

Классификации физических систем и их реальные примеры

СОДЕРЖАНИЕ

1. Понятие о дисбалансе между физической системой и окружающей средой.
2. Классификация физических систем по основным признакам.
3. Схема взаимосвязи физической системы с окружающей средой и соседними системами.
4. Особенности закрытых физических систем.
5. Классификации физических систем по другим признакам.
6. Перераспределение видов энергии в физических системах.
7. Примеры системы-источника и системы-стока.
8. Примеры электрических систем.
9. Примеры гидравлических и тепловых систем.
10. Пример механической системы.
11. Методологические причины некорректной трактовки линейного движения.
12. Пример механической вращательной формы движения тела.
13. Сводная таблица разных физических систем в разных формах движения.

1. Понятие о дисбалансе между физической системой и окружающей средой.

Физические системы, как более обобщенное понятие, чем термодинамические системы, нуждаются в такой классификации, которая учитывала бы динамику энергообмена между системой и окружающей ее средой и/или соседними системами. Это возможно только при условии учета динамических свойств самой физической системы. Поэтому учитывающие это обстоятельство классификации физических систем могут рассматриваться как классификации любых систем с учетом их динамики.

Под **балансом энергообмена** физической системы с окружающей ее средой будем понимать состояние, при котором энергия энергоносителей, входящих в систему, равна энергии энергоносителей, выходящих из системы. Отсутствие такого равенства следует называть **дисбалансом энергообмена**.

Изменение энергообмена является главной количественной характеристикой изменения состояния физической системы.

2. Классификация физических систем по основным признакам.

2.1. По признаку состояния контрольной поверхности.

Устанавливаемая мысленно **контрольная поверхность** отделяет физическую систему от окружающей среды. Она может быть представлена проницаемой или непроницаемой для движения материальных энергоносителей.

В соответствии с этим физические системы делятся на **открытые системы** и **закрытые системы**. Эта классификация распространяется на все формы движения. При этом следует иметь в виду, что одна и та же физическая система может быть открытой для одних форм движения и закрытой для других форм движения.

2.2. По признаку поведения энергоносителей.

Данная классификация была введена А.Вейником (1968, с.29) (вместо термина "энергоноситель" он применял термин "заряд системы"). Согласно этой классификации физические системы делятся на:

а) **стационарные равновесные системы**, в которых количество энергоносителей в системе и их плотность в любой точке системы не изменяются со временем;

- б) **стационарные неравновесные системы**, в которых энергоносители движутся через систему, но количество энергоносителей в системе остается неизменным;
- в) **нестационарные равновесные системы**, в которых количество энергоносителей в системе и их плотность в любой точке системы со временем изменяются;
- г) **нестационарные неравновесные системы**, в которых энергоносители движутся через систему и их количество в системе со временем изменяется.

2.3. По признаку изменения энергообмена.

Данная классификация предложена И.Коганом (2006, с.113). Согласно ней физические системы делятся на:

- а) **системы-источники**, отдающие энергию энергоносителей в большем количестве, чем поглощают ее;
- б) **системы-стоки**, поглощающие энергию энергоносителей в большем количестве, чем отдают ее;
- в) **проточные системы**, одна часть контрольной поверхности которых является общей с системой-источником, а другая часть – общей с системой-стоком;
- г) **непроточные системы**, для которых окружающая среда или соседняя система являются либо системой-источником, либо системой-стоком;
- д) **комплексные системы**, сочетающие свойства непроточных и проточных систем;
- е) **изолированные системы**, у которых контрольная поверхность непроницаема для энергоносителей.

Эта классификация совпадает с классификацией А.Вейника (1968) по последним четырем пунктам. Изолированные системы соответствуют стационарным равновесным, проточные системы - стационарным неравновесным, непроточные системы - нестационарным равновесным, комплексные системы - нестационарным неравновесным.

Термины по признаку 2.3. представляются более понятными и лучше усваиваемыми.

3. Схема взаимосвязи физической системы с окружающей средой и соседними системами.



На схеме стрелками показано направление потоков энергоносителей. Контрольная поверхность системы обозначена на схеме жирными линиями. Энергообмен следует

рассматривать по каждому участку контрольной поверхности в отдельности. Под dW понимается элементарное количество энергообмена, происходящего слева направо. Индекс "in" означает вход в систему, а индекс "out" означает выход из системы. ΔU – разность потенциалов системы по обе стороны контрольной поверхности. dq – элементарное изменение координаты состояния формы движения.

Энергообмен следует рассматривать отдельно по каждой форме движения, имеющейся в системе, так как в одну и ту же систему могут входить энергоносители одной формы движения и одновременно с этим выходить энергоносители другой формы движения. Например, в электродвигатель входят энергоносители электрической формы движения и выходят энергоносители механической вращательной формы движения, а перенос энергии из электрической в механическую форму движения происходит внутри самой системы.

Особый интерес вызывает перенос энергии любой формы движения в тепловую форму движения диссипации dW_R , показанный на схеме вертикальными стрелками. Не следует смешивать тепловую форму упорядоченного движения энергоносителей с тепловой формой движения диссипации неупорядоченного движения энергоносителей. В упорядоченной тепловой форме движения, как и в любых других формах движения, энергоносители могут как поглощаться системой, так и отдаваться ею, тогда как тепловая форма движения диссипации только поглощает энергоносители других форм движения системы. Она может обмениваться тепловой энергией только с окружающей средой.

Предполагается, что дисбаланс энергообмена на границе системы с окружающей средой незначителен по сравнению с энергообменом на границах с системой-источником и системой-стоком. В некоторых частных случаях роль системы-источника или системы-стока (но не обеих вместе) может взять на себя окружающая среда.

4. Особенности закрытых физических систем.

У закрытых систем обмен энергоносителями с окружающей средой отсутствует, но энергообмен может осуществляться путем воздействия окружающей среды и системы на контрольную поверхность системы. Это воздействие может повлечь за собой изменение энергии энергоносителей внутри закрытой системы.

Закрытые системы являются непроточными системами для всех случаев, когда энергообмен осуществляется вещественными энергоносителями. В том случае, когда энергоносителями являются волны, закрытые системы становятся проточными системами, так как волны могут переносить энергию через контрольную поверхность вследствие колебаний этой поверхности.

5. Классификации физических систем по другим признакам.

1. Все физические системы можно классифицировать также по признаку количества форм движения, для которых существует энергообмен. Системы могут быть **с одной, с двумя, с тремя** и более **учитываемыми формами движения**. При этом подразумевается, что в любой физической системе должна учитываться дополнительно такая форма движения, как тепловая форма движения диссипации. Примером системы с двумя формами движения (электрической и механической) является электродвигатель, с тремя формами движения (электрической, механической и акустической) – громкоговоритель.

2. Физические системы можно классифицировать по признаку количества форм физических полей, с которыми взаимодействует система. По этому признаку системы могут взаимодействовать **с одной** и **с двумя формами физического поля** или быть формально **независимыми** от влияния любого физического поля. Хотя на структурном уровне "Вещество" независимых от физических полей систем нет, так как нет тел, не обладающих гравитационной массой. Но в целом ряде случаев этой зависимостью можно пренебречь. Примером проточной системы с одной формой поля (гравитационного)

является поток жидкости, с двумя формами поля (гравитационного и электромагнитного) – поток электропроводящей жидкости в электромагнитном поле.

3. Б.Доброборский (2008) предложил классифицировать физические системы также по признаку участия или неучастия химической, атомной и ядерной энергий системы в процессе энергообмена внутри системы. По этому признаку физические системы могут быть **активными** и **пассивными**. В активных системах имеет место энергообмен между химической, атомной и ядерной энергиями внутри системы и энергиями существующих в системе других форм движения, в пассивных системах такой энергообмен отсутствует. Изложение идеи наше (И.К.), в оригинальном тексте речь идет о дополнительной классификации термодинамических систем, и формулировка классификации несколько иная, но суть та же. В качестве примера активных систем приводятся системы, в которых в результате химических реакций происходит выделение тепла, например, в двигателе внутреннего сгорания.

6. Перераспределение видов энергии в физических системах

С точки зрения распределения видов энергии (потенциальной, кинетической и диссипации) следует иметь в виду следующее:

А. В непроточных открытых системах в процессе энергообмена дисбаланс потенциальной энергии между системой и окружающей средой преобразуется в перенос энергоносителей, характеризуемый их кинетической энергией, либо вовнутрь системы, либо из нее. Внутри системы изменение кинетической энергии преобразуется в изменение потенциальной энергии по мере выравнивания плотности энергоносителей по всей системе (до равновесного состояния). Процесс перехода кинетической энергии в потенциальную энергию в непроточных открытых системах происходит за конечный промежуток времени. При этом часть кинетической энергии во время переходного процесса переходит в энергию диссипации, остающуюся внутри системы и повышающую ее температуру.

В. Системы-источники и системы-стоки могут быть как непроточными, так и проточными системами, с постоянным переносом энергоносителей через их контрольную поверхность. Они постоянно обмениваются энергоносителями с исследуемой физической системой, а внутри них постоянно происходит перенос энергии различных видов в энергию тепловой формы движения диссипации.

С. Проточные системы при стационарном процессе переноса энергоносителей отличаются отсутствием накопления или сброса потенциальной энергии, они только переносят энергоносителей через себя. На входе в проточную систему в приграничной области потенциальная энергия системы-источника преобразуется в кинетическую, а на выходе происходит обратное преобразование. При этом часть кинетической энергии переходит в энергию тепловой формы движения диссипации и увеличивает количество энергии тепловой формы движения проточной системы.

7. Примеры системы-источника и системы-стока.

Примером системы-источника (в тепловой форме движения) является топка тепловой электростанции, внутри которой химическая энергия топлива постоянно переходит в тепловую энергию водяного пара. Примером системы-стока (в гидравлической форме движения) является мировой океан, обладающий практически неограниченной емкостью для координаты состояния этой формы движения. Теоретически и ту, и другую системы можно считать функционирующими как угодно долго.

8. Примеры электрических систем.

Представим себе два разных участка электрической цепи постоянного тока.

Непроточной системой является участок цепи с ёмкостью (конденсатором). Внутри любого проводника изначально имеется какое-то количество единичных электрических зарядов q (количество электронов проводимости). Если изменить разность потенциалов на зажимах участка цепи, то на обкладках конденсатора изменится количество электрических зарядов q . Оно будет меняться только во время переходного процесса, то есть, пока меняется разность потенциалов. В этот промежуток времени по подводящим проводам течет ток (ток зарядки или разрядки конденсатора), который и приводит к изменению количества заряда на обкладках конденсатора. В тот период, когда разность потенциалов неизменна, ток зарядки равен нулю.

Проточной системой является обычный проводник, условно не имеющий ёмкости. Если на клеммах проточного участка существует разность потенциалов и ее значение неизменно, то через этот участок электрический ток течет постоянно. Но общее количество электронов проводимости q внутри такого проводника при течении электронов остается постоянным. Оно не зависит от того, каково значение тока в проводнике. Сколько электронов проводимости входит на входную клемму, столько же выходит и с выходной клеммы. Электроны перемещаются по проводнику со скоростью $v = dl/dt$, где dl – длина элементарного участка проводника. Таким образом, на каждом участке элементарной длины dl с элементарным количеством заряда dq существует **элементарный движущийся заряд** ($dq \ v$). Это **координата состояния процесса переноса** в электрической форме движения. Отношение элементарного движущегося заряда ($dq \ v$) к длине элементарного участка dl , равно ($dq/dl \ v$), называют **электрическим током** и обозначают символом i .

А теперь подключим параллельно друг другу участки с ёмкостью и без нее. Такая система состоит как бы из двух частей: непроточной и проточной. Она и является комплексной системой. При изменении разности потенциалов на клеммах комплексной системы по проводнику с ёмкостью на короткое время пойдет дополнительный ток, меняя заряд на обкладках конденсатора. Только в этот период времени включается в работу непроточная часть комплексной системы. А на общих клеммах токи проточной части и непроточной части суммируются по закону Кирхгофа.

9. Примеры гидравлических и тепловых систем.

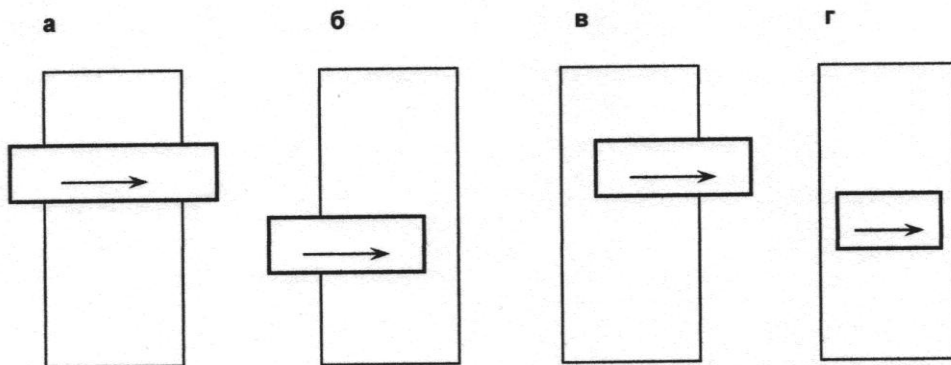
Приведем пример **открытой проточной системы**. Вдоль трубы постоянного сечения, заполненной текущей жидкостью, статическое давление и плотность жидкости, пусть и незначительно (если речь идет о капельной жидкости), но снижаются, а количество молекул в единице объема жидкости уменьшается. И хотя средняя по сечению продольная скорость частиц жидкости вдоль трубы не изменяется (о чем свидетельствует уравнение неразрывности потока), общая кинетическая энергия молекул уменьшается вследствие уменьшения их количества в единице объёма. Не менее важно то, что уменьшается доля упорядоченно движущихся молекул, то есть доля тех молекул, чья кинетическая энергия переходит на выходе из трубы в потенциальную энергию молекул системы-стока. А потерянная механическая энергия переходит в тепловую энергию, незначительно нагревающую жидкость в трубе.

Приведем пример **закрытой проточной системы**, в которой отсутствует поток вещества, но существует поток энергоносителей в виде волн в упругом теле (например, в теплопроводящей стенке). При отсутствии теплопередачи интенсивность тепловых колебаний молекул, из которых состоит тело стенки, стабильна. При возникновении температурного напора по обе стороны стенки более интенсивные колебания молекул горячей поверхности стенки передают свой импульс молекулам холодной поверхности, интенсивность колебаний молекул уменьшается в этом направлении, что и является свидетельством переноса энергоносителей. А заодно и нагрева самой стенки.

Одна и та же физическая система может быть проточной для одних форм движения и непроточной – для других. Например, при перекачке жидкости по трубопроводу система

рассматривается как проточная только для гидравлической формы движения и как непроточная для других форм движения (если не учитывать того, что тепловой заряд диссипации, возрастающий при трении жидкости о стенки трубы, частично уходит в окружающую среду через стенки трубы).

10. Пример механической системы.



Значительно сложнее проиллюстрировать сказанное примерами из механики. В качестве примера приведем прямолинейное движение твердого тела.

На рисунке изображена физическая система в виде участка пространства, через которое перемещается тело, ею является большой прямоугольник. Перемещение центра масс тела, показанного малым прямоугольником, является координата состояния механической формы движения. Скорость перемещения центра масс будет определять значение потока энергоносителей.

На рис. **а** показан тот случай, когда внутри системы находится только центральная часть перемещаемого тела. В этом варианте при перемещении тела через систему масса того участка тела, который входит в систему слева, такая же, как и та, что выходит из системы справа. Так что, согласно классификации физических систем, в этом варианте мы имеем дело с механической формой движения в **проточной системе**, в которой полное количество энергоносителей не изменяется. Энергоносители только перемещаются через проточную систему.

На рис. **б** окружающая среда слева от системы играет роль системы-источника для той части тела, которая находится внутри физической системы. В системе наблюдается увеличение массы тела, а центр масс той части тела, которая находится внутри физической системы, перемещается слева направо. Это изменяет количество энергоносителей внутри системы, и поэтому систему следует считать **непроточной**.

На рис. **в** окружающая среда справа от физической системы является системой-стоком для той части тела, которая еще находится внутри физической системы. В системе наблюдается уменьшение количества энергоносителей, так как центр масс тела перемещается в сторону выхода из системы. Систему также следует считать **непроточной**.

Наконец, в случае, показанном на рис. **г**, физическая система является **неравновесной**, так как количество энергоносителей внутри системы не изменяется, тело, перемещаясь, не выходит за пределы системы. Правда, вариант, показанный на рисунке **г**, можно всегда мысленно сузить до варианта, представленного на любом из первых трех вышеприведенных вариантов.

11. Методологические причины некорректной трактовки линейного движения.

Сложность восприятия перемещения тела, как процесса переноса энергоносителей при механическом прямолинейном движении, на самом деле психологическая. Причиной этого является то, что физическое содержание движения тела не сразу становится понятным вследствие выбора центра масс тела в качестве движущейся координаты

состояния. В нашем сознании перемещение тела не ассоциируется с движущимися энергоносителями, потому что в реальном пространстве имеет место перемещение реального тела, имеющего объём и массу, а не перемещение каких-то бестелесных материальных точек, понятие о которых положено в основу кинематики. На самом деле следует говорить о перемещении центра масс реального тела, а материальная точка в природе не существует. Говоря о материальной точке, мы вступаем в противоречие с реальностью, что препятствует процессу систематизации физических величин. А вместе с этим начинаются трудности и при преподавании.

Мы просто перестали замечать, что в современной механике перемещение массы тела сначала искусственно переводится в перемещение объёма тела путем деления массы на плотность. Затем точно так же искусственно перемещение объёма переводится в перемещение материальной точки путем деления объёма на площадь поперечного сечения. И, наконец, материальная точка совмещается с центром масс тела. Но этот мыслительный математический процесс при преподавании не поясняется, даже если он понятен самому преподавателю. К сожалению, есть подозрение, что многие преподаватели просто не задумываются над этим. Студенты тем более.

Но это вовсе не говорит о сознательном уходе от реальности при преподавании. Именно таким путем и развивались исторически наши знания о природе: от наглядного к содержательному, от частного к обобщенному. Просто в одних явлениях обобщенное вырисовывалось раньше, в других – позже. Жаль только, что к тому моменту, когда обобщение уже стало вырисовываться, очень трудно отходить от привычных разжеванных веками методик преподавания.

12. Пример механической вращательной формы движения тела.

Еще сложнее придать ясность процессу вращения тела вокруг неподвижной оси. Представим себе в качестве механической системы цилиндрическое тело, например, вал трансмиссии, торцевые поверхности которого жестко связаны с другими цилиндрическими телами (другими валами), вращающимися с той же угловой скоростью и идентифицируемыми как система-источник и система-сток. В качестве системы-источника может выступать вал двигателя, а в качестве системы-стока – вал рабочего механизма. Тогда вал трансмиссии выступает в роли проточной механической системы.

Пусть угловая скорость системы-источника (вала двигателя) или системы-стока (вала рабочего механизма), или обеих систем вместе, в какой-то момент времени станет не равной угловой скорости проточной системы (вала трансмиссии). Это будет равносильно изменению энергообмена в проточной системе (вале трансмиссии). Проявляется это в том, что каждое сечение вала трансмиссии поворачивается по сравнению с предыдущим сечением на какой-то угол, пусть даже и незначительный, что равносильно угловому деформированию вала трансмиссии. Деформируемые участки тела и являются энергоносителями, переносимыми через проточную систему.

Как и в случае с прямолинейной формой движения, в роли движущейся координаты состояния после различных математических преобразований становится угол поворота. И тогда потоком координаты состояния становится угловая скорость вала трансмиссии. В реальности же движущейся координатой состояния при вращении тела, как проточной системы, является угловое перемещение сектора сечения тела.

Таким образом, и в этом случае физическое содержание приносится в жертву мнимой наглядности.

13. Сводная таблица разных физических систем в разных формах движения.

Физическое явление	Классификация физических систем		
	по балансу энергообмена	по количеству форм движения	по количеству форм силового поля
Прямолинейное движение тела	проточная	с одной формой	с одним полем
Движение тела по дуге окружности	проточная	с одной формой	независимая
Движение по криволинейной траектории	проточная	с двумя формами	с одним полем
Вращение тела вокруг своей оси	проточная	с одной формой	независимая
Упругая деформация твердого тела	непроточная	с одной формой	независимая
Движение жидкости в закрытом канале	проточная	с одной формой	с одним полем
Движение электропроводящей жидкости	проточная	с двумя формами	с двумя полями
Движение жидкости в открытом канале	комплексная	с одной формой	с одним полем
Изотермическое движение газа в канале	непроточная	с одной формой	независимая
Диффузия газа в сосуде	непроточная	с одной формой	независимая
Диффузия жидкости в сосуде	непроточная	с одной формой	с одним полем
Конвекция газа	комплексная	с двумя формами	независимая
Конвекция жидкости	комплексная	с двумя формами	с одним полем
Сжатие (расширение) газа	непроточная	с двумя формами	независимая
Теплопроводность через стенку	проточная	с одной формой	независимая
Нагрев (охлаждение) тела	непроточная	с одной формой	независимая
Распространение звуковых волн	проточная	с одной формой	независимая
Движение зарядов в проводнике	проточная	с одной формой	с одним полем
Движение зарядов в магнитном поле	проточная	с одной формой	с одним полем
Поляризация диэлектрика	непроточная	с одной формой	с одним полем
Поворот контура с током в магнитном поле	непроточная	с одной формой	с одним полем
Перемагничивание магнитной цепи	непроточная	с одной формой	с одним полем

Литература

1. Доброборский Б.С., 2008, Об активных и пассивных термодинамических системах. <http://interlibrary.narod.ru/GenCat/GenCat.Scient.Dep/GenCatPhysics/150000011/150000011.htm>
2. Коган И.Ш., 2006, Обобщение и систематизация физических величин и понятий. – Хайфа, Изд. Рассвет, 207 с.