

втором — о разрушении существующих в системе колебательных и волновых процессов. Нарастание возмущений на фоне неустойчивого движения может происходить в виде колебаний или волн либо аperiodически. Поступление энергии к нарастающим периодическим возмущениям при Н. в к. и в. с. может идти двумя способами — автоколебательным и резонансным (см. *Автоколебания*). При автоколебательной неустойчивости возмущения растут за счёт энергии источников неколебательной природы. Резонансное нарастание возмущений обусловлено отбором ими энергии от к.-л. периодических источников или движений системы. Основные особенности Н. в к. и в. с. могут быть продемонстрированы на примере матем. маятника. Движение его в отсутствие диссипации описыва-

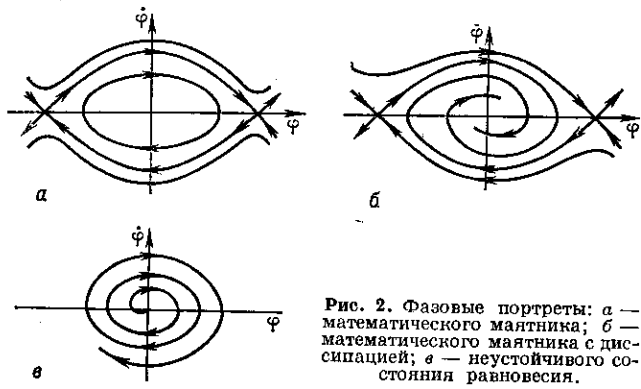


Рис. 2. Фазовые портреты: а — математического маятника; б — математического маятника с диссипацией; в — неустойчивого состояния равновесия.

ется уравнением $\ddot{\varphi} + \sin\varphi = 0$. Замкнутые траектории на рис. 2, а отвечают периодич. незатухающим колебаниям. При введении в систему малой диссипации и соответственно в уравнение осциллятора члена $\alpha\dot{\varphi}$ ($\alpha > 0$) колебания станут затухающими и замкнутые траектории на фазовой плоскости превратятся в скручивающиеся спирали (рис. 2, б). Если возможно поступление энергии к колебаниям, то они будут нарастать. Подталкивая маятник с периодом его собств. колебаний, можно получить резонансное возбуждение колебаний. Представим теперь, что воздействие на маятник зависит от характера его колебаний благодаря механизму *обратной связи*, обеспечивающему поступление энергии в нужной фазе, пропорциональное, напр., величине $\dot{\varphi}$. Формально это соответствует введению в систему отрицат. диссипации $\alpha\dot{\varphi}$ ($\alpha < 0$). Тогда состояние равновесия $\varphi = \dot{\varphi} = 0$ существует, но оно неустойчиво — сколь угодно малое отклонение от указанной точки приведёт к раскачке колебаний. Фазовые траектории в окрестности состояния равновесия имеют при этом вид раскручивающихся спиралей (рис. 2, в). Т. к. частота и фаза поступления энергии к колебаниям определяются собств. движением осциллятора, то источник энергии может быть неколебательным. Это пример автоколебат. неустойчивости. Автоколебат. неустойчивость, ограниченная нелинейными эффектами, приводит, как правило, к установлению стационарных автоколебаний. В более сложных системах с размерностью фазового пространства, не меньшей трёх, неустойчивость может привести к возникновению *стохастических колебаний*. Наряду с механизмом положит. обратной связи к автоколебат. неустойчивости приводит существование падающего участка на характеристике зависимости силы трения в осцилляторе от скорости движения. Так происходит, напр., возбуждение струны движущимся смычком. Зависимость силы трения от относит. скорости движения смычка и струны показана на рис. 3. Выбранной скорости движения смычка v_0 отвечает сила F_0 , к-рая уравнивается натяжением струны. Легко, однако, заметить, что указанное состояние равновесия неустойчиво. Появление скорости движения струны, напр., в направлении движения

смычка означает уменьшение относит. скорости смычка и струны и соответственно вызывает возрастание силы трения F . Это ведёт к уходу от состояния равновесия. В результате возникают нарастающие колебания струны, что следует и из энергетич. баланса. Действительно, работа силы трения за период движения струны положительна: в те полпериода, что струна движется со смычком, сила трения больше, чем при встречном их движении. С автоколебат. неустойчивостью связана работа генераторов периодич. колебаний (механич., акустич., эл.-магн. и т. д.). В частности, в механич. часах потери на трение компенсируются при помощи анкерного механизма за счёт энергии пружины. Электр. колебания генерируются в колебат. контуре за счёт энергии батареи либо при помощи триода с включением контура в цепь его управляющего электрода (обратная связь), либо при включении в контур туннельного диода — элемента с падающим участком вольт-амперной характеристики.

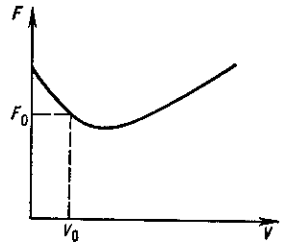


Рис. 3. Зависимость силы трения F между смычком и струной от их относительной скорости.

Примером др. типа неустойчивости — резонансной — может служить параметрич. неустойчивость маятника. Если с частотой, вдвое большей частоты маятника, менять длину подвеса, то состояние равновесия ($\varphi = \dot{\varphi} = 0$) и в этом случае оказывается неустойчивым. Именно так возникает раскачка качелей, если вставать при прохождении ниж. точки траектории (см. *Параметрический резонанс, Параметрическая генерация и усиление электромагнитных колебаний*). Нарастание колебаний маятника при периодическом изменении длины его подвеса может быть рассмотрено и с др. точки зрения — как пример неустойчивости периодических колебаний. При замене жёсткого подвеса маятника упругим система приобретает дополнит. степень свободы, соответствующую вертикальным колебаниям. При произвольном соотношении частот вертикальные и горизонтальные колебания могут происходить практически независимо. Напр., возможны незатухающие вертикальные колебания груза на пружине. При выполнении условия параметрич. резонанса два типа колебаний начинают эффективно взаимодействовать, что в рассматриваемом случае приводит к раскачке горизонтальных колебаний за счёт энергии вертикальных. При этом вертикальные колебания в системе оказываются неустойчивыми по отношению к возбуждению горизонтальных.

Проявления неустойчивости в колебат. системах с конечным числом степеней свободы в осн. аналогичны рассмотренным на примере маятника. Проявление неустойчивости в волновых системах имеет особенности, обусловленные пространств. протяжённостью этих систем. Как и в колебат. системах, неустойчивость волновых движений в консервативных волновых системах является резонансной и связана с нелинейным взаимодействием волн, напр. трёх-, четырёх- и т. д. волновые взаимодействия, возникающие в *нелинейных средах* при выполнении условий *синхронизма, самовоздействие волн* (само модуляция, самофокусировка) и др. В активных волновых системах неустойчивость может иметь как автоколебательный, так и резонансный характер. Примерами активных волновых систем являются лазеры, гиротроны, волновые пучки в плазме, химически активные среды. При автоколебат. неустойчивости волновые возмущения нарастают за счёт энергии неколебат. источников, напр. пучков частиц или течений. В отличие от колебат. систем нарастание возмущений в таких системах может происходить не только во времени, но и в пространстве. В частности, возмущение может носить