возникает.

Однако ученым все чаще приходится иметь дело с явлениями, где более интенсивные внешние воздействия приводят к качественно новому поведению системы. Здесь нужны нелинейные математические модели. Их анализ – дело гораздо более сложное, но при решении многих задач он необходим.

Это приводит к формированию широкого фронта исследований нелинейных явлений, к попыткам создать общие подходы, применимые ко многим системам. Именно такие подходы и применяются в синергетике.

Целью данного реферата является приведение наиболее точного определения понятия «синергетика», выделение ключевых положений и идей этой теории, изложение основных взглядов синергетиков, а также рассмотрение путей формирования синергетики как науки.

1. **Основная часть.**
   1. **Ключевые положения синергетики.**

## Вопрос о возникновении из простого сложного считается в науке одним из самых сложных. Лишь во второй половине XX в. наука стала осваивать сложные системы теоретически. В этой связи появилась особая наука, *синергетика*, теория самоорганизации сложных систем. Слово «синергетика» древнегреческого происхождения, в переводе на русский язык означает «сотрудничество, совместное действие».

## Как видно, лингвистический смысл слов разный, но их концептуальный смысл одинаков, так как синергетика – новое направление междисциплинарных исследований, предметом которых являются процессы самоорганизации в открытых системах химической, биологической, физической, экологической и другой природы.

## Термин «синергетика» ввел в научный обиход английский физиолог Ч.С. Шеррингтон более ста лет назад. Приоритет в разработке системы понятий, описывающих механизмы самоорганизации, взаимоподобные процессы развития в мире, принадлежит немецкому физику Г. Хакену («Синергетика. Иерархия неустойчивостей в самоорганизующихся системах и устройствах»), бельгийскому ученому русского происхождения, лауреату Нобелевской премии И. Пригожину («Самоорганизация в неравновесных системах», «Философия нестабильности» и др.), российским ученым С.П. Курдюмову, М.В. Волькенштейну, Ю.А. Урманцеву и др. Предложенный Г. Хакеном, этот термин акцентирует внимание на согласованности взаимодействия частей при образовании структуры как единого целого.

## Рассмотрим *особенность синергетики как науки*. В отличие от большинства новых наук, возникавших, как правило, на стыке двух ранее существовавших и характеризуемых проникновением метода одной науки в предмете другой, синергетика возникает, опираясь не на граничные, а на внутренние точки различных наук, с которыми она имеет ненулевые пересечения: в изучаемых синергетикой системах, режимах и состояниях физик, биолог, химик и математик видят свой материал, и каждый из них, применяя методы своей науки, обогащает общий запас идей и методов данной науки.

Эту особенность синергетики подробно охарактеризовал Хакен: «Данная конференция, как и все предыдущие, показала, что между поведением совершенно различных систем, изучаемых различными науками, существуют поистине удивительные аналоги. С этой точки зрения данная конференция служит еще одним примером существования новой области науки – Синергетики. Разумеется, Синергетика существует не сама по себе, а связана с другими науками по крайней мере двояко.

Во-первых, изучаемые Синергетикой системы относятся к компетенции различных наук. Во-вторых, другие науки привносят в Синергетику свои идеи»\*.

Итак, синергетика как наука делает первые шаги, и существует сразу не в одном, а в нескольких вариантах, отличающихся не только названиями, но и степенью общности и акцентами в интересах.

Когда Г. Хакена как одного из основателей синергетики попросили назвать ключевые положения синергетики, то он перечислил их в следующем порядке:

1. «Исследуемые системы состоят из нескольких или многих одинаковых или разнородных частей, которые находятся во взаимодействии друг с другом.
2. Эти системы являются нелинейными.
3. При рассмотрении физических, химических и биологических систем речь идет об открытых системах, далеких от теплового равновесия.
4. Эти системы подвержены внутренним и внешним колебаниям.
5. Системы могут стать нестабильными.
6. Происходят качественные изменения.
7. В этих системах обнаруживаются эмерджентные (т.е. вновь возникшие) новые качества.
8. Возникают пространственные, временные, пространственно-временные или функциональные структуры.
9. Структуры могут быть упорядоченными или хаотичными.
10. Во многих случаях возможна математизация»\*\*.

\* Chaos and order in nature /Ed. by H. Haken. B. etc. 1980.

\*\* Интервью с профессором Г. Хакеном // Вопросы философии. 2000. № 3.

В приведенных выше десяти положениях Хакену действительно удалось в весьма лаконичной форме выразить основное содержание синергетики. Для полноты картины рассмотрим это содержание.

Хакен прежде всего подчеркивает, что части систем взаимодействуют друг с другом. Он выделяет истоки, которые приводят к образованию новых систем. Обычно рассуждают так: сложное возникает из простого, но ведь это непостижимо. Хаос есть хаос, он никак не может превратиться в порядок. Логика Хакена идет в другом направлении. Основополагающий системный фактор состоит не в хаотичности, а во взаимодействии, в динамике.

Динамика не чужда даже хаосу. А раз так, то вполне возможно, что в хаосе рождается порядок, упорядоченность. Это действительно имеет место. Многим упорядочение хаоса, его самоорганизация кажется чем-то диковинным. Им трудно понять, что хаос не лишен динамики, они абсолютизируют хаос, считают его деструктивным началом.

Важнейшим концептом синергетики является *нелинейность*. В синергетике основное внимание уделяется изучению нелинейных математических уравнений, т.е. уравнений, содержащих искомые величины в степенях, не равных 1, или коэффициенты, зависящие от среды. Линейность абсолютизирует поступательность, безальтернативность, торжество постоянства. Нелинейность фиксирует непостоянство, многообразие, неустойчивость, отход от положений равновесия, случайности, точки ветвления процессов, *бифуркации*.

Точкой бифуркации называют состояние максимальной хаотичности неравновесного процесса (от лат. bifurcus – раздвоенный). Благодаря хаотичности дальнейшее развертывание неравновесного процесса имеет не один путь движения, а множество возможных путей из зоны ветвления, то есть из точки бифуркации. Состояние бифуркации можно уподобить положению шарика на выпуклой поверхности, типа сферической, которое является неустойчивым.

Любое влияние может вывести шарик из неустойчивого состояния, и он начнет скатываться сверху вниз. По какой траектории он будет скатываться из точки бифуркации – угадать точно нельзя. Это – случайный процесс.

Имея дело с открытыми (имеющими источники и стоки энергии) нелинейными системами, синергетика утверждает, что мир возникает в результате самопроизвольных и самоорганизующихся механизмов. В их основе лежит единая симметрия форм в живой и неживой природе. Например, спирали Галактики и циклона подобны спирали раковины улитки, рогов животных. Есть общность структуры Вселенной и живой природы, урбанизации и географического распределения населения и т.п.

Синергетика объясняет, почему образуются именно эти структуры. Она обосновывает положение, согласно которому подобные структуры являются структурами эволюционными. Функциональная общность процессов самоорганизации систем, их устойчивость поддерживается законами ритма (день – ночь, подъем – спад в творческой активности человека, в экономике и т.п.).

Случайность оказывается необходимым элементом мира: порядок (закон) и беспорядок (хаос) включают в себя друг друга. Более того, случайность играет роль творческого начала в процессе самоорганизации. Чем дальше от состояния равновесия, тем быстрее растет число решений, состояний сложной системы.

Иначе говоря, система в состоянии равновесия «слепа», а в неравновесных условиях она «воспринимает» различия внешнего мира и «учитывает» их в своем функционировании. Срабатывает эффект бумеранга, который ускоряет протекание процессов.

Доказав конструктивную роль случайности, синергетика явилась в определенном плане рационализацией житейского афоризма: «Незначительные причины всегда ведут к большим следствиям». Паскаль выразил эту идею следующим образом: «Будь нос Клеопатры короче, лик мира был бы иным».

Синергетика, как правило, имеет дело с *открытыми* системами, далекими от равновесия. Открытость системы означает наличие в ней источников и стоков, например, вещества, энергии и информации.

Чтобы система образовалась, необходим соответствующий динамический источник, который как раз и выступает организующим началом. Без подвода вещества и энергии организмы вымирают, без подвода газа не горит пламя в газовой горелке; безжизненной оказывается любая социальная система, обесточенная в информационном отношении. Там, где наступает равновесие, самоорганизация прекращается.

Самоорганизующиеся системы подвержены *колебаниям*. Именно в колебаниях система движется к относительно устойчивым

структурам. Нелинейные уравнения, как правило, описывают колебательные процессы. Теория колебаний важна не только в радиотехнических, но и в любых других системных процессах.

Если параметры системы достигают критических значений, то система попадает в состояние неравновесности и неустойчивости. Именно в силу этого происходят качественные изменения и, следовательно, возникают новые качества, своеобразный режим с обострением. Новое возникает быстро. И, как правило, под воздействием легких бифуркационных возмущений. Как часто ученые, анализирующие генезис биологических и социальных систем, ведут поиск глобальных факторов, мощных и объемных. Но вполне возможно, что существенные изменения явились результатом малых возмущений, которые привели систему в резонансное состояние. Развитие идет через неустойчивость и часто посредством малых возбуждений.

Одним из сенсационных открытий было обнаружение Лоренцом\* сложного поведения сравнительно простой динамической системы из трех обыкновенных дифференциальных уравнений первого порядка с квадратичными нелинейностями. При определенных значениях параметров траектория системы вела себя столь запутанным образом, что внешний наблюдатель мог бы принять ее характеристики за случайные.

Природа странного *аттрактора* (от лат. attrahere – притягивать) Лоренца была изучена совместными усилиями физиков и математиков. Как и в случае многих других моделей синергетики, выяснилось, что система Лоренца описывает самые различные физические ситуации – от тепловой конвекции в атмосфере до взаимодействия бегущей электромагнитной волны с инверсно-заселенной двухуровневой средой, когда частота волны совпадает с частотой перехода\*\*. Из экзотического объекта странный аттрактор Лоренца оказался довольно быстро низведенным до положения заурядных «нестранных» аттракторов – притягивающих особых точек и предельных циклов. От него стали уставать: легко ли обнаруживать странные аттракторы буквально на каждом шагу!

Однако в запасе у странного аттрактора оказалась еще одна довольно необычная характеристика, оказавшаяся полезной при описании фигур и линий, обойденных некогда вниманием Евклида, - так называемая *фрактальная размерность*.Нейман Дж. фон. Теория самовоспроизводящихся автоматов. М: Мир, 1971. Рабинович М.И. Стохастические автоколебания и турбулентность. - УФК, 1978, 125, №1.

Мальдельброт\* обратил внимание на то, что довольно широко распространенное мнение о том, будто размерность является внутренней характеристикой тела, поверхности, тела или кривой неверно (в действительности, размерность объекта зависит от наблюдателя, точнее от связи объекта с внешним миром).

Суть дела нетрудно уяснить из следующего наглядного примера. Представим себе, что мы рассматриваем клубок ниток. Если расстояние, отделяющее нас от клубка, велико, то клубок мы видим как точку, которая лишена всякой внутренней структуры, т.е. геометрический объект с евклидовой (интуитивно воспринимаемой) размерностью 0. Приблизив клубок на некоторое расстояние, мы будем видеть его как плоский диск, т.е. как геометрический объект размерности 2. Приблизившись к клубку еще на несколько шагов, мы увидим его в виде шарика, но не сможем различить отдельные нити – клубок станет геометрическим объектом размерности 3. При дальнейшем приближении к клубку мы увидим, что он состоит из нитей, т.е. евклидова размерность клубка станет равной 1. Наконец, если бы разрешающая способность наших глаз позволяла нам различать отдельные атомы, то, проникнув внутрь нити, мы увидели бы отдельные точки – клубок рассыпался бы на атомы, стал геометрическим объектом размерности.

Но если размерность зависит от конкретных условий, то ее можно выбирать по-разному. Математики накопили довольно большой запас различных определений размерности. Наиболее рациональный выбор определения размерности зависит от того, для чего мы хотим использовать это определение.

Мандельброт предложил использовать в качестве меры «нерегулярности» (изрезанности, извилистости и т.п.) определение размерности, предложенное Безиковичем и Хаусфордом. *Фракталь* - это геометрический объект с дробной размерностью Безиковича и Хаусфорда. Странный аттрактор Лоренца – один из таких фракталей.

Размерность Безиковича-Хаусфорда всегда не меньше евклидовой и совпадает с последней для регулярных геометрических объектов (для кривых, поверхностей и тел, изучаемых в современном учебнике евклидовой геометрии). Разность между размерностью Безиковича-Хаусфорда и евклидовой – «избыток размерности» - может служить мерой отличия геометрических \* Mandelbrot B.B. Fractals. San Francisco: W.H. Freeman and Co., 1977.образов от регулярных.

О степени упорядоченности или неупорядоченности («хаотичности») движения можно судить и по тому, насколько равномерно размазан спектр, нет ли в нем заметно выраженных максимумов и минимумов. Эта характеристика лежит в основе так называемой топологической энтропии, служащей, как и ее статический прототип, мерой хаотичности движений.

Очень важно, что синергетика выступает в ранге математической дисциплины. Математическое моделирование сложных систем и осуществляемые в этой связи вычислительные эксперименты показывают, что иногда удается обойтись уравнениями, содержащими всего несколько переменных. Научное познание ведет к ясности и точности там, где расхожее мнение видит сплетение представляющихся исключительно загадочными событий.

Синергетика, как это показал в своих многочисленных работах И. Пригожин, позволяет с новых позиций понять два важнейших фактора существования как нас самих, так и нашего окружения - *время и необратимость*.

Речь идет о том, что, во-первых, именно необратимость играет конструктивную роль, во-вторых, следует переоткрыть понятие времени. Рассмотрим суть данной проблемы.

В свое время теория Ч. Дарвина послужила толчком для развертывания исследований развития природных и социальных систем. Эволюционная концепция заставила даже физиков по-иному взглянуть на свой предмет и на природу в целом. Дело в том, что у биологов и физиков существовали прямо противоположные взгляды на эволюцию природы.

В биологии время необратимо, его стрела идет от рождения особи к ее смерти, но нет той же связи между необратимостью и временем, что в термодинамических системах. Живое более упорядочено, чем неживое, оно «питается» негативной энтропией, и тем не менее его жизнь необратима.

В термодинамике при выравнивании температур энтропия в замкнутой системе всегда увеличивается. Согласно Л. Больцману, термодинамическое время необратимо, существует стрела времени.

Однако в классической механике время считается обратимым. Если подставить в уравнение, например, второго закона Ньютона вместо t – t, то уравнение остается одним и тем же. Прямое и обратное течение времени равнозначны. Считалось, что для описания движения достаточно задать начальные условия, прежде всего координаты и скорость. Тогда с помощью законов механики можно будет определить положение движущегося тела в любой момент будущего и прошедшего времени. Иначе говоря, фактор времени там не играл существенной роли.

Итак, налицо неприятная ситуация: в одной физической теории, а именно в механике, время считается обратимым, а в другой, в термодинамике, время, наоборот, признается необратимым. Такая несогласованность вызывает у ученых подозрение, они стремятся к преодолению противоречия.

Пригожин, стремясь преодолеть эти противоречия, обращается к синергетическим идеям, которые имеют междисциплинарный характер, т.е. позволяют рассмотреть и физические, и биологические, и химические, и социальные системы. Ученый приходит к выводу, что время всегда необратимо, а необратимость связана с самоорганизацией систем и составляет стержневую основу всякой эволюции. С высот синергетики заслуживают известной переоценки все другие концептуальные системы. Переоткрытие времени вынуждает человечество с новых позиций оценить свое будущее и возможные в этой ситуации стратегии.

Синергетический тип мышления конкретизирует в границах самоорганизующихся систем древний философский принцип «все в одном и одно во всем». По мнению российского ученого М.А. Маркова, возможно, существует элементарная частица, называемая *фридмоном*, которая «заключает в себе весь мегамир». Принцип «все в одном» открывает возможности определения характера процессов в больших масштабах, зная их протекание в малых масштабах, и наоборот. Синергетика позволяет «нащупать» внутреннюю связь элементов мира, которая осуществляется через малые воздействия, флуктуации. Последние могут давать возможность выйти на иные уровни организации, наметить связь разнокачественных уровней бытия. Но синергетика очерчивает границы применимости этого положения: малые воздействия могут всплыть с нижележащих уровней не всегда, но лишь на определенных типах сред, на таких, которые способны с нелинейной положительной обратной связью их усилить.

В образе мира, создаваемом синергетикой, такое фундаментальное качество системы, относящееся к уровню ее элементного строения, как случайность, ответственно за перемены в глобальных масштабах. Мир нестабилен. В своих основаниях он имеет жесткое, и пластичное начала. Гибкое начало означает случайность, ответственную за появление нового в процессах развития. Жесткое начало – существование в мире неизменных связей. Чтобы понять мир глубже, необходимо множество описаний, не сводимых друг к другу, но тем не менее связанных правилами перехода. Динамическое описание и описание в терминах необратимости и есть два вида таких описаний: первое отражает развитие в форме движения, траекторий или уровней энергии; второе касается конечных процессов, измерений, мира структур, в которых происходит рассеяние энергии (распад атомов, химические реакции, затухание колебаний). По замечанию Пригожина, «в философской терминологии оба вида описания отвечают соответственно «бытию» и «становлению». И ни бытие, ни становление по отдельности не могут дать полной картины».

Междисциплинарный характер синергетики позволяет построить на ее основе *модель универсального эволюционизма.*

Много сделал в этом отношении в последние годы академик Н.Н. Моисеев. Он утверждает, что человечество как в физическом, так и в биологическом и в социальном смысле «держится на острие»\*. Ускорение процессов развития человечества сопровождается понижением уровня его стабильности. Естественно, ход развития человечества сопровождается состояниями неустойчивости, возникают новые аттракторы.

Так как человечество в облике ноосферы приобрело *всепланетарный статус,* то в эволюцию вовлекаются все природные и социальные системы. Эволюция стала процессом общепланетарным. На основе этого Моисеев вводит представление о двух императивах – нравственном и экологическом.

*Нравственный императив* понимается как обновленная нравственность, заслоняющая людей от опасности социального порядка. *Экологический императив* выступает при этом как запрет на изменение тех свойств окружающей среды, которые могут поставить под угрозу само существование человечества. Сложнейшая проблема состоит в обеспечении коэволюции общественных и природных систем.

Как ни парадоксально, новое направление, столь успешно \* Моисеев Н.Н. Универсальный эволюционизм (Позиция и следствия) // Вопросы философии. 1991. №3. С. 3-28.справляющееся с задачей наведения порядка в мире хаоса, существенно меньше преуспело в наведении порядка среди структур. В частности, при поиске и классификации структур почти не используется понятие симметрии, играющее важную роль во многих разделах точного и описательного естествознания.

Так же как и размерность, симметрия существенно зависит от того, какие операции разрешается производить над объектом. Например, строение тела человека и животных обладает билатеральной ( от би… и лат. lateralis – боковой; двусторонний, двубокий, относящийся к обеим сторонам, частям чего-то) симметрией, но операция перестановки правого и левого физически не осуществима. Следовательно, если ограничиться только физически выполнимыми операциями, то билатеральной симметрии не будет. Симметрия – свойство негрубое: небольшая вариация объекта, как правило, уничтожает весь запас присущей ему симметрии.

Если определение симметрии выбрано, то оно позволяет установить отношение эквивалентности между изучаемыми объектами. Все объекты, принадлежащие одному и тому же классу, могут быть переведены друг в друга надлежаще выбранной операцией симметрии, в то время как объекты, принадлежащие различным классам, ни одной операцией симметрии друг в друга переведены быть не могут.

Симметрию следует искать не только в физическом пространстве, где разыгрывается процесс структурообразования, но и в любых пространствах, содержащих «портрет» системы.

* 1. **Синергетика и синергетики**

Подобно тому, как кибернетике Винера предшествовала кибернетика Ампера, имевшая весьма косвенное отношение к «науке об управлении, получении, передаче и преобразовании информации в кибернетических системах»\*, синергетика Хакена имела своих «предшественниц» по названию: синергетику Ч. Шеррингтона, синергию С. Улана и синергетический подход И. Забуского.\* Словарь по кибернетике. Киев: Гл. ред. Укр. Сов. Энцикл., 1979

Чарлз Скотт Шеррингтон (1857 – 1952), английский физиолог, разработал концепцию интегративной деятельности нервной системы. Он называл синергетическим согласованное воздействие нервной системы (спинного мозга) при управлении мышечными движениями.

С. Улам был непосредственным участником одного из первых численных экспериментов на ЭВМ первого поколения (ЭНИВАКе). Эксперимент, проведенный над числовым аналогом системы кубических осцилляторов (осциллятор, от лат. oscillo – качаюсь, - колеблющаяся система), привел к неожиданному результату, породив знаменитую проблему Ферми-Пасты-Улама: проследив за эволюцией распределения энергии по степеням свободы на протяжении достаточно большого числа циклов, авторы не обнаружили ни малейшей тенденции к равнораспределению. С. Улам, много работавший с ЭВМ, понял всю важность и пользу «синергии, т.е. непрерывного сотрудничества между машиной и ее оператором», осуществляемого в современных машинах за счет вывода информации на дисплей.

Решение проблемы Ферми-Пасты-Улама было получено в начале 60-х гг. М. Крускалом и Н. Забуским, которые доказали, что система Ферми-Пасты-Улама представляет собой разностный аналог уравнения Кортевега-де Вриза и что равнораспределению энергии препятствует солитон (термин, предложенный Н. Забуским), переносящий энергию из одной группы мод в другую.

Реалистически оценивая ограниченные возможности как аналитического, так и численного подхода к решению нелинейных задач, И. Забуский пришел к выводу о необходимости единого синтетического подхода. По его словам, «синергетический подход к нелинейным математическим и физическим задачам можно определить как совместное использование обычного анализа и численной машинной математики для получения решений разумно поставленных вопросов математического и физического содержания системы уравнений»\*.

Если учесть сложность систем и состояний, изучаемых синергетикой Хакена, то становится ясно, что синергетический подход Забуского (и как составная его часть – синергия Улама) займет достойное место среди прочих средств и методов \* Nonlinear partial differential equations. N. Y.: Acad. press, 1967. синергетики. Иначе говоря, уповать только на аналитику было бы чрезмерным оптимизмом.

* 1. **Пути формирования синергетики**

Примерно в 60-х гг. XX века научные представления о процессах самоорганизации в открытых неравновесных системах формировались разрозненно и независимо в разных дисциплинах. Однако в 70-х гг. они стали предметом сравнения и в них обнаружилось много общего.

И. Пригожин через разработку термодинамики сильнонеравновесных систем вышел на свою теорию самоорганизации. Данному варианту термодинамики предшествовала разработка теории стационарных, или устойчивых, неравновесных систем. Стационарное неравновесие достигается, когда внешнее воздействие выводит систему из состояния равновесия, но так как это воздействие недостаточно велико, то неравновесное состояние системы удерживается вблизи от состояния равновесия.

Такие состояния оказались для ученых интересными по двум причинам. Во-первых, для подобных случаев с некоторыми поправками применим теоретический аппарат термостатики. В открытых системах происходит рост энтропии. И. Пригожин доказал, что в них производится минимальная энтропия. Во-вторых, для феноменологического объяснения устойчивости неравновесных состояний может использоваться принцип Ле Шателье-Брауна, который означает, что система, выведенная внешним воздействием из состояния с минимальным производством энтропии, стимулирует развитие процессов, направленных на ослабление внешнего воздействия. Иначе говоря, системы, находящиеся в стационарном неравновесном состоянии, обладают от природы свойством устойчивости.

Общая теория устойчивости впервые была исследована и разработана русским математиком А.М. Ляпуновым (1857-1918). Суть данной теории состоит в том, что устойчивые состояния не теряют своей устойчивости при флуктуации физических параметров. За счет внутренних взаимодействий система способна погасить возникающие флуктуации. А неустойчивые системы, напротив, при возникновении флуктуаций способны усиливать их, и в результате нарастания амплитуды возмущений система с ускорением переходит из стационарного неравновесия в неустойчивое неравновесное состояние, которое ведет к хаосу.

В 50-60-х гг. XX столетия логика научного развития потребовала перейти от рассмотрения слабонеравновесных к изучению сильнонеравновесных систем. Здесь и завязка проблемы.

Это означает, что для сильнонеравновесных состояний потребовалось снова разрабатывать теорию. После того, как И. Пригожин выполнил эту работу, оказалось, что данная теория есть новая концепция самоорганизации химических и физических систем.

В начале 70-х гг. особое внимание И. Пригожина привлекла химическая реакция, названная реакцией Белоусова-Жаботинского. Сопоставив ход данной реакции с теорией Тьюринга, Пригожин вместе с группой бельгийских ученых переформулировал теорему Тьюринга и выдвинул свою теоретическую модель самоорганизации.

Источник самоорганизации Пригожин увидел в флуктуациях, которые до некоторых пор гасятся силами внутренней инерции. Затем случайные микрофлуктуации перерастают в состояние хаоса. После того, как в систему с хаотическим состоянием поступает из среды достаточно большое количество свежей энергии, то из хаоса рождаются крупномасштабные флуктуации макроскопического уровня. Так, по Пригожину, из хаоса рождаются макроскопические состояния, так он объясняет самоорганизацию химических и физических систем. Анализ промежуточных продуктов химических реакций показал сходство этих процессов с автоколебаниями систем различной природы. Сам термин «автоволны» был введен академиком Р.В. Хохловым (1926-1977). Теория автоколебательных процессов разрабатывалась школой академика Л.И. Мандельштама (1873-1944), школой академика А.А. Андронова (1901-1952) и др.

Типичный пример автоволны – нервный импульс, который бежит без затухания по нервному волокну диаметром менее 0,025 мм и длиной до 1,5 м.

Исследования показывают, что обработка информации в коре головного мозга осуществляется не в форме активности отдельных нейронов (как в ЭВМ), а на уровне взаимодействий между автоволнами возбуждения и торможения, которые охватывают обширные участки головного мозга.

Немецкий физик Г. Хакен пришел к концепции самоорганизации через разработку проблем квантовой электроники, точнее – от изучения механизмов образования лазерного луча. Он отмечал особую роль коллективного поведения подсистем, и для обозначения процессов самоорганизации ввел понятие «синергетика». По мнению Хакена, самоорганизация – это «спонтанное образование высокоупорядоченных структур из зародышей или даже из хаоса».

По Г. Хакену, характерными чертами процессов самоорганизации являются: кооперативность действия элементов и подсистем, образующих систему; нелинейность процесса, выражаемая уравнениями второй или третьей степени; неравновесность состояния, поддерживаемая за счет энергии среды; пороговый характер процессов самоорганизации.

Еще одним источником идей синергетики стали работы немецкого ученого М. Эйгена, который показал, что при благоприятных условиях среды сложные органические молекулы способны к самовоспроизводству и усложнению организации на предбиологическом уровне.

Таким образом, исследование процессов самоорганизации в начале 60-х гг. ограничилось отдельными естественнонаучными дисциплинами. Но в 70-х гг. ученые все же начали выходит за рамки своих дисциплин и заметили, что их идеи аналогичны. В 70-80-х гг. стали проводиться совместные научные конференции представителей разных дисциплин и стало оформляться новое научное направление – синергетика, или общая теория самоорганизации систем различной природы. Одновременно с этим обнаружили ее системный характер.

Нужно заметить, что формирование синергетики как общенаучного направления не завершено и еще продолжается. В синергетике до сих пор не получил адекватного решения главный вопрос – об истинных источниках самоорганизации. А без этого само понятие самоорганизации остается условным и недостаточно осмысленным, имеющим лишь рабочее значение. В этом отношении более гибкую позицию занял сам Хакен, когда во введении к своей работе дал обоснование термину «синергетика»: « *Я назвал новую дисциплину «синергетикой» не только потому, что в ней исследуется совместное действие многих элементов систем, но и потому, что для нахождения общих принципов, управляющих самоорганизацией, необходимо кооперирование многих различных дисциплин»\**.

Из всего вышесказанного можно сделать вывод, что имеющиеся в синергетике наработки не должны волевым образом распространяться на другие дисциплины. Напротив, изучение специфических потребностей разных дисциплин должно служить стимулом для развития самой синергетики.

**3. Заключение**

Сделаем некоторые выводы.

Под *синергетикой* следует понимать теорию самоорганизации сложных систем, характерными чертами которых являются взаимодействие их частей, открытость, нелинейность, наличие колебаний, качественных изменений, вновь возникших (эмерджентных) качеств, структур-аттракторов, той или иной степени упорядоченности, наличие нестабильностей.

В отличие от рационализма прошлых столетий, идея нестабильности ведет к осуществлению «новой рациональности», которая подобна деятельности художника. Например, в фуге Баха заданная композитором тема допускает множество продолжений, из которых истинный художник выбирает (сразу, мгновенно) необходимое ему, оправданное логикой саморазвития темы.

Мир, природа и общество с имманентной организацией также «выбирают» из множества альтернатив, которые может навязать человек, лишь ту, которая отвечает их законам. Естественно, такие системы требуют новых принципов управления: раз система сама себя «строит», то необходимо правильно инициировать в ней желательные тенденции, ибо количество путей эволюции не бесконечно. Необходимо создавать сценарии «потребного будущего» с тем, чтобы в нужный момент воздействовать на среду. Следует изучать не только способы воздействия, но и его последствия. Желаемый эффект получается только в том случае, если воздействие созвучно внутренним свойствам системы (эффект резонанса).

Синергетические представления позволяют оценить характер становления, эволюции и развития человека, общества и человечества. Во-первых, нет ничего удивительного в том, что в далеком прошлом взорвался протовакуум, потому что оказался в состоянии неравновесности и в итоге «скатился» к определенному аттракторному состоянию, сопровождавшемуся расширением и охлаждением физической Вселенной.

Во-вторых, мало удивительного в том, что живые организмы способны сохранять свою устойчивость, это происходит благодаря обратным отрицательным связям.

В-третьих, нет ничего удивительного и в том, что «сборка» физико-химических элементов привела к возникновению живого. В рамках сложных систем возникновение жизни не случайно, а закономерно – в смысле синергетической самоорганизации.

В-четвертых, с синергетических позиций эволюция мира живого, которая по линии развития древесных млекопитающих привела к становлению человека как биологического вида, представляется вполне закономерной.

В-пятых, возникновение и обновление экономических, эстетических, политических и религиозных составляющих также вполне укладывается в картину синергетических представлений.

Концептуальная сила синергетического подхода такова, что он не без успеха используется в качестве междисциплинарного средства для описания всех сколько-нибудь сложных систем.

Исходя их всего вышесказанного следует заметить, что хаос – один из результатов действия динамических факторов, а отнюдь не деструктивное начало.

Синергетика позволяет с новых позиций понять время и необратимость: время необратимо, а необратимость играет при случае конструктивную роль.

Синергетика имеет междисциплинарный характер, она позволяет осмыслить эволюцию как природных, так и социальных систем, представить картину всепланетарного эволюционизма.

Стратегия человечества должна предполагать его коэволюцию с природой, сочетание экологического и этического императивов. Синергетика очерчивает возможности человечества по познанию нелинейных открытых систем и выработке в этой связи новой стратегии поведения, адекватной реалиям XX1 в.

Синергетика дает представление о возможностях и ограничениях нашего познания нелинейных систем природы и общества. «Мы не должны ни «пережимать», ни отступать, ибо пережим, как и отказ от воздействия, могут толкнуть систему из одного хаотического состояния в другое. Мы должны быть осторожными и храбрыми – в соответствии с условиями нелинейности и сложности эволюции»\*.\* Майнцер К. Сложность и самоорганизация. Возникновение новой науки и культуры на рубеже века // Вопросы философии. 1997. №3. С. 48-60.

**Словарь терминов**

*Автоволны* – один из видов самоподдерживающихся волн в активных средах, содержащих внутренние источники энергии. Автоволны представляют собой процессы распространения автоколебаний в распределенных колебательных системах.

*Аттрактор* – (от лат. attrahere) отрезок эволюционного пути от точки бифуркации до необходимого финала.

*Билатеральный* - ( от би… и лат. lateralis – боковой) двусторонний, двубокий, относящийся к обеим сторонам, частям чего-то.

*Деструкция –* (лат. destructio) нарушение, разрушение нормальной структуры ч.-л.

*Конвекция* – (от лат. convectio – принесение, доставка) перемещение макроскопических частей среды (газа, жидкости), приводящее к переносу массы, теплоты и других физических величин.

*Нравственный императив* - обновленная нравственность, заслоняющая людей от опасности социального порядка.

*Осциллятор* – (от лат. oscillo – качаюсь) колеблющаяся система.

*Солитон* – структурно устойчивая уединенная волна, распространяющаяся в нелинейной среде. Солитоны ведут себя подобно частицам (частицеподобная волна): при взаимодействии друг с другом или с некоторыми другими возмущениями они не разрушаются, а расходятся, сохраняя свою структуру неизменной.

*Стационарная система* – устойчивая система, в которой все характеризующие систему физические величины не зависят от времени.

*Точка бифуркации* - (от лат. bifurcus – раздвоенный) состояние максимальной хаотичности неравновесного процесса.

*Флуктуации* – (от лат. fluctuatio - колебание) случайные отклонения физических величин от их средних значений; происходят у любых величин, зависящих от случайных факторов.

*Фракталь* - это геометрический объект с дробной размерностью Безиковича и Хаусфорда.

*Фрактальная размерность -*  характеристика, полезная при описании фигур и линий, обойденных некогда вниманием Евклида.

*Фридмоном* – элементарная частица, которая «заключает в себе весь мегамир» (М.А. Марков).

*Хаос* – беспорядок, неразбериха.

*Экологический императив* - запрет на изменение тех свойств окружающей среды, которые могут поставить под угрозу само существование человечества.

*Эмерджентная эволюция –* (от англ. emergent – внезапно возникающий) философская концепция, рассматривающая развитие как скачкообразный процесс, при котором возникновение новых, высших качеств обусловлено идеальными силами.

**Библиографический список:**

1. Интервью с профессором Г. Хакеном // Вопросы философии. 2000. № 3.
2. Канке В.А. Концепции современного естествознания: Учебник для вузов. – М.: Логос, 2001.
3. Николис Г., Пригожин И. Самоорганизация в неравновесных системах. М.: Мир, 1979.
4. Философский словарь. Справочник студента / Кириленко Г.Г., Шевцов Е.В. – М.: Филологическое общество «Слово»: ООО «Издательство Аст», 2002.
5. Хакен Г. Синергетика. М.: Мир, 1980.