

## Физическая система, ее свойства, состояние и терминология.

**АННОТАЦИЯ.** Познать окружающий нас мир в целом невозможно. Любое исследование может касаться лишь какой-то мысленно выделенной части целого, которую и называют коротко **системой**. Приводится определение этого понятия, терминология свойств системы и различных состояний системы. Поясняется сущность взаимосвязи между физической системой и окружающей средой.

### 1. Определения понятия “система” и свойства системы

Греческое слово *systema* буквально означает “целое, составленное из частей”. На практике слово **система** применяется в различных значениях: теория, классификация, метод, способ организации, совокупность объектов, закономерность, стандарт.

Приведем наиболее важные и ёмкие сведения об этом понятии из Википедии: *“Система – это множество элементов, находящихся в связях друг с другом и динамических взаимодействиях, которое образует определённую целостность, единство”*.

Общими для всех свойств системы являются такие качества, как:

1. **Иерархичность**, заключающаяся в том, что любая система одновременно состоит из частей (подсистем) и является частью другой более крупной системы (надсистемы).

2. **Целостность**, подразумевающая, что исследуемый объект обладает интегральными свойствами, не сводящимися к сумме свойств составляющих его частей. А.Бахмутский (2007) уточняет определение целостности следующим образом: *“Целостность системы – принципиальная несводимость свойств системы к сумме свойств ее компонент и невыводимость из свойств компонент свойств системы.”*

3. **Эмерджентность**, заключающаяся в принципиальной несводимости свойств системы к сумме свойств составляющих её компонентов.

4. Важным является также **закон разнообразия** Эшби: необходимо, чтобы система имела большее разнообразие, чем разнообразие решаемой проблемы, или была способна создать такое разнообразие.

В.Кошарский (2006), проанализировав большое количество первоисточников, синтезировал такое определение системы: *“совокупность взаимосвязанных и взаимовлияющих элементов, расположенных в определенной закономерности в пространстве и времени и действующих совместно для достижения общей цели”*. В этом определении следует выделить два ключевых понятия – **“закономерность”** и **“цель”**, которых в предыдущих определениях не было.

### 2. Что такое физическая система?

Слово “система” часто ассоциируется с политикой, экономикой, педагогикой, то есть с гуманитарными науками. В данной статье речь идет о **физической системе**.

Имеется несколько определений физической системы. Например, определение из Википедии: *“часть физического мира, избранная для анализа”*. Это определение почти совпадает с определением из интернет-энциклопедии Глоссарий.ру: *“Физический объект – выделенная для анализа часть физического мира”*. А.Вейник (1968, с.19) дал такое определение: *“Система представляет собой определенное количество материи, которая мысленно отделена от окружающей среды контрольной поверхностью”*.

В физике применяется также понятие **“термодинамическая система”**, которое определяется в БСЭ, как *“совокупность физических тел, которые могут взаимодействовать энергетически между собой и с другими телами, а также обмениваться с ними веществом”*. Эта классификация касается только

тепломеханических систем, учитывающих только две формы движения: тепловую и механическую. Поэтому для физических систем необходимо обобщенное определение.

Физическую систему мы не в состоянии изучить во всей совокупности ее внутренних взаимосвязей, настолько велико их количество, но обычно в этом нет необходимости. Интересует обычно весьма ограниченное количество свойств системы. А влияние всех остальных свойств той же системы можно условно считать пренебрежимо малым, то есть не учитывать их.

Синтезируя определения из различных первоисточников, можно прийти к такому определению:

***Физическая система – это неотъемлемая часть материального мира, мысленно выделенная наблюдателем для решения поставленных им задач.***

### **3. Что такое обобщенная физическая система?**

Естественно предположить существование такой сверхсистемы (**обобщенной физической системы**), которая характеризуется всеми известными и даже пока еще неизвестными свойствами. Тогда любая конкретная физическая система будет являться лишь частным случаем обобщенной физической системы. В этом предложении и сосредоточена вся суть проблемы обобщения и систематизации физических величин.

Идея о существовании обобщенной физической системы высказана в работе И.Когана (2003) и обрела законченную форму в его монографии (2006). Эта идея продолжила развитие основных идей энергодинамики (А.Вейник, 1968), как дедуктивного метода познания (от общего к частному).

Значение дедуктивного метода подчеркнуто в теории Ю.Кулакова (70-е годы XX века): *“Начиная с Галилея и по настоящее время, физика, как правило, строится и излагается индуктивно, т. е. из огромного множества наблюдений и опытных фактов выбирается небольшое число свойств и вырабатываются основные понятия, в терминах которых формулируется физическая теория. Я предлагаю дедуктивный путь построения физики.”* Ю.Кулаковым был создан единый универсальный язык, на котором написаны все фундаментальные физические законы. Так что идеи А.Вейника (1968) и Ю.Кулакова (2004) родственны в своей основе. О том же говорит и В.Эткин (2008), развивая идею о существовании обобщенной физической системы: *“Особенностью энергодинамики является и то, что она рассматривает всю совокупность взаимодействующих тел или частиц как единое неравновесное целое.”*

**Дедуктивный метод**, то есть **путь от общего к частному** – вот то главное, что легло в основу идеи об обобщенной физической системе. Применительно ко всей проблеме обобщения и систематизации в физике мы бы так сформулировали эту идею:

***Законы для обобщенной физической системы универсальны и применимы для любой физической системы. Все физические системы – это частные случаи обобщенной физической системы.***

### **4. Что означает состояние физической системы?**

Наиболее четкое определение термина "состояние" имеется в Википедии: ***"Состояние*** — абстрактный термин, обозначающий множество стабильных значений переменных параметров **объекта**. Состояние характеризуется тем, что описывает переменные свойства объекта. Состояние стабильно до тех пор, пока над объектом не будет произведено **действие**; если над объектом будет произведено некоторое действие, его состояние может измениться. Последовательная смена состояний объекта называется **процессом**". (Выделение жирным шрифтом наше, И.К.)

Если термин "объект" в этом определении заменить термином "физическая система", то получим точное определение понятия "состояние физической системы". Главной и определяющей характеристикой состояния системы является **координата состояния**, характеризующая не всю систему, а лишь одну конкретную **форму движения** в системе.

Форм движения в системе может быть сколько угодно, соответственно, и координат состояния будет столько же. Но на практике рассматривают обычно одну, реже несколько превалирующих или интересующих исследователя форм движения.

### 3. Свойства физической системы

Под **свойством системы** понимают одну из характеристик системы, имеющую численное значение. Обычно для этого применяют термин “**координата состояния**”, введенный еще Лагранжем. А.Вейник (1968) предпочел вместо термина “координата состояния” применять термин “**заряд**”. Однако эти два термина не адекватны друг другу.

В термодинамике вместо термина “координата состояния” применяют термин “**параметр состояния**”. В технике состояние физической системы определяется численными значениями её конструктивных параметров. Слово “параметр” в переводе с греческого языка означает “отмеривающий”. То есть подразумевается, что параметры следует измерять. Поэтому термин “параметр” и применяется часто по отношению к техническим устройствам. При теоретическом исследовании физической системы можно заменять измерения расчетами по определяющим уравнениям.

В физике применяется также часто термин “**степень свободы**”. Под этим термином понимают независимую переменную, описывающую состояние системы. Число степеней свободы равно минимальному количеству переменных, необходимому для полного описания состояния системы. Например, любое тело может двигаться в трёх взаимно перпендикулярных направлениях и вращаться вокруг трех взаимно перпендикулярных осей вращения. Поскольку тело тоже является физической системой, то можно говорить о том, что оно обладает шестью степенями свободы. Таким образом, термин “степень свободы” содержит несколько иную информацию о системе, нежели термины “координата состояния” и “параметр”.

В физике в целом и, особенно, в метрологии применяют наиболее общий термин “**физическая величина**” (или просто **величина**). Величины, характеризующие систему, определяют и состояние системы. Точнее, состояние определяют численные значения этих величин.

Имеются и такие величины, которые характеризуют не одно какое-нибудь свойство системы, а комплексно отражают состояние системы, то есть они зависят сразу от нескольких параметров системы, являются функциями этих параметров. Их называют **функциями состояния**.

Рассмотрим для примера такую физическую систему, как ёмкость, заполненную газом. Если изменение объема этой ёмкости происходит медленно, то можно исследовать взаимосвязь только между изменениями двух параметров: объема и давления газа. Если же объем изменяется быстро, то нам придется учитывать изменение третьего параметра – термодинамической температуры газа. А изменение всех этих параметров определяет изменение внутренней энергии системы. Подбор количества исследуемых параметров диктуется только необходимой точностью описания состояния системы.

Другой пример: при движении какой-нибудь детали механизма нас интересуют такие параметры, как скорость разных точек детали, конфигурация детали, плотность ее материала. Это позволяет определить силы инерции, действующие на деталь и на отдельные ее части. А если к числу координат состояния добавить температуру, то тогда можно будет изучить поведение детали при ее нагреве или охлаждении.

В любом случае при исследовании любой физической системы мы сужаем свои интересы не только рамками определенного количества интересующих нас параметров, но и связываем себя рамками какого-то ограниченного пространства и какого-то ограниченного промежутка времени.

#### 4. Что понимается под окружающей средой и контрольной поверхностью?

Материальный мир, окружающий физическую систему, называют в физике **окружающей средой**. Это понятие чаще всего в обиходе рассматривается с точки зрения экологии. Но в данном случае его трактовка иная. В англоязычном варианте Википедии приведено такое определение окружающей среды: *"Всё, что находится вне системы, является окружающей средой, которая при анализе игнорируется за исключением ее воздействия на систему. Сокращение окружающей среды до системы произвольно, оно, в целом, сделано для упрощения анализа в максимально возможной степени"*.

Рассмотрим, что отделяет физическую систему от окружающей ее среды. Для этой цели А.Вейник (1968) предложил применить такое понятие, как **контрольная поверхность** системы. Название это не совсем удачное, так как никто эту поверхность не контролирует, она мысленная. (Встречается также термин "граничная поверхность", возможно, он даже лучше, суть не в этом.)

Контрольная поверхность между физической системой и окружающей средой выбирается произвольно самим исследователем, чтобы упростить анализ состояния и поведения физической системы. То есть контрольная поверхность – это такая же физическая модель, как и сама физическая система.

**Контрольная поверхность** - понятие своеобразное, его содержание определяется теми задачами, которые мы ставим перед собой при изучении конкретной физической системы. Например, мы можем "приказать" этой поверхности быть для одних форм движения проницаемой, а для других - непроницаемой.

Рассмотрим, к примеру, воду в водопроводной трубе и будем считать ее мысленно физической системой. Основная часть контрольной поверхности такой системы – это внутренняя поверхность стенки трубы, для воды она непроницаема (пока трубу ржавчина не проела). Но по концам трубы имеются торцевые сечения, через которое вода из трубы выливается или вливается. Эти сечения – тоже часть контрольной поверхности, только проницаемые для воды.

Слово "проницаемость" тоже неоднозначно. Если стенки трубы для воды непроницаемы, то они вполне проницаемы для тепловой энергии, вследствие чего вода в трубе то нагревается, то охлаждается под воздействием внешних по отношению к трубе факторов. Получается, что часть контрольной поверхности (стенки трубы) для гидравлической формы движения непроницаема, а для тепловой формы движения проницаема.

В физике при применении этого термина следует иметь в виду некоторые нюансы. Возьмем, к примеру, такую физическую систему, как автомобиль, и пусть нас интересует такой параметр, как скорость автомобиля. Вопрос: водитель по отношению к автомобилю находится внутри системы или в окружающей автомобиль среде? Ответ неоднозначен.

Если принимать во внимание, что изменение скорости автомобиля (его ускорение) зависит от его массы, а масса водителя – это часть массы автомобиля, то, конечно, водитель находится внутри системы. Но, с другой стороны, для изменения скорости автомобиля надо нажать на педаль газа. С точки зрения автомобиля, как неодушевленной системы, эта процедура является для него внешним воздействием. Автомобиль воспринимает водителя в этом плане, как элемент окружающей среды.

А вот слой воздуха, находящийся на внешней поверхности корпуса движущегося автомобиля, следует обязательно включить в систему "автомобиль". Ведь этот слой оказывает существенное влияние на скорость автомобиля, создавая сопротивление движению. Для этого следует провести контрольную поверхность системы "автомобиль" мысленно так, чтобы она включала в себя пограничный слой воздуха. Вопрос о том, где граница этого слоя воздуха, достаточно сложен, но он современной наукой решается. Как видим, один и тот же автомобиль может быть представлен мысленно в виде разных моделей физических систем.

## 5. Какие бывают состояния физической системы?

Если количество энергоносителей в системе в каждой форме движения постоянно (в физике имеют в виду, что оно постоянно во времени), то состояние системы называют **равновесным**. В равновесном состоянии находится вся система, если все ее координаты состояния постоянны во времени во всех точках системы. Такое состояние системы называют **стационарным** или **установившимся**.

Равновесное состояние системы нарушается при воздействии на нее со стороны окружающей среды или со стороны соседних систем. Если это воздействие разовое, то со временем система приходит к новому равновесному состоянию, но уже с иным значением координат состояния. Процесс перехода к новому состоянию так и называется **переходным процессом**, анализ которого в физике часто недооценивается.

Если количество энергоносителей в системе постоянно и перенос энергоносителей через контрольную поверхность отсутствует, но существует перенос энергоносителей внутри системы вследствие различного рода флуктуаций, то такое состояние системы называют **неравновесным**. При неравновесном состоянии значения координат состояния в разных точках системы различны. Движение энергоносителей всегда приводит к диссипации энергии, то есть к переходу энергии из любой формы движения в энергию тепловой формы движения диссипации.

Равновесие системы - понятие неоднозначное. Если энергоносители внутри системы не перемещаются, то говорят о **статическом равновесии** системы (в переводе с греческого языка "статический" означает "стоящий", от слова стоять). Если координата состояния в каждой точке системы постоянна во времени, но при этом энергоносители через эту точку перемещаются, то в таком случае говорят о **динамическом равновесии** системы (в переводе с греческого языка "динамический" означает "движущийся").

Приведем опять же в пример водопроводную трубу. Если входной кран перекрыт, то вода в трубе неподвижна, следовательно, система находится в состоянии статического равновесия. Если же кран открыт, то вода перемещается по трубе, хотя объем воды в трубе остаётся прежним независимо от скорости перемещающейся воды, такая система находится в динамическом равновесии.

Из приведенных определений видно, что следует различать состояние системы в целом и состояние системы в отдельной точке.

Различают также состояние **устойчивого равновесия**, когда система, будучи выведенной из равновесного состояния одноразовым воздействием, самостоятельно возвращается в исходное состояние. И существует состояние **неустойчивого равновесия**, когда малейшее, даже случайное воздействие приводит систему к выходу из равновесного состояния, к которому система уже не может вернуться самостоятельно.

В 1984 г. был сформулирован **принцип Ле Шателье - Брауна**: "если на систему, находящуюся в устойчивом равновесии, воздействовать извне, изменяя какое-либо из условий равновесия (температура, давление, концентрация, внешнее электромагнитное поле), то в системе усиливаются процессы, направленные на компенсацию внешнего воздействия". В дальнейшем под термином "условие равновесия" стали понимать координату состояния. Следует заметить, что физические величины, указанные в круглых скобках, являются **интенсивными величинами**.

## 6. Что такое изолированная система?

Если контрольная поверхность системы непроницаема для любых форм движения, то такую систему называют **изолированной системой**. "Изолированная" в переводе с французского языка и есть "обособленная". Но термин "изолированная" тоже следует понимать неоднозначно. Если исследователя интересует изменение только нескольких параметров системы, то он может считать, что система изолирована от окружающей

среды только по этим параметрам, а взаимосвязь по остальным параметрам просто не принимает во внимание. В науке говорят, что этими параметрами пренебрегают.

Имеется наука, которая вообще старается не интересоваться тем, какие именно физические процессы происходят внутри физической системы. Она изучает обобщенные процессы перехода системы из одного состояния в другое. Эта наука называется теорией автоматического управления. В ней понятие “физическая система” соответствует термину “черный ящик”.

### **Литература**

1. Бахмутский А., 2007, Доминант понятия «система». В сб. «Системные исследования и управление открытыми системами», Хайфа, Центр "Источник информации", вып. 3, 9-19.
2. Вейник А.И., 1968, Термодинамика. 3-е изд. – Минск, Высшая школа, 464 с.
3. Коган И.Ш., 2003, Пути решения проблемы систематизации физических величин. – <http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/7073.html>
4. Коган И.Ш., 2006, Обобщение и систематизация физических величин и понятий. Хайфа, 207 с.
5. Кошарский В., 2006, Системный подход – путь к познанию и решению проблем. – Сборник “Системные исследования и управление открытыми системами“ Вып. 2, Хайфа, Центр “Источник информации“, с.с. 9 – 19.
6. Кулаков Ю.И., 2004, Теория физических структур. – М.: 2004. 847 с.
5. Эткин В.А., 2008, Энергодинамика (синтез теорий переноса и преобразования энергии). – СПб.: Наука, 409 с.