

## 9. Лекция: Информация и самоорганизация систем:

Рассматриваются основные понятия информационной синергетики - самоорганизация, самоорганизующаяся система, аксиомы самоорганизации информационных систем, примеры.

Цель лекции: введение в информационную синергетику и ознакомление с самоорганизующимися системами.

Любая открытая система эволюционирует, начиная с состояния наибольшей энтропии (неопределенности), спиралеобразно, актуализируя все новые связи и отношения, стремясь к организованности и порядку в системе в процессе взаимоотношений со средой, перестраивая свою структуру с целью уменьшения энтропии.

Пример. На телевизионной игре "Что? Где? Когда?" обсуждение вопроса часто начинается хаотично, спонтанно, независимо и в конце обсуждения может организоваться в единодушное принятие правильного решения.

**Самоорганизация** - это образование пространственной, временной, информационной или функциональной организации, структуры (точнее, стремление к организованности, к образованию новой структуры) за счет внутренних ресурсов системы в результате целеполагающих взаимодействий с окружением системы.

**Система** является **самоорганизующейся**, если она без целенаправленного воздействия извне (с целью создания или изменения структуры системы) обретает пространственную, временную, информационную или функциональную структуру.

Пример. Одна макроструктура (лед) при нагревании переходит в другую макроструктуру (жидкость) с совершенно другими свойствами (например, механическими), а при дальнейшем нагревании переходит в другую макроструктуру (пар), снова с иными микроскопическими свойствами.

**Самоорганизация** (явная или неявная) наблюдается в сложных открытых системах. **Самоорганизации** присущ атрибут - управление. Автоматической **самоорганизации** системы не происходит, для этого необходимо управляющее воздействие. **Самоорганизация** - лишь возможный путь развития, эволюции системы. Это путь движения системы к упорядоченности, пусть и относительной. Четких мер, критериев упорядоченности нет, даже для физических, химических, биологических систем, где проблема порядка, равновесия давно изучаются.

**Самоорганизация** может наблюдаться как в живых, так и в неживых системах.

Пример. История развития ЭВМ - пример **самоорганизации**: от 1-го поколения ЭВМ (40-50-е годы XX века) с электронными лампами и быстродействием порядка  $10^4$

операций в секунду, до 1-го поколения оптических ВМ (конец 90-х годов) с голографической памятью, с логикой на потоках фотонов, нейроподобных архитектурах и быстродействием порядка  $10^{12}$  операций в секунду.

Пример. Человеческое общество развивается спиралевидно, циклически: циклически повторяются *катастрофы*, засухи, неурожаи, эпидемии и т.п. Например, происходит переход от малого ледникового периода к общему постепенному потеплению, а число экстремальных природных явлений не только не уменьшается, но и увеличивается, в частности, в XVIII м веке было лишь 66 лет, в которых отмечались землетрясения в России.

Пример. Известный ученый А.Л. Чижевский, наблюдая в 20-х годах XX века за пятнами на Солнце и изучая их образование, обнаружил, что некоторые периоды усиления солнечной активности и периоды усиления военных действий Первой мировой войны совпадают. Интересную закономерность открыл Р. Вульф во второй половине 19-го века:  $w = k(n + 10m)$ , где  $k$  - коэффициент пропорциональности, определяемый разрешающей способностью телескопа,  $n$  - общее число замеченных солнечных пятен,  $m$  - число групп пятен,  $w$  - число Вульфа, по которым можно определять солнечную активность. Существует, таким образом, 11-летний цикл солнечной активности.

Любая деятельность вопреки эволюционным процессам в системе, вопреки принципам *самоорганизации*, - противосистемна.

Пример. Любые экономические решения, противоречащие основному регулятору рынка, основному механизму ее организации - соотношению "спрос-предложение" приводят к вредным последствиям для системы и для ее *самоорганизации*. Например, выпуск товаров в объеме, превышающем спрос на рынке, может привести к снижению спроса.

В рамках идеи ноосферы, гармоничных взаимоотношений человека и природы, человек выступает как органическая часть природы.

Окружение человека (включая природу и общество) - нестабильное, неустойчивое, неравновесное, развивающееся. При рассмотрении проблем такого мира надо учитывать два его противоположных и взаимосвязанных, взаимно обуславливающих друг друга качества, - стабильность и нестабильность, порядок и хаос, определенность и неопределенность.

Нестабильность и неустойчивость не всегда есть зло, отрицательное качество, подлежащее устранению. Неустойчивость может, в соответствии с законами синергетики, выступать условием стабильного и динамического саморазвития, которое происходит за счет уничтожения, изъятия нежизнеспособных форм. Устойчивость и неустойчивость в системе, образование новых структур и разрушение старых, сменяя друг друга, развивают,

эволюционируют систему. Порядок и беспорядок возникают и существуют одновременно: один включает в себя другой - это два аспекта одного целого, они дают нам различное видение мира. Из-за этого мы не можем полностью держать под контролем окружающий мир нестабильных процессов, например, полностью контролировать социально-экономические процессы.

Современная наука и технология имеют дело со сложными системами, связь между которыми осуществляется не только через порядок, через структуры порядка, но и через хаос. Только в единстве порядка и хаоса может быть исследована эволюция сложной системы. Сложная система - целое, состоящее из устойчивых и неустойчивых частей. Здесь целое - уже простая сумма частей. Эволюция такой системы ведет к новому качеству, включая и отношения с человеком. Человек находится не вне изучаемого объекта, а внутри его, познавая это целое по его составным частям, объединяя естественные науки, усиливая междисциплинарные связи, сближая естественные и гуманитарные проблемы наук, науку и искусство. Идеи, принципы, методы и технологии современного естествознания (синергетики, информатики, системного анализа, физики открытых систем и др.), все шире внедряются в гуманитарную и социально-экономическую сферы. Есть и обратные процессы.

Пример. Естествознание и гуманитарные науки все чаще исследуют процессы и системы в совокупности с человеком: медико-биологические проблемы, экологические, включая биосферу в целом (глобальная экология), биотехнологии (генная инженерия), системы "человек-машина" и т.д. Специфику современной науки все более определяют комплексные исследовательские программы (в которых принимают участие специалисты различных областей знания), междисциплинарные исследования. Например, красота - это не только категория гуманитарная, отражение гармонии материального мира, но и категория научная, красота теоретических построений. Поиски красоты, т.е. единства и симметрии законов природы, - примечательная черта современной физики, математики, биологии, синергетики и других естественных наук. Исторический метод прилагается к большому кругу систем, например, вводится даже в квантово-механическую интерпретацию, где он ранее не применялся.

Компьютеризация и информационные технологии позволяют передавать машине все более усложняющиеся логические операции. Человеческий мозг освобождается от формализуемой, стандартизированной, рутинной логической деятельности.

Пример. Эвристические процедуры, интуиция, опыт человека, эксперта находят применение в программировании, например, при разработке антивирусных программ.

Эволюцию системы можно, как сказано выше, понимать как целенаправленное (на основе выбора) движение, изменение этой системы (как неравновесной) по некоторой траектории развития, состоящей из точек состояний.

Пример. Чтобы жить достойно, люди и правительство должны ориентироваться на социально-экономическую перспективу, т.е. траектория развития любой страны должна быть эволюционной.

Устойчивость системы - ее способность сохранять свое движение по траектории на таком уровне потребления ресурсов, который может самоподдерживаться, саморегулироваться достаточно долго.

Традиционная макроэкономика ориентируется на непрерывный и, чаще всего, количественный рост, а не на устойчивость. Для развития, эволюции требуется все больше материальных, энергетических, информационных ресурсов, а их рост сужает пространство устойчивого развития общества, снижает жизнеспособность.

Пример. При достаточно высоком уровне образования и развитой системе образования, научно-техническая и технологическая области последние два десятилетия слабо развивались в России. Например, в США в 1996 г. на науку расходы государства составляют 2,8-2,9% ВВП страны, в Японии - 3,3%, в России - 0,59%. По показателю достаточности и уровню квалификации трудовых ресурсов Россия занимает 46-е место. По оценкам специалистов, если Россия в ближайшие годы не поднимется хотя бы на 20-е, то ее экономический крах гарантирован.

**Эффективность** системы - способность системы оптимизировать (глобально-потенциально или локально-реально) некоторый критерий *эффективности* типа соотношений "затраты на обеспечение ресурсом - объем поступлений новых ресурсов".

Пример. Для социально-экономической системы - это способность производить социально-экономический эффект и не ухудшать движение по пути к достижению поставленной цели. Например, критерием *эффективности* банковской системы может быть не только прибыль, но и кредитование, возврат кредитов.

Эффективными можно считать действия в системе, которые поддерживают *самоорганизацию* системы при низком уровне энтропии за счет неравновесных процессов взаимного обмена энергией, веществом и информацией с окружающей средой.

Актуальна разработка механизмов, которые обеспечивали бы устойчивое развитие общества (в частности, социально-экономических систем) и каждого его члена в отдельности без количественного увеличения ресурсов, с помощью произведенного труда, стоимости и капитала.

Пример. Показателями развития общества могут служить ВНД - валовой национальный доход и ВВП - валовой национальный продукт, но и они не позволяют полно оценивать устойчивость развития общества, его систем, не позволяют оценивать, живет ли общество по средствам, заботясь о будущих поколениях, т.е. адекватны ли "кредитные социо-экономико-экологические отношения природы и общества", развитие культуры, науки и др.

Эволюция системы определяется борьбой организации и дезорганизации в системе, накоплением и усложнением информации, ее организацией и самоорганизацией, сложностью и разнообразием внутрисистемных процессов. Важным критерием *эффективности* системы (политики) является ее динамическая, структурная и организационная предсказуемость, отсутствие аномалий и обеспечение динамического роста, наличие и динамическая актуализация критериев оценки принимаемых решений.

Современному обществу и природе, с их множеством возможных путей развития, нельзя навязывать эти пути, они избираются на принципах самоуправления и саморегулирования, а именно, за счет целенаправленных воздействий на процессы с целью возврата траектории эволюции на желаемую траекторию (если в результате, например, стохастических воздействий система отклонилась от траектории).

При этом, в соответствии с *принципами синергетики*, необходимо учесть, что в неустойчивой социально-экономической среде действия каждого отдельного человека (микрпроцессы) могут повлиять на всю систему в целом (макропроцессы).

Пример. В условиях неустойчивой экономической политики действия отдельных структур могут повлиять на социально-экономические процессы общества, что наблюдалось, например, в Ираке и других странах.

Стратегическое планирование в социально-экономических системах - ресурсообеспеченные и целенаправленные действия руководства, ведущие к разработке наилучших в каком-то смысле (например, локально-оптимальных) стратегий динамического поведения всей системы, которые приводят в окрестность поставленных целей.

Стратегическое планирование - инструмент, помогающий принимать управленческие решения по осуществлению основных задач:

1. распределения ресурсов;
2. адаптации к изменениям внешних факторов;
3. внутренней координации и мобилизации;
4. осознания организационных стратегий и целей (краткосрочных, среднесрочных, долгосрочных), динамической переоценки достижимости целей.

Пример. Планирование в социально-гуманитарной системе необходимо для достижения следующих целей:

1. повышение контрольных функций;
2. предвидение требований социальной и гуманитарной политики;
3. обеспечение своевременной реакции на изменения в системе;
4. улучшение социально-гуманитарного и экономического состояния;
5. уменьшение неопределенности, риска, увеличение *эффективности* и др.

**Козволюция** - сопряженное, взаимообусловленное изменение систем или частей внутри целого. Это принцип глобальной эволюции. Само это понятие пришло из эволюционной популяционной теории.

Понятие *козволюции* тесно связано с понятием "*самоорганизации*". *Самоорганизация* имеет дело со структурами, состояниями развивающихся систем, а *козволюция* - с отношениями между такими системами, с взаимосвязями эволюционных изменений.

Пример. В последние годы активно формируется новое направление исследований - эволюционная экономика. Волнообразный, циклический характер действия основных законов наблюдается в устойчивой системе. Особенно заметен волнообразный характер социально-экономических процессов переходного периода. Государственное регулирование, его масштабы и значение претерпевают существенные изменения по мере эволюции экономики. Уменьшение роли государства будет чередоваться с периодами ее волнообразного возрастания. Снижение роли и значения системы государственного регулирования при эволюции социально-экономической системы будет чередоваться с ее усилением на определенных этапах переходного периода, будут наблюдаться периоды либерализации и контроля над ценами и заработной платой, волнообразный характер процесса приватизации и т.п. Волнообразный характер социально-экономических процессов можно объяснить следующим образом. Несмотря на различие рыночных и нерыночных государственных методов хозяйствования, их действие во многом взаимодополняющее. Более того, в развитой экономике рыночные (часто - стихийные) и государственные (часто - плановые) методы сочетаются и диффундируют, обеспечивая возврат на устойчивую траекторию развития при отклонениях от нее. В этом и заключается первопричина волнообразности.

Волнообразный и циклический характер имеют многие процессы социально-экономической и гуманитарной сфер, например, в сфере политики, права, информации и печати, религии, национальных отношений, миграционных процессов, распространения технологий, активности военных действий и др. Многие из этих циклических процессов связаны с циклами солнечной активности.

**Катастрофами** называются скачкообразные дестабилизирующие изменения, возникающие в виде отклика системы на плавное изменение условий окружающей среды. Эти изменения - внезапны, непрогнозируемы с уверенной точностью, резко по отношению к темпу изменения условий среды. Если представить себе траекторию эволюции системы как множество точек, каждая из которых есть точка в пространстве факторов окружающей среды, то у траектории системы могут быть точки **бифуркации** - раздвоения, качественного изменения траектории.

Пример. Так называемый "черный вторник" на валютном рынке возник на фоне плавных, ничего катастрофического не предвещающих, условий среды (внешне эти условия плавно менялись накануне).

Управляемая социально-экономическая система при определённой цели, определенных начальных данных и определённых ресурсах имеет определенную область достижимости, в которой она может достичь цели при этих ресурсах за любое время.

Сформулируем основные **аксиомы** теории информационных динамических процессов (**информационной синергетики**).

**Аксиома 1.** Развитие (эволюция) системы определяется некоторой целью и информационными ресурсами системы, ее информационной открытостью.

**Аксиома 2.** При стремлении к цели система воспринимает входную информацию, которая используется и для изменения внутренней структуры самой системы, внутрисистемной информации.

**Аксиома 3.** Изменение внутрисистемной информации происходит таким образом, чтобы увеличивалась негэнтропия (мера порядка) системы, уменьшалась энтропия (мера беспорядка) в системе.

**Аксиома 4.** Любое изменение внутренней структуры системы или внутрисистемной информации оказывает воздействие на выходную информацию системы (т.е. на окружающую среду системы); внутренняя энтропия изменяет внешнюю энтропию системы.

Большое значение при исследовании управляемости системы, ее управляющих параметров, развития системы во времени, в пространстве, по структуре имеют **синергетические принципы**, сформулированные И.Пригожиным и его последователями, в частности, следующие:

1. принцип эволюции системы, необратимости процессов ее развития;
2. принцип возможного решающего воздействия (при определенном стечении обстоятельств) малых изменений поведения системы на ее эволюцию;
3. принцип множественности (или многовариантности) путей развития системы и возможности выбора оптимальных из них;
4. принцип невмешательства в процессы самоуправяемого развития и непредсказуемости эволюционного поведения системы и, в то же время, - учёт возможности организовать управляющие воздействия на ресурсы и процессы в системе;
5. принцип учета стохастичности и неопределенности процессов (поведения систем);

6. принцип взаимодействия усложнения организации, устойчивости и темпов развития систем;
7. принцип учета факторов стабильности и нестабильности системы (возникновения устойчивости из неустойчивого поведения), порядка и хаоса в системе (возникновения порядка из хаоса), определенности и неопределенности;
8. принцип взаимовлияния устойчивости среды отдельной подсистемы или элемента (микросреды) и процессов во всей системе (макросреды).

Так как синергетика - теория возникновения новых качественных свойств и структур, а возникновение смысла (интерпретация и понимание сообщений) всегда связано с качественными изменениями в системе, то можно говорить об информационной *самоорганизации*. Информация - синергетическая среда, с помощью которой поддерживается вся система, ее отдельные подсистемы и которая генерирует информацию о том, как должна развиваться (саморазвиваться) система.

Важным условием рождения информации в системах является их открытость. В замкнутых системах, согласно второму началу термодинамики (энтропия замкнутой системы не может убывать и растет до тех пор, пока не достигнет максимума, а, следовательно, информация становится минимальной), структуры распадаются (на макроскопическом уровне). Поэтому информация не может рождаться и храниться в системах в состоянии теплового равновесия, так как в замкнутых системах всегда устанавливается тепловое равновесие.

Пример. Магнитный диск в состоянии теплового равновесия размагничивается и не может хранить информацию. Со временем дискеты приходят в состояние теплового равновесия, и магнитное покрытие разрушается, информация теряется.

Открытые системы поддерживают "дистанцию" от состояния теплового равновесия - за счет потоков ресурсов (вещества, энергии, информации) и за счет *самоорганизации*, вследствие которой эти потоки существуют и направляются в соответствии с подчиненностью постоянно (от элементов - к подсистемам, от них - к системе).

Пример. Структурной единицей нервной системы является нейрон - нервная клетка. Кора переднего отдела мозга содержит несколько десятков миллиардов нейронов. Нейроны бывают различного типа: сенсорные (от рецептора кожи к спинному мозгу); сетчатки (от рецепторов сетчатки глаза - к зрительному нерву); двигательные (от рецепторов мышц - к двигательной коре). Они образуют своеобразные регистры (зрительные, слуховые, тактильные и др.). Нейрон служит для передачи информации за счет нервных импульсов. Расшифровка нервных импульсов (информации) происходит в соответствующих областях коры головного мозга. Нейроны коры мозга функционируют параллельно. Это - их замечательное преимущество (по сравнению с памятью другого



вида). В коре переднего мозга около 50 млрд. нейронов. Они организованы, примерно, в 600 млн. функционирующих параллельно систем. Производительность такого типа "процессора" (распределенного матричного или нейросистемы) очень впечатляет (оцените примерно ее!). Особенностью мозга является высокое качество, скорость обработки информации. Нейроны выполняют обработку со скоростью всего около 100 инструкций в секунду (сравнить с ЭВМ, выполняющей миллионы инструкций в секунду), но они быстрее и эффективнее решают наиболее сложные (для ЭВМ, в частности) задачи распознавания и классификации, принятия решений и другие плохо формализуемые и структурируемые проблемы. Человеческий мозг - это система параллельно работающих подсистем, структур, самоорганизующихся с помощью ассоциативных связей для выработки, принятия логических (алгоритмических, рациональных) решений. Там, где невозможно принять такое решение (т.е. не удастся ассоциировать такие связи), принимается эвристическое решение. На каждом нейроне коры головного мозга одновременно (параллельно) обрабатываются возбуждения разного типа: мотивации, целеполагания, внешние возбуждения - отражения текущего состояния управляемого объекта, возбуждения памяти (опыта). Их согласованная обработка дает картину объекта и позволяет принимать решения. Так, мозг, непрерывно перебирая результаты всех прошлых действий в аналогичных ситуациях и сравнивая их с текущей ситуацией, выбирает вариант, наиболее подходящий, целесообразный и эффективный в данной конкретной ситуации. Если при этом не найдется такая ситуация, то выбирается (прогнозируется многокритериально) такое состояние, результат которого будет наиболее адекватен; этот результат и запоминается далее. У человека существует самостоятельная потребность в информации. Нормальная жизнедеятельность возможна лишь тогда, когда из внешней среды имеется приток не только вещества, энергии, но и информации, когда нет явлений "информационного голода". Получение новой информации связано со сжатием информации, например, с пересылкой в долговременную память (подсознание) образов, смыслов и т.д.

На этапе *самоорганизации* вырабатывается коллективное, корпоративное поведение (т.е. новый уровень иерархии образования смысла, семантики). В живых системах при этом используется не только связь со средой, но и генетически заложенная информация или информация *самоорганизации*.

Пример. Стадо буйволов (каждый из которых в отдельности достаточно беззащитен перед стаей хищников) во время нападения самоорганизуется: молодняк - в центре, самцы - по окружности ("рогами наружу"). Это важно для выживания всего стада.

Информация может быть неполной, образной, например, в виде фрагментов, по которым быстро восстанавливается (самоорганизуется) более полная информация. Особенно важно быстро и полно восстанавливать эту информацию. Поэтому необходим

процесс обучения, сжатия и передачи информации, знаний от поколения к поколению. Так как области знаний расширяются и углубляются, а информация лавинообразно растет, то важно находить синергетические инварианты, принципы, технологии ее передачи.

Наблюдаемая математизация и информатизация современной науки убедительно показывает, что их *эффективность* зависит как от данной науки, сложности и возможности адекватного описания ее законов и принципов математическими и информационными моделями, так и от используемого математического аппарата.

### **Вопросы для самоконтроля**

1. Что такое самоорганизация, самоорганизующаяся система?
2. Является ли любая система самоорганизующейся? Какие системы всегда приводят к самоорганизации?
3. Каковы основные аксиомы информационной синергетики? Каковы основные синергетические принципы И. Пригожина?

### **Задачи и упражнения**

1. Написать эссе на тему "*Самоорганизация* в живой природе".
2. Написать эссе на тему "*Самоорганизация* в неживой природе".
3. Привести пример *самоорганизующейся системы* и на её основе пояснить *синергетические принципы* И. Пригожина (предварительно ознакомившись с ними).

### **Темы для научных исследований и рефератов**

1. Философские аспекты *самоорганизации*.
2. *Самоорганизация* социально-экономических систем и их значение.
3. Аксиоматика *самоорганизации* систем.