

# СИСТЕМНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ И СТРУКТУРНЫЕ УРОВНИ МАТЕРИИ

## 4.1. Становление системного подхода в научных исследованиях

Идеи системного подхода возникли в античной науке, хотя термин «система» в то время еще не применялся. В древнегреческой натурфилософии мир предстал как целостное образование, а компоненты — объединенными множеством различных связей. В основе таков целостности лежало некоторое материальное первоначало («архэ»): вода - у Фалеса, воздух у Анаксимена, огонь у Гераклита, атомы и пустота у Демокрита. Платон в системном виде представляет государство. Аристотель использует системные идеи как для анализа природы и общества, так и для исследования духовного мира.

С развитием экспериментального естествознания XVII в. научное знание дифференцируется по отраслям и научным дисциплинам. Довольно скоро наряду с дифференциацией стали нарастать интегративные процессы: в конце XIX начале XX в. формируются биофизика и биохимия, геофизика и геохимия, химическая физика к физической химии и др.

Процессы научной интеграции потребовали и новой методологии. Уже в дарвиновской теории биологической эволюции обоснованы представления о *надорганизменных (системных) уровнях* организации живой материи. В качестве таких уровней выступают виды живых организмов, а основными объектами биологической эволюции являются не отдельные организмы, как это следовало из концепции Ламарка, а именно виды организмов. Блестящий пример системного мышления в химии - периодическая система элементов М.И. Менделеева.

Во время Второй мировой войны возникает научная дисциплина *«исследование операций»*. В ней обобщены методы решения комплексных задач, требовавших учета взаимосвязи целого ряда факторов в рамках единой целостности: планирование и проведение военных операций, вопросы снабжения и организации армии, принятие решений в сложных условиях и т.п.

Применение системных идей к анализу экономических и социальных процессов привело к созданию *теории игр* и *теории принятия решений*. Во второй половине XX в. идеи системного подхода широко проникают в естествознание, социально-экономические и гуманитарные науки. В результате окружающий мир предстает в виде огромного множества *систем самого разнообразного конкретного содержания и общности, объединенных в единое целое - Вселенную*.

В основе системного подхода лежит понятие системы (от греч *systema* - составленное из частей), под которой понимают «совокупность взаимосвязанных и взаимодействующих объектов и процессов, которые образуют единое целое и обладают свойствами, не присущими составляющим его компонентам, взятым в отдельности. Общесистемными свойствами являются целостность, иерархичность и интегративность.

С методологией системного подхода связан подлинный триумф целого ряда научных дисциплин. В их числе: молекулярная биология и ее успехи в исследовании генетического кода; генетика; синтетическая теория эволюции; медицина и др.

Невозможно переоценить значение *кибернетики* для формирования идей системного подхода. Основоположник кибернетики Н. Винер определял ее как общую теорию управления в технических системах, живых организмах и обществе. Кибернетика наглядно показала, что процесс управления может быть представлен как *системный* процесс накопления, передачи и преобразования информации.

Системный подход не следует рассматривать в качестве жесткого методологического алгоритма или строгой теоретической концепции. К настоящему времени его можно представить как достаточно гибкую систему познавательных принципов, которые ориентируют исследователя на системное рассмотрение исследуемых объектов. При этом системный подход позволяет решить многообразные задачи:

- его понятия в принципы позволяют выявить новые аспекты исследуемой реальности, осмыслить ее с новых позиций: примеры: понятие *ионосферы* в концепции В.И.Вернадского, понятие *биогеоценоза* в современной экологии и др.;
- в рамках системного подхода формируются новые методологические «алгоритмы» объяснения посредством выявления механизмов целостности объекта и типологии его связей;
- из системного подхода вытекает возможность нескольких вариантов расчленения сложного объекта; выбор такого варианта зависит от конкретных исследовательских задач.

В рамках системного подхода сформировалось несколько методологических концепции, которые различаются с точки зрения их функции и объектом приложения:

- *системотехника* исследует, проектирует и конструирует человеко-машинные системы, в которых учитывается как работа механизмов, так и действия человека — оператора, управляющего ими;
- *системный анализ* методологический инструмент исследования комплексных и многоуровневых систем, например: систем организации современной фабрики или завода, в которых производство, снабжение сырьем, реализация товаров и инфраструктура - объединены в единое целое;
- *теория систем* исследует специфические свойства систем различной природы: физических, химических, биологических, социальных.

## 4.2. Системная организация природы

Окружающий человека мир природы существует в разных видах, формах и обладает *системной организацией*. Важнейшие свойства материального мира природы: связь, взаимодействие и движение — наиболее глубоко осмысливаются в рамках системного подхода. Представление о системной организации материи основано на ряде допущении:

- 1) в окружающем мире существуют системы;
- 2) существующие системы взаимодействуют друг с другом. Такое взаимодействие обуславливает взаимосвязи в окружающем мире;
- 3) сам окружающий мир также может быть представлен в качестве системы;
- 4) практически любом элемент конкретной системы также возможно представить в качестве системы.

Использование этих допущений базируется на конкретном понимании категории «система». Очевидно, что не любая совокупность компонентов является системой. Вряд ли кто-то назовет системой кучу песка, однако определение в качестве системы живого организма, популяции, биогеоценозов широко распространено в современной науке. Для обозначения «несистем» Г.И. Рузавин предлагает использовать термин «агрегаты». Их свойства представляют собой сумму (но не больше суммы!) свойств составляющих их частей. Так, общий вес студенческой группы в точности равен сумме весов студентов этой группы. Поэтому говорят об *аддитивности* агрегатов.

Аддитивность (от лат. *additivus* — прибавляемый) — свойство величин, состоящее в том, что значение величины, соответствующее целому объекту, равно сумме значений величин, соответствующих его частям. Например, аддитивность объема означает, что объем целого тела равен сумме объемов его частей.

Отличительный признак систем неаддитивность ее свойств. Свойства системы в отличие от агрегатов определяются свойствами ее структуры *интегрирующими* связями анализируемого объекта. Таким образом, особенность системного подхода - *целостное рассмотрение объекта, выявление специфики взаимодействия составных частей или элементов целостной совокупности, понимание несводимости свойств целю к свойствам частей*.

- *Структура* системы - совокупность взаимосвязей, благодаря которым формируются новые свойства целостного, присущие только этой системе и отсутствующие у любого ее компонента, взятого в отдельности. Это - системные (*эмерджентные*) качества.

*Строение системы* определяется спецификой составляющих ее компонентов: подсистем, частей или элементов системы — в зависимости от того, что принимается за основание деления.

- *Подсистемы* — составляющие системы, обладающие определенной автономностью, подчиненные системе и управляемые ею. Обычно подсистемы выделяются в *иерархических* системах.

Как правило, подсистемы имеют собственные характеристики (своеобразные «подсистемные качества»), которые отличаются от характеристик других подсистем. Так, в рамках физической картины мира выделяются три подсистемы: мега-, макро- и микромир.

- *Элементы* — наименьшие единицы системы, сохраняющие ее характеристики. Нередко их называют «клеточками» системы, «дискретными единицами» и т.д.

Выявление элементов системы - зачастую нелегкая исследовательская задача. Так, признана неудачной попытка Л. Фейербаха объяснить человеческое общество на основе выявления «дуалистического» элемента типа «Робинзон – Пятница». В то же время выдачей не товара в

качестве «клеточки» социально-экономических отношений позволило К. Марксу дать такой анализ экономики капитализма, который сохраняет актуальность до настоящего времени.

Важную роль играет верное понимание «клеточки» конкретных систем в естествознании. Так, минимальный уровень системной организации в химии атомный, поскольку атом представляет собой наименьшее количество химического элемента. Однако для биологии минимальной «клеточкой» системной организации выступает уже молекула (например, молекула белка или ДНК), поскольку атомы в составе органических и неорганических веществ практически ничем не отличаются друг от друга. В экологии к роли минимальной «клеточки» выступают уже ценозы: биоценозы и биогеоценозы.

### **Свойства системы**

1. *Многофункциональность* - способность больших систем выполнять (зачастую одновременно) некоторое множество функций.

2. *Надежность* свойство системы выполнять заданные функции в течение определенного времени с сохранением совокупности параметров качества (например, функционирование экосистем).

3. *Целостность*. Свойства системы как целого определяются не только свойствами каждого конкретного элемента системы, но и зависят от способа организации взаимосвязей внутри системы, который и определяет системные качества, отсутствующие у отдельно взятого компонента системы. При этом изменение любого компонента системы оказывает воздействие на все другие её компоненты и приводит к изменению системы в целом.

4. *Интегративность* (от лат. *integratio* - соединение) процесс, результат которого — достижение единства, согласованности внутри системы, основанной на взаимной зависимости и взаимной дополняемости отдельных специализированных элементов.

5. *Эмерджентность* (от англ. *emerge* - возникать, появляться) - возникновение у системы таких принципиально новых свойств, которые не могли бы возникнуть без взаимодействия элементов системы.

6. *Иерархичность* (от греч. *hieros* - священный и *arhe* - власть) соподчинение элементов, расположенных от низшего к высшему, характеризующее различные уровни системы. Существование различных уровней организации взаимосвязей в системе порождает внутриуровневые и межуровневые связи в системе.

7. *Устойчивость* — способность системы возвращаться в исходное состояние после некоторых возмущающих воздействий.

Исследователи выделяют и другие характеристики систем.

Перечисленные свойства, с одной стороны, характеризуют *объективные* свойства систем, с другой — выступают в качестве *методологических ориентиров* для исследователя. В частности, они направляют исследовательский процесс на выявление системных качеств исследуемого объекта.

Ясное понимание особенностей взаимодействия системы и ее элементов связано с решением проблемы о соотношении *части и целого*. Концепции *редукционизма* (от лат. *reductio* упрощать) исходят из того, что *определяющую роль играют части*, компоненты, подсистемы и т.д., поскольку именно из них составляется целое. При этом сложные свойства систем сводятся к физическим (физикализм) или даже механическим свойствам (механицизм). Но, например, свойства атома не равны сумме свойств образующих его элементарных частиц, поскольку всякая система (а не аддитивное множество) характеризуется интегративными свойствами, отсутствующими у ее компонентов.

Сторонники холизма (от греч. *holos* — целый) считают, что *целое всегда предшествует частям* и всегда важнее частей. Однако абсолютизация такого подхода зачастую не позволяет последовательно объяснить специфику возникновения целого. Недаром приверженцы этой концепции нередко вовлекали в механизм объяснений причин иррациональные силы: энтелехию, жизненную силу и др. (На первый взгляд может показаться, что концепция холизма о приоритете целого над частью согласуется с принципами системного метода, который также подчеркивает большое значение идей целостности, интеграции и единства в познании явлений и процессов природы и общества. Но, при более внимательном знакомстве оказывается, что холизм чрезмерно преувеличивает роль целого в сравнении с частью, значение синтеза по отношению к анализу. Поэтому он является такой же односторонней концепцией, как атомизм и редукционизм)

Системный подход позволяет избежать крайностей этих подходов. Система как целое возникает в результате специфического взаимодействия ее составляющих: элементов, компонентов, подсистем, а

также формирования в процессе этих взаимодействий интегральных системных качеств.

*Внешняя среда* — совокупность иных систем, с которыми данная система взаимодействует. При этом разделение системы и окружающей среды является относительным. Так, для клетки, рассматриваемой в качестве системы, все другие клетки данного организма образуют окружающую среду. Если в качестве системы рассматривается конкретный орган живого организма, то совокупность таких клеток оказывается включенной во внутреннюю структуру системы. Солнечная система выступает «внешним окружением» для системы «Земля - Луна», и то же время она является внутренним элементом системы Галактики.

### **Классификация систем**

Наиболее очевидно деление систем на

- *естественные*, в которых преобладают природные связи;
- *искусственные*, и которых также преобладают природные связи, но человек придал им нужную ему форму машин, приборок, сооружений и т.д.;
- *социальные*, и которых преобладают социальные связи, а ведущую роль играет человек во взаимосвязи с другими людьми.

Важной для естествознания классификацией является деление систем на:

- *статические* и *динамические*. Хотя абсолютно статических систем в мире не существует, эта классификация оправдана, если иметь в виду скорость изменений. В этом случае системы, и которых эта скорость весьма невелика, целесообразно относить к преимущественно статическим системам.

В соответствии со спецификой причинно-следственных связей выделяют детерминистические и стохастические системы.

- *Детерминистические* системы подвергаются влиянию одного-двух факторов, влияние которых можно учесть достаточно точно. Так, закон Ома позволяет вычислять значение тока при известной величине напряжения и сопротивлении на участке цепи.

- *Стохастические* (вероятностно-статистические) системы включают массовые повторяющиеся случайные события и явления, поэтому научные прогнозы применительно к этим системам имеют вероятностный характер. Специфика таких систем отражена, например, в газовых законах (закон Гей-Люссака, Бойля-Мариотта и других).

Выделяют системы *открытые*, которые обмениваются с окружающей средой веществом, энергией и информацией, и системы *закрытые* (замкнутые). Абсолютно закрытая система - научная абстракция, реальные системы такого рода науке неизвестны, поскольку система не может дать себя обнаружить, не взаимодействуя с окружающей средой. Тем не менее абстракция закрытой системы эффективно используется в классической термодинамике. В качестве наиболее близких к закрытым системам могут быть рассмотрены *черные дыры* — сверхплотные космические объекты со столь сильной гравитацией, что не выпускают даже фотонов. Именно по отсутствию светового излучения (потока фотонов) астрономы и обнаруживают такие объекты.

Широко распространена классификация систем на *материальные* и *идеальные (концептуальные)*

Материальные системы, элементы которых базируются на материальном субстрате, в свою очередь, подразделяются в соответствии с той формой *движения материи*, которую они представляют, на гравитационные, физические, химические, биологические, геологические, экологические и социальные системы. Эти системы нередко обозначают как объективные на том основании, что их содержание и системные качества не зависят от познающего субъекта.

В свою очередь, *концептуальные* (идеальные) системы выступают в качестве инструмента познания объективных систем, являются отражением объективных систем в сознании познающего субъекта. Научные дисциплины показательный пример концептуальных систем.

### **Особенности систем природы**

«В самом общем виде материя представляет собой бесконечное множество всех сосуществующих в мире объектов и систем, совокупность их свойств, связей, отношений и форм движения. При этом она включает в себя не только все непосредственно наблюдаемые объекты и тела природы, но и все то, что не дано нам в ощущениях. Весь окружающий нас мир движущаяся материя в её бесконечно разнообразных формах и проявлениях, со всеми свойствами, связями и отношениями».

Целесообразно выделить два типа систем: системы *живой* и *неживой* природы. Они принципиально отличаются друг от друга с точки зрения эмерджентных качеств: при всей сложности систем неживой природы в них отсутствует главное системное качество живых систем — *жизнь*. При этом жизнь представляет собой системное качество биологических систем, порожденное

взаимосвязью всех элементов и подсистем. Само определение жизни, принятое к современной биологии, фактически представляет собой перечень эмерджентных (системных) качеств, присущих биологическим системам. Различаются и элементы таких систем. Если в качестве элементов организации неживых систем могут рассматриваться атомы и составляющие их частицы, то наименьшей «клеточкой», в которой еще проявляются свойства живого, выступают биологические молекулы, в частности белки и молекулы ДНК и РНК.

Принципиальное *сходство* таких систем проявляется в их иерархическом строении, сформированном за счет горизонтальных связей, определяющих свойства конкретных подсистем, а также вертикальных связей, обеспечивающих взаимодействие подсистемы с системой более высокого уровня.

Иерархичность свойственна и неживым системам. В качестве уровней такой иерархической организации могут быть выделены микрообъекты: элементарные частицы, атомы, молекулы; макротела; планетные и звездные системы, галактики, Космос в целом.

Однако и в отношении иерархичности следует сделать существенное замечание. Для неживой материи в качестве наибольшего системного уровня выступает Космос. Вселенная, Метагалактика. Применительно к живой материи таким уровнем выступает биосфера Земли. По крайней мере, на нынешнем уровне развития науки живых систем за пределами нашей планеты пока не обнаружено.

В прочем, и по отношению к неживой природе науки известны далеко не все её системные уровни. Так, вряд ли справедливо утверждать, что метагалактика предельный уровень системной организации Вселенной: это уровень, известный сегодняшнему естествознанию, и никто не может сказать, какие новые уровни системной организации природы откроются естествознанию завтрашнего дня.

Важный критерий вычленения природных систем - их размеры в соотношении с размерами человека. При таком подходе выделяют природные системы микро-, макро- и мегамира.

*Микромир* — мир настолько малых объектов, что они недоступны *непосредственному восприятию* человеком. К объектам микромира относят кванты полей, элементарные частицы, атомы и молекулы.

*Микромир* — мир объектов, масштабы которых соизмеримы с масштабами человека. К макросистемам относят: большие молекулы (чаще всего — молекулы полимеров, макромолекулы); макрообъекты неживой природы, образованные веществами, находящимися в различных агрегатных состояниях, живые организмы; человека и материальные результаты его деятельности.

*Мегамир* представляет собой космическую систему огромных пространственных размеров и скоростей. Мегасистемы включают звезды, галактики и их скопления.

На каждом из этих уровней действуют свои специфические системные качества, несводимые друг к другу.

### 4.3. Содержание системного исследования

Если свойства системы характеризуют ее объективные характеристики, независимые от исследователя, то *принципы системного подхода* характеризуют субъективную сторону процесса научного познания, определяют исследовательские установки ученого, которым стремится с системных позиции анализировать объект исследования.

1. *Принцип целостности* ориентирует исследователя на отграничение исследуемого объекта от окружающей среды. Для этого необходимы определение и оценка отличительных свойств исследуемого объекта и с равнение этих свойств со свойствами его элементов.

2. *Принцип совместимости элементов целого.* Именно такая совместимость определяет возможность существования конкретных типов связей и их функционирования в рамках системы как целого. Системообразующим элементом для социально-экономической системы является человек, для экологической системы — наитие биологических организмов высшего для этой системы уровня и др.

3. *Принцип функционально-структурного строения целого* ориентирует исследователя на анализ функционального строения системы, на выявление не только элементов и их связи, но и функционального содержания каждого из элементов. Так, в системе биоценозов автотрофы имеют функцию производства органического вещества из неорганического, а гетеротрофы перерабатывают органические вещества.

*Принцип развития* исходит из того, что любая система находится на определенном этапе развития определенными закономерностями этой

системы. Так, согласно современным гипотезам происхождения жизни на Земле первые живые организмы не могли иметь кислородного механизма дыхания и питания по той причине, что кислород в атмосфере Земли тогда отсутствовал.

1. *Принцип лабильности функции* основан на возможности изменения общих функций системы, приобретения все новых функций и определенного изменения в связи с этим ее строения и структуры.

2. *Принцип многофункциональности* фиксирует наличие в системе функций множественного назначения, которые соединены по определенному признаку для получения некоторого специального эффекта.

3. *Принцип вероятностных оценок* исходит из того факта, что исследователь далеко не всегда может точно проследить и оценить все причинно-следственные связи.

Приведенный список не исчерпывает всех принципов системного подхода.

Системное исследование объектов природы может быть реализовано с различных позиций, которым соответствуют *разновидности системного подхода*:

- *системно-элементный*, который заключается в выявлении элементов, составляющих исследуемую систему;

- *системно-субстратный*, направленный на выявление специфики материального воплощения конкретных элементов системы, на выявление того субстрата, из которого состоят эти элементы;

- *системно-структурный* подход, позволяющий выяснить внутренние связи и зависимости между элементами данной системы и получить представление о внутренней организации исследуемой системы;

- *системно-функциональный*, предполагающий выявление функций, которая выполняет исследуемая система;

- *системно-интеграционный*, состоящий в определении совокупности качественных свойств системы, обеспечивающих ее целостность и особенность;

- *системно-коммуникационный* подход направлен на выявление специфики внешних связей данной системы с другими системами, ее коммутаций с окружающей средой;

- *системно-исторический* подход направлен на исследование генезиса системы и ее динамики: изучение пройденных этапов ее развития, современного состояния, а также возможных перспектив развития.

## Выводы

В самом общем и широком смысле слова под системным исследованием предметов и явлении окружающего мира понимают такой метод, при котором они рассматриваются как элементы единого целостного образования. Эти элементы, взаимодействуя, определяют новые свойства системы, которые отсутствуют у отдельных ее элементов.

Главное, что определяет систему - *взаимосвязи и взаимодействия частей в рамках целого*. Если такое взаимодействие существует, то допустимо говорить о системе, хотя степень взаимодействия ее частей может быть различной.

## Вопросы и задания для самоконтроля

В чем состоит специфика системного исследования?

1. Чем отличается система от агрегата?
2. Какое различие существует между строением и структурой системы?
3. В чем состоят преимущества системного метода исследования?
4. Можно ли применить системный метод к отдельному предмету?
5. Чем отличается системотехника от системного анализа?
6. Чем отличается системный подход от редукционизма и холизма?
7. Перечислите основные характеристики систем.
8. Раскройте сущность основных принципов системного подхода.
9. В чем заключаются главные достоинства системного подхода?
10. В чем состоят преимущества и трудности использования системного подхода на практике исследования?
11. В чем состоит специфика системного исследования?
12. Какое мировоззренческое значение имеет системный метод?