

Министерство Российской Федерации
по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям
и ликвидации последствий стихийных бедствий

Академия Государственной противопожарной службы

Г. Х. Харисов, Г. Г. Сидоренко, А. В. Мирзаянц

НАДЕЖНОСТЬ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ И ТЕХНОГЕННЫЙ РИСК

Учебное пособие

Допущено Министерством Российской Федерации
по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям
и ликвидации последствий стихийных бедствий в качестве
учебного пособия для курсантов, студентов и слушателей
образовательных организаций МЧС России

Москва
2017

УДК 614.8+62
ББК 30.14+68.9
Х20

Рецензенты:

Н. В. Твердохлебов, старший научный сотрудник 42 отдела
ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), доцент;
С. А. Бекетов, профессор МГТУ им. Н. Э. Баумана
доктор технических наук, профессор

Харисов Г. Х.

Х20 Надежность технических систем и техногенный риск : учеб. пособие / Г. Х. Харисов, Г. Г. Сидоренко, А. В. Мирзаянц. – М. : Академия ГПС МЧС России, 2017. – 191 с.

ISBN 978-5-9229-0150-5

В учебном пособии изложены природа и характеристика опасностей в техносфере, роль внешних факторов, воздействующих на формирование отказов технических систем, основы теории надежности технических систем, оценка надежности технических систем, диагностирование состояния технических систем, прогнозирование технического состояния, технические системы безопасности, классификация и общая характеристика рисков, анализ техногенного риска, а также аварийная подготовленность и аварийное реагирование на радиационный риск, спасание людей от облучения.

Учебное пособие разработано в соответствии с тематическим планом рабочей программы изучения дисциплины «Надежность технических систем и техногенный риск» для обучающихся по направлениям подготовки «Пожарная безопасность», «Техносферная безопасность», «Судебная экспертиза», «Информационные технологии».

Пособие может быть использовано в учебном процессе других образовательных организаций высшего образования МЧС России.

УДК 614.8+62
ББК 30.14+68.9

ISBN 978-5-9229-0150-5

© Академия Государственной противопожарной
службы МЧС России, 2017

ВВЕДЕНИЕ

Одной из характерных особенностей научно-технического прогресса является резкое возрастание потока информации и связанное с ним развитие новых технических средств передачи, переработки и хранения информации. Постоянное усложнение этих технических средств, находящихся в прямой зависимости от многообразия и ответственности функций, выполняемых современными автоматизированными системами, выдвигает ряд проблем научной методологии, технического проектирования, технологии производства, испытаний опытных образцов и эксплуатации серийных или уникальных изделий. Центральное положение занимает комплексная проблема эффективности больших систем, неотъемлемую часть которой составляет проблема обеспечения надежности.

Проблема обеспечения надежности технических систем, построенных из большого числа элементов, состоит в разработке методов создания таких систем, которые способны выполнять заданные функции в течение требуемого промежутка времени. В таком общем виде надежность является универсальным понятием, охватывающим любую техническую специализацию.

Методы изучения и контроля надежности широко используются во многих отраслях промышленности. Обеспечение надежности выпускаемой продукции стало одной из важнейших общегосударственных задач прежде всего потому, что ненадежность наносит огромный экономический ущерб народному хозяйству, связанный с затратами на запасные части, ремонтное оборудование и содержание технического персонала, не говоря уже об угрозе безопасности и здоровью людей, о политических и моральных факторах, которые даже не поддаются оценке обычными экономическими показателями. Практический опыт показывает, что в большинстве случаев выгоднее затратить дополнительные средства на обеспечение надежности на этапе разработки изделия, чем расплачиваться ненадежностью изделия при его эксплуатации за кажущуюся экономию средств при проектировании.

Глава 1

ПРИРОДА И ХАРАКТЕРИСТИКА ОПАСНОСТЕЙ В ТЕХНОСФЕРЕ

Опасности существуют в пространстве и времени и реализуются в виде потоков энергии, вещества и информации. Опасности воздействуют без какой-либо избирательности, т. е. на всю окружающую среду. Причинами, из-за которых отдельные объекты не страдают от определенных опасностей или же одни страдают больше, а другие меньше, являются свойства самих объектов.

Номенклатура, т. е. перечень возможных опасностей, насчитывает свыше 150 наименований и при этом не считается полной. Для анализа, обобщения и разработки мероприятий по предотвращению негативных последствий опасностей существует необходимость их классификации.

1.1. Источники опасности: основные понятия, термины и определения

В соответствии с ГОСТ Р ИСО 13600–2011 под техносферой понимаются все технические энергетические системы и продукты, произведенные ими в том состоянии, при котором они не будут считаться выбросами.

Концептуальная модель техносферы. Техносфера окружена природной средой и взаимодействует с ней. Природная среда включает в себя астросферу, атмосферу, биосферу, гидросферу и геосферу (рис. 1.1). Все эти сферы также взаимодействуют друг с другом. Человеческое сообщество рассматривается как часть биосферы.

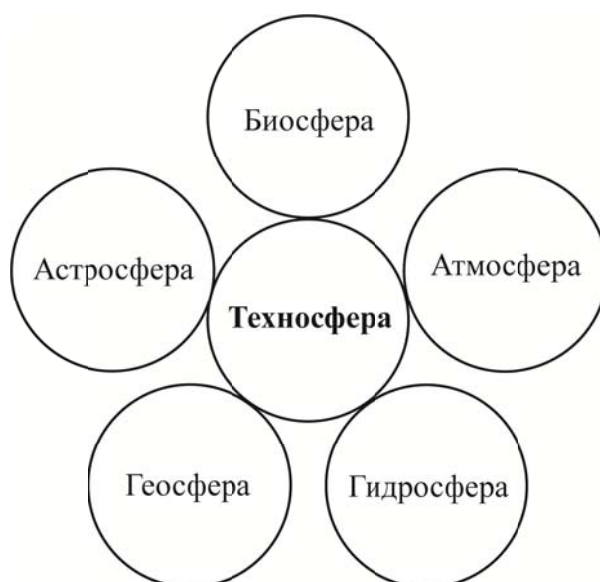


Рис. 1.1. Техносфера и природная среда

Природные ресурсы в виде веществ вносятся в техносферу, например, при разработке месторождений открытым и закрытым способами, разработке грунта, сборе урожая, лесозаготовке, потреблении воздуха или воды. Природные ресурсы используются как входы в технические энергетические системы, т. е. совокупность оборудования и предприятий, основными выходами которых являются продукты и услуги, но которые также производят побочные продукты и выбросы. Природные ресурсы в виде других энергоносителей, таких как солнечное излучение, энергия приливов, геотермальная энергия, ветер и тепло, также используются для прямого преобразования в механическую, тепловую или электрическую энергии.

Продукты, которые являются выходами технической энергетической системы, являются входами в другие технические энергетические системы или используются для предоставления услуг. В конце срока их эксплуатации они повторно используются внутри техносферы или поступают обратно в природную среду как выбросы.

Таким образом, входами в техносферу являются природные ресурсы, а выходами – услуги, предоставляемые обществу, выбросы и эксплуатационные воздействия (рис. 1.2).

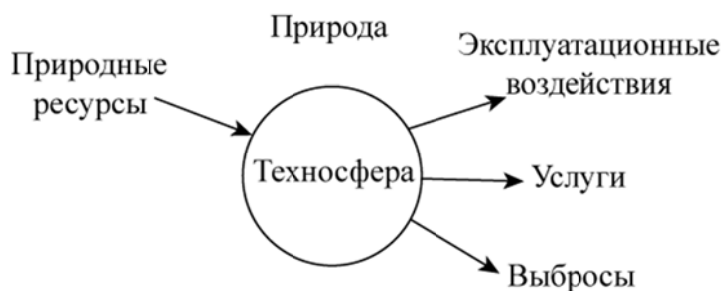


Рис. 1.2. Техносфера и природная среда

Операции, посредством которых природные ресурсы вводятся в техносферу, влияют на природную среду двумя способами: через истощение и эксплуатационные воздействия. Наибольший вред техносфера наносит природной среде через услуги, которые предоставляются обществу, и выбросы (рис. 1.3).

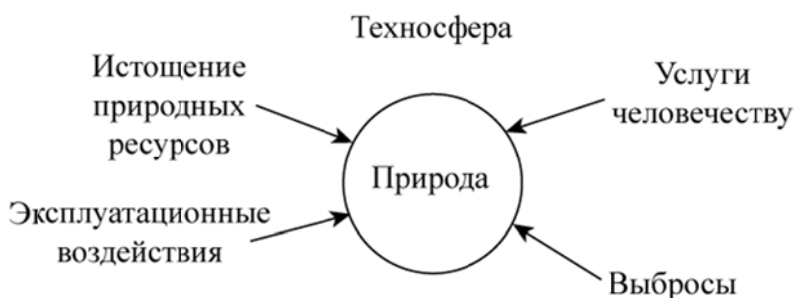


Рис. 1.3. Воздействие техносферы на природную среду

Существует несколько способов подразделять техносферу. В настоящем стандарте рассматриваются только два общепринятых способа: в соответствии с экономической деятельностью и с географическими границами.

В соответствии с экономической деятельностью техносфера делится на два сектора (рис. 1.4):

– энергопоставляющий сектор, который включает в себя нефтяную, угольную, газовую, тепловую и электрическую отрасли промышленности и такие отрасли, которые поставляют на рынки различные топлива, основанные на солнечном излучении, биомассе и вторичных энергетических ресурсах;

– энергопотребляющий сектор, который включает в себя горнопромышленный, топливно-энергетический, машиностроительный, химический, жилищный, коммерческий и социальный подсекторы. На практике не принято разделять транспортный и строительный подсекторы и вводить транспортную инфраструктуру и подсектор по переработке и уничтожению отходов. В данном секторе используются различные виды энергоносителей при децентрализованном применении.

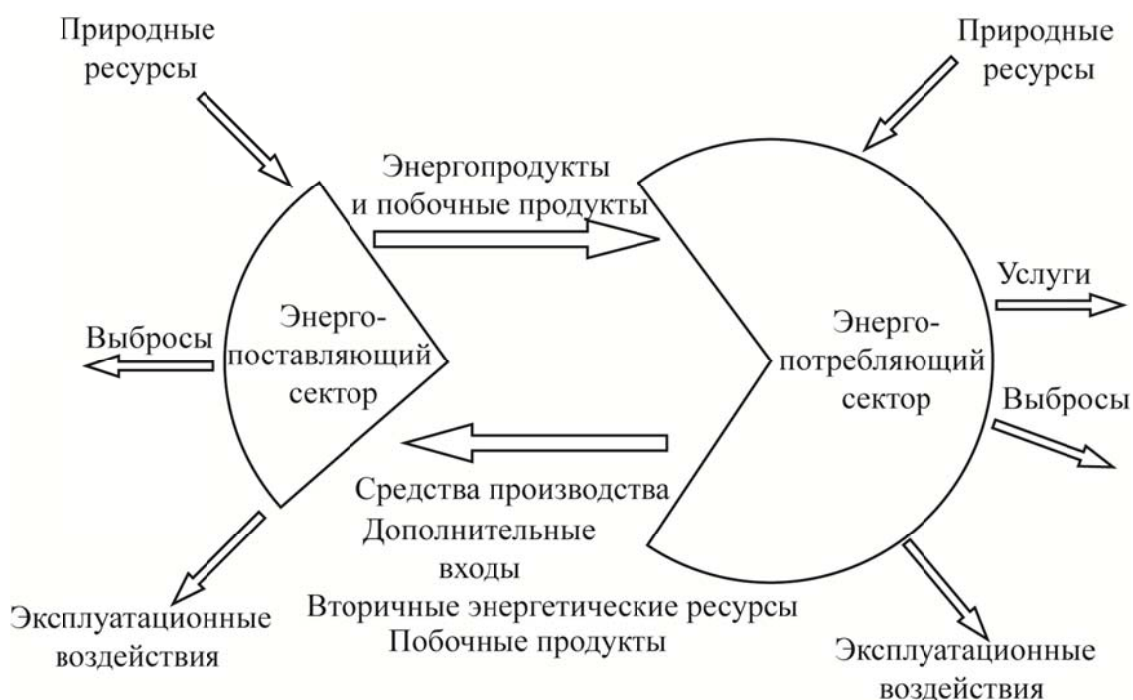


Рис. 1.4. Два сектора техносферы

Техносфера – часть биосферы, коренным образом преобразованная человеком в технические и техногенные объекты (механизмы, здания, сооружения, горные выработки, дороги и т. д.) с помощью прямого или косвенного воздействия технических средств в целях наилучшего соответствия социально-экономическим потребностям человека.

Таким образом, в преобразовании участвуют техника, технические системы и используемая технология.

Техника (от греч. *techne* – искусство, мастерство, умение) – совокупность средств человеческой деятельности, созданных для осуществления процессов производства и обслуживания непродовольственных потребностей общества.

В технике материализованы знания и производственный опыт, накопленные человечеством в процессе развития производства. Техника облегчает трудовые усилия человека и увеличивает их эффективность, позволяет преобразовывать природу в соответствии с потребностями общества. По мере развития производства техника последовательно заменяет человека в выполнении технологических функций, связанных с физическим и умственным трудом.

Средствами техники пользуются для воздействия на предметы труда при создании материальных и культурных благ, для получения, передачи и превращения энергии, исследования законов развития природы и общества, передвижения и связи, сбора, хранения, переработки и передачи информации, управления обществом, обслуживания быта, ведения войны и обеспечения обороны.

По функциональному назначению различают технику производственную, военную, бытовую, медицинскую, для научных исследований, образования, культуры и др.

Основную часть технических средств составляет производственная техника, к которой относятся машины и механизмы, инструменты, аппаратура управления машинами и технологическими процессами. Технику обычно классифицируют по отраслевой структуре производства (например, промышленности, транспорта) или применительно к отдельным структурным подразделениям производства. Например, техника авиационная, мелиоративная, энергетическая, химическая, горная и т. п.

Техника все в большей мере становится материализацией научных знаний. Развитие техники выражается в создании новых и усовершенствовании существующих типов машин, оборудования, в повышении технического уровня производств, процессов, их комплексной механизации и автоматизации, в создании новых материалов, топлива и преобразователей энергии и т. п.

Исторически техника прошла путь развития от примитивных машин, выполняющих одну операцию, до сложнейших автоматических машин современного производства, объединенных в единое целое – систему, имеющую соответствующую структуру и направленную на достижение определенных целей.

Под *технической системой* понимается упорядоченная совокупность отдельных элементов, связанных между собой функционально и взаимодействующих таким образом, чтобы обеспечить выполнение некоторых заданных функций (достижение цели) при различных состояниях работоспособности.

Объектами могут быть различные системы и их элементы, в частности: сооружения, установки, технические изделия, устройства, машины, аппараты, приборы и их части, агрегаты и отдельные детали.

Упорядоченность означает, что относительно окружающей среды система выступает и соответственно воспринимается как нечто функционально единое.

Признаком системы является структурированность, взаимосвязанность составляющих ее частей, подчиненность организации всей системы определенной цели.

Обязательным компонентом любой системы являются составляющие элементы (подсистемы). Само понятие элемента условно и относительно, так как любой элемент, в свою очередь, можно рассматривать как совокупность других элементов.

Поскольку все подсистемы и элементы, из которых состоит система, определенным образом взаиморасположены и взаимосвязаны, образуя данную систему, можно говорить о структуре системы.

Структура системы может изменяться в зависимости от изменения ее состояния, реализации различных форм поведения, совершении системой операций и т. п.

Система имеет, как правило, иерархическую структуру, т. е. может быть представлена в виде совокупности подсистем разного уровня, расположенных в порядке постепенности. При анализе тех или иных конкретных систем достаточным оказывается выделение некоторого определенного числа ступеней иерархии.

Системы функционируют в пространстве и времени. Процесс функционирования систем представляет собой изменение состояния системы, переход ее из одного состояния в другое. В соответствии с этим системы подразделяются на статические и динамические.

Статическая система – это система с одним возможным состоянием. *Динамическая система* – система с множеством состояний, в которой с течением времени происходит переход из одного состояния в другое.

С позиции безопасности задачи исследования технических систем заключаются в том, чтобы увидеть, каким образом элементы системы функционируют в системе во взаимодействии с другими ее частями и по каким причинам может произойти отказ, грозящий негативными последствиями для окружающей среды.

Опасность – потенциальная возможность возникновения процессов или явлений, способных вызвать поражение людей, нанести материальный ущерб и разрушительно воздействовать на окружающую атмосферу (ГОСТ Р 12.3.047–2012 Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля).

Другими словами, **опасность** – следствие действия некоторых негативных (вредных и опасных) факторов на определенный объект (предмет) воздействия.

При несоответствии характеристик воздействующих факторов характеристикам объекта (предмета) воздействия и появляется феномен опасности (например, ударная волна, аномальная температура, недостаток кислорода в воздухе, токсичные примеси в воздухе и т. п.).

Опасность может реализоваться в виде прямого или косвенного ущерба для объекта (предмета) воздействия постепенно или внезапно и резко – в результате отказа системы.

Скрытая (потенциальная) опасность для человека реализуется в форме травм, которые происходят при несчастных случаях, авариях, пожарах и пр., для технических систем – в форме разрушений, потери управляемости и т. д., для экологических систем – в виде загрязнений, утраты видового разнообразия и др.

Определяющие признаки – возможность непосредственного отрицательного воздействия на объект (предмет) воздействия; возможность нарушения нормального состояния элементов производственного процесса, в результате которого могут возникнуть аварии, взрывы, пожары, травмы. Наличие хотя бы одного из указанных признаков является достаточным для отнесения факторов к разделу опасных или вредных.

1.2. Классификация опасностей

Существуют разные системы классификации опасностей – по источникам происхождения, локализации, последствиям, ущербу, сферам проявления и т. п.

Наиболее удачной считается классификация опасностей жизнедеятельности человечества по источникам происхождения, согласно которой все опасности подразделяются на четыре группы:

- природные;
- техногенные;
- социально-политические;
- комбинированные.

Четвертая группа (комбинированные опасности) подразделяется на две подгруппы: природно-техногенные, социально-техногенные опасности, источниками которых является комбинация разных элементов жизненной среды.

Природные опасности – это природные объекты, явления природы и стихийные бедствия, которые представляют угрозу для жизни или здоровья человека (землетрясения, оползни, сели, вулканы, наводнения, снежные лавины, штормы, ураганы, ливни, град, туманы, гололедицы, молнии, астероиды, солнечное и космическое излучения, опасные растения, животные, рыбы, насекомые, грибки, бактерии, вирусы, инфекционные болезни животных и растений).

Техногенные опасности – это опасности, связанные с использованием электрической энергии, химических веществ, разных видов излучения (ионизирующего, электромагнитного, акустического), транспортных средств, горючих, легковоспламеняющихся, взрывоопасных веществ и материалов, процессов, происходящих при повышенных температурах и давлении, с эксплуатацией подъемно-транспортного оборудования.

Источниками опасности (материальными носителями) являются:

- человек;
- объекты, формирующие трудовой процесс и входящие в него: предметы труда, средства труда (машины, станки, инструменты, сооружения, здания, земля, дороги, энергия и т. п.);
- продукты труда;
- технология, операции, действия;
- природно-климатическая среда (грозы, наводнения, солнечная активность и т. п.);
- флора, фауна.

При анализе обстановки среды деятельности человека очевидны как внешние, так и внутренние источники опасности.

Внешние источники имеют два рода явлений:

- состояние среды деятельности (технические системы);
- ошибочные, непредвиденные действия персонала, приводящие к авариям и создающие для окружающей среды и людей рискованные ситуации.

При этом разные факторы среды обитания воздействуют неодинаково: если техника и технологии могут представлять непосредственную опасность, то социально-психологическая среда, за исключением случаев прямого вредительства, влияют на человека через его психологическое состояние, через дезорганизацию его деятельности.

Внутренние источники опасности обусловлены виктимностью – личными особенностями работающего, которые связаны с его социальными и психологическими свойствами и представляют субъективный аспект опасности (этот аспект более подробно рассматривается психологией безопасности деятельности).

Большинство источников опасностей имеют комбинированный характер:

– природно-техногенные опасности – парниковый эффект, нарушение озонового экрана, смог, кислотные дожди, пылевые бури, уменьшение плодородия грунтов, возникновение пустынь и другие явления, вызванные человеческой деятельностью;

– социально-техногенные опасности – профессиональная заболеваемость, травматизм, психические отклонения и заболевания, вызванные производственной деятельностью, массовые психические отклонения и заболевания, вызванные влиянием на сознание и подсознание человека средств массовой информации и специальных технических средств.

Тем не менее наличие источника опасности еще не означает того, что человеку или группе людей обязательно должен быть нанесен ущерб или повреждение. К этому может привести конкретный поражающий фактор.

Поражающий фактор – это фактор жизненной среды, который при определенных условиях наносит ущерб как людям, так и системам жизнеобеспечения, наносит материальный ущерб.

По происхождению поражающие факторы делятся:

– на физические, в том числе энергетические (ударная воздушная или водная волна, электромагнитное, акустическое, ионизирующее излучение, объекты, которые движутся с большой скоростью или имеют высокую температуру, и т. п.);

– химические (химические элементы, вещества и соединения, которые негативно воздействуют на организм людей, фауну и флору, вызывают коррозию, приводят к разрушению объектов жизненной среды);

– биологические (животные, растения, микроорганизмы);

– социальные (возбужденная толпа людей);

– психофизиологические (физические перегрузки – статические и динамические; монотонность труда, эмоциональные перегрузки).

В зависимости от последствий влияния конкретных поражающих факторов на организм человека они подразделяются на вредные и опасные.

Вредные – это факторы жизненной среды, которые приводят к ухудшению самочувствия, снижению трудоспособности, заболеванию и даже к смерти как следствию заболевания.

Опасные – факторы жизненной среды, которые приводят к травмам, ожогам, обморожениям, другим повреждениям организма или отдельных его органов и даже к внезапной смерти.

Такое деление поражающих факторов эффективно используется в охране труда для организации расследования, учета несчастных случаев и профессиональных заболеваний, обустройства работ, направленных на разработку мероприятий и средств защиты работников, и т. п.

По характеру и природе влияния все опасные и вредные факторы делятся на: физические, химические, биологические и психофизиологические.

Деление на источник опасности, опасную ситуацию и опасный фактор проводится в зависимости от задач и прежде всего от уровня системы **«человек – жизненная среда»**. Например, для одного конкретного лица или группы людей поражающим фактором являются осколки от взрыва бомбы, падение бомб (бомбежка) является опасной ситуацией, а самолет, из которого осуществляется бомбежка, источником опасности. Для страны или региона, в котором ведутся боевые действия, опасным фактором являются бомбы; появление самолетов, которые несут бомбы, – это опасная ситуация, а источником опасности является война.

Один источник опасности может приводить к разного рода опасным ситуациям, а последние порождают разные поражающие факторы (газовая плита – угроза отравления, пожара и взрыва).

Современная жизненная среда, даже бытовая, содержит много источников опасностей – это и электрическая сеть и электроаппаратура, система водоснабжения, медикаменты, отравляющие и пожароопасные вещества, балконы, которые находятся на высоте, охотничье или другое оружие и т. п. Для реализации потенциальной угрозы необходима триада **«источник опасности – причина (условие) – опасная ситуация»**.

Опасность, как правило, проявляется в определенной пространственной области, которая получила название опасная зона.

Чаще всего опасная ситуация для человека возникает при таких условиях: опасность реально существует; человек находится в зоне действия опасности; человек не имеет достаточных средств защиты, не использует их или эти средства неэффективны.

Таксономия (от греч. *taxis* – расположение по порядку + *monos* – закон) – определяется в словаре иностранных слов как «теория классификации и систематизации сложноорганизованных областей деятельности, имеющих обычно иерархическое строение».

Таким образом, таксономия в науке – классификация и систематизация сложных явлений, понятий, объектов.

Поскольку опасность является понятием сложным, иерархическим, имеющим много признаков, таксономирование их выполняет важную роль в организации научного знания в области безопасности деятельности и позволяет познать природу опасностей, дает новые подходы к задачам их описания, введения количественных характеристик и управления ими.

Приведем примеры, которые характерны для опасностей.

Таксономия опасностей по эффектам изменения окружающей среды. Наиболее существенные параметры среды обитания человека, имеющие значение для его нормальной и безопасной жизнедеятельности, таковы:

- температура;
- давление окружающего атмосферного воздуха;
- внешнее давление, оказываемое на отдельные участки тела;
- концентрация кислорода;
- концентрация токсичных или коррозионно-активных веществ;
- концентрация болезнетворных микроорганизмов;
- плотность потока электромагнитного излучения;
- уровень ионизирующих излучений;
- разность электрического потенциала;
- звуковые и вибрационные нагрузки.

Температура. Воздействия, связанные с повышением или понижением температуры человеческого тела (как изнутри, так и снаружи), могут приводить к травмам или смертям. К таким воздействиям относятся тепловое излучение, конвекция (передача энергии в форме теплоты) и прямая теплопередача с кожного покрова или к нему, вдыхание чересчур холодного или горячего воздуха, употребление внутрь слишком холодных или теплых жидкостей или твердых веществ.

Атмосферное давление. Внезапные изменения окружающего воздуха, обусловленные действием воздушных ударных волн, могут приводить к травмам или смерти.

Внешнее давление. Механические травмы возникают из-за приложения чрезмерного давления к отдельным участкам человеческого тела. Механические травмы – это рваные и резаные раны, ушибы, переломы, размозжение, отрывы частей тела, травмы, затрагивающие жизненно важные органы – мозг, сердце, легкие и другие органы.

Концентрация кислорода. Снижение концентрации кислорода в воздухе приводит к травмам и смертям. Перерыв в дыхании происходит, если человек тонет или погребен под твердыми материалами. С другой стороны, и избыток кислорода опасен. При повышении концентрации кислорода резко возникает пожарная опасность.

Загрязнение воздуха. Хорошо известно, что присутствие определенных веществ в окружающей среде приводит к заболеванию или смерти (например, избыточная концентрация оксида или диоксида углерода).

Концентрация болезнетворных микроорганизмов. Не менее хорошо известно, что избыточная концентрация болезнетворных микроорганизмов вредна и приводит к инфекционным заболеваниям.

Плотность потока электромагнитного излучения. Для всех длин волн электромагнитного излучения существуют пределы интенсивности, за которыми их воздействие на организм человека становится опасным для здоровья.

Уровень ионизирующих излучений. Человеческий организм приспособился к существованию в условиях естественного радиоактивного фона,

а вклад относительно небольшой техносферной составляющей (ядерной энергетики в нормальных условиях эксплуатации, медицинской диагностики, неразрушающих методов контроля в технике и т. д.) можно считать безвредным. Повышенный уровень дозовых нагрузок приводит к хроническим заболеваниям, значительные дозы вызывают лучевую болезнь и смерть.

Разность электрического потенциала. Человеческий организм чувствителен к разности потенциалов порядка десятков вольт. Разность потенциалов в сотни вольт (безразлично-постоянного или переменного напряжения) вполне может привести к гибели.

Звуковые и вибрационные нагрузки могут привести к хроническим заболеваниям несмертельного характера.

Таксономия по времени реализации. В медицине издавна используются термины *острый* и *хронический* для описания характера заболевания: быстро развивающаяся и бурно протекающую болезнь называют острой, медленно развивающаяся и долго текущая болезнь обозначается как хроническая.

В медицине никогда не придавалось точного значения понятиям быстро и медленно. С медицинской точки зрения понятия острый или хронический никоим образом не связывалось с тяжестью заболевания; такое понимание этих терминов сохранено при рассмотрении опасностей.

Легко видеть, что термины острый и хронический отвечают противоположным полюсам некоего диапазона значений; провести строгую разделительную черту между ними весьма непросто.

Термин *острый* будет относиться к опасностям, для которых время проявления действия не превышает часа.

Опасность будет называться *хронической*, если ее реализация занимает более месяца.

Опасности, срок реализации которых находится внутри обозначенного интервала, будут рассматриваться как нечто среднее между острыми и хроническими опасностями.

Под временем действия опасности понимается период, в течение которого зарождаются, развиваются и действуют поражающие факторы.

Временной масштаб опасных событий указан в табл. 1.1.

Таблица 1.1

Временной масштаб опасных событий

Время действия опасности	Последствия опасного события
0,01 с	Смерть от взрыва взрывчатого вещества
5–7 мин	Смерть от электрического тока
2–3 мин	Удушье, утопление
10–60 мин	Отравление хлором
Сутки	Поражение, обусловленное действием диоксина
Месяцы или годы	Отравление свинцом или другими тяжелыми металлами
Годы	Развитие злокачественных новообразований, пневмокониозов

Таксономия опасностей по числу пораженных. Идея этой классификации – качественная характеристика индивидуальных и групповых опасностей.

Таксономия опасностей по виду энергетического носителя:

а) механические – характеризуются кинетической и потенциальной энергией и механическим влиянием на объекты воздействия; к ним относятся: кинетическая энергия движущихся и вращающихся элементов, потенциальная энергия тел (в том числе людей, находящихся на высоте), шумы (ультразвук, инфразвук), вибрация, ускорения, гравитационная тяжесть, статическая нагрузка, дым, туман, ударная волна и др.;

б) термические – характеризуются тепловой энергией и аномальной температурой; к ним относятся: температура нагретых или охлажденных поверхностей, открытого огня, пожара, химических реакций и других источников; сюда относятся и параметры микроклимата, нарушающие терморегуляцию организма;

в) электрические – электрический ток, статическое электричество, ионизирующие излучения, электрическое поле, аномальная ионизация воздуха;

г) электромагнитные – освещенность, ультрафиолетовая и инфракрасная радиация, электромагнитные излучения, магнитное поле;

д) химические – едкие, ядовитые, огне- и взрывоопасные вещества, а также нарушение естественного газового состава воздуха, наличие вредных примесей в воздухе.

Таксономия факторов, обуславливающих возможные отказы технических систем. Любая система эксплуатируется в определенных условиях окружающей среды; она испытывает воздействие факторов окружающей среды (климатические, динамические, биологические и др.), факторов нагрузки (режим работы и взаимодействие элементов), а также искусственных факторов (преднамеренное воздействие извне).

Эти факторы могут привести к изменению параметров и состояния работоспособности отдельных элементов, узлов и системы в целом. Представляется целесообразным привести таксономию таких факторов:

1. Перегрузка в результате недооценки действующей нагрузки:

- снег и непродуманная его расчистка, наледи;
- производственная пыль;
- несоответствие фактических масс конструкций запроектированным;
- ветер;
- крановая нагрузка;
- динамические воздействия нагрузки;
- температурные воздействия.

2. Потеря устойчивости (общая и местная):

- ошибки в расчетах, чертежах, нарушение правил производства работ;
- слабая экспериментальная отработка проектных решений;

- большая гибкость элементов, эксцентриситет при приложении нагрузки;

- податливость монтажных стыков, несвоевременная или неправильная анкеровка опор;

- температурные деформации при неправильном закреплении связей;

- недостаточная толщина листовых конструкций;

- искажение геометрических формы конструкций (особенно тонкостенных);

- неудачное крепление ванта, оттяжек;

- наличие вмятин и местных искривлений.

3. Неудачные проектные решения и отступления от проекта:

- неудачный выбор расчетной схемы (несоответствие действительной работе конструкции);

- низкая точность расчета;

- недоработка узлов сопряжений;

- занижение расчетной нагрузки по сравнению с реальной;

- недооценка жесткости узлов;

- недостаточная жесткость, прочность, устойчивость;

- замена одного материала другим;

- низкая квалификация исполнителей;

- отсутствие авторского и технического надзора;

- наличие концентраторов напряжений.

4. Некачественное изготовление и монтаж конструкций:

- применение некачественных материалов;

- низкое качество изготовления конструкций;

- неправильный выбор способа и порядка монтажа;

- несвоевременная постановка связей жесткости;

- некачественная сварка;

- нарушение технологии сварки в зимнее время;

- ввод в действие сооружений с существенными недостатками.

5. Нарушение правил эксплуатации конструкций и сооружений:

- отсутствие защиты конструкций, работающих в агрессивных средах (резкие температурные колебания и изменения влажности);

- взрывы, пожары, затопления;

- вибрации, удары, истирание;

- отсутствие надлежащего инструментального контроля;

- перегрузка производственной пылью;

- увеличение нагрузки без усиления конструкций и регулирования напряжений в них.

6. Усталость, вибрация, коррозия и старение материала:

- усталостные разрушения;

- разрушения от старения;

- вибродинамическое действие кранов, подвижного состава;
- загрязнение окружающей среды;
- наличие поверхностных дефектов в конструкциях;
- резкие колебания температуры;
- осадки.

7. Дефектность оснований, на которые установлены конструкции:

- неравномерная осадка сооружений, колонн;
- дефекты кирпичной кладки;
- наличие перекошенных закладных частей;
- потеря устойчивости основания;
- неравномерное промораживание грунта;
- оттаивание грунта в зоне многолетнемерзлого грунта;
- пучение грунта;
- замачивание лессовидных грунтов;
- блуждающие токи в грунте;
- агрессивные грунтовые воды;
- засоленные грунты;
- дефекты инженерно-геологических изысканий.

8. Непредвиденные (непрогнозируемые) причины:

– аварии от провалов, оползней, осыпей, обрушений вышележащих конструкций;

- сейсмические воздействия и извержения вулканов;
- грозовые разряды, град, падение метеоритов;
- аварии от биологических вредителей;
- ураганы, наводнения, цунами, ледоходы, сели;
- ландшафтные пожары;
- подмыв фундаментов, переувлажнение оснований.

Под идентификацией опасностей понимается процесс обнаружения и установления количественных, временных, пространственных и иных характеристик, необходимых и достаточных для разработки профилактических и оперативных мероприятий, направленных на обеспечение жизнедеятельности.

В процессе идентификации выявляются номенклатура опасностей, вероятность их проявления, пространственная локализация (координаты), возможный ущерб и другие параметры, необходимые для решения конкретной задачи.

Методы обнаружения опасностей:

- инженерный – определяет опасности, которые имеют вероятностную природу происхождения;
- экспертный – направлен на поиск отказов и их причин. При этом создается специальная экспертная группа, в состав которой входят разные специалисты, дающие заключение;

– социологический метод применяется при определении опасностей путем исследования мнения населения (социальной группы). Формируется путем опросов;

– регистрационный – заключается в использовании информации о подсчете конкретных событий, затрат каких-либо ресурсов, количестве жертв;

– органолептический, при котором используют информацию, получаемую органами чувств человека: зрением, осязанием, обонянием, вкусом и др. Примеры применения – внешний визуальный осмотр техники, изделия, определение на слух (по монотонности звука) четкости работы двигателя и пр.

Квантификация опасностей – это введение количественных характеристик для оценки сложных, качественно определяемых понятий. Применяются численные, балльные и другие приемы квантификации. Наиболее распространенной оценкой опасности является риск.

Опасности носят потенциальный, т. е. скрытый характер. Условия, при которых реализуются потенциальные опасности, называются причинами. Причины характеризуют совокупность обстоятельств, благодаря которым опасности проявляются и вызывают те или иные нежелательные последствия, ущерб. Формы ущерба, или нежелательные последствия, разнообразны: травмы различной тяжести, заболевания, определяемые современными методами, урон окружающей среде и др.

Опасности классифицируют по ряду признаков (табл. 1.2).

Таблица 1.2

Классификация опасностей

№ п/п	Признак классификации	Вид (класс)
1	По видам источников опасности	Естественные, антропогенные, техногенные
2	По видам потоков в жизненном пространстве	Энергетические, информационные
3	По величине потоков в жизненном пространстве	Допустимые, предельно допустимые, опасные, чрезвычайно опасные
4	По моменту возникновения опасности	Прогнозируемые, спонтанные
5	По длительности воздействия опасности	Постоянные, переменные, периодические, кратковременные
6	По объектам негативного воздействия	Действующие на человека; на природную среду; действующие на материальные ресурсы; комплексного воздействия
7	По количеству людей, подверженных опасному воздействию	Одиночные, групповые (коллективные), массовые
8	По размерам зоны воздействия	Локальные, региональные, межрегиональные, глобальные

№ п/п	Признак классификации	Вид (класс)
9	По видам зон воздействия	Действующие в помещении; на территориях
10	По способности человека идентифицировать опасности органами чувств	Ощущаемые, неощущаемые
11	По виду негативного воздействия на человека	Вредные, травмоопасные
12	По вероятности воздействия на человека и среду обитания	Потенциальные, реальные, реализованные

Триада *опасность – причины – нежелательные последствия* – это логический процесс развития, реализующий потенциальную опасность в реальный ущерб (последствие).

Опасности по происхождению бывают: природные, техногенные, экологические, смешанные; по времени проявления – импульсные (проявляются мгновенно, например, опасность поражения электрическим током), кумулятивные (накапливающиеся, например, проживание в местности повышенного радиоактивного воздействия); по локализации – литосферные (землетрясение, извержение вулканов), гидросферные, атмосферные (озоновые дыры), космические (солнечные циклы).

1.3. Причины и последствия, пороговый уровень опасности

Живые организмы способны без вреда для себя переносить воздействие опасностей в определенных количествах, например, загрязняющих веществ, теплового излучения, вибрации. Их уровень, ниже которого болезненные реакции не наблюдаются, называют *пороговым уровнем*. При больших количествах проявляются отрицательные воздействия. Они зависят от величины опасной дозы и длительности воздействия (экспозиции) опасности. При короткой экспозиции (малой длительности) переносимы более высокие уровни, т. е. пороговые значения для них могут быть выше и понижаться при более длительной экспозиции.

Для ряда опасностей, способных к биоаккумуляции, таких как, например, загрязнители элементов биосферы (тяжелые металлы, ДДТ – дихлордифенилтрихлорэтан), существуют определенные пределы, в рамках которых организм способен компенсировать их негативное воздействие. Именно такой подход заложен в ряд предельно допустимых значений – ПДУ (предельно допустимый уровень), ПДК (предельно допустимая концентрация) и др.

Предельно допустимая концентрация – это наибольшая концентрация вредного вещества в среде (воздухе, воде, почве), которая при более

или менее длительном действии на организм – контакте, вдыхании, приеме внутрь – не оказывает влияния на здоровье и не вызывает неблагоприятных последствий у потомства.

В зависимости от длительности действия вредного вещества, чувствительности организма, условий его жизнедеятельности и других обстоятельств различают:

- ПДК среднесуточные (ПДК_{сс});
- ПДК максимально разовые (ПДК_{м.р});
- ПДК рабочих зон (ПДК_{р.з});
- ПДК для человека, животных, растений.

Одни и те же концентрации вредных веществ по-разному действуют на организмы в разных средах: воздухе, воде и почве. Поэтому ПДК вредных веществ в разных средах могут сильно различаться. Существуют несколько тысяч ПДК индивидуальных вредных веществ.

В некоторых случаях даже соблюдение гигиенических нормативов ПДК не дает никаких гарантий сохранения благоприятной окружающей среды. Так, присутствие особо опасных токсичных веществ – ксенобиотиков (чужеродных веществ) даже в количествах, не превышающих ПДК, может представлять угрозу для здоровья людей.

Для исключения необратимых биологических эффектов устанавливают нормируемые безопасные и предельно допустимые уровни или концентрации энергетического или биологического воздействия. При определении предельно допустимых значений приходится делать выбор между вероятностью нанести ущерб здоровью человека и экономической выгодой обеспечения более жестких нормативов.

Опыт взаимодействия человека с техническими системами позволяет идентифицировать травмирующие и вредные факторы, а также выработать методы оценки вероятности появления опасных ситуаций. Прежде всего, это накопление статистических данных об аварийности и травматизме, различные способы преобразования и обработки статистических данных, повышающие их информативность. Недостатком этого метода является его ограниченность, невозможность экспериментирования и неприменимость к оценке опасности новых технических средств и технологий.

1.4. Показатели безопасности технических систем

Все опасности реальны тогда, когда они могут воздействовать на конкретные объекты (объекты защиты). Объекты защиты, как и источники опасностей, многообразны. Каждый компонент окружающей среды может быть объектом защиты от опасностей. В порядке приоритета к объектам защиты относятся: человек, сообщество, государство, природная среда (биосфера), техносфера и т. д. Основное, желаемое состояние объектов

защиты – безопасное. Оно реализуется при полном отсутствии воздействия опасностей. Состояние безопасности достигается также при условии, когда действующие на объект защиты опасности снижены до предельно допустимых уровней воздействия.

Безопасность – состояние объекта защиты, при котором воздействие на него всех потоков вещества, энергии и информации не превышает максимально допустимых значений. Следует отметить, что термин *безопасность* часто используют для оценки качества источника опасности, говоря о неспособности его генерировать опасности. Настало время, когда для описания такого свойства источников опасности необходимо найти иной термин. Такими терминами могут быть: *неопасность*, *совместимость*, *экологичность* и т. п.

Системы обеспечения безопасности представлены в табл. 1.3.

Таблица 1.3

Системы обеспечения безопасности человека

№ п/п	Вид и поле безопасности	Объект защиты	Система безопасности
1	Опасности среды деятельности	Человек	Безопасность (охрана труда)
2	Опасности среды деятельности и отдыха, города и жилища – опасности техносферы	Человек	Безопасность жизнедеятельности человека
3	Опасности техносферы	Природная среда	Охрана природной среды
4	Чрезвычайные опасности биосферы и техносферы, в том числе пожары, взрывы, ионизирующие воздействия	Человек Природная среда Материальные ресурсы	Защита в чрезвычайных ситуациях, пожарная и взрывозащитная, радиационная защита, химическая защиты
5	Внешние и внутренние общегосударственные опасности	Общество Нация	Системы безопасности страны. Национальная безопасность
6	Опасности неконтролируемой и неуправляемой общечеловеческой деятельности (рост населения, оружие массового поражения, потепление климата и т. п.)	Человечество Биосфера Техносфера	Глобальная безопасность
7	Опасности космоса	Человечество Планета Земля	Космическая безопасность

Безопасность следует понимать как комплексную систему мер по защите человека и среды обитания от опасностей, формируемых конкретной деятельностью. Чем опаснее вид деятельности, тем более сложной будет комплексная система защиты (безопасность этой деятельности). Комплексную систему в условиях производства составляют следующие меры защиты: правовые, организационные, экономические, технические, санитарно-гигиенические, лечебно-профилактические.

Экологичность источника опасности – состояние источника, при котором соблюдается его допустимое воздействие на человека, биосферу и (или) техносферу.

Говоря о реализации состояния безопасности, необходимо рассматривать объект защиты и совокупность опасностей, действующих на него. По объектам защиты реально существующие в настоящее время системы безопасности распадаются на следующие виды:

- систему личной и коллективной безопасности человека в процессе его жизнедеятельности;
- систему охраны природной среды;
- систему государственной безопасности;
- систему глобальной безопасности.

Историческим приоритетом обладают системы обеспечения безопасности человека, который на всех этапах своего развития постоянно стремился к обеспечению комфорта и личной безопасности. В настоящее время эти задачи решаются в системе безопасности жизнедеятельности человека в техносфере.

В табл. 1.4 представлены вероятности индивидуального смертельного риска в различных сферах деятельности.

Таблица 1.4

**Вероятность индивидуального смертельного риска
в различных сферах деятельности**

Вид деятельности или опасности	Риск
Автомобильные катастрофы	0,001
Преступления	0,0004
Добыча угля	0,00088
Строительство	0,000092
Сельское хозяйство	0,000087
Молния	0,0000001

Показатели безопасности технических систем определяют способность системы обуславливать при ее эксплуатации безопасность обслуживающего персонала и населения.

К показателям безопасности следует отнести вероятность безопасной работы человека в конкретных условиях в течение определенного времени, время срабатывания блокировочных и защитных устройств, электропрочность линий передачи и т. д.

Хотя безопасность рассматривается как одно из свойств надежности, оно выходит за рамки надежности, поскольку неполнота безопасности может проявляться и в нормальных условиях работы объекта. Примером может служить работа теплоэлектроцентралей на органическом топливе: угле, сланце, мазуте – с нормальным режимом функционирования котлов, но

с выбросами в атмосферу вредных продуктов сгорания в дозах, превышающих допустимые из-за несоответствия качества топлива режимам горения.

Этот случай также можно рассматривать как отказ системы, при котором следует изменить режимы сжигания или режимы работы фильтров.

К *показателям надежности* относятся показатели безотказности, долговечности, ремонтпригодности, восстанавливаемости, сохраняемости, готовности (их изучает теория надежности).

Эргономические показатели определяют систему взаимодействия «человек – машина» и характеризуют комплекс гигиенических, антропометрических, физиологических и психологических свойств, которые проявляются в процессах взаимодействия системы «человек – машина» (изучаются инженерной психологией и эргономикой).

Гигиенические показатели используют при определении соответствия системы условиям жизнедеятельности и работоспособности человека при его взаимодействии с технической системой (показатели освещенности, температуры, влажности, магнитного и электрического полей, запыленности, излучения, токсичности, шума, вибрации, перегрузок и т. д.).

Физиологические и психофизиологические показатели используют при определении соответствия системы физиологическим свойствам человека и особенностям функционирования его органов чувств. Такие показатели характеризуют соответствие системы возможностям человека воспринимать и перерабатывать информацию, соответствие системы закрепленным и вновь приобретенным навыкам человека.

Экологические показатели определяют уровень вредных воздействий на окружающую среду при эксплуатации, производстве, потреблении и транспортировании продукции. К ним следует отнести: содержание вредных компонентов, выбрасываемых в окружающую среду; вероятность выбросов вредных компонентов (газов, жидкостей, различных излучений и т. д.).

Экономические показатели характеризуют объем затрат на обеспечение допустимого уровня безопасности.

Таким образом, опасности – многоаспектные явления, и трудно, а подчас и невозможно рассматривать одни составные части опасности в отрыве от других. Необходимо иметь представление о том, каких последствий следует ожидать, насколько велика угроза для окружающей природной среды и для общества. Качественная характеристика индивидуальных и групповых опасностей представляет взаимосвязь между временным масштабом опасностей техносферы и числом несчастных случаев. Ее можно рассматривать как наглядную иллюстрацию различий между групповыми и одиночными несчастными случаями, групповыми профессиональными заболеваниями. Например, рассматривается повышение значения медицинского вмешательства с увеличением временного масштаба и одновременно учитывается связь опасностей и риска.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
Глава 1. ПРИРОДА И ХАРАКТЕРИСТИКА ОПАСНОСТЕЙ В ТЕХНОСФЕРЕ	4
1.1. Источники опасности: основные понятия, термины и определения	4
1.2. Классификация опасностей	9
1.3. Причины и последствия, пороговый уровень опасности	19
1.4. Показатели безопасности технических систем	20
Глава 2. РОЛЬ ВНЕШНИХ ФАКТОРОВ, ВОЗДЕЙСТВУЮЩИХ НА ФОРМИРОВАНИЕ ОТКАЗОВ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ	24
2.1. Классификация внешних воздействующих факторов	24
2.1.1. Общие положения	24
2.1.2. Климатические и другие природные внешние воздействующие факторы	26
2.2. Воздействие внешних факторов на надежность технических систем и их последствия	30
2.2.1. Воздействие температуры	30
2.2.2. Воздействие солнечной радиации	34
2.2.3. Воздействие влажности	36
2.2.4. Воздействие атмосферного давления	39
2.2.5. Воздействие ветра и гололеда	40
2.2.6. Воздействие примесей воздуха	41
2.2.7. Воздействие биологических факторов	43
2.2.8. Старение материалов	43
2.2.9. Факторы нагрузки	48
Глава 3. ОСНОВЫ ТЕОРИИ НАДЕЖНОСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ	50
3.1. Общая характеристика надежности как науки	50
3.2. Жизненный цикл объекта	51
3.3. Основные термины и определения	53
3.3.1. Основные понятия	53
3.3.2. Состояния объекта	56
3.3.3. Временные показатели	57
3.3.4. Отказы, дефекты, повреждения	59
3.3.5. Техническое обслуживание, восстановление и ремонт	60
3.4. Показатели надежности	60
3.4.1. Показатели безотказности	61
3.4.2. Показатели долговечности	67
3.4.3. Показатели ремонтпригодности и восстанавливаемости	68
3.5. Комплексные показатели надежности	69
3.5.1. Коэффициент готовности	69
3.5.2. Коэффициент оперативной готовности	70
3.5.3. Коэффициент технического использования	70

Глава 4. ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ	73
4.1. Испытания как способ оценки надежности	73
4.1.1. Документация для сбора первичной информации	73
4.1.2. Планирование испытаний и обработка экспериментальных данных	77
4.1.3. Виды и программы испытаний, обработка и представление результатов испытаний на надежность	80
4.2. Общая характеристика методов повышения надежности	85
4.3. Оценка показателей безотказности систем с резервированием	90
4.3.1. Общее резервирование с постоянно включенным резервом и с целой кратностью	91
4.3.2. Надежность системы с нагруженным дублированием	94
4.3.3. Надежность восстанавливаемых систем	97
Глава 5. ДИАГНОСТИРОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ	99
5.1. Задачи и определения технической диагностики	100
5.1.1. Цели и задачи технической диагностики	100
5.1.2. Создание системы технической диагностики (СТД)	103
5.2. Метод и алгоритмы поиска неисправностей	104
5.3. Функциональное диагностирование	111
Глава 6. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ	113
6.1. Понятие прогнозирования и его классификация	114
6.1.1. Основные понятия, термины и определения	114
6.1.2. Классификация методов прогнозирования	118
6.1.3. Концепция прогнозирования остаточного ресурса	119
6.2. Методы повышения контроля технического состояния оборудования	121
6.2.1. Оценка предельных размеров повреждений статистическими методами	121
6.2.2. Планирование минимально необходимого объема контроля	123
6.3. Методы прогнозирования остаточного ресурса	124
6.3.1. Прогнозирование остаточного ресурса при малоцикловых нагрузках	124
6.3.2. Методы прогнозирования остаточного ресурса составных частей машин	125
Глава 7. ТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ	130
7.1. Назначение и принципы работы защитных систем	130
7.2. Типовые структуры и принципы функционирования автоматических систем защиты	132
7.3. Автоматическая интеллектуализированная система защиты объекта и управления уровнем безопасности	136
7.4. Типовые локальные технические системы и средства безопасности	139
Глава 8. КЛАССИФИКАЦИЯ И ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РИСКОВ	142
8.1. Понятие риска	142
8.2. Критерий приемлемости риска смерти людей, регламентируемый государством	152
8.3. Субъективные оценки людей об окружающей опасности	154
8.4. Классификация риска гибели людей	155

Глава 9. АНАЛИЗ ТЕХНОГЕННОГО РИСКА	159
9.1. Классификация и номенклатура потенциально опасных объектов и технологий	159
9.2. Общие методологические принципы анализа техногенного риска	162
9.3. Математическое выражение риска	164
9.4. Типовые опасности на промышленных объектах и структура вероятностных ущербов от аварий.....	166
Глава 10. АВАРИЙНАЯ ПОДГОТОВЛЕННОСТЬ И АВАРИЙНОЕ РЕАГИРОВАНИЕ НА РАДИАЦИОННЫЙ РИСК, СПАСАНИЕ ЛЮДЕЙ ОТ ОБЛУЧЕНИЯ	171
10.1. Измерение доз радиации	171
10.2. Активность радиоактивных веществ.....	172
10.3. Различие между внешним и внутренним облучением организма.....	173
10.3.1. Внешнее облучение.....	174
10.3.2. Внутреннее облучение.....	174
10.4. Нормы радиационной безопасности	175
10.4.1. Нормы радиационной безопасности для персонала	175
10.4.2. Биологические последствия радиации.....	177
10.4.3. Химические радиопротекторы.....	180
10.4.4. Основные уроки Чернобыльской аварии для пожарных подразделений....	181
10.4.5. Защита от облучения, защита от альфа- и бета-излучения.....	182
10.4.6. Защита глаз от бета-излучения	182
10.4.7. Защита от радиоактивного облака.....	183
10.4.8. Защита от внутреннего облучения	183
10.5. Организация и проведение аварийно-спасательных работ при ликвидации последствий радиационных аварий	184
ЛИТЕРАТУРА	187

Учебное издание

ХАРИСОВ Гаяз Харисович
СИДОРЕНКО Григорий Георгиевич
МИРЗАЯНЦ Артур Вячеславович

НАДЕЖНОСТЬ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ И ТЕХНОГЕННЫЙ РИСК

Учебное пособие

Редактор *З. А. Малаховская*
Технический редактор *Г. А. Габдулина*
Корректор *Н. В. Федькова*

Подписано в печать 12.10.2017 Формат 60×90 1/16.
Печ. л. 12. Уч.-изд. л. 8,7. Бумага офсетная.
Тираж 400 экз. Заказ 376

Академия ГПС МЧС России
129366, Москва, ул. Бориса Галушкина, 4