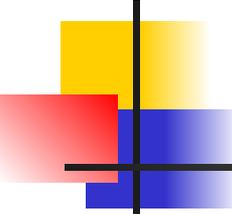


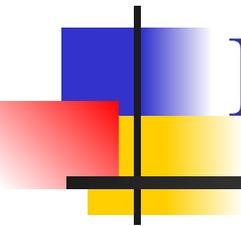
Лекция №1

Обеспечение безопасности технических систем



Вопросы

1. Понятие риска элементов техносферы.
2. Развитие риска на промышленных объектах.
3. Основы методологии анализа и управления риском.
4. Анализ риска, оценка риска, управление риском.
5. Количественные показатели риска.
6. Моделирование риска.



Вопрос №1

**Понятие риска элементов
техносферы**

- В соответствии с современными взглядами термин **риск** обычно интерпретируется как *вероятностная мера* нанесения социального, экономического, экологического ущерба и вреда. Вероятность потерь.





Риск является наиболее распространенной оценкой опасностей.

Понятие риска широко используется:

- при установлении предельно-допустимых значений параметров ЧМС,
- при необходимости обоснования использования средств защиты от влияния негативных факторов,
- при разработке требований безопасности к производственным процессам.

При оценке **риска**, под ним следует понимать:

- ожидаемую *частоту* или *вероятность* возникновения опасностей определенного класса,
- размер возможного *ущерба* (потерь, вреда) от нежелательного события,
- комбинацию этих величин.

- Применение понятия риск, таким образом, позволяет переводить **опасность** в разряд **измеряемых категорий**. Риск, фактически, есть **мера опасности**.
- Часто используют понятие «**степень риска**» (*Level of risk*), по сути не отличающееся от понятия риск, но лишь подчеркивающее, что речь идет об **измеряемой величине**.

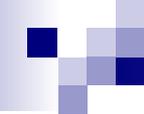


Каждое нежелательное событие может возникнуть по отношению к определенному объекту защиты.

Нежелательные события, произошедшие в результате воздействия **негативных факторов** на объекты защиты позволяет различать:

- *индивидуальный,*
- *технический,*
- *экологический,*
- *социальный и экономический* риски.

- **Индивидуальный риск** - частота получения вреда поражения отдельного человека в результате воздействия исследуемых поражающих факторов аварии.
- *Индивидуальный риск* обусловлен вероятностью реализации потенциальных опасностей при возникновении опасных ситуаций. Его можно определить по числу f *реализовавшихся* факторов риска.


$$R_{И} = \frac{P_f(t)}{L_t(f)},$$

где:

$R_{И}$ - индивидуальный риск;

$P_f(t)$ - число пострадавших (погибших) в единицу времени t от определенного фактора риска f ,

$L_t(f)$ - число людей, подверженных соответствующему фактору риска f в единицу времени t .

Наиболее распространенные факторы индивидуального риска:

- наследственно-генетические;
- психосоматические заболевания,
- старение;
- курение, употребление алкоголя, наркотиков;
- иррациональное питание;
- некачественные воздух, вода, продукты питания;

- 
- инфекции, бытовые травмы, пожары;
 - опасные и вредные производственные факторы;
 - аварии и катастрофы транспортных средств;
 - опасности, обусловленные туризмом, другими увлечениями;
 - вооруженный конфликт, преступление;
 - землетрясение, извержение вулкана, наводнение, оползни, ураган и другие стихийные бедствия.

- Индивидуальный риск может быть добровольным, если он обусловлен деятельностью человека на добровольной основе, и вынужденным, если человек подвергается риску в составе части общества (например, проживание в экологически неблагоприятных регионах, вблизи источников повышенной опасности).

- ***Технический риск*** - комплексный показатель **надежности** элементов техносферы. Он выражает вероятность аварии или катастрофы при эксплуатации машин, механизмов, реализации технологических процессов, строительстве и эксплуатации зданий и сооружений.

R_T - технический риск

может быть выражен:

где,

- $\Delta T(t)$ - число аварий в единицу времени t на идентичных технических системах и объектах;
- $T(f)$ - число идентичных технических систем и объектов, подверженных общему фактору риска f .

$$R_T = \frac{\Delta T(t)}{T(f)},$$

- **Экологический риск** выражает вероятность экологического бедствия, катастрофы, нарушения дальнейшего нормального функционирования и существования экологических систем и объектов в результате антропогенного вмешательства в природную среду или стихийного бедствия.

R_o - экологический риск:

где,

- $\Delta O(t)$ - число антропогенных экологических катастроф и стихийных бедствий в единицу времени t ;
- O - число потенциальных источников экологических разрушений на рассматриваемой территории.

$$R_o = \frac{\Delta O(t)}{O},$$

- *Социальный (коллективный)* – это риск для группы людей, (травмирование или гибель двух человек и более от воздействия опасных и вредных производственных факторов).
Социальный риск характеризует масштабы и тяжесть негативных последствий чрезвычайных ситуаций, а также различного рода явлений и преобразований, снижающих качество жизни людей.


$$R_C = \frac{1000 \cdot (C_2 - C_1)}{L} \cdot (t)$$

R_C - социальный риск:

где,

C_1 - число умерших в единицу времени t (смертность) в исследуемой

группе в начале периода наблюдения, например до развития

чрезвычайных событий;

C_2 - смертность в той же группе людей в конце периода наблюдения,

например на стадии затухания чрезвычайной ситуации;

L - общая численность исследуемой группы.

- **Экономический риск** определяется соотношением пользы и вреда, получаемых обществом от рассматриваемого вида деятельности.

$$R_{\text{э}} = \frac{B}{\Pi} \cdot 100\%$$

где:

$R_{\text{э}}$ - экономический риск, %;

B - вред обществу от рассматриваемого вида деятельности (отрицательный результат);

Π – польза (положительный результат).

- *Приемлемый риск* сочетает в себе технические, экологические, социальные аспекты и представляет некоторый компромисс между приемлемым уровнем безопасности и экономическими возможностями его достижения,

т. е. можно говорить о снижении индивидуального, технического или экологического риска, но нельзя забывать о том, сколько за это придется заплатить

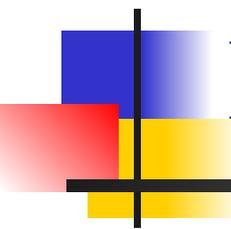
и каким в результате окажется социальный риск.

Сейчас принято считать, что в условиях техногенных опасностей технический риск считается приемлемым, если его величина не превышает 10^{-6} .

Эта величина используется для оценки пожарной и радиационной безопасности. В России средняя величина реального риска на производстве составляет 10^{-4} .

на производстве в год гибнет в среднем 7 000 чел., а число занятых в производстве 70 млн чел.:

$$R = \frac{7 \cdot 10^3}{7 \cdot 10^7} = 10^{-4}.$$



Вопрос №2

**Анализ, оценка и управление
риском на промышленных
объектах.**



Риск возникает при следующих необходимых и достаточных условиях:

- существование фактора риска (источника опасности);
- присутствие данного фактора риска в определенной, опасной (или вредной) для объектов воздействия дозе;
- подверженность (чувствительность) объектов к факторам опасностей (состояние объекта защиты).

- Риск является неизбежным, сопутствующим фактором промышленной деятельности. Риск объективен, для него характерны неожиданность, внезапность наступления, что предполагает *прогноз риска, его анализ, оценку и управление* - ряд действий по недопущению факторов риска или ослаблению воздействия опасности.

- 
- **Анализ риска (risk analysis)**, - процесс идентификации опасностей и оценки риска для отдельных лиц, групп населения, объектов, окружающей природной среды и других объектов техносферы.



Под анализом технического риска подразумевается процесс выявления опасности и оценки возможных негативных последствий в результате возникновения нарушений в работе конкретных технологических систем и представления этих последствий в количественных показателях.

Анализ риска должен дать ответы на три основных направлений вопросов:

1. Идентификация опасностей (Что плохого может произойти?).
2. Анализ частоты (Как часто это может случаться?).
3. Анализ последствий. (Какие могут быть последствия?).

Основной элемент анализа риска - идентификация опасности (обнаружение возможных нарушений), которые могут привести к негативным последствиям.



С анализом риска тесно связан другой процесс - **оценка риска**.

- **Оценка риска** - процесс, используемый для определения величины (меры) риска анализируемой опасности для здоровья человека, материальных ценностей, окружающей природной среды и других ситуаций, связанных с реализацией опасности в техносфере.

Оценка риска включает анализ частоты, анализ последствий и их сочетаний.



Оценка риска - этап, на котором идентифицированные опасности должны быть оценены на основе критериев приемлемого риска с целью выделения опасности с неприемлемым уровнем риска.

Этот шаг послужит основой для разработки рекомендаций и мер по уменьшению опасностей. При этом критерии приемлемого риска и результаты оценки риска могут быть выражены как качественно, так и количественно.

- **Управление риском** (risk management) - это часть системного подхода к принятию решений, процедур и практических мер в решении задач предупреждения или уменьшения опасности промышленных аварий для жизни человека, заболеваний или травм, ущерба материальным ценностям и окружающей природной среде.



Управление риском является, по сути дела, частным случаем класса многокритериальных задач принятия решения в условиях неопределенности.

Оценка риска служит основой для исследования и выработки мер управления риском В СООТВЕТСТВИИ С алгоритмом действий.

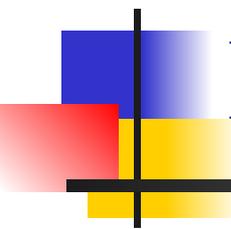


Оценка риска

Характерис-
тика риска

Управление
риском

Заключительная фаза процедуры оценки риска - характеристики риска - одновременно является первым звеном процедуры управления риском.



Вопрос №3

**Количественные показатели
риска**

Количественный показатель риска

представляет собой численные значения вероятности наступления нежелательного события и результатов нежелательных последствий (ущерба).

- 
- *Количественно риск* может быть определен как частота (размерность - обратное время) реализации опасности.



Поскольку реализация опасности явление случайное, риск опасности есть числовая характеристика соответствующей случайной величины, используемой для описания данной опасности.



Вероятностно-статистические методы и теория надёжности начали широко использоваться при расчёте особо ответственных объектов, при анализе крупных аварий.

Основным базовым показателем надёжности и безопасности технических систем может служить вероятность безотказной работы.

$P(t)$ – вероятность проведения производственных процессов без происшествий в течение некоторого времени t , т.е. того, что в заданном интервале времени $t = T$ не возникнет отказа этого объекта.

Значение $P(t)$, как всякой вероятности, может находиться в пределах $0 \leq P(t) \leq 1$. Вероятность безотказной работы $P(t)$ и вероятность отказа $Q(t)$ образуют полную группу событий, поэтому

$$P(t) + Q(t) = 1 .$$

Допустимое значение $P(t)$ выбирается в зависимости от степени опасности отказа объекта. Например, для ответственных изделий авиационной техники допустимые значения $P(t) = 0,9999$ и выше, т.е. практически равны единице.

При высоких требованиях к надёжности объекта задаются допустимым значением $P(t) = \gamma\%$, ($\gamma\%$ – вероятность безотказной работы объекта в %) и определяют время работы объекта $t = T_\gamma$, соответствующее данной регламентированной вероятности безотказной работы.

Значение T_γ называется гамма-процентным ресурсом и по его значению судят о большей или меньшей безотказности и безопасности объектов.

Пусть $Q(t)$ – вероятность возникновения аварийной ситуации на отрезке времени $[0, t]$. Эта вероятность должна удовлетворять условию

$$Q(t) \leq Q^* ,$$

где Q^* – предельно допустимое (нормативное) значение риска возникновения аварийной ситуации.

Интенсивность риска аварийной ситуации (удельный риск) аналогична интенсивности отказов:

$$r(t) = -P'(t) / P(t) = Q'(t) / [1 - Q(t)] .$$

Поскольку уровень безопасности должен быть высоким, то можно принять

$$1 - Q(t) = P(t) \approx 1 .$$

Тогда интенсивность риска аварийной ситуации будет

$$r(t) \approx Q'(t) = -P'(t) .$$

Поскольку время t при оценке риска аварии исчисляют в годах, то $r(t)$ имеет смысл годового риска возникновения аварийной ситуации.

Средний годовой риск аварии:

$$r_{cp}(t) = Q(t) / t .$$

Пусть, например,

$$r_{cp} = const = 10^{-5} \text{ год}^{-1}; \quad t = 50 \text{ лет.}$$

$$\text{Тогда } Q(t) = r_{cp}(t) \cdot t = 10^{-5} \cdot 50 = 5 \cdot 10^{-4} .$$

$$P(t) = 1 - Q(t) = 1 - 5 \cdot 10^{-4} = 0,9995 .$$

Такие показатели риска аварийной ситуации широко используют в гражданской авиации, а в последние годы их начали применять при нормировании безопасности оборудования атомных электростанций.

Для парка одинаковых технических объектов функция безопасности

$$P_n(t) = P^n(t),$$

где n – численность парка одинаковых объектов. В этом случае функция риска

$$Q_n(t) = 1 - [1 - Q(t)]^n \approx n \cdot Q(t),$$

при условии $n \cdot Q(t) \ll 1$.



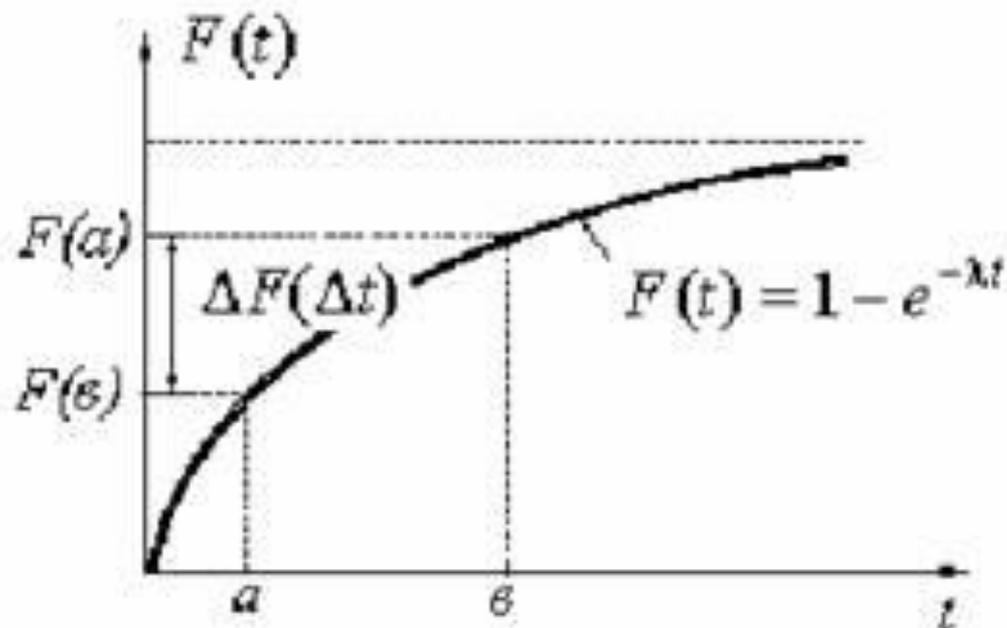
В качестве простейшего примера возможного формального подхода рассмотрим случайную величину

s - длительность периода безаварийной работы промышленного предприятия, областью определения которой служит множество режимов эксплуатации за произвольное (возможно, бесконечное) время.

Определим функцию распределения этой величины $F_s(t) = P(s \leq t)$, предположив ее независимость от предыстории функционирования промышленного предприятия. Принято считать, что предпочтительным является решение вида (показательное распределение):

$$F_s(t) = 1 - e^{-\lambda t}$$

$F_s(t) = 0$ для $t < 0$,
где $\lambda > 0$ – постоянная
величина обратная
математическому
ожиданию времени
безотказной работы;



- Математическое ожидание M_s случайной величины s есть $M_s = 1/\lambda$, что позволяет интерпретировать параметр λ как среднюю (ожидаемую) частоту аварий. Вероятность аварий за период времени, не превосходящий t , определяется:

$$P(s \leq t) = 1 - e^{-\lambda t}$$

Отметим, что для аварии, риск которой равен $1/t$, она не обязательно случится, а только может случиться за период t (вероятность такого события = $1 - e^{-1}$, т. е. приблизительно 0,632).

Для формализации множества исходных причин развития риска при их последовательном наступлении можно записать формулу расчета в виде:

$$R = P_1 \cdot P_2 \cdot P_3 \cdot P_4,$$

где: P_1 - вероятность возникновения события, ставшего причиной действия опасных факторов;

P_2 - вероятность формирования определенных уровней физических полей, ударных нагрузок, полей концентрации вредных веществ, воздействующих на людей и другие объекты;

P_3 - вероятность того, что указанные уровни полей и нагрузок приведут к определенному ущербу;

P_4 - вероятность отказа средств защиты.

Обозначим последствие (величину ущерба) в виде нежелательного события - Y .

Мерой возможности наступления риска R служит вероятность его наступления P .

Отсюда следует:

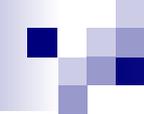
$$R = Y \cdot P, \rightarrow M_R = Y \cdot P$$

величина риска определяется как произведение величины нежелательного события на вероятность его наступления, т. е. как M_R - *математическое ожидание величины нежелательных последствий*.

Таким образом, количественная мера риска может выражаться не только вероятностной величиной.

При определении математического ожидания величины ущерба представляется целесообразным принимать во внимание все возможные виды опасных происшествий для данного объекта и оценку риска производить по сумме произведений вероятностей указанных событий на соответствующие ущербы. В этом случае справедлива следующая зависимость:

$$R_{MO} = \sum_{i=1}^n P_i Y_i$$


$$R_{MO} = \sum_{i=1}^n P_i Y_i$$

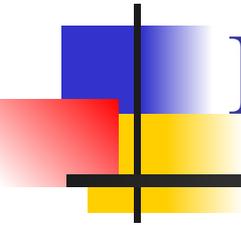
где:

R_{MO} - уровень риска, выраженный через математическое ожидание

ущерба;

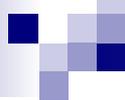
P_i - вероятность возникновения опасного события i -го вида;

Y_i - величина ущерба при i -м событиях.



Вопрос №5

Моделирование риска.



Любой район, в пределах которого размещается объект, имеет ту или иную численность населения, хозяйственную ценность.

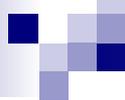
Поэтому представляется целесообразным оценку различных вариантов размещения объектов проводить по комплексу показателей, характеризующих состояние окружающей среды, особенности и потенциальную опасность объекта в случае аварийных ситуаций.

Одним из таких показателей (критериев) является **риск запроектных аварий**.



Риск запроектной аварии при функционировании опасного объекта состоит в том, что в случае ее возникновения существует определенная вероятность поражения окружающего населения.

Чем меньше прогнозируемые последствия запроектной аварии, тем более благоприятна данная площадка для размещения объекта.



При построении математической модели может быть использован математический аппарат различной сложности - алгебраические и дифференциальные уравнения.

В наиболее трудных случаях, если функционирование системы зависит от большого числа сложно сочетающихся между собой случайных факторов, может применяться **метод статистического моделирования**.

Выходными параметрами функционирования математической модели риска запроектной аварии определяется математическое ожидание количества пораженных жителей, постоянно проживающих в районе, подвергаемом опасности при функционировании объекта, если на объекте или его технологических элементах произойдет в случайный момент времени любая возможная запроектная авария.



Опасности, связанные с аварией, определяются условиями в которых они возникают:

- количеством хранящихся и освободившихся при аварии АХОВ, их физико-химическими и токсическими свойствами,
- архитектурно-планировочными особенностями застройки и транспортными коммуникациями;
- метеорологическими условиями и характеристиками, особенностями рельефа;
- самым фактором наличия окружающего населения.

Пример. Моделирование риска от аварий на химически опасных и радиационно опасных объектах.

Индивидуальный риск поражения людей в городе при аварии на рядом расположенном объекте может быть определен по формуле:

$$R_e = \frac{H}{N} \int_{S_r} \int_0^{2\pi} \int_{V_{\min}}^{V_{\max}} f(\theta, V) P[D(x, y)] \psi(x, y) \partial V \partial \theta \partial x \partial y,$$

где: H - вероятность аварии в течение года;

N - численность населения,

$f(\theta, V)$ - функция плотности распределения направления и скорости V ветра;

$P[D(x, y)]$ - вероятность поражения людей от величины дозы АХОВ в точке с координатами (x, y) определяется из закона поражения людей;

$D(x, y)$ - доза радиоактивного заражения (токсодоза АХОВ) при переменном во времени уровне радиации для точки с координатами (x, y) определяется по отдельным методикам;

$\psi(x, y)$ - плотность размещения незащищенного населения в пределах элементарной площадки города с координатами (x, y) .