Энтропия в техносфере

При внесении **в равновесную** систему внешнего возмущения (воздействия, потока) из окружающей среды система становится **необратимой** (И. Пригожин). Система в равновесном и необратимом состоянии проявляет *идентичные* свойства и единообразно реагирует на внешнее "возмущение".

Неравновесная система, изолированная в зоне «порядка» (детерминированной зоне) ведет себя точно так же, как изолированная равновесная система в состоянии «хаотического равновесия», и при наличии некоторого "возмущения" непременно возвращается к структурной симметрии - к "равновесию" в неравновесном состоянии (от одной бифуркации к другой) (И. Пригожин).

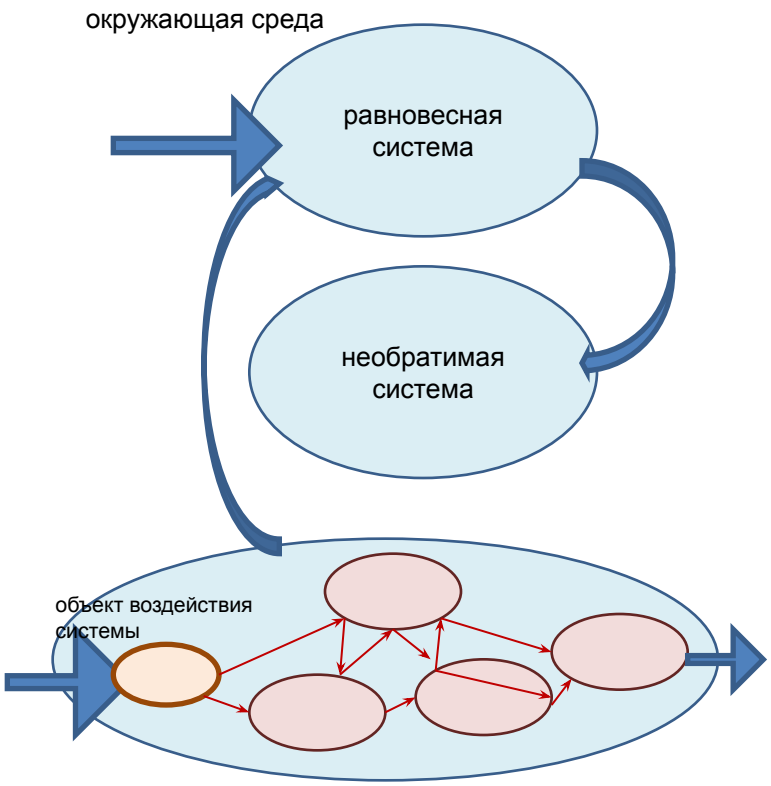
Открытые необратимые системы в окружающей среде подвергаются непрерывному воздействию (возмущению) внешней среды, и более устойчивы, чем изолированные системы, что выражается в их *необратимости* и в чередовании зон "порядка" и "хаоса".

При этом в обоих состояниях необратимая система стремится к устойчивому состоянию в окружающей (внешней) среде.

Отсюда:

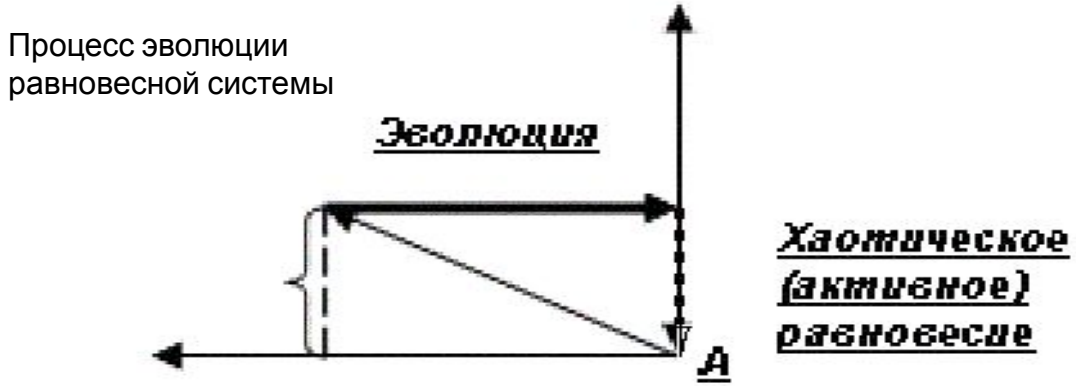
а). в зонах "порядка" наблюдается "минимум производства энтропии";

б). при переизбытке энтропии в зоне "порядка" наблюдается бифуркация системы к новому режиму ("порядку").



Состояние «хаотического равновесия»

Энтропия в замкнутой системе непрестанно возрастает до тех пор, пока не достигает своего максимального значения в состоянии термодинамического равновесия.



В приращении энтропии dS участвуют две ее составляющие:

-d_eS - перенос энтропии через границы системы (в окружающую среду или в пределы другой системы);

- d_iS – величина энтропии, произведенной в системе.

Согласно второму началу термодинамики, производство энтропии внутри рабочей системы положительно:

$$dS=d_eS+d_iS, \text{ при } d_iS>0$$

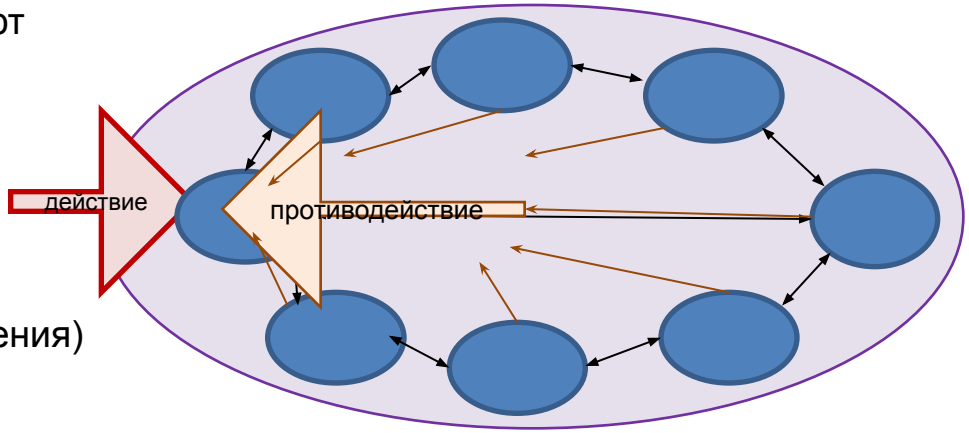
Данная формула применяется для расчета энергетических затрат и потерь при работе систем, связанных с тепловыми машинами и показывает: какое количество энергии или вещества в единицу времени надо затрачивать, чтобы поддерживать систему в *рабочем* состоянии с учетом выполняемой работы - **A** за вычетом бесполезных потерь - **d_eS**, расходуемых на теплообмен системы с внешней средой, и пригодна лишь для работы механических систем: при прекращении подачи энергии система возвращается в первоначальное, термодинамическое равновесие с внешней средой и формула второго начала термодинамики принимает вид:

$$dS=0 \text{ при } d_iS = 0 \text{ и } d_eS = 0$$

т.е. без постоянной "подпитки" энергией извне механические системы прекращают работу.

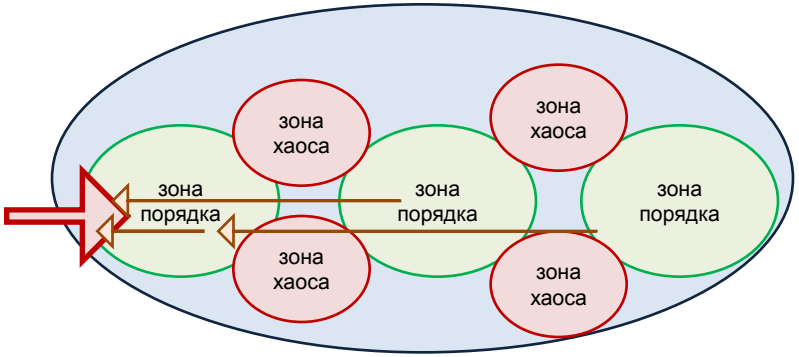
Равновесные и необратимые системы обладают идентичными (консервативными) свойствами противодействия внешнему возмущению и стремлением к структурной устойчивости в отношениях с окружающей (внешней) средой.

Второе начало термодинамики отражает процесс антиэнтропийного *противодействия* (сопротивления) **равновесных систем** внешнему «возмущению».



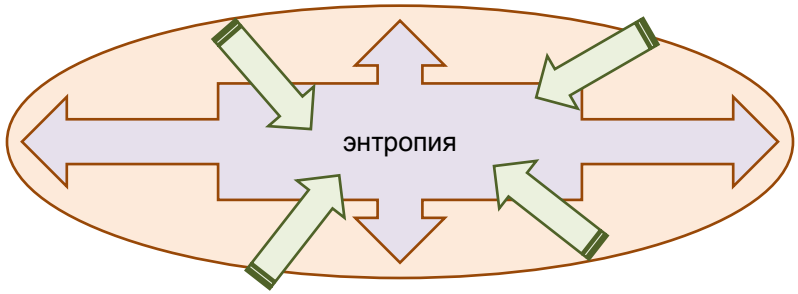
Свойство противодействия системы внешнему воздействию (устойчивость системы)

В необратимых системах данный процесс действует только в зонах "порядка", где наблюдается «минимум производства энтропии», что выражается во внутренней трансформации структуры необратимых систем в период "производства энтропии" при чередовании зон «порядка» и «хаоса».



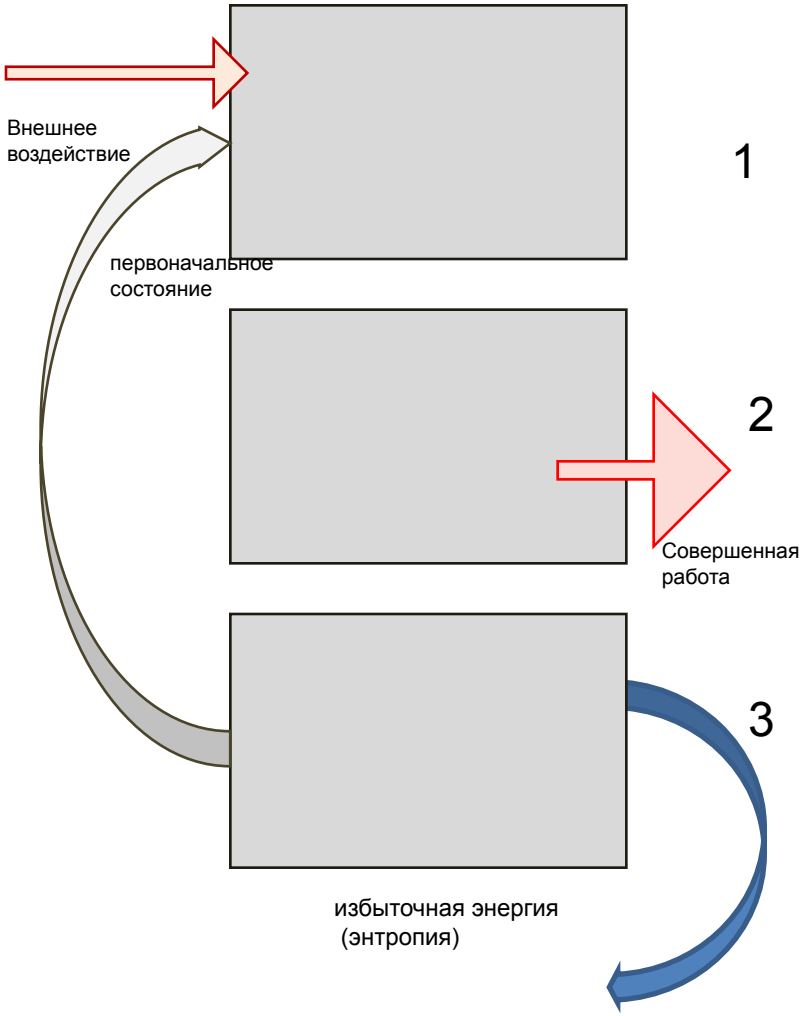
Трансформация структуры необратимых систем

Энтропия деформирует структуру системы, а информация, заложенная внутри системы и поддерживающая ее внутренний порядок, вновь периодически структурирует систему.



Внешние воздействия на систему (1) провоцируют *активизацию* корпоративного поведения частиц в изолированной механической системе (2), и система после совершения работы (или после расконсервации) избавляется от *избыточной* энергии (3) (*активности* частиц), возвращаясь в первоначальное состояние.

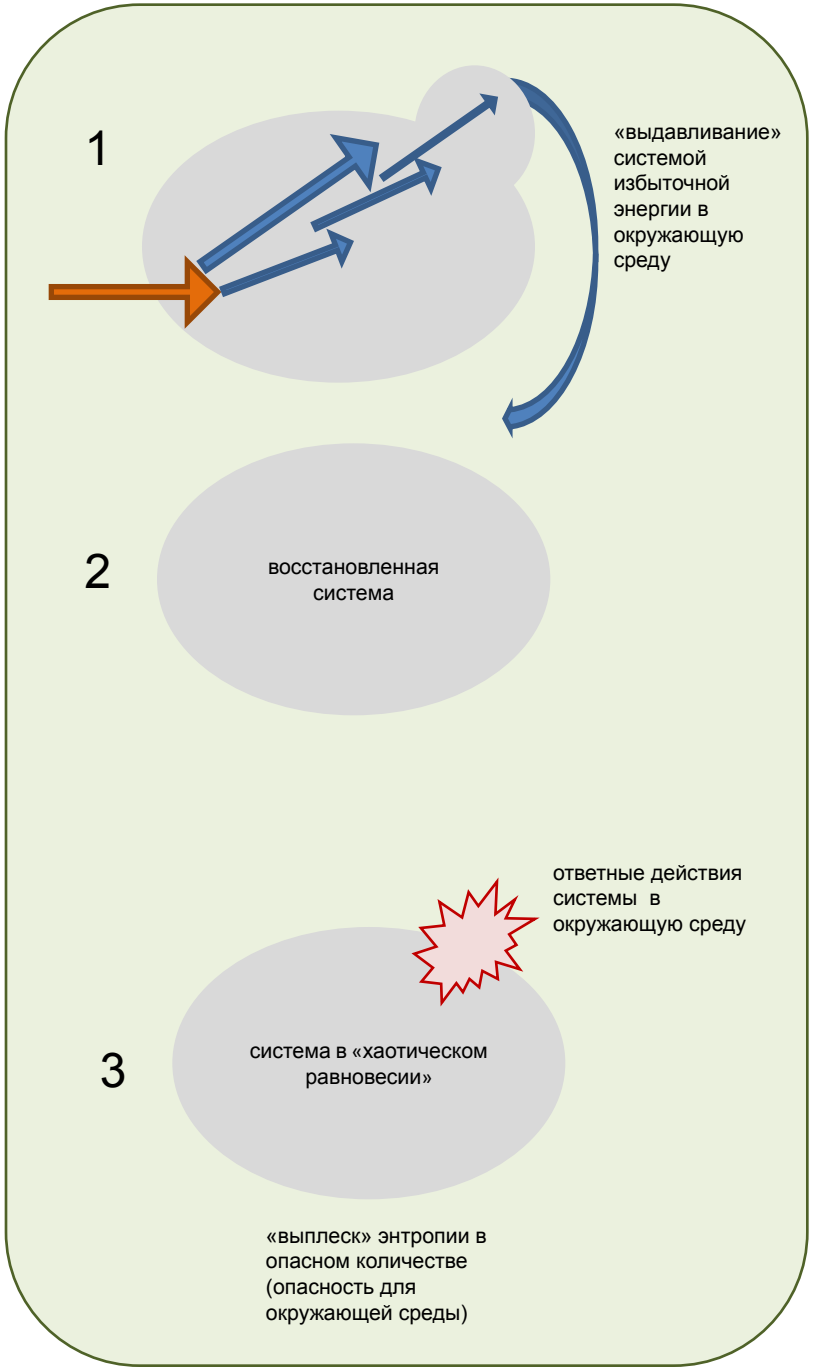
Таким образом происходит процесс *противодействия* (сопротивления) систем внешнему "возмущению", при котором системы совершают *волевой откат* в «хаотическое равновесие» (состояние *возбужденной* структурной симметрии "возмущенной" системы).
В период первичного процесса выполнения работы системой в результате внешнего воздействия определяющими оказываются *свойства* термодинамической системы, которые отражают:
- поведение изолированной системы, как *активного субъекта*, совершающего работу;
- *конфликтные субъект - объектные отношен ия* между изолированной системой и внешним раздражителем, предварительно "накачавшим" систему.



Ответные действия системы сводятся к ее реакциям: *вторичный* процесс (при изолировании системы) - откат системы в активное «равновесие»; *третичный* процесс (если вновь расконсервировать систему) - выдавливание системой избыточной (закаченной) энергии и восстановление первоначального термодинамического паритета с внешней средой.

Данный процесс можно квалифицировать как *консервативные* свойства равновесных систем, выступающих как *активные* субъекты, способные на незапланированные действия внутри системы для восстановления наиболее устойчивых структурных состояний. Отсюда –возникающие опасности для самих систем и окружающей (внешней) среды вследствие совершения системой тех или других ответных «действий» (после естественного отката изолированной системы в "хаотическое равновесие").

Неравновесие системы *выпрямляется* (возникает симметрия) с одновременной *активизацией* (хаотизацией - по Клаузиусу и Пригожину) зон «хаоса» и «порядка» и *новым равновесным перераспределением* частиц системы. При этом структура *выпрямляется* самой системой, как *активным* субъектом, для которой состояние "хаотического равновесия" (внутренней, структурной симметрии) является более *удобным* (приемлемым, комфортным), чем ее любые неравновесные состояния.



В системе происходят деструктивно - репродуктивные процессы, выражающиеся во внутренних переходах и взаимодействиях:

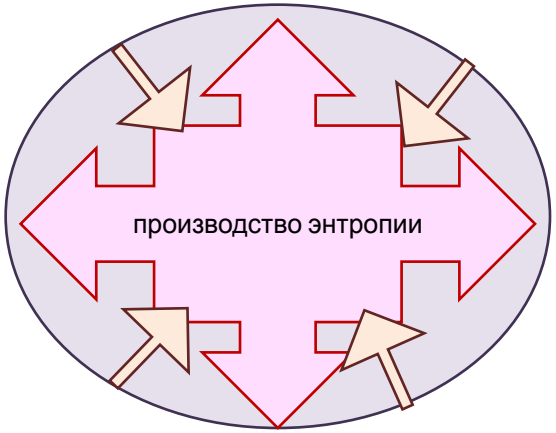
- «производство энтропии»;
- «рационализация» системы (стремление системы самовосстановиться).

В этот период в системе происходят два вида (порядка) процессов:

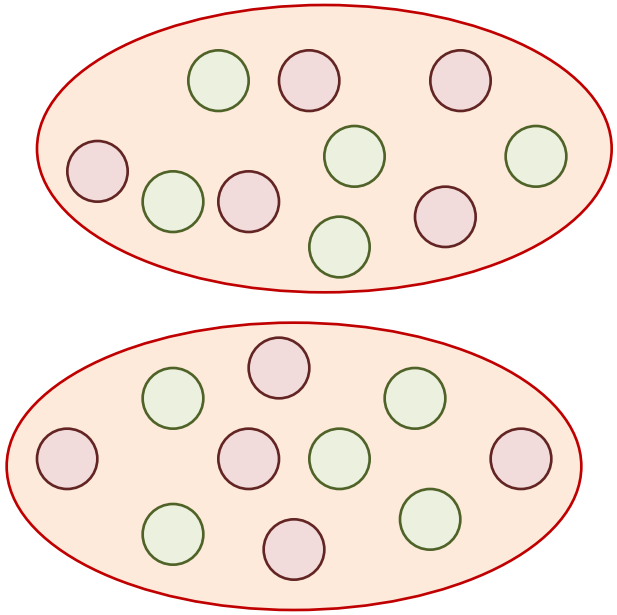
1. Стремление к внутренней, структурной устойчивости (симметрии) - противодействие (сопротивление) системы деструктивному процессу возрастания энтропии и возникновению деструктивных асимметрий и деформаций:

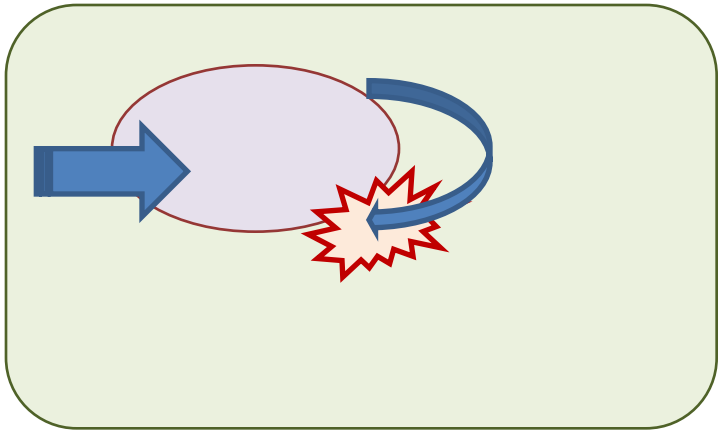
- в изолированных системах – выражается в возвращении к "хаотическому равновесию" (к структурной симметрии);
- в необратимых системах – в зонах «хаоса» наблюдается рост (производство) энтропии, а в зонах "порядка" процесс стремления к устойчивости отражается в "минимуме производства энтропии", а при перепроизводстве энтропии - в бифуркациях к новым симметричным "порядкам".

2. Сохранение в зонах "порядка" структурной "гибкости" и при необходимости самосохранения - переход к новым начальным условиям равновесия (симметрии), режиму функционирования и типу структуры.



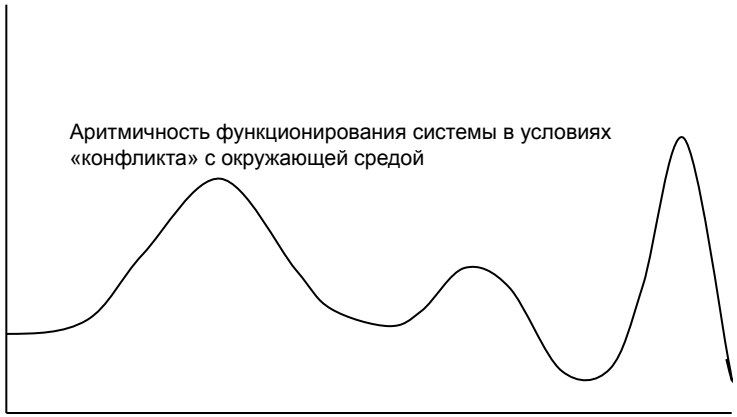
рационализация системы





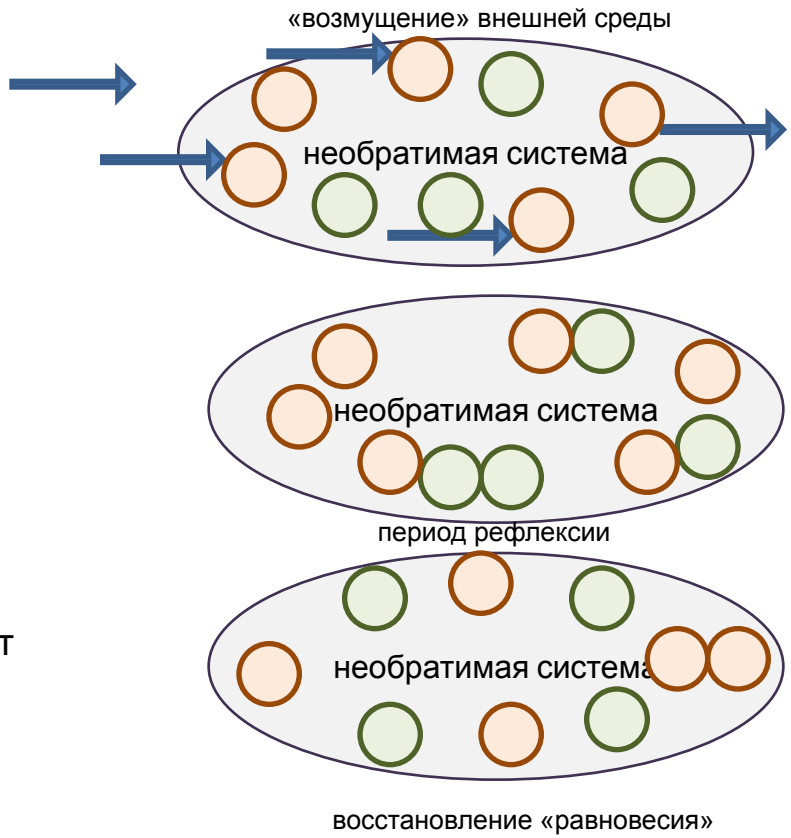
Системы являются *активными* субъектами внешней среды и проявляют *субъектные* свойства:
- могут находиться в конфликтных отношениях с внешней средой;
- противодействовать внешнему "возмущению", что отражается в процессе чередования зон "порядка" и "хаоса" при производстве энтропии.

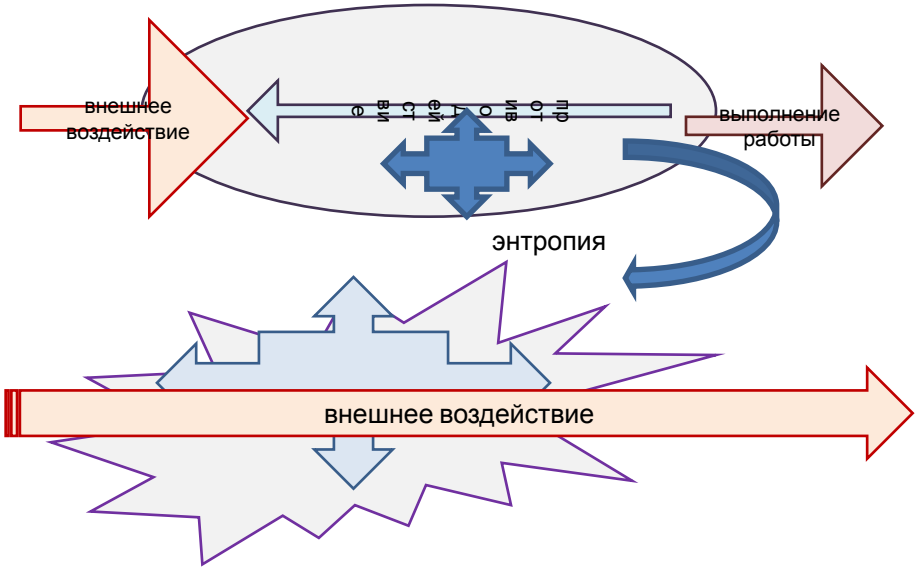
Опасность разрушения механической (технической) системы отражает проблему *субъект - объектных* отношений, возникающих между необратимыми системами и внешней средой (макроструктурами) в период чередования зон "порядка" и "хаоса" (производства энтропии"), через аритмичное функционирование необратимых систем.



Искусственное изменение структуры системы (нерациональное воздействие извне избыточной энергией) ведет *к непредсказуемости* поведения системы и *невычислимости* физических параметров системы.

При непрерывном "возмущении" внешней средой (энергией, сырьем) в период рефлексии необратимые системы подвергаются не просто чередованию зон "порядка" и "беспорядка", но попеременно
испытывают *деструктивные* (энтропийные) и *репродуктивные* (информационные) структурные процессы. Если причиной возникновения зон деформаций ("производства энтропии") и диссипативного хаоса является внешняя среда, то устраняют эти зоны деформации (восстанавливают структурный "порядок" и задают информационную парадигму) сами системы, которые периодически преодолевают внутренний, структурный дискомфорт и восстанавливают "равновесие" в неравновесном состоянии" (симметрию).





Для начала процесса разрушения системы ей необходимо «перейти» из состояния обратимой механической (выполняющей работу) системы в необратимую (разрушающуюся под воздействием внутренних факторов (отказов ее элементов) или внешней среды).

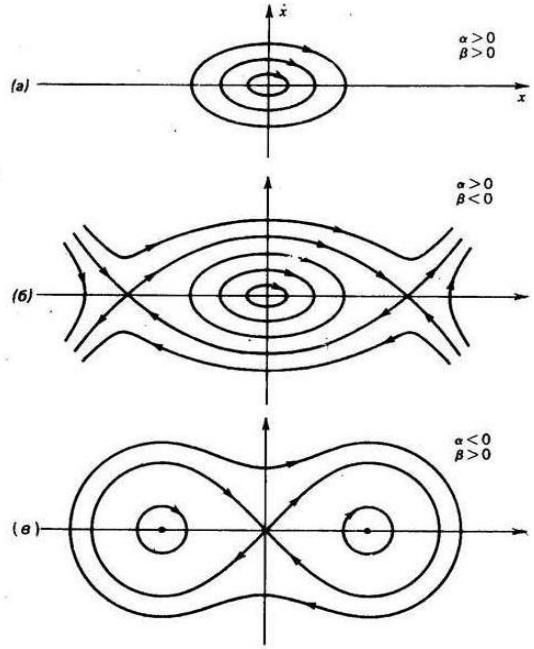
Бифуркация - катастрофический скачок, конфликтный срыв, узел взаимодействия между случаем и внешним ограничением, между колебаниями и необратимостью.

"Бифуркация - это проявление внутренней дифференциации между частями самой системы и системой и окружающей средой« (И. Пригожин).

Бифурка́ция — термин происходит от лат. *bifurcus* — «раздвоенный» и употребляется в широком смысле для обозначения всевозможных качественных перестроек или метаморфоз различных объектов при изменении параметров, от которых они зависят.

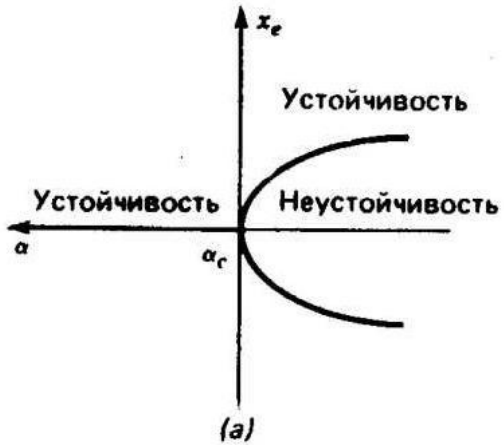
Точка бифуркации - смена установившегося режима работы системы. (Википедия).

Флуктуация (от лат. *fluctuatio* — колебание) — термин, характеризующий любое колебание или любое периодическое изменение. В квантовой механике — случайные отклонения от среднего значения физических величин, характеризующих систему из большого числа частиц; вызываются тепловым движением частиц или квантовомеханическими эффектами.



Бифуркация такого типа называется бифуркацией типа вил. Физический смысл этого явления понятен из того, что силу -(a*x+b*x*x*x) можно описать с помощью потенциальной энергии. Когда а становится отрицательным, потенциал с одной ямой заменяется потенциалом с двумя ямами. При этом происходит качественное изменение динамики системы, и поэтому а=0 является критическим бифуркационным значением.

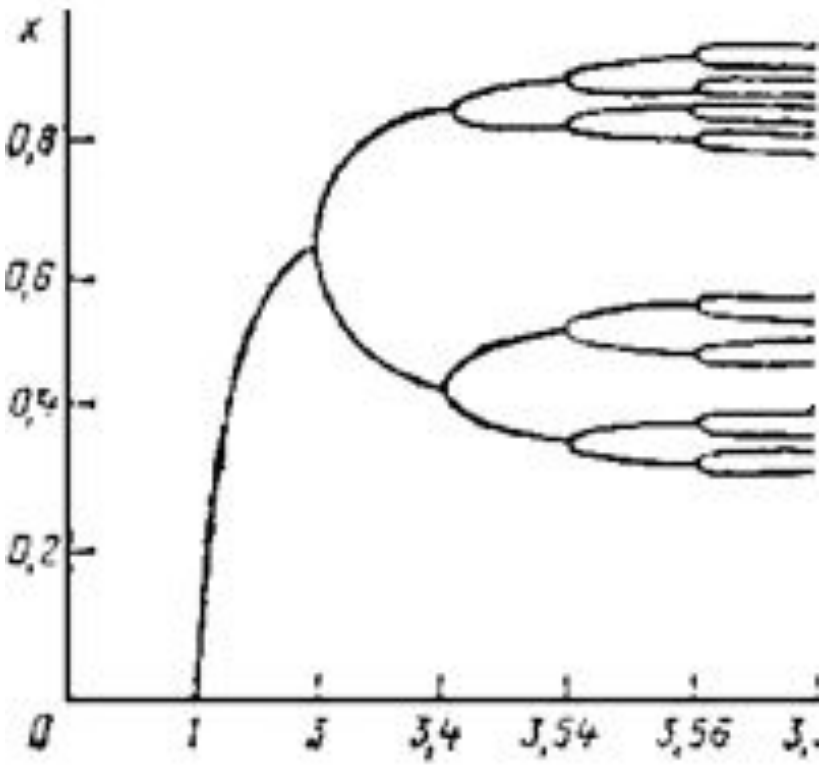
Бифуркационная диаграмма: бифуркация типа вил, отвечающая переходу из состояния с одним устойчивым положением равновесия в состояние с двумя устойчивыми равновесными точками, где по мере изменения некоторого управляющего параметра пара комплексно-сопряженных собственных значений s1=i*w+q, s2=-i*w+q переходит из левой части плоскости (q<0, устойчивая спираль) в правую часть (q>0, неустойчивая спираль) и возникает периодическое движение, называемое предельным циклом.



получивший название последовательность Фейгенбаума, имеет самоподобную, фрактальную структуру - увеличение какой-либо области выявляет подобие выделенного участка всей структуре. Переход к хаосу может быть представлен в виде диаграммы бифуркаций, где при непрерывном изменении параметров могут возникать каскады бифуркаций. В результате последовательности бифуркаций в динамической эволюционирующей системе возможно установление хаотического режима.

Каскад бифуркаций - один из типичных сценариев перехода от порядка к хаосу, от простого периодического режима к сложному апериодическому, при бесконечном удвоении периода.

Теория Фейгенбаума приводит к парадоксальному выводу: между хаосом и порядком есть глубокая внутренняя связь. Непериодический, случайный процесс возникает как предел всё более усложняющейся структуры, которая может усложниться настолько, что ее поведение станет хаотичным. С этой точки зрения хаос - это не отсутствие структуры, а очень развитая, чрезмерно усложненная

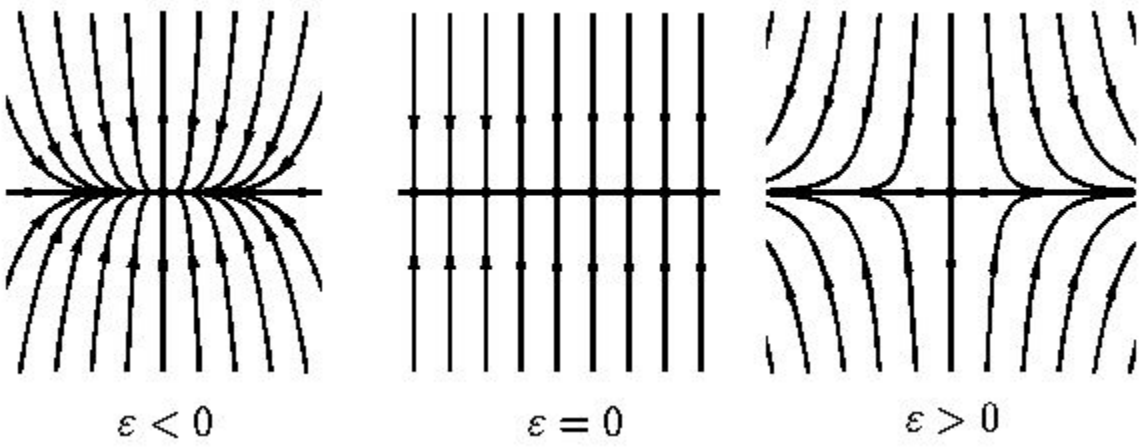


Бифуркационная диаграмма

Термин *бифуркация* (букв. раздвоение) употребляется для обозначения качественной перестройки, изменения той или иной картины — в нашем случаефазового портрета обыкновенного дифференциального уравнения при изменении входящего в это уравнение параметра. Простейшим примером может служить, например, изменение фазового портрета системы:

$$d/dt(x_1/x_2) = (\varepsilon 0/0-1)(x_1/x_2)$$

при прохождении параметра ε через 0 (см. рис.): при ε < 0 фазовый портрет представляет собой устойчивый узел, а при ε > 0 — седло.



Локальные бифуркации состояния равновесияЛокальные бифуркации состояния равновесия динамической системы:

$$x' = f(x, \varepsilon)$$

предполагая, что $f : \mathbf{R}^n \times \mathbf{R} \to \mathbf{R}^n$ — непрерывно дифференцируемая функция. Допустим, что уравнение при ε = 0 имеет стационарную точку x_0: $f(x_0, 0) = 0$.Будем говорить, что точка ε = 0 является *точкой локальной бифуркации динамической системы со стационарной точкой* x_0, если найдутся сколь угодно малые значения ε, при которых динамическая система в окрестности точки x_0 не является локально топологически эквивалентной системе, отвечающей нулевому значению параметра.

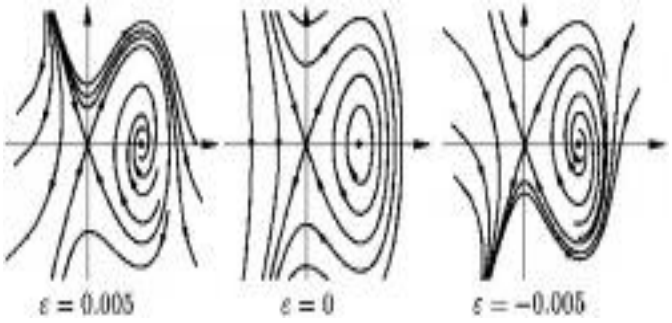
Свойства точки бифуркации

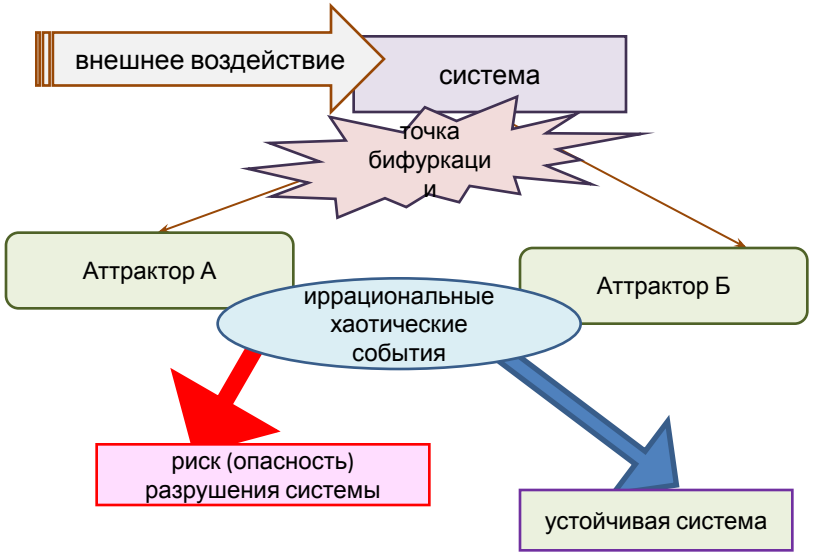
- *Непрогнозируемость.* Обычно точка бифуркации предваряет несколько ветвей аттрактора (устойчивых состояний системы), в одно из которых перейдет система. Однако заранее невозможно предсказать, какой новый аттрактор займёт система. Это связано с природой времени - невозможно так синхронизировать внутренние состояния элементов системы, чтобы достоверно определить, в каких состояниях они будут в момент, когда система достигнет точки бифуркации.
- Точка бифуркации носит как правило *кратковременный локальный характер* относительно разделяемых ею более длительных устойчивых состояний системы.

На основании свойства непрогнозируемости точки бифуркации все события делятся на:

- рациональные;
- иррациональные хаотические - имеющие область бифуркаций и область рациональных аттракторов;
- иррациональные случайные - когда зона бифуркации охватывает все пространство возможных событий.

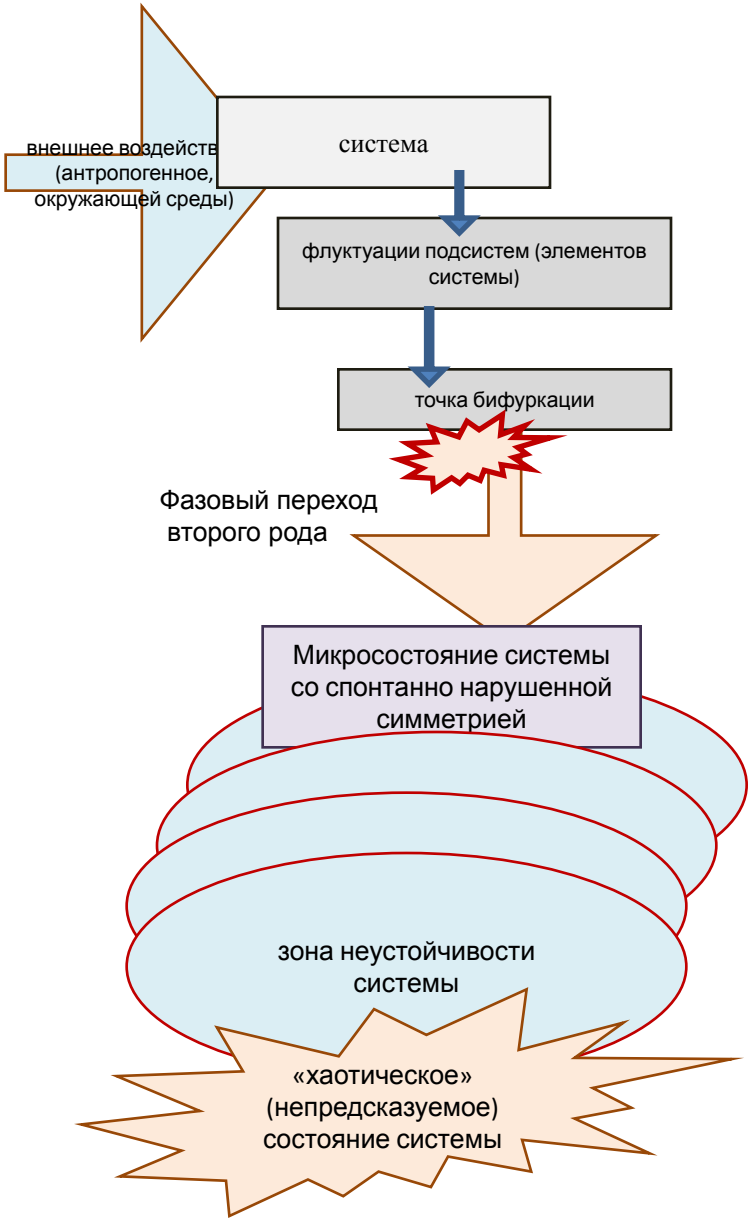
Для бифуркации рождения цикла возможно как мягкое возбуждение автоколебаний системы, сопровождающее потерю устойчивости стационарной точки системы, так и жесткое, когда фазовая точка, находившаяся в окрестности устойчивого начала координат, быстро «выбрасывается» за ее пределы.

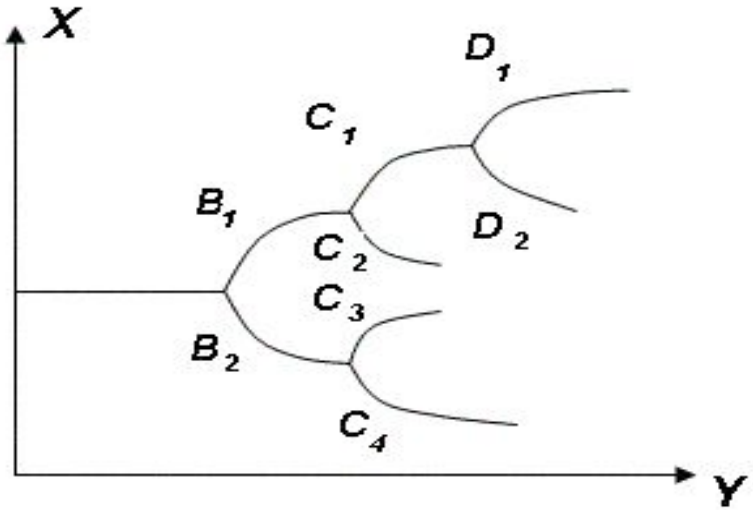




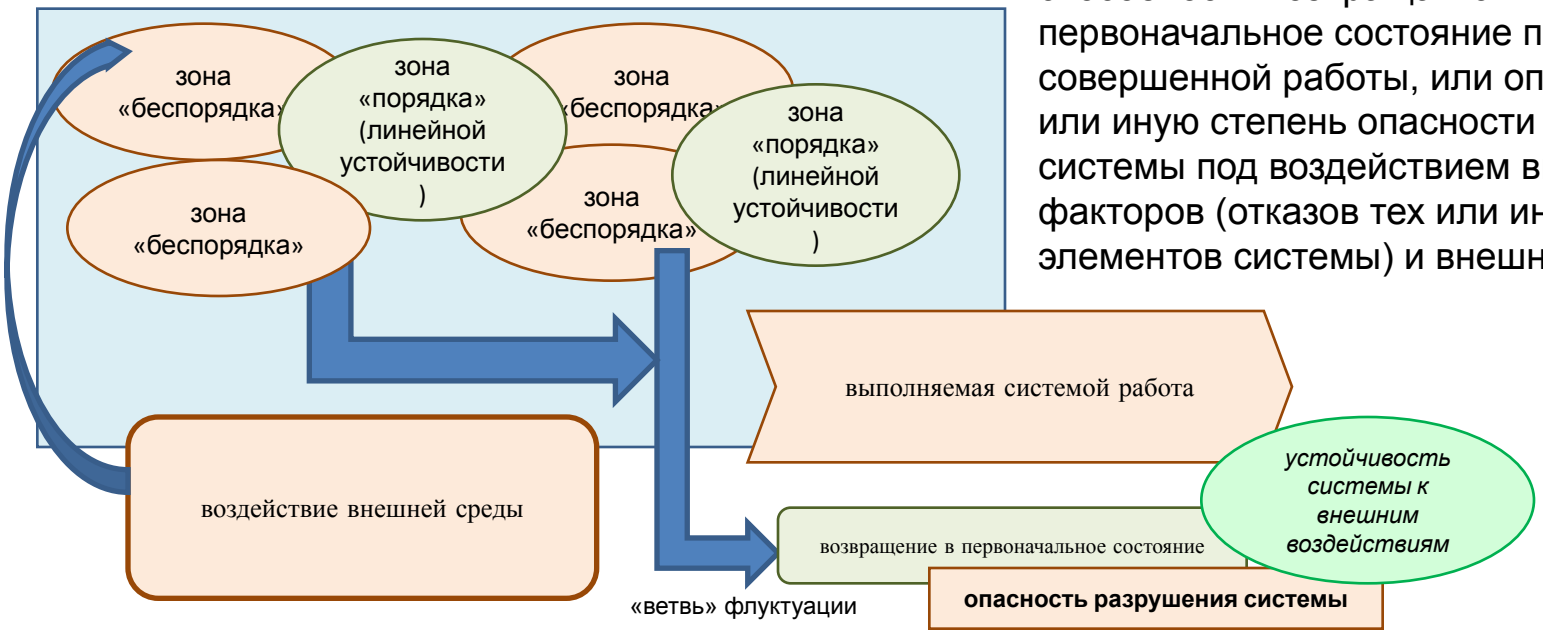
«При подходе вплотную к точкам бифуркации флуктуации становятся аномально сильными и закон больших чисел нарушается. Этого следовало ожидать, так как в сильно неравновесной области система при прохождении точек бифуркации "выбирает" один из различных, возможных режимов. Амплитуды флуктуаций имеют такой же порядок величины, как и средние макроскопические значения. Следовательно, различие между флуктуациями и средними значениями стирается» (И. Пригожин), реализуется опасность разрушения системы, т.е. «в результате фазового перехода второго рода кооперативное поведение большого числа подсистем приведет к возникновению микросостояния со спонтанно нарушенной симметрией».

«При уходе системы от состояния равновесия она может пройти через несколько зон неустойчивости. В каждой из них поведение системы качественно изменяется, система может перейти в "хаотическое" состояние, в котором ее поведение лучше всего символизирует то новое, что привнесла в концепции порядка и беспорядка сильно неравновесная физика: оба состояния - и порядка, и беспорядка - когерентны, что означает, что для обоих характерны действующие корреляции и оба состояния непредсказуемы» (И. Пригожин).

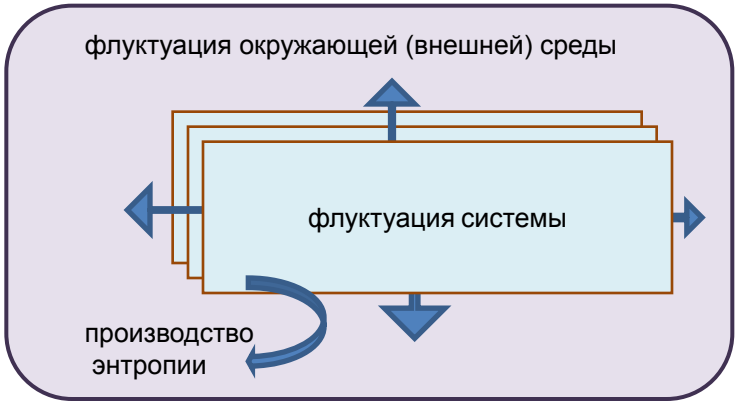


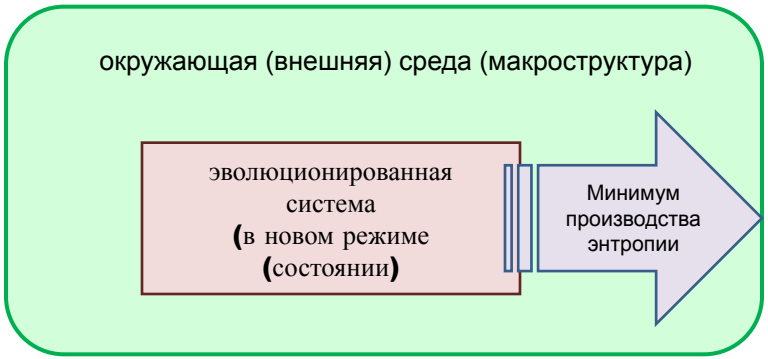


В окрестностях точек бифуркации существенную роль играют флуктуации, и именно они "выбирают" ветвь, которой будет следовать система.
Между двумя зонами "беспорядка" наблюдаются зоны "порядка" или зоны *линейной устойчивости* необратимых систем, в которых выполняются детерминистические законы.
Взаимоотношение зон «порядка» и «беспорядка» обеспечивают устойчивость системы к воздействиям внешней среды и способность возвращаться в первоначальное состояние после совершенной работы, или определяют ту или иную степень опасности разрушения системы под воздействием внутренних факторов (отказов тех или иных элементов системы) и внешней среды.



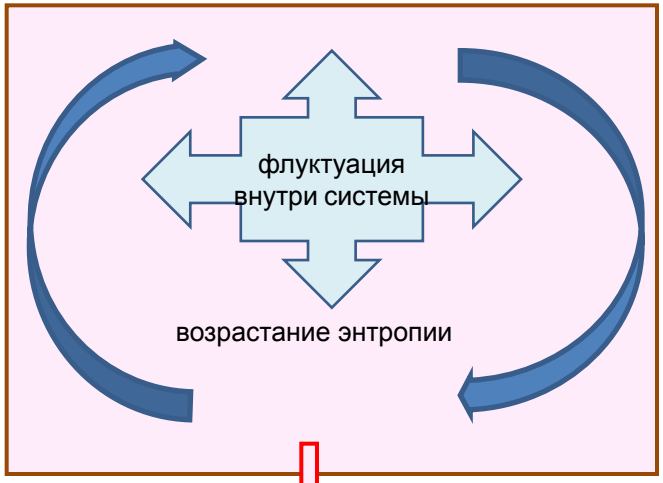
«Необходимо специально изучать, каким образом стационарное состояние реагирует на различные типы флуктуаций, создаваемых системой или окружающей средой. В некоторых случаях анализ создавшихся условий приводит к выводу, что состояние в этих условиях *неустойчиво*.
В таких состояниях определенные флуктуации вместо того, чтобы затухать, усиливаются и завладевают всей системой, вынуждая ее эволюционировать к новому режиму, который может быть качественно отличным от стационарных состояний, соответствующих минимуму производства энтропии» (И. Пригожин).
В зонах "порядка" наблюдается "минимум производства энтропии", но «состояние *неустойчиво*», что приводит к усилению флуктуаций, которые в конце концов "завладевают всей системой" (возникает "беспорядок"), что, в свою очередь, вынуждает систему "эволюционировать к новому режиму", т. е. - к новому "порядку" с уже изменившимися параметрами.
Процесс разворачивается между двумя конфликтующими субъектами: необратимой системой и внешней средой (макроструктурой).

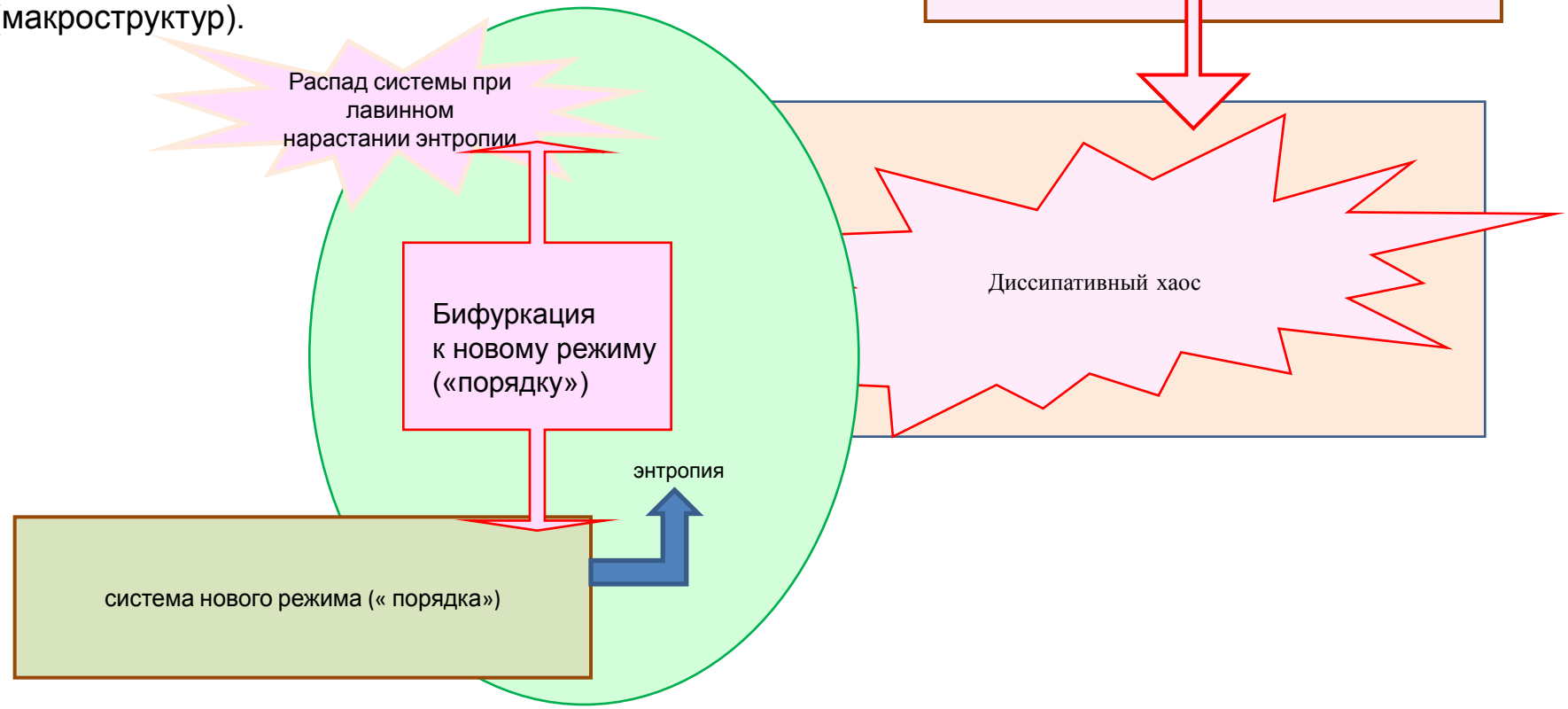




На смену системой режима («внутреннего порядка» системы) непосредственно воздействует энтропия, возрастание которой является сначала причиной возникновения флуктуаций, которые зондируют возможность нового режима на макроуровне, а затем - после диссипативного хаоса - бифуркация к новому режиму ("порядку"), и возрастание энтропии в системе провоцируется "внешней средой".

Необратимые системы в период чередования зон порядка и хаоса находятся *в абсолютной зависимости* от внешней среды (макроструктур).





Энтропия - функция состояния, поэтому изменение энтропии системы не зависит от того, как совершался процесс - обратимо или необратимо. Изменение энтропии газа при необратимом расширении против внешнего давления будет таким же, как и при обратимом расширении. Другое дело - энтропия окружающей среды, которую можно найти, рассчитав с помощью первого закона теплоту, переданную системе:

$$\Delta S_{окр} = \frac{Q_{окр}}{T} = -\frac{A}{T} = \frac{p(V_1 - V_2)}{T}$$

при этом $\Delta U = 0$ (температура постоянна).

Работа, совершаемая системой против постоянного внешнего давления равна:

$$A = p(V_2 - V_1),$$

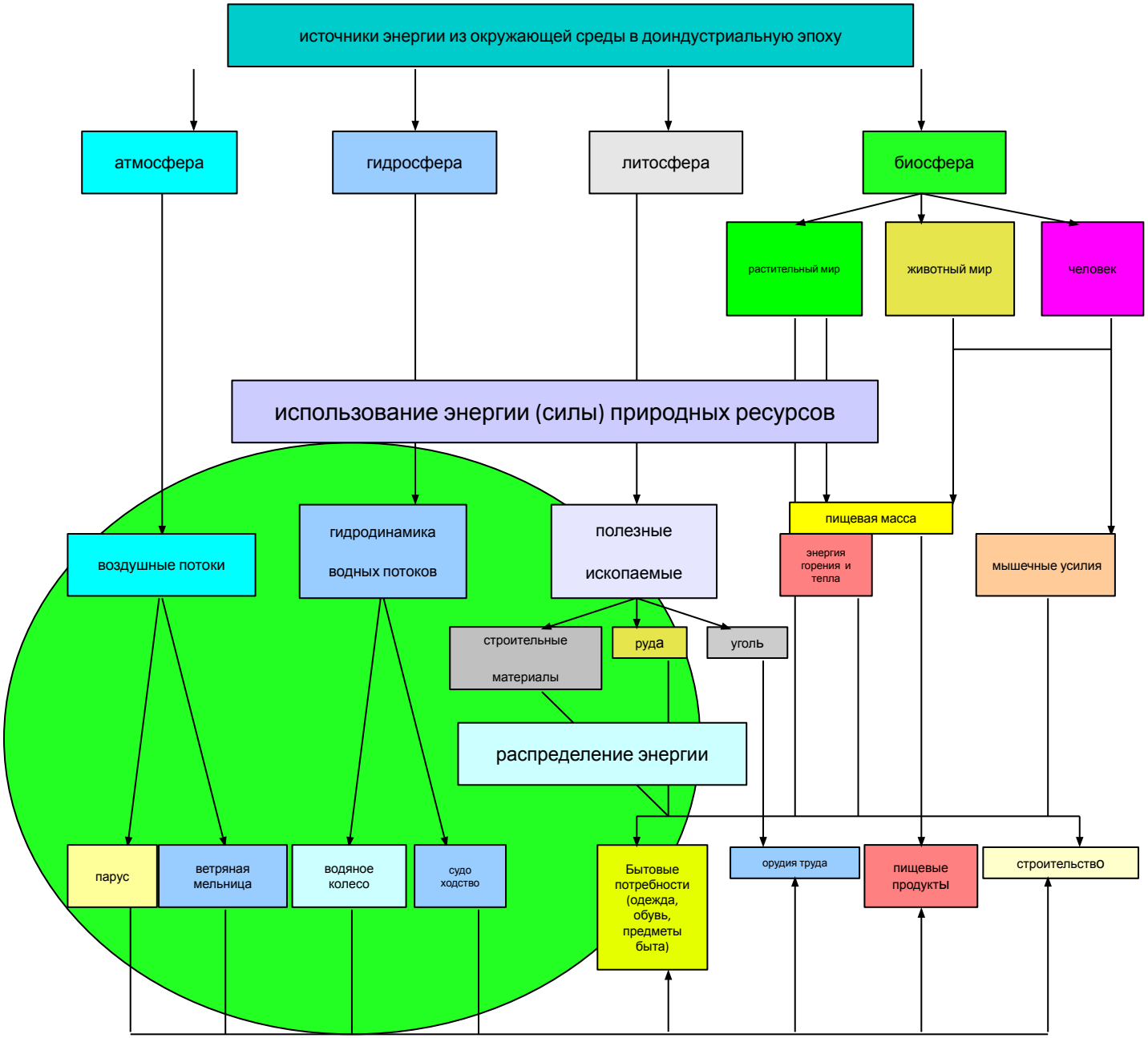
а теплота, принятая окружающей средой, равна работе, совершенной системой, с обратным знаком.

Общее изменение энтропии газа и окружающей среды больше 0:

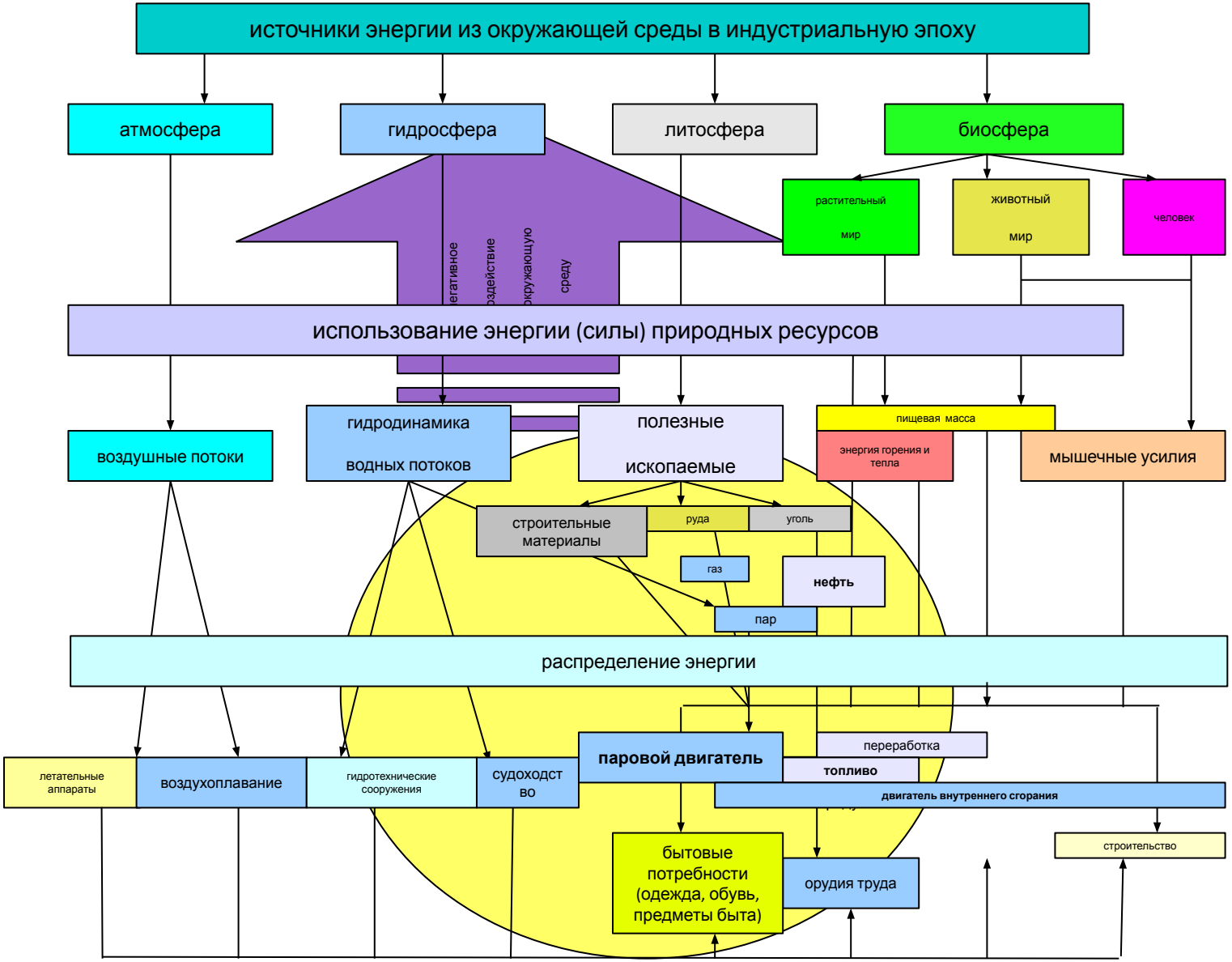
$$\Delta S = nR\ln\frac{V_2}{V_1} + \frac{p(V_1 - V_2)}{T} > 0$$

как и полагается для необратимого процесса.

Перераспределение энергии в окружающей среде в доиндустриальную эпоху



Перераспределение энергии в окружающей среде в индустриальную эпоху



Внутренние влияния на биосферу как замкнутую систему выражаются в факторах воздействия внутренней энергии Земли и антропогенного воздействия непосредственно или через техносферу .

Особенно явно это проявилось через потребление источников энергии непосредственно из окружающей среды.

Свободная энергия F для биосферы как замкнутой системы выражается:

$$F=U-TS$$

где:

T – температура (стабилизируется за счет теплообмена с окружающей средой);

S – энтропия;

U – внутренняя энергия биосферы как замкнутой системы;

F – свободная энергия.

Так как свободная энергия должна стремиться к минимуму, то снижению энтропии, как мере беспорядка, соответствует рост температуры окружающей среды, наблюдаемый в последнее время в результате антропогенной деятельности не только в природных средах (атмосфере, верхних слоях литосферы), но особенно высокое содержание энергии и температурных показателей наблюдается в местах скопления людей и продуктов их жизнедеятельности – в населенных пунктах и промышленных зонах, т. е. в техносфере.

Внутренняя энергия биосферы постоянно возрастает за счет используемой в ней и свободной энергии, при этом свободная энергоемкость биосферы как замкнутой системы снижается, а, следовательно, растет энтропия.

Схема реализации опасности и последствий воздействия (реализации риска) на объект

Наибольшей устойчивостью к воздействиям внешних факторов, как описывалось выше, обладают открытые системы, способные под воздействием внешних, даже негативных, факторов перестраиваться, самосовершенствоваться или изменяться в рамках параметров существующей системы, при этом продолжая взаимодействовать с окружающей средой (рис. 30).

Закрытые системы, несмотря на их внутреннее совершенство как по структуре, так и по внутреннему взаимодействию объектов, ее составляющих, под воздействием внешних факторов, а, в частных случаях, и внутренних противоречий, подвержены негативному воздействию в большей степени вплоть до саморазрушения системы.

Взаимодействие открытой системы с окружающей средой

Рост уровня опасности

Периоды	Численность населения. млн. человек	Виды и уровень опасностей
Собирательство, охота (-700 000 – 12 000 лет)	< 10	естественные – обычный уровень; антропогенные – зачатки; техногенные - предпосылки
Сельское хозяйство и аграрная цивилизация (- 12 000 лет – XIX век)	10-1000	естественные – обычный уровень; антропогенные – низкий уровень; техногенные - зачатки
Индустриальная цивилизация (XIX век – 30-е годы XX века)	1000 - 2000	естественные – обычный уровень; антропогенные – низкий уровень с ростом; техногенные – низкий уровень
Научно-техническая революция (1930-2000 годы)	2000 – 6 000	естественные – рост опасностей; антропогенные – высокий уровень; техногенные – высокий уровень
Постиндустриальное развитие (2000 -2010 годы)	более 6 000	естественные – высокий уровень; антропогенные – высокий уровень с ростом в новых сферах; техногенные - возрастание опасностей во всех сферах

Зависимость между ростом опасностей и степенью защиты от них (принятием адекватных мер) можно выразить через формулу:

$$R_{real} = \Sigma P^{оп}_{i} / \Sigma J_{мер\ j}$$

где:

R_{real} – риск реализации опасностей;

$P^{оп}_{i}$ - вероятность реализации i-й опасности;

$J_{мер\ j}$ - степень выполнения j-тых защитных мероприятий.

Крайним проявлением негативного воздействия на человека являются чрезвычайные ситуации, приводящие к значительным жертвам, разрушениям, причинению ущерба и нарушающему естественные жизненные процессы на определенный периодом их ликвидации отрезок времени.