

## **Цель курса**

приобретение навыков разработки и использования математических моделей для описания, исследования и оптимизации процессов происходящих в сложных технических системах.

## **Задачи курса состоят в изучении:**

- Основных групп классификации объектов анализа
- общих понятий математического моделирования процессов в сложных технических системах;
- теоретических основ математического моделирования и оптимизации процессов в сложных технических системах;
- теоретических основ прогнозирования аварий на сложных технических системах:
- основных подходов мониторинга сложных технических систем.

Возможности техносферы России обеспечивать потребности общества за последнее десятилетие значительно сократились. Двукратное падение промышленного производства в целом и многократное в отраслях, определяющих вектор научно-технического прогресса, будет сказываться в лучшем случае на протяжении ближайших десятилетий начавшегося века. Инвестиции не только в развитие техносферы, но даже в поддержание ее на требуемом уровне сократились, все это снижает ее безопасность. Основной вклад в рост количества ЧС техногенного характера в дали:

Крупные пожары и пожары с групповой гибелью людей

Обрушение зданий и сооружений жилого, социально – бытового и культурного назначения

Аварии с выбросом (угрозой выброса) АХОВ

Аварии грузовых и пассажирских судов

Аварии на электроэнергетических системах, коммунальных системах жизнеобеспечения и тепловых сетях

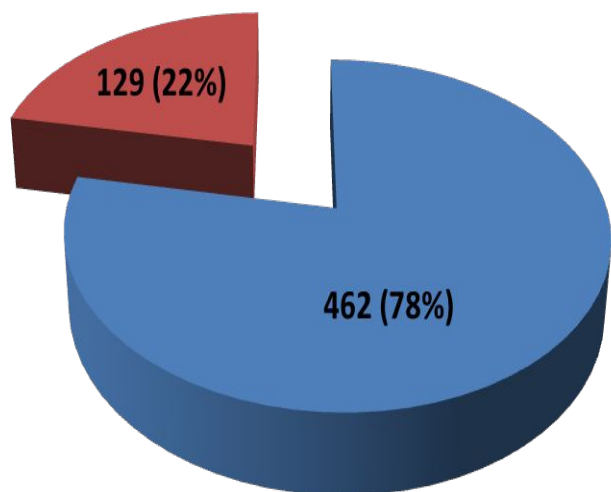
Крупные автомобильные катастрофы

Аварии на магистральных трубопроводах

Авиационные катастрофы

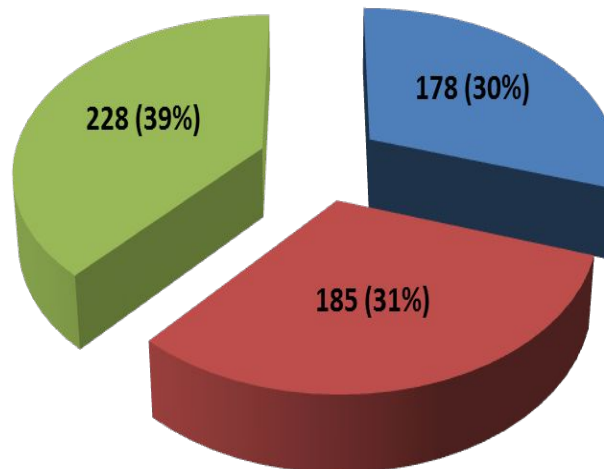


## Техногенные чрезвычайные ситуации в 2011-2013 гг.



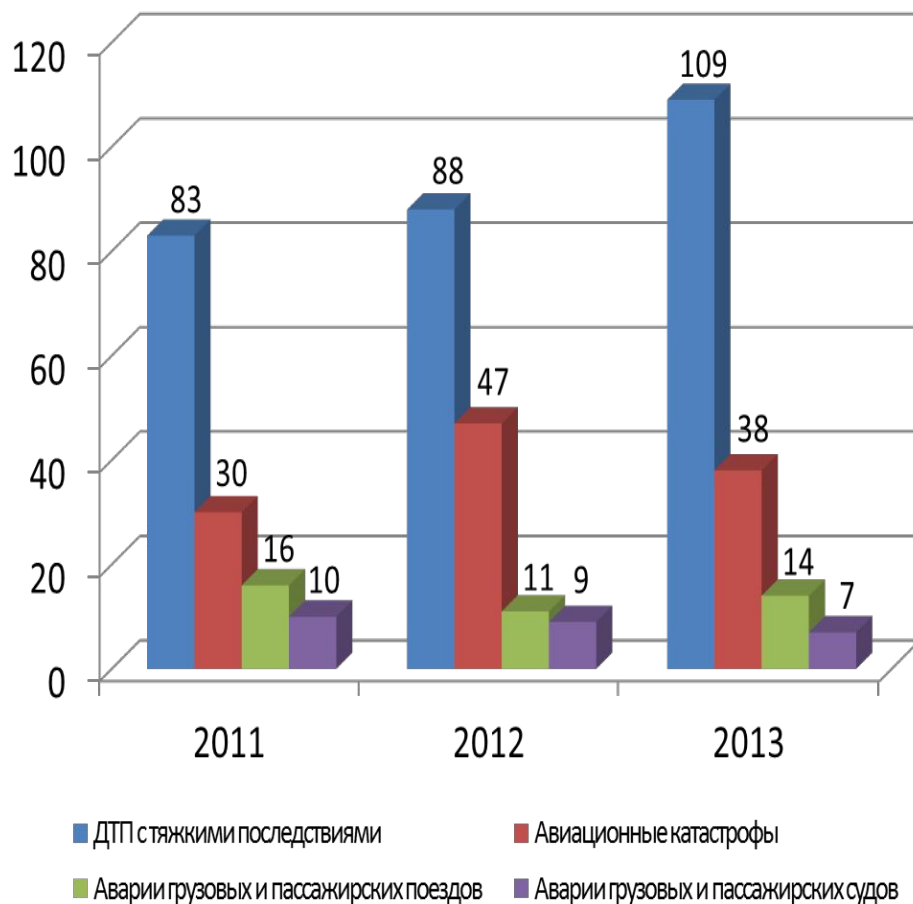
- Техногенные ЧС, связанные с транспортом
- Техногенные ЧС, вызванные другими причинами

## Динамика техногенных катастроф в 2011-2013 гг.

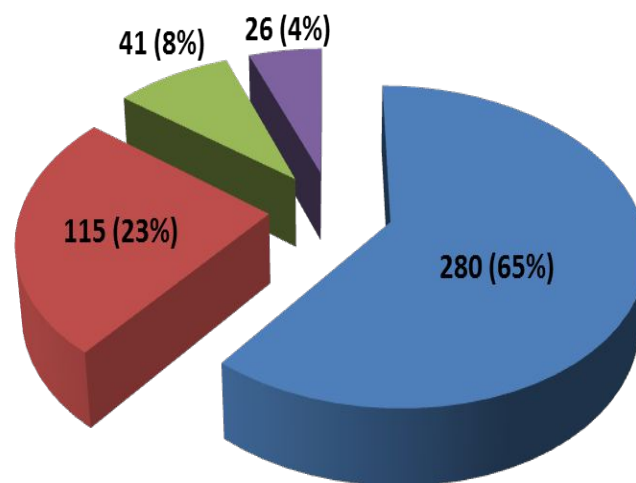


- Количество техногенных катастроф в 2010 г.
- Количество техногенных катастроф в 2011 г.
- Количество техногенных катастроф в 2012 г.

## Динамика техногенных катастроф по видам транспорта в 2011-2013 гг.

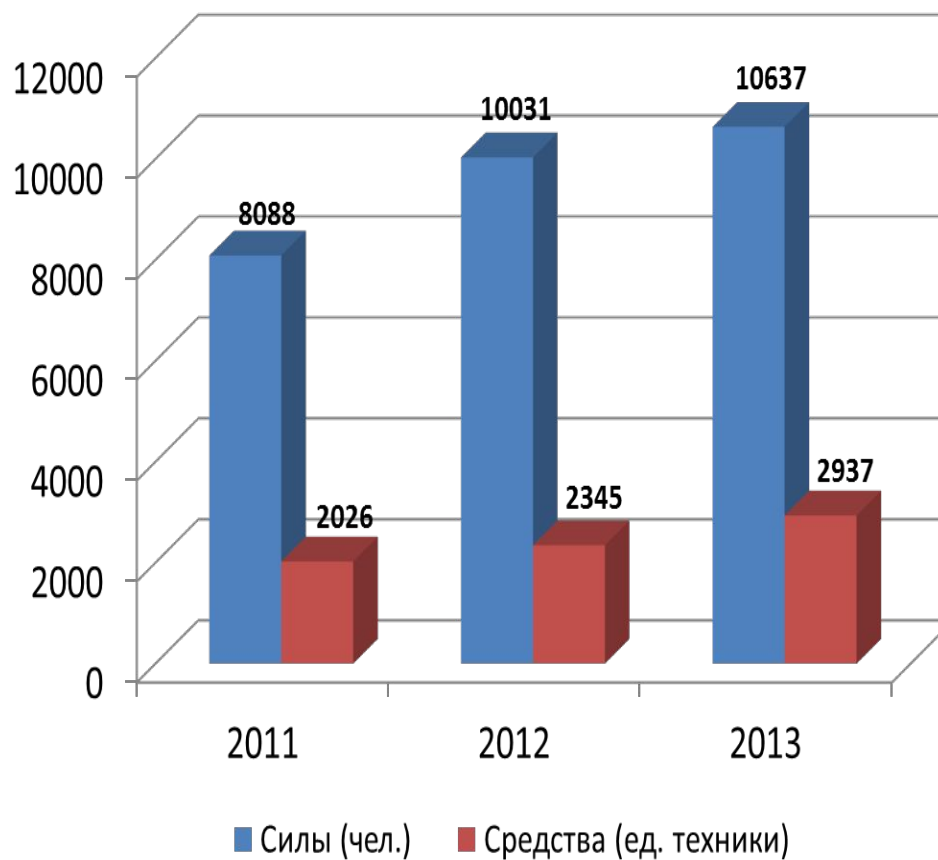


## Количество техногенных катастроф в 2011-2013 гг.

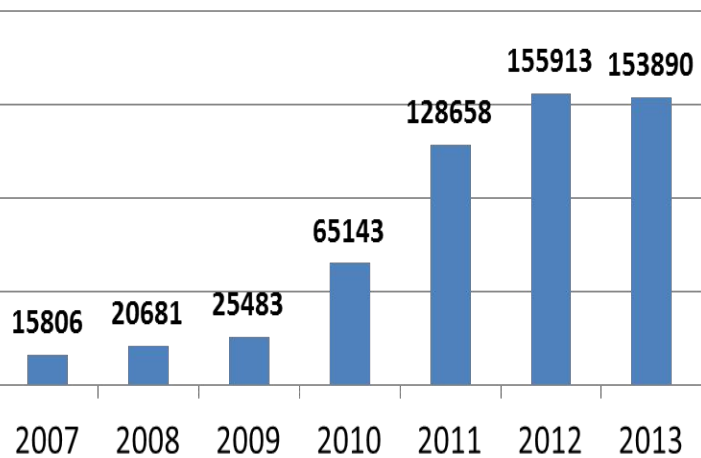


- ДТП с тяжкими последствиями
- Авиационные катастрофы
- Аварии грузовых и пассажирских поездов
- Аварии грузовых и пассажирских судов

## Силы и средства, привлекаемые к ликвидации транспортных аварий в 2011-2013 гг.

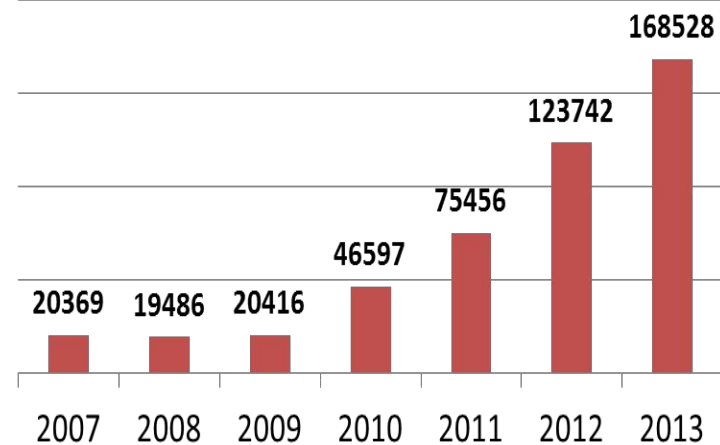
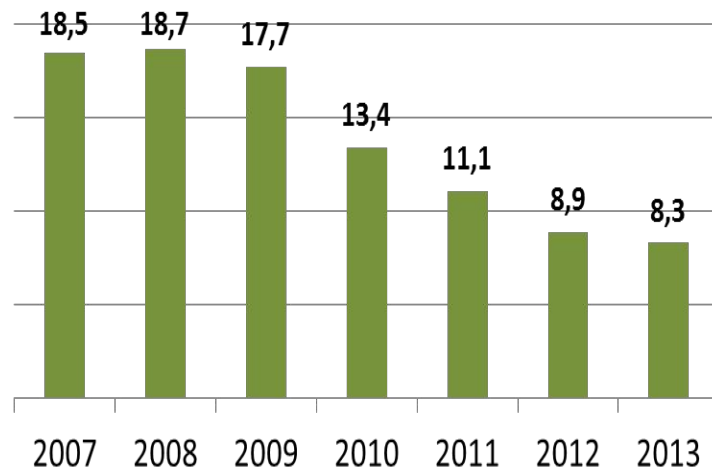


# Динамика показателей реагирования пожарно-спасательных подразделений на чрезвычайные ситуации на транспорте



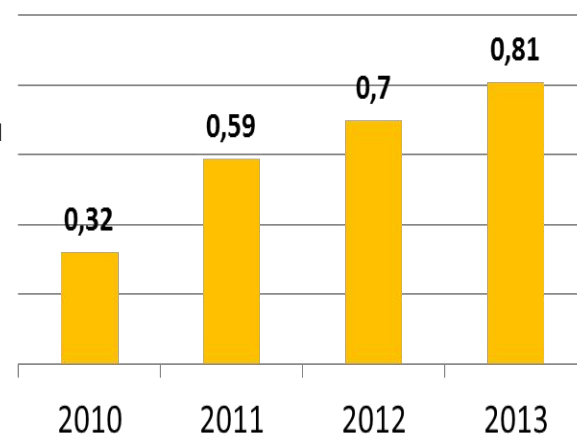
Количество выездов ПСП на ДТП, абсолютные значения

Среднее время прибытия к месту ДТП, в минутах



Количество граждан, которым оказана помощь, человек

Процент ДТП, на которые осуществлены выезды ПСП, от общего количества ДТП с пострадавшими



\*ПСП - пожарно-спасательные подразделения

## Индивидуальный риск –

вероятность преждевременной смерти среднего человека, проживающего в том или ином регионе, от деструктивного события на транспорте или объекте транспортной инфраструктуры

Приемлемым риском считается тот, при котором общество с ним соглашается ради получаемой от этого производства выгоды. Так, например, несмотря на то, что риск гибели в автокатастрофах, даже в таких индустриально развитых странах как США, достаточно высок (более  $10^{-4}$ ), автолюбителями он считается приемлемым

Человечество интуитивно приемлет те виды практической деятельности, где риск ( $R_{\text{и}}$ ) отдельных лиц из населения не превышает пренебрежимо низкого значения порядка  $10^{-5}$ , если риск не компенсируется. Такой риск находится на уровне 0,1% от величины естественного риска смерти и соответствует сокращению продолжительности жизни  $T$  (лет) на  $T = 1 - 10$  суток.

Общепринятых (в нормативном плане) уровней приемлемого риска как в мире, так в России пока нет. Рекомендуемые значения приемлемого риска для населения меняются в диапазоне от  $\sim 10^{-5}$  до  $\sim 10^{-7}$ .



## **Основные причины возникновения аварий и чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера**

Коридор возможностей развития страны, обеспечиваемый ее промышленностью, продолжает сокращаться. Поэтому возникает реальная возможность технологического кризиса уже в ближайшие годы. Кризисные явления в техносфере России, наметившиеся негативные тенденции имеют несколько взаимосвязанных аспектов. Существует несколько факторов обуславливающих возникновение чрезвычайных ситуаций в Российской Федерации.

*-Нарушение режима воспроизводства основного капитала;*

*-Активный экспорт энергоносителей;*

*-Человеческий фактор:*

*--Снижение уровня профессиональной подготовки;*

*--Отсутствие жесткого контроля за техникой безопасности;*

*--Нарушение правил эксплуатации производственных объектов;*

## Промышленные объекты России

В России функционирует свыше 42,0 тысяч критически важных и потенциально опасных объектов. Многие из этих объектов представляют экономическую, оборонную и социальную значимость для страны, но одновременно несут потенциальную опасность для здоровья и жизни людей при возникновении на них аварий. В зонах возможного воздействия поражающих факторов при авариях на этих объектах проживает свыше 90 миллионов жителей страны. Одновременно в стране имеется значительное количество объектов государственного управления, транспортной, финансово-кредитной, информационной и телекоммуникационной инфраструктуры, культуры и др., которые являются критически важными для нормального функционирования страны и обеспечения национальной безопасности на требуемом уровне.

**«критически важные объекты Российской Федерации»** - объекты, нарушение (или прекращение) функционирования которых приводит к потере управления экономикой страны, субъекта или административно-территориальной единицы, ее необратимому негативному изменению (или разрушению) или существенному снижению безопасности жизнедеятельности населения, проживающего на этих территориях на длительный период времени;

**«потенциально опасные объекты инфраструктуры Российской Федерации»** - объекты, на которых используют, производят, перерабатывают, хранят, эксплуатируют, транспортируют или уничтожают радиоактивные, пожаровзрывоопасные и опасные химические и биологические вещества, а также гидротехнические сооружения, создающие реальную угрозу возникновения источника кризисной ситуации;

**«опасные грузы»** - опасные вещества, материалы, изделия и отходы производства, которые вследствие их специфических свойств при транспортировке или перегрузке могут создавать угрозу жизни и здоровью людей, вызывать загрязнение окружающей среды, повреждение и уничтожение транспортных сооружений и средств, а также иного имущества.

В основу классификации потенциально опасных объектов на территории Российской Федерации была положена их градация по характеру возможных чрезвычайных ситуаций, возникающих в результате аварий на таких объектах. На основании сказанного можно выделить 6 групп.

## ***Группа 1***

Радиационно опасные объекты и СТС, при авариях на которых могут произойти массовые заражения людей, животных, растений, а также радиационное загрязнение обширных территорий. К радиационно опасным объектам относятся предприятия ядерного топливного цикла (атомные станции, предприятия по добыче и изготовлению ядерного топлива, переработке ядерного топлива и захоронению радиоактивных отходов); организации, имеющие исследовательские и экспериментальные реакторы и др.

- Атомные станции (АЭС, АТЭЦ, АСТ, АСПТ).
- Ядерные реакторы.
- Хранилища отработавшего ядерного топлива.
- Хранилища радиоактивных отходов, предприятия по изготовлению ядерного топлива:
- Урановые рудники и гидрометаллургические заводы.
- Предприятия по конверсии и обогащению урана.
- Предприятия по изготовлению твэлов.
- Предприятия по переработке отработавшего ядерного топлива и захоронению радиоактивных отходов:
- Радиохимические заводы.
- Хранилища радиоактивных отходов.
- Захоронения радиоактивных отходов. Научно-исследовательские и проектные организации:
- Исследовательские и экспериментальные реакторы.
- Испытательные стенды. Транспортные ядерно-энергетические установки:
- Корабли Минморфлота.

## ***Группа 2***

Химически опасные объекты и СТС, при авариях на которых могут произойти массовые поражения людей, животных, растений, а также загрязнение обширных территорий сильнодействующими ядовитыми веществами. К химически опасным объектам и СТС относятся предприятия по производству, переработке, хранению и утилизации сильнодействующих ядовитых веществ.

- Производство связанного азота (аммиака, азотной кислоты, азотно-туковых и других удобрений).
- Производство полупродуктов анилинокрасочной промышленности бензольного и эфирного ряда (анилинов, нитробензола, нитроанилина, алкиламинола, хлорбензола, нитрохлорбензола, фенола и др.) при, уммарной мощности производства более 1000 т/год.
- Производство полупродуктов нафталинового и антраценового ряда, бетанафтала, аш-кислоты, фениперикислоты, перикислоты, антрахи,, она, фталевого ангидрида и др.) более 2000 т/год.
- Производство целлюлозы и полуцеллюлозы по кислому сульфитному, исульфитному или моносульфитному способам с приготовлением варочных, астворов путем сжигания серы или других серосодержащих материалов, а, также производство целлюлозы по сульфатному способу (сульфатцеллюлозы).
- Производство едкого натра и хлора электролитическим способом.
- Производство редких металлов методом хлорирования (титано, агнетитовые и др.).
- Производство концентрированных минеральных удобрений.
- Производство органических растворителей и масел (бензола тоуола, ксилола, нафтола, фенола, креозола, антрацена, фенантрена, акридата, карбозола).

## **Группа 3**

Пожаровзрывоопасные объекты и СТС, на которых производятся, хранятся, транспортируются взрывоопасные продукты или вещества, приобретающие при определенных условиях способность к возгоранию или взрыву.

Все пожаровзрывоопасные производства дополнительно подразделяются на шесть категорий. Наибольшую аварийную опасность представляют объекты, относящиеся к первой и второй категориям — А и Б.

Категория А — нефтеперерабатывающие заводы, химические предприятия, трубопроводы и склады нефтепродуктов и т.п.

Категория Б — цеха по приготовлению и транспортировке угольной пыли, древесной муки, сахарной пудры и т.п.

Пожаровзрывоопасные объекты и СТС  
категории А.

Нефтеперерабатывающие заводы.

Нефтехимические заводы.

Химические заводы.

Нефте- и газопромислы.

Нефте- и газопроводы.

Предприятия, производящие ВВ и порох.



Категория помещения	Характеристика веществ и материалов, находящихся (обращающихся) в помещении
А взрывопожароопасная	<p>Горючие газы, легковоспламеняющиеся жидкости с температурой вспышки не более 28°C в таком количестве, что могут образовывать взрывоопасные парогазовоздушные смеси, при воспламенении которых развивается расчетное избыточное давление взрыва в помещении, превышающее 5 кПа.</p> <p>Вещества и материалы, способные взрываться и гореть при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом в таком количестве, что расчетное избыточное давление взрыва в помещении превышает 5 кПа</p>
Б взрывопожароопасная	<p>Горючие пыли или волокна, легковоспламеняющиеся жидкости с температурой вспышки более 28°C, горючие жидкости в таком количестве, что могут образовывать взрывоопасные пылевоздушные или паровоздушные смеси, при воспламенении которых развивается расчетное избыточное давление взрыва в помещении, превышающее 5 кПа</p>
В1 - В4 пожароопасные	<p>Горючие и трудногорючие жидкости, твердые горючие и трудногорючие вещества и материалы (в том числе пыли и волокна), вещества и материалы, способные при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом только гореть, при условии, что помещения, в которых они имеются в наличии или обращаются, не относятся к категориям А или Б</p>
Г	<p>Негорючие вещества и материалы в горячем, раскаленном или расплавленном состоянии, процесс обработки которых сопровождается выделением лучистого тепла, искр и пламени; горючие газы, жидкости и твердые вещества, которые сжигаются или утилизируются в качестве топлива</p>
Д	<p>Негорючие вещества и материалы в холодном состоянии</p>

Вещество	Удельная теплота сгорания, МДж/кг	Вещество	Удельная теплота сгорания, МДж/кг
Аммиак	18,48	Нафталин	40,04
Ацетон	28,6	Окись углерода	10,12
Бензол	38,72	Пропан	46,2
Бутан	45,76	Пропилен	45,76
Бензин	44	Пропиловый спирт	30,36
Водород	120,12	Сероводород	14,96
Гексан	44	Сероуглерод	14,08
Дизтопливо	44	Сжиженный природный газ	44
Керосин	44	Фенол	40,48
Метан	50,16	-	-

## ***Группа 4***

Биологически опасные объекты и СТС, при авариях на которых возможны массовые поражения флоры и фауны, а также загрязнения обширных территорий биологически опасными веществами. К биологически опасным объектам и СТС относятся предприятия по изготовлению, хранению и утилизации биологически опасных веществ, а также научно-исследовательские организации этого профиля.

Предприятия по изготовлению следующих видов продукции:

белков (дрожжи, белковые препараты, аминокислоты);

физиологически активных веществ (антибиотики, витамины, ферменты, гормоны, ускорители роста);

органических кислот (лимонная, молочная, уксусная);

бактериальных препаратов для борьбы с вредителями сельского хозяйства и лесов, а также для интенсификации земледелия (энтобактерин, боверин, дендробацеллин, азотобактерин).

Научно-исследовательские организации.

## **Группа 5**

Гидродинамически опасные объекты и СТС, при разрушениях которых возможно образование волны прорыва и затопление больших территорий. К гидродинамически опасным объектам относятся гидротехнические сооружения (плотины, дамбы, подпорные стенки; напорные бассейны и уравнивательные резервуары; гидроаккумулирующие электростанции и др.).

Гидротехнические сооружения I класса (по СНИП 2.06.01-86):

Гидротехнические сооружения гидравлических, гидроаккумулирующих и тепловых электростанций мощностью 1,5 млн кВт и более.

Гидротехнические сооружения АЭС независимо от мощности.

Подпорные сооружения водохранилищ мелиоративного назначения при объеме свыше 1000 млн кубометров.

## ***Группа 6***

Объекты жизнеобеспечения крупных народно-хозяйственных объектов и населенных пунктов, аварии на которых могут привести к катастрофическим последствиям для объектов и населения, а также вызвать экологическое загрязнение регионов.

К рассматриваемым объектам жизнеобеспечения относятся объекты энергетических систем, коммунального хозяйства (канализация, водоснабжение, газоснабжение, очистные сооружения и др.), транспортные коммуникации и т.д.

Объекты энергетических систем. Объекты коммунального хозяйства.

Канализация.

Водоснабжение.

Газоснабжение.

Очистные сооружения.

Транспортные коммуникации.



Многие из перечисленных выше объектов требуют обеспечения безопасности и высокого уровня защищенности от угроз техногенного и природного характера и террористических проявлений.

Под общими принципами обеспечения безопасности следует подразумевать концептуальные положения о возможных путях предотвращения, накопления и локализации последствий от потенциально возможных катаклизмов, катастроф, аварий природного и техногенного происхождения. Пути обеспечения безопасности могут быть условно разделены на три направления:

- предотвращение потенциальных аварий;
- локализация аварий, минимизация последствий в случае их возникновения;
- прекращение функционирования потенциально опасных объектов.

Прежде чем рассматривать научно-методические подходы к моделированию опасных процессов в техносфере введем некоторые понятия и определения, относящиеся к рассматриваемому вопросу.

**Антропогенная опасность** – негативные факторы формирующиеся, главным образом, отходами хозяйственной деятельности человека: промышленности, сельского хозяйства, энергетики, транспорта создающие угрозу здоровью населения и окружающей природной среде.

**Техногенная опасность** – негативные факторы, формирующиеся в зонах действия технологических процессов и технических систем и представляющие угрозу здоровью человека, находящегося в этих зонах.

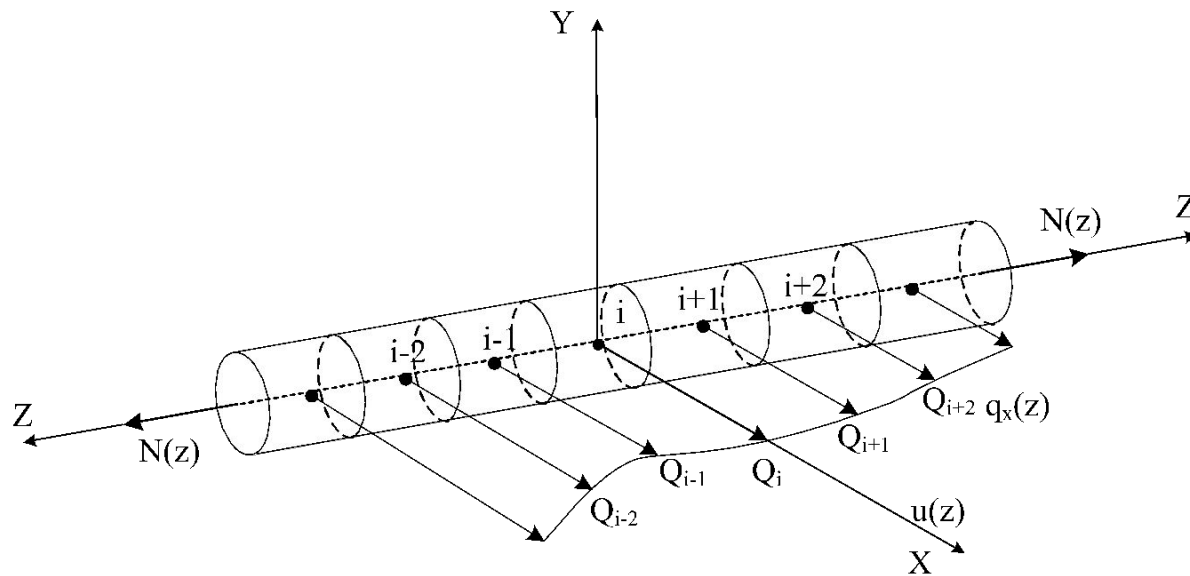
Степень техногенной опасности также зависит от видов и числа потенциально опасных объектов, потенциала опасности на них, повторяемости аварий и катастроф, преимущественного направления ветра и д.р.

***Источник опасности*** – это ограниченный в некоторой области пространства процесс или деятельность, которые могут привести к возникновению негативных воздействий на людей, объекты техносферы и природную среду.

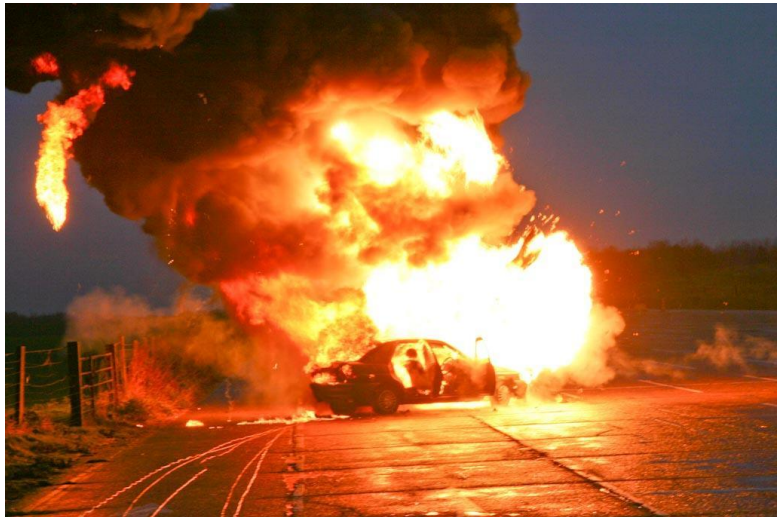
Введем классификацию опасности.

Опасности делятся:

- по неопределенности местоположения – с известными (стационарный объект повышенной опасности) и неизвестными (случайными) координатами (например место возможного разрыва трубопровода)



-по регулярности действия – на реализующиеся во времени и по масштабу случайным образом (в виде случайных событий) и детерминированные (постоянно действующие факторы загрязнения среды)



-по продолжительности действия- на кратковременно и долговременно действующие.

## Поражающие факторы и их основные параметры

Вид ЧС	Поражающие факторы	Параметры
Землетрясение	Обломки зданий сооружений	Интенсивность землетрясения
Взрывы	Воздушная ударная волна	Избыточное давление во фронте воздушной ударной волны
Пожары	Тепловое излучение	Плотность теплового потока
Цунами	Волна цунами	Высота волны; максимальная скорость волны; площадь и длительность затопления; давление гидравлического потока
Разрушение плотин	Волна прорыва	
Химические аварии	Токсичные нагрузки	Предельно допустимая концентрация; токсодоза
Радиационные аварии	Радиоактивное заражение	Дозы облучения

**Постановление Правительства РФ от 21 мая 2007 г. N 304  
"О классификации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного  
характера"**

а) чрезвычайная ситуация локального характера, в результате которой территория, на которой сложилась чрезвычайная ситуация и нарушены условия жизнедеятельности людей (далее - зона чрезвычайной ситуации), не выходит за пределы территории объекта, при этом количество людей, погибших или получивших ущерб здоровью (далее - количество пострадавших), составляет не более 10 человек либо размер ущерба окружающей природной среде и материальных потерь (далее - размер материального ущерба) составляет не более 100 тыс. рублей;

б) чрезвычайная ситуация муниципального характера, в результате которой зона чрезвычайной ситуации не выходит за пределы территории одного поселения или внутригородской территории города федерального значения, при этом количество пострадавших составляет не более 50 человек либо размер материального ущерба составляет не более 5 млн. рублей, а также данная чрезвычайная ситуация не может быть отнесена к чрезвычайной ситуации локального характера;

в) чрезвычайная ситуация межмуниципального характера, в результате которой зона чрезвычайной ситуации затрагивает территорию двух и более поселений, внутригородских территорий города федерального значения или межселенную территорию, при этом количество пострадавших составляет не более 50 человек либо размер материального ущерба составляет не более 5 млн. рублей;

г) чрезвычайная ситуация регионального характера, в результате которой зона чрезвычайной ситуации не выходит за пределы территории одного субъекта Российской Федерации, при этом количество пострадавших составляет свыше 50 человек, но не более 500 человек либо размер материального ущерба составляет свыше 5 млн. рублей, но не более 500 млн. рублей;

д) чрезвычайная ситуация межрегионального характера, в результате которой зона чрезвычайной ситуации затрагивает территорию двух и более субъектов Российской Федерации, при этом количество пострадавших составляет свыше 50 человек, но не более 500 человек либо размер материального ущерба составляет свыше 5 млн. рублей, но не более 500 млн. рублей;

е) чрезвычайная ситуация федерального характера, в результате которой количество пострадавших составляет свыше 500 человек либо размер материального ущерба составляет свыше 500 млн. рублей.



# Законодательные основы Анализа опасностей

- Федеральный закон от 21 июля 1997 г. N 116-ФЗ "О промышленной безопасности опасных производственных объектов" (с изменениями и дополнениями)
- 
- Постановление Правительства РФ от 3 ноября 2011 г. N 916 "Об утверждении Правил обязательного страхования гражданской ответственности владельца опасного объекта за причинение вреда в результате аварии на опасном объекте" С изменениями и дополнениями от: 3 ноября 2011 г., 2 мая 2012 г., 14 мая, 26 августа 2013 г., 25 февраля 2014 г.
- Федеральный закон от 22.07.2008 N 123-ФЗ "ТЕХНИЧЕСКИЙ РЕГЛАМЕНТ О ТРЕБОВАНИЯХ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ" Редакция от 23.06.2014 (с изм. и доп., вступ. в силу с 13.07.2014)
- Постановление Госгортехнадзора РФ от 11.06.2003 N 91 «Об утверждении Правил устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением».
- СП 156.13130.2014. Станции автомобильные заправочные. Требования пожарной безопасности
- ПБ 03-108-96 Правила устройства и безопасной эксплуатации технологических трубопроводов. Утверждены постановлением Госгортехнадзора России от 2.03.95 № 11.

# Риск

Техногенная чрезвычайная ситуация **Событие E**  
Источник техногенной чрезвычайной ситуации **Событие E1**

**Вероятность возникновения чрезвычайной ситуации**  $P\{E \cap E1\} = P\{E1\} \times P\{E | E1\}$

где  $P\{E1\}$  - вероятность реализации источника чрезвычайной ситуации (аварии, пожара, взрыва и т.д.);

$P\{E | E1\}$  - вероятность возникновения чрезвычайной ситуации при условии реализации источника чрезвычайной ситуации.

Вероятность возникновения чрезвычайной ситуации для **i-го** опасного объекта в течение одного года

$$P_iE = P_i\{(E | E1)/\text{один год}\}$$

**Риск чрезвычайной ситуации** - мера опасности, включающая вероятность возникновения чрезвычайной ситуации и математическое ожидание ущерба в случае ее реализации.

$$R_iE = \{P_iE, S_iY\}$$

где  $P_iE$  - вероятность возникновения чрезвычайной ситуации в течение года;  
 $S_iY$  – математическое ожидание ущерба в случае реализации чрезвычайной ситуации.

Риск чрезвычайной ситуации может быть дифференциальным и интегральным

$R_iE$  - **дифференциальный риск** техногенной чрезвычайной ситуации.

**интегральный риск чрезвычайных ситуаций техногенного характера j-го типа ( $R_{ij}E$ )**

$$R_{ij}E = \sum\{P_{ij}E, S_{ij}Y\} = \{MP_{jE}, MS_{jY}\}$$

где  $i \in [1, N]$ ,  $N$  - число технических объектов  $j$ -го типа.

**Потенциальный территориальный риск чрезвычайной ситуации** — количественный показатель риска чрезвычайной ситуации, определяемый как вероятность возникновения за год на рассматриваемой территории всей совокупности поражающих факторов источников возможной чрезвычайной ситуации с уровнем, который может привести к гибели людей и причинению материального ущерба.

**Социальный риск чрезвычайной ситуации** — количественный показатель риска чрезвычайной ситуации, определяемый как вероятность гибели на рассматриваемой территории за год одновременно более чем десяти человек в результате возможного воздействия всей совокупности поражающих факторов источников чрезвычайной ситуации.

**Индивидуальный риск чрезвычайной ситуации** — количественный показатель риска чрезвычайной ситуации, определяемый как вероятность гибели на рассматриваемой территории за год отдельного человека в результате возможного воздействия всей совокупности поражающих факторов источников чрезвычайной ситуации.

**Коллективный риск чрезвычайной ситуации** — количественный показатель риска чрезвычайной ситуации, определяемый как математическое ожидание числа погибших в результате возможного воздействия всей совокупности поражающих факторов источников чрезвычайной ситуации на рассматриваемой территории за год.

**Экономический риск чрезвычайной ситуации** — количественный показатель риска чрезвычайной ситуации, определяемый как математическое ожидание случайной величины материального ущерба от чрезвычайной ситуации на рассматриваемой территории за год.

В зависимости от решаемых задач риск можно представить в виде:

1. Математического ожидания ущерба определенного рода за год.
2. Частоты наступления неблагоприятного события за год.

*В первом случае* риск  $R$  определяется по формуле

$$R = H U \text{ , ущерб/год}$$

где  $H$  — частота наступления чрезвычайной ситуации (аварий, катастроф) за год;  $U$  — потенциальный ущерб от чрезвычайной ситуации.

*Во втором случае* риск  $R_e$  определяется из соотношения

$$R_e = H P, \text{ 1/год}$$

где  $P$  — вероятность наступления неблагоприятного события при условии, что случилась чрезвычайная ситуация.

Для оценки риска персонала производственных объектов и населения используют следующие основные показатели риска

- индивидуальный риск,  $R_e$ , 1/год;
- коллективный риск,  $R_c$ , чел./год;
- потенциальный территориальный риск,  $R_n$ , 1/год;
- социальный риск,  $R_s$ , 1/год;
- экономический риск,  $R_u$ , ущерб/год.

Оценку риска для опасных объектов начинают с построения полей потенциального территориального риска. Потенциальный территориальный риск  $R_n(x,y)$  характеризует частоту реализации за год в рассматриваемой точке  $(x,y)$  поражающего фактора интенсивностью, соответствующей гибели человека. При определении потенциального территориального риска  $R_n(x,y)$  принимается, что человек находится в каждой точке рассматриваемой территории

$$R_n(x, y) = H \int_{\Phi_{\min}}^{\Phi_{\max}} P(\Phi) f(x, y, \Phi) d\Phi$$

где  $\Phi_{\min}$ ,  $\Phi_{\max}$  — минимально и максимально возможные значения поражающего фактора для рассматриваемой ЧС;  $P(\Phi)$  — параметрический закон поражения людей;  $f(x,y,\Phi)$  — функции плотности распределения интенсивности поражающего фактора в пределах площадки с координатами  $(x, y)$ .



Затем оцениваются коллективные риски  $R_c$ , определяемые как математическое ожидание числа погибших на рассматриваемой территории за год:

$$R_c = H \iint_S \int_0^{24} \int_{\Phi_{\min}}^{\Phi_{\max}} P(\Phi) f(x, y, \Phi) \psi(x, y) f(t) d\Phi dt dx dy$$

где  $S$  — площадь рассматриваемой области, населенного пункта, объекта;  $\psi(x, y)$  — плотность населения в пределах рассматриваемой площадки;  $f(t)$  — функция, учитывающая распределение людей в зданиях в зависимости от времени суток.

Формула для определения индивидуального риска примет вид

$$R_e = \frac{H}{N} \iint_S \int_0^{24} \int_{\Phi_{\min}}^{\Phi_{\max}} P(\Phi) f(x, y, \Phi) \psi(x, y) f(t) d\Phi dt dx dy$$

Индивидуальный риск является наиболее приемлемым критерием оценки степени опасности для жизни персонала объектов и рядом расположенного населения, так как в нормативной и научной литературе опубликованы значения недопустимого, контролируемого и приемлемого индивидуального риска

Интегральный показатель индивидуального риска с учетом ожидаемого поражения людей за год при всех чрезвычайных ситуациях, характерных для региона, называют комплексным коллективным риском и определяют по формуле

$$R_{\sum c} = \sum_{i=1}^n R_i$$

где  $n$  — число рассматриваемых чрезвычайных ситуаций;  $R_i$  — коллективный риск при  $i$ -й чрезвычайной ситуации.

Интегральный показатель индивидуального риска с учетом вероятности смертельного исхода для людей при всех возможных стихийных бедствиях и авариях на рассматриваемой территории называют комплексным индивидуальным риском и определяют по формуле

$$R_{\Sigma e} = R_{\Sigma c} / N$$

# Законодательные основы Анализа опасностей

- Федеральный закон от 21 июля 1997 г. N 116-ФЗ "О промышленной безопасности опасных производственных объектов" (с изменениями и дополнениями)
- 
- Постановление Правительства РФ от 3 ноября 2011 г. N 916 "Об утверждении Правил обязательного страхования гражданской ответственности владельца опасного объекта за причинение вреда в результате аварии на опасном объекте" С изменениями и дополнениями от: 3 ноября 2011 г., 2 мая 2012 г., 14 мая, 26 августа 2013 г., 25 февраля 2014 г.
- Федеральный закон от 22.07.2008 N 123-ФЗ "ТЕХНИЧЕСКИЙ РЕГЛАМЕНТ О ТРЕБОВАНИЯХ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ" Редакция от 23.06.2014 (с изм. и доп., вступ. в силу с 13.07.2014)
- Постановление Госгортехнадзора РФ от 11.06.2003 N 91 «Об утверждении Правил устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением».
- СП 156.13130.2014. Станции автомобильные заправочные. Требования пожарной безопасности
- ПБ 03-108-96 Правила устройства и безопасной эксплуатации технологических трубопроводов. Утверждены постановлением Госгортехнадзора России от 2.03.95 № 11.

# Системный анализ

Сначала определим понятие система.

«**Система** – это набор взаимодействующих элементов»,

**Система** – это структура, у которой элементы каким-то образом действуют друг на друга (взаимодействуют)

**Системный анализ**, 1) в узком смысле — совокупность методологических средств, используемых для подготовки и обоснования решений по сложным проблемам политического, военного, социального, экономического, научного, технического характера. 2) В широком смысле термин «С. а.» иногда (особенно в англоязычной литературе) употребляют как синоним системного подхода

**Системный подход**, направление методологии специально-научного познания и социальной практики, в основе которого лежит исследование объектов как систем. С. п. способствует адекватной постановке проблем в конкретных науках и выработке эффективной стратегии их изучения. Методология, специфика С. п. определяется тем, что он ориентирует исследование на раскрытие целостности объекта и обеспечивающих её механизмов, на выявление многообразных типов связей сложного объекта и сведение их в единую теоретическую картину.

# Системная проблема

## Признаки системной проблемы

<b>Слабоструктурированные</b>	<b>Многоаспектные</b>
<b>Конфликтные</b>	<b>Рискованные</b>
<b>Неопределенные</b>	<b>Саморазрешаемые</b>
<b>Неоднозначные</b>	<b>Эволюционные</b>
	<b>Комплексные</b>



# Признаки системы

**Расчленимость**

**Целостность**

**Связанность**

**Неаддитивность**

# Виды систем

**Открытые системы** - это системы, которые обмениваются с внешним миром веществом, энергией, информацией

**Закрытые системы** - это системы, которые не обмениваются с внешним миром ни веществом, ни энергией, ни информацией

**Частично открытые системы** - системы, которые обмениваются с внешним миром или энергией или информацией

Для описания системы важно знать, какие она имеет структуру (строение), функции (работу) и связи (ресурсы) с окружением.

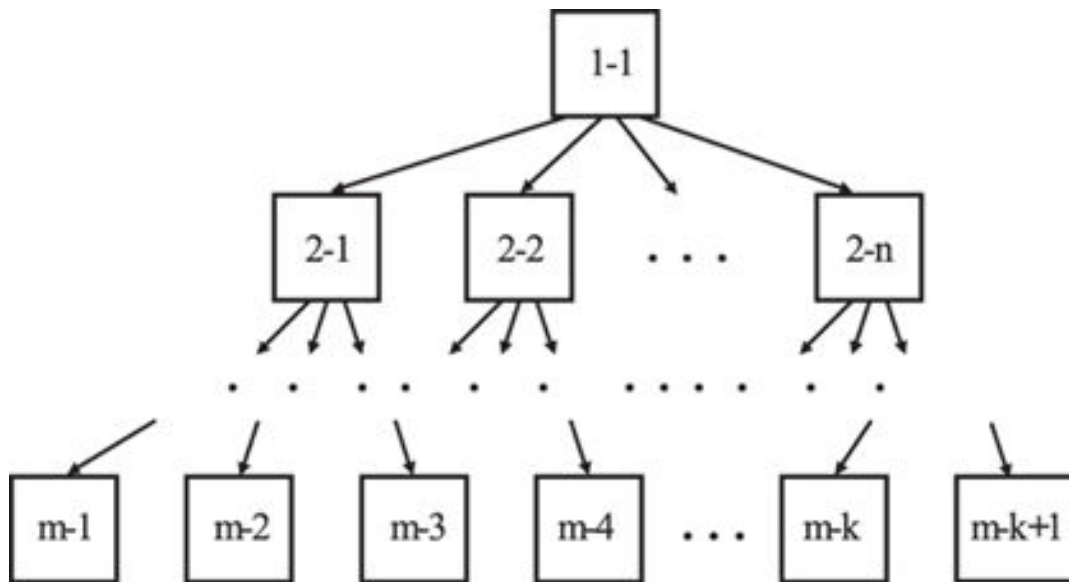
Совокупность элементов и связей между ними позволяет судить о структуре системы.



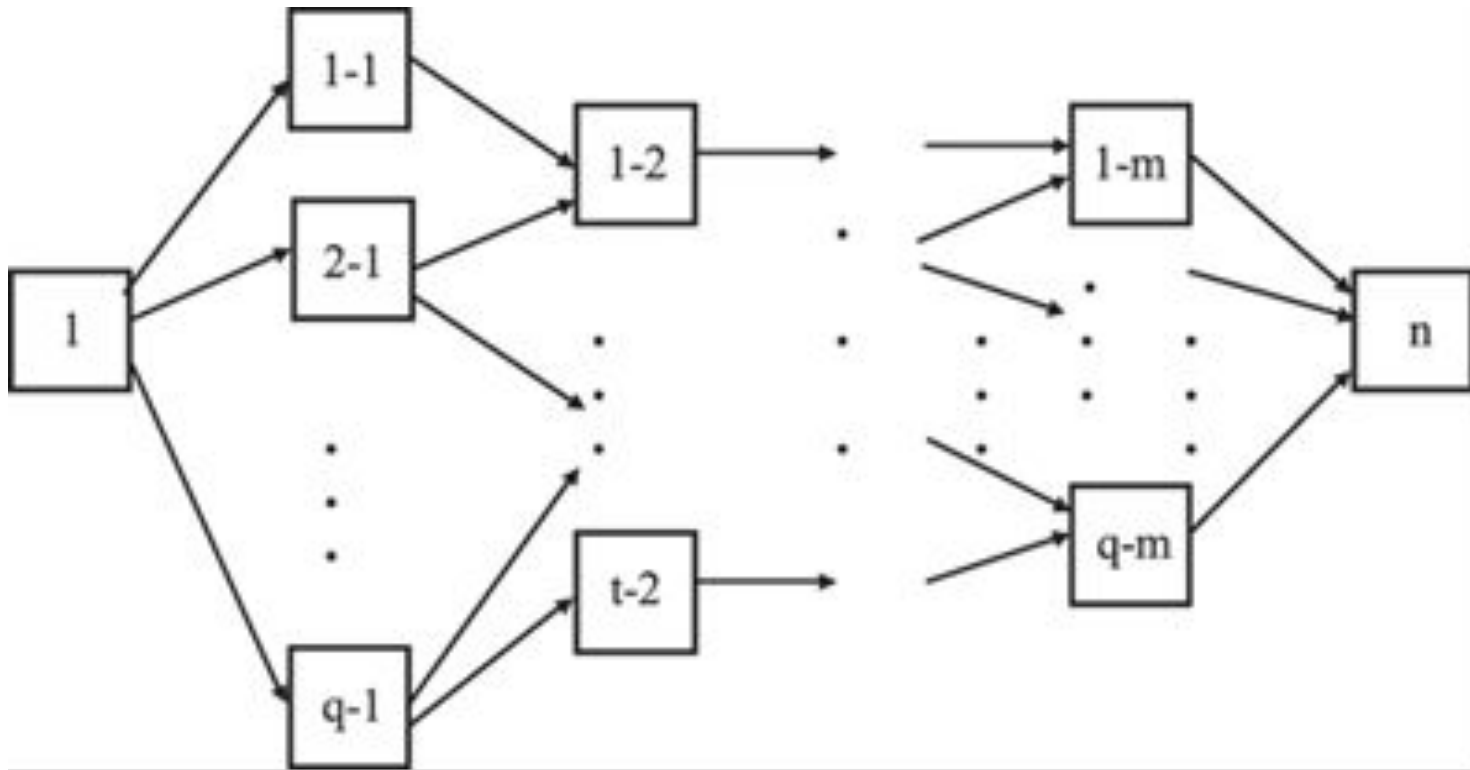
# Базовые топологии структур (систем)



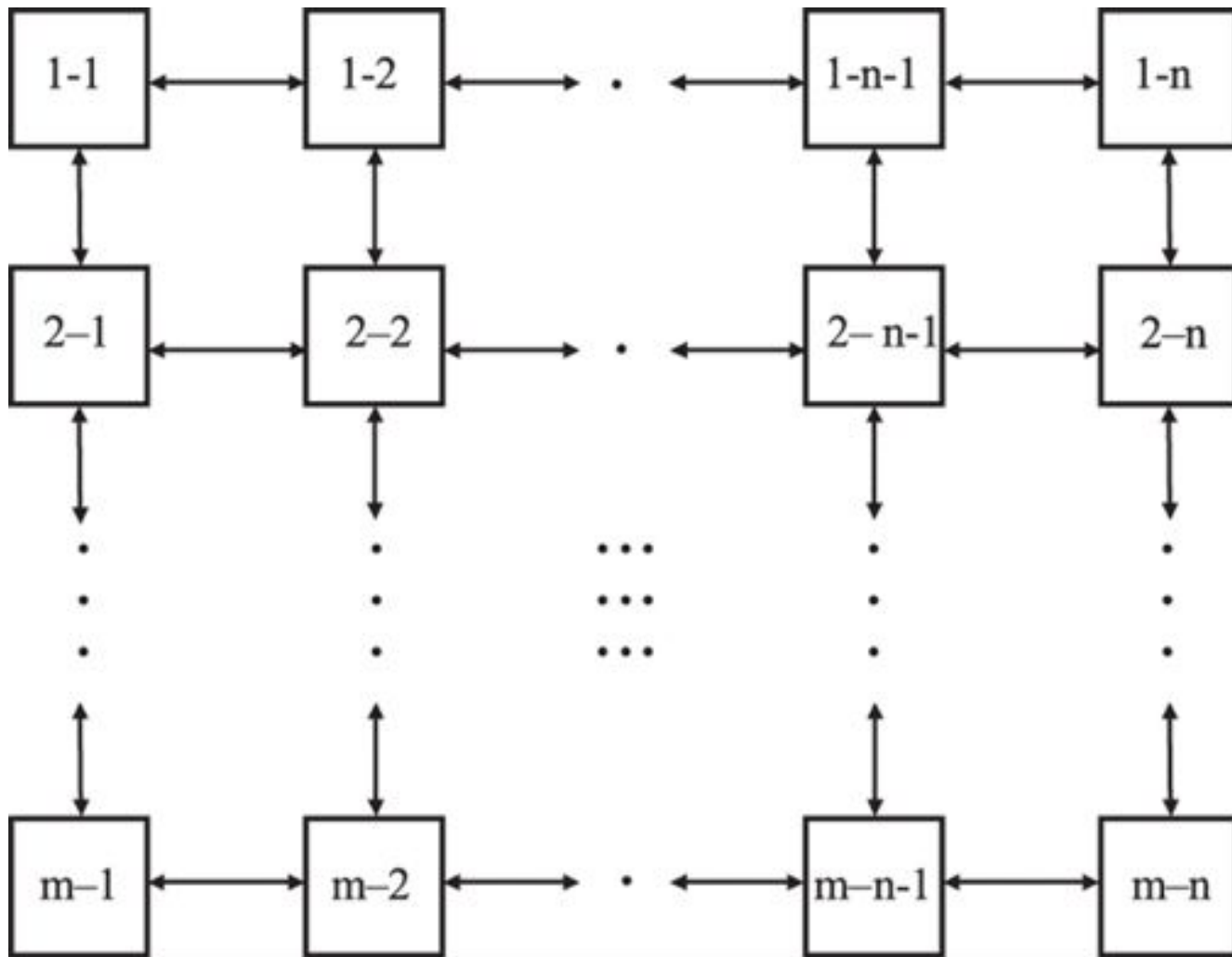
Структура линейного типа



Структура иерархического типа (первая цифра - номер уровня)



Структура сетевого типа (вторая цифра - номер в пути)



Структура матричного типа

**При системном анализе объектов, процессов, явлений необходимо пройти (в указанном порядке) следующие этапы системного анализа:**

- 1.Обнаружение проблемы (задачи).
- 2.Оценка актуальности проблемы.
- 3.Формулировка целей, их приоритетов и проблем исследования.
- 4.Определение и уточнение ресурсов исследования.
- 5.Выделение системы (из окружающей среды) с помощью ресурсов.

# Понятийный аппарат риска чрезвычайной ситуации

Техногенная чрезвычайная ситуация **Событие E**  
Источник техногенной чрезвычайной ситуации **Событие E1**

**Вероятность возникновения чрезвычайной ситуации**  $P\{E \cap E1\} = P\{E1\} \times P\{E | E1\}$

где  $P\{E1\}$  - вероятность реализации источника чрезвычайной ситуации (аварии, пожара, взрыва и т.д.);  
 $P\{E | E1\}$  - вероятность возникновения чрезвычайной ситуации при условии реализации источника чрезвычайной ситуации.

Вероятность возникновения чрезвычайной ситуации для  $i$ -го опасного объекта в течение одного года

$$P_iE = P_i\{(E | E1)/\text{один год}\}$$

**Риск чрезвычайной ситуации** - мера опасности, включающая вероятность возникновения чрезвычайной ситуации и математическое ожидание ущерба в случае ее реализации.

$$R_iE = \{P_iE, S_iY\}$$

где  $P_iE$  - вероятность возникновения чрезвычайной ситуации в течение года;  
 $S_iY$  – математическое ожидание ущерба в случае реализации чрезвычайной ситуации.

Риск чрезвычайной ситуации может быть дифференциальным и интегральным

$R_iE$  - **дифференциальный риск** техногенной чрезвычайной ситуации.

**интегральный риск чрезвычайных ситуаций техногенного характера  $j$ -го типа ( $R_{ij}E$ )**

$$R_{ij}E = \sum \{P_{ij}E, S_{ij}Y\} = \{MP_{jE}, MS_{jY}\}$$

где  $i \in [1, N]$ ,  $N$  - число технических объектов  $j$ -го типа.



6. Описание подсистем (вскрытие их структуры), их целостности (связей), элементов (вскрытие структуры системы), анализ взаимосвязей подсистем.

7. Построение (описание, формализация) структуры системы.

8. Установление (описание, формализация) функций системы и ее подсистем.

9. Согласование целей системы с целями подсистем.

10. Анализ (испытание) целостности системы.

12. Испытание, верификация системы (системной модели), ее функционирования.

13. Анализ обратных связей в результате испытаний системы.

14. Уточнение, корректировка результатов предыдущих пунктов.

# Постановка задач исследований

1. Пусть имеется множество критически важных опасных производственных объектов  $\{\alpha_i\} \subset A$ ,  $i=1 \dots N$ .

Безопасность объект  $\alpha_i$ , характеризуется, вектором состояний его элементов, классом ( $j$ ) и типом ( $k$ ) опасностей, а также уровнем защищенности от угроз техногенного, природного и террористического характера. Каждый объект характеризуется вектор - функцией безопасности:

$$C_i = \Psi(Y, j, k, W_1, W_2, W_3)$$

2. Также имеется некоторый ограниченный финансовый ресурс  $S \leq S^*$  ( $S^*$  финансовое ограничение), который может быть направлен на повышение защищенности множества  $A$  критически важных опасных производственных объектов.

3. Уровень защищенности всего множества  $A$  критически важных опасных производственных объектов можно характеризовать значением  $W = \Phi(C_i, t, \lambda_i, P, N)$ , которое зависит от вектор – функций безопасности времени  $t$ , выбором государственной стратегии, среди множества стратегий, определяется некоторым правилом  $P$  определяющим уровень защищенности и количеством объектов  $N$ .

Тогда основную задачу в формализованном виде можно записать следующим образом:  $|W^* - W| \Rightarrow \min$

$$|C_i| \geq |C^*| \quad \lambda_i \in \Lambda$$

при условии,  $S \leq S^*$  и выбранной оптимальной стратегии.

где -  $R(t)$  минимально допустимое значение вектор функции безопасности для каждого  $\alpha_i \in A$ .

4. Задача – мониторинг состояния критически важных опасных производственных объектов, и прогноз рисков чрезвычайных ситуаций на этих объектах в заданный временной интервал, в формализованном виде можно записать следующим образом:

$$M \otimes R_i(t_{m+1}) = R_i(t_m) + F(Y(t_{m+1}))$$

# Принципы и методы оценки состояния защищенности критически важных опасных производственных объектов от угроз техногенного, природного характера и террористических актов

Категорирование потенциально опасных объектов ( $O_{\text{ПО}}$ ) предлагается проводить по трем параметрам (i,j,k).

По типу угроз (i), i=I, II, III

I – техногенного характера;

II – природного характера;

III – террористического характера.

По физической природе опасного вещества или фактора – источника ЧС (j), j=A, B, C, D, E

A – радиоактивные;

B – пожаровзрывоопасные;

C – химические;

D – биологические;

E - гидродинамические.

По масштабам угроз ( $k$ ),  $k=1, 2, 3, 4, 5$ , в соответствии с Требованиями по предупреждению чрезвычайных ситуаций на потенциально опасных объектах и объектах жизнеобеспечения по пяти классам.

- 1 класс - потенциально опасные объекты, аварии на которых могут являться источниками возникновения федеральных и/или трансграничных чрезвычайных ситуаций;
- 2 класс - потенциально опасные объекты, аварии на которых могут являться источниками возникновения межрегиональных и/или региональных чрезвычайных ситуаций;
- 3 класс - потенциально опасные объекты, аварии на которых могут являться источниками возникновения межмуниципальных чрезвычайных ситуаций;
- 4 класс - потенциально опасные объекты, аварии на которых могут являться источниками возникновения муниципальных чрезвычайных ситуаций;
- 5 класс - потенциально опасные объекты, аварии на которых могут являться источниками возникновения локальных чрезвычайных ситуаций.

Тогда уровень защищенности критически важного производственного объекта будет характеризоваться величиной  $\mathbf{ZO}_{\text{ПО}}(i,j,k,\mathbf{П},\mathbf{К})$ , где индекс  $\mathbf{П}$  означает, что объект попадает под действие Федерального закона от 21 июля 1997 г. № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов», а индекс  $\mathbf{К}$ , что объект входит в перечень критически важных объектов Российской Федерации.

*Пример:  $\mathbf{ZO}_{\text{ПО}}(II,A,3,\mathbf{П},\mathbf{К})$  – характеризует защищенность критически важного опасного производственного объекта от угроз природного характера, при этом объект является радиационно опасным и в результате аварии на нем*

# Методика оценки количества и качества информации необходимой для мониторинга состояния защищенности опасных производственных объектов, с использованием космических средств на примере объектов по обогащению урана

Мониторинг = информация о состоянии объектов

Источники информации: наземного, морского, воздушного и космического базирования.

**Требования предъявляемые к информации:**

- количество информации;
- качество (ценность информации)

**Количественная оценка возможностей космических систем наблюдения для мониторинга критически важных опасных производственных объектов**

$$\Delta t = t_1 - t_2$$

Информация, принимаемая со спутника наблюдения, содержит сведения:

о разнице температур поверхности объекта  $t_1$  и окружающей среды  $t_2$  ;

координатах местоположения объекта  $G$ ;

содержание воды в отстойных бассейнах  $W$ ;

влажносодержание в облаке пара градирен  $Q$ ;

косвенная информация.

Для оценки количества и ценности информации обозначим:

$I_N$  - количество информации;

$$\vec{Z} = (z_1, z_2, \dots, z_N)$$

- вектор информации содержащейся в полученном сообщении, где

$N$  - количество параметров, содержащихся в принимаемом сообщении;  
 $m = (1 \dots M)$

$M$ -число показаний передаваемых спутником за сутки, где

$m$  - номер показания в течении суток,

$$I_j = -\sum_{i=1}^k p_i \times \log_2 p_i$$

Для оценки количества информации получаемой со спутника за одно сообщение по одному параметру можно использовать выражение, предложенное

К. Шенноном, где  $j = 1 \dots N$ :

$p_i$  - априорная вероятность реализации одного из  $k$  вариантов рассматриваемого

Количество информации получаемое со спутника за одно сообщение по всем параметрам будет определяться выражением:

$$I_M = \sum_I^M \sum_I^N I_{mj}$$

а) мерой ценности, предложенной М.М. Бонгардом, является:

$$V = \log_2 \frac{P}{p}$$

(9)

где  $p$ - априорная вероятность достижения цели до получения информации,

$$p = 2^{-l}$$

$P$  – вероятность достижения цели после получения информации.

$P > p \Rightarrow V > 0$  – информация;

$P < p \Rightarrow V < 0$  – дезинформация.

мерой ценности, предложенной В.И. Корогодиным, является величина:

Ипр - предварительная информация (тезаурус);

Ипр – отсутствует =>  $p=1/n$  (где  $n$ -число вариантов) тогда  $P=1$ , то

$$V=V_{max}=\log_2 n$$

*Получаемые сведения:*

- 1) координаты местоположения объекта  $G$ ;
- 2) разница температур поверхности объекта  $t_1$  и окружающей среды  $t_2$ ,
- 3) влагосодержание в облаке пара градиен  $Q$ ;
- 4) содержание воды в отстойных бассейнах  $W$

*Определим ценность и количество информации содержащейся в каждом признаке.*

**(1) координаты местоположения объекта  $G$**

$p=1$  – объект присутствует =>  $P=1$

$p=0$  – объект отсутствует=>  $P=0$ , тогда

$$I_1 = -(1 \times \log_2 1 \oplus 0 \times \log_2 0) = 0$$

$$V = \log_2 \frac{P}{p} = \log_2 \frac{1}{1} \log_2 1 = 0$$

$I=0, V=0$

**(2) разница температур поверхности объекта  $t_1$  и окружающей среды  $t_2$**

четыре варианта температуры поверхности объекта:

**1 Вариант:**  $t_{по}$ -совпадает с нормальной рабочей температурой поверхности объекта и

$t_{н1} \leq t_{по} \leq t_{н2} \Rightarrow Dt_{1H} = t_{по} - t_{ос}$  Работа объекта происходит в штатном режиме.



**2 Вариант:** температура поверхности объекта не совпадает с нормальной рабочей температурой поверхности объекта и  $t_{по} < t_{ос}$ , где  $t_{ос}$ -температура окружающей среды, Применены охлаждающие или легко испаряющиеся средства.

$$Dt_{2н} = t_{по} - t_{ос} < 0$$

**3 Вариант:** температура поверхности объекта не совпадает с нормальной рабочей температурой и температура поверхности объекта равна температуре окружающей среды, штатный режим работы объекта был нарушен. Объект длительное время не эксплуатируется.

$$Dt_{2н} = t_{по} - t_{ос} = 0$$

**4 Вариант:** температура поверхности объекта не совпадает с нормальной рабочей температурой и температура объекта превышает допустимые пределы, режим работы предприятия нарушен, развивается аварийная ситуация, возможна чрезвычайная ситуация.

$$Dt_{2н} = t_{по} - t_{ос} > 0.$$

# Принципы конвертирования информации при переходе от признаков, характеризующих аварию или происшествие на опасном производственном объекте к признакам, характеризующим чрезвычайную ситуацию

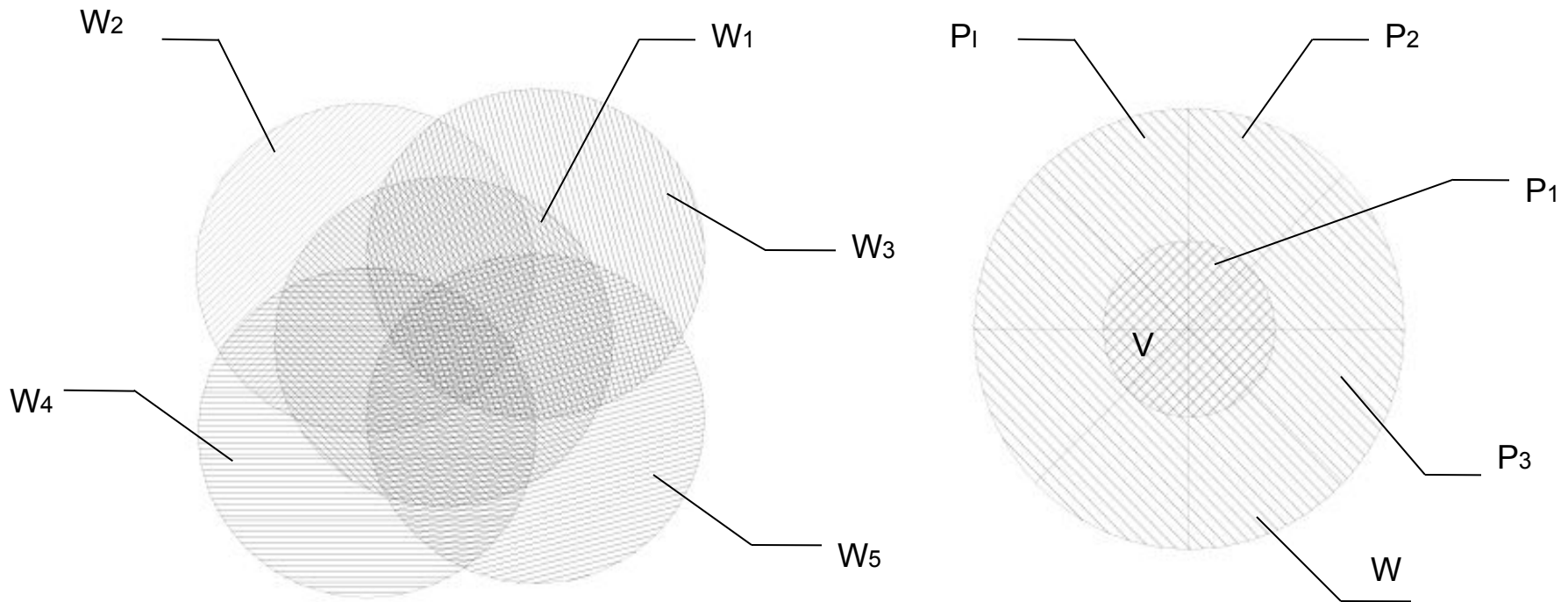
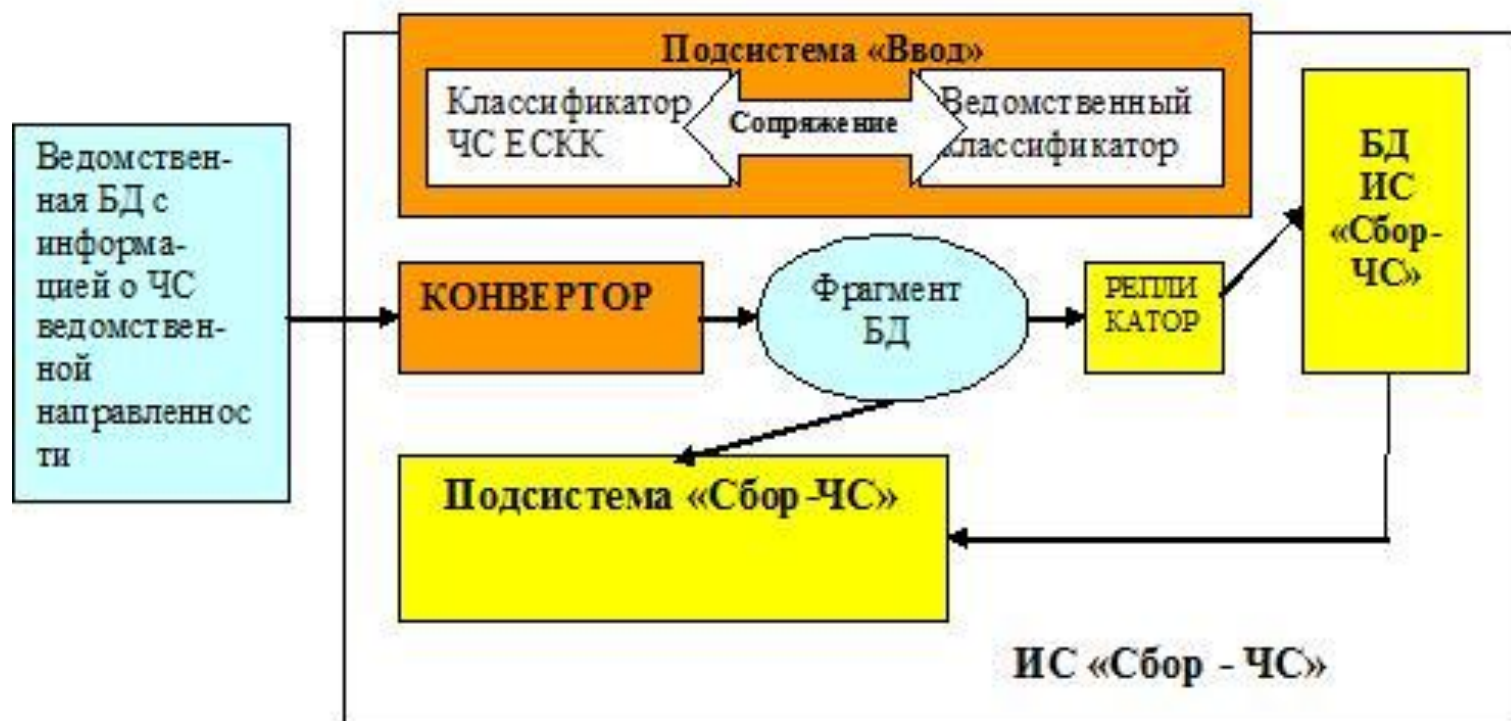


Схема пересечения существующих классификаторов учета происшествий, аварий и чрезвычайных ситуаций федеральных органов исполнительной власти.

Схема эффективной системы классификаторов учета происшествий, аварий и чрезвычайных ситуаций федеральных органов исполнительной власти

# Принципиальная схема конвертера



**Принципы и методы прогнозирования рисков чрезвычайных ситуаций техногенного характера на критически важных опасных производственных объектах с учетом их состояния**

1.  $B = \text{const}$  - **оперативный прогноз**, временной интервал оперативного прогноза от секунд до нескольких десятков суток.
2. - **среднесрочный (линейный) прогноз**, временной интервал среднесрочного от месяца до нескольких (3-5) лет.  

$$\vec{Y} = \vec{K} \times T \oplus B$$
3. - **долгосрочный (нелинейный) прогноз**, временной интервал долгосрочного (прогноза от 5 до 20 лет)

$$\vec{Y} = \{X_1(t), X_2(t), \dots, X_n(t)\} \Rightarrow P_{E1} \Rightarrow P_E$$

$$MP_{E1} = \Psi\{\overline{X_1(t)}, \overline{X_2(t)}, \dots, \overline{X_n(t)}\}$$

$$MP_E = \vartheta(MP_{E1}, KP_{E|E1}),$$

где  $KP_{E|E1}$  - эффективность мероприятий по предупреждению чрезвычайных ситуаций техногенного характера в рассматриваемой отрасли.

Пусть  $MP_{E1} = \psi_1(t)$  и  $MP_E = \vartheta_1(t)$ , тогда

$$\text{tg}(\Theta_1) = \psi_1'(t) \text{ и } \text{tg}(\Theta) = \vartheta_1'(t), \text{ тогда}$$

$$KP_{E|E1} = \psi_1'(t) - \vartheta_1'(t)$$

$$\vec{Z} = \{\overline{X_1(t)}, \overline{X_2(t)}, \dots, \overline{X_n(t)}\} \Rightarrow M^{P_{E1}} \Rightarrow M^{P_E}$$

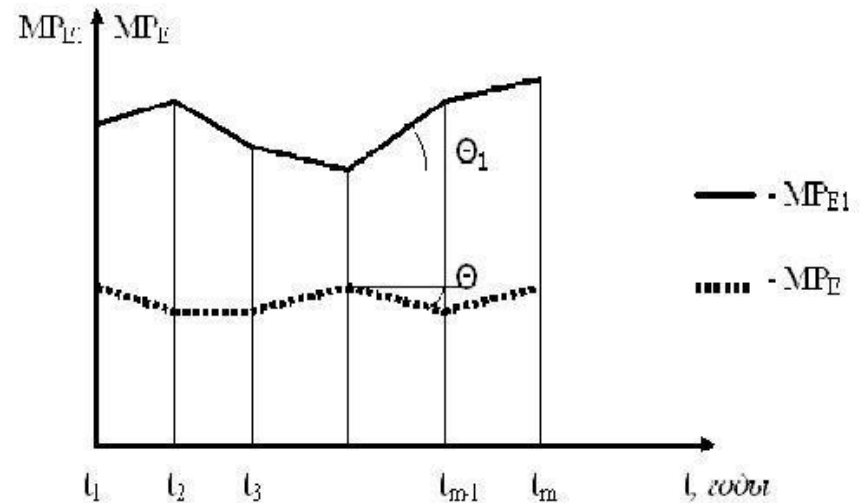
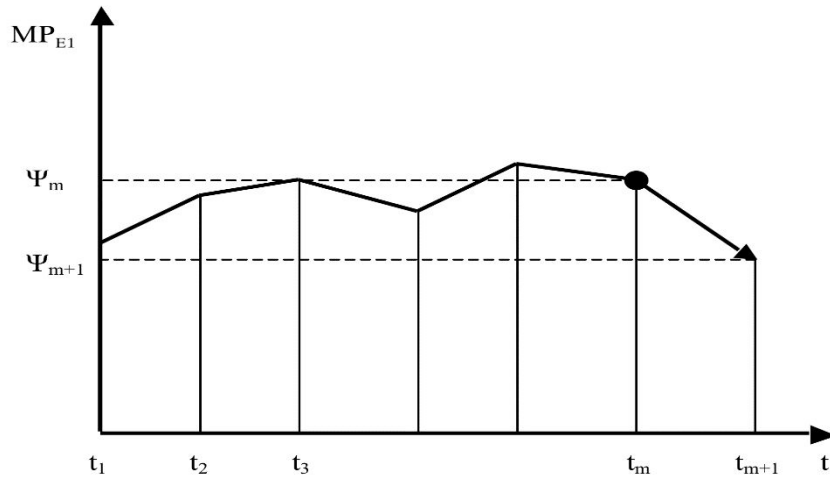


Рис. Схематическая зависимость чрезвычайных ситуаций и аварий в отрасли от времени

# Методика и алгоритм среднесрочного прогноза вероятностных характеристик интегральных рисков чрезвычайных ситуаций

$MP_{E1}(t)$  – динамика аварий за  $m$  лет,  $MP_E(t)$  – динамика чрезвычайных ситуаций

$MP_{Civ}(t)$  – значения индексов  $\vec{Z} = \{\bar{X}_1(t), \bar{X}_2(t), \dots, \bar{X}_m(t)\}$  – ключевые параметры отрасли



линейная функция

$$\Psi_{m\oplus 1} = \Psi_m \oplus \left( K_1 \times \frac{dX_1}{dt} \oplus K_2 \times \frac{dX_2}{dt} \oplus \dots \oplus K_m \times \frac{dX_m}{dt} \right)$$

$$\Psi_2 = \Psi_1 \oplus K_1 \times \frac{X_1(t_2) - X_1(t_1)}{\Delta_1} \oplus K_2 \times \frac{X_2(t_2) - X_2(t_1)}{\Delta_1} \oplus \dots \oplus K_m \times \frac{X_m(t_2) - X_m(t_1)}{\Delta_1}$$

$$\Psi_3 = \Psi_2 \oplus K_1 \times \frac{X_1(t_3) - X_1(t_2)}{\Delta_2} \oplus K_2 \times \frac{X_2(t_3) - X_2(t_2)}{\Delta_2} \oplus \dots \oplus K_m \times \frac{X_m(t_3) - X_m(t_2)}{\Delta_2}$$

.....

.....

.....

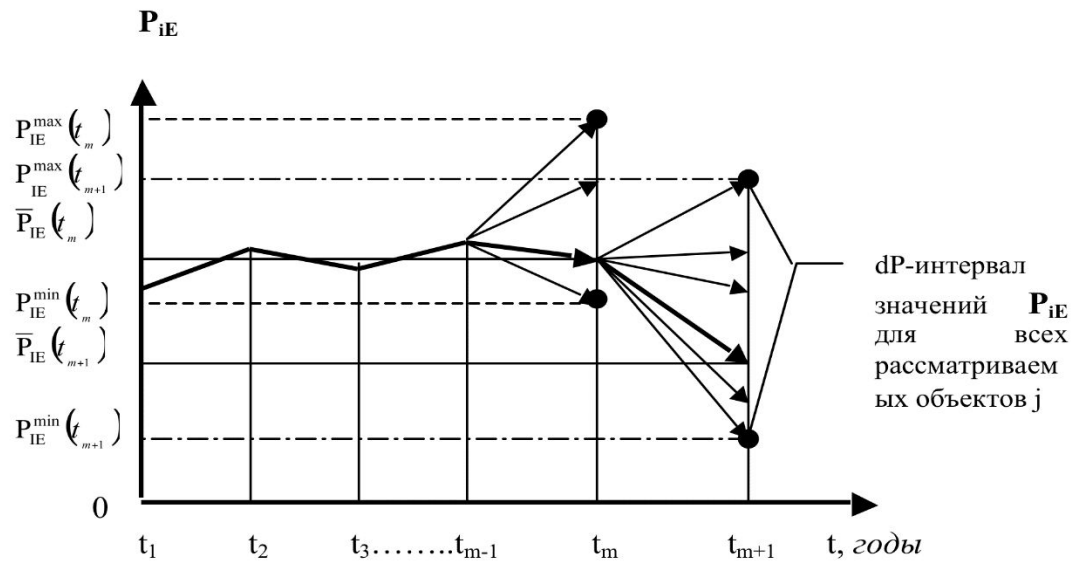
$$\Psi_m = \Psi_{m\oplus 1} \oplus K_1 \times \frac{X_1(t_m) - X_1(t_{m-1})}{\Delta_m} \oplus K_2 \times \frac{X_2(t_m) - X_2(t_{m-1})}{\Delta_m} \oplus \dots \oplus K_m \times \frac{X_m(t_m) - X_m(t_{m-1})}{\Delta_m}$$

# Методика и алгоритм среднесрочного прогноза вероятностных характеристик дифференциальных рисков чрезвычайных ситуаций

$P_{iE}$  – вероятность возникновения чрезвычайной ситуации на предприятии  
 $\bar{P}_{iE}(t_m)$  – средневзвешенное значение вероятности возникновения чрезвычайной

$$\vec{Z} = \{X_{I1}(t_{m\oplus 1}), X_{I2}(t_{m\oplus 1}), \dots, X_{In}(t_{m\oplus 1})\}$$

риятия



$$dR = P_{iE}^{\max}(t_{m\oplus 1}) - P_{iE}^{\min}(t_{m\oplus 1})$$

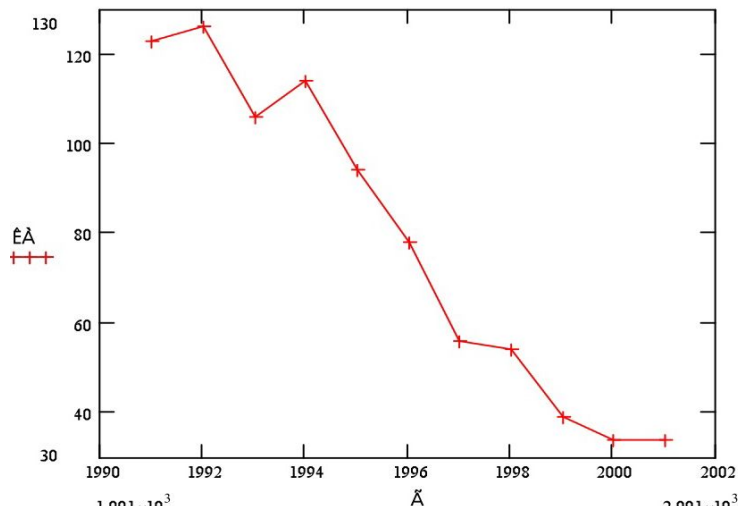
$$\bar{P}_{iE}(t_m) = \frac{\Psi_m}{N}$$

$$P_{iE}(t_{m\oplus 1}) = \bar{P}_{iE}(t_m) \oplus \left( K_1 \times \frac{dX_{I1}}{dt} \oplus K_2 \times \frac{dX_{I2}}{dt} \oplus \dots \oplus K_m \times \frac{dX_{Im}}{dt} \right) \times \Delta t$$

$$\Delta t = t_{m\oplus 1} - t_m$$

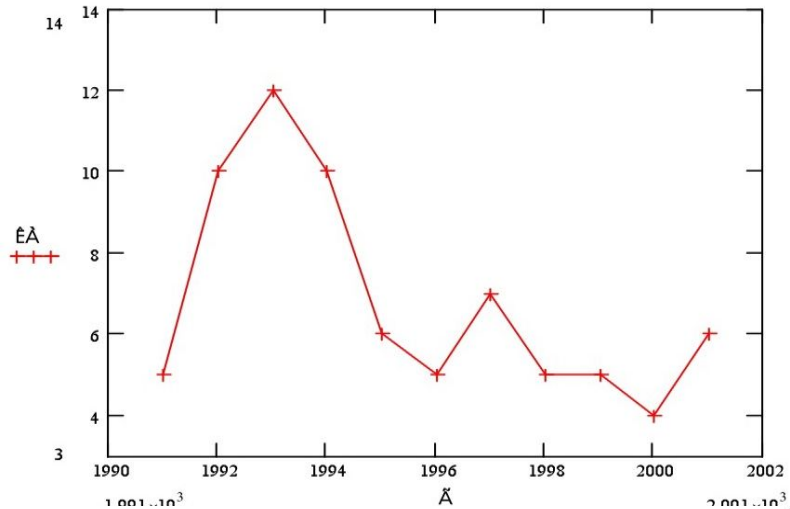
# Результаты расчета

## Угольная промышленность



Показатели угольной промышленности						
	год					
	1994	1995	1996	1997	1998	1999
	г	г	г	г	г	г
Количество аварий	114	94	78	56	54	39
Объем производства (млн. тонн)	261.6	251.3	225	244.4	232.4	249.1
Коэффициент обновления основных фондов	2	2.3	2.3	2	1.5	1.8
Число предприятий	368	364	337	343	395	430
Численность промышленнопроизводственного персонала, тыс. человек	494	451	412	359	310	283
Индексы производства промышленной продукции, % к предыдущему году	88	99	98	95	95	110

## Металлургическая промышленность



Показатели металлургической промышленности						
	год					
	1994	1995	1996	1997	1998	1999
	г	г	г	г	г	г
Количество аварий	10	6	5	7	5	5
Объем производства (млн. тонн)	135	155.5	146.9	146	132.1	148.2
Коэффициент обновления основных фондов	4	3.7	2.7	1.9	1.5	2.9
Степень износа основных фондов	90.7	94.4	97.6	103.3	104.9	102.1
Численность промышленнопроизводственного персонала, тыс. человек	1255	1276	1264	1191	1153	1179
Индексы производства промышленной продукции, % к предыдущему году	174	213	194	207	188	227

$K1 = 560.574$ ,  $K2 = -487.414$ ,  $K3 = 55.389$ ,  
 $K4 = 75.008$ ,  $K5 = -433.504$ .

$K1 = 38.995$ ,  $K2 = -67.379$ ,  $K3 = -21.378$ ,  $K4 = 59.526$ ,  
 $K5 = -35.695$

# Оценка рисков чрезвычайных ситуаций на критически важных опасных производственных объектах в результате террористических актов

$R_t$  – риск проведения террористического акта на магистральном трубопроводе.

$L_i$  – участок магистрального трубопровода (система  $S_i$ )

$q_i \in Q$  – множество элементов системы

$$S_i = \{q_i \in Q \mid G, \xi \in \Omega_\xi, T, \Sigma_0\}, G=(G, \Gamma Q),$$

где  $Q = \{q_i \mid i=1, n\}$  – пространство дискретных состояний системы.

$\Gamma Q$  – отображение  $Q \rightarrow Q$ ;  $\Sigma$  – условия определяющие реализацию террористического,

$\xi$  – фактор случайности процесса смены состояний системы  $S_i$ .

$\Omega_\xi$  – пространство возможных исходов.

$T$  – интервал наблюдения процесса смены состояний в системе  $S_i$ .



$\Sigma_0$  – условия определяющие состояние системы  $S_i$  магистрального трубопровода на момент развертывания цепочки реализации террористического акта  $J_k$  – с момента времени  $t=t_0$

$$\Sigma_0 = \{\phi_k \mid q_0, t_0\}$$

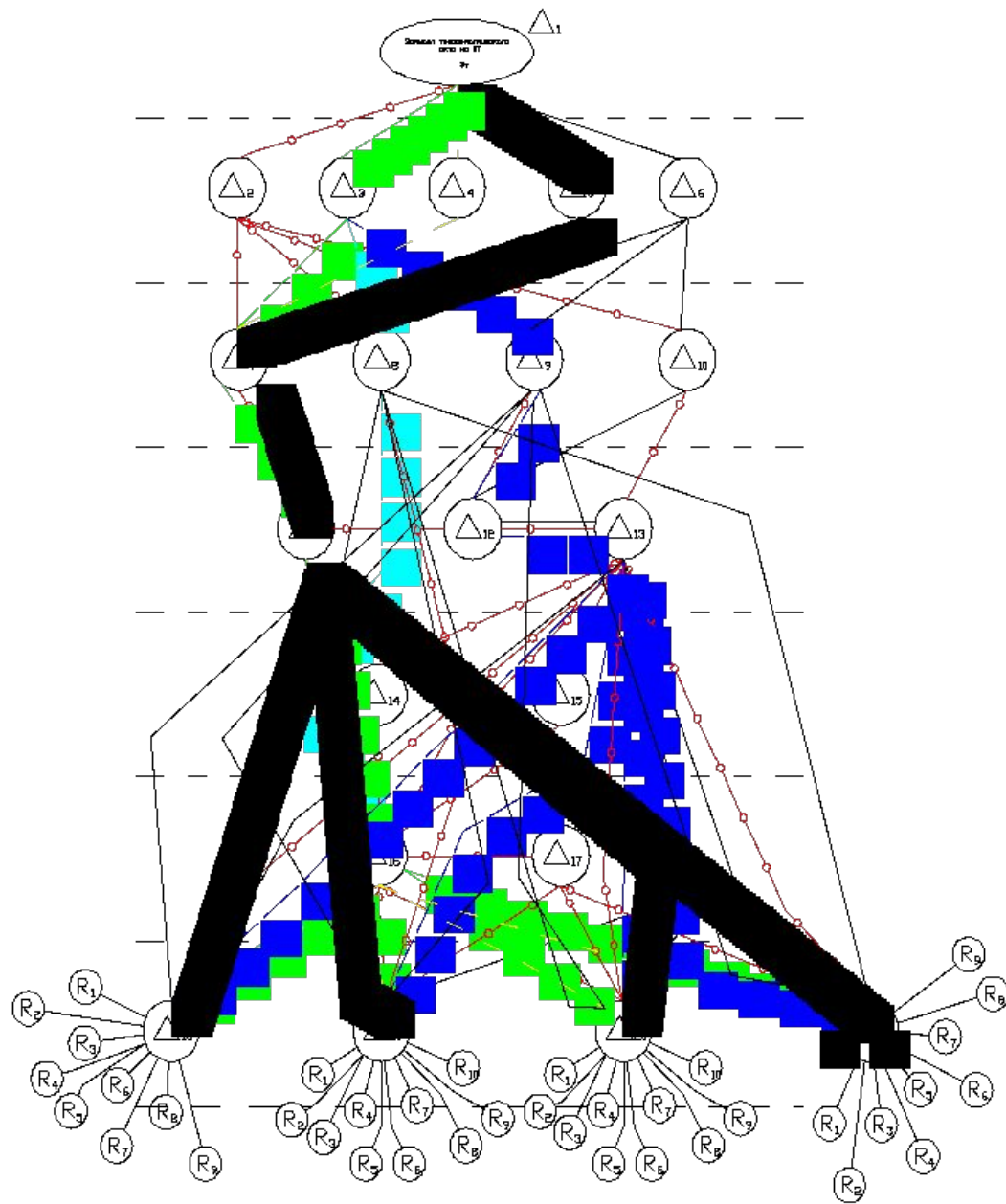
Неопределенность реализации террористического акта можно выразить как блуждающую точку

$$\pi = (q_{i_1} \mid q_{j_1}, q_0)$$

на графе  $G$ , из начального состояния  $q_0 \equiv q_i$

Множество различных альтернативных путей развертывания цепочки событий обозначим:

$$J_k = \{q_{i_k} \mid q_0 = q_{i_0}, i_k = i_0, i_1, \dots\}$$



# Оптимизация мероприятий по повышению защищенности критически важных для национальной безопасности объектов Российской Федерации и населения от угроз техногенного, природного характера и террористических актов

Пусть:

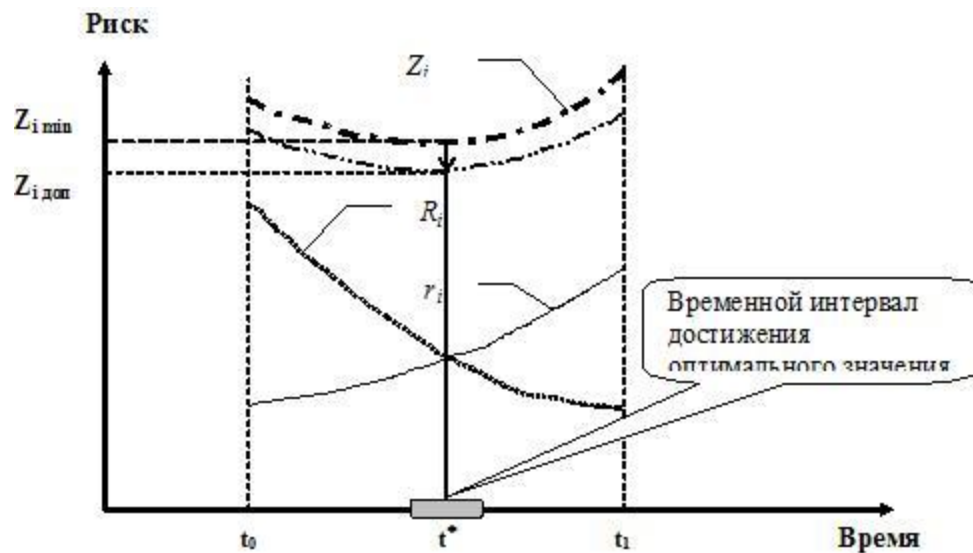
$\gamma$  – вектор внешних угроз;

$\nu$  – вектор внутренних угроз;

Соответственно:

$R_i$  и  $r_i$  – индивидуальный риск от внешних и внутренних угроз.

$$R_i = F(\gamma, t) \text{ и } r_i = f(\nu, t)$$



Суммарный индивидуальный риск от внешних и внутренних угроз (при условии что они независимы)

$$Z_i = 1 - (1-R_i)(1-r_i) = R_i - R_i r_i + r_i$$

$$Z_i = \Psi(\gamma, \nu, t)$$

$$\left| \frac{\partial R_i}{\partial t} \right| \equiv \left| \frac{\partial r_i}{\partial t} \right| \Rightarrow \Rightarrow$$

Если  $\left| \frac{\partial R_i}{\partial t} \right| > \left| \frac{\partial r_i}{\partial t} \right|$   $\min Z_i$   $R_i = r_i : (\cdot) t^*$ .

$$\left| \frac{\partial R_i}{\partial t} \right| < \left| \frac{\partial r_i}{\partial t} \right|$$

Если  $\left| \frac{\partial R_i}{\partial t} \right| < \left| \frac{\partial r_i}{\partial t} \right|$ , то достижение минимума суммарного риска  $Z_i$  смещается в сторону увеличения риска  $r_i$  от внутренних угроз (вправо от

точки  $t^*$ ), а если  $\left| \frac{\partial R_i}{\partial t} \right| > \left| \frac{\partial r_i}{\partial t} \right|$ , то достижение минимума суммарного риска  $Z_i$  смещается в сторону увеличения риска  $R_i$  от внешних угроз (влево от точки  $t^*$ ).