

1  
**Д.Д.Фазуллин  
Г.В.Маврин**

# **Надежность технических систем и техногенный риск в экологии**

**УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ**

**Набережные Челны  
2018**

УДК 621.192

**Д.Д. Фазулин, Г.В.Маврин**

Надежность технических систем и техногенный риск в экологии: Учебное пособие к практическим занятиям для студентов специальности 20.03.01 «Техносферная безопасность». - Набережные Челны: НЧИ КФУ, 2018. – 137 с.

Пособие предназначено для ознакомления с методами количественных расчетов и для получения практических навыков по дисциплине «Надежность технических систем и техногенный риск». Рассматриваются состав, структура, функционирование, принципы изучения природно-техногенных систем, способы контроля и управления их состоянием. Анализируются различные виды риска, принципы его оценки, анализа, прогнозирования, а также пути повышения безопасности человека и природных сообществ в техногенных системах. Приведено теоретическое описание и порядок выполнения практических работ по соответствующим темам.

Табл. 26, рис. 6, библиогр. 50 назв.

Набережночелнинский институт КФУ,  
2018 год

## Тема 1. Предельно-допустимая концентрация.

Предельно-допустимые концентрации загрязняющих веществ в воде, воздухе, почве.

### Теоретическая часть

Все воздействия антропогенных составляющих ПТС на природные компоненты можно определить как **техногенную нагрузку**. В зависимости от природы воздействия интенсивность техногенной нагрузки оценивают разными показателями. Например, в геохимии техногенная нагрузка выражается массовой долей или объемной концентрацией загрязняющих веществ, поступающих в окружающую среду на единицу площади в единицу времени (например, в граммах на квадратный метр в сутки).

Рационально функционирующая природно-промышленная система требует минимальных материальных, энергетических и других затрат при условии получении планируемого объема промышленной продукции и обеспечения необходимого качества окружающей природной среды. Создание и функционирование такой системы невозможно без постоянного трудового участия человека, в её основе лежит процесс хозяйственной деятельности. При образовании ПТС природный комплекс всегда испытывает влияние технического объекта как физического тела, что связано с прямым нарушением состава и структуры системы при включении в нее нового объекта. Нарушается **структура** природного комплекса, элементы которого частично или полностью заменяются искусственными. Природные процессы модифицируются, усиливаются, ослабляются, прерываются или заменяются процессами взаимодействия между природными и искусственными компонентами. Появляются новые связи, новые физические и химические взаимодействия между компонентами ПТС. Природная система, становясь подсистемой ПТС, приобретает новые **функции**. Возникают **связи функционирования**, то есть поток поступления веществ от промышленного объекта в природу, который и обеспечивается целостность системы. Также появляются **связи порождения**, определяющие состояние природы в зоне воздействия: техногенные модификации экосистемы. Состояние природных компонентов определяется режимом воздействия производства, при этом природная регуляция заменяется технической и состояние природы зависит от технологического режима предприятия. Территория, структура которой полностью изменена производственной деятельностью человека, называется **техногенный ландшафт**. Примерами техногенных ландшафтов являются хвостохранилища - скопления пустых пород, оставшихся после обогащения руд; золоотвалы тепловых электростанций; «лунные пейзажи» вокруг химических заводов; военные полигоны и т.п. Хотя в ПТС нет созданного человеком блока управления

природной подсистемой, эти функции выполняет технологический режим производства, в зависимости от которого меняется интенсивность и характер техногенных воздействий на ландшафт. Вероятно, в будущем, по мере совершенствования технологий, станет возможно дозировать поступление в природу техногенных выбросов, будет осуществляться контроль над потоками загрязняющих веществ, то есть процессом техногенного воздействия можно будет управлять. Создание техногенных систем должно опираться на экологические знания. Поскольку основной нообиогеоценоза служит биогеоценоз, то элементы нооценоза должны подбираться таким образом, чтобы они вписывались в те круговороты веществ и энергии, которые существуют в природе в данном регионе, и не привели бы к гибели биогеоценозов и к деградации окружающей среды. При этом наибольшее внимание должно уделяться технологическим процессам и тем изменениям, которые они вызывают в природной среде.

## Особенности промышленного воздействия на природные компоненты

Основная особенность ПТС состоит в том, что все ее компоненты испытывают на себе влияние промышленного звена. Выбросы промышленных предприятий, энергетических систем, транспорта в окружающую среду сегодня достигли таких размеров, что вблизи промышленных предприятий, как правило, наблюдается превышение ПДК. Количество вредных веществ и их соединений постоянно растет. Отходы производства в окружающей среде отравляют воздух, воду, почву, продукты питания.

Среди более 7000 химических соединений, загрязняющих окружающую среду в результате деятельности человека, различают общетоксические, аллергенные, эмбриогонадотропные, мутагенные и канцерогенные вещества. Как наиболее опасные выделяют семь групп веществ: двуокись азота в воздухе, бензол в воздухе, пестициды в воде, нитраты в воде, диоксины в пищевых продуктах и в почве, полихлорированные дифенилы в пищевых продуктах и соляная кислота в почве. На территории России 24 тысячи предприятий выбрасывают вредные вещества в атмосферу и воду. Более половины выбросов приходится на транспорт. Ежегодно в России улавливается и обезвреживается 76% от общего количества выбрасываемых вредных веществ, 82% сбрасываемых сточных вод не подвергается очистке. Преобладающее воздействие на окружающую среду оказывают предприятия энергетического комплекса, металлургия и химическая промышленность. Главная опасность связана с загрязнением атмосферы. По данным ученых ежегодно в мире в результате деятельности человека в атмосферу поступает 25,5 млрд.тонн оксидов углерода, 190 млн.тонн оксидов серы, 65 млн.тонн оксидов азота, 1,4 млн.тонн хлорфторуглеродов (фреонов), органические соединения свинца, углеводороды, в том числе, канцерогенные. На величину концентрации вредных примесей в атмосфере влияют метеорологические условия, определяющие перенос примесей в воздухе, это направление и скорость ветра.

В городах ситуация осложняется температурной инверсией – это повышение температуры с высотой, вместо обычного убывания. Инверсия способствует образованию смога, который появляется в местах со сниженным рельефом (в низинах), при отсутствии ветра. Помимо воздействия на здоровье людей, атмосферные загрязнители влияют также и на эксплуатацию технических средств, например, в связи с нарушением свойств изоляторов, из-за чего происходят потери электроэнергии, снижается напряжение в энергетических сетях. Помимо газообразных загрязняющих веществ, в атмосферу поступает большое количество твердых частиц. Это пыль, копоть и сажа. Большая опасность связана с загрязнением природной среды тяжелыми металлами. Свинец, кадмий, ртуть, медь, никель, цинк, хром, ванадий сегодня стали практически постоянными компонен-

тами воздуха промышленных центров. Особенно остро стоит проблема загрязнения воздуха свинцом. Кислотные дожди, вызываемые главным образом диоксидом серы и оксидами азота, наносят огромный вред лесам, причем особенно страдают хвойные породы. Только на территории нашей страны общая площадь лесов, пораженных промышленными выбросами, достигла 1 млн.га. Значительным фактором деградации лесов в последние годы является загрязнение окружающей среды радионуклидами. Так, в результате аварии на Чернобыльской АЭС поражено 2,1 млн. га лесных массивов. Особенно страдают биогеоценозы, расположенные в непосредственной близости от источника выбросов, например - зеленые насаждения в промышленных городах. Сельскохозяйственные, лесные и другие угодья, расположенные на территории техногенной системы, как правило, снижают свою продуктивность, а иногда и полностью деградируют. В связи с этим, наиболее рационально выделение под промышленные комплексы неплодородных земель.

В настоящее время на одного жителя планеты приходится менее гектара пахотной земли, и эта площадь продолжает сокращаться в результате хозяйственной деятельности. Громадные площади плодородных земель погибают при горнопромышленных работах, при строительстве предприятий и городов, почва разрушается и теряет плодородие из-за деградации растительного покрова. Производственная деятельность приводит к интенсивному загрязнению почвы. Основные загрязнители – металлы и их соединения, радиоактивные элементы, а также удобрения и ядохимикаты, применяемые в сельском хозяйстве. К наиболее опасным загрязнителям почвы относят ртуть и ее соединения.

Ртуть поступает в окружающую среду с ядохимикатами, а также с отходами промышленных предприятий. Еще более массовый и опасный характер носит загрязнение почв свинцом. Известно, что при выплавке одной тонны свинца в окружающую среду с отходами его выбрасывается до 25 кг. Особенно много свинца в почвах вокруг крупных автострад, так как соединения свинца используются в качестве добавок к бензину. Вблизи крупных центров черной и цветной металлургии почвы загрязнены железом, медью, цинком, марганцем, никелем, алюминием и другими металлами. Во многих местах их концентрация в десятки раз превышает ПДК. Таким образом, естественное неравномерное распределение химических элементов в литосфере усугубляется деятельностью человека. На территории природно-промышленных комплексов ухудшается качество сельскохозяйственной продукции, так как часть промышленных выбросов вовлекается в естественный круговорот веществ. Такие сельскохозяйственные угодья должны, оцениваться не только по продуктивности, но и по качеству продукции. Крайне медленно совершенствуются оборудование и технологии очистки выбросов в атмосферу. Отмечается низкий уровень утилизации уловленных вредных веществ, лишь  $\frac{1}{2}$  из них используется

повторно. Улавливаются в основном твердые вещества, менее опасные, тогда как газообразные и жидкые составляющие улавливаются лишь на 25%. Хуже всего ситуация в добывающих отраслях промышленность (нефте- и газодобыча). По данным Росгидромета уровень улова вредных компонентов атмосферных выбросов по отраслям составляет: производство стройматериалов: 92%; химия, нефтехимия: 91%; электроэнергетика: 84%; цветная металлургия: 83%; нефтедобыча: 3%; газовая промышленность: 1,2%.

Человечество потребляет на свои нужды огромное количество пресной воды. Основными ее потребителями являются промышленность и сельское хозяйство. Наиболее водоемные отрасли промышленности – горнодобывающая, сталелитейная, химическая, нефтехимическая, целлюлозно-бумажная и пищевая. На их нужды уходит до 70% воды, потребляемой промышленностью. На нужды сельского хозяйства уходит 60-80% всей пресной воды. Растет потребление воды на коммунально-бытовые нужды. Анализ водопользования за прошедшие 50 лет показывает, что ежегодный прирост безвозвратного водопотребления, при котором использованная вода теряется для природы, составляет 4-5%. Подсчитано, что при сохранении таких же темпов потребления с учетом прироста населения и объемов производства к 2100 году человечество может исчерпать запасы все пресной воды. Уже сегодня потребность в пресной воде не удовлетворяется у 20% городского и 75% сельского населения планеты. Ограниченные запасы пресной воды еще больше сокращаются из-за их загрязнения, так как большая часть использованной воды возвращается в водоемы в виде загрязненных сточных вод. Практически для всех отраслей промышленности характерна низкая степень очистки сточных вод, сбрасываемых в водоемы. Доля нормативно очищенных сточных вод по отношению к объему вод, требующих очистки, в РФ составляет лишь 9,5%. В промышленности это 15%, в жилищно-коммунальном хозяйстве – 9%, в сельском хозяйстве – 0,6%. Продукты промышленного производства, загрязняющие водоемы, это, прежде всего, нефть и нефтепродукты. Нефть попадает в воду в результате ее естественных выходов в районах залегания, но в основном это происходит при нефтедобыче, транспортировке, переработке нефти, при ее использовании в качестве топлива или промышленного сырья. Особое воздействие на водоемы оказывают синтетические вещества, которые все шире применяются в промышленности, на транспорте, в коммунально-бытовом хозяйстве. Концентрация синтетических соединений в сточных водах составляет, как правило, 5-15 мг/л при ПДК 0,1 мг/л. Эти вещества уже при концентрации 1-2 мг/л могут образовывать в водоемах слой пены, особенно хорошо заметный на порогах, перекатах, шлюзах. Из других загрязнителей необходимо назвать металлы (ртуть, свинец, цинк, марганец, медь, хром, олово), радиоактивные элементы, ядохимикаты. Из металлов наиболее опасны для обитателей водной среды ртуть, свинец и

их соединения. Промышленность РФ характеризуется высоким уровнем использования оборотных систем водоснабжения, за счет которых экономия свежей воды составляет 78%. Особенно это характерно для газовой, нефтяной, металлургической отраслей, где экономия свежей воды за счет водооборотных систем превышает 90%. Сегодня нередко загрязнению подвергаются подземные воды, часть из них уже стала непригодной для питья. На многих производствах образуются токсичные жидкые отходы, для которых не разработаны удовлетворительные технологии очистки, обезвреживания. Такие отходы требуется длительно изолировать от биосфера. Реально их размещают в прудах-накопителях, откуда неизбежно постоянное или эпизодическое поступление в поверхностные и подземные воды. Более безопасным представляется способ захоронения таких отходов в глубокие водоносные горизонты, где воды высоко минерализованы и не представляют практической ценности. Большое значение имеют физические загрязнения: шумовое, тепловое, электромагнитное и другие. Электростанции, промышленные предприятия часто сбрасывают подогретую воду в водоем, что приводит к повышению в нем температуры. При этом в воде снижается количество кислорода, увеличивается токсичность примесей, нарушается биологическое равновесие. В загрязненной воде с повышением температуры начинают бурно размножаться болезнетворные микроорганизмы и вирусы. Попав в питьевую воду, они могут вызвать вспышки различных заболеваний.

В экологическом аспекте особенно важно определить пути распространения выбросов и отходов производства в экосистеме, выявить их долю в общем круговороте веществ, оценить качественные и количественные изменения, происходящие в природных объектах, провести экспертную оценку.

### **Нормирование качества воздуха**

Под **качеством атмосферного воздуха** понимают совокупность свойств атмосферы, определяющую степень воздействия физических, химических и биологических факторов на людей, растительный и животный мир, а также на материалы, конструкции и окружающую среду в целом.

Нормативами качества воздуха определены допустимые пределы содержания вредных веществ как в **производственной**, так и в **селищебной** зоне (предназначенной для размещения жилого фонда, общественных зданий и сооружений) населенных пунктов.

**Предельно допустимая концентрация вредного вещества в воздухе рабочей зоны** ( $ПДК_{рз}$ ) - концентрация, которая при ежедневной (кроме выходных дней) работе в течение 8 часов, или при другой продолжительности, но не более 41 часа в неделю, на протяжении всего рабочего стажа не должна вызывать заболевания или отклонения в состоянии здоровья, обнаруживаемые современными методами исследования, в

процессе работы или в отдаленные сроки жизни настоящего и последующего поколений.

Совершенно недопустимо сравнивать уровни загрязнения селитебной зоны с установленными ПДК<sub>рз</sub>, а также говорить о ПДК в воздухе вообще, не уточняя, о каком нормативе идет речь.

**Предельно допустимая концентрация максимально разовая** (ПДК<sub>мр</sub>) - концентрация вредного вещества в воздухе **населенных мест**, не вызывающая при вдыхании в течение 20 минут рефлекторных (в том числе, субсенсорных) реакций в организме человека.

Понятие ПДК<sub>мр</sub> используется при установлении научно-технических нормативов - предельно допустимых выбросов загрязняющих веществ. В результате рассеяния примесей в воздухе при неблагоприятных метеорологических условиях на границе санитарно-защитной зоны предприятия концентрация вредного вещества в любой момент времени не должна превышать ПДК<sub>мр</sub>.

**Предельно допустимая концентрация среднесуточная** (ПДК<sub>сс</sub>) - это концентрация вредного вещества в воздухе **населенных мест**, которая не должна оказывать на человека прямого или косвенного воздействия при неограниченно долгом (годы) вдыхании. ПДК<sub>сс</sub> рассчитана на все группы населения и на неопределенную долгий период воздействия и, следовательно, является самым жестким санитарно-гигиеническим нормативом, устанавливающим концентрацию вредного вещества в воздушной среде. Именно величина ПДК<sub>сс</sub> может выступать в качестве "эталона" для оценки благополучия воздушной среды в селитебной зоне.

Таблица 1  
Соотношение различных видов ПДК в воздухе  
для некоторых веществ

Вещество	ПДК <sub>сс</sub> , мг/м <sup>3</sup>	ПДК <sub>мр</sub> , мг/м <sup>3</sup>	ПДК <sub>рз</sub> , мг/м <sup>3</sup>
Азота диоксид	0,04	0,085	2
Азота оксид (II)	0,06	0,4	5
Серы диоксид	0,05	0,5	10
Фенол	0,003	0,01	0,03
Формальдегид	0,003	0,035	0,5

Уровень загрязнения атмосферы обычно описывается набором статических характеристик для ряда измеряемых вредных веществ. Для оценки степени загрязнения атмосферы средние (максимальные) концентрации веществ нормируются на величину средней (максимальной) концентрации для большого региона или на санитарно-гигиенический норматив (ПДК).

Нормированные характеристики загрязнения атмосферы называют **индексом загрязнения атмосферы (ИЗА)**.

Различные ИЗА, которые можно разделить на 2 основные группы:

1. Единичные индексы загрязнения атмосферы одной примесью.

2. Комплексные показатели загрязнения атмосферы несколькими веществами (КИ-ЗА).

### Нормирование качества воды

Виды водопользования на водных объектах определяются Федеральными органами и подлежат утверждению органами местного самоуправления субъектов РФ.

К **хозяйственно-питьевому** водопользованию относится использование водных объектов или их участков в качестве источников хозяйствственно-питьевого водоснабжения, а также для снабжения предприятий пищевой промышленности.

К **культурно-бытовому** водопользованию относится использование водных объектов для купания, занятия спортом и отдыха населения.

Рыбохозяйственные водные объекты могут относиться к одной из трех категорий:

- к **высшей категории** относят места расположения нерестилищ, мас-сowego нагула и зимовальных ям особо ценных видов рыб и других промысловых водных организмов, а также охранные зоны хозяйств любого типа для разведения и выращивания рыб, других водных животных и растений;
- к **первой категории** относят водные объекты, используемые для сохранения и воспроизводства ценных видов рыб, обладающих высокой чувствительностью к содержанию кислорода;
- ко **второй категории** относят водные объекты, используемые для других рыбохозяйственных целей.
- Предельно допустимая концентрация вещества в воде устанавливается:

1) для **хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования (ПДК<sub>в</sub>)** с учетом трех показателей вредности:

- органолептического;
- общесанитарного;
- санитарно-токсикологического.

2) Для **рыбохозяйственного водопользования (ПДК<sub>рп</sub>)** с учетом пяти показателей вредности:

- органолептического;
- санитарного;
- санитарно-токсикологического;
- токсикологического;
- рыбохозяйственного.

Под **качеством воды** в целом понимается характеристика ее состава и свойств, определяющая ее пригодность для конкретных видов водопользования, при этом критерии качества представляют собой признаки, по которым производится оценка качества воды.

Под санитарно-гигиеническими показателями *качества воды* понимаются характеристики ее состава и свойств, определяющие пригодность воды для использования человеком или в качестве среды для обитания некоторых видов фауны (в первую очередь, промысловых рыб).

Экспериментально обосновываются ПДК для водоемов двух классов:

*Предельно допустимая концентрация в воде водоема хозяйствственно-питьевого и культурно-бытового водопользования* (ПДК<sub>в</sub>) - это максимальная концентрация вредного вещества в воде, которая не должна оказывать прямого или косвенного влияния на организм человека в течение всей его жизни и на здоровье последующих поколений, и не должна ухудшать гигиенические условия водопользования;

*Предельно допустимая концентрация в воде водоема, используемого для рыбохозяйственных целей* (ПДК<sub>вр</sub>) — это концентрация вредного вещества в воде, которая не должна оказывать вредного влияния на популяции рыб, в первую очередь промысловых.

К категории часто используемых показателей для оценки качества водных объектов относят гидрохимический индекс загрязнения воды **ИЗВ**.

Индекс загрязнения воды, как правило, рассчитывают по шести показателям, которые можно считать гидрохимическими; часть из них (концентрация растворенного кислорода, водородный показатель pH, биологическое потребление кислорода БПК<sub>5</sub>) является обязательной.

### **Нормирование качества почвы**

Установлен лишь один норматив, определяющий допустимый уровень загрязнения почвы вредными химическими веществами – ПДК для пахотного слоя почвы. Принцип нормирования содержания химических соединений в почве основан на том, что поступление их в организм происходит преимущественно через контактирующие с почвой среды.

Принцип контроля загрязненности почв – проверка соответствия концентраций загрязняющих веществ установленным нормам и требованиям в виде ПДК и ОДК (ориентировочно допустимого количества).

Понятие ПДК для почвы несколько отличается от такого для других сред. ПДК загрязняющих веществ в почве – максимальная массовая доля загрязняющего почву вещества, не вызывающая прямого или косвенного влияния, включая отдельные последствия на окружающую среду и, здоровье человека. Например, ПДК пестицидов в почве представляет собой максимальное содержание остатков пестицидов, при котором они мигрируют в сопредельные среды в количествах, не превышающих гигиенические нормативы, а также не влияют отрицательно на биологическую активность самой почвы.

Помимо ПДК, в нормировании воздействий используют временный норматив – ОДК – предельное ориентировочно допустимое количество, которое

получают расчетным путем. ОДК пересматривают каждые три года или заменяют на ПДК.

ПДК и ОДК химических веществ для почвы разработаны и утверждены в РФ примерно для 200 веществ. Они служат критерием для классификации почв по влиянию на них химических загрязняющих веществ, а также для ранжирования загрязняющих веществ на классы опасности для почв.

Загрязнение почв, как и других природных сред, является комбинированным (множественным), в связи с чем, при химическом контроле загрязнения возникает необходимость выделить приоритетные загрязняющие вещества, подлежащие контролю в первую очередь. При определении приоритетных загрязняющих веществ учитывают классы их опасности.

ПДК разрабатывают главным образом на основе принципов, приемов и методов токсикометрии: устанавливают такие концентрации в контактирующих с почвой средах (растениях, воде, воздухе), которые не представляют опасности для здоровья людей и не влияют отрицательно на общесанитарные показатели почвы. При этом используют следующие показатели вредности.

**Общесанитарный показатель вредности для почв.** Характеризует влияние вещества на самоочищающуюся способность почвы и почвенный микробиоценоз в количествах, не изменяющих указанные процессы.

**Транслокационный показатель вредности.** Характеризует способность, вещества переходить из пахотного слоя почвы через корневую систему растений и накапливаться в его зеленой массе и плодах в количестве, не превышающем ПДК для данного вещества в пищевых продуктах.

**Миграционный воздушный показатель вредности.** Характеризует способность вещества переходить из пахотного слоя почвы в атмосферный воздух и поверхностные водоисточники в количестве, при миграции которого не происходит превышения величины ПДК для атмосферного воздуха.

Система нормирования загрязненности почв, по сравнению с другими системами, не считается достаточно успешной. Для многих химических веществ ПДК не разработаны в связи с тем, что судьба их весьма сложна. В основном оценку делают путем сравнения с фоновыми концентрациями.

Предельно допустимая концентрация в пахотном слое почвы (ПДК<sub>п</sub>) – это концентрация вредного вещества в верхнем, пахотном слое почвы, которая не должна оказывать прямого или косвенного отрицательного влияния на соприкасающиеся с почвой среды и на здоровье человека, а также на самоочищающую способность почвы.

Нормативы ПДК<sub>п</sub> разработаны для веществ (таблица 12), которые могут мигрировать в атмосферный воздух или грунтовые воды, снижать урожайность или ухудшать качество сельскохозяйственной продукции.

Предельно допустимые концентрации некоторых химических веществ в почве

Название вещества	ПДКп, мг/кг воздушно-сухой массы	Лимитирующий показатель
Ацетальдегид	10,0	Миграционный воздушный
Бензол	0,3	Миграционный воздушный
Бенз(а)пирен	0,02	Миграционный воздушный
Карбофос	2,0	Переход в растения
Марганец	1500	Общесанитарный
Медь	3,0	Общесанитарный
Мышьяк	2,0	Переход в растения
Никель	4,0	Общесанитарный
Нитраты	130,0	Миграционный водный
Ртуть	2,1	Переход в растения
Свинец	20,0	Общесанитарный
Сурьма	4,5	Миграционный водный
Суперфосфат	200	То же
Фосфор ( $P_2O_5$ )	200	Переход в растения
Хлорамп	0,05	Переход в растения
Хлорофос	0,5	Переход в растения
Хром (+6)	0,05	Переход в растения
Цинк	23,0	Транслокационный

Оценка уровня химического загрязнения почв населенных пунктов проводится по показателям, разработанным при сопряженных геохимических и гигиенических исследованиях окружающей среды городов. Такими показателями являются коэффициент концентрации химического элемента  $K_c$  и суммарный показатель загрязнения  $Z_c$ .

Коэффициент концентрации определяется как отношение реального содержания элемента в почве  $C$  к фоновому  $C_\phi$ :

$$K_c = C/C_\phi. \quad (13)$$

Поскольку часто почвы загрязнены сразу несколькими элементами, то для них рассчитывают суммарный показатель загрязнения, отражающий эффект воздействия группы элементов:

$$Z_c = \sum_1^n K_{ci} - (n-1) \quad (14)$$

где  $K_{ci}$  – коэффициент концентрации  $i$ -ого элемента в пробе;  $n$  – число учитываемых элементов.

Суммарный показатель загрязнения может быть определен как для всех элементов в одной пробе, так и для участка территории по геохимической выборке.

Оценка опасности загрязнения почв комплексом элементов по показателю  $Z_c$  проводится по оценочной шкале, градации которой разработаны на основе изучения состояния здоровья населения, проживающего на территориях с различным уровнем загрязнения почв.

Таблица 3  
Ориентировочная оценочная шкала опасности загрязнения почв  
по суммарному показателю

Категории загрязнения почв	Величина $Z_c$	Изменение показателей здоровья населения в очагах загрязнения
Допустимая	меньше 16	Наиболее низкий уровень заболеваемости детей и минимум функциональных отклонений
Умеренно опасная	16-32	Увеличение общего уровня заболеваемости
Опасная	32-128	Увеличение общего уровня заболеваемости, числа часто болеющих детей, детей с хроническими заболеваниями, нарушениями функционирования сердечно-сосудистой системы
Чрезвычайно опасная	больше 128	Увеличение заболеваемости детского населения, нарушение репродуктивной функции женщин (увеличение случаев токсикоза при беременности, преждевременных родов, мертворождаемости, гипотрофий новорожденных).

### **Практическая часть**

Предельно-допустимая концентрация. Предельно-допустимые концентрации загрязняющих веществ в воде, воздухе, почве.

#### **Задача 1**

##### **Оценка комбинированного действия атмосферных загрязнителей**

При нормировании выбросов загрязняющих веществ, для каждого, загрязняющего вещества поступающего в атмосферу, проверяется условие:

$$C \leq C_{\text{макс}} \cdot \phi + \alpha, \quad (1)$$

где  $C_{\text{макс}}$  – максимальная приземная концентрация, создаваемая источником выброса,  $\text{мг}/\text{м}^3$ ;

$C_{\text{фон}}$  - фоновая концентрация этого вещества,  $\text{мг}/\text{м}^3$ ;

$\alpha$  - безразмерный коэффициент (для расчета ПДВ  $\alpha$  принимается равным единице).

Фоновая концентрация загрязняющего вещества - концентрация загрязняющего атмосферу или водные объекты вещества, создаваемая всеми источниками выброса (сброса) вещества, исключая рассматриваемые [1].

Многие загрязняющие вещества обладают сходным токсикологическим действием на живые организмы. Ряд веществ может усиливать свою токсичность в присутствии других веществ – эффект суммации (таблица 4).

Таблица 4 - Вещества, обладающие эффектом суммации [2]

1 Аммиак, сероводород
2 Аммиак, сероводород, формальдегид
3 Аммиак, формальдегид
4 Азота диоксид, серы диоксид
5 Азота диоксид, серы диоксид, углерода оксид, фенол
6 Ацетон, акролеин, фталевый ангидрид
7 Ацетон, фенол
8 Ацетофенон, фенол
9 Бензол и ацетофенон
10 Озон, двуокись азота и формальдегид
11 Сероводород, формальдегид
12 Серы диоксид, фенол
13 Серы диоксид, фтористый водород
14 Сильные минеральные кислоты (серная, соляная и азотная)
15 Углерода оксид и пыль цементного производства

Для веществ одностороннего действия должно соблюдаться следующее условие:

$$\frac{C_1}{ПДК_1} + \frac{C_2}{ПДК_2} + \dots + \frac{C_n}{ПДК_n} \leq 1,$$

где  $C_1, \dots, C_n$  – концентрации вредных веществ, обладающих эффектом

суммации;

$ПДК_1, \dots, ПДК_n$  – соответствующие им предельно допустимые концентрации.

*Задание:* В газовоздушной смеси, выбрасываемой из стационарного источника, содержатся загрязняющие вещества. По известным величинам создаваемой этими загрязнителями максимальной приземной концентрации  $C_m$  и имеющейся фоновой концентрации  $C_f$  сделать вывод о допустимости такого выброса. Если выбрасываемые вещества обладают односторонним действием, необходимо учесть эффект

суммации. Для решения задачи используйте данные таблицы 5 и приложения А.

Таблица 5 - Исходные данные к решению задачи 1

Вариант	Выбрасываемые вещества	$C_m, \text{ мг/м}^3$	$C_\phi, \text{ мг/м}^3$
1	Аммиак	0,005	0,006
	Сероводород	0,006	0,001
2	Серы диоксид	0,45	0,08
	Фенол	0,006	0,002
3	Аммиак	0,15	0,002
	Формальдегид	0,03	0,01
4	Аммиак	0,006	0,006
	Формальдегид	0,04	0,005
5	Азота диоксид	0,065	0,01
	Серы диоксид	0,35	0,1
6	Азота диоксид	0,05	0,04
	Серы диоксид	0,25	0,2
7	Сероводород	0,005	0,001
	Формальдегид	0,02	0,012
8	Серы диоксид	0,23	0,2
	Фенол	0,005	0,002
9	Аммиак	0,1	0,09
	Сероводород	0,004	0,003
10	Сероводород	0,0035	0,002
	Формальдегид	0,01	0,01

## Задача 2

### Определение категории опасности предприятия

Определение категории опасности предприятия необходимо для включения предприятий в систему государственного учета выбросов вредных веществ в атмосферу, ускорения и упрощения работ на стадии разработки ведомственных проектов по установлению величины предельно допустимых выбросов, для разработки проектов планов по охране атмосферного воздуха, а также при инспекционных проверках предприятий.

Категория опасности присваивается предприятию в соответствии с [3] в зависимости от массы и видового состава выбрасываемых в атмосферу загрязняющих веществ по коэффициенту КОП, определяемому по формуле:

$$КОП = \sum_{i=1}^n \left( \frac{M_i}{ПДК_{ссi}} \right)^{a_i}, \quad (3)$$

где  $M_i$  – масса выбрасываемого вещества, т/год;

$ПДК_{ссi}$  – среднесуточная предельно допустимая концентрация данного вещества, мг/м<sup>3</sup>; при отсутствии  $ПДК_{ссi}$  в расчетах используются  $ПДК_{мр}$  или ОБУВ;

$a_i$  - коэффициент, зависящий от класса опасности данного вещества (таблица 6).

Таблица 6 - Значения коэффициента  $a_i$

Класс опасности вещества по ГОСТ 12.1.007-76	1	2	3	4
Коэффициент $a_i$	1,7	1,3	1,0	0,9

По значению коэффициента КОП определяется категория опасности предприятия (таблица 7).

Таблица 7 - Категория опасности предприятия

Значение коэффициента КОП	Категория опасности предприятия
$KOP \geq 10^6$	1
$10^6 > KOP \geq 10^4$	2
$10^4 > KOP \geq 10^3$	3
$KOP < 10^3$	4

*Задание:* Рассчитать коэффициент опасности и определить категорию опасности предприятия, исходя из массы и видового состава выбрасываемых в атмосферу загрязняющих веществ и используя данные таблицы 5 и приложения А.

Таблица 8 - Исходные данные к решению задачи 2

Загрязняющее вещество	Масса выбрасываемого вещества, т/год									
	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Азота диоксид	40	128	120	64	36	40	100	104	60	180
Сера диоксид	250	150	100	120	140	180	200	250	300	420
Углерод оксид	2160	690	900	1200	1500	900	1800	2100	2400	3300
Пыль неорганическая, содержащая более 70% оксида кремния	630	410	650	300	450	600	500	480	520	600
Сажа	150	200	250	300	320	200	240	300	320	400
Формальдегид	0,3	0,06	0,9	0,12	0,3	0,24	0,36	0,6	0,9	0,99

Классификация и характеристика видов рисков (индивидуальный, технический, экологический, социальный, экономический).

## **Тема 2. Техногенный риск: понятие, классификация и характеристика видов рисков. Развитие рисков.**

Классификация и характеристика видов рисков (индивидуальный, технический, экологический, социальный, экономический).

### **Теоретическая часть**

Специалисты различных отраслей промышленности в своих сообщениях и докладах постоянно оперируют не только определением "опасность", но и таким термином, как "риск".

В научной литературе встречается весьма различная трактовка термина "риск" и в него иногда вкладываются отличающиеся друг от друга содержания. Например, риск в терминологии страхования используется для обозначения предмета страхования (промышленного предприятия или фирмы), страхового случая (наводнения, пожара, взрыва и пр.), страховой суммы (опасности в денежном выражении) или же как собирательный термин для обозначения нежелательных или неопределенных событий. Экономисты и статисты, сталкивающиеся с этими вопросами, понимают риск как меру возможных последствий, которые проявятся в определенный момент в будущем. В психологическом словаре риск трактуется как действие, направленное на привлекательную цель, достижение которой сопряжено с элементами опасности, угрозой потери, неуспеха, либо как ситуативная характеристика деятельности, состоящая в неопределенности ее исхода и возможных неблагоприятных последствиях в случае неуспеха, либо как мера неблагополучия при неуспехе в деятельности, определяемая сочетанием вероятности и величины неблагоприятных последствий в этом случае. Ряд трактовок раскрывает риск как вероятность возникновения несчастного случая, опасности, аварии или катастрофы при определенных условиях (состояниях) производства или окружающей человека среды. Приведенные определения подчеркивают как значение активной деятельности субъекта, так и объективные свойства окружающей среды.

Общим во всех приведенных представлениях является то, что риск включает неуверенность, произойдет ли нежелательное событие и возникнет ли неблагоприятное состояние. Заметим, что в соответствии с современными взглядами риск обычно интерпретируется как вероятностная мера возникновения техногенных или природных явлений, сопровождающихся возникновением, формированием и действием опасностей, и нанесенного при этом социального, экономического, экологического и других видов ущерба и вреда.

Под риском следует понимать ожидаемую частоту или вероятность возникновения опасностей определенного класса, или же размер возможного ущерба (потерь, вреда) от нежелательного события, или же некоторую 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.

Все названные (или подобные) интерпретации термина "риск" используются в настоящее время при анализе опасностей и управлении безопасностью (риском) технологических процессов и производств в целом.

Точное понимание употребляемого термина станет ясным после дальнейшего ознакомления с содержанием настоящей главы.

Формирование опасных и чрезвычайных ситуаций - результат определенной совокупности факторов риска, порождаемых соответствующими источниками.

Применительно к проблеме безопасности жизнедеятельности таким событием может быть ухудшение здоровья или смерть человека, авария или катастрофа технической системы или устройства, загрязнения или разрушение экологической системы, гибель группы людей или возрастания смертности населения, материальный ущерб от реализовавшихся опасностей или увеличения затрат на безопасность.

Каждое нежелательное событие может возникнуть по отношению к определенной жертве - объекту риска. Соотношение объектов риска и нежелательных событий позволяет различать индивидуальный, технический, экологический, социальный и экономический риск. Каждый вид его обусловливают характерные источники и факторы риска, классификация и характеристика которых приведены в табл. 8

**Таблица 8**  
**Классификация и характеристика видов риска**

Вид риска	Объект риска	Источник риска	Нежелательное событие
Индивидуальный	Человек	Условия жизнедеятельности человека	Заболевание, травма, инвалидность, смерть
Технический	Технические системы и объекты	Техническое несовершенство, нарушение правил эксплуатации технических систем и объектов	Авария, взрыв, катастрофа, пожар, разрушение
Экологический	Экологические системы	Антропогенное вмешательство в природную среду, техногенные чрезвычайные ситуации	Антропогенные экологические катастрофы, стихийные бедствия
Социальный	Социальные группы	Чрезвычайная ситуация, снижение качества жизни	Групповые травмы, заболевания, гибель людей, рост смертности
Экономический	Материальные ресурсы	Повышенная опасность производства или природной среды	Увеличение затрат на безопасность, ущерб от недостаточной защищенности

Индивидуальный риск обусловлен вероятностью реализации потенциальных опасностей при возникновении опасных ситуаций. Его можно определить по числу реализовавшихся факторов риска:

$$R_i = P(t)/L(f);$$

где  $R_i$  - индивидуальный риск;

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

$L$  - число людей, подверженных соответствующему фактору риска  $f$  в единицу времени  $t$ .

Источники и факторы индивидуального риска приведены в табл. 2.1.2.

**Таблица 9**  
**Источники и факторы индивидуального риска**

Источник индивидуального риска	Наиболее распространенный фактор риска смерти
Внутренняя среда организма человека	Наследственно-генетические, психосоматические заболевания, старение
Виктимность	Совокупность личностных качеств человека как жертвы потенциальных опасностей
Привычки	Курение, употребление алкоголя, наркотиков, иррациональное питание
Социальная экология	Некачественные воздух, вода, продукты питания; вирусные инфекции, бытовые травмы, пожары
Профессиональная деятельность	Опасные и вредные производственные факторы
Транспортные сообщения	Аварии и катастрофы транспортных средств, их столкновения с человеком
Непрофессиональная деятельность	Опасности, обусловленные любительским спортом, туризмом, другими увлечениями
Социальная среда	Вооруженный конфликт, преступление, суицид, убийство
Окружающая природная среда	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:

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

где  $R_T$  - технический риск;

$\Delta T$  - число аварий в единицу времени  $t$  на идентичных технических системах и объектах;

$T$  - число идентичных технических систем и объектов, подверженных общему фактору риска  $f$ .

Источники и факторы технического риска приведены в табл. 10.

**Источники и факторы технического риска**

**Таблица 10**

Источник технического риска	Наиболее распространенные факторы технического риска
Низкий уровень научно-исследовательских работ	Ошибочный выбор направлений развития техники и технологий по критериям безопасности
То же, опытно-конструкторских работ	Выбор потенциально опасных конструктивных схем и принципов действия технических систем. Ошибки в определении эксплуатационных нагрузок. Неправильный выбор конструкционных материалов. Недостаточный запас прочности. Отсутствие в проектах технических средств безопасности
Опытное производство новой техники	Некачественная доводка конструкций, технологии, документации по критериям безопасности
Серийный выпуск небезопасной техники	Отклонение от заданного химического состава конструкционных материалов. Недостаточная точность конструктивных размеров. Нарушение режимов термической и химико-термической обработки деталей. Нарушение регламентов сборки и монтажа конструкций и машин
Нарушение правил безопасной эксплуатации технических систем	Использование техники не по назначению. Нарушение паспортных (проектных) режимов эксплуатации. Несвоевременные профилактические осмотры и ремонты. Нарушение требований транспортирования и хранения
Ошибки персонала	Слабые навыки действия в сложной ситуации. Неумение оценивать информацию о состоянии процесса. Слабое знание сущности происходящего процесса. Отсутствие самообладания в условиях стресса. Недисциплинированность

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. Нежелательные события экологического риска могут проявляться как непосредственно в зонах вмешательства, так и за их пределами:

$$R_O = \frac{\Delta O(t)}{O}$$

где  $R_O$  - экологический риск;

$\Delta O$  - число антропогенных экологических катастроф и стихийных бедствий в единицу времени  $t$ ;

О - число потенциальных источников экологических разрушений на рассматриваемой территории.

Масштабы экологического риска  $R_o^m$  оцениваются процентным соотношением площади кризисных или катастрофических территорий  $\Delta S$  к общей площади рассматриваемого биогеоценоза  $S$ :

$$R_o^m = \frac{\Delta S}{S} \cdot 100.$$

Дополнительным косвенным критерием экологического риска может служить интегральный показатель экологичности территории предприятия, соотносимой с динамикой плотности населения (численности работающих):

$$O_T = \pm \Delta L = \frac{\pm \Delta M(t)}{S},$$

где  $O_T$  - уровень экологичности территории;

$\Delta L$  - динамика плотности населения (работающих);

$S$  - площадь исследуемой территории;

$\Delta M$  - динамика прироста численности населения (работающих) в течение периода наблюдения  $t$ :

$\Delta M = G+F-U-V$ , где  $G,F,U,V$  - соответственно численность родившихся за наблюдаемый период, прибывших в данную местность на постоянное местожительство, умерших и погибших, выехавших в другую местность на постоянное местожительство (уволившихся).

В этой формуле разность  $GU$  характеризует естественный, а  $FV$  - миграционный прирост населения на территории (текущесть кадров).

Положительные значения уровней экологичности позволяют разделять территории по степени экологического благополучия и, наоборот, отрицательные значения уровней - по степени экологического бедствия. Кроме того, динамика уровня экологичности территории позволяет судить об изменении экологической ситуации на ней за длительные промежутки времени, определить зоны экологического бедствия (демографического кризиса) или благополучия.

Источники и факторы экологического риска приведены в табл. 11.

Таблица 11

## Источники и факторы экологического риска

Источник экологического риска	Наиболее распространенный фактор экологического риска
Антропогенное вмешательство в природную среду	Разрушение ландшафтов при добыче полезных ископаемых; образование искусственных водоемов; интенсивная мелиорация; истребление лесных массивов
Техногенное влияние на окружающую природную среду	Загрязнение водоемов, атмосферного воздуха вредными веществами, почвы — отходами производства; изменение газового состава воздуха; энергетическое загрязнение биосферы
Природное явление	Землетрясение, извержение вулканов, наводнение, ураган, ландшафтный пожар, засуха

Социальный риск характеризует масштабы и тяжесть негативных последствий чрезвычайных ситуаций, а также различного рода явлений и преобразований, снижающих качество жизни людей. По существу - это риск для группы или сообщества людей. Оценить его можно, например, по динамике смертности, рассчитанной на 1000 человек соответствующей группы:

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

где:  $R_C$  - социальный риск;

$C_1$  - 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.

Источники и наиболее распространенные факторы социального риска приведены в табл. 12.

Таблица 12

## Источники и факторы социального риска

Источник социального риска	Наиболее распространенные факторы социального риска
Урбанизация экологически неустойчивых территорий	Поселение людей в зонах возможного затопления, образования оползней, селей, ландшафтных пожаров, извержения вулканов, повышенной сейсмичности региона
Промышленные технологии и объекты повышенной опасности	Аварии на АЭС, ТЭС, химических комбинатах, продуктопроводах и т. п. Транспортные катастрофы. Техногенное загрязнение окружающей среды
Социальные и военные конфликты	Боевые действия. Применение оружия массового поражения
Эпидемии	Распространение вирусных инфекций
Снижение качества жизни	Безработица, голод, нищета. Ухудшение медицинского обслуживания. Низкое качество продуктов питания. Неудовлетворительные жилищно-бытовые условия

Экономический риск определяется соотношением пользы и вреда, получаемых обществом от рассматриваемого вида деятельности:

$$R_{\exists} = \frac{B}{\Pi} \cdot 100,$$

где  $R_{\exists}$  - экономический риск, %;

$B$  - вред обществу от рассматриваемого вида деятельности;

$\Pi$  - польза.

В общем виде  $B = Z_b + Y$ , где  $Z_b$  - затраты на достижение данного уровня безопасности;

$Y$  - ущерб, обусловленный недостаточной защищенностью человека и среды его обитания от опасностей.

Чистая польза, т.е. сумма всех выгод (в стоимостном выражении), получаемых обществом от рассматриваемого вида деятельности:

$\Pi = D - Z_b - B > 0$  или  $\Pi = D - Z_n - Z_b - Y > 0$ , где  $D$  - общий доход, получаемый от рассматриваемого вида деятельности;

$Z_n$  - основные производственные затраты.

Формула экономически обоснованной безопасности жизнедеятельности имеет вид

$$Y < D - (Z_n + Z_b).$$

В условиях хозяйственной деятельности необходим поиск оптимального отношения затрат на безопасность и возможного ущерба от недостаточной защищенности. Найти его можно, если задаться некото-

рым значением реально достижимого уровня безопасности производства К<sub>бл</sub>. Этую задачу можно решить методом оптимизации.

Использование рассматриваемых видов риска позволяет выполнять поиск оптимальных решений по обеспечению безопасности как на уровне предприятия, так и на макроуровнях в масштабах инфраструктур. Для этого необходимо выбирать значения приемлемого риска.

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.

### **Приемлемый риск**

Традиционный подход к обеспечению безопасности при эксплуатации технических систем и технологий базируется на концепции "абсолютной безопасности" – ALAPA (аббревиатура от "As Low As PracticabLe AchievabLe": "настолько низко, насколько это достижимо практически"). То есть внедрение всех мер защиты, которые практически осуществимы. Как показывает практика, такая концепция неадекватна законам техносферы. Эти законы имеют вероятностный характер, и абсолютная безопасность достигается лишь в системах, лишенных запасенной энергии. Требование абсолютной безопасности, подкупающее своей гуманностью, оборачивается трагедией для людей, потому что обеспечить нулевой риск в действующих системах невозможно, и человек должен быть ориентирован на возможность возникновения опасной ситуации, т.е. ориентирован на соответствующий риск.

Современный мир отверг концепцию абсолютной безопасности и пришел к концепции "приемлемого" (допустимого) риска. Это понятие произошло от принятого в современной научной литературе термина – "принцип приемлемого риска", известного как принцип ALARA (аббревиатура от "As Low As ReasonabLe AchievabLe": "настолько низко, насколько это достижимо в пределах разумного", учитывая социальные и экономические факторы). То есть если нельзя создать абсолютно безопасные технологии, обеспечить абсолютную безопасность, то, очевидно, следует стремиться к достижению хотя бы такого уровня риска, с которым общество в данный период времени сможет смириться.

В силу этих обстоятельств в промышленно развитых странах, начиная с конца 70-х – начала 80-х гг., в исследованиях, связанных с

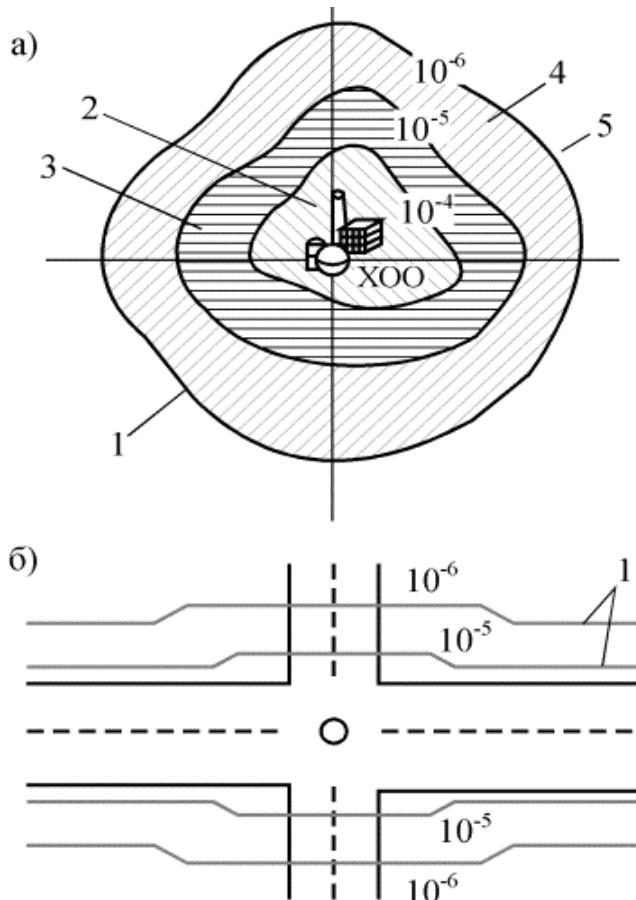
обеспечением безопасности, начался переход от концепции "абсолютной" безопасности к концепции "приемлемого" риска. Степень внедрения этой концепции в практическую деятельность сегодня различна в разных странах и в некоторых из них уже введена в законодательство. Например, в Нидерландах эта концепция в 1985 г. была принята парламентом страны в качестве государственного закона. Согласно ему, вероятность смерти в течение года для индивидуума от опасностей, связанных с техносферой,  $>10^{-6}$  считается недопустимой, а  $<10^{-8}$  - пре-небрежимой. "Приемлемый" уровень риска выбирается в диапазоне  $10^{-6}$ - $10^{-8}$  в год, исходя из экономических и социальных причин. Для сравнения: риск смерти человека, равный  $10^{-6}$ , соответствует риску, которому он подвергается в течение своей поездки на автомобиле на расстояние в 100 км или полете на самолете на расстояние 650 км, или, если он выкуривает 3/4 сигареты, или в течение 15 мин занимается альпинизмом и т.д.

В Нидерландах при планировании промышленной деятельности, наряду с географическими, экономическими и политическими картами, используются и карты риска для территории страны. В этих условиях, чтобы построить промышленное предприятие и ввести его в эксплуатацию, проектировщикам требуется количественно определить уровень риска его эксплуатации и доказать правительенным органам приемлемость этого риска. При лицензировании нового крупного промышленного предприятия также требуется предоставить топографическую карту риска, которому будет подвергаться человек, оказавшийся в зоне расположения этого предприятия. На этой карте должны быть указаны замкнутые кривые равного риска, каждая из которых соответствует следующим численным значениям вероятности смерти индивидуума в течение года:  $10^{-4}$ ,  $10^{-5}$ ,  $10^{-6}$ ,  $10^{-7}$  (рис. 2.4). Требования такого же рода предъявлены и к уже действующим предприятиям.

Проблема уменьшения риска решается в Нидерландах настолько активно и последовательно, насколько это возможно при нынешнем уровне знаний. Основные принципы такой деятельности закреплены в правительской программе управления риском, которая является составной частью общей программы по защите окружающей среды.

Эксперты стараются определить риск всесторонне. Учитывают индивидуальный риск, социальный риск и даже риск для экосистем. Первый задается вероятностью гибели отдельного человека, второй - соотношением между количеством людей, которые могут погибнуть при одной аварии, и вероятностью такой аварии, а третий - процентом биологических видов экосистемы, на которых скажется вредное воздействие. Рассматриваются не только события, приводящие к мгновенной смерти, но и факторы, дающие отдаленные последствия - напри-

мер, использование пестицидов в сельском хозяйстве или загрязнение окружающей среды. Разработаны сложные комплексные компьютерные программы, способные вычислить вероятность аварии на предприятии, определить величину и характер опасных выбросов, учесть метеорологические условия, рельеф местности, расположение дорог и населенных пунктов и в конечном счете построить карту распределения риска.



**Рис. 1. Построение зон индивидуального риска для опасного предприятия (а) и транспортной магистрали (б), по которой осуществляется перевозка опасных грузов:**

1 – изолинии равного риска; 2, 3, 4, 5 – зона соответственно чрезвычайно высокого, высокого, приемлемого и низкого риска

Существует уровень риска, который можно считать пренебрежимо малым. Если риск от какого-то объекта не превышает такого

уровня, нет смысла принимать дальнейшие меры по повышению безопасности, поскольку это потребует значительных затрат, а люди и окружающая среда из-за действия иных факторов все равно будут подвергаться почти прежнему риску. С другой стороны, есть уровень максимального приемлемого риска, который нельзя превосходить, каковы бы ни были расходы. Между двумя этими уровнями лежит область, в которой нужно уменьшать риск, отыскивая компромисс между социальной выгодой и финансовыми убытками, связанными с повышением безопасности.

Решение о том, какой уровень риска считать приемлемым, а какой нет, носит не технический, а политический характер и во многом определяется экономическими возможностями страны. Правительство и парламент Нидерландов законодательно установили такие уровни. Максимальным приемлемым уровнем индивидуального риска (уже об этом мы говорили) считается величина  $10^{-6}$  в год. Иными словами, вероятность гибели человека в течение года не должна превышать одного шанса из миллиона. Пренебрежимо малым считается индивидуальный риск  $10^{-8}$  в год. Для факторов, которые приводят к отдаленным опасным последствиям и не имеют порога действия, приняты эти же нормы. Если такие факторыказываются лишь на превышения порога (например, предельно допустимой концентрации вредного вещества), то максимальный приемлемый уровень риска соответствует порогу. Максимальным приемлемым уровнем риска для экосистем считается тот, при котором может пострадать 5% видов биогеоценоза.

Два конкретных примера того, как работают такие нормы на практике. Голландская компания "General Electric Plastics" обратилась за разрешением на расширение производства на одном из своих заводов. На этот завод по железной дороге привозилось примерно 600 т хлора в неделю, а в качестве промежуточного реагента использовался фосген. Жители расположенного в 600 м поселка возражали против такого разрешения, поскольку боялись увеличения риска катастрофы. Эксперты провели расчет, и оказалось, что вклад фосгена в общий риск, создаваемый заводом, совсем не велик. Зато расширение завода неминуемо приводило к увеличению объемов хранения и перегрузки хлора, в результате чего значительная часть поселка могла оказаться в зоне, где риск превышал  $10^{-7}$ . Из этой ситуации был найден довольно неожиданный выход: чтобы сделать завод более безопасным, требовалось не просто расширить его, но и начать собственное производство хлора. Тогда исчезла бы угроза, связанная с перевозкой и хранением этого ядовитого газа, и общая безопасность предприятия даже возросла бы. Такой выход устроил и местные власти, и руководителей компании.

Другой случай произошел на юго-востоке Голландии, где расположено крупное химическое предприятие, выпускающее среди прочего до полумиллиона тонн аммиака и акрилонитрита в год и отстоящее от ближайших поселков всего на 200 м. Когда местные власти предложили план застройки местности между поселком и предприятием, по существующим правилам был проведен анализ уровня риска в этой зоне. На территории завода находилось около 35 различных объектов, 10 из которых вносили главный вклад в общую угрозу. Каждый из них был тщательно изучен. Неожиданно обнаружилось, что многие считавшиеся раньше весьма опасными установки на самом деле не играют той роли, которую им приписывали. Зато недооценивалась опасность, связанная с хранилищами аммиака. Выяснилось, что часть новой застройки попадает в зону с высоким уровнем риска. Эксперты дали две рекомендации: руководству завода принять меры по снижению риска, местным властям ограничить строительство на территориях, примыкающих к заводу. Жители поселков с энтузиазмом приняли первую часть рекомендаций и с негодованием - вторую. После обсуждения в парламенте было решено в этот раз позволить строительство в зоне, где риск не превышает  $10^{-6}$ , но в будущем ориентироваться на линию, на которой риск составляет  $10^{-8}$ , то есть пренебрежимо мал.

Специалисты из разных стран спорят о том, насколько правильны и объективны используемые в Нидерландах методы расчета, насколько точны их карты, насколько оправдан поиск компромисса между выгодой и безопасностью. Рядовым жителям - неспециалистам, судить об этом трудно. Зато они чувствуют, что государство не на словах, а на деле заботится об их жизни, так что они могут доверять самому подходу к проблеме - честному и действенному.

Конечно, Нидерланды надо рассматривать как пример страны, где наиболее широко используются вероятностные методы в практической деятельности по обеспечению безопасности населения от риска при эксплуатации промышленных объектов. В других странах масштабы использования концепции "приемлемого" риска в законодательстве более ограничены, но во всех этих странах существует тенденция к ее все более полному применению (см. табл. 2.3.1). Например, в ФРГ концепция "приемлемого" риска является основой, на которой развиваются научные основы в области безопасности. Полученные при этом результаты используются для повышения безопасности и минимизации риска, а не для достижения общественного признания определенной технологии.

### Задача 1

#### Определение суммарной экологической технёёмкости территории

Экологическая технёёмкость территории (Тэ, усл. т/год) – обобщенная характеристика территории, отражающая самовосстановительный потенциал

природной системы и количественно равная максимальной техногенной на-

грузке, которую может выдержать и переносить в течение длительного времени совокупность всех экологических систем территории без нарушения их структурных и функциональных свойств [11].

$$T_e = \sum_{i=1}^3 E_i \cdot X_i \cdot \tau_i, \quad (23)$$

где  $E_i$  – оценка экологической ёмкости  $i$ -той среды (т/год);

$X_i$  - коэффициент вариации для естественных колебаний содержания ос-

новных субстанций в среде;

$i \tau$  - коэффициент перевода массы в условные тонны (усл.т/т).

*Задание:* Определить суммарную экологическую технёёмкость территории района, если известны экологические емкости компонентов природной среды воздуха, воды, земли (почвы и

биоты). Принять: значения коэффициентов вариации для естественных колебаний содержания основных субстанций в среде: для воздуха  $X_1=3 \cdot 10^{-6}$ ; для воды  $X_2=4 \cdot 10^{-5}$ ; для биоты  $X_3=0,5$ ; средние значения коэффициентов перевода массы в условные тонны: для воздуха  $\tau_1=0,46$  усл.т/т; для воды  $\tau_2=0,3$  усл.т/т; для земли  $\tau_3=0,37$  усл.т/т. Для решения задачи используйте данные таблицы 13.

Таблица 13 - Исходные данные к решению задачи

Экологическая емкость сред, тыс. т/год:	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Воздух	68	74	76	78	80	82	84	86	90	195
Вода	44	45	48	50	54	60	62	70	85	74
Земля	24	11	12	16	17	18	20	21	22	23

## Задача 2

### Определение относительной дозы шума

Доза шума  $D$  (Па $^2$ ·ч) - интегральная величина, учитывающая акустическую энергию, воздействующую на человека, за определенный период времени, определяемая по формуле 24 [12]:

$$D = \int_0^T p_A^2(t) dt, \quad (24)$$

где  $p_A(t)$  - текущее значение среднего квадратического звукового давления с учетом коррекции «A» шумомера, Па.

Относительную дозу шума отн  $\bar{D}$  в процентах определяют по формуле:

$$\bar{D}_{\text{отн}} = \frac{D}{D_{\text{доп}}} \cdot 100, \quad , (25)$$

где доп  $D$  - допустимая доза шума, Па $2 \cdot$ ч.

Допустимую дозу шума доп  $D$  определяют по формуле:

$$D_{\text{доп}} = p_{A_{\text{доп}}}^2 \cdot T_{p,d}, \quad , (26)$$

где  $p^2 A_{\text{доп}}$  - значение звукового давления, соответствующее допустимому уровню звука  $p^2 A_{\text{доп}} = 0,356$  Па;

$T_{p,d}$  - продолжительность рабочей смены, ч.

Соотношение между эквивалентным уровнем звука и относительной дозой шума (при допустимом уровне звука 80 дБ А) в зависимости от времени действия шума приведено в таблице 14.

Таблица 14 - Соотношение между эквивалентным уровнем звука и относительной дозой шума

Относительная доза шума, %	Эквивалентный уровень звука, дБ <i>A</i> за время действия шума							
	8 ч	4 ч	2 ч	1 ч	30 мин	15 мин	7 мин	
	3,2	70	73	76	79	82	85	88
6,3	73	76	79	82	85	88	91	
12,5	76	79	82	85	88	91	94	
25	79	82	85	88	91	94	97	
50	82	85	88	91	94	97	100	
100	85	88	91	94	97	100	103	
200	88	91	94	97	100	103	106	
400	91	94	97	100	103	106	109	
800	94	97	100	103	106	109	112	
1600	97	100	103	106	109	112	115	
3200	100	103	106	109	112	115	118	

*Задание:* Рассчитать относительную дозу шума. Используя таблицу 14, определить эквивалентный уровень звука. Для решения задачи используйте данные таблицы 15.

Таблица 15 - Исходные данные к решению задачи 2.

Исходные данные	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Доза шума <i>D</i> ( $\text{Па}^2 \cdot \text{ч}$ )	0,25	0,24	4,0	1,03	0,5	2,0	0,5	2,05	1,0	0,06
Продолжительность рабочей смены, <i>T<sub>п.д.</sub></i> , ч	8	4	2	1	8	4	2	1	8	4

## Тема 3. Подходы к оценке риска.

### Теоретическая часть

#### Оценка риска: понятие и место в обеспечении безопасности технических систем

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. Оценка риска - обязательная часть анализа. Оценка риска включает анализ частоты, анализ последствий и их сочетаний.

В англоязычной литературе употребляют термины “risk estimation”, “risk assessment”, “risk evaluation”, зачастую имеющие разные значения, но переводимые как оценка риска.

Оценка риска - этап, на котором идентифицированные опасности должны быть оценены на основе критерии приемлемого риска с целью выделить опасности с неприемлемым уровнем риска, и 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.

Согласно определению, оценка риска включает в себя анализ частоты и анализ последствий. Однако, когда последствия незначительны и частота крайне мала, достаточно оценить один параметр.

Существуют четыре разных подхода к оценке риска.

Первый - инженерный. Он опирается на статистику поломок и аварий, на вероятностный анализ безопасности (ВАБ): построение и расчет так называемых деревьев событий и деревьев отказов - процесс основан на ориентированных графах. С помощью первых предсказывают, во что может развиться тот или иной отказ техники, а деревья отказов, наоборот, помогают проследить все причины, которые способны вызвать какое-то нежелательное явление. Когда деревья построены, рассчитывается вероятность реализации каждого из сценариев (каждой ветви), а затем - общая вероятность аварии на объекте.

Второй подход, модельный, - построение моделей воздействия вредных факторов на человека и окружающую среду. Эти модели могут описывать как последствия обычной работы предприятий, так и ущерб от аварий на них.

Первые два подхода основаны на расчетах, однако, для таких расчетов далеко не всегда хватает надежных исходных данных. В этом

случае приемлем третий подход - экспертный: вероятности различных событий, связи между ними и последствия аварий определяют не вычислениями, а опросом опытных экспертов.

Наконец, в рамках четвертого подхода - социологического - исследуется отношение населения к разным видам риска, например с помощью социологических опросов.

То, что для определения риска используются четыре столь несхожих между собой метода, не должно удивлять. В разных задачах под риском следует понимать то вероятность какой-то аварии, то масштаб возможного ущерба от нее, а то и комбинацию двух этих величин. Описывая риск, нужно учитывать и выгоду, которую получает общество, когда на него идет (бесполезный риск недопустим, даже если он ничтожно мал). Иными словами, величина риска - это не какое-то одно число, а скорее вектор, состоящий из нескольких компонент. И поэтому мы имеем дело с так называемым многокритериальным выбором, процедура которого описывается теорией принятия решений.

Имеется много неопределенностей, связанных с оценкой риска. Анализ неопределенностей - необходимая составная часть оценки риска. Как правило, основные источники неопределенностей - информация по надежности оборудования и человеческим ошибкам, а также допущения применяемых моделей аварийного процесса. Чтобы правильно интерпретировать величины риска, надо понимать неопределенности и их причины. Анализ неопределенности - это перевод неопределенности исходных параметров и предложений, использованных при оценке риска, в неопределенность результатов.

Источники неопределенности должны по возможности идентифицироваться. Основные параметры, к которым анализ является чувствительным, должны быть представлены в результатах.

Важно подчеркнуть, что сложные и дорогостоящие расчеты зачастую дают значение риска, точность которого очень невелика. Для сложных технических систем точность расчетов индивидуального риска, даже в случае наличия всей необходимой информации, не выше одного порядка. При этом проведение полной количественной оценки риска более полезно для сравнения различных вариантов (например, размещения оборудования), чем для заключения о степени безопасности объекта. Зарубежный опыт показывает, что наибольший объем рекомендаций по обеспечению безопасности вырабатывается с применением качественных (из числа инженерных) методов анализа риска, позволяющих достигать основных целей риск-анализа при использовании меньшего объема информации и затрат труда. Однако количественные методы оценки риска всегда очень полезны, а в некоторых ситуациях - и единственно допустимы, в частности, для сравнения опасностей раз-

личной природы или при экспертизе особо опасных, сложных и дорогостоящих технических систем.

### **Управление риском: понятие и место в обеспечении безопасности технических систем**

В исследованиях по проблеме риска возникло отдельное направление работ под общим названием “Управление риском”.

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.

Для процесса управления риском существует несколько названий как в нашей стране (обеспечение промышленной безопасности), так и за рубежом (“safety management”, “management of process hazards”), которые фактически являются синонимами.

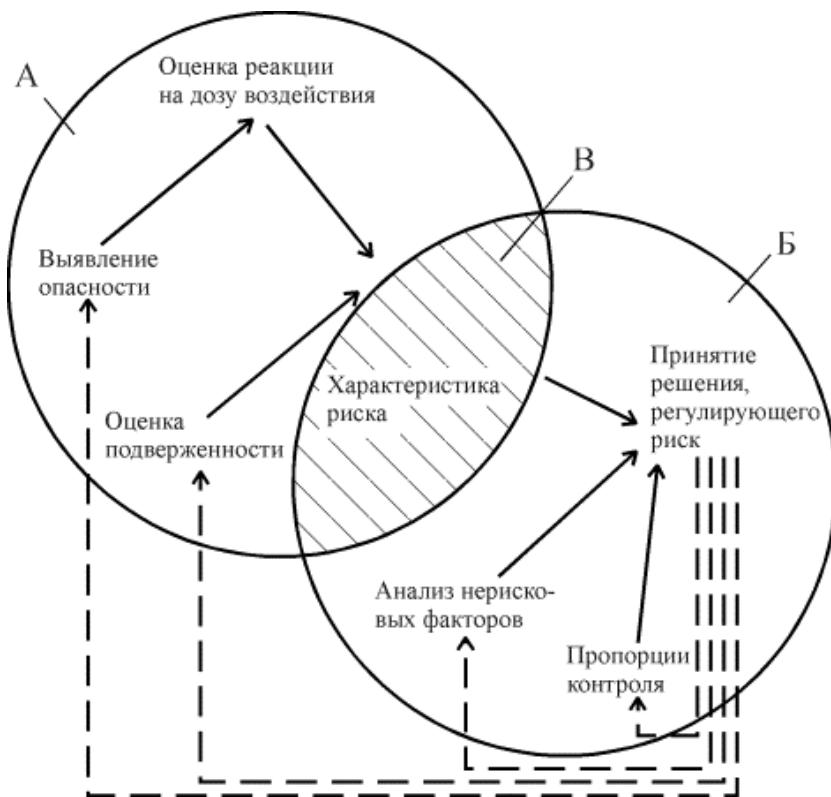
Под этими терминами понимается совокупность мероприятий, направленных на снижение уровня технологического риска, уменьшение потенциальных материальных потерь и других негативных последствий аварий. По сути дела, речь идет о предотвращении возникновения аварийных ситуаций на производстве и мерах по локализации негативных последствий в тех случаях, когда аварии произошли.

Особенностью этого направления является комплексность, включающая в себя различные аспекты - технические, организационно-управленческие, социально-экономические, медицинские, биологические и др.

### **Общность и различие процедур оценки и управления риском**

Общим в оценке риска и управлением риском является то, что они - два аспекта, две стадии единого процесса принятия решения (в широком смысле слова), основанного на характеристике риска. Такая общность обусловлена их главной целевой функцией - определением приоритетов действий, направленных на уменьшение риска до минимума, для чего необходимо знать как его источники и факторы - (анализ риска), так и наиболее эффективные пути его сокращения (управлением риском).

Взаимосвязь между оценкой риска и управлением им представлена на рис. 2



**Рис. 2 Взаимосвязь между оценкой и управлением риском:**  
 А - область оценки риска;  
 Б - область управления риском;  
 В - область характеристики риска; —→ - прямые связи между элементами оценки и управления риском; ——→ - обратные связи принятия решения с другими элементами оценки и управления риском.

Основное различие между двумя понятиями заключается в том, что оценка риска строится на фундаментальном, прежде всего естественнонаучном и инженерном, изучении источника (например, химического объекта) и факторов риска (например, загрязняющих веществ с учетом особенностей конкретной технологии и экологической обстановки) и механизма взаимодействия между ними. Управлением риском опирается на экономический и социальный анализ, а также на законодательную базу, которые не нужны и не используются при оценке риска. Управление риском имеет дело с анализом альтернатив

по минимизации риска, т.е. 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 (рис. 2).

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

### **Количественные показатели риска**

Для управлением риском его необходимо проанализировать и оценить. Ввиду данного в 2.3.1 определения риска, его количественный показатель представляет собой численные значения вероятности наступления нежелательного события или (и) результатов нежелательных последствий (ущерба).

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

Изучение статистических данных позволяет выявить частоту возникновения опасных событий. Однако серьезность событий (даже внутри одного класса аварий) может значительно изменяться от события к событию; тогда возникает необходимость введения категорий событий (например, события с тяжелыми, средними или легкими последствиями) и рассмотрения частоты каждой из таких категорий. Последнее достигается приписыванию каждому классу или подклассу показателя риска (числа событий за определенный период времени, деленный на длительность этого периода), имеющего размеренность обратного времени. Этот показатель иногда рассматривается как мера "вероятности" возникновения события. Следует рассмотреть замечание, сделанное по этому поводу редакторами перевода [38], смысл которого состоит в том, что наиболее естественно интерпретировать вводимый показатель в рамках некоторой математической модели, в данном случае - вероятностной, поскольку рассматриваются случайные явления. Например, можно характеризовать явление случайной величиной - обозначим ее  $z$  - числом случаев возникновения события (реализации явления) за определенный период времени  $T$ , например за год. Хорошо известно, что математическое ожидание  $Mz$  случайной величины  $z$  - это среднее (ожидаемое) число случаев возникновения события за год или частота возникновения события. Тогда в соответствии с принятой в математической статистике терминологией число событий

(которое берется из статистических данных) - это выборка, отношение числа событий к длительности периода наблюдения - статистика, являющаяся, очевидно, несмещенной и состоятельной оценкой математического ожидания  $Mz$ , или частоты возникновения событий. Если считать распределение случайной величины  $z$ , например пуассоновским, т.е. если положить  $P(z = k) = e^{-rT} \cdot (r \cdot T)^k / k!$ , где  $r$  - константа, то возможно оценить условия, когда вводимый показатель можно считать вероятностью. В самом деле, для пуассоновского распределения вероятность того, что за время  $T$  случится не менее одного события, равна  $1 - e^{-rT}$ . Поэтому только для очень малых частот возникновения события можно интерпретировать вводимый показатель как вероятность возникновения за время  $T$  хотя бы одного события.

Необходимо, однако, отметить, что вводимый таким способом показатель не является вероятностью в точном, математическом смысле этого слова. Вероятностью (события в конечной схеме при классическом определении) называется отношение мощности множества элементарных исходов, составляющих это событие, к мощности всего множества элементарных исходов. Вероятность события - это действительное число, лежащее в интервале 0-1. Так, например, при бросании обычной кости вероятность события "выпадение 7" равна нулю, вероятность события "выпадения 1 или 2" равна одной шестой, вероятность события "выпадение какого-нибудь числа между 1 и 6" равна единице. Таким образом, в рассмотренном случае те связи между событиями  $A$  и  $B$ , когда только при возникновении  $A$  случается  $B$ , можно интерпретировать как вероятность.

Количественно риск может быть определен, как вероятность  $P$  возникновения события  $B$  при наступлении события  $A$  (безразмерная величина, лежащая в пределах 0-1).

Поскольку реализация опасности явление случайное, риск опасности (как бы ни определять его - как частоту или вероятность) есть числовая характеристика соответствующей случайной величины, используемой для описания данной опасности. 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. Оказывается возможным явно вычислить функцию распределения этой величины  $F_s(t) = P(s \leq t)$ , предположив ее независимость от предыстории функционирования промышленного предприятия (такое предпо-

ложение является наиболее оптимистичным в отношении уровня безопасности). Хорошо известно, что существует единственное решение, удовлетворяющее сформулированному условию:  $F_s(t) = 1 - e^{-qt}$  для  $t > 0$ ;  $F_s(t) = 0$  для  $t < 0$ , где  $p > 0$  - постоянная; это так называемое показательное распределение. Математическое ожидание  $M_s$  случайной величины  $s$  есть  $M_s = 1/p$ , что позволяет интерпретировать параметр  $p$  как среднюю (ожидаемую) частоту аварий или риск аварий в смысле обсуждаемого определения. Вероятность аварий  $p_t$  за период времени, не превосходящий  $T$ , определяется, очевидно, как  $p_t = P(s \leq T) = 1 - e^{-qt}$ . Отметим, что всегда  $p_t < pT$ , поэтому неверно часто высказываемое утверждение, что для аварии, риск которой равен  $1/T$ , она обязательно случится за период  $T$  (вероятность такого события равна  $1 - e^{-1}$ , т.е. приблизительно 0,632). Более того, даже в этом простейшем случае показательного распределения было бы неверно утверждать, что вероятность аварии  $p_t$  за период времени, меньший или равный  $T$ , определяется, как произведение частоты аварии  $p$  на этот период  $T$ . Имеет место лишь приблизительное равенство в случае малых рисков, т.е. редких аварий. Однако, функциональная зависимость между вероятностью аварий и частотой ее возникновения (для фиксированного распределения) существует (прим. ред. перевода [38]).

Последствие  $Y$  в виде нежелательного события или ущерба может в соответствии со своей величиной описываться своими специфическими параметрами. Диапазон при этом может быть весьма широк - от экономических до этических ценностей и человеческих жертв.

Мерой возможности наступления риска служит вероятность его наступления  $R$ .

Отсюда следует:  $R = Y \cdot P$ .

Величина риска определяется как произведение величины нежелательного события на вероятность его наступления, т. е. как математическое ожидание величины нежелательных последствий.

Обратимся вновь к функциональной модели (рис. 2.3.1). Для отображенных на ней множества исходных причин развития риска можно в общем виде записать формулу расчета в виде

$$R = P_1 P_2 P_3 P_4,$$

где  $R$  - риск, т.е. вероятность нанесения определенного ущерба;

$P_1$  - вероятность возникновения события или явления, обусловливающего формирование и действие опасных факторов;

$P_2$  - вероятность формирования определенных уровней физических полей, ударных нагрузок, полей концентрации вредных веществ, действующих 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.

Мы узнали, что количественная мера риска может выражаться не только вероятностной величиной. Риск иногда интерпретируют как математическое ожидание ущерба, возникающего при реализации опасностей.

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:

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

где  $R_{MO}$  - уровень риска, выраженный через математическое ожидание ущерба;

$P_i$  - вероятность возникновения опасного события  $i$ -го класса;

$Y_i$  - величина ущерба при  $i$ -ом событии.

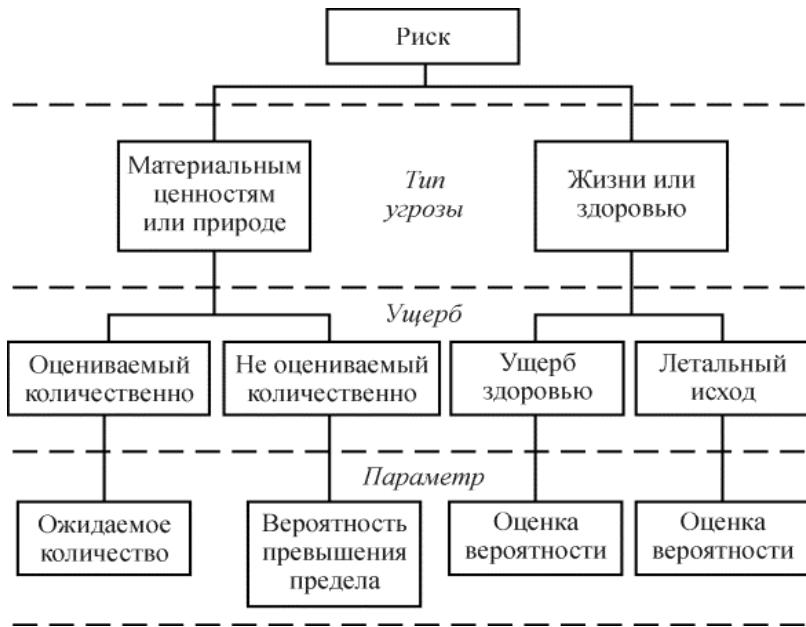
Хотя последняя интерпретация находит применение, однако вероятностная мера риска является более удобной и применяемой при решении широкого круга задач научного и практического характера, в особенности задач, касающихся промышленной безопасности.

Понятие "риск" - атрибут научного аппарата многих технических, экономических, общественных и естественных наук. У каждого из них свой предмет, свой аспект, а потому в определении меры риска в безопасности выделяют социальные, профессиональные, экологические, техногенные, медикобиологические, военные и др. опасности. Таким образом, риск - мера вполне определенных опасностей. Определяя риск необходимо ответить на вопрос: риск чего? (Например, риск событий, связанных с эксплуатацией сложной технической системы - разгерметизацией оборудования, отказом средств предупреждения, ошибками человека и т. д.).

На рисунке 2.3.2 дан обзор ситуаций с риском возникновения соответствующих нежелательных событий и приведены их измерения.

При угрозе материальным ценностям риск часто измеряют в денежном выражении. Если различные последствия нежелательного события одинаковы или очень велики, то для сравнения достаточно рассматривать одни соответствующие вероятности. Наряду с этим может возникнуть угроза, которую нельзя выразить количественно, например, когда последствия события нельзя предусмотреть достаточно полно. Примером могут служить последствия выхода из строя прибора

(установки и т.д.), используемого в различных областях народного хозяйства, которые поставщик оценить не может. В этом случае мерой риска остается принять вероятность превышения предела нагрузки на систему, где эксплуатировали прибор. При риске, связанном со здоровьем, последствия могут быть частично оценены количественно в таких категориях, как простой в работе или расходы на оплату подменяющего персонала и т.п., страховые выплаты. При риске, связанном с летальным исходом, количественные оценки последствий в большинстве случаев отсутствуют. Особые проблемы ставят случаи, когда опасность грозит и материальным ценностям, и людям, и окружающей природе одновременно, и желательно меру такого риска оценить по нескольким компонентам.



**Рис. 3 Обзор ситуаций риска**

Как уже говорилось, риск может быть явно связан с факторами, не поддающимися учету. Так, эстетический вред, наносимый построенным сооружением уникальному ландшафту, или последствия выхода из строя телекоммуникационного центра практически невозможно оценить.

Как и в случае других измерений, для риска могут использоваться единицы измерения, выраженные и через фундаментальные единицы.

Описанные свойства риска требуют дальнейшего рассмотрения проблемы.

**Вопросы для подготовки к устному опросу:**

1. Классификация и характеристика видов рисков: индивидуальный риск.
2. Классификация и характеристика видов рисков: технический риск.
3. Классификация и характеристика видов рисков: экологический риск.
4. Классификация и характеристика видов рисков: социальный риск.
5. Классификация и характеристика видов рисков: экономический риск.
6. Методология анализа риска.
7. Основные элементы анализа риска.
8. Оценка риска, понятие и место обеспечения безопасности технических систем.
9. Подходы к оценке риска.
10. Управление экологическим риском.
11. Количественные показатели риска.
12. Управление риском: понятие и место в обеспечении безопасности технических систем
13. Общность и различие процедур оценки и управления риском
14. Количественные показатели риска

**Задача 1: Расчет продовольственной безопасности**

Производство в достаточном количестве основных продуктов питания в любом государстве считается приоритетным. Для того чтобы государство было независимым, необходимо обеспечить население продовольственными ресурсами на 100 % плюс трехмесячным запасом на непредвиденные обстоятельства или в крайнем случае на 70-80 % основными видами продуктов питания. Порогом относительной независимости (продовольственной безопасности) является 70% обеспеченность зерновым эквивалентом. Условием самодостаточности обеспечения населения продуктами питания считается для РФ зерновой

эквивалент 800 – 1000 кг на душу населения в год. При таком уровне обеспеченности зерном есть возможность производства в достаточном количестве животноводческой продукции (мяса и молока). Определение продуктивность экосистемы (Пэ), ц/га:

$$\text{Пэ} = \text{Б} \cdot \text{ЦБ} , \text{ (28)}$$

где Б - балл бонитета для почв некоторых регионов (таблица 17);  
ЦБ - цена балла почвы при разных уровнях почвенного плодородия (таблица 17).

Определение валового сбора зерна (Всб) со всей площади пашотных земель региона (Sз, таблица 18):

$$\text{Всб} = \text{Пэ} \cdot \text{Sз} . \text{ (29)}$$

Определение потребности населения региона в зерне (Пзер):

$$\text{Пзер} = \text{Нр} \cdot \text{П} , \text{ (30)}$$

где Нр – численность населения (таблица 19);

П – потребность зерна на душу населения в год составляет 350-400 кг (на хлебопродукты).

Определение потребности населения региона в мясе (Пмяс).

Физиологическая потребность человека в мясе составляет 67 кг/год:

$$\text{Пмяс} = \text{Нр} \cdot 67. \text{ (31)}$$

Определение потребности в зерне для производства мяса, если на получение 1 ц мяса требуется 6-7 ц зерна (Пз-мяс):

$$\text{Пз-мяс} = \text{Пмяс} \cdot 6 . \text{ (31)}$$

Определение потребности населения региона (Пмол) в молоке.

Годовая потребность человека в молоке составляет 200-250 кг/год:

$$\text{Пмол} = \text{Нр} \cdot 250. \text{ (31)}$$

Определение потребности в зерне для производства молока (Пз-мол), если на 1 кг молока затрачивается дополнительно 0,3-0,5 кг зернофуражи:

$$\text{Пз-мол} = \text{Нмол} \cdot 0,5 . \text{ (32)}$$

Расчёт баланса зерна в регионе (Бз):

$$Бз = Всб - Пзер - Пз-мяс - Пз-мол . \quad (33)$$

Таблица 17 - Балл бонитета (Б) для почв некоторых регионов

Регион	Балл
Московский	52
Ярославский	41
Ленинградский	50
Свердловский	45
Марий Эл	42
Краснодарский край	80
Пермский	37
Курганская	47
Ульяновский	51
Кировский	26

Таблица 18 - Цена балла почвы (ЦБ) при разных уровнях почвенного плодородия

Степень почвенного плодородия	Уровень почвенного плодородия	Цена балла (ЦБ), ц	
		Зерно	Зерновые единицы
I Дерново-подзолистые почвы	Низкий	0,13	0,16
	Средний	0,13 – 0,18	0,16 – 0,22
	Повышенный	0,18 – 0,23	0,22 – 0,28
II Серые лесные почвы	Высокий (1-й уровень)	0,23 – 0,30	0,28 – 0,36
	Высокий (2-й уровень)	0,30 – 0,38	0,36 – 0,45
	Высокий (3-й уровень)	0,38 – 0,46	0,45 – 0,55
II Обыкновенные чернозёмы	Очень высокий (1-й уровень)	0,46 – 0,53	0,55 – 0,64
	Очень высокий (2-й уровень)	0,53 – 0,61	0,64 – 0,73
	Очень высокий (3-й уровень)	0,61 – 0,69	0,73 – 0,83

Таблица 19 –Численность населения (Нр) и площадь пахотных земель(Sz) страны

Регион	Население, млн.чел	Площадь пахотных земель, тыс.га
Московский	6,398	1250
Ярославский	1,373	800
Ленинградский	1,642	430
Свердловский	4,511	1570
Марий Эл	745,3	630
Краснодарский край	4,970	4300
Пермский	2,903	2110
Курганский	1,020	3040
Ульяновский	1,382	1830
Кировский	1,542	2660

**Задание:** Определить самодостаточность производства основных видов продукции в регионе (зерна, мяса, молока). Для решения задачи используйте данные таблицы 20.

Таблица 20 - Исходные данные к решению задачи

Вариант	Регион	Степень почвенного плодородия
1	Московский	II Серые лесные почвы Высокий (3-й уровень)
2	Ярославский	I Дерново-подзолистые почвы Повышенный
3	Ленинградский	I Дерново-подзолистые почвы Повышенный
4	Свердловский	II Серые лесные почвы Высокий (1-й уровень)
5	Марий Эл	II Серые лесные почвы Высокий (2-й уровень)
6	Краснодарский край	III Обыкновенные чернозёмы Очень высокий (3-й уровень)
7	Пермский	II Серые лесные почвы Высокий (1-й уровень)
8	Курганский	II Серые лесные почвы Высокий (3-й уровень)
9	Ульяновский	III Обыкновенные чернозёмы Очень высокий (1-й уровень)
10	Кировский	II Серые лесные почвы Высокий (3-й уровень)

## **Тема 4. Процедуры метода статистического моделирования риска. Принципы построения информационных технологий управления риском.**

### **Теоретическая часть**

Анализ работы опасного производства показывает, что даже при нормальном функционировании влияние таких объектов на окружающую среду связано как с социально-психологическим воздействием на людей, так и с определенной потенциальной опасностью загрязнения атмосферы и прилегающей территории опасными веществами из-за недостаточно надежных технологий, недостаточной эффективности работы фильтровентиляционных устройств и вследствие других причин.

С другой стороны, как показывает отечественная и мировая практика, добиться полностью безаварийной работы предприятий, как химической промышленности, так и других отраслей, не представляется возможным.

Повышение промышленной безопасности предусматривает осуществление технических и организационных мер, включающих мониторинг опасного объекта, разработку планов ликвидации аварий и плана действий в чрезвычайных ситуациях на территории объекта и за его пределами. Нет сомнения, что любой технологический процесс должен ориентироваться на технологии, позволяющие максимально снизить вероятность аварий и уменьшить выход опасных веществ во внешнюю среду.

В то же время нельзя не учитывать, что рациональное размещение объектов также является одним из способов обеспечения безопасности людей и окружающей среды. 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.

Сценарий аварий на опасных объектах достаточно сложен. При авариях возможен выход отравляющих веществ (ОВ) в газообразном и аэрозольном состояниях с образованием облака зараженного воздуха, и его движением по направлению ветра, заражением почв, растительности, водоемов и т. д.

Так как газообразное и аэрозольное состояние ОВ являются его боевым состоянием, то население, находящееся в зоне распространения облака или первичного заражения местности, может получить поражение различной степени тяжести.

Вероятность возникновения аварии определяется:

- особенностями технологического процесса;
- используемым оборудованием;
- степенью подготовленности персонала;
- временем, в течение которого функционирует данный технологический объект;
- интенсивностью технологических операций;
- техническими факторами (например, усталость металла);
- внешними неуправляемыми факторами (целенаправленная диверсия);
- человеческим фактором (ошибками эксплуатационного персонала).

Опасности, связанные с аварией, определяются:

- количеством освободившегося при аварии ОВ, его физико-химическими и токсическими свойствами. Например, в случае высвобождения фосфорорганических ОВ наибольшая опасность создается при образовании и распространении облака паров ОВ, в то время как при высвобождении люизита более опасно заражение подпочвенных вод мышьяксодержащими продуктами гидролиза люизита;
- архитектурно-планировочными особенностями застройки и транспортными коммуникациями;
- метеорологическими условиями и характеристиками окружающей среды: особенностями рельефа, характерной растительностью, структурой и свойствами почвы, условиями залегания подпочвенных вод, близостью рек и водозаборных сооружений, гидрографическими условиями;
- самим фактором наличия окружающего населения. Если такого в пределах зоны вероятного распространения ОВ в случае аварии не имеется, то потенциальная опасность близка в момент времени  $t = 0$ .

Для количественной оценки последствий аварии требуется создавать математическую модель, позволяющую осмыслить поведение технической системы и с ее помощью оценить различные стратегии риска. Модель должна отражать важнейшие черты явления, т. е. в

ней должны быть учтены все существенные факторы, от которых в наибольшей степени зависит функционирование системы. Вместе с тем она должна быть по возможности простой и понятной пользователю, целенаправленной, надежной (гарантия от абсурдных ответов), удобной в управлении и обращении, достаточно полной, адекватной, позволяющей легко переходить к другим модификациям и обновлению данных.

При построении математической модели может быть использован математический аппарат различной сложности - алгебраические и дифференциальные уравнения, как обыкновенные, так и с частными производными. 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 теоретически возможная запроектная авария, вызванная теми или иными причинами.

Рассмотрим возможные аналитические подходы к решению проблемы. Математическое ожидание ( $R$ ) количества пораженных людей можно определить зависимостью

$$R_{MO} = \int_{\sigma=0}^{2\pi} \int_{L=0}^{\infty} r(\sigma, L) \cdot P(\sigma, L) \cdot d\sigma \cdot dL,$$

где  $r(\sigma, L)$  - расстояние от объекта до точки нахождения человека в полярных координатах (начало координат совмещено с объектом);

$P(\sigma, L)$  - вероятность поражения человека в точке с координатами  $(\sigma, L)$ .

Вероятность поражения  $P(\sigma, L)$  определяется следующим образом:

$$P(\sigma, L) = \alpha(\sigma) \cdot \beta(L, \sigma_0),$$

где  $\alpha(\sigma)$  - вероятность того, что в момент аварии будет реализовано направление ветра  $\sigma = \sigma_0$ ;

$\beta(L, \sigma_0)$  - вероятность поражения на удалении  $L$  от места аварии в направлении  $\sigma_0$ .

Поскольку авария равновероятна в любой момент времени (это допущение наиболее разумно), то  $\alpha(\sigma)$  должна определяться на основе розы ветров в данной зоне или регионе.

Если пренебречь различиями в характеристиках подстилающей поверхности по каждому из направлений возможного распространения ОВ в случае аварии и ввести понятие средней (или средневзвешенной) характеристики, то можно существенно упростить задачу, разделив переменные:

$$R_{MO} = \int_{L=0}^{L=\infty} P(L) \cdot \int_{\sigma=0}^{\sigma=2\pi} r(\sigma, L) \cdot P(\sigma) \cdot d\sigma \cdot dL.$$

Изложенный подход к вычислению критерия риска запроектной аварии является одним из возможных вариантов аналитического метода его оценки.

В практике прогнозирования риска проф. М.А. Шахраманяном с коллегами [75] предложены следующие подходы к математическому моделированию риска.

**Моделирование индивидуального риска.** В данном случае под индивидуальным риском понимают вероятность гибели человека в течение года от определенных причин (или их совокупности) в определенной точке пространства. Результаты анализа индивидуального риска отображаются на карте (ситуационном плане) предприятия (территории возможной природной ЧС) и прилегающих районов в виде замкнутых линий равных значений (см. рис. 2.4). Построение линий равного значения индивидуального риска (изолиний) осуществляется по формуле (2.5.1)

$$R_U(x, y) = \sum_{m \in M} \sum_{l \in L} P_{Q(x, y)} F(A_m)$$

где  $P_{Q(x, y)}$  – вероятность воздействия на человека в точке с координатами  $(x, y)$   $Q$ -го поражающего фактора с интенсивностью, соответствующей гибели (поражению) человека (здорового мужчины 40 лет) при условии реализации  $A_m$ -го события (аварии, опасного природного явления, катастрофы, стихийного или иного бедствия);

$F(A_m)$  - частота возникновения  $A_m$ -го события в год;

$M$  – множество индексов, которое соответствует рассматриваемым событиям (авариям, опасным природным явлениям, катастрофам, стихийным или иным бедствиям);

$L$  - множество индексов, которые соответствуют перечню всех поражающих факторов, возникающих при рассматриваемых событиях.

**Моделирование социального риска.** Социальный риск - зависимость частоты возникновения событий, вызывающих поражение

определенного числа людей, от этого числа людей. Результаты анализа изображаются в виде графиков (так называемых  $F-N$  диаграмм). Социальный риск  $R - F(N)$  характеризует масштаб возможных чрезвычайных ситуаций. Социальный риск может быть рассчитан по формуле

$$R_C(N) = \sum_{m \in M} \sum_{l \in L} P(N/Q_m) P(Q_m/A1) F(A1), \quad (2.5.2)$$

где  $P(N/Q_m)$  — вероятность гибели (поражения)  $N$  людей от  $Q_m$ -го поражающего фактора;

$P(Q_m/A1)$  - вероятность возникновения  $Q_m$ -го поражающего фактора при реализации  $A1$ -го события (аварии, опасного природного явления, катастрофы, стихийного или иного бедствия).

**Моделирование риска от аварий на пожароопасных и взрывоопасных объектах.** После выявления на каждом из принятых к рассмотрению ПВОО всех видов аварий, специфики их возникновения и развития, расчета полей потенциальной опасности этих аварий и определения вероятности реализации их негативного потенциала ( $H_i$ ), оценка индивидуального риска может проводиться по формуле (2.5.3)

$$R_e = \frac{\left( \sum_{x,y} R(x,y) N(x,y) \right)}{\left( \sum_{x,y} N(x,y) \right)},$$

где  $N(x, y)$  - численность людей на площадке с координатами  $(x, y)$ ;

$R(x, y)$  - индивидуальный риск в точке с координатами  $(x, y)$ ,

$$R(x,y) = \sum_{\bar{q}} H_i E_{\bar{q}}(x,y) P_j;$$

(2.5.4)

$H_i$  вероятность выброса за год по сценарию  $i$  (в качестве сценариев аварии могут рассматриваться: нарушение герметичности замкнутых объемов за счет коррозии, нарушения за счет технологического режима и т.п.);

$E_{\bar{q}}(x,y)$  – вероятность реализации механизма воздействия  $j$  в точке  $(x, y)$  для сценария выброса  $i$  (в качестве сценариев механизма воздействия могут рассматриваться: тепловые поражения людей, поражения ударной волной, поражение обломками и т.п.);

$P_j$  – вероятность летального исхода при реализации механизма воздействия.

**Моделирование риска от аварий на химически опасных объектах.** По известной токсодозе  $D$  в точке с координатами  $(X, y)$  ма-

математическое ожидание потерь среди населения  $M(N)$  (средневзвешенная по вероятности величина потерь) определяется по формуле

$$M(N) = \iint_{S_r} P[D(x, y)] \psi(x, y) dx dy,$$

(2.5.5)

где  $S_r$  - область интегрирования - площадь части города, в пределах которой возможно поражение людей при авариях на данном объекте;

$\psi(x, y)$  - плотность размещения людей в окрестностях точки с координатами  $(x, y)$ ;

$P[D(x, y)]$  - вероятность поражения людей от величины токсодозы в точке города с координатами  $(x, y)$ , определяемая из параметрического закона поражения людей сильнодействующими ядовитыми веществами;

$D(x, y)$  - токсодоза, определяемая при переменной во времени концентрации химически опасного вещества для точки с координатами  $(x, y)$  по формуле

$$D(x, y) = \int_{t_n}^{t_k} \Omega(x, y, t) dt, \quad (2.5.6)$$

где  $t_n, \dots, t_k$  - интервал времени;

$\Omega(x, y, t)$  — концентрация химически опасного вещества в атмосфере для точки с координатами  $(x, y)$  в заданный момент времени  $t$ .

По формуле (2.5.5) математическое ожидание потерь определяется для случая, когда исходные данные известны. При заговоренном определении математического ожидания потерь необходимо учитывать изменчивость направления ( $\theta$ ) и скорости ветра ( $v$ ) в течение года. Тогда потери могут быть определены по формуле

$$M(N) = \iint_{S_r} \int_0^{2\pi} \int_{v_{\min}}^{v_{\max}} f(\theta, V) P[D(x, y)] \psi(x, y) dV d\theta dx dy$$

(2.5.7)

где  $f(\theta, V)$  - функция плотности распределения направления  $\theta$  и скорости  $V$  ветра;  $v_{\min}$  и  $v_{\max}$  - минимально и максимально возможные значения скорости ветра;  $S_r$  - область интегрирования.

Остальные обозначения те же, что и в формуле (2.5.5).

Учитывая выражение (2.5.7), оценка индивидуального риска на ХОО может проводиться по формуле

$$R_e = \frac{H}{N} \int \int \int \int \int f(\theta, V) P[D(x, y)] \psi(x, y) dV d\theta dx dy$$

(2.5.8)

где  $H$  – вероятность аварии в течение года;  $N$  – численность населения.

**Моделирование риска от аварий на радиационно опасных объектах.** Индивидуальный риск поражения людей в городе при аварии на рядом расположенному радиационно-опасном объекте (РОО) может быть определен по формуле

$$R_e = \frac{H}{N} \int \int \int \int \int f(\theta, V) P[D(x, y)] \psi(x, y) dV d\theta dx dy \quad (2.5.9)$$

где  $P[D(x, y)]$  – вероятность поражения людей от величины дозы радиоактивного заражения в точке с координатами  $(x, y)$ ; определяется из закона поражения людей;  $D(x, y)$  – доза радиоактивного заражения 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  $(x, y)$ .

Комплексная оценка техногенного риска может быть реализована также по следующей математической модели.

Для оценки риска запроектной аварии, наряду с аналитическими методами, представляется возможным использование метода Монте-Карло – метода статистического моделирования. Идея этого метода чрезвычайно проста и состоит в следующем. Вместо того, чтобы описывать случайный процесс с помощью аналитического аппарата, производится “розыгрыш” случайного явления с помощью последовательных операций, дающих случайный результат. Конкретное осуществление случайного процесса складывается каждый раз по-иному, поэтому в результате статистического моделирования (розыгрыша) возникает каждый раз новая, отличная от других, искусственная реализация этого процесса. При числе повторений ( $N \geq 100$ ) метод дает статистически устойчивое сходство результата. При этом на основании перечисленных исходных данных формируется массив случайных значений величин.

Обобщенный алгоритм оценки риска методом статистического моделирования может состоять из следующих последовательных процедур:

Шаг 1. На основе равновероятного датчика случайных чисел разыгрывается время, число и месяц возникновения аварии.

Шаг 2. Исходя из реализованных временных характеристик аварий и с учетом вероятности распределения метеоусловий за большой период времени для данной местности прогнозируют конкретный вектор значений метеоусловий, включающий температуру воздуха и почвы, стратификацию атмосферы, скорость и направление ветра (при разработке статистической модели аварии не представляет труда учесть фактическую розу ветров для любой точки со случайным разыгрышем месяца, дня, времени аварии, конкретного направления и скорости ветра).

Шаг 3. На основе сформулированного перечня аварий и с учетом равновероятной природы их возникновения разыгрывается конкретный тип аварии, произошедшей на объекте, и ее исходные данные (количество свободившегося ОВ, площадь разлива, максимальная концентрация в зоне аварии и т.д.) с учетом конкретных метеоданных.

Шаг 4. На основе, например, гауссовской модели распределения примеси и исходных данных, реализованных по пп. 1,2,3, рассчитывается величина приведенной зоны поражения той или иной степени тяжести и ее положение (конфигурация, директрисса следа облака и т.д.) на конкретной местности.

Шаг 5. На основе известного математического ожидания распределения населения вокруг объекта моделируется конкретное распределение населения в момент аварии; вычисляют общее количество человек, попавших в приведенную зону поражения той или иной степени тяжести.

Полученное таким образом значение оценки риска, характеризующееся количеством людей, пораженных в результате аварии той или иной степени тяжести, является единичным значением, т.е. единичной реализацией. Для получения статистически достоверных результатов необходимо получить как можно большее количество реализаций  $N$  (естественно в разумных пределах, например  $N=1000$ ) путем “прогона” на ЭВМ математической модели, разработанной согласно вышеописанному алгоритму,  $N$  раз. В дальнейшем по  $N$  реализациям проводят оценки математического ожидания и среднеквадратического отклонения числа пораженных той или иной степени тяжести на данном объекте при запроектной аварии.

Аналогичный подход может быть применен и для оценки потенциальной опасности перевозок опасных грузов. При этом необходимо дополнительно ввести учет распределения населения на маршрутах перевозок, смоделировать время начала и окончания перевозок, конкретное время следования по маршруту.

## **Принципы построения информационных технологий управления риском.**

Имеющийся опыт анализа и управления риском показывает, что разработка и совершенствование процедур и методов в этой сфере осуществляется по пути приближения к принципам системного подхода. Действительно, управление риском - процесс требующий рассмотрения широкого круга вопросов. К таким относятся - технические, информационные, социально-экономические, экологические, политические. По существу речь идет о новом виде технологии - "Технология управления риском" (ТУР). В рамках концептуального подхода предлагаются структурная модель ТУР, которая в методическом плане наглядно демонстрирует принцип объединения теоретических разработок и практического опыта в области управления техническим риском, экологическим риском и риском в социально-экономических системах.

Механизм ТУР должен базироваться на блочной структуре в виде системных процедур. Такое строение отражает разделение и кооперацию деятельности в рассматриваемой сфере, которые обеспечивают возможность независимого предоставления услуг, развитие системы специализированных государственных или отраслевых коммерческих организаций.

**Первый блок** - информационно-аналитический. Обеспечивает сбор, первичную обработку и анализ информации, ее хранение. Представляет соответствующим образом организованный компьютерный банк данных и библиотеку документов, содержащих необходимые для ТУР первичные сведения о проблеме.

**Второй блок** - исследований. Он обеспечивает непрерывную поддержку ТУР посредством разработки необходимых версий ППП, методик, норм и правил, соответствующих особенностям рассматриваемых объектов, технологий и параметрам окружающей среды.

**Третий блок** - аналитической экспертизы и прогнозных исследований. Используя продукт предыдущего блока и методы проведения экспертизы, выполняется "рисковый мониторинг", осуществляется прогноз развития риска и последствий, оценивается ущерб по риску, формулируются предпочтения,рабатываются рекомендации по стратегии и тактике действий, средствам защиты.

**Четвертый блок - управления. Построение базового сценария управления риском завершает этап аналитической экспертизы и прогнозных исследований. Группа управления должна:**

- выработать единый взгляд на цели, задачи и объект прогнозирования и управления;
- достигнуть единого мнения о механизме развития риска и методах управления им;

- сформулировать текущие и перспективные планы;
- проверить и отладить взаимодействия между службами защиты.

После того, как получены сценарии развития риска, выполнена его оценка, принятые решения по стратегии и тактике действий, разработанные приоритеты действий спускаются "вниз" по уровням управления

Входные и выходные потоки этих блоков могут быть построены в виде ветвящихся структур исходя из рассматриваемой проблемы (задачи) поиска рекомендаций - по глубине и (или) ширине. Границы устанавливаются из условий возможного оптимального разрешения той или иной задачи (подзадачи) и (или) имеющихся ограничений на информационные данные и материальные ресурсы.

Организационные принципы. Возникающие на уровне регионов и отраслей проблемы безопасности многообразны и отличительны, им свойственны такие характеристики:

- своеобразие и уникальность, так как условия (внешние и внутренние) развития риска, как правило, не повторяются;
- большое количество параметров и высокая сложность разрешаемых проблем;
- большая начальная неопределенность вновь возникающих проблем;
- множество противоречивых критерииев выбора подходящей альтернативы;
- сложность предвидения последствий реализованных решений;
- сложность поиска компромисса между социальной средой и ведомственными интересами лиц, принимающих стратегические решения;
- дефицит времени, отведенного для принятия решения.

Ввиду этого, в основу создания ТУР можно положить два организационных признака - территориальный и отраслевой, что облегчит требования к информационно-аналитическому обеспечению и упростит последующие процедуры ТУР. При отработке ТУР по признакам, возможен дальнейший переход в единую систему.

Номенклатура предлагаемого продукта и услуг определена содержанием каждого блока. Обслуживание клиентов (заказчик, потребитель) может осуществляться по схемам: сетевая компьютерная связь клиента с фирмой - консультантом; компьютерная база клиента и обновляемые экспертные системы и версии ППП; выездная экспертно-аналитическая группа; непосредственное обслуживание в фирме; почтовая связь - рассылка методик, норм, правил и т.д.

Мотивация потребления такого рода услуг обусловлена Федеральным Законом "О промышленной безопасности опасных производственных объектов", Законом РФ об охране окружающей природной среды и др. законодательными актами.

**Необходимость (желание) воспользоваться продуктами и услугами ТУР могут возникнуть:**

- при лицензировании деятельности (проектирование, строительство, эксплуатация);
- при анализе технологических, экономических рисков перед принятием инвестиционных вложений в действующее предприятие;
- при попытках привлечения кредитов и инвестиций в проекты;
- при приобретении контрольного пакета акций предприятия, использующего опасные или старые технологии;
- при профилактической диагностике технических систем, технологий, продукции;
- при страховой деятельности;
- при разрешении конфликтов в случае возникновения опасной ситуации на промышленном объекте;
- при трастовом управлении предприятием и т.д.

**Устный опрос:**

Управление экологическим риском?

Количественные показатели риска?

Частота возникновения опасных событий?

Вероятность наступления риска. Приемлемый риск?

Системно-динамический подход к оценке риска?

Моделирование рисков (от аварий на пожароопасных и взрывоопасных объектах, от аварий на химически опасных объектах)?

Вероятность возникновения аварии?

**Темы для семинара:**

Процедуры метода статистического моделирования риска.

Принципы построения информационных технологий управления риском.

### Задача 1

#### Определение ожидаемого уровня звука в расчетной точке

Для проектируемых объектов выбор средств защиты от шума производится на основании акустического расчета, включающего выявление расчетных точек пространства вокруг источника шума, определение ожидаемого уровня звукового давления в этих точках, сравнение его с допустимым значением. Ожидаемый уровень звукового давления  $L$  (дБ) в расчетной точке определяется по формуле:

$$L = L_p + 10 \lg \Phi - 10 \lg \Omega - 20 \lg r - \Delta L_p, \quad (27)$$

где  $L_p$  – уровень звуковой мощности источника излучения;

$\Phi$  – фактор направленности излучения шума;

$\Omega$  - пространственный угол излучения;

$r$  - расстояние от источника шума;

$\Delta L_p$  – потери уровня звуковой мощности на пути распространения шума.

При отсутствии препятствий на пути распространения и небольших (до 50м) расстояниях  $\Delta L_p = 0$ .

**Задание:** На территории жилой застройки расположен источник шума с уровнем звуковой мощности  $L_w$ . Определить ожидаемый уровень звука в расчетной точке на расстоянии  $r$  от источника шума. Сделать заключение о соответствии уровня шума в расчетной точке гигиеническим нормативам (Таблица 21).

Принять: фактор направленности излучения шума  $\Phi = 1$ , пространственный угол излучения шума  $\Omega = 2\pi$ . Потерями уровня звуковой мощности на пути распространения шума пренебречь. Для решения задачи используйте данные таблицы 22.

Таблица 21 - Допустимые уровни звука, эквивалентные уровни звука проникающего шума в помещениях жилых и общественных зданий и шума на территории жилой застройки

Назначение помещений или территории	Время суток	Уровни звука $L_A$ и эквивалентные уровни звука $L_{A_{экв}}$ , дБА
Учебные кабинеты, читальные залы библиотек		40
Жилые комнаты квартир	с 7 до 23 ч	40
	с 23 до 7 ч	30
Территории, непосредственно примыкающие к жилым домам	с 7 до 23 ч	70
	с 23 до 7 ч	60
Площадки отдыха на территории микрорайонов		60

Таблица 22 - Исходные данные к решению задачи

Исходные данные	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Уровень звуковой мощности источника $L_w$ , дБА	100	85	105	140	95	110	115	120	90	130
Расстояние от источника $r$ , м	10	20	25	15	40	35	42	30	16	45

## Задача 2

### Расчет количества воды, потребляемого предприятием

Под водопотреблением понимается максимальное количество воды соответствующего качества, необходимое для использования в единицу времени. Водопотребление на предприятиях железнодорожного транспорта подразделяется на производственное и хозяйствственно-бытовое.

Ежемесячные затраты воды на производственные нужды  $W$  произв (тыс.м<sup>3</sup>) упрощенно определяются по следующей зависимости:

$$W \text{ произв} = W \text{ тех} + W \text{ об} + W \text{ губ}, \quad (16)$$

где  $W_{\text{тех}}$  - расход воды на мойку подвижного состава;

W<sub>об</sub> - расход воды на охлаждение производственного оборудования;

W<sub>губ</sub> - расход воды на проведение гидроуборки помещений.

Расход воды на мойку подвижного состава определяют

$$W_{тех} = q_{уд} \cdot N \cdot 10^{-3}, \quad (17)$$

где q<sub>уд</sub> - расход воды на мойку единицы подвижного состава, м<sup>3</sup> (принимаем q<sub>уд</sub> = 3 м<sup>3</sup>);

N - число единиц подвижного состава, подвергающихся мойке в месяц.

Расход воды на охлаждение производственного оборудования:

$$W_{об} = q_{уд} \cdot N_{об} \cdot T \cdot 10^{-3}, \quad (18)$$

где q<sub>уд</sub> - удельный расход воды на охлаждение оборудования, м<sup>3</sup>/час;

N<sub>об</sub> - число единиц производственного оборудования;

T – календарный фонд рабочего времени за месяц, при работе в одну смену T = 176 ч.

Расход воды на гидроуборку помещений:

$$W_{губ} = q_{уб} \cdot S \cdot n \cdot 10^{-3}, \quad (19)$$

где q<sub>уб</sub> - расход воды на мокрую уборку 1 м<sup>2</sup> площади (1 раз в сутки в течение 1 часа), q<sub>уб</sub> = 0,4 • 10<sup>-3</sup> м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>;

S - площадь помещений, в которых проводится гидроуборка, м<sup>2</sup>,

n - число рабочих дней за месяц, в которые производится гидроуборка помещений, n = 22.

**Задание:** Рассчитать ежемесячные затраты воды на производственные нужды для предприятия железнодорожного транспорта. Для решения задачи используйте данные таблицы 22.

Таблица 22 - Исходные данные к решению задачи

Исходные данные	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
N, число единиц подвижного состава.	30	23	24	27	28	25	29	34	33	32
N <sub>об</sub> , число единиц производственного оборудования	19	13	11	18	14	12	15	17	20	16
Q <sub>уд</sub> , удельный расход воды на охлаждение оборудования м <sup>3</sup> /час	0,15	0,12	0,14	0,13	0,14	0,12	0,13	0,16	0,18	0,17
S, площадь помещений, в которых проводится гидроуборка, м <sup>2</sup>	1700	1200	1000	1300	1500	1100	1400	1800	1900	1600

## Тема 5. Безотказность, ремонтопригодность, сохраняемость.

### Теоретическая часть

**Надежность** - важный показатель качества объекта. Его нельзя ни противопоставлять, ни смешивать с другими показателями качества. Явно недостаточной, например, будет информация о качестве очистительной установки, если известно только то, что она обладает определенной производительностью и некоторым коэффициентом очистки, но неизвестно, насколько устойчиво сохраняются эти характеристики при ее работе. Бесполезна также информация о том, что установка устойчиво сохраняет присущие ей характеристики, но неизвестны значения этих характеристик. Вот почему в определение понятия надежности входит выполнение заданных функций и сохранение этого свойства при использовании объекта по назначению.

В зависимости от назначения объекта оно может включать в себя в различных сочетаниях безотказность, долговечность, ремонтопригодность, сохраняемость. Например, для невосстанавливаемого

объекта, не предназначенного для хранения, надежность определяется его безотказностью при использовании по назначению. Информация о безотказности восстанавливаемого изделия, длительное время находящегося в состоянии хранения и транспортировки, не в полной мере определяет его надежность (при этом необходимо знать и о ремонтопригодности, и сохраняемости). В ряде случаев очень важное значение приобретает свойство изделия сохранять работоспособность до наступления предельного состояния (снятие с эксплуатации, передача в средний или капитальный ремонт), т.е. необходима информация не только о безотказности объекта, но и о его долговечности.

Техническая характеристика, количественным образом определяющая одно или несколько свойств, составляющих надежность объекта именуется показатель надежности. Он количественно характеризует, в какой степени данному объекту или данной группе объектов присущи определенные свойства, обусловливающие надежность. Показатель надежности может иметь размерность (например, среднее время восстановления) или не иметь ее (например, вероятность безотказной работы).

Надежность в общем случае - комплексное свойство, включающее такие понятия, как безотказность, долговечность, ремонтопригодность, сохраняемость. Для конкретных объектов и условий их эксплуатации эти свойства могут иметь различную относительную значимость.

Безотказность - свойство объекта непрерывно сохранять работоспособность в течение некоторой наработки или в течение некоторого времени.

Ремонтопригодность - свойство объекта быть приспособленным к предупреждению и обнаружению отказов и повреждений, к восстановлению работоспособности и исправности в процессе технического обслуживания и ремонта.

Долговечность - свойство объекта сохранять работоспособность до наступления предельного состояния с необходимым прерыванием для технического обслуживания и ремонтов.

Сохраняемость - свойство объекта непрерывно сохранять исправное и работоспособное состояние в течение (и после) хранения и (или) транспортировки.

Для показателей надежности используются две формы представления: вероятностная и статистическая. Вероятностная форма обычно бывает удобнее при априорных аналитических расчетах надежности, статистическая - при экспериментальном исследовании надежности технических систем. Кроме того, оказывается, что одни показатели лучше интерпретируются в вероятностных терминах, а другие - в статистических.

## Показатели безотказности и ремонтопригодности

**Наработка до отказа** - вероятность того, что в пределах заданной наработки отказ объекта не возникнет (при условии работоспособности в начальный момент времени).

Для режимов хранения и транспортировки может применяться аналогично определяемый термин "вероятность возникновения отказа".

Средняя наработка до отказа - математическое ожидание случайной наработки объекта до первого отказа.

Средняя наработка между отказами - математическое ожидание случайной наработки объекта между отказами.

Обычно этот показатель относится к установившемуся процессу эксплуатации. В принципе средняя наработка между отказами объектов, состоящих из стареющих во времени элементов, зависит от номера предыдущего отказа. Однако с ростом номера отказа (т.е. с увеличением длительности эксплуатации) эта величина стремится к некоторой постоянной, или, как говорят, к своему стационарному значению.

Средняя наработка на отказ - отношение наработки восстанавливаемого объекта за некоторый период времени к математическому ожиданию числа отказов в течение этой наработки.

Этим термином можно назвать кратко среднюю наработку до отказа и среднюю наработку между отказами, когда оба показателя совпадают. Для совпадения последних необходимо, чтобы после каждого отказа объект восстанавливался до первоначального состояния.

**Заданная наработка** - наработка, в течение которой объект должен безотказно работать для выполнения своих функций.

**Среднее время простоя** - математическое ожидание случайного времени вынужденного нерегламентированного пребывания объекта в состоянии неработоспособности.

**Среднее время восстановления** - математическое ожидание случайной продолжительности восстановления работоспособности (собственно ремонта).

Вероятность восстановления - вероятность того, что фактическая продолжительность восстановления работоспособности объекта не превысит заданной.

**Показатель технической эффективности функционирования** - мера качества собственно функционирования объекта или целесообразности использования объекта для выполнения заданных функций.

Этот показатель определяется количественно как математическое ожидание выходного эффекта объекта, т.е. в зависимости от на-

значения системы принимает конкретное выражение. Часто показатель эффективности функционирования определяется как полная вероятность выполнения объектом задачи с учетом возможного снижения качества его работы из-за возникновения частичных отказов.

**Коэффициент сохранения эффективности** - показатель, характеризующий влияние степени надежности к максимально возможному значению этого показателя (т.е. соответствующему состоянию полной работоспособности всех элементов объекта).

**Нестационарный коэффициент готовности** - вероятность того, что объект окажется работоспособным в заданный момент времени, отсчитываемый от начала работы (или от другого строго определенного момента времени), для которого известно начальное состояние этого объекта.

**Средний коэффициент готовности** - усредненное на заданном интервале времени значение нестационарного коэффициента готовности.

**Стационарный коэффициент готовности** (коэффициент готовности) - вероятность того, что восстанавливаемый объект окажется работоспособным в произвольно выбранный момент времени в установленномся процессе эксплуатации. (Коэффициент готовности может быть определен и как отношение времени, в течение которого объект находится в работоспособном состоянии, к общей длительности рассматриваемого периода. Предполагается, что рассматривается установленныйся процесс эксплуатации, математической моделью которого является стационарный случайный процесс. Коэффициент готовности является предельным значением, к которому стремятся и нестационарный, и средний коэффициенты готовности с ростом рассматриваемого интервала времени.

Часто используются показатели, характеризующие простой объект, - так называемые коэффициенты простого соответствующего типа. Каждому коэффициенту готовности можно поставить в соответствие определенный коэффициент простого, численно равный дополнению соответствующего коэффициента готовности до единицы. В соответствующих определениях работоспособность следует заменить на неработоспособность.

**Нестационарный коэффициент оперативной готовности** - вероятность того, что объект, находясь в режиме ожидания, окажется работоспособным в заданный момент времени, отсчитываемый от начала работы (или от другого строго определенного времени), и начиная с этого момента времени будет работать безотказно в течение заданного времени.

**Средний коэффициент оперативной готовности** - усредненное на заданном интервале значение нестационарного коэффициента оперативной готовности.

**Стационарный коэффициент оперативной готовности** (коэффициент оперативной готовности) - вероятность того, что восстанавливаемый элемент окажется работоспособным в произвольный момент времени, и с этого момента времени будет работать безотказно в течение заданного интервала времени. Предполагается, что рассматривается установившийся процесс эксплуатации, которому соответствуют в качестве математической модели стационарный случайный процесс.

**Коэффициент технического использования** - отношение средней наработки объекта в единицах времени за некоторый период эксплуатации к сумме средних значений наработки, времени простоя, обусловленного техническим обслуживанием, и времени ремонтов за тот же период эксплуатации.

**Интенсивность отказов** - условная плотность вероятности отказа невосстанавливаемого объекта, определяемая для рассматриваемого момента времени при условии, что до этого момента отказ не возник. Параметр потока отказов - плотность вероятности возникновения отказа восстанавливаемого объекта, определяемая для рассматриваемого момента времени. Параметр потока отказа может быть определен как отношение числа отказов объекта за определенный интервал времени к длительности этого интервала при ординарном потоке отказов.

**Интенсивность восстановления** - условная плотность вероятности восстановления работоспособности объекта, определенная для рассматриваемого момента времени, при условии, что до этого момента восстановление не было завершено.

#### **Показатели долговечности и сохраняемости**

**Гамма-процентный ресурс** - наработка, в течение которой объект не достигает предельного состояния с заданной вероятностью 1- ?.

**Средний ресурс** - математическое ожидание ресурса.

**Назначенный ресурс** - суммарная наработка объекта, при достижении которой эксплуатация должна быть прекращена независимо от его состояния.

**Средний ремонтный ресурс** - средний ресурс между смежными капитальными ремонтами объекта.

**Средний ресурс до списания** - средний ресурс объекта от начала эксплуатации до его списания.

**Средний ресурс до капитального ремонта** средний ресурс от начала эксплуатации объекта до его первого капитального ремонта.

**Гамма-процентный срок службы** - срок службы, в течение которого объект не достигает предельного состояния с вероятностью 1- ?.

**Средний срок службы** - математическое ожидание срока службы.

**Средний межремонтный срок службы** - средний срок службы между смежными капитальными ремонтами объекта.

**Средний срок службы до капитального ремонта** - средний срок службы от начала эксплуатации объекта до его первого капитального ремонта.

**Средний срок службы до списания** - средний срок службы от начала эксплуатации объекта до его списания.

**Гамма-процентный срок сохраняемости** - продолжительность хранения, в течение которой у объекта сохраняются установленные показатели с заданной вероятностью 1- ?.

**Средний срок сохраняемости** - математическое ожидание срока сохраняемости.

### **Виды надежности**

Многоцелевое назначение оборудования и систем приводит к необходимости исследовать те или другие стороны надежности с учетом причин, формирующих надежностные свойства объектов. Это приводит к необходимости подразделения надежности на виды.

Различают:

- аппаратурную надежность, обусловленную состоянием аппаратов; в свою очередь она может подразделяться на надежность конструктивную, схемную, производственно-технологическую;
- функциональную надежность, связанную с выполнением некоторой функции (либо комплекса функций), возлагаемых на объект, систему;
- эксплуатационную надежность, обусловленную качеством использования и обслуживания;
- программную надежность, обусловленную качеством программного обеспечения (программ, алгоритмов действий, инструкций и т.д.);
- надежность системы "человек-машина", зависящую от качества обслуживания объекта человеком-оператором.

### **Характеристики отказов**

Одним из основных понятий теории надежности является понятие отказа (объекта, элемента, системы). Отказ объекта - событие, заключающееся в том, что объект полностью или частично перестает выполнять заданные функции. При полной потере работоспособности возникает полный отказ, при частичной - частичный. Понятия полного и частичного отказов каждый раз должны быть четко сформулированы

перед анализом надежности, поскольку от этого зависит количественная оценка надежности.

**По причинам возникновения отказов в данном месте различают:**

- отказы из-за конструктивных дефектов;
- отказы из-за технологических дефектов;
- отказы из-за эксплуатационных дефектов;
- отказы из-за постепенного старения (износа).

Отказы вследствие конструктивных дефектов возникают как следствие несовершенства конструкции из-за "промахов" при конструировании. В этом случае наиболее распространенными являются недоучет "пиковых" нагрузок, применение материалов с низкими потребительскими свойствами, схемные "промахи" и др. Отказы этой группы сказываются на всех экземплярах изделия, объекта, системы.

Отказы из-за технологических дефектов возникают как следствие нарушения принятой технологии изготовления изделий (например, выход отдельных характеристик за установленные пределы). Отказы этой группы характерны для отдельных партий изделий, при изготовлении которых наблюдались нарушения технологии изготовления.

Отказы из-за эксплуатационных дефектов возникают по причине несоответствия требуемых условий эксплуатации, правил обслуживания действительным. Отказы этой группы характерны для отдельных экземпляров изделий.

Отказы из-за постепенного старения (износа) вследствие накопления необратимых изменений в материалах, приводящих к нарушению прочности (механической, электрической), взаимодействия частей объекта.

**Отказы по причинным схемам возникновения подразделяются на следующие группы:**

- отказы с мгновенной схемой возникновения;
- отказы с постепенной схемой возникновения;
- отказы с релаксационной схемой возникновения;
- отказы с комбинированными схемами возникновения.

Отказы с мгновенной схемой возникновения характеризуются тем, что время наступления отказа не зависит от времени предшествующей эксплуатации и состояния объекта, момент отказа наступает случайно, внезапно. Примерами реализации такой схемы могут служить отказы изделий под действием пиковых нагрузок в электрической сети, механическое разрушение посторонним внешним воздействием и т.п.

Отказы с постепенной схемой возникновения происходят за счет постепенного накопления вследствие физико-химических изменений в материалах повреждений. При этом значения некоторых "ре-

шающих" параметров выходят за допустимые границы и объект (система) не способен выполнять заданные функции. Примерами реализации постепенной схемы возникновения могут служить отказы вследствие снижения сопротивления изоляции, электрической эрозии контактов и т.п.

Отказы с релаксационной схемой возникновения характеризуются первоначальным постепенным накоплением повреждений, которые создают условия для скачкообразного (резкого) изменения состояния объекта, после которого возникает отказное состояние. Примерами реализации релаксационной схемы возникновения отказов могут служить пробой изоляции кабеля вследствие коррозионного разрушения брони.

Отказы с комбинированными схемами возникновения характерны для ситуаций, когда одновременно действуют несколько причинных схем. Примером, реализующим эту схему, может служить отказ двигателя в результате короткого замыкания по причинам снижения сопротивления изоляции обмоток и перегрева.

При анализе надежности необходимо выявлять преобладающие причины отказов и лишь затем, если в этом есть необходимость, учитывать влияние остальных причин.

По временному аспекту и степени предсказуемости отказы подразделяются на внезапные и постепенные.

По характеру устранения с течением времени различают устойчивые (окончательные) и самоустраниющиеся (кратковременные) отказы. Кратковременный отказ называется сбоем. Характерный признак сбоя - то, что восстановление работоспособности после его возникновения не требует ремонта аппаратуры. Примером может служить кратковременно действующая помеха при приеме сигнала, дефекты программы и т.п.

Для целей анализа и исследования надежности причинные схемы отказов можно представить в виде статистических моделей, которые вследствие вероятностного возникновения повреждений описываются вероятностными законами.

### **Виды отказов и причинные связи**

Отказы элементов систем являются основными предметами исследования при анализе причинных связей.

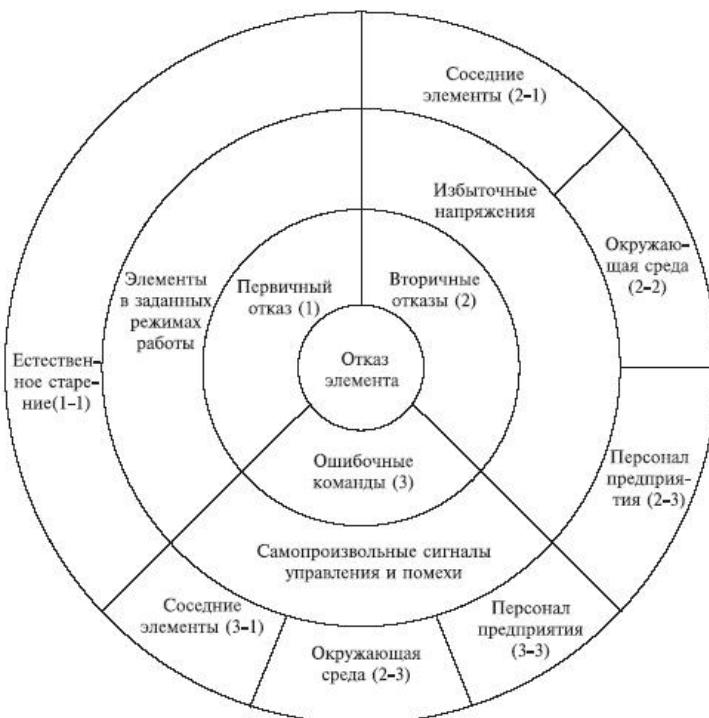
Как показано во внутреннем кольце (рис.4.1.2), расположенном вокруг "отказа элементов", отказы могут возникать в результате:

- 1) первичных отказов;
- 2) вторичных отказов;
- 3) ошибочных команд (инициированные отказы).

Отказы всех этих категорий могут иметь различные причины, приведенные в наружном кольце. Когда точный вид отказов определен и данные по ним получены, а конечное событие является критическим, то они рассматриваются как исходные отказы.

Первичный отказ элемента определяют как нерабочее состояние этого элемента, причиной которого является он сам, и необходимо выполнить ремонтные работы для возвращения элемента в рабочее состояние. Первичные отказы происходят при входных воздействиях, значение которых находится в пределах, лежащих в расчетном диапазоне, а отказы объясняются естественным старением элементов. Разрыв резервуара вследствие старения (усталости) материала служит примером первичного отказа.

Вторичный отказ - такой же, как первичный, за исключением того, что сам элемент не является причиной отказа. Вторичные отказы объясняются воздействием предыдущих или текущих избыточных напряжений на элементы. Амплитуда, частота, продолжительность действия этих напряжений могут выходить за пределы допусков или иметь обратную полярность и вызываются различными источниками энергии: термической, механической, электрической, химической, магнитной, радиоактивной и т.п. Эти напряжения вызываются соседними элементами или окружающей средой, например - метеорологическими (ливень, ветровая нагрузка), геологическими условиями (оползни, просадка грунтов), а также воздействием со стороны других технических систем.



**Рис. 4 Характеристики отказов элементов**

Примером вторичных отказов служит "срабатывание предохранителя от повышенного электрического тока", "повреждение емкостей для хранения при землетрясении". Следует отметить, что устранение источников повышенных напряжений не гарантирует возвращение элемента в рабочее состояние, так как предыдущая перегрузка могла вызвать необратимое повреждение в элементе, требующее в этом случае ремонта.

Инициированные отказы (ошибочные команды). Люди, например, операторы и обслуживающий технический персонал, также являются возможными источниками вторичных отказов, если их действия приводят к выходу элементов из строя. Ошибочные команды представляются в виде элемента, находящегося в нерабочем состоянии из-за неправильного сигнала управления или помех (при этом лишь иногда требуется ремонт для возвращения данного элемента в рабочее состояние). Самопроизвольные сигналы управления или помехи часто не оставляют последствий (повреждений), и в нормальных последующих режимах элементы работают в соответствии с заданными требованиями.

ми. Типичными примерами ошибочных команд являются: "напряжение приложено самопроизвольно к обмотке реле", "переключатель случайно не разомкнулся из-за помех", "помехи на входе контрольного прибора в системе безопасности вызвали ложный сигнал на остановку", "оператор не нажал на аварийную кнопку" (ошибочная команда от аварийной кнопки).

**Множественный отказ (отказы общего характера) есть событие, при котором несколько элементов выходят из строя по одной и той же причине. К числу таких причин могут быть отнесены следующие:**

- конструкторские недоработки оборудования (дефекты, не выявленные на стадии проектирования и приводящие к отказам вследствие взаимной зависимости между электрическими и механическими подсистемами или элементами избыточной системы);
- ошибки эксплуатации и технического обслуживания (неправильная регулировка или калибровка, небрежность оператора, неправильное обращение и т. п.);
- воздействие окружающей среды (влага, пыль, грязь, температура, вибрация, а также экстремальные режимы нормальной эксплуатации);
- внешние катастрофические воздействия (естественные внешние явления, такие, как наводнение, землетрясение, пожар, ураган);
- общий изготовитель (резервируемое оборудование или его компоненты, поставляемые одним и тем же изготовителем, могут иметь общие конструктивные или производственные дефекты. Например, производственные дефекты могут быть вызваны неправильным выбором материала, ошибками в системах монтажа, некачественной пайкой и т. п.);
- общий внешний источник питания (общий источник питания для основного и резервного оборудования, резервируемых подсистем и элементов);
- неправильное функционирование (неверно выбранный комплекс измерительных приборов или неудовлетворительно спланированные меры защиты).

Известен целый ряд примеров множественных отказов: так, некоторые параллельно соединенные пружинные реле выходили из строя одновременно и их отказы были вызваны общей причиной; вследствие неправильного расцепления муфт при техническом обслуживании два клапана оказались установлены в неправильное положение; из-за разрушения паропровода имели место сразу несколько отказов коммутационного щита. В некоторых случаях общая причина вызывает не полный отказ резервированной системы (одновременный отказ нескольких узлов, т.е. предельный случай), а менее серьезное

общее понижение надежности, что приводит к повышению вероятности совместного отказа узлов систем. Такое явление наблюдается в случае исключительно неблагоприятных окружающих условий, когда ухудшение характеристик приводит к отказу резервного узла. Наличие общих неблагоприятных внешних условий приводит к тому, что отказ второго узла зависит от отказа первого и спарен с ним.

Для каждой общей причины необходимо определить все вызываемые ею исходные события. При этом определяют сферу действия каждой общей причины, а также место расположения элементов и время происшествия. Некоторые общие причины имеют лишь ограниченную сферу действия. Например, утечка жидкости может ограничиваться одним помещением, и электрические установки, их элементы в других помещениях не будут повреждены вследствие утечек, если только эти помещения не сообщаются друг с другом.

Отказ считают по сравнению с другим более критичным, если его предпочтительнее рассматривать в первую очередь при разработке вопросов надежности и безопасности. При сравнительной оценке критичности отказов учитывают последствия отказа, вероятность возникновения, возможность обнаружения, локализации и т.д.

Указанные выше свойства технических объектов и промышленная безопасность - взаимосвязаны. Так, при неудовлетворительной надежности объекта вряд ли следует ожидать хороших показателей по его безопасности. В то же время, перечисленные свойства имеют свои самостоятельные функции. Если при анализе надежности изучается способность объекта выполнять заданные функции (при определенных условиях эксплуатации) в установленных пределах, то при оценке промышленной безопасности выявляют причинно-следственные связи возникновения и развития аварий и других нарушений с всесторонним анализом последствий этих нарушений.

### Устный опрос:

Надежность технических систем?

Основы теории надежности?

Основные термины и понятия?

### Темы для семинара:

Безотказность, ремонтопригодность, сохраняемость.

Показатель надежности.

## Решение задач.

### Критерии и количественные характеристики

#### Пример 1

Допустим, что на испытание поставлено 1000 однотипных электронных ламп. За 3000 ч отказалось 80 ламп, требуется определить вероятность безотказной работы  $P(t)$  и вероятность отказа  $Q(t)$  в течение 3000 ч

Дано:

$N = 1000$  шт.

$\Delta t = 3000$  ч

$n = 80$  шт.

Найти:

$P(t)$

$Q(t)$

Решение:

$$P(t) = \frac{N - n(t)}{N};$$

$$P(t) = \frac{1000 - 80}{1000} = 0,92;$$

$$Q(3000) = 1 - P(3000) = 0,08$$

$$Q(3000) = \frac{n(t)}{N} = \frac{80}{1000} = 0,08.$$

#### Пример 2

Допустим, что на испытание поставлено 1000 однотипных электронных ламп. За первые 3000 ч отказалось 80 ламп, а за интервал времени 3000–4000 ч отказалось еще 50 ламп. Требуется определить частоту  $f(\Delta t)$  и интенсивность  $\lambda(\Delta t)$  отказов электронных ламп в промежутке времени  $\Delta t = 3000–4000$  ч.

Дано:

$$N = 1000 \text{ шт.}$$

$$\Delta t_1 = 3000 \text{ ч}$$

$$n_1 = 80 \text{ шт.}$$

$$\Delta t_2 = [3000, 4000]$$

$$n_2 = 50 \text{ шт.}$$

Решение:

$$f(\Delta t_2) = \frac{n(\Delta t_2)}{N \cdot \Delta t_2};$$

$$f(\Delta t_2) = \frac{50}{1000 \cdot 1000} = 5 \cdot 10^{-5} \text{ ч}^{-1};$$

$$\lambda(\Delta t_2) = \frac{n(\Delta t_2)}{N_{CP} \cdot \Delta t_2},$$

$$N_{CP} = \frac{N_{PAB\ 1} + N_{PAB\ 2}}{2};$$

$$N_{PAB\ 1} = 1000 - 80 = 920 \text{ шт.};$$

$$N_{PAB\ 2} = 1000 - 130 = 870 \text{ шт.};$$

$$N_{CP} = \frac{(1000 - 80) + (920 - 50)}{2} = 895 \text{ шт.};$$

$$\lambda(\Delta t_2) = \frac{50}{895 \cdot 1000} = 5,58 \cdot 10^{-5} \text{ ч}^{-1}.$$

### Пример 3

На испытание поставлено  $N_0 = 400$  изделий. За время  $t = 3000$  ч отказалось  $n(t) = 200$  изделий, за интервал  $\Delta t = 100$  ч отказалось  $n(\Delta t) = 100$  изделий. Требуется определить вероятность безотказной работы за 3000 ч, вероятность безотказной работы за 3100 ч, вероятность безотказной работы за 3050 ч, частоту отказов  $f(3050)$ , интенсивность отказов  $\lambda(3050)$ .

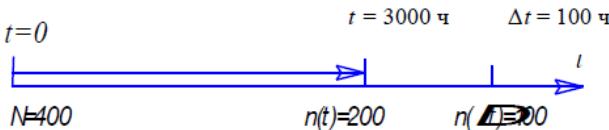


Рис. 1.3. Временной график

Дано:

 $N = 400$  шт. $t = 3000 \text{ ч}$  $n = 200$  шт. $\Delta t = 100 \text{ ч}$  $n(\Delta t) = 100$  шт.

Найти:

 $P(3000)$  $P(3100)$  $P(3050)$  $f(3050)$  $f(3000)$  $f(3100)$  $\lambda(3000)$  $\lambda(3050)$  $\lambda(3100)$ 

Решение:

Вероятность безотказной работы определяется по формуле

$$P(t) = \frac{N - n(t)}{N}.$$

Для  $t = 3000 \text{ ч}$  (начало интервала)

$$P(3000) = \frac{N_0 - n(3000)}{N_0} = \frac{400 - 200}{400} = 0,5.$$

Для  $t = 3100 \text{ ч}$  (конец интервала)

$$P(3100) = \frac{N_0 - n(3100)}{N_0} = \frac{400 - 300}{400} = 0,25.$$

Среднее время исправно работающих изделий в интервале  $\Delta t$ :

$$N_{cp} = \frac{N_t + N_{t+1}}{2} = \frac{200 + 100}{2} = 150.$$

Число изделий, отказавших за время  $t = 3050 \text{ ч}$ :

$$n(3050) = N_0 - N_{cp} = 400 - 150 = 250, \text{ тогда}$$

$$P(3050) = \frac{400 - 250}{400} = 0,375.$$

Определяется частота отказа:

$$f(3050) = \frac{n(\Delta t)}{N \cdot \Delta t}$$

$$f(3050) = \frac{100}{400 \cdot 100} = 0,0025 = 2,5 \cdot 10^{-4} \text{ ч}^{-1}.$$

Так же определяется частота отказов за интервалы 3000 и 3100 ч, причем началом интервалов является  $t = 0$ .

$$f(3000) = \frac{200}{400 \cdot 3000} = 0,000167 = 1,67 \cdot 10^{-4} \text{ ч}^{-1};$$

$$f(3100) = \frac{300}{400 \cdot 3100} = 0,00024 = 2,4 \cdot 10^{-4} \text{ ч}^{-1}.$$

Определяется интенсивность отказов:

а) в интервале  $\Delta t = 3050$  ч,  $\lambda(3050) = \frac{n(\Delta t)}{N_{cp} \cdot \Delta t}$ ;

$$\lambda(3050) = \frac{100}{150 \cdot 100} = 0,0067 = 6,7 \cdot 10^{-3} \text{ ч}^{-1};$$

б) в интервале  $\Delta t = 3000$  ч,  $N_{cp}(3000) = 400 - 100 = 300$  шт.;

$$\lambda(3000) = \frac{100}{300 \cdot 3000} = 0,000222 = 2,22 \cdot 10^{-4} \text{ ч}^{-1};$$

в) в интервале  $\Delta t = 3100$  ч,  $N_{cp}(3100) = 400 - 150 = 250$  шт.;

$$\lambda(3100) = \frac{100}{250 \cdot 3000} = 0,00039 = 3,9 \cdot 10^{-4} \text{ ч}^{-1}.$$

#### Пример 4

На испытание поставлено 10 изделий. За время  $t=1000$  ч вышло из строя  $n(t)=3$  штук изделий. За последующий интервал времени  $\Delta t=100$  ч вышло из строя  $n(\Delta t)=1$  штук изделий. Необходимо вычислить вероятность безотказной работы за время  $t$  и  $t + \Delta t$ , частоту отказов и интенсивность отказов на интервале  $\Delta t$ .

Дано:

$$N_0 = 10 \text{ шт.}$$

$$t = 1000 \text{ ч}$$

$$\Delta t = 100 \text{ ч}$$

$$n(t) = 3 \text{ шт.}$$

Решение:

Определяем вероятность безотказной работы.

$$P(t) = \frac{N_0 - n(t)}{N_0}; \quad P(1000) = \frac{10 - 3}{10} = 0,7$$

Вероятность безотказной работы за время  $t + \Delta t$ .

$n(\Delta t) = 1$ шт.	$P(1100) = \frac{N_0 - n(t)}{N_0}$	$P(1100) = \frac{10 - 4}{10} = 0,6$
Найти:	Найдем частоту отказов.	
$P(t) - ?$	$f(100) = \frac{n(\Delta t)}{N_0 \Delta t}$	$f(100) = \frac{1}{10 \cdot 100} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ ч}^{-1}$
$P(t+\Delta t) - ?$	Найдем интенсивность отказов.	
$f(t) - ?$	$\lambda(100) = \frac{n(\Delta t)}{\Delta t \cdot N_{cp}}$	$\lambda(100) = \frac{1}{100 \cdot \frac{(997+996)}{2}} = 1 \cdot 10^{-5} \text{ ч}^{-1}$
$\lambda(t) - ?$		
Ответ: $P(t)=0,7$ ; $P(t+\Delta t)=0,6$ ; $f(t)=1 \cdot 10^{-3} \text{ ч}^{-1}$ ; $\lambda(t)=1 \cdot 10^{-5} \text{ ч}^{-1}$ .		

### Пример 5

В течение некоторого периода времени производилось наблюдение за работой одного объекта. За весь период зарегистрировано  $n = 15$  отказов. До начала наблюдений объект проработал 258 ч, к концу наблюдения наработка составила 1233 ч. Определить среднюю наработку на отказ  $t_{cp}$ .

Дано:

$$n = 15$$

$$t_1 = 258 \text{ ч}$$

$$t_2 = 1233 \text{ ч}$$

Найти:

$$t_{cp}$$

Решение:

Наработка за указанный период составила

$$\Delta t = t_1 - t_2 = 1233 - 258 = 975 \text{ ч.}$$

Наработка на отказ по статистическим данным определяется по формуле

$$t_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n},$$

где  $t_i$  – время исправной работы между  $(i - 1)$  и  $i$  отказами;

$n$  – число отказов за некоторое время  $t$ .

Приняв  $\sum_{i=1}^n t_i = 975$  ч, можно определить среднюю наработку на

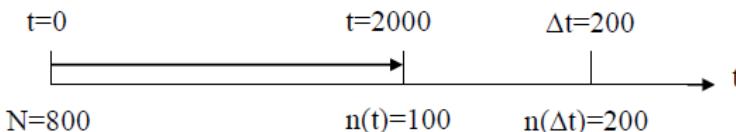
$$\text{отказ} \quad t_{cp} = \frac{975}{15} = 65 \text{ ч.}$$

### Задания для самостоятельной работы

#### 1 вариант

- На испытание поставлено 2000 изделий. За 4000 ч отказалось 100 изделий. Определить вероятность безотказной работы  $P(t)$  и вероятность отказа  $Q(t)$  в течение 4000 ч.

2. На испытание поставлено  $N=800$  изделий. За время  $t=2000$  ч отказалось  $n(t)=100$  изделий, за интервал  $\Delta t=200$  ч отказалось  $n(\Delta t)=200$  изделий. Определить вероятность безотказной работы за 2000 ч, вероятность безотказной работы за 2200 ч, вероятность безотказной работы за 2100 ч, частоту отказов  $f(2100)$ , интенсивность отказов  $\lambda(2100)$ .



### 2 вариант

1. На испытание поставлено  $N_0=20$  изделий. За время  $t=800$  ч вышло из строя  $n(t)=5$  штук изделий. За последующий интервал времени  $\Delta t=400$  ч вышло из строя 3 изделия. Необходимо вычислить вероятность безотказной работы за время  $t$  и  $t+\Delta t$ , частоту отказов и интенсивность отказов на интервале  $\Delta t$ .

2. В течение некоторого периода времени производилось наблюдение за работой одного объекта. За весь период зарегистрировано  $n=10$  отказов. До начала наблюдений объект проработал 325 ч, к концу наблюдения наработка составила 983 ч. Определить среднюю наработку на отказ  $t_{cp}$ .

### 3 вариант

1. Допустим, что на испытание поставлено 3000 однотипных электронных ламп. За первые 1000 ч отказалось 120 ламп, а за интервал времени 1000 – 2000 ч отказалось еще 70 ламп. Требуется определить частоту  $f(\Delta t)$  и интенсивность  $\lambda(\Delta t)$  отказов электронных ламп в промежутке времени  $\Delta t=1000 – 2000$  ч.

2. В течение времени  $\Delta t$  производилось наблюдение за восстанавливаемым изделием, и было зафиксировано  $n(\Delta t)=4$  отказа. До начала наблюдения изделие проработало в течение времени  $t_1=2200$  ч, общее время наработки к концу на-

блюдения составило  $t_2=6320$  ч. Требуется найти наработку на отказ.

#### **4 вариант**

1. Допустим, что на испытание поставлено 1000 однотипных электронных ламп типа 6Ж4. За первые 3000 ч отказалось 80 ламп. За интервал времени 3000 – 4000 ч отказалось еще 50 ламп. Требуется определить частоту  $f(\Delta t)$  и интенсивность  $\lambda(\Delta t)$  отказов ламп в промежутке времени  $\Delta t=3000 – 4000$  ч.
2. На испытание поставлено 400 изделий. За время  $t=3000$  ч вышло из строя 200 штук изделий. За последующий интервал времени  $\Delta t=100$  ч вышло из строя 100 изделий. Необходимо вычислить вероятность безотказной работы за время  $t$  и  $t+\Delta t$ , частоту отказов и интенсивность отказов на интервале  $\Delta t$ .

#### **5 вариант**

1. В течение 1000 ч из 10 гироскопов отказалось 2. За интервал времени 1000-1100 ч отказал еще один гироскоп. Требуется найти частоту и интенсивность отказов гироскопов в промежутке времени 1000-1100 ч.
2. На испытание поставлено 1000 изделий. За время  $t=3000$  ч вышло из строя 80 штук изделий. За последующий интервал времени  $\Delta t=1000$  ч вышло из строя 50 изделий. Необходимо вычислить вероятность безотказной работы за время  $t$  и  $t+\Delta t$ , частоту отказов и интенсивность отказов на интервале  $\Delta t$ .

#### **6 вариант**

1. На испытание поставлено 400 резисторов. За время наработки 10000 ч отказалось 4 резистора. За последующие 1000 ч отказал еще 1 резистор. Определить частоту и интенсивность отказов резисторов в промежутке времени 10000-11000 ч, а также вероятность безотказной работы и вероятность отказа резисторов за время 10000 ч.

2. На испытание поставлено 100 изделий. За время  $t=8000$  ч вышло из строя 50 штук изделий. За последующий интервал времени  $\Delta t=100$  ч вышло из строя 10 изделий. Необходимо вычислить вероятность безотказной работы за время  $t$  и  $t+\Delta t$ , частоту отказов и интенсивность отказов на интервале  $\Delta t$ .

### **7 вариант**

1. На испытание поставлено 10 изделий. За время  $t=1000$  ч вышло из строя 3 изделия. За последующий интервал времени  $\Delta t=100$  ч вышло из строя 2 изделия. Необходимо вычислить вероятность безотказной работы за время  $t$  и  $t+\Delta t$ , частоту отказов и интенсивность отказов на интервале  $\Delta t$ .
2. В течение времени  $\Delta t$  производилось наблюдение за восстанавливаемым изделием, и было зафиксировано 7 отказов. До начала наблюдения изделие проработало 770 ч, общее время наработки к концу наблюдения составило 4800 ч. Требуется найти наработку на отказ.

### **8 вариант**

1. На испытание поставлено 10 изделий. За время  $t=1000$  ч вышло из строя 3 изделия. За последующий интервал времени  $\Delta t=100$  ч вышло из строя 1 изделие. Необходимо вычислить вероятность безотказной работы за время  $t$  и  $t+\Delta t$ , частоту отказов и интенсивность отказов на интервале  $\Delta t$ .
2. В течение времени  $\Delta t$  производилось наблюдение за восстанавливаемым изделием, и было зафиксировано 2 отказа. До начала наблюдения изделие проработало 1200 ч, общее время наработки к концу наблюдения составило 5558 ч. Требуется найти наработку на отказ.

### **9 вариант**

1. На испытание поставлено 1000 изделий. За время  $t=0$  ч вышло из строя 0 изделий. За последующий интервал времени  $\Delta t=1000$  ч вышло из строя 20 изделий. Необходимо вычислить вероятность

безотказной работы за время  $t$  и  $t+\Delta t$ , частоту отказов и интенсивность отказов на интервале  $\Delta t$ .

2. В течение времени  $\Delta t$  производилось наблюдение за восстановляемым изделием, и было зафиксировано 12 отказов. До начала наблюдения изделие проработало 300 ч, общее время наработки к концу наблюдения составило 540 ч. Требуется найти наработку на отказ.

### **10 вариант**

1. На испытание поставлено 1000 изделий. За время  $t=1000$  ч вышло из строя 20 изделий. За последующий интервал времени  $\Delta t=1000$  ч вышло из строя 25 изделий. Необходимо вычислить вероятность безотказной работы за время  $t$  и  $t+\Delta t$ , частоту отказов и интенсивность отказов на интервале  $\Delta t$ .

2. В течение времени  $\Delta t$  производилось наблюдение за восстановляемым изделием, и было зафиксировано 5 отказов. До начала наблюдения изделие проработало 540 ч, общее время наработки к концу наблюдения составило 1200 ч. Требуется найти наработку на отказ.

## **Тема 6. Выявление основных опасностей на ранней стадии проектирования.**

Определение общих параметров. Исследования в предпусковой период.

### **Теоретическая часть**

Желательно выявлять опасности крупных аварий, включая возможности взаимодействия между установками, которые могут иметь катастрофические последствия, на самой ранней стадии разработки проекта, что позволяет значительно облегчить дальнейшие исследования опасности и эксплуатационной пригодности на последующих стадиях проекта.

**Главным требованием является выявление основных опасностей, которое может быть осуществлено после установления определенных общих параметров:**

1. Материалы - сырье, исходные материалы, промежуточные материалы, продукция (продукты реакции), исходящие потоки газа или жидкости.

2. Производственные операции (технологический процесс).

3. Местоположение проектируемой системы - размещение между производственными операциями, пространственные соотношения с другими системами.

Эти общие параметры должны затем рассматриваться поочередно в процессе использования контрольных перечней потенциальных опасностей. Например, контрольные перечни, разработанные для обследования большинства технологических установок, включают следующие опасности: пожар, взрыв, детонацию, токсичность, коррозию, радиацию, шум, вибрацию, ядовитый (вредный) материал, поражение электротоком, механическое повреждение.

Для отдельных процессов можно дополнительно рассматривать и другие опасности.

Когда потенциальные опасности рассматриваются поочередно применительно к общим параметрам, любая значимая комбинация может служить признаком большей опасности, которая затем должна рассматриваться в соответствии с перечнем принципиальных решений.

**Приведем несколько примеров для иллюстрации процедуры.**

Значимая комбинация параметров ПРОМЕЖУТОЧНОГО ПРОДУКТА X и ПОЖАРА может показать, что пределы воспламеняемости вещества неизвестны и должны быть получены до того, как будет начато проектирование сушилки.

Значимая комбинация параметров ИСХОДНОГО МАТЕРИАЛА, ПОЖАРА и ХРАНЕНИЯ ЖИДКОГО АЗОТА может привести к перепланировке хранилища материалов.

Описанная процедура исследования может быть очень быстро выполнена небольшой группой опытных специалистов.

Такой подход с использованием контрольных перечней позволяет обеспечить сочетаемость различных установок на ранней стадии проектирования и может применяться для оценки взаимодействия между системами, а также между системой и окружающей средой.

Проверки с целью выявления значимых опасностей следует проводить при наличии достаточного количества времени для внесения принципиальных изменений в концепцию проекта. При проведении более детального исследования опасности и эксплуатационной готовности на более поздней стадии следует выявлять только менее значительные опасности, не требующие серьезных изменений методов работы для их устранения.

## **Исследования в предпусковой период.**

**Проведение такого исследования целесообразно при следующих условиях, когда:**

- 1) на очень поздней стадии проектирования произошло существенное изменение в назначении устройства;
- 2) инструкции по эксплуатации очень рискованные;
- 3) новая установка является копией существующей системы, в которую внесены изменения, касающиеся, в основном, технологического процесса, а не самой конструкции.

Необходимо убедиться в том, что схемы и технологические карты точно описывают построенную установку.

### **Вопросы к устному опросу :**

**Системный подход к анализу возможных отказов?**

**Определение опасности и опасных состояний системы?**

**Метод преобразования. Анализ возможных отказов?**

**Выявление основных опасностей на ранней стадии проектирования?**

**Определение общих параметров?**

**Исследования в предпусковой период?**

## **Задача 1**

### **Расчет предельно допустимого сброса вещества в водный объект**

Предельно допустимый сброс в водный объект (ПДС) - масса веществ или микроорганизмов в сточных водах, максимально допустимая к отведению с установленным режимом в данном пункте водного объекта в единицу времени с целью обеспечения норм качества воды в контрольном створе. Значение ПДС, г/с, или г/ч, или т/год, с учетом требований к составу и качеству воды в водном объекте определяется как произведение наибольшего расхода сточных вод (обычно среднечасового)  $q$ , м<sup>3</sup>/с, и разрешенной предельной концентрации вредного вещества в сточных водах СПДС, г/м<sup>3</sup>. При расчете усло-

вий сброса сточных вод сначала находится значение СПДС, обеспечивающее нормативное качество воды в контрольных сбросах, а затем – ПДС.

$$\text{ПДС} = q \cdot \text{СПДС}, \quad (12)$$

$$\text{СПДС} = n \cdot (\text{ПДК} - \text{Сф}) + \text{Сф}, \quad (13)$$

где  $n$  – кратность общего разбавления;  
 $\text{ПДК}$  – предельно допустимая концентрация загрязняющего вещества,  $\text{г}/\text{м}^3$ ;  
 $\text{Сф}$  - фоновая концентрация загрязняющего вещества в контролируемом створе,  $\text{г}/\text{м}^3$ .

**Задание:** Рассчитать предельно допустимый сброс в водный объект для загрязняющих веществ. Для решения задачи используйте данные таблицы 23 и 24

Таблица 23 - Исходные данные к решению задачи

Вариант	Наименование загрязняющего вещества	Фоновая концентрация загрязняющего вещества, г/м <sup>3</sup>	Расход сточных вод, м <sup>3</sup> /с	Кратность общего разбавления
1	2	3	4	5
1	Алюминий	0,01	2,3	30
	Бензол	0,02	1,2	160
	Никель	0,04	1,6	100
	Нитраты (по NO <sub>3</sub> )	5	2,5	20
	Ртуть	0,0001	1,1	200
2	Барий	0,01	2,4	210
	Натрий	30	3,6	40
	Никель	0,02	1,1	140
	Нитриты (по NO <sub>2</sub> )	1,0	2,0	80
	Свинец	0,002	0,8	200
3	Титан	0,05	1,2	230
	Уксусная кислота	0,4	3,5	100
	Железо	0,08	2,3	80
	Цинк	0,1	5,0	40
	Бензин	0,05	2,1	130
4	Барий	0,02	2,3	90
	Бензол	0,1	1,2	140
	Нитриты (по NO <sub>2</sub> )	1,2	2,1	200
	Ртуть	0,0001	0,8	160
	Сурьма	0,01	1,1	170
5	Железо	0,1	3,0	70
	Цинк	0,06	2,3	120
	Уксусная кислота	0,1	1,6	150
	Бензин	0,02	0,9	200
	Сульфаты (по SO <sub>4</sub> )	150	4,0	110
6	Медь	0,2	1,2	220
	Нефть	0,03	3,0	60
	Сульфаты (по SO <sub>4</sub> )	120	4,1	90
	Толуол	0,01	0,6	100
	Таллий	0,0001	2,1	210

7	Алюминий Бензол Литий Натрий Ртуть	0,02 0,04 0,01 20 0,0002	1,8 0,6 2,1 4,0 3,7	210 230 100 60 90
8	Сульфаты (по SO <sub>4</sub> ) Аммоний сульфат Марганец Медь Фенол	80 0,1 0,01 0,08 0,0003	4,0 1,2 0,4 2,4 3,0	70 120 230 160 90
9	Аммоний сульфат Марганец Нефть Углерод дисуль- фид Фенол	0,2 0,02 0,04 0,2 0,0005	4,1 3,6 2,5 1,8 0,7	70 120 160 230 310
10	Бензол Литий Натрий Нитраты (по NO <sub>3</sub> ) Свинец	0,01 0,001 40 12 0,0005	5,0 1,2 2,5 3,7 3,5	90 120 210 100 200

Таблица 24 - Перечень предельно допустимых концентраций веществ для водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования

Наименование вещества	Формула	Величина ПДК (мг/л)	Лимитирующий показатель вредности	Класс опасности
Алюминий	Al	0,5	санитарно-токсикологический	2
Аммоний сульфат (по азоту)	$H_8N_2O_4S$	1,0	органолептический	3
Барий	Ba	0,1	санитарно-токсикологический	2
Бензин		0,1	органолептический	3
Бензол	$C_6H_6$	0,5	санитарно-токсикологический	2
Железо	Fe	0,3	органолептический	3
Литий	Li	0,03	санитарно-токсикологический	2
Марганец	Mn	0,1	органолептический	3
Медь	Cu	1,0	органолептический	3
Натрий	Na	200,0	санитарно-токсикологический	2
Нефть		0,3	органолептический	4
Никель	Ni	0,1	санитарно-токсикологический	3
Нитраты (по $NO_3$ )		45,0	санитарно-токсикологический	3
Нитриты (по $NO_2$ )		3,3	санитарно-токсикологический	2
Ртуть	Hg	0,0005	санитарно-токсикологический	1
Свинец	Pb	0,03	санитарно-токсикологический	2
Сульфаты (по $SO_4$ )		500,0	органолептический	4
Сурьма	Sb	0,05	санитарно-токсикологический	2
Таллий	Tl	0,0001	санитарно-токсикологический	1
Титан	Ti	0,1	общесанитарный	3
Толуол	$C_7H_8$	0,5	органолептический	4
Углерод дисульфид	$CS_2$	1,0	органолептический	4
Уксусная кислота	$C_2H_4O_2$	1,0	общесанитарный	4
Фенол	$C_6H_6O$	0,001	органолептический	4
Цинк	Zn	1,0	общесанитарный	3

## Тема 7. Предварительный анализ опасностей.

Элементы системы безопасности. Оценка возможности развития опасностей. Оценка крупных производственных аварий. Планирование мер смягчения последствий аварии.

### Теоретическая часть

Целью предварительного анализа опасностей (ПАО) является определение системы, части системы (оборудование, резервуары, продуктопроводы и т. п.); или отдельного элемента, топографии и выявление в общих чертах потенциальных опасностей или отдельных опасных состояний (перегрузка, разгерметизация, утечка, потеря устойчивости или несущей способности и т.д.), которые могут привести к опасным событиям, т.е. определение участка системы, где требуется более подробный анализ.

Следуя энергоэнтропийной концепции опасностей, риск будет связан с бесконтрольным освобождением энергии или утечками токсических веществ. Поскольку одни части системы (предприятия, производства и т.д.) представляют большую опасность, чем другие, поэтому в самом начале анализа следует разбить предприятие (технологическую линию, технологический процесс и т.п.) на подсистемы, для того чтобы выполнить предварительный анализ опасностей в следующей логической последовательности:

**Шаг 1.** Определение потенциальных источников опасностей - системы, части системы или элементы, которые могут вызвать опасности (энергетические установки, трубопроводы, химические реакторы, емкости, сосуды под давлением, новые технологии и др.).

**Шаг 2.** Выявление опасностей - возможные пожары, взрывы, утечки токсичных веществ и т.д., которые маловероятны и еще не приводили к авариям.

**Шаг 3.** Введение ограничения на анализ - исключение из списка опасностей, проявление которых неосуществимо, или части системы, в которых осуществление опасностей практически невозможно.

Процедура ПАО нередко включает в себя не только предварительное выявление элементов системы или событий, которые ведут к опасным ситуациям - задачи анализа расширяются с использованием количественных (формализованных) приемов сравнения, включением в рассмотрение последовательности событий, превращающих опасности в происшествия, а также корректирующих мероприятий (контрмер) для устранения опасности.

Таким образом, результатом ПАО будут: перечень опасностей, место или элемент системы и корректирующие воздействия. На этой основе в дальнейшем разворачивается детальный количественный ана-

лиз. Другими словами - выявляются приоритеты и виды опасностей, которые следует рассматривать более подробно.

**Структура качественного исследования при ПАО выглядит следующим образом.**

1. Система, подсистема или элемент - аппаратура, механизм или функциональный элемент, технологические операции, подвергающиеся анализу.

2. Ситуация - соответствующая фаза работы аппаратуры, механизма, элемента или вид технологической операции.

3. Опасный элемент - анализируемый элемент аппаратуры, механизма или технологическая операция, являющиеся по своей природе опасными.

4. Причина, вызывающая опасное состояние, - нежелаемое событие или ошибка, которые могут быть причиной того, что опасный элемент вызовет определенное опасное состояние.

5. Опасные условия - результат взаимодействия элементов в системе и система в целом, при котором может быть создано опасное состояние.

6. Событие, вызывающее опасные условия, - нежелательные события или дефекты, которые могут вызвать опасное состояние, ведущее к определенному типу возможной аварии.

7. Потенциальная авария. Рассматривается любая возможная авария, которая возникает в результате определенного опасного состояния.

8. Последствия. Рассматриваются возможные последствия потенциальной аварии в случае ее возникновения.

9. Класс опасности. **Выполняется качественная оценка потенциальных последствий для каждого опасного состояния в соответствии со следующими критериями:**

**Класс I** - безопасный. Состояние, связанное с ошибками персонала, недостатками конструкции или ее несоответствием проекту, а также неправильной работой, которое не приводит к существенным нарушениям и не вызывает повреждения оборудования и несчастных случаев с людьми.

**Класс II** - граничный (предельно допустимый): состояние, связанное с ошибками персонала, недостатками конструкции, ее неправильным функционированием или несоответствием проекту, которое приводит к нарушениям в работе, но может быть компенсировано или взято под контроль без повреждений оборудования или несчастных случаев с персоналом.

**Класс III** - критический: состояние, связанное с ошибками персонала, недостатками конструкции или несоответствием проекту, а также неправильным ее функционированием, приводящее к существ-

венным нарушениям в работе, повреждению оборудования и создающее опасную ситуацию, требующую немедленных мер по спасению персонала и оборудования.

**Класс IV** - катастрофический: состояние, связанное с ошибками персонала, недостаткам конструкции или ее несоответствием проекту, а также неправильным ее функционированием, полностью нарушающее работу и приводящее к последующему разрушению системы и (или) гибели или массовому травмированию персонала.

10. Мероприятия для предотвращения аварии. Рекомендуемые защитные меры для исключения или ограничения выявленных опасных состояний и (или) потенциальных аварий - требования к элементам конструкций, введение защитных приспособлений, изменение конструкций, введение инструкций для персонала и др. меры.

Результаты качественного анализа при проведении ПАО заносятся в таблицу. Содержание этой формы носит описательный характер с перечислением как отдельных событий, так и вводимых корректирующих действий, которые могут быть предприняты. По усмотрению исследователя пункты таблицы могут соответствовать приведенной структуре или несколько изменяться - все зависит от поставленных задач, рассматриваемой системы и условий окружающей среды

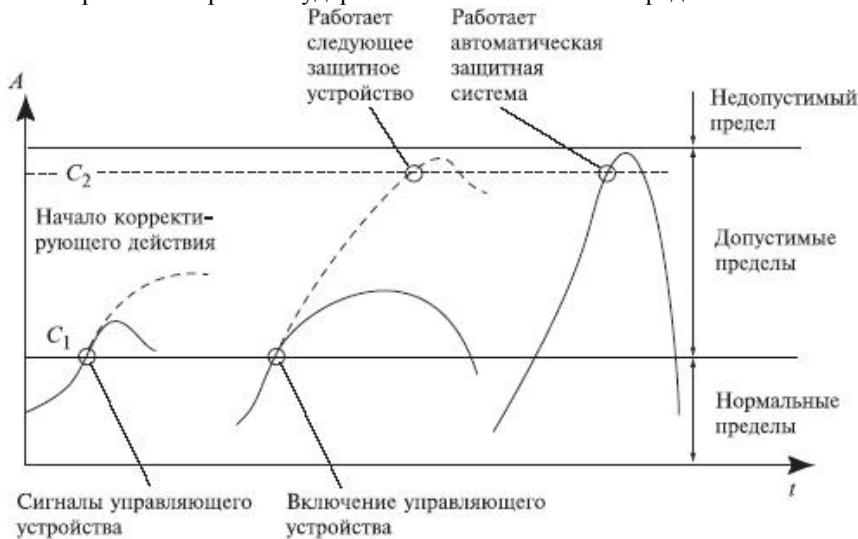
### **Технические системы безопасности**

Учитывая мощности современных технических систем, технологических линий или отдельных агрегатов, сложность алгоритмов управления ими, трудно ожидать от обслуживающего персонала без ошибочной ориентации в каждой возможной аварийной ситуации и правильных оперативных действий, направленных на ликвидацию нарушений хода технологического процесса и предупреждение появляющихся опасностей. В связи с этим в состав сложной и потенциально опасной технической системы, помимо подсистемы автоматического регулирования, обеспечивающей при нормальном режиме работы поддержание параметров в заданных пределах, обязательно входит система защиты и блокировки, призванная путем автоматического переключения и введения резервного оборудования, снижения мощности или останова агрегата предотвратить развитие аварии. Таким образом, защита применяется для предотвращения повреждения и выхода из строя системы при возникновении аварийных режимов ее работы путем автоматического отключения (защита на отключение) или подачи сигналов (защита на сигнал). Различают защиту, основанную на непосредственном контроле за режимами работы систем или их элементов, и защиту при косвенном контроле за режимом работы оборудования,

например: по параметрам привода, в частности электродвигателей; по характеристикам вибрации системы и др. Защита тесно связана с контролем и сигнализацией, например при изменении контролируемого параметра сначала может быть сформирован предупреждающий сигнал, а затем срабатывает защита.

Если промышленная система спроектирована так, что она может выдерживать все нагрузки, возникающие в процессе обычных или предполагаемых экстремальных условий работы, то задачей системы контроля производственных процессов должно быть обеспечение безопасной работы установки в заданных пределах. Для этого можно использовать такие системы, как ручное управление, автоматический контроль, системы автоматического выключения, предохранительные устройства, системы аварийной сигнализации.

Основная идея безопасности производственного процесса заключается в том, чтобы надежно обеспечивать безопасные условия его работы. На рис. 5 показано, как при помощи системы контроля переменные характеристики производственного процесса в случае нарушения нормального режима удерживаются в безопасных пределах.



**Рис. 5. Схема работы защитных устройств в системе тройного контроля: A - переменные характеристики процесса; t - время**

Переменными в контролируемом процессе могут быть температура, давление, скорость потока, соотношение некоторых компонентов смеси, скорость повышения температуры, понижения или повыше-

ния давления. Системы тройного контроля или защиты действуют следующим образом.

Первая система. Как только переменные системы достигнут значения, превышающего установленный предел (С1), это регистрируется специальным сигналом на устройстве управления, после чего производится коррекция (чаще всего оператором вручную). Если этого действия не производится, и процесс при этом все же не создает опасных условий, включение следующей системы не происходит.

Вторая система. Когда переменная величина показателя процесса превышает предельное значение (С2), автоматически включается система контроля, возвращающая эту переменную величину в диапазон её нормальных значений. Если этого сделать не удается, переменная величина показателя процесса может достичь таких значений, которые могут вызвать аварийную ситуацию.

В этом случае появляется необходимость применения других предохранительных устройств, например разрывных мембран или предохранительных клапанов, действующих по принципу сброса давления, сливных емкостей и охлаждающих устройств.

Третья система. При отсутствии предохранительных устройств с упомянутыми характеристиками в случае, когда переменная величина показателя процесса достигает значений, при которых повышается вероятность крупной аварии, становится необходимым установка независимой защитной системы, автоматически включающейся при нарушениях процесса, чреватых аварией.

Примером такой системы является терморегуляционное устройство, регистрирующее превышение оптимальной температуры в процессе химических реакций. Как только достигается критическая температура, система включает дополнительное охлаждение процесса и добавляет в химическую смесь вещество, останавливающее реакцию.

Чтобы такая система работала надежно, следует постоянно следить за работой всех активных составных частей оборудования, т.е. насосов, компрессоров, вентиляторов, которые в нужный момент должны срабатывать так, чтобы можно было избежать аварии.

Для того чтобы работающий персонал мог полагаться не только на автоматические системы защиты, последние должны использоваться в сочетании с акустическими или световыми сигнальными устройствами. Более того, персонал должен быть хорошо обучен самостоятельно распознавать различные режимы работы оборудования, а также отдавать себе отчет в важности систем контроля.

Необходимо помнить о том, что любая система контроля может не всегда правильно срабатывать в фазах включения и выключения производственного процесса. Поэтому этим фазам следует уделять особое внимание.

## ЛОКАЛЬНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И СРЕДСТВА БЕЗОПАСНОСТИ

Отказ любой промышленной установки, входящей в систему, может привести к отказу всей системы и к аварии. Ниже кратко описываются варианты типовых локальных систем и средств безопасности для отдельных узлов, агрегатов, установок и т.п. и их назначение.

### **Системы предотвращения отклонений от допустимых рабочих режимов**

Системы сброса давления. Разрывные мембранны и клапаны безопасности обеспечивают аварийный выпуск вещества из реакционного сосуда в атмосферу. Если выброшенное вещество образует взрывоопасную смесь с воздухом, необходимо не допустить его контакта с возможными источниками огня до того, как будет достигнут нижний концентрационный предел взрывоопасности. Если произошел выброс токсичного вещества, оно должно быть отведено во вспомогательную систему, например в нагнетательные адсорбера, скруббера или установки каталитического дожигания.

Датчики температуры и давления потока предназначены для автоматического аварийного включения систем аварийного охлаждения, остановки реакции или перепускной системы.

Системы, препятствующие переполнению. Устройства контроля уровня веществ предотвращают переполнение сосудов; они автоматически прекращают подачу потока вещества и обеспечивают его отвод.

Системы аварийного выключения оборудования. Это системы, отключающие производственное оборудование (например, насосы и компрессоры), открывающие или закрывающие быстродействующие клапаны с тем, чтобы обеспечить безопасность и целостность систем и всего предприятия. Эти системы могут приводиться в действие как вручную, так и автоматически.

### **Системы, предотвращающие разрушение деталей и узлов систем безопасности**

Элементы и узлы систем безопасности должны быть оборудованы устройствами, обеспечивающими надежность их работы, в зависимости от важности их функций. В промышленных установках могут действовать различные системы, дублирующие функции этих узлов, или могут использоваться аналогичные дополнительные системы, например второй охлаждающий насос.

### **Системы энергоснабжения**

Системам снабжения, таким как электроснабжения систем контроля, подачи сжатого воздуха в аппаратуру или подачи азота в

качества инертного газа, может потребоваться второй источник питания, например аккумуляторные батареи, буферная емкость или дополнительный комплект баллонов для сжатого воздуха в случае неисправности основных источников.

### **Системы аварийной сигнализации**

Эти системы (в которых используются сенсорные датчики) позволяют оператору определить причину неисправности при ее обнаружении.

#### **Такие системы используются для:**

- а) управления параметрами процесса (например, температурой, давлением, скоростью потока, его количеством, уровнем, соотношением веществ в смеси, содержанием кислорода);
- б) обнаружения неисправностей в узлах системы (насосах, смесителях, компрессорах, вентиляторах и др.);
- в) обнаружения утечек (газовые детекторы, эксплозиметры);
- г) обнаружения открытого огня или дыма;
- д) обнаружения повреждения защитных устройств.

### **Защитная автоматика**

В зависимости от типа и назначения систем используются механические, термические, электромагнитные средства (защита, основанная на непосредственном контроле) и различные реле (защита, основанная на косвенном контроле). Распространенным видом защиты является релейная, которая в основном предназначена для защиты электрооборудования. При срабатывании защиты поврежденный элемент или система автоматически отключается (защита на отключение) или появляется световой (звуковой) сигнал (защита на сигнал). Применяется также защита в виде прекращения подачи электроэнергии или сжатого воздуха к объекту.

Разработка систем защитной автоматики основана на использовании ряда разделов теории управления и регулирования: теории информации и массового обслуживания (в системах автоматического контроля и сигнализации); теоретических основ электротехники (в системах защиты энергосистем и электрических цепей); синтеза релейно-контактных схем (в системах релейной защиты и блокировки). Развитие этих систем связано в настоящее время с использованием микропроцессорной техники.

### **Технические средства защиты**

Работу систем безопасности на предприятии должны обеспечивать технические средства, за счет которых можно ослабить последствия несчастных случаев. **К ним относятся:**

- а) газовые детекторы;
- б) системы распыления воды (для охлаждения цистерн или для тушения пожара);

- в) струйно-водяные установки;
- г) системы для распыления пара;
- д) коллекторные сборники.

**Способы предотвращения человеческих и организационных ошибок**

Человеческие ошибки могут стать причиной крупных аварий. Поэтому их предотвращение должно расцениваться как один из важнейших аспектов обеспечения безопасности. **В этой связи можно, например, на химическом предприятии предпринимать следующие меры:**

- а) применять загрузочные шланги с разными соединительными штуцерами на установках по загрузке автомобилей-цистерн для предотвращения смешивания реактивных веществ (например, серной и азотной кислот);
- б) исключить возможность путаницы при определении места соединения монтажных проводов путем надлежащей маркировки и соответствующих разъемов;
- в) обеспечить блокировку предохранительных клапанов и выключателей, которые не должны работать одновременно;
- г) вести четкую маркировку переключателей, кнопок и панелей управления;
- д) организовать надежную систему коммуникаций для работающего персонала;
- в) использовать предохранительные устройства, исключающие случайные переключения; ж) проводить обучение работающего персонала.

**Тестирование:**

1.1. Из показателей долговечности и сохраняемости, средний срок службы от начала эксплуатации объекта до его первого капитального ремонта, это:

- средний межремонтный срок службы;
- средний срок службы до списания;
- гамма-процентный срок сохраняемости;
- гамма-процентный срок службы;
- средний срок службы до капитального ремонта.

**Выбор одного из многих:**

1.2 . Многократно возникающий самоустраниющийся отказ объекта одного и того же характера, называется:

- зависимый отказ;
- независимый отказ;
- перемежающийся отказ (сбой);
- внезапный отказ;
- постепенный.

**Выбор одного из многих:**

1.3 Отношение средней наработки объекта в единицах времени за некоторый период эксплуатации к сумме средних значений наработки, времени простоя, обусловленного техническим обслуживанием, и времени ремонтов за тот же период эксплуатации, это:

- нестационарный коэффициент оперативной готовности;
- коэффициент сохранения эффективности;
- коэффициент технического использования;
- средний коэффициент оперативной готовности;
- стационарный коэффициент оперативной готовности.

**Выбор одного из многих:**

1.4 Какая временная характеристика объекта обозначает наработку объекта от начала его эксплуатации до достижения предельного состояния:

- технический ресурс;
- суммарная наработка;
- срок службы;

- срок сохраняемости;
- эксплуатацией объекта.

**Выбор одного из многих:**

1.5 Деление системы на элементы НЕ зависит от:

- характера рассмотрения;
- количества звеньев системы;
- требуемой точности проводимого исследования;
- уровня наших представлений;
- объекта в целом.

**Выбор одного из многих:**

1.6 Параметр потока отказа может быть определен как:

- отношение числа отказов объекта за определенный интервал времени к длительности этого интервала при ординарном потоке отказов;
- плотность вероятности возникновения отказа восстанавливаемого объекта, определяемая для рассматриваемого момента времени;
- условная плотность вероятности восстановления работоспособности объекта, определенная для рассматриваемого момента времени, при условии, что до этого момента восстановление не было завершено;
- условная плотность вероятности отказа невосстанавливаемого объекта, определяемая для рассматриваемого момента времени при условии, что до этого момента отказ не возник;
- усредненное на заданном интервале значение нестационарного коэффициента оперативной готовности.

**Выбор одного из многих:**

1.7 Отказ, характеризующийся скачкообразным изменением значений

одного или нескольких заданных параметров объекта, называется:

- зависимый отказ;
- независимый отказ;
- перемежающийся отказ (сбой);
- внезапный отказ;
- постепенный.

**Выбор одного из многих:**

1.8 Техническое изделие определенного целевого назначения, рассматриваемое в периоды проектирования, производства, испытаний и эксплуатации называется:

- звено системы;
- устройство;
- объект;
- элемент системы;
- механизм.

**Выбор одного из многих:**

1.9 Как измеряется наработка:

- в единицах времени;
- в циклах;
- в единицах выработки;
- в других единицах;
- во всех перечисленных.

**Выбор одного из многих:**

1.10 При параллельном соединении элементов:

- отказ хотя бы одного элемента приводит к отказу всей системы;
- система может переходить из одного состояния в другое;
- элемент, работоспособный в одних условиях, может, оставаясь исправным, оказаться неработоспособным в других;
- отказ системы, не обусловлен отказом одного объекта;
  
- отказ наступает лишь при одновременном отказе всех элементов, а остальные состояния  $Z^1$ ,  $Z^2$ ,  $Z^3$  представляют собой состояние работоспособности системы  $Z$ .

**Выбор одного из многих:**

1.11 На какое(-ие) состояние(-я) подразделяется фазовое пространство при исследовании надежности:

- работоспособность;
- отказ;
- работоспособность и отказ;
- исправность;
- дефект.

**Выбор одного из многих:**

1.12 Из показателей долговечности и сохраняемости, суммарная наработка объекта, при достижении которой эксплуатация должна быть прекращена независимо от его состояния, это:

- средний ремонтный ресурс;
- гамма-процентный срок сохраняемости;

- назначенный ресурс;
- гамма-процентный ресурс;
- средний срок сохраняемости.

**Выбор одного из многих:**

1.13 Отказ, характеризующийся медленным изменением значений параметра объекта, называется:

- зависимый отказ;
- независимый отказ;
- перемежающийся отказ (сбой);
- внезапный отказ;
- постепенный.

**Выбор одного из многих:**

1.14 Исправное состояние объекта это:

- это такое состояние, при котором объект соответствует хотя бы одному требованию нормативно-технической и конструкторской документации;
- состояние объекта до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонта;
- восстановление исправного или работоспособного состояний;
- это такое состояние, при котором объект соответствует всем требованиям нормативно-технической и конструкторской документации;
- вероятность того, что восстанавливаемый элемент окажется работоспособным в произвольный момент времени.

**Выбор одного из многих:**

1.15 Дефект- это событие, заключающееся в :

- в нарушении исправного состояния объекта;
- в нарушении исправного состояния объекта, но сохраняющего его работоспособность;
- в работоспособном состоянии объекта значения всех параметров;
- в работоспособности объекта в одних условиях, оставаясь исправным, но оказавшимся неработоспособным в других;
- удовлетворении лишь тех требований нормативно-технической и конструкторской документации, выполнение которых обеспечивает нормальное применение объекта по назначению.

**Выбор одного из многих:**

1.16 Показатель, характеризующий влияние степени надежности к максимально возможному значению этого показателя (т. е. соответствующему состоянию полной работоспособности всех элементов объекта), это:

- нестационарный коэффициент оперативной готовности;
- коэффициент сохранения эффективности;
- коэффициент технического использования;
- средний коэффициент оперативной готовности;
- стационарный коэффициент оперативной готовности.

**Выбор одного из многих:**

1.17 Отказ объекта, не обусловленный отказом другого объекта, называется:

- зависимый отказ;
- независимый отказ;
- перемежающийся отказ (сбой);

- внезапный отказ;

- постепенный.

**Выбор одного из многих:**

1.18 Если объект непрерывно сохраняет работоспособность в течение некоторой наработки или в течение некоторого времени, то данный объект имеет свойство:

- долговечности;

- сохраняемости;

- долговечности и сохраняемости;

- ремонтопригодности;

- безотказности;

**Выбор одного из многих:**

1.19 Из показателей долговечности и сохраняемости, средний ресурс между смежными капитальными ремонтами объекта, это:

- средний ресурс до списания;

- средний срок службы;

- средний срок сохраняемости;

- средний срок службы до списания;

- средний ремонтный ресурс.

**Выбор одного из многих:**

1.20 Эксплуатационная надежность обусловлена:

- состоянием аппаратов;

- качеством программного обеспечения (программ, алгоритмов действий).

вий, инструкций и т. д.);

- качеством использования и обслуживания;
- выполнением некоторой функции (либо комплекса функций), возлагаемых на объект, систему;
- зависимостью от качества обслуживания объекта человеком-оператором.

**Выбор одного из многих:**

1.21 Отказ объекта, обусловленный отказом другого объекта, называется:

- зависимый отказ;
- независимый отказ;
- перемежающийся отказ (сбой);
- внезапный отказ;
- постепенный.

**Выбор одного из многих:**

1.22 Из показателей долговечности и сохраняемости, продолжительность хранения, в течение которой у объекта сохраняются установленные показатели с заданной вероятностью 1-, это:

- назначенный ресурс;
- гамма-процентный срок сохраняемости;
- средний ремонтный ресурс;
- гамма-процентный срок службы;
- гамма-процентный ресурс.

**Выбор одного из многих:**

1.23 Усредненное на заданном интервале значение нестационарного коэффициента оперативной готовности называется:

- нестационарный коэффициент оперативной готовности;
- коэффициент сохранения эффективности;
- коэффициент технического использования;
- средний коэффициент оперативной готовности;
- стационарный коэффициент оперативной готовности.

**Выбор одного из многих:**

1.24 Переход объекта в предельное состояние влечет за собой:

- возникновение дефекта;
- только окончательное прекращение его эксплуатации;
- временное или окончательное прекращение его эксплуатации;
- только временное прекращение его эксплуатации;
- снижение работоспособности объекта.

**Выбор одного из многих:**

1.25 Переход объекта в предельное состояние влечет за собой:

- возникновение дефекта;
- только окончательное прекращение его эксплуатации;
- временное или окончательное прекращение его эксплуатации;
- только временное прекращение его эксплуатации;
- снижение работоспособности объекта.

**Выбор одного из многих:**

1.26 Какая надежность может подразделяться на надежность конст-

руктивную, схемную, производственно-технологическую:

- эксплуатационная;
- функциональная;
- программная;
- надежность системы «человек-машина»;
- аппаратурная.

**Выбор одного из многих:**

1.27 Из показателей долговечности и сохраняемости, средний ресурс объекта от начала эксплуатации до его списания это:

- средний ремонтный ресурс;
- средний срок службы;
- средний межремонтный срок службы;
- средний ресурс до списания;
- средний срок сохраняемости.

**Выбор одного из многих:**

1.28 Ремонтопригодность характеризуется:

- приспособленностью к предупреждению и обнаружению причин отказов, повреждений;
- восстановлением работоспособного состояния путем проведения технического обслуживания и ремонтов;
- совокупностью технологичности при техническом обслуживании и ремонтной технологичности объектов;
- а и б;

- а, б и в.

**Выбор одного из многих:**

1.29 Вероятность того, что объект окажется работоспособным в заданный момент времени, отсчитываемый от начала работы (или от другого строго определенного момента времени), для которого известно начальное состояние этого объекта, называется:

- нестационарный коэффициент оперативной готовности;
- коэффициент сохранения эффективности;
- коэффициент технического использования;
- средний коэффициент оперативной готовности;
- стационарный коэффициент оперативной готовности.

**Выбор одного из многих:**

1.30 Какие бывают виды надежности:

- аппаратурная надежность, функциональная надежность, эксплуатационная надежность, программная надежность, надежность системы «человек-машина»;
- аппаратурная надежность, функциональная надежность, эксплуатационная надежность;
- аппаратурная надежность, функциональная надежность, эксплуатационная надежность, программная надежность, надежность системы «человек-машина», надежность системы «человек-оператор»;
- функциональная надежность, эксплуатационная надежность, программная надежность;
- надежность системы «человек-машина», надежность системы «человек-оператор».

## **Тема 8. Методики расчета причиненного экологического ущерба.**

Экологический вред органически связан с экономическим. Оба они исходят из одного и того же источника причинения и имеют одни и те же способы проявления. Положим, загрязнение водоема не только ухудшает качество вод, делая их экологически вредными, но и наносит ущерб товарным запасам рыб и других водных животных, приводит в негодность пляжи, места отдыха и туризма и т.д. Как правило, причинение вреда экономического порождает вред экологический и наоборот.

Вместе с тем экологический вред нуждается в особом рассмотрении по следующим причинам. Во-первых, с точки зрения своего проявления он может быть растянут на более или менее длительные периоды как во времени, так и в пространстве. Поэтому методика расчета такого вреда при эколого-экономической или эколого-юридической ответственности исходит прежде всего из самого факта его причинения (например, превышение предельно допустимых концентраций вредных веществ, установленных для атмосферы или водоемов), а не из последствий его проявления, которые могут быть от遥远ены на несколько лет, вплоть до следующих поколений, и растянуты на значительное географическое пространство.

Во-вторых, в отличие от экономического вреда, который в принципе всегда восстановим (даже редкие архитектурные памятники восстанавливают по чертежам, а музеи - по воспоминаниям), экологический вред подразделяется с этой стороны на восполнимый, невосполнимый, относительно или трудно восполнимый. Названные особенности создают сложности при восстановлении потерь в природной среде, когда они возможны по объективным законам развития природы и при подсчете убытков. Оценить экологический вред в деньгах - это значит не только определить затраты на восстановление нарушенной природной среды, на воспроизводство природных ресурсов, но и вычислить те экологические потери, которые не восполнимы или трудно восполнимы средствами человеческого прогресса. **В частности, в случае уничтожения лесного массива в расчет берутся:**

а) расходы по посадке и выращиванию леса до взрослого состояния;

б) стоимость ущерба, который будет нанесен природной среде (почвам, рекам и озерам, животному миру) и здоровью человека (поглощение углекислоты, очистка от пыли, выработка кислорода);

в) моральный ущерб в течение всего периода постепенного биологического созревания леса.

В отдельных странах предпринимаются попытки выработать методику подсчета такого вреда. Но пока она в официальном порядке не существует. Хотя с ее появлением для природы мало что изменилось к лучшему (ведь что сделано, то сделано и обратно ее не вернешь). Поэтому огромное значение на разных уровнях природоохранительной деятельности - техническом, экономическом, организационном и юридическом - решающую роль приобретает превентивная работа, предупреждающая наступление любого вреда и в первую очередь, конечно, необратимого, трудно восстановимого.

Особой разновидностью экологического вреда становится вред антропогенный, причиняемый человеку негативными воздействиями окружающей природной среды, его здоровью, состоянию будущих поколений. В его составе мы выделяем вред физиологический, причиняемый состоянию здоровья человека, и вред генетический. Такое подразделение имеет и правовое значение, в том смысле, что вред генетический необратим. Единственным средствомнейтрализации наступления его вредных последствий является предупреждение негативного влияния антропогенных факторов на человека путем улучшения и оздоровления окружающей среды.

**Экологический ущерб** – это изменение полезности окружающей среды вследствие ее загрязнения. Он оценивается как затраты общества, связанные с изменением окружающей среды.

**Ущерб складывается из следующих затрат:**

- дополнительные затраты общества в связи с изменениями в окружающей среде;
- затраты на возврат окружающей среды в прежнее состояние;
- дополнительные затраты будущего общества в связи с безвозвратным изъятием части дефицитных природных ресурсов.

**Для оценки ущерба окружающей среде используются следующие базовые величины:**

- затраты на снижение загрязнений;
- затраты на восстановление окружающей среды;
- рыночная цена;
- дополнительные затраты из-за изменения качества окружающей среды;
- затраты на компенсацию риска для здоровья людей;
- затраты на дополнительный природный ресурс для разбавления сбрасываемого потока до безопасной концентрации загрязняющего вещества;

Ущерб определяется по детализированным элементам воздействия и укрупнено по сферам воздействия.

При укрупненном расчете выделяют 3 группы сфер влияния (атмосфера, вода, земля), по которым имеются государственные и отраслевые укрупненные оценки удельного ущерба.

1) **Укрупненная оценка ущерба земельным ресурсам** проводится по формуле:

$$Y = S \times \varphi(\lambda) \times (d_1(\lambda) + (d_2(\lambda))),$$

где  $S$  – площадь нарушенных земель, га;

$\lambda$  – влияющие факторы;

$\varphi(\lambda)$  – годовой нормативный экологический ущерб, руб./га;

$d_1(\lambda)$  – расчетный коэффициент рекультивации без учета степени освоенности территории;

$d_2(\lambda)$  – коэффициент степени освоенности территории.

Зависимости  $\varphi(\lambda)$ ,  $d_1(\lambda)$ ,  $d_2(\lambda)$  определены нормативными таблицами.

2) **Ущерб от выбросов в водные объекты** определяется по формуле:

$$Y = y \times k(\lambda) \times (\sum a_i(\lambda) m_i),$$

где  $y$  – нормативный экологический ущерб, руб./ усл.т;

$k(\lambda)$  – безразмерный коэффициент, зависящий от места расположения водоема на территории страны;

$a_i(\lambda)$  – показатель относительной опасности сброса примеси  $i$ -го вида в водоем, усл.т/т;

$m_i$  – масса сброса примеси  $i$ -го вида в водоем, т/год

Зависимости  $k(\lambda)$  и  $a_i(\lambda)$  задаются нормативными таблицами.

Значение  $a_i(\lambda)$  может быть определено по формуле:

$$a_i(\lambda) = 1/\text{ПДК}_i$$

где  $\text{ПДК}_i$  – предельно допустимая концентрация примесей  $i$ -го вида в водных объектах.

Если для выбрасываемого вещества ПДК не определена, то  $a_i(\lambda) = 5 \times 10^4$  усл.т/т.

3) **Ущерб от выбросов в атмосферу** определяется по формуле:

$$Y = \psi \times \sigma(\lambda) f(\lambda) \times (\sum a_i(\lambda) m_i),$$

где  $\psi$  – нормативный экологический ущерб от выбросов в атмосферу, руб./ усл.т;

$\sigma(\lambda)$  – показатель, характеризующий относительную опасность загрязнения атмосферного воздуха в зависимости от типа территории;

$f(\lambda)$  – коэффициент, учитывающий характер рассеивания примеси в атмосфере;

$a_i(\lambda)$  – показатель относительной агрессивности примеси  $i$ -го вида, усл. т/т

$m_i$  - масса годового выброса примеси  $i$ -го вида в атмосферу, т/год.

Зависимости  $\sigma(\lambda)$ ,  $f(\lambda)$ ,  $a_i(\lambda)$  задаются нормативными таблицами.

Законодательством России установлены три норматива платы за выбросы:

- в пределах допустимых объемов выбросов;
- в пределах установленных лимитов выбросов;
- сверх максимально допустимого объема выбросов.

Для покрытия ущерба в России взимается плата за следующие виды загрязнений:

- выброс в атмосферу загрязняющих веществ от стационарных и передвижных источников загрязнения;
- сбросы загрязняющих веществ в поверхностные и подземные водные объекты;
- размещение отходов.

Эти платежи выполняют следующие основные функции:

- являются важнейшим средством компенсации ущерба, наносимого окружающей природной среде, здоровью населения и материальным ценностям в результате выбросов (сбросов) вредных веществ и размещения отходов;

- служат основным источником формирования специализированных фондов охраны природы, средства которых используются для финансирования природоохранных мероприятий, оздоровления окружающей природной среды и повышения уровня экологической безопасности производства и потребления;

- стимулируют соблюдение экологических нормативов и стандартов, а также реализацию природоохранных инвестиций, благодаря их применению в комплексе с доводимыми до предприятий нормативами и существованию жестких санкций за сверхнормативное загрязнение природной среды (при соблюдении экологических нормативов предприятия вносят платежи по базовым ставкам, а сумма платежей включается в себестоимость; при нарушении экологических нормативов к базовым ставкам применяется повышающий коэффициент (как правило, в пределах пяти), и эта часть платежей компенсируется за счет прибыли предприятия-загрязнителя среды).

Данный порядок взимания платежей может быть проиллюстрирован следующим образом (рис. 5).

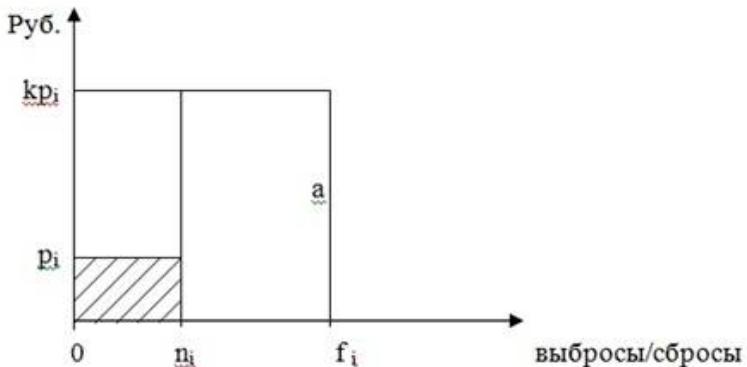


Рисунок 5 – Порядок применения эмиссионных платежей в России

$p_i$  – это базовая ставка эмиссионного платежа по  $i$ -виду загрязняющего вещества, входящему в круг веществ, выбросы которых на предприятии контролируются региональными экологическими органами;

$k p_i$  – «штрафная» ставка за сверхнормативное загрязнение среды, где  $k$  – повышающий коэффициент (как правило, в пределах 5);

$n_i$  – установленный предприятию норматив допустимого выброса  $i$  – го вредного вещества;

$f_i$  – фактический выброс  $i$  – го вредного вещества.

Заштрихованный прямоугольник показывает сумму средств, которую предприятие оплачивает при соблюдении экологических нормативов и которая включается в издержки его производства. Прямоугольник ( $a$ ) соответствует средствам, вносимым предприятием из прибыли при несоблюдении установленных нормативов выброса.

Базовые нормативы платежей по отдельным видам загрязняющих веществ и отходов с учетом степени их опасности для окружающей среды и здоровья населения устанавливаются централизованно Федеральным Правительством. Далее эти нормативы уточняются с поправкой на экологическую ситуацию и экологические факторы регионов. Конкретные размеры эмиссионных платежей для предприятий-загрязнителей определяются в регионах (субъектах Федерации) соответствующими органами исполнительной власти и территориальными органами экологического контроля. В случае реализации предприятием

согласованных с региональными органами экологического контроля природоохранных инвестиций соответствующие затраты могут быть зачтены путем сокращения суммы вносимых им эмиссионных платежей.

В соответствии с Законом «Об охране окружающей природной среды» 10% общей суммы эмиссионных платежей направляется в федеральный бюджет и расходуется на содержание органов экологического контроля. Оставшиеся 90 % перечисляются в экологические фонды (местные, региональные, федеральный) и используются для финансирования природоохранных мероприятий и экологических программ.

### **Варианты контрольной работы**

#### **Вариант 1.**

При проведении государственного экологического контроля на территории сельхозпредприятия в Альметьевском районе РТ (вид почв – черноземы среднемощные, вид угодий - сенокосы) было выявлено загрязнение почвы нефтепродуктами на земельном участке площадью 0,01 га с глубиной загрязнения 15 см, допущенное в результате порыва нефтепровода. Концентрация нефтепродуктов в почве составила 4520 мг/кг почвы. При проведении радиационного контроля на участке МЭД ГИ составила в среднем 11 мЗв/ч. Результаты спектрометрического анализа проб почвы выявили присутствие в ней радионуклида (Ra-226), а также альфа-активных веществ. Определите размер взыскания за вред, причиненный химическим и радиоактивным загрязнением земель.

#### **Вариант 2.**

В результате захламления промасленной ветошью и пластмассовой тарой с отработанными маслами (III класс опасности) территории сельхозпредприятия в Сармановском районе (вид почв – черноземы дерново-карбонатные, вид угодий - пастбища) произошло загрязнение поверхностного слоя почвы нефтепродуктами на площади 0,003 га глубиной 15 см, содержание нефтепродуктов в пробах почвы - 2950 мг/кг. Определите размер взыскания за вред, причиненный загрязнением земли нефтепродуктами и захламлением отходами.

#### **Вариант 3.**

При проведении государственного экологического контроля на территории Автомобильного завода было выявлено загрязнение

почвы нефтепродуктами в результате несанкционированного размещения отходов промасленной ветоши (III класс опасности) на площади 0,002 га. Глубина загрязнения составила 7 см. Содержание нефтепродуктов в почве, по результатам анализов, составило 1950 мг/кг. Нормативная стоимость земли, по результатам государственной кадастровой оценки, составляет 9750 тыс.руб./га. Определите размер взыскания за вред, причиненный химическим загрязнением и захламлением земель отходами.

**Вариант 4.**

При обследовании особо охраняемой природной территории в Новошешминском районе РТ (тип почв – дерново-подзолистые, вид угодий – луга) была выявлена несанкционированная свалка отработанных покрышек (IV класс опасности) на территории площадью 0,015 га. Определите размер взыскания за вред, причиненный захламлением земель отходами.

**Вариант 5.**

При обследовании зеленой зоны Высокогорского лесничества Пригородного лесхоза (леса I группы), установлен факт несанкционированного складирования строительных отходов (IV класс опасности) на площади 0,02 га (тип почв – серые лесные, вид угодий – лес). Определите размер взыскания за вред, причиненный захламлением земель отходами.

**Вариант 6.**

При обследовании земель сельскохозяйственного предприятия, расположенного в Менделеевском районе РТ (тип почвы – дерново-подзолистая, вид угодий - пашня), установлен факт самовольной прокладки грунтовой автодороги для движения сельскохозяйственной техники на поля. В результате механического повреждения почвенного слоя колесами автотранспорта образовалась колея глубиной 25 см на площади 0,65 га. Определите размер взыскания за вред, причиненный деградацией земель.

**Вариант 7.**

При аварии на нефтепроводе в Лениногорском районе РТ (вид почв – черноземы тучные, тип угодий - пастбища) произошло загрязнение 0,025 га земли нефтью до глубины 60 см. Концентрация нефтепродуктов в почве составила 5210 мг/кг. При проведении радиационного контроля на участке МЭД ГИ составила в среднем 15 мЗв/ч. Результаты спектрометрического анализа проб почвы выявили присутствие в ней радионуклида (Ra-226). Определите размер взы-

скания за вред, причиненный химическим и радиоактивным загрязнением земель.

Вариант 8.

Из-за неблагоприятных метеорологических условий в Заинском районе (тип почвы – серые лесные, вид угодий - сенокосы) съехал с дороги и перевернулся грузовой автомобиль со строительными отходами. В результате аварии был поврежден верхний слой почвы на площади 0,002 га глубиной 25 см. Произошло захламление территории площадью 0,05 га строительным мусором (IV класс опасности). Определите размер взыскания за вред, причиненный деградацией и захламлением земель.

Вариант 9.

В промышленной зоне г. Набережные Челны перевернулось три вагона товарного поезда со строительным кирпичом (V класс опасности). Произошло захламление на территории площадью 0,02 га. Нормативная стоимость земли, по результатам государственной кадастровой оценки, составляет 7280 тыс.руб./га. Определите размер взыскания за вред, причиненный захламлением земель.

Вариант 10.

На территории Автомобильного завода при проведении экологического аудита была выявлена несанкционированная свалка люминесцентных ртутьсодержащих трубок и их бой (I класс опасности) на площади 0,0015 га. Было установлено химическое загрязнение почвы ртутью на площади 0,0025 га глубиной 15 см, содержание ртути, по результатам анализов, – 7 мг/кг. Нормативная стоимость земли, по результатам государственной кадастровой оценки, составляет 9700 тыс.руб./га. Определите размер взыскания за вред, причиненный химическим загрязнением и захламлением земель отходами.

Вариант 11.

При обследовании земель сельскохозяйственного предприятия, расположенного в Актанышском районе РТ (тип почвы – черноземы дерново-карбонатные, вид угодий - пашня), установлен факт самовольной прокладки грунтовой автодороги для движения сельскохозяйственной техники на поля. В результате механического повреждения почвенного слоя колесами автотранспорта образовалась колея глубиной 30 см на площади 0,45 га. Определите размер взыскания за вред, причиненный деградацией земель.

Вариант 12.

При обследовании зеленой зоны Сокольского участкового лесничества Мамадышского района (памятник природы Сокольский лес) установлен факт несанкционированного складирования бытовых отходов (IV класс опасности) на площади 0,015 га (тип почв – серые лесные, вид угодий – лес). Определите размер взыскания за вред, причиненный захламлением земель отходами.

**Вариант 13.**

При обследовании Волжко-Камского заповедника (тип почвы – серые лесные, вид угодий - луга), установлен факт самовольной прокладки грунтовой автодороги. В результате механического повреждения почвенного слоя колесами автотранспорта образовалась колея глубиной 25 см на площади 0,25 га. Определите размер взыскания за вред, причиненный деградацией земель.

**Вариант 14.**

В результате прорыва нефтепровода в Альметьевском районе РТ (вид почв – черноземы среднемощные эродированные, вид угодий - сенокосы) было выявлено загрязнение почвы нефтепродуктами на земельном участке площадью 0,018 га с глубиной загрязнения 30 см. Концентрация нефтепродуктов в почве составила 4730 мг/кг почвы. При проведении радиационного контроля на участке МЭД ГИ составила в среднем 13 мЗв/ч. Результаты спектрометрического анализа проб почвы выявили присутствие в ней радионуклида (Ra-226), а также альфа-активных веществ. Определите размер взыскания за вред, причиненный химическим и радиоактивным загрязнением земель.

**Вариант 15.**

В результате захламления промасленной ветошью и пластмассовой тарой с отработанными маслами (III класс опасности) территории сельхозпредприятия в Елабужском районе (вид почв – серые лесные, вид угодий - сенокосы) произошло загрязнение поверхностного слоя почвы нефтепродуктами на площади 0,0015 га глубиной 13 см, содержание нефтепродуктов в пробах почвы - 2350 мг/кг. Определите размер взыскания за вред, причиненный загрязнением земли нефтепродуктами и захламлением отходами.

**Вариант 16.**

На территории Литейного завода при проведении экологического аудита была выявлена несанкционированная свалка люминесцентных ртутьсодержащих трубок и их бой (I класс опасности) на площади 0,002 га. Было установлено химическое загрязнение почвы

ртутью на площади 0,0025 га глубиной 18 см, содержание ртути, по результатам анализов, – 4,5 мг/кг. Нормативная стоимость земли, по результатам государственной кадастровой оценки, составляет 6250 тыс.руб./га. Определите размер взыскания за вред, причиненный химическим загрязнением и захламлением земель отходами.

**Вариант 17.**

При проведении государственного экологического контроля на территории сельхозпредприятия в Агрызском районе РТ (вид почв – дерново-подзолистые, вид угодий - пастбища) был установлен факт загрязнения земель нефтепродуктами в результате захламления территории площадью 0,007 га емкостями с отработанными маслами (III класс опасности). Глубина загрязнения составляла 15 см. Анализ проб почв показал, что содержание нефтепродуктов составляет 3390 мг/кг. Определите размер взыскания за вред, причиненный химическим загрязнением и захламлением.

**Вариант 18.**

При обследовании памятника природы «Берсутские пихтарники» в Мамадышском районе (тип почвы – серые лесные, вид угодий – лесные площади) установлен факт несанкционированного складирования бытовых отходов (IV класс опасности) на площади 0,005 га. Определите размер взыскания за вред, причиненный захламлением земель отходами.

**Вариант 19.**

На территории сельхозпредприятия в Нурлатском районе РТ (тип почвы – черноземы среднемощные, вид угодий - пашня) установлен факт самовольной прокладки грунтовой автодороги. В результате механического повреждения почвенного слоя колесами автотранспорта образовалась колея глубиной 40 см на площади 0,7 га. Определите размер взыскания за вред, причиненный деградацией земель.

**Вариант 20.**

На территории Агрызского лесничества (вид почвы – серые лесные, тип угодий – лесные площади) была обнаружена свалка отработанных покрышек (IV класс опасности) на площади 0,0015 га. Определите размер взыскания за вред, причиненный захламлением земель отходами.

**Вариант 21.**

В Елабужском районе РТ на железной дороге, проходящей

по территории национального парка Нижняя Кама (тип почвы – се-рые лесные, вид угодий – лесные площади), с рельсов сошел товарный поезд. В результате был поврежден слой почвы на площади 0,07 га глубиной до 30 см. Также территория площадью 0,05 га оказалась захламлена каменным углем (V класс опасности), перевозимым поездом. Определите размер взыскания за вред, причиненный деградацией и захламлением земель.

**Вариант 22.**

На территории промышленного предприятия в г. Набережные Челны при проведении государственного экологического контроля была обнаружена несанкционированная свалка отработанных аккумуляторов с не слитым электролитом (II класс опасности) на площади 0,002 га. Определите размер взыскания за вред, причиненный захламлением земель отходами.

**Вариант 23.**

В результате автомобильной аварии в Альметьевском районе (тип почвы – черноземы среднемощные, вид угодий - пашня) съехал с дороги грузовой автомобиль с известковым щебнем. В результате аварии был поврежден верхний слой почвы на площади 0,0025 га глубиной 40 см. Произошло захламление территории площадью 0,01 га щебнем (V класс опасности). Определите размер взыскания за вред, причиненный деградацией и захламлением земель.

**Вариант 24.**

При аварии на нефтепроводе в Альметьевском районе РТ (вид почв – черноземы среднемощные, тип угодий - пастбища) произошло загрязнение 0,035 га земли нефтью до глубины 40 см. Концентрация нефтепродуктов в почве составила 4370 мг/кг. При проведении радиационного контроля на участке МЭД ГИ составила в среднем 12 мЗв/ч. Результаты спектрометрического анализа проб почвы выявили присутствие в ней радионуклида (Ra-226). Определите размер взыскания за вред, причиненный химическим и радиоактивным загрязнением земель.

**Вариант 25.**

На территории промышленного предприятия г. Казань при проведении экологического аудита была выявлена несанкционированная свалка люминесцентных ртутьсодержащих трубок и их бой (I класс опасности) на площади 0,0025 га. Было установлено химическое загрязнение почвы ртутью на площади 0,003 га глубиной 15 см, содержание ртути, по результатам анализов, – 3,7 мг/кг. Нормативная

стоимость земли, по результатам государственной кадастровой оценки, составляет 11845 тыс.руб./га. Определите размер взыскания за вред, причиненный химическим загрязнением и захламлением земель отходами.

**Вариант 26.**

При обследовании земель сельскохозяйственного предприятия, расположенного в Бугульминском районе РТ (тип почвы – черноземы среднемощные, вид угодий - пашня), установлен факт самовольной прокладки грунтовой автодороги для движения сельскохозяйственной техники на поля. В результате механического повреждения почвенного слоя колесами автотранспорта образовалась колея глубиной 27 см на площади 0,35 га. Определите размер взыскания за вред, причиненный деградацией земель.

**Вариант 27.**

В результате захламления промасленной ветошью и пластмассовой тарой с отработанными маслами (III класс опасности) территории сельхозпредприятия в Лениногорском районе (вид почв – черноземы среднемощные, вид угодий - сенокосы) произошло загрязнение поверхностного слоя почвы нефтепродуктами на площади 0,002 га глубиной 15 см, содержание нефтепродуктов в пробах почвы - 1950 мг/кг. Определите размер взыскания за вред, причиненный загрязнением земли нефтепродуктами и захламлением отходами.

**Вариант 28.**

При обследовании памятника природы «Сложный Бор» в Агрызском районе (вид почвы – серые лесные, тип угодий – лесные площади) установлен факт самовольной прокладки грунтовой автодороги. В результате механического повреждения почвенного слоя колесами автотранспорта образовалась колея глубиной 30 см на площади 0,2 га. Определите размер взыскания за вред, причиненный деградацией земель.

**Вариант 29.**

При проведении государственного экологического контроля на территории сельхозпредприятия в Заинском районе РТ (вид почв – дерново-карбонатные, вид угодий - пастбища) было выявлено загрязнение почвы нефтепродуктами на земельном участке площадью 0,018 га с глубиной загрязнения 20 см, допущенное в результате порыва нефтепровода. Концентрация нефтепродуктов в почве составила 4190 мг/кг почвы. При проведении радиационного контроля на участке МЭД ГИ составила в среднем 13 мЗв/ч. Результаты спектрометриче-

ского анализа проб почвы выявили присутствие в ней радионуклида (Ra-226), а также альфа-активных веществ. Определите размер взыскания за вред, причиненный химическим и радиоактивным загрязнением земель.

### Вариант 30.

При проведении строительных работ произошло механическое повреждение слоя почвы в результате самопроизвольной прокладки грунтовой дороги (вид почвы – дерново-луговые, вид угодий - пастбища) на площади 0,04 га. Образовалась колея глубиной 25 см. Также произошло захламление территории площадью 0,008 га строительным мусором (IV класс опасности). Определите размер взыскания за вред, причиненный деградацией и захламлением земель.

## Глоссарий терминов

**АВАРИЯ** - опасное происшествие в технической системе, на промышленном объекте или на транспорте, создающее угрозу жизни и здоровью людей и приводящее к разрушению производственных помещений, сооружений, серьезному повреждению или уничтожению оборудования, механизмов, транспортных средств, сырья и готовой продукции, к нарушению производственного процесса и нанесению ущерба окружающей природной среде.

**АВАРИЯ ЗАПРОЕКТНАЯ** - авария, вызванная не учитываемыми для проектных аварий исходными событиями или сопровождающаяся дополнительными по сравнению с проектными авариями отказами систем безопасности, исключая единичный отказ, реализацией ошибочных решений персонала, которые могут привести к тяжелым последствиям.

**АВАРИЯ ПРОЕКТНАЯ** - авария, для которой проектом определены исходные события и конечные состояния и предусмотрены системы безопасности, обеспечивающие, с учетом принципа единичного отказа систем безопасности или с учетом одной, независимой от исходного события ошибки персонала, ограничение ее последствий установленными для таких аварий пределами.

**АВАРИЙНАЯ СИТУАЦИЯ** - состояние технической системы, объекта, характеризующееся нарушением пределов и (или) условий безопасной эксплуатации и не перешедшее в аварию.

**АНАЛИЗ БЕЗОПАСНОСТИ** - анализ и расчет опасностей, связанных с осуществлением предполагаемой деятельности.

**АНАЛИЗ ОПАСНОСТЕЙ** - выявление нежелательных событий, влекущих за собой реализацию опасности, анализ механизмов возникновения подобных ситуаций и, как правило, оценка масштаба, величины и вероятности любого события, способного оказать поражающее действие.

**АНАЛИЗ РИСКА** - процесс выявления (идентификации) и оценки опасностей для отдельных лиц, групп населения, объектов, окружающей природной среды и других объектов рассмотрения.

**БЕЗОПАСНОСТЬ** - состояние защищенности человека, общества окружающей среды от чрезмерной опасности; свойство реальных процессов и систем, содержащих источники угрозы и их возможные жертвы, сохранять состояние с приемлемой возможностью причиненного ущерба от происшествий; состояние объектов и систем в условиях приемлемого риска; свойство системы "человек - среда обитания" сохранять условия взаимодействия с минимальной возможностью возникновения ущерба людским, природным и материальным ресурсам.

**БЕЗОПАСНАЯ ЭКСПЛУАТАЦИЯ** - соблюдение установленных проектом минимальных условий по количеству, характеристикам, состоянию работоспособности и регламенту технического обслуживания систем или элементов (важных для безопасности), при которых обеспечивается соблюдение пределов безопасной эксплуатации и (или) критериев безопасности.

**БЕЗОПАСНОСТЬ В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ (ЧС)** - состояние защищенности населения, объектов народного хозяйства и окружающей природной среды от опасностей в чрезвычайных ситуациях.

**БЕЗОПАСНОСТЬ НАСЕЛЕНИЯ В ЧС** - состояние защищенности жизни и здоровья людей, их имущества и среды обитания человека от опасностей в чрезвычайных ситуациях.

**ВЗРЫВ** - быстропротекающий процесс физических и химических превращений веществ, сопровождающийся освобождением большого количества энергии в ограниченном объеме, в результате которого в окружающем пространстве образуется и распространяется ударная волна, способная создать угрозу жизни и здоровью людей, нанести ущерб хозяйственным и иным объектам и стать источником ЧС.

**ВРЕДНЫЙ ФАКТОР** - негативный фактор, воздействие которого на человека приводит к заболеванию.

**ВЫБОР ПЛОЩАДКИ** - процесс выбора подходящей площадки для промышленного предприятия, включая соответствующую оценку и определение критериев, закладываемых в основу проекта.

**ДОБРОВОЛЬНАЯ ОПАСНОСТЬ** - опасность, наличие которой принимается добровольно. Примеры добровольных опасностей -

аварии промышленных предприятий для персонала, занятия горными лыжами или дельтапланеризмом, курение, вождение автомобиля и т.п.

**ЖИЗНЕНДЕЯТЕЛЬНОСТЬ** - способ существования или повседневная деятельность человека.

**ИДЕНТИФИКАЦИЯ ОПАСНОСТИ** - процесс выявления и признания, что опасность существует, и определения ее характеристик.

**ИНЦИДЕНТ** - отказ или повреждение технических устройств, применяемых на опасном производственном объекте, отклонение от режима технологического процесса, нарушение законодательных и иных нормативных правовых актов Российской Федерации, а также нормативных технических документов, устанавливающих правила ведения работ на опасном производственном объекте.

**ИСТОЧНИК ЧРЕЗВЫЧАЙНОЙ СИТУАЦИИ** - опасное природное явление или антропогенное происшествие, широко распространенное заболевание людей, животных и растений, а также современное средство поражения, в результате применения которого возникла или может возникнуть чрезвычайная ситуация.

**ИСХОДНЫЕ СОБЫТИЯ** - единичный отказ в системах, внешнее событие или ошибка персонала, которые приводят к нарушению нормальной эксплуатации и могут привести к нарушению пределов и (или) условий безопасной эксплуатации.

**ЗАЩИТА ОТ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ** - комплекс организационных, экономических, инженерно-технических, природо-охранных и специальных мероприятий, направленных на предупреждения возникновения чрезвычайной ситуации, преодоление вызванных ею опасностей и их ликвидацию с целью сохранения жизни и здоровья людей, снижения ущерба народному хозяйству, личному имуществу граждан и окружающей природной среде.

**КАТАСТРОФА** - крупная авария, повлекшая за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей и разрушения или уничтожение объектов и других материальных ценностей в значительных размерах, а также приведшая к серьезному ущербу окружающей среде.

**НАДЕЖНОСТЬ** - свойство объекта выполнять заданные функции в заданном объеме при определенных условиях функционирования. Надежность - комплексное свойство, которое в зависимости от назначения объекта и условий его эксплуатации может включать ряд свойств (в отдельности или в определенном сочетании), основными из которых являются следующие: безотказность, долговечность, ремонтопригодность, сохраняемость, устойчивоспособность, режимная управляемость и живучесть.

**НЕГАТИВНАЯ СИТУАЦИЯ** - состояние системы "человек - среда обитания", характеризующееся отклонением от условий безопасного взаимодействия.

**НЕКОНТРОЛИРУЕМАЯ РЕАКЦИЯ** - химическая реакция, протекающая либо в условиях промышленного предприятия и не предусмотренная технологией, либо протекающая в технологической установке в режимах, не позволяющих управлять параметрами процесса.

**НЕОБНАРУЖЕННЫЙ ОТКАЗ** - отказ системы (элемента), который не проявляется в момент своего возникновения при нормальной эксплуатации и не выявляется предусмотренными средствами контроля в соответствии с регламентом техобслуживания и проверок.

**ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ИЛИ УПРАВЛЕНИЕ РИСКОМ** - системный подход к принятию решений, процедур и практических мер в решении задач предупреждения или уменьшения опасности промышленных аварий для жизни человека, заболеваний или травм, ущерба имуществу и окружающей среде; комплекс организационных и инженерно-технических мероприятий по предотвращению промышленных аварий или катастроф и уменьшению ущерба от обусловленных ими последствий.

**ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА** - все объекты и условия, в которых протекает и с которыми связана жизнь и деятельность человека.

**ОКРУЖАЮЩАЯ ПРИРОДНАЯ СРЕДА** - естественная среда обитания человека, биосфера, служащая условием, средством и местом жизни человека и других живых организмов, в широком смысле включает природу как систему естественных экологических систем и окружающую среду как ту часть естественной среды, которая преобразована в результате деятельности человека.

**ОСОБО ОПАСНЫЙ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ (ПРОМЫШЛЕННЫЙ) ОБЪЕКТ** - участок, установка, цех, хранилище, склад, станция или другое производство, на котором единовременно используют, производят, перерабатывают, хранят или транспортируют взрывопожароопасные или опасные химические вещества в количестве, равном или превышающем определенное пороговое значение.

**ОПАСНЫЙ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ (ПРОМЫШЛЕННЫЙ) ОБЪЕКТ** - объект, производство, на котором используют, производят, перерабатывают, хранят или транспортируют пожаровзрывоопасные и (или) опасные химические вещества, создающие реальную угрозу возникновения аварии.

**ОПАСНОЕ ХИМИЧЕСКОЕ ВЕЩЕСТВО** - химическое вещество природного или искусственного происхождения, применяемое в промышленности, сельском хозяйстве и в быту, оказывающее при превышении естественного уровня его содержания в окружающей природной среде вредное воздействие на человека, сельскохозяйственных животных и растения, элементы окружающей природной среды.

**ОПАСНОСТЬ** - негативное свойство системы "человек - среда обитания", способное причинять ущерб и обусловленное энергети-

ческим состоянием среды и действиями человека; ситуация (в природе или техносфере), в которой возможно возникновение явлений или процессов, способных поражать людей, наносить материальный ущерб, разрушительно действовать на окружающую человека среду.

**ОПАСНОСТЬ В ЧРЕЗВЫЧАЙНОЙ СИТУАЦИИ** - состояние, при котором создалась или возможна угроза возникновения явлений или процессов, способных поражать людей, наносить материальный ущерб их имуществу, государственной и другим видам собственности, а также негативно воздействовать на окружающую природную среду в зоне ЧС.

**ОПАСНОСТЬ ОСНОВНАЯ** - опасность, способная привести к крупной аварии.

**ОПАСНЫЕ ГРУЗЫ** - вещества, материалы, изделия и отходы производства, которые в силу своих физических, химических и биологических свойств могут создать угрозу жизни и здоровью людей, вызвать загрязнение окружающей среды, повреждение и уничтожение транспортных средств и иного имущества и объектов.

**ОПАСНОЕ ПРИРОДНОЕ ЯВЛЕНИЕ** - событие природного происхождения или состояние элементов природной среды, которое по интенсивности, масштабу распространения и продолжительности может оказать негативное воздействие на жизнедеятельность людей, хозяйствственные и иные объекты, окружающую природную среду.

**ОПАСНЫЙ ФАКТОР** - негативный фактор, воздействие которого на человека приводит к травме или летальному исходу.

**ОТКАЗ (НЕПОЛАДКА)** - событие, заключающееся в нарушении работоспособности состояния оборудования, объекта.

**ОТКАЗ ПО ОБЩЕЙ ПРИЧИНЕ** - неспособность ряда устройств или узлов выполнять свои функции в результате единичного конкретного события или причины. К таковым обычно относят недостаток проекта, погрешность в изготовлении, ошибки во время эксплуатации и технического обслуживания, природное явление, вызванное деятельностью человека событие, насыщение сигналов или непреднамеренные нарастающие последствия от любой другой операции, или отказа на технологической установке, или от изменения условий окружающей среды.

**ОТРАВЛЕНИЕ** - результат воздействия химического или другого ядовитого вещества на человека, приведший к заболеванию или летальному исходу.

**ОЦЕНКА БЕЗОПАСНОСТИ** - сравнение результатов анализа безопасности с приемлемыми критериями, их оценка и окончательные заключения по пригодности оцениваемой системы.

**ОЦЕНКА РИСКА** - процесс, используемый для определения степени риска анализируемой опасности для здоровья человека, иму-

щества или окружающей среды. Оценка риска включает анализ частоты, анализ последствий и их сочетание; идентификация опасности и возможных ее источников, исследование механизма их возникновения, оценка вероятности возникновения идентифицированных опасных событий и их последствий, а также суммирование вероятностей возникновения опасности и ее последствий для всех возможных вариантов развития ситуации.

**ОШИБКА ПЕРСОНАЛА** - единичное неправильное действие при управлении техническими системами или единичный пропуск правильного действия, важных для безопасности.

**ОШИБОЧНОЕ РЕШЕНИЕ** - неправильное, непреднамеренное выполнение или невыполнение ряда последовательных действий из-за неверной оценки протекающих технологических процессов.

**ПЕРСОНАЛ** - все лица, работающие с техническими системами постоянно или временно.

**ПЛОЩАДКА** - участок, на котором находится промышленное предприятие, имеющий границу и находящийся под эффективным контролем административного руководства промышленного предприятия (организации-исполнителя).

**ПОКАЗАТЕЛЬ РИСКА ВОЗНИКНОВЕНИЯ АВАРИИ** - измеренная или рассчитанная величина, количественно характеризующая вероятность или частоту возникновения аварии.

**ПОРАЖАЮЩЕЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ ИСТОЧНИКА ЧС** - негативное влияние различных факторов источника ЧС на жизнь и здоровье людей, сельскохозяйственных животных и растений, хозяйствственные и др. объекты, окружающую природную среду.

**ПОРАЖАЮЩИЙ ФАКТОР ИСТОЧНИКА ЧС** - составляющая опасного явления или процесса физического, химического или биологического (бактериального) характера, вызываемого источником ЧС и приводящего к поражению людей, сельскохозяйственных животных и растений, хозяйственных и иных объектов, элементов окружающей природной среды.

**ПОЖАР** - неконтролируемый процесс горения, сопровождающийся уничтожением ценностей и создающий опасность для жизни и здоровья людей, сельскохозяйственных животных, растений и окружающей Среды.

**ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ** - состояние объекта народного хозяйства или иного назначения, при котором путем выполнения правовых норм, противопожарных и инженерно-технических мероприятий исключается или снижается вероятность возникновения и развития пожара, воздействия на людей опасных факторов пожара, а также обеспечивается защита материальных ценностей.

**ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНОЕ ВЕЩЕСТВО** - вещество, которое вследствие своих физических, химических, биологических или токсикологических свойств предопределяет собой опасность для жизни и здоровья людей.

**ПРЕДЕЛЫ БЕЗОПАСНОСТИ** - пределы изменения процесса, в которых, как показано, эксплуатация промышленного предприятия является безопасной.

**ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ ПОТЕРЬ** - область человеческой деятельности по предотвращению аварий промышленных предприятий и уменьшению последствий чрезвычайных ситуаций, обусловленных такими авариями. Основные направления этой деятельности - обеспечение безопасности человека и промышленного предприятия в техносфере.

**ПРИНУДИТЕЛЬНАЯ ОПАСНОСТЬ** - опасность, которая вводится помимо желания людей, принудительно. Примеры принудительных опасностей - аварии промышленных предприятий для населения.

**ПРОИСШЕСТВИЕ** - событие, состоящее из воздействия опасного фактора с причинением ущерба людским, природным и материальным ресурсам.

**ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ** - состояние, при котором путем соблюдения правовых норм, экономических, инженерно-технических и технологических требований, а также проведения соответствующих мероприятий достигается предотвращение нарушений технологического процесса и техники безопасности, максимальное снижение вероятности возникновения аварийной ситуации на промышленных объектах и транспорте или уменьшение ущерба; область человеческой деятельности по предотвращению аварий промышленных предприятий и уменьшению последствий чрезвычайных ситуаций, обусловленных такими авариями. Основные направления деятельности - обеспечение безопасности человека и промышленного предприятия в техносфере и экологической безопасности.

**ПРОМЫШЛЕННАЯ КАТАСТРОФА** - крупная промышленная авария, повлекшая за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей либо разрушение и уничтожение объектов, материальных ценностей в значительных размерах, а также приведшая к серьезному ущербу окружающей природной среде.

**ПРОМЫШЛЕННЫЙ ОБЪЕКТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ, ПОДЛЕЖАЩИЙ ДЕКЛАРИРОВАНИЮ БЕЗОПАСНОСТИ** - субъект предпринимательской деятельности (организация), имеющий в своем составе одно или несколько производств повышенной опасности, расположенных на единой площадке. Такие производства в дальнейшем называются особо опасные.

**ПРОМЫШЛЕННОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ** - совокупность технологических установок для выпуска определенных продуктов или продукции, размещаемых на определенной площадке.

**ПОСЛЕДСТВИЯ АВАРИИ** - возникшая в результате аварии обстановка, наносящая ущерб за счет превышения установленных пределов воздействия на персонал, население и окружающую среду.

**ПРОЕКТНЫЕ ПРЕДЕЛЫ** - значения параметров и характеристик состояния систем (элементов) в целом, установленные в проекте для нормальной эксплуатации, аварийных ситуаций и аварий.

**РИСК АКТИВНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ СУБЪЕКТА** (психолог. термин) - действие, направленное на привлекательную цель, достижение которой сопряжено с элементами опасности, угрозой потери, неуспеха; ситуативная характеристика деятельности, состоящая в неопределенности ее исхода и возможных неблагоприятных последствиях в случае неуспеха; мера неблагополучия при неуспехе в деятельности, определяемая сочетанием вероятности и величины неблагоприятных последствий в этом случае.

**РИСК** или **степень риска** - это сочетание частоты (или вероятности) и последствий определенного опасного события. Понятие риска всегда включает два элемента: частоту, с которой осуществляется опасное событие, и последствия этого события; реализации опасностей определенного класса. Риск может быть определен как частота (размерность - обратное время) или как вероятность возникновения одного события при наступлении другого события (безразмерная величина, лежащая в пределах от 0 до 1).

**РИСК ВОЗНИКНОВЕНИЯ ЧРЕЗВЫЧАЙНОЙ СИТУАЦИИ (РИСК ЧС)** - вероятность или частота возникновения ЧС.

**РИСК ИНДИВИДУАЛЬНЫЙ** - вероятность реализации потенциальных опасностей при возникновении опасных ситуаций для одного человека или социальной группы.

**РИСК ПРИЕМЛЕМЫЙ** - риск, уровень которого допустим и обоснован исходя из экономических и социальных соображений. Риск эксплуатации промышленного объекта является приемлемым, если его величина настолько незначительна, что ради выгоды, получаемой от эксплуатации объекта, общество готово пойти на этот риск.

**РИСК СОЦИАЛЬНЫЙ** - характеризует масштабы и тяжесть негативных последствий чрезвычайных ситуаций, а также различного рода явлений в обществе, социально-политических преобразований, снижающих качество жизни людей. По существу - это риск для группы или сообщества людей.

**РИСК ТЕХНИЧЕСКИЙ** - комплексный показатель надежности элементов техносферы, который выражает вероятность возникновения аварии или катастрофы при эксплуатации машин, механизмов,

реализации технологических процессов, строительстве и эксплуатации зданий и сооружений.

**РИСК ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ** - вероятность возникновения экологического бедствия, катастрофы, нарушения дальнейшего нормального функционирования и существования экологических систем и объектов в результате антропогенного, техногенного вмешательства в природную среду или стихийного бедствия.

**РИСК ЭКОНОМИЧЕСКИЙ** - вероятность экономических потерь в будущем; соотношение пользы и вреда, получаемых обществом от рассматриваемого вида деятельности.

**РИСКУЮЩИЕ** - человек или социальная группа, на которых может быть оказано воздействие определенного вида при реализации определенной опасности или определенных опасностей, т. е. для которых индивидуальный или социальный риск не является нулевым или же достигает определенного уровня.

**СИСТЕМЫ (ЭЛЕМЕНТЫ) БЕЗОПАСНОСТИ** - системы (элементы), предназначенные для выполнения функций безопасности.

**СИСТЕМЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ** - совокупность законодательных, технических, медицинских и биологических мероприятий, направленных на поддержание равновесия между биосферой и антропогенными, техногенными, а также стихийными внешними нагрузками.

**СМЕРТНОСТЬ** - число погибших в определенных условиях.

**СРЕДА ОБИТАНИЯ** - окружающая человека среда, обусловленная в данный момент совокупностью факторов (физических, химических, биологических, социальных), способных оказывать прямое или косвенное, немедленное или отдаленное воздействие на деятельность человека, его здоровье и потомство.

**СТИХИЙНОЕ БЕДСТВИЕ** - разрушительное природное и (или) природноантропогенное явление, в результате которого может возникнуть или возникает угроза жизни и здоровью людей, происходит разрушение или уничтожение материальных ценностей и элементов окружающей природной среды.

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ КАТАСТРОФА** - катастрофа, возникшая вследствие нарушения технологического процесса и повлекшая за собой гибель людей и угрозу здоровью персонала, нанесшая существенный прямой или косвенный ущерб материальным ценностям и окружающей природной среде.

**ТЕХНОЛОГИЯ** - совокупность приемов и методов обработки в производственных процессах; способ производства и (или) переработки продукции в совокупности с приборно-аппаратным оформлением.

**ТЕХНОЛОГИЯ С "ВНУТРЕННЕЙ ПРИСУЩЕЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ** - технология, предусматривающая подавление опасностей и (или) существенное уменьшение последствий недопустимых отклонений от технологического регламента на основе механизмов, базирующихся на фундаментальных законах природы, а не путем включения специальных систем обеспечения безопасности.

**ТЕХНОГЕННАЯ ЧРЕЗВЫЧАЙНАЯ СИТУАЦИЯ** - состояние, при котором в результате возникновения источника техногенной чрезвычайной ситуации на объекте, определенной территории нарушаются нормальные условия жизни и деятельности людей, возникает угроза их жизни и здоровью, наносится ущерб имуществу населения, народному хозяйству и окружающей природной среде.

**ТОКСИЧНОСТЬ** - свойство вещества приводить к смерти или вредить здоровью живого существа при попадании в его организм с водой, пищей (перорально); через кожу или кровь (кожнорезорбтивно); при вдыхании (ингаляционно).

**ТРЕБОВАНИЯ ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ** - условия, запреты, ограничения и другие обязательные требования, содержащиеся в Федеральном законе "О промышленной безопасности опасных производственных объектов", других федеральных законах и иных нормативных правовых актах РФ, а также в нормативных технических документах, которые принимаются в установленном порядке и соблюдение которых обеспечивает промышленную безопасность.

**УГРОЗА ОТ ЧРЕЗВЫЧАЙНОЙ СИТУАЦИИ (УГРОЗА ЧС)** - состояние, при котором создается опасность для населения, его имущества и иных видов собственности и окружающей природной среды в зоне ЧС.

**УПРАВЛЕНИЕ РИСКОМ** - 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.

**ХИМИЧЕСКАЯ АВАРИЯ** - авария, сопровождающаяся утечкой или выбросом опасных химических веществ из технологического оборудования или поврежденной тары, способная привести к гибели или заражению людей, сельскохозяйственных животных и растений, либо загрязнению химическими веществами окружающей природной среды в опасных для людей, животных и растений концентрациях.

**ХИМИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ** - состояние, при котором путем соблюдения правовых норм и санитарно-гигиенических правил, выполнения инженерно-технических и технологических требований, а также проведения соответствующих организационных и специальных мероприятий исключаются условия для химического заражения или

поражения людей, сельскохозяйственных животных и растений, загрязнения окружающей природной среды опасными химическими веществами в случае возникновения химической аварии.

**ХИМИЧЕСКАЯ ОПАСНОСТЬ** - опасность, связанная с химическими веществами или процессами. Основные формы проявления химических опасностей - пожар, взрыв, токсическое поражение.

**ХИМИЧЕСКОЕ ЗАРАЖЕНИЕ** - распространение опасных химических веществ в окружающей природной среде в концентрациях или количествах, создающих угрозу для людей, сельскохозяйственных животных и растений в течение определенного времени.

**ЧРЕЗВЫЧАЙНОЕ ОБСТОЯТЕЛЬСТВО** - негативное событие, вызванное источником чрезвычайной ситуации либо массовыми беспорядками и приведшее к гибели людей или угрозе их жизни и здоровью, ущербу государственной и другим видам собственности, личному имуществу граждан и окружающей природной среде на определенной территории.

**ЧЕЛОВЕЧЕСКИЙ ФАКТОР** - комплекс психофизиологических особенностей человека (восприятие информации, принятие решений, психологические установки и т. п.), играющий важную роль в промышленной безопасности.

**ЧРЕЗВЫЧАЙНАЯ СИТУАЦИЯ (ЧС)** - нарушение нормальной жизни и деятельности людей на объекте или определенной территории (акватории), вызванное аварией, катастрофой, стихийным или экологическим бедствием, эпидемией, массовыми заболеваниями животных или растений, а также применением противником современных средств поражения и приведшие или могущие привести к людским и материальным потерям.

**ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ** - состояние защищенности жизненно важных экологических интересов личности, общества, природы и государства от реальных и потенциальных угроз, создаваемых антропогенным, техногенным или естественным воздействием на окружающую среду.

**ЭКСПЛУАТАЦИЯ** - вся деятельность, направленная на достижение безопасным образом цели, для которой было построено промышленное предприятие, включая техническое обслуживание, инспектирование во время эксплуатации и другую связанную с этим деятельность.

**ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ПРЕДЕЛЫ** - значения параметров и характеристик состояния систем (элементов), заданные проектом для нормальной (безопасной) эксплуатации.

## Список литературы

1. Абалкин Л.И. Экономическая безопасность России // Вестник РАН. 1997. Т.67. №9. С.771-776.
2. Анализ риска и его нормативное обеспечение / В.Ф.Мартынюк, М.В.Лисанов, Е.В.Кловач, В.И.Сидоров. Безопасность труда в промышленности. 1995. №11. С.55-62.
3. А также в области ... уважий мы впереди планеты всей / И.Якубzon. Охрана труда и социальное страхование. 1996. №1. С.1-2.
4. Ахлюстин В.Н., Новиков Г.А., Щукин В.А. Возможный подход к прогнозам аварии в сложной технической системе // Безопасность труда в промышленности. 1992. №6. С.57-59.
5. Безопасное взаимодействие человека с техническими системами / В.Л.Лапин, Ф.Н.Рыжков, В.М.Попов, В.И.Томаков. Курск, 1995. 238 с.
6. Безопасность жизнедеятельности: Краткий конспект лекций для студентов всех специальностей/Под ред. О.Н. Русака. Л., 1991. 147с.
7. Беляев Б.М. Безопасность систем с техникой повышенного риска // Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях. Вып.4. М., 1997. С.23 -36.
8. Блинкин В.Л. Методы анализа экзогенных составляющих рисков// Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях. Вып.3. М., 1997. С.18-36.
9. Бондарь В.А., Попов Ю.П. Риск, надежность и безопасность. Система понятий и обозначений // Безопасность труда в промышленности. 1997. №10. С.39 - 42.
10. Браун Дэвид Б. Анализ и разработка систем обеспечения техники безопасности: (системный подход в технике безопасности) / Пер. с англ. А.Н. Жовинского. М.:Машиностроение, 1979. 360с.
11. Васильев В.Г. Безопасность промышленного предприятия от внешних опасных факторов // Безопасность труда в промышленности. 1994. №10. С.31-35.
12. Воробьев Ю.Л. Основные направления государственной стратегии снижения рисков и смягчения последствий чрезвычайных ситуаций в Российской Федерации на период до 2010 года // Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях. Вып.4. М., 1997. С.3-22.
13. Вентцель Е.С. Исследование операций. - М.: Советское радио, 1972. - 552 с.
14. Голубков Е.П. Использование системного анализа в отраслевом планировании. М.: Экономика, 1977. 135с.

15. Гончаров В.А., Хлыстов В.П., Скопинцев В.А. Промышленная безопасность на объектах ТЭК России// Безопасность труда в промышленности. 1995. №1. С.38-39.
16. Декларирование безопасности промышленного объекта / А.С.Печеркин, В.И.Сидоров, Б.А.Красных и др. // Безопасность труда в промышленности. 1996. №7. С.2-17.
17. Диллон Б., Сингх Ч. Инженерные методы обеспечения надежности систем. М.: Мир, 1984. 318с.
18. Дюфур Г.А., Жаринов К.А., Лесохин А.И. и др. Технические средства управления уровнем безопасности химических производств // Журн. Всесоюзн. хим. общества им. Д.И.Менделеева. Т. 35. 1990. №4. С. 424-427.
19. Евланов Л.Г. Теория и практика принятия решений. М.: Экономика, 1984. 176 с.
20. Евстафьев Н.Б., Яценко А.И. Количественные аспекты оценки опасности размещения объектов по уничтожению химического оружия // Журн. Всесоюзн. хим. общества им.Д.И.Менделеева. Т.35. 1990. №1. С. 119-121.
21. Еременко В.А. От безопасности в промышленности к безопасности проживания в промышленных регионах // Безопасность труда в промышленности. 1992. №7. С.2-21.
22. Заиков Г.Е., Маслов С.А., Рубайло В.Л. Кислотные дожди и окружающая Среда. М.: Химия, 1991. 144с.
23. Закон Российской Федерации "О безопасности" (5.03.1992) / Сборник Законодательных актов Российской Федерации. М.: Издательство "Республика", 1993. С.6-18.
24. Зозуля И.В. Методология обеспечения промышленной безопасности // Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях. Вып.11. М., 1996. С.45-58.
25. Измалков А.В., Бодриков О.В. Методологические основы управления риском и безопасностью населения и территорий // Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях. Вып.1. М., 1997. С.48-62.
26. Кловач Е.В., Сидоров В.И. Законодательство в области промышленной безопасности // Безопасность труда в промышленности. 1994. №9. С.36-45.
27. Козлитин А.М., Попов А.И. Оценка риска при декларировании безопасности химических производств // Безопасность труда в промышленности. 1997. №2. С. 21-24.
28. Кох П.И. Климат и надежность машин. М.: Машиностроение, 1981. 176с.
29. Кравец В.А. Системный анализ безопасности в нефтяной и газовой промышленности. М.: Недра, 1984. 117с.

30. Краткий психологический словарь / Сост. Л.А. Карпенко; Под общ. ред. А.В.Петровского, М.Г.Ярошевского. М.: Политиздат, 1985. 431 с.
31. Кузьмин И.И. Безопасность и техногенный риск: системно-динамический подход // Журн. Всесоюзн. хим. общества им. Д.И.Менделеева. Т.35. 1990. №4. С. 15-20.
32. Кузьмин И.И., Шапошников Д.А. Концепция безопасности: от риска "нулевого" - к "приемлемому"// Вестник РАН. Т.64. 1994. №5. С.402-408.
33. Ларичев О.И. Проблемы принятия решений с учетом факторов риска и безопасности // Вестник АН СССР. 1987. №11. С.38-45.
34. Легасов В.А., Чайванов Б.Б., Черноплеков А.Н. Научные проблемы безопасности техносферы // Безопасность труда в промышленности. 1988. №1. С. 44 - 51.
35. Легасова М.М. Путь к концепции безопасности // Журн. Всесоюзн. хим. общества им. Д.И.Менделеева. Т.35. 1990. №4. С.405-408.
36. Лисанов М.В., Печеркин А.С., Сидоров В.И. Принципы оценки экономического ущерба от промышленных аварий // Экология промышленного производства. 1995. №6. С.49.
37. Лобанов Ф.И., Шапиро М.М. Экологический риск в промышленности. Оценка и управление // Журн. Всесоюзн. хим. общества им. Д.И.Менделеева. Т.35. 1990. №1. С.125-128.
38. Маршалл В. Основные опасности химических производств: Пер. с англ. М.: Мир, 1989. 672с.
39. Озерская Т. Медицина катастроф // Охрана труда и социальное страхование. 1996. №8. С.49-51.
40. Меламедов И.М. Физические основы надежности. Л.: Энергия, 1970. 152с.
41. Методические указания по проведению анализа риска осо-бо опасных промышленных объектов / Ю.А.Додонов, А.С.Решетов, В.И.Ефименко и др. // Безопасность труда в промышленности. 1995. №9. С.38-41.
42. Мечитов А.И., Ребрик С.Б. Изучение субъективных факто-ров восприятия риска и безопасности // Человеко-машиныные проце-дуры принятия решений: Сб. научн. тр. Вып.11. М.: ВНИИСИ, 1988. С.77-89.
43. Муромцев Ю.Л. Безаварийность и диагностика нарушений в химических производствах. М.: Химия, 1990. 144с.
44. Мушик Э., Мюллер П. Методы принятия технических ре-шений: Пер. с нем. М.: Мир, 1990. 208с.

45. Надежность и эффективность в технике: Справочник: В 10 т. Т.1: Методология. Организация. Терминология/ Под ред. А.И.Рембезы. М.: Машиностроение, 1986. 224с.
46. Надежность и эффективность в технике: Справочник: В 10 т. Т.5: Проектный анализ надежности / Под ред. В.И.Патрушева и А.И.Рембезы. М.: Машиностроение, 1988. 316с.
47. Надежность и эффективность в технике: Справочник: В 10 т. Т.10: Справочные данные по условиям эксплуатации и характеристикам надежности / Под общ. ред. В.А.Кузнецова. М.: Машиностроение, 1990. 336 с.
48. Научно-технический прогресс, безопасность и устойчивое развитие цивилизации / Б.В.Гидаспов, И.И.Кузьмин, Б.М.Ласкин, Р.Г.Азиев // Журн. Всесоюзн. хим. общества им. Д.И.Менделеева. Т.35. 1990. №4. С.9-14.
49. Пахомова Н.В., Рихтер К.К. Экономика природопользования и охраны окружающей среды: учебное пособие. – СПб.: СПбГУ, 2003. – 220с.
50. Экономические основы экологии: учебник / В.В. Глухов, Т.В. Лисочкина, Т.П. Некрасова. – СПб, Специальная литература, 1995. – 280с.

### **Содержание**

<b>1.</b>	<b>Предельно-допустимая концентрация</b>	<b>3</b>
<b>1.1</b>	Особенности промышленного воздействия на природные компоненты	4
<b>1.2</b>	Нормирование качества воздуха	8
<b>1.3</b>	Нормирование качества воды	10
<b>1.4</b>	Нормирование качества почвы	11
<b>2</b>	Техногенный риск: понятие, классификация и характеристика видов рисков. Развитие рисков.	<b>20</b>
<b>2.1</b>	Приемлемый риск	28
<b>3</b>	Подходы к оценке риска.	37
<b>3.1</b>	Оценка риска: понятие и место в обеспечении безопасности технических систем	37
<b>3.2</b>	Управление риском: понятие и место в обеспечении безопасности технических систем	39
<b>3.3</b>	Общность и различие процедур оценки и управления риском	39
<b>3.4</b>	Количественные показатели риска	41
<b>4</b>	Процедуры метода статистического моделирования риска. Принципы построения информационных технологий управления риском.	<b>50</b>
<b>4.1</b>	Принципы построения информационных технологий управления риском.	58
<b>5</b>	Безотказность, ремонтопригодность, сохраняемость	64
<b>5.1</b>	Показатели безотказности и ремонтопригодности	66
<b>5.2</b>	Виды отказов и причинные связи	71
<b>6</b>	Выявление основных опасностей на ранней стадии проектирования.	84
<b>6.1</b>	Исследования в предпусковой период.	86
<b>7</b>	Предварительный анализ опасностей.	91
<b>7.1</b>	<u>Технические системы безопасности</u>	93
<b>7.2</b>	Локальные технические системы и средства безопасности	96
<b>8</b>	Методики расчета причиненного экологического ущерба	<b>110</b>
	Глоссарий терминов	122
	Список литературы	133
	Содержание	137