



Левашов С.П. работает в КМИ-КГУ с 1982г., кандидат технических наук, доцент кафедры «Экология и безопасность жизнедеятельности», автор более 50 научных и научно-методических работ.

Курганский  
государственный  
университет



редакционно-издательский  
центр  
43-38-36

Левашов С.П.

# ПРОФЕССИОНАЛЬНЫЙ РИСК: МЕТОДОЛОГИЯ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА И МОДЕЛИРОВАНИЯ

Учебное пособие

Левашов С.П. ПРОФЕССИОНАЛЬНЫЙ РИСК: методология системного анализа и моделирования



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ  
КУРГАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

**Левашов С.П.**

# **Профессиональный риск:**

**методология системного анализа  
и моделирования**

Учебное пособие

Курган 2008

УДК 638.382.3(075.8)  
Л 34

#### Рецензенты

Базовый научно-методический центр по охране труда при ФГОУ ВПО «Курганская государственная сельскохозяйственная академия им. Т.С. Мальцева» (директор - действительный член МАНЭБ, д-р техн.наук, профессор П.Г. Митрофанов).

Директор Курганского института государственной и муниципальной службы, действительный член МАНЭБ, канд.техн.наук, профессор В.И. Яхонтов.

*Печатается по решению методического совета Курганского государственного университета.*

Научный редактор – действительный член МАНЭБ, канд. техн. наук, профессор кафедры «Экология и безопасность жизнедеятельности» Курганского государственного университета А.П. Кузьмин.

Л 34 Левашов С.П. **Профессиональный риск: методология системного анализа и моделирования**: Учеб. пособие.- Курган: Изд-во Курганского гос. ун-та, 2008.- 154 с.

В пособии изложены основы **методологии системного анализа и моделирования** профессионального риска в системе «человек – производственная среда». Рассмотрены основные методы оценки риска человека в среде обитания, модели возникновения и развития неблагоприятных событий и процессов, методы и алгоритмы исследования опасностей, математический аппарат анализа риска, методы качественного и количественного анализа безопасности и риска.

Предлагаемое издание представляет собой междисциплинарное учебное пособие для студентов специальности 280101- «Безопасность жизнедеятельности в техносфере», при изучении курсов: «Безопасность труда», «Надежность технических систем и техногенный риск», а также «Системный анализ и моделирование процессов в техносфере». Пособие может быть использовано студентами, технических и гуманитарных специальностей при изучении курса "Безопасность жизнедеятельности".

Рис.- 23, библиограф.-76 назв., табл.-14.

УДК 638.382.3(075.8)

ISBN 978-5-86328-889-5

© Курганский государственный университет, 2008  
© Левашов С.П., 2008

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>Введение</b>	5
<b>Глава 1. Риск как мера опасности для человека в техно- сфере</b>	8
<b>Историческая справка</b>	8
1.1. Современные проблемы теории и методологии риска	11
1.2. Риски в социотехнических системах	15
1.3. Методы оценки рисков в техносфере	19
1.3.1. Санитарно-гигиеническая оценка риска	19
1.3.2. Медико-экологическая оценка риска	21
1.3.3. Экономическая (страховая) оценка риска	23
1.3.4. Оценка риска по шкале Россера	24
1.3.5. Оценка риска с помощью карт опасности	26
1.3.6. «Матричная» оценка риска	28
1.3.7. Оценка риска с использованием диаграмм типа «дерево событий»	31
1.4. Проблемы анализа и оценки профессиональных рисков	33
<b>Глава 2. Методология системного анализа профессионального риска</b>	39
2.1. Общая характеристика методов системного анализа риска	40
2.2. Социально-психологические и техногенные факторы про- фессионального риска	44
2.3. Анализ социально-психологических факторов риска	50
2.3.1. Понятие человеческого фактора	50
2.3.2. Роль человеческого фактора в системе обеспечения безопасности	52
2.3.3. Понятие надежности профессиональной деятельности	56
2.3.4. Методы анализа социально-психологических факто- ров профессионального риска	57
2.4. Анализ техногенных факторов риска	63
2.4.1. Качественные методы анализа риска	63
2.4.2. Логико-графические методы анализа риска	68
2.4.3. Логико-вероятностные методы анализа риска	79
2.4.4. Количественные методы анализа риска	82
<b>Глава 3. Моделирование риска профессиональной деятель- ности</b>	89
3.1. Методика имитационного моделирования	89
3.1.1. Методы моделирования	89
3.1.2. Математическое описание предметной области	92
3.1.3. Методика и процедуры построения модели	94
3.1.4. Моделирование профессионального риска	99

3.2. Определение параметров модели	105
3.2.1. Определение исходных параметров на основе законов вероятностного распределения	106
3.2.2. Определение исходных параметров на основе статистической информации и экспертных оценок	111
3.3. Оценка результатов моделирования	116
3.3.1. Определение минимальных аварийных сочетаний	118
3.3.2. Определение значимости исходных параметров и аварийных сочетаний	119
<b>Заключение</b>	123
<b>Список литературы</b>	124
<b>Приложения</b>	127

## *Введение*

Существование и развитие современного общества все чаще описывается с помощью категорий риска, неопределенности и случайности. Активное применение техники и технологии, химических и биологических веществ, различных видов энергии и проникающего излучения привело к тому, что практически все сферы жизнедеятельности людей (в том числе, и производственные) буквально пронизаны рисками. Многие ученые говорят о том, что полностью избежать рискованных ситуаций в процессе труда в сфере материального производства сегодня уже невозможно.

Риск – одна из важнейших категорий, отражающих меру опасности ситуаций, в которых имеются потенциальные факторы, способные неблагоприятно воздействовать на человека, общество и природу. У каждого риска есть своя объективная или субъективная причина, его происхождение может быть естественным (ураганы, молния, наводнения и т. п.) или техногенным (различные действия с химическими, взрывоопасными, пожароопасными и т. п. веществами, а также другие действия, которые связаны с технологическими процессами в рабочей среде).

Понятие риска приобрело статус общенаучной категории и занимает место в ряде базовых социально-философских категорий, таких как «общество», «личность», «социальный институт» и т. д. Благодаря значительному прогрессу, достигнутому в последние десятилетия в области исследований риска, это новое междисциплинарное научное направление, практически выделилось в самостоятельную дисциплину, хотя до окончательного становления еще, по-видимому, далеко.

В настоящее время практически полностью определился круг теоретических и прикладных научных направлений, объединяемых в одной проблемной области под общим названием техногенный риск. Вместе с тем, формирование научных основ любой науки – длительный и кропотливый процесс. Сфера безопасности как объект исследования – не самая легкая из возможных – это во-первых. Во-вторых, сами исследования в данной предметной области являются относительно «молодыми», в них, как представляется, не осознана еще в полной мере «критическая масса» идей, точек зрения на те или иные проблемы для того, чтобы предложить теорию предмета, адекватную самому предмету. В-третьих, нельзя также сбрасывать со счетов и то обстоятельство, что всплеск исследований в области безопасности (по крайней мере, в нашей стране) пришелся как раз на период некоторого снижения, по известным причинам, общего уровня отечественной науки.

Исследование природы профессионального риска стало предметом профессиональной деятельности специалистов различных сфер знаний, в орбиту его углубленного изучения вовлечены десятки научных дисциплин: медицина, социология, психология, экономика, страхование, математика, юридические и технические науки. Тысячи научных лабораторий, медицинских и биологических центров, аналитических и страховых учреждений в промышленно развитых странах повседневно изучают и оценивают факторы риска,

анализируют их воздействие на человека, разрабатывают методы защиты и формы компенсации их последствий.

Важнейшей характеристикой индустриального этапа общественного развития является возрастание значимости профессиональных рисков для человека труда. На протяжении последних 150 лет наблюдается расширенное применение сложной техники и технологий, химических и биологических веществ, различных видов энергии и проникающего излучения. Это приводит к появлению новых видов профессиональных рисков, природа которых все более сложная, а воздействие на человека оценить весьма затруднительно.

Случаи со смертельным исходом на производстве – это лишь верхушка айсберга. В зависимости от вида выполняемой работы на каждый случай гибели приходится от 500 до 2000 менее серьезных травм. Исследования, проведенные в США и Финляндии, говорят о том, что на каждый случай производственного травматизма со смертельным исходом приходится более 1000 случаев травматизма на производстве, ведущих к временной потере трудоспособности пострадавшего на срок более трех дней. В Германии это соотношение составляет 1:1200, а по травмам, в результате которых работник отсутствует на рабочем месте более одного дня, 1:2400. Соотношение числа случаев со смертельным исходом и травм, требующих оказания первой медицинской помощи равно 1:5000. Предпосылки к несчастным случаям на производстве возникают гораздо чаще. На каждый случай со смертельным исходом регистрируется 70 тысяч случаев возникновения предпосылок к происшествию на производстве. Для того, чтобы сократить число несчастных случаев, требуется систематическая и кропотливая работа по устранению факторов, вызывающих такое большое число случаев возникновения предпосылок к происшествию на производстве. Каждый из таких потенциально опасных случаев при одновременном совпадении ряда причин и факторов может привести к более серьезным последствиям.

В основе процесса жизнедеятельности человека лежит принцип необходимости обеспечения личной безопасности — принцип, непосредственно связанный с потребностями в выживании и развитии. Его содержанием является сознательная деятельность, направленная на снижение негативного влияния внешней среды. Исследование безопасности в указанном контексте позволяет определить ее как неотъемлемое свойство человека, заключающееся в способности к обеспечению на основе осознанной, целенаправленной деятельности такого характера взаимодействий, при котором дезорганизующее воздействие внешней среды на его жизненно важные интересы ограничивается пределами, отвечающими потребностям в устойчивом развитии.

Объектом исследований должен быть человек, рассматриваемый как элемент системы, объединяющей совокупность взаимосвязанных и взаимозависимых элементов производственной (профессиональной) деятельности.

Предметом исследования должна быть совокупность условий существования человека в среде обитания, изучение возможностей обеспечения безопасности, т.е. процесса создания благоприятных условий деятельности,

процесса овладения субъектом необходимыми условиями собственного существования, минимизация комплекса угроз, исходящих от окружающего его мира.

Методологическую базу для решения поставленной задачи предоставляет системология – наука об общих принципах организации сложных систем. Системология позволяет рассматривать разнохарактерные предметные области с единой организационной точки зрения, с одной общесистемной позиции, устанавливая между ними логическое единство, обеспечивая формально-структурную, организационно-функциональную и потенциально-содержательную полноту и, как следствие, языковое взаимопонимание.

Эффективным средством реализации системного подхода является системный анализ, представляющий собой совокупность эвристических и формализованных методов, моделей и процедур, базирующихся на принципах системного подхода и опирающихся на арсенал математических моделей, которые в своей совокупности образуют направление прикладной математики, известное под общим именем исследования операций.

Цель настоящего учебного пособия — содействовать подготовке специалиста в области безопасности жизнедеятельности, способного на основе анализа и оценки профессионального риска прогнозировать, устранять и смягчать последствия нештатного взаимодействия компонентов в системах типа «человек - машина – среда». Такой специалист должен знать:

- *основы методологии системного анализа профессионального риска;*
- *теории и модели происхождения и развития неблагоприятных событий и процессов;*
- *методы и алгоритмы исследования опасностей;*
- *математический аппарат анализа риска;*
- *методы качественного и количественного анализа безопасности и риска.*

Он должен уметь анализировать современные системы «человек - машина – среда» на всех стадиях их жизненного цикла и идентифицировать опасности, рассчитывать риски и разрабатывать мероприятия по поддержанию их допустимых величин. Перечисленные задачи определили структуру и содержание настоящего учебного пособия. Выбор материала и стиля изложения базируется на тех соображениях, что серьезный специалист в области безопасности жизнедеятельности должен серьезно изучать общую методологию анализа и оценки рисков.

Предлагаемое издание представляет собой междисциплинарное учебное пособие для студентов специальности 280101 - «Безопасность жизнедеятельности в техносфере», при изучении курсов: «Безопасность труда», «Надежность технических систем и техногенный риск», а также «Системный анализ и моделирование процессов в техносфере». Пособие может быть использовано студентами, технических и гуманитарных специальностей при изучении курса "Безопасность жизнедеятельности".



## Глава 1

# РИСК КАК МЕРА ОПАСНОСТИ ДЛЯ ЧЕЛОВЕКА В ТЕХНОСФЕРЕ

---

*Риск и опасности в развитии цивилизации были, есть и будут. И нам придется приучить себя к мысли о необходимости жить под этим бременем. Но это означает лишь одно: человечеству необходимо научиться предельно снижать этот риск и опасности.*

*Академик Н.Н.Моисеев*

**1. Основные задачи:** познакомиться с историей развития теории риска, теоретическими и методологическими проблемами ее формирования, изучить основные подходы и методы, используемые для оценки рисков в социотехнических системах.

### *Историческая справка*

Риски - не изобретение нового времени. Исследования риска в приложении к страхованию ведутся достаточно давно. Известно, что примерно 3900 лет назад в древней Месопотамии уже проводилось страхование имущества. Этот вид страхования был развит позже в Древней Греции. Первый страховой полис, страховавший человеческую жизнь, появился много позже — в 1583 г. в Англии. Первым законодательным актом, нацеленным на снижение экологического риска, можно считать указ английского короля Эдуарда I, подписанный им более семисот лет назад, в 1285 г. Этот указ запрещал сжигать в печах, служивших для обжига и сушки кирпича, так называемый «мягкий» уголь, в котором много загрязняющих воздух примесей. Морское страхование – это ранний случай планомерного контроля риска. Помимо этого можно также обнаружить в договорах, которые регулируют, кто в случае ущерба несет риск. Но и вне этой области применения, видимо, вслед за распространением книгопечатания слово «риск» (примерно с 1500 г.) встречается все чаще. Так как язык в это время предоставляет в распоряжение слова для обозначения опасности, дерзания, случая, счастья, мужества, страха, авантюры и т.д., то можно предположить, что новое слово начинают употреблять, дабы обозначить проблемную ситуацию, которая не может быть достаточно четко выражена при помощи уже имеющихся в наличии слов.

Поскольку сущность категорий кроется в языке, естественен интерес к этимологии слова «риск», посредством которого представители различных культур разнообразными лексическими средствами пытались выразить его суть. На право называться источником происхождения термина «risk» претендуют сразу несколько древних слов из разных европейских языков:

- *итальянское слово «risicare», означающее «посметь», «отважиться»;*
- *греческое слово «ridsikon», «ridsa» - «скала», «утес» (в буквальном понимании объезжать скалу, утес);*
- *французское слово «risque» - рискованный, сомнительный;*

- слово «*rescum*» из латинского языка, обозначающее непредсказуемость, опасность или то, что разрушает.

Различные энциклопедические источники также по разному трактуют термин «риск». В Толковом словаре живого великорусского языка Даля В.И. в качестве описания термина «риск» приводятся синонимы отвага, смелость, решимость, предприимчивость, действие на авось, наудачу (Даль, 1989). Словарь русского языка Ожегова С.И. определяет риск как «возможную опасность», «действие наудачу в надежде на счастливый исход» (Ожегов, 1988). Из современных определений риска, приводимых в научных трудах, можно выделить следующее: «*Риск – характеристика ситуации или действия, когда возможны многие исходы, существует неопределенность в отношении конкретного исхода, и, по крайней мере, одна из возможностей нежелательна*» (Быков, 1997). В этом определении синтезированы основные характеристики, присущие риску: опасность, неопределенность или случайность с одной стороны, состояние или действие — с другой.

Начальный импульс к созданию современных методов исследований надежности и безопасности **технических систем** был дан авиационной промышленностью. После Первой мировой войны в связи с увеличением интенсивности полетов и авиационных катастроф были выработаны критерии надежности для самолетов и требования к уровню безопасности. В частности, проведен сравнительный анализ одномоторных и многомоторных самолетов с точки зрения успешного завершения полета и выработаны требования по частоте аварий, отнесенных к 1 ч полетного времени (Хенли, 1984).

В США в 40-х годах основные усилия для повышения надежности были сконцентрированы на всестороннем улучшении качества. Улучшенные конструкции, прочные материалы, повышение твердости и качества обработки изнашиваемых поверхностей, совершенные измерительные инструменты и т. д. — все было направлено на то, чтобы увеличить активную долговечность узлов и агрегатов. Другая форма прогресса была продемонстрирована в 40-е годы, благодаря повышенному интересу руководителей промышленных предприятий к составлению и утверждению типовых графиков периодических проверок, карт контроля высокопроизводительного станочного оборудования, выработке уровней оценки и экономически обоснованного подхода к качеству продукции. Данные мероприятия ознаменовали вступление инженеров, работающих в промышленности, в эту область, и, как результат, большинство инструкций и учебных курсов по надежности было посвящено обеспечению и контролю качества и относящимся к ним статистическим методам.

В 60-е годы стала очевидной острая необходимость в новых методах обеспечения надежности и более широкого их применения в различных приложениях. Центр внимания переместился от анализа поведения отдельных элементов различного типа (механических, электрических или гидравлических) на последствия, вызываемые отказом этих элементов в соответствующей системе. Вступление в эру межконтинентальных баллистических ракет и последующая разработка пилотируемых ракетно-космических кораблей, таких как «Меркурий» и «Джемини», ускорили реализацию девиза «успех любой ценой». Значительные усилия были затрачены на испытания систем и отдельных элементов в течение первых лет космической эры. Все данные по каждому отказу и результаты анализа тщательно регистрировались наряду с информацией по другим техническим недостаткам, вскрытым при анализе.

Изучение *безопасности систем* как отдельной независимой деятельности было официально введено в практику в 1962 г. после катастрофических аварий на четырех подземных комплексах запуска межконтинентальных баллистических ракет. Кампания, начавшаяся в 50-х и ускорившаяся в 60-х годах, привела к накоплению и систематизации данных по параметрам элементов, системам и ошибкам человека - оператора. Техника оценки риска и последствий была затем взята на вооружение в химической и других отраслях промышленности и получила широкое распространение в странах Европы, Азии и в США.

Во второй половине столетия исследования риска начинают постепенно проникать в другие прикладные области науки. Развитие новых технологий в промышленности и энергетике привело к созданию и широкому практическому применению разнообразных сложных технических систем, таящих в себе потенциальную опасность аварий крупного масштаба. Начались исследования техногенного риска сначала применительно к ядерно-техническим установкам, позднее к объектам химической промышленности и ракетно-космической технике. После ряда крупных аварий, приведших к загрязнению окружающей среды и многочисленным человеческим жертвам, интенсивно стало развиваться направление исследования риска для здоровья и окружающей среды.

Все возрастающее количество рисков, с которыми приходится сталкиваться человечеству, открывает проблему влияния *рисков на социальную реальность*. В этом смысле риски становятся предметом социологического анализа, а также попадают в область интересов социальной философии. Сравнительно недавно, в середине 1980-х годов появилась новая социологическая теория современного общества, автором которой является немецкий ученый Ульрих Бек. Согласно этой теории, в последней трети XX в. человечество вступило в новую фазу своего развития, которую следует называть обществом риска. Общество риска — это постиндустриальная формация, от индустриального общества оно отличается рядом коренных особенностей. Главное отличие состоит в том, что если для индустриального общества характерно распределение благ, то для общества риска — распределение опасностей и обусловленных ими рисков. Риск, по мнению У.Бека, - это всеобъемлющая характеристика общества на определенном уровне его развития, которое после индустриального и постиндустриального этапов превращается в «общество риска». Суть «общества риска» состоит в том, что логика производства индустриального общества (накопление и распределение богатства) трансформируется в логику производства массового распространения рисков, порождаемых научно-техническими системами.

В последние годы определилась тенденция регулировать риск законодательным путем, причем на самых высоких уровнях. Так, в 1995 г. Конгресс США постановил, чтобы все будущие законодательные акты в области здравоохранения и экологической безопасности основывались на таких научных данных, которые, во-первых, содержат оценки соответствующих рисков, и в которых, во-вторых, сочетаются эффективные меры снижения рисков с лежащими в разумных пределах затратами. В РФ этот процесс также перешел в область практической реализации — новые законодательные и нормативно-методические документы в области безопасности, прежде всего радиационной, промышленной и экологической, уже реализуют идеи анализа и управления риском, хотя до совершенства нормативно-правового механизма еще долгий путь.

## ***1.1. Современные проблемы теории и методологии риска***

Любая деятельность в условиях неопределенности характеризуется соответствующими этой деятельности видами рисков. Существующие риски разнообразны и могут быть разделены на множество категорий. Многогранность понятия риска обусловлена разнообразием факторов, характеризующих как особенности конкретного вида деятельности, так и специфические черты неопределенности, в условиях которой эта деятельность осуществляется.

Наука о риске формировалась в последней четверти XX в., и она, безусловно, будет одной из ведущих в новом столетии. Важнейшая особенность — ее междисциплинарный характер с теснейшим взаимодействием технических, естественных и гуманитарных наук. Несмотря на то, что понятие риска не так давно стало предметом научных исследований, оно прочно вошло в понятийные ряды многих дисциплин. Теория риска интенсивно развивается, однако многие основополагающие положения этой науки остаются дискуссионными. До сих пор нет единого определения самого понятия «риск», очень часто термин «риск» употребляется как тождественный термину «опасность» или как синоним вероятности. В научной литературе можно встретить следующие понятия риска (Хенли, 1984, Быков, 1997 и др.):

- *потенциальная опасность;*
- *ситуация с неопределенностью;*
- *функция распределения отклонения;*
- *действие при наличии альтернатив;*
- *взаимодействие с потенциальными опасностями;*
- *условия или набор условий, которых следует избегать;*
- *вероятности событий: смерти, болезни, аварий, катастроф и др.;*
- *вероятность события, умноженная на его последствия;*
- *функция ожидаемой продолжительности жизни:  $(1/\Gamma)$  и др.;*
- *ущерб: природным средам, здоровью, материальным ценностям и др.;*
- *математическое ожидание: сокращение продолжительности жизни, смерти и др.*

В целом можно утверждать, что существует огромное многообразие определений риска, и на междисциплинарном уровне вряд ли возможно ввести унифицированное понятие риска, которое могло бы быть принято любым научным сообществом и приемлемо для любой научной области исследований. Поэтому, говоря о риске, следует каждый раз подчеркивать смысловое содержание, вкладываемое в этот термин. При этом риски изучаются применительно к различным объектам и субъектам и разным условиям:

- *риск - индивид;*
- *риск - профессиональная группа работающих;*
- *риск - популяция целой территории (население страны и группы стран).*

В работах по анализу риска производственный и социальный аспекты управления риском часто подменяется управлением финансовыми рисками или частными аспектами страхования деятельности предприятия.

В вопросах *методологии исследований риска* так же как и в самом понятии риска, нет единого подхода. Дискуссии о том, что включает анализ риска, оценка риска, управление риском, не закончены и по сей день, и это естественно, так как исследование риска — новое научное направление, еще не завершившее стадию своего становления. Часто исследования риска подразделяют на два крупных блока — *оценку и управление риском* (американский и канадский подход) (Быков, 1999). Задача первого блока — идентификация опасности, оценка воздействия и его последствий, характеристика риска и сравнение его с другими рисками с целью определения степени приемлемости и выработки приоритетов управления, второго — разработка планов действий и принятие решений по снижению и контролю риска. При таком разбиении анализ риска рассматривается в узком смысле как один из этапов первого блока — сравнение различных видов риска. В то же самое время сама методологическая схема называется *методологией анализа риска* или *риском*.

Анализ и управление риском в широком смысле может трактоваться как синоним исследования риска. Поскольку процедуры анализа входят органической составной частью во всякое научное исследование и обычно образуют его первую стадию, очевидно, что анализ есть лишь часть исследования. Точно так же оценка есть лишь часть экспертного или формального анализа. Поэтому подразделение исследований риска на анализ риска и управление риском во многом опирается на различия в двух трактовках риска: анализ риска - это изучение состояния, ситуации или ситуаций (сценариев) с присутствующими признаками опасности, неопределенности и/или случайности, управление риском – это действие в условиях опасности, неопределенности и/или случайности. Результаты анализа одной и той же ситуации риска будут заведомо различны в зависимости от того, чья точка зрения принята исследователем риска.

Общим в оценке риска и управлением риском является то, что они - два аспекта, две стадии единого процесса принятия решения. 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. 1.1 (Акимов, 2002).

Основное различие между двумя понятиями заключается в том, что оценка риска строится на фундаментальном, прежде всего естественнонаучном и инженерном, изучении источника (например, оборудования) и факторов риска (например, вращающейся заготовки) и механизма взаимодействия между ними. Управление 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. 1.1).

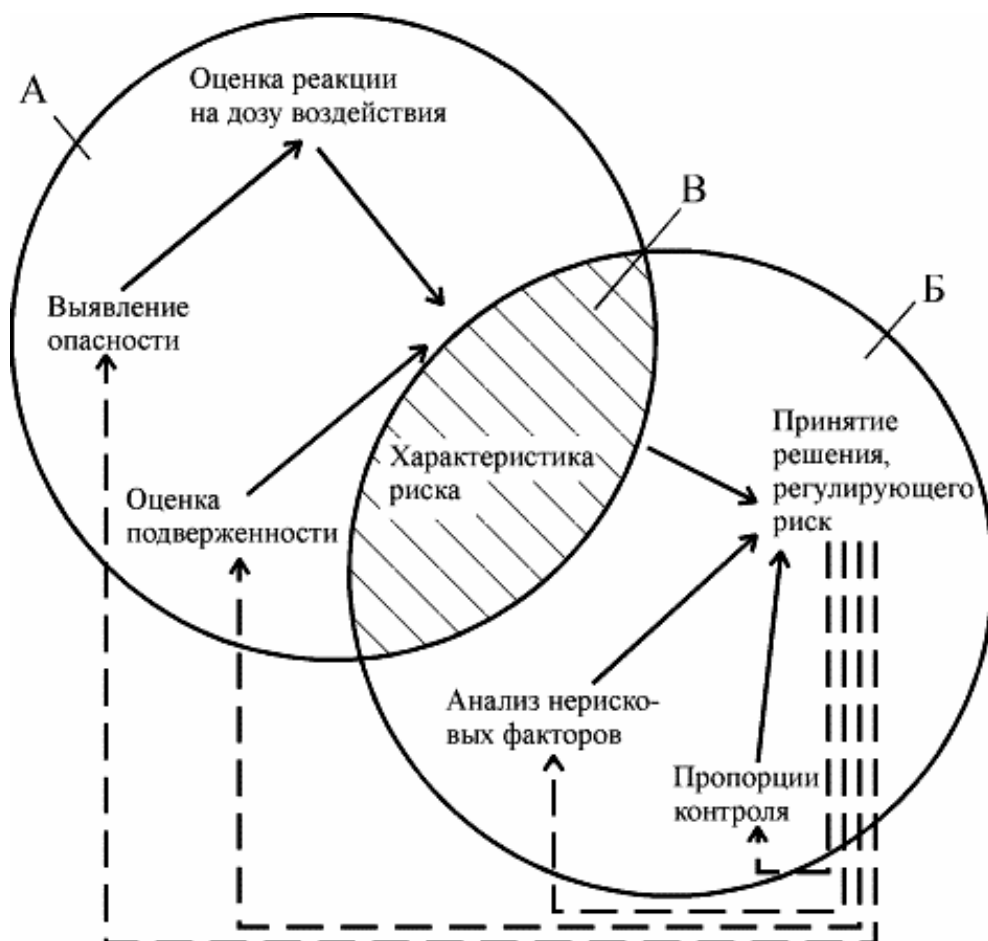


Рис. 1.1. Взаимосвязь между оценкой и управлением риском: А - область оценки риска; Б - область управления риском; В - область характеристики риска; ———→ - прямые связи между элементами оценки и управления риском; ———→ - обратные связи принятия решения с другими элементами оценки и управления риском.

*Математические формализации* понятия риска также неоднозначны и еще более расширяют спектр определений риска. Такое разнообразие связано как с концептуальными неопределенностями, так и во многом с той научной дисциплиной, в рамках которой это понятие вводится, и цели, которые при этом преследуются. Но в любом случае, *математическая формализация предполагает задание некоторого показателя риска, как способа количественного измерения состояния или действия, когда имеются элементы опасности, неопределенности и/или случайности.*

В общем случае основной для оценки рисков  $R$  являются функционал  $F$ , связывающий вероятность  $P$  возникновения неблагоприятного события и математическое ожидание ущерба  $U$  от этого неблагоприятного события

$$R = F_R \{U, P\} = \sum_i [F_{R_i}(U_i, P_i)] = \int C(U)P(U)dU = \int C(P)U(P)dP, \quad (1.1)$$

где  $i$  – виды неблагоприятных событий,  
 $C$  – весовые функции, учитывающие взаимовлияние рисков.

Ущерб  $U$  и соответственно риски  $R$  по (1.1) определяются большим числом показателей. Величины  $U$  и  $R$  от неблагоприятных событий можно оценивать по двум показателям: экономическим – в рублях (условных единицах) и человеческих потерях (летальных или нелетальных исходах).

Вероятность  $P$  возникновения анализируемого неблагоприятного события (или его составляющих  $P_i$ ) в общем случае определяется как функционал вероятностей, зависящий от источников, соответствующих поражающих факторов и объектов поражения – человек  $N$ , объект техносферы  $T$  и окружающая среда  $S$

$$P = F_p \{P_N, P_T, P_S\} = \sum_i [F_{P_i}(P_{N_i}, P_{T_i}, P_{S_i})]. \quad (1.2)$$

Неопределенность предполагает наличие факторов, при которых результаты действий не являются детерминированными, а степень возможного влияния этих факторов на результаты неизвестна. Чем полнее эти характеристики отражаются в математической формулировке, тем более общей и универсальной она становится. Например, определение риска, приведенное в статье (Karlan, 1997), основано на введении набора упорядоченных троек элементов (триплетов), где первый элемент тройки описывает *сценарий*, второй – *вероятность*, третий – *последствия*.

В настоящее время концепция риска все более активно внедряется в механизмы управления производственной деятельностью. Количественная оценка различных рисков (индивидуальных, социальных, техногенных, экологических и др.) становится основой для принятия управленческих решений, касающихся как существующих, так и перспективных устройств, технологий или систем.

Длительное время в основе функционирования промышленных предприятий лежала так называемая концепция «абсолютной безопасности» или «нулевого риска» – принцип ALARA (*As Low As Practically Achievable*). Концепция «нулевого риска» предусматривала такую организацию производственного объекта, при которой полностью исключалась возможность аварии. Современное состояние безопасности техносферы наглядно демонстрирует неправомочность такого подхода из-за невозможности достижения абсолютной безопасности. Кроме того, концепция абсолютной безопасности в настоящее время признается неадекватной внутренним законам техносферы.

На смену концепции «нулевого риска» пришла концепция «приемлемого риска», в основе которой заложен принцип «предвидеть и предупредить» – принцип приемлемого риска ALARA. Его происхождение связано с формулировкой «*as low as reasonably achievable*», первые буквы этих слов образуют сокращение ALARA. Смысл формулировки заключается в следующем: при любой ситуации дозы воздействия должны поддерживаться на таких низких уровнях, каких только можно разумно достичь с учетом экономических и социальных факторов. Эта концепция предусматривает возможность аварии и соответственно меры по предотвращению ее возникновения и развития. Ее основные положения лежат в основе современных методов анализа техногенного риска.

Любая социально-экономическая деятельность людей, это, прежде всего, социальная система и к ней применимы общие положения теории безопасности сложных систем. Их использование и перенос на практику видов деятельности доставляет возможность прогноза тенденций их развития и безопасности на реально значимые для системы сроки.

## ***1.2. Риски в социотехнических системах***

Безопасность существования человека в условиях современной техносферы нельзя исследовать в отрыве от той среды, в которой реализуется его деятельность. Весь цикл физического освоения людьми природной среды — производства, распределения и потребления материальных благ — совершается в определенных социально-организованных структурах.

*Структура может быть определена как форма организации общества, внутренняя упорядоченность, согласованность взаимоотношений различных его частей.* Понятие «структура» отражает форму устойчивых связей, отношений, совокупность сложившихся на их основе социальных групп и институтов, обеспечивающих целостность общества и сохранность его свойств при различных внутренних и внешних изменениях.

***Социотехническая система*** представляет собой такой способ организации социальной деятельности людей, при котором элементами системы выступают не только сознательно действующие социальные субъекты (человек, коллектив), но и элементы «второй природы» – техника, материалы, информационные системы, технологии (Гребнев, 1992).

Целью таких систем является производство определенного рода продукции или услуг. С целью более ясного понимания проблемы обеспечения безопасности, социотехническую систему целесообразно представить как совокупность двух подсистем: *технической* и *социальной* (или личностной, человеческой), которые в совокупности взаимодействуют с внешней средой. Эти подсистемы осуществляют принципиально отличные функциональные действия, что позволяет их охарактеризовать как «жесткую» и «мягкую» соответственно.

*Техническая подсистема* - жесткая, поскольку ее действия (т.е. реакция объекта управления на получаемые от органа управления приказы, программы по реализации цели) являются предсказуемыми и в высшей степени контролируемыми. Примером может быть конвейер, а наиболее концентрированно сущность жесткой системы проявляется в автоматических линиях.

Реакция и действия людей на поступающие команды управления не являются столь однозначными и точно предсказуемыми результатами, поскольку производственные функции людей определяются не только законами механики, но и законами психики, без учета действия которых управление социальными системами будет неэффективным. Поэтому в противоположность жестким техническим системам системы социальные обычно называются мягкими.



*Человеческая или социальная подсистема* включает всех лиц, работающих в данной производственной структуре, группирующихся по производственным участкам и функциональным операциям, таким, как административно-коммуникативные, распорядительно-исполнительские, экономические, юридические, сугубо личностные, этические и психологические формы связей. Как отдельный индивид, так и любое объединение людей, будь то бригада, лаборатория, профсоюз, а также корпорация в целом, имеют свои интересы, в первую очередь – материальные, экономические и не в последнюю очередь – социальные.

Деструктивное, потенциально опасное поведение внутренне присуще большинству сложных систем. Для них характерны определенные закономерности, которые могут быть выявлены и использованы в интересах безопасности. Профессиональная деятельность человека обладает сложной системной организацией, в которой формируется, воспроизводится и развивается целый комплекс разнообразных отношений и взаимодействий. *Деятельность человека сопровождается воздействием на него опасностей (негативных факторов) в виде энергии, вещества и информации, характерных для данной среды.* Источниками воздействий являются компоненты, формирующие это окружение (среда, в границах которой осуществляется деятельность; технические средства и технологии; коллектив людей; система организации, определяющая характер взаимодействий в эргоценозе), а также внешние по отношению к нему воздействия (природные, социальные и т.д.).

*Категория безопасности в социотехнической системе - это аналог функции надежности в технической системе.* Если надежность есть обобщенная характеристика качества технической системы, то безопасность - обобщенная характеристика качества социально-технической системы. *Управлять функцией безопасности, это, значит, создавать условия, в которых система выживает,* это значит – снижать риск граничных условий среды, при которых развитие затруднено или невозможно. Отдельные ее свойства, как *безопасность профессиональной деятельности, технических устройств и технологий, информационная, экологическая безопасность и др.,* характеризуют состояние отдельных, имеющих свою специфику, сфер деятельности. Эти свойства и выражаются в соответствующих обобщающих показателях безопасности, которые, в свою очередь, могут делиться на более мелкие единичные показатели безопасности, разнообразных и завязанных на различные структурные составляющие характеристик (свойств) объекта.

*Общее в определении показателей безопасности профессиональной деятельности, независимо от подхода, состоит в знании наиболее актуальных источников опасности.* Подобные сведения до сих пор остаются достаточно фрагментарными, информационные системы по этим данным отсутствуют, современная квалиметрия уровней безопасности видов деятельности только зарождается. Об этом говорит тот факт, что данные государственной статистики во всех сферах жизнедеятельности и во всех странах не ориентированы на показатели безопасности. Структура государственной статистической отчетности не позволяет в ее настоящем виде выводить из массива представленной информа-

ции критерии и уровни безопасности социотехнических систем, как по конкретным производствам, так по конкретным видам деятельности в целом.

Наиболее обоснованным с методологической точки зрения подходом к оценке уровня безопасности социотехнических систем в целом и по каждому конкретному виду деятельности следует признать метод определения уровня защищенности жизненно важных интересов личности в процессе трудовой деятельности. Однако решение этой задачи, представляет собой весьма сложный процесс, требующий разработки, прежде всего, системы количественно-качественных показателей, отражающих содержание жизненно важного интереса в конкретной сфере и для конкретных его носителей.

Синтез показателей безопасности связан с формализацией функции безопасности, формализацией различных рисков в различных сферах деятельности, созданием системы количественно-качественных показателей, отражающих содержание жизненно важного интереса в сфере деятельности для конкретных его носителей. Их оценка, а также оценка вклада отдельных видов безопасности (безопасность излучений, взрывобезопасность, механическая безопасность, пожарная безопасность и т.д.) в безопасность профессиональной деятельности - задача совершенно новая для современных моделей управления безопасностью.

*Основная идея этого направления состоит в том, что должна быть поддержана некоторая форма общего наблюдения многочисленных информационных источников, чтобы обнаруживать некоторые корреляции между видом деятельности и производственным процессом, видом деятельности и безопасностью персонала.*

Сформулированные положения, связанные с обеспечением безопасности видов деятельности, построением общей теории управления качеством видов деятельности, предполагают, прежде всего, ориентацию на *теорию риска как инструмента познания и анализа состояния социотехнических систем*. В системе ее положений категория безопасности выступает как *обобщенная характеристика качества системы, эффективности ее управления, эффективности системы риск-менеджмента*.

Создание предпосылок для формирования системы взаимосвязанных организационных, медико-социальных, финансовых и правовых механизмов управления профессиональным риском, становления и эффективного функционирования системы менеджмента риска предполагает решение ряда сложных проблем.

Природа задач обеспечения безопасности сложных систем зачастую характеризуется недетерминированностью связей условий и факторов, ее обуславливающей. Недетерминированность связей, определяющих реализацию функции безопасности в системе, вероятностная природа проявления угроз, их условий и факторов, делает недоступным применение в сфере безопасности точных аналитических решений. Проблема исследования критических ситуаций и факторов, которые могут представлять определенную опасность для человека, а также поиска и обоснования комплекса мер и средств по их исключению или снижению вредного влияния характеризуются следующими особенностями:

- *большим количеством факторов опасных ситуаций и необходимостью выявления источников и причин их возникновения;*
- *необходимостью выявления и изучения полного спектра, возможных мер и средств парирования опасных факторов с целью обеспечения безопасности;*
- *иерархической структурой опасных факторов и необходимостью проведения многоуровневого анализа их влияния на безопасность.*

Эти особенности не позволяют в полной мере судить о проблеме в целом на основе анализа лишь отдельных опасных ситуаций и факторов. Поэтому в анализе таких задач используют различные полуэмпирические и феноменологические подходы. Широкое распространение получили концепции, идеи и методы нелинейной динамики и компьютерного моделирования в сочетании с методами системного анализа. Одним из результатов такого подхода стал вывод о том, что такие *различные по природе события (техногенные аварии, катастрофы, социальные конфликты, природные катаклизмы и т.п.) объективно характеризуются общими законами* (Владимиров, 2000).

Разработка научного инструментария оценки и прогнозирования профессионального риска связана с существенными трудностями, поскольку при ее реализации необходимо учесть весь спектр воздействующих факторов и условий, которые могут оказать влияние на вероятностные характеристики профессионального риска. Поскольку зачастую «слабым звеном» является человек, то состояние безопасности нельзя оценивать без учета факторов неопределенности в социотехнических системах. Неопределенность может быть различных видов:

- **человеческая** – связана с невозможностью точно предвидеть и предсказать поведение людей в процессе их деятельности. Люди различаются уровнем образования, знаниями, умениями, навыками, интересами, творческими и интеллектуальными способностями. Индивидуальные реакции, поведение и принимаемые решения могут меняться в достаточно широких пределах, в зависимости от различных стохастических и детерминированных факторов;
- **организационно-техническая** – характеризуется значительно меньшей степенью неопределенности по сравнению с человеческой, однако с ней необходимо считаться. Этот вид неопределенности связан с ненадежностью оборудования и установок, сложностью технологии, объемом производства, особенностями и рациональностью организации производственного процесса, темпами обновления активной части производственных фондов, уровнем автоматизации, ритмичностью производства и т. п.;
- **экономическая** – достаточно значимая неопределенность, определяется чрезвычайной множественностью участников хозяйственной деятельности и процесса управления, разнообразием их интересов и мотиваций, субъективностью поведения при решении организационно-экономических и финансовых вопросов и т. п.;
- **социальная** – связана со стремлением людей (работников, менеджеров, собственников, потребителей, поставщиков) образовывать социальные

связи и помогать друг другу. Люди ведут себя в соответствии со взаимно принятыми обязательствами, стимулами, ролями, служебными отношениями, конфликтами, традициями, корпоративной культурой, ментальностью и т. п. Структура таких взаимоотношений во многом не определена или не может быть определена.

Такая среда принятия решений и управления, как вероятностная определенность, связана с понятием риска, от особенностей которого во многом зависят методы оценки и управления рисками на предприятии.

Развитие теории и практики управления безопасностью сложных технических и социотехнических систем до последнего времени шло, в основном, по пути предъявления экстраординарных требований к качеству оборудования, систем управления и персоналу, ограничивающих возможные негативные техногенные воздействия на окружающую среду и человека. Перспектива представляется, как движение внутрь сложной социотехнической системы, к проектированию ее по критериям безопасности. Осознание обществом этого факта привело к созданию современной концепции «приемлемого риска» на основе вероятностных подходов.

### ***1.3. Методы оценки рисков в техносфере***

Существуют многочисленные подходы к изучению рисков, связанных со здоровьем и безопасностью человека. В приведенном ниже обзоре представлены некоторые методики оценки (санитарно-гигиенические, медико-экологические, экономические и т.д.), используемые для исследования различных аспектов жизнедеятельности человека, коллектива, населения и т.п. Дополнительная информация приведена в приложениях ***III – VI***.

#### ***1.3.1. Санитарно-гигиеническая оценка риска***

Существующая в настоящее время структура нормативных документов системы оценки профессионального риска включает в себя «Руководство по оценке профессионального риска для здоровья работников. Организационно-методические основы, принципы и критерии оценки. Р 2.2.1766 - 03», «Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда. Р 2.2.2006 – 05», а также методические указания, утверждаемые в установленном порядке Минздравом России (методы, критерии оценки, программы расчетов):

- *методы и критерии оценки коллективного здоровья работников;*
- *оценка риска для факторов рабочей среды (пыль, шум, вибрация и др.);*
- *оценка риска при трудовой нагрузке (физическая тяжесть и нервная напряженность труда);*
- *оценка риска для репродуктивного здоровья работников, мужчин и женщин.*

Перечень федеральных нормативных и методических документов для

контроля за вредными факторами рабочей среды и трудового процесса включает более 130 источников.

**Руководство Р 2.2.1766-03** представляет собой развернутую процедуру оценки профессионального риска, включающую 12 этапов:

- *гигиеническая оценка и установление класса условий труда по критериям Р 2.2.755-99;*
- *анализ нормативно-технической документации на оборудование, технологические процессы, материалы и т.п., анализ литературы по условиям труда данной профгруппы;*
- *анализ профессиональной заболеваемости;*
- *анализ результатов периодических медицинских осмотров;*
- *анализ заболеваемости с временной утратой трудоспособности, инвалидности, смертности и т.п. по специальным программам;*
- *верификация класса условий труда, определенного на этапе 1, с учетом данных, полученных на этапах 2-5;*
- *расчет индекса профзаболеваний;*
- *шкалирование полученных данных по ЗВУТ, инвалидности, смертности, другим показателям;*
- *расчеты величин относительного риска RR, этиологической доли EF, доверительных интервалов 95% CI;*
- *оценивание риска и определение категории доказанности риска;*
- *заключение;*
- *рекомендации.*

Для реализации первого этапа оценки профессионального риска применяется **Руководство Р 2.2.2006 – 05**, включающее гигиенические критерии оценки факторов рабочей среды, тяжести и напряженности трудового процесса и гигиеническую классификацию условий труда по показателям вредности и опасности.

Оценка опасностей и рисков включает 3 этапа.

Первый этап - осмотр рабочего места для выявления:

- *опасных и вредных факторов производственной среды, которые присутствуют или могут возникнуть, включая организацию труда;*
- *видов работ, при которых работники могут подвергаться выявленным опасным факторам, включая обслуживание оборудования, чистку и аварийные работы.*

Второй этап:

- *сбор информации об опасных и вредных факторах для определения степени риска и возможных мер защиты;*
- *оценку экспозиции работников по уровню фактора и времени его действия и ее сравнение с нормативами.*

Третий этап - *оценка возможности устранения опасности или ее снижения до минимально допустимого уровня или до уровня, который в свете современных знаний не приведет к нарушениям здоровья при длительности*

*воздействия в течение всего рабочего стажа.*

Показателями и критериями оценки профессионального риска являются:

- *классы условий труда;*
- *категории профессионального риска;*
- *срочность мер профилактики.*

Категорирование профессионального риска проводят предварительно по классам условий труда (по результатам гигиенической оценки условий труда) и окончательно по социально-значимым показателям здоровья работников. Категории профессионального риска устанавливают на основе индекса профзаболеваний ИПЗ по его шкале от 0 до 1.

### *1.3.2. Медико-экологическая оценка риска*

*Медико-экологическая оценка риска - это вид экспертных работ, направленных на определение числа людей, способных проявить негативные реакции на воздействие конкретного неблагоприятного фактора, действующего с определенной силой и в заданный промежуток времени. По мнению специалистов Международного института оценки риска здоровью медико-экологическая система оценки риска имеет ряд существенных преимуществ (Киселев, 1997).*

*Во-первых,* система оценки риска здоровью позволяет на основе данных наблюдения (мониторинга) за факторами и здоровьем человека получить количественную и качественную характеристики влияния фактора на здоровье задолго до того, как проявятся последствия этого влияния. Это отличает ее от гигиенических методов анализа, дает возможность прогнозировать результат и на основе этого аргументировать политику и тактику органов санэпиднадзора и органов управления.

*Во-вторых,* система оценки риска здоровью делает возможным оценивать здоровье или нездоровье человека финансовыми категориями (цена, стоимость, рентабельность и др.). Это чрезвычайно важно для здравоохранения в целом в условиях экономических реформ.

*В-третьих,* система оценки риска здоровью органично вливается в систему общего управления и принятия решений в административной практике, так как риск может измеряться, иметь стоимость, понятен по смыслу чиновникам и общественности, позволяет проводить сравнения (а, следовательно, осуществлять выбор решения) и нормирование.

*В-четвертых,* система оценки риска здоровью не отвергает ни один из существующих методических подходов к системе «среда-здоровье», а только дополняет их и служит официальным стержнем этой работы.

*В-пятых,* система оценки риска здоровью позволяет оценить суммарный риск здоровью от множества факторов, так как во всех случаях общим знаменателем является по существу само здоровье.

При оценке риска здоровью, который обуславливается качеством окружающей среды, исходят из следующих теоретических соображений:

- биологический эффект воздействия зависит от интенсивности вредного (химического, физического и др.) фактора, действующего на организм человека;
- интоксикация есть одна из фаз адаптации;
- предельно допустимый уровень загрязнения окружающей среды есть понятие вероятностное, определяющее приемлемый (допустимый) риск и имеющее профилактическую направленность и гуманистическое значение.

Схема оценки риска здоровью состоит из четырех основных блоков:

- расчет потенциального (прогнозируемого) риска в соответствии с результатами оценки качества окружающей среды;
- оценка заболеваемости (здоровья) населения в соответствии с материалами медицинской статистики, диспансерных наблюдений и специальных исследований;
- оценка реального риска здоровью с использованием статистических и экспертных аналитических методов;
- оценка индивидуального риска на основе расчета накопленной дозы и применения методов дифференциальной диагностики.

Методология медико-экологических исследований основана в значительной степени на предположении о том, что риск, создаваемый факторами окружающей человека среды, пропорционален его дозе (или концентрации). Предполагается также, что чем больше продолжительность контакта фактора с биологической тканью, тем больше вероятность неблагоприятных эффектов. На основании этого делается вывод о том, что для определения риска нужно знать осредненную воздействующую концентрацию (или дозу) и время, в течение которого эта концентрация (или доза) действовала на организм.

Практика определения потенциальных эффектов неблагоприятного воздействия предполагает расчет следующих типов риска:

- риска немедленных эффектов, проявляющегося непосредственно в момент воздействия (неприятные запахи, раздражающие эффекты, различные физиологические реакции, обострение хронических заболеваний и пр., а при значительных концентрациях - острые отравления);
- риска длительного (хронического) воздействия, проявляющегося при накоплении достаточной для этого дозы в росте неспецифической патологии, снижении иммунного статуса и т.д.;
- риска специфического действия, проявляющегося в возникновении специфических заболеваний или канцерогенных, иммунных, эмбриотоксических и других подобных эффектов.

В общем случае система расчета риска предполагает использование нескольких математических моделей.

1. *Линейная или линейно-экспоненциальная модель.* Модель предполагает установление единицы риска, определяемой как фактор пропорции роста риска в зависимости от величины действующей концентрации (дозы).

2. *Пороговая модель.* В модели реализуется наличие предполагаемого порога, ниже которого изучаемый фактор практически не действует.

3. *Модель индивидуальных порогов действия.* Модель реализует нормальное распределение частоты эффектов.

4. *Гамма-модель*. Модель реализует распределение Пуассона. При этом предполагается, что для развития заболевания необходимо не одно, а несколько воздействий того или иного фактора, причем вероятность повреждающего действия пропорциональна дозе.

5. *Многостадийные модели*. Такие модели, как правило, используются для оценки риска возникновения тех заболеваний, которые имеют несколько стадий развития.

### 1.3.3. Экономическая (страховая) оценка риска

Возможность детального анализа безопасности различных видов деятельности предоставляют *методы страховой статистики*, основывающейся на массовом наблюдении случаев утраты здоровья из-за несчастных случаев и заболеваний.

Данный подход применяется для отнесения отраслей (подотраслей) экономики к классу профессионального риска при установлении страховых тарифов, соответствующих уровню производственного травматизма, профессиональной заболеваемости и расходов на обеспечение по страхованию от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний, сложившемуся в отраслях (подотраслях) экономики (приложение П5).

Все отрасли (подотрасли) экономики дифференцируются по группам в зависимости от класса профессионального риска. Класс профессионального риска для отрасли (подотрасли) экономики определяется величиной интегрального показателя профессионального риска.

*Профессиональный риск* - вероятность повреждения (утраты) здоровья или смерти застрахованного, связанная с исполнением им обязанностей по трудовому договору (контракту) и в иных установленных настоящим Федеральным законом случаях.

*Интегральный показатель профессионального риска* определяется как отношение величины суммарных затрат в отрасли (подотрасли) экономики на возмещение в истекшем календарном году вреда, причиненного застрахованным в результате несчастных случаев на производстве или профессиональных заболеваний при исполнении ими трудовых обязанностей, к размеру фонда оплаты труда в этой отрасли (подотрасли) экономики, на который начислены взносы в Фонд социального страхования Российской Федерации.

Интегральный показатель профессионального риска рассчитывается по формуле

$$I_{п} = (\Sigma_{вв} : \Sigma_{фот}) \times 100, \quad (1.3)$$

где  $I_{п}$  - интегральный показатель профессионального риска по отрасли (подотрасли) экономики, выраженный в процентах;  $\Sigma_{вв}$  - сумма в возмещение вреда, начисленная в отрасли (подотрасли) экономики в истекшем календарном году;  $\Sigma_{фот}$  - размер фонда оплаты труда в отрасли (подотрасли) экономики, на который начислены взносы в Фонд социального страхования Российской Федерации в истекшем календарном году.



*Класс профессионального риска* - уровень производственного травматизма, профессиональной заболеваемости и расходов на обеспечение по страхованию, сложившийся по видам экономической деятельности страхователей.

Класс профессионального риска отрасли (подотрасли) экономики, которой соответствует основной вид деятельности страхователя, определяются и учитываются Фондом социального страхования Российской Федерации в соответствии с предусмотренной правилами классификацией отраслей (подотраслей) экономики по классам профессионального риска.

#### 1.3.4. Оценка риска по шкале Россера

Методика оценки риска по шкале Россера используется для количественного анализа детерминированных эффектов, а именно среднего потерян-ного времени работоспособности человека вследствие болезней, травм, оперативных вмешательств и т.п. Она предназначена для получения укрупненной, недетализированной оценки риска повреждения здоровья работающего населения.

Шкала Россера представляет собой весовые коэффициенты  $P$  (табл. 1.1), выражающие вероятность ухудшения состояния здоровья в случае болезни или утраты трудоспособности с учетом физического состояния и уровня дистресса, в котором пребывает человек вследствие их потери.

Таблица 1.1

Шкала Россера для определения потери работоспособности

Степень потери работоспособности	Уровень			
	Ничтожный	Лёгкий	Средний	Тяжёлый
Работа не прерывается	1,000	0,995	0,990	0,967
Легкие нарушения здоровья	0,990	0,980	0,973	0,932
Легкие нарушения работоспособности	0,980	0,972	0,956	0,912
Ограниченная работоспособность	0,964	0,956	0,942	0,870 (3-я группа инвалидности)
Неспособность работать на оплачиваемой работе	0,946	0,935	0,900	0,760 (2-я группа инвалидности)
Передвижение в инвалидном кресле	0,875	0,845	0,680 (1-я группа инвалидности)	0,000 (смерть)

Обобщенный ущерб здоровью, выражающийся сокращением продолжительности жизни за год, год определяется из произведения:

$$X_i = (1 - ROS_i) D_i \quad (1.4)$$

где  $ROS_i$  – коэффициент потери работоспособности по шкале Россера;  
 $D_i$  – количество потерянных дней в году.

Для массового применения при проведении усредненных оценок ущерба скрытого повреждения здоровью условиями труда классов 3.4 и 4 может быть использована следующая шкала (табл. 1.2).

Таблица 1.2

Среднее потерянное время жизни (СПЖ) в зависимости от класса вредности условий труда (Панферова, 1998)

2. Степень вредности условий труда в соответствии с Р 2.2.1766-03	3. Среднее потерянное время жизни, сут/год
4. 3.4	5. 25,1 - 47,5
6. 4	7. 47,6 - 87,5

Для количественной оценки риска используется математическая зависимость:

$$R = \sum_i P_i X_i = \int_x xp(x) dx, \quad (1.5)$$

где  $P_i$  – вероятность, что наступят нежелательные последствия  $X_i$ .

Если последствия  $X_i$  в формуле (1.5) считаются первичной величиной, которая не повторяется, то вероятность  $P_i$  формируется из различных побудительных событий  $I_j$ , и, оценивая вероятность, необходимо руководствоваться закономерностями теории вероятности. Например, если побудительные события  $I_j$  не зависят друг от друга, то вероятность будет:

$$P_i = P\left(\sum_j I_j\right) = 1 - \prod_j \{1 - P(I_j)\}, \quad (1.6)$$

где  $P(I_j)$  – вероятность, что побудительное событие  $I_j$  приведёт к последствиям  $X_i$ .

Вероятность несчастного случая с летальным исходом определяется значениями опасного фактора, которые характеризуют *пробит-функции*. Например, в количественной оценке химических рисков, когда возможна утечка токсичных веществ (газов, жидкостей), можно использовать пробит-функции, которые для самых распространённых веществ можно найти в специальной литературе.

В общем виде единицу вероятности – пробит-функцию – в случае утечки токсичных веществ характеризует зависимость:

$$Pr = a + b \ln(C^n \times t), \quad (1.7)$$

где  $C$  – концентрация вещества, мг/м<sup>3</sup>;  $t$  – время воздействия, мин;  
 $a, b, n$  – коэффициенты.

Если определено значение пробит-функции  $Pr$ , тогда можно вычислить вероятность летальных последствий  $P_{let}$ :

$$P_{let} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{pr} \exp(-x^2 / 2) dx \quad . \quad (1.8)$$

### 1.3.5. Оценка риска с помощью карт опасности

В настоящее время не существует каких-либо исчерпывающих источников, содержащих необходимые данные о различных профессиональных рисках, присущих конкретным профессиям. Существует столько профессий, что даже опытные специалисты, консультанты и исследователи могут не знать всех рисков, существующих в каждой конкретной профессии. Поэтому специалисты в области профессиональной безопасности должны искать информацию в весьма обширной профессиональной литературе и базах данных и зачастую вынуждены просеивать большие объемы технической документации. Такие поиски являются сложным, утомительным и трудоемким процессом и требуют доступа к специальным источникам информации. Обычно они превышают возможности и ресурсы работающих на предприятии специалистов в области профессиональной безопасности, а также намного превышают возможности непрофессиональных работников (таких как менеджер предприятия или представитель трудового коллектива). В результате этого специалист в области профессиональной безопасности нередко приступает к работе без достаточной предварительной подготовки.

Самая ранняя попытка создать практический перечень профессиональных рисков была предпринята в вышедшей в 1946 году книге «*Технология промышленной гигиены*» (Сотер, Харрел и Купер). В ней приведен перечень приблизительно 1300 профессий с перечислением рисков, присущих каждой профессии. Общее количество перечисленных рисков составило приблизительно 150, большая часть которых была связана с опасностью неблагоприятного воздействия химических веществ. В 1964 г. вышла книга «*Способы и методы исследования несчастных случаев*» (У. Хаддон, Е.А. Сачман и Д. Кляйн), в которой авторы сделали попытку классифицировать различные типы несчастных случаев. В 1973 году в книгу «*Работа опасна для вашего здоровья*» (Дж. М. Стеллман и С.М. Даум) включена «таблица неблагоприятных факторов в различных профессиях». Ряд неполных списков «потенциальная возможность неблагоприятного воздействия профессиональных факторов» были опубликованы в 1977 году в монографии Национального института профессиональной безопасности и здоровья (НИПБЗ) «*Профессиональные заболевания: руководство к их распознаванию*». И, наконец, перечень приблизительно 1000 потенциальных профессиональных рисков, которые могут иметь место примерно для 2 000 различных профессий, составлен в 1973 году Школой медицины Тель-Авивского университета.

Все вышеуказанные проекты имеют ряд недостатков: перечни являются неполными и относятся к отдельным аспектам, а не ко всей сфере профессиональной безопасности, а также они затрагивают, в основном, хронические

аспекты профессиональной гигиены, и в большинстве своем не затрагивают вопросов безопасности и проблемы острых профессиональных заболеваний. Более того, ни один из этих перечней не составлен в сжатой и удобной для практического применения форме, в виде удобных для использования справочников или отдельных карточек, которые могут использоваться непосредственно на рабочем месте.

Опыт, приобретенный в ходе работы, привел к идее реализации проекта составления «*Международных информационных листков опасностей по профессиям*» (Интернет – Академия Безопасного труда), который был одобрен Международным информационным центром профессиональной безопасности и здоровья МОТ и в настоящее время находится в процессе осуществления (приложение П6).

*«Международные информационные листки опасностей по профессиям»* – это многоцелевой источник информации, содержащий сведения об опасностях, риске и мерах по их предотвращению по отношению к конкретным профессиям. Эти листки предназначены для тех, кто профессионально работает в области охраны здоровья и профилактики производственного травматизма на рабочем месте, включая: производственных врачей и медсестер, инженеров по охране труда, гигиенистов, специалистов по обучению и информации, инспекторов, представителей работодателей и трудовых коллективов, руководителей служб охраны труда и других компетентных лиц.

Информационные листки перечисляют в типовой форме различные опасности, которым работник может подвергаться при нормальном течении работы, что позволяет предусматривать меры по предотвращению производственных несчастных случаев и заболеваний. Каждый информационный листок – это стандартный документ, служащий для того, чтобы обратить внимание работников и специалистов по охране труда и промышленной безопасности как на соответствующие опасности на рабочем месте при применении конкретного химиката, так и на средства их предотвращения. *«Международные информационные листки опасностей по профессиям»* нацелены на то, чтобы покрывать весь диапазон опасностей, которым может подвергаться работник конкретной профессии. В дальнейшем представляемая информация может служить основой для разработки информационных и обучающих материалов (таких, как расписания, примерные контрольные перечни, своды правил по безопасности труда, предупредительные надписи), а также разработки мероприятий с целью сокращения и ликвидации риска воздействия опасных факторов.

*«Международные информационные листки опасностей по профессиям»* – это проект Международной Организации Труда (ILO), который развивается в сотрудничестве с Европейским Сообществом и национальными центрами ILO и CIS по всему миру.

*Информационный листок* – это последовательный концептуальный и регламентирующий стандарт, используемый при подготовке технологических карт. Он составлен на базе контрольного перечня или матрицы и служит основным руководством для проведения систематического и всестороннего анализа рисков, присущих для конкретной профессии. Помимо возможности

обнаружения и оценки различных рисков, которые могут иметь место для конкретной профессии, данный контрольный перечень может также иметь дополнительную функцию и использоваться в качестве шаблона, в соответствии с которым фактически составляется база данных о наличии риска.

Список аспектов (шаблон)

- *Название профессии*
- *Синонимы*
- *Характер работы*
- *Определение и/или описание*
- *Смежные и специфические специальности*
- *Обязанности*
- *Основное используемое оборудование*
- *Отрасли промышленности, в которых распространена данная специальность*
- *Риски*
- *Риски несчастных случаев*
- *Неблагоприятное воздействие физических факторов*
- *Вредное воздействие химических веществ\**
- *Неблагоприятное воздействие биологических факторов*
- *Эргономические и социальные факторы*
- *Дополнение*
- *Приложения*

Использование такого стандарта и шаблона с четко обозначенными позициями позволяет получить технологическую карту единой структуры, благодаря чему пользователь может быстро ознакомиться с данными и легко в них ориентироваться. Другим важным принципом является использование стандартных фраз и выражений для всех видов профессий, преимуществом чего является возможность быстрой идентификации аналогичных рисков, присутствующих в различных профессиях.

### *1.3.6. «Матричная» оценка риска*

Во многих государствах Европейского сообщества (ЕС) разработаны матрицы риска, которые ощутимо облегчают процесс классификации риска (ЕС DOC/05/20/97). Зная критерии шкал вероятности возникновения неблагоприятных ситуаций (несчастных случаев, происшествий, аварий и т.п.) и серьёзности последствий, источник риска классифицируется как элемент определённой ячейки матрицы риска с соответствующими требованиями мер безопасности (рис.1.2). «Матричные» методы легко использовать, они не требуют глубоких знаний и детального анализа материала, соответственно оценка производится быстро и является финансово выгодной. Разработаны матрицы для различных отраслей, а также для конкретных видов рисков.

## Матрица риска



Рис. 1.2. Матрица риска

Ниже приведены примеры, взятые из документов ЕС «Здоровье и безопасность труда» (ЕС DOC/05/20/97).

### *Матрица Queensland University, Australia, 2003.*

Матрица основана на пятиуровневой шкале оценки вероятностей и трёхуровневой шкале оценки последствий.

Последствия, <i>p</i>	×	Вероятность, <i>Q</i>	=	Риск	
Небольшие – 1	×	Малая – маловероятно	1	1	Малый
		Малая – редко	2	2	Малый
		Средняя	3	3	Малый
		Большая – возможно	4	4	Малый
		Большая – почти наверняка	5	5	Малый
Средние – 2	×	Малая – маловероятно	1	2	Малый
		Малая – редко	2	4	Малый
		Средняя	3	6	Средний
		Большая – возможно	4	8	Средний
		Большая – почти наверняка	5	10	Средний
Большие – 3	×	Малая – маловероятно	1	3	Малый
		Малая – редко	2	6	Средний
		Средняя	3	9	Средний
		Большая – возможно	4	12	Большой
		Большая – почти наверняка	5	15	Большой

Оценка риска: 1–5 (низкий)

6–10 (средний)

11–15 (высокий)

*Матрица Edith Cowan University, 2003.*

Возможность	Последствия					Иерархия контроля риска
	1 Мало- важные	2 Небольшие	3 Средние	4 Большие	5 Катастро- фические	
А Обязательно	Б	Б	Э	Э	Э	<u>Устранение</u> – необходимо производить в первую очередь, т.к. угроза постоянна
В Очень часто	С	Б	Б	Э	Э	<u>Замещение</u> менее опасным риском, процессом, химическим веществом и т. д.
С Часто	М	С	Б	Э	Э	<u>Технологический контроль</u> , связанный с лабораторными измерениями параметров
Д Маловероятно	М	М	С	Б	Э	<u>Административный контроль</u> , уменьшающий риск, внедрение инструкции
Е Редко	М	М	С	Б	Б	<u>Кратковременный контроль</u> риска и использования СИЗ

**Пояснения к матрице:**

**Э** – экстремальный (очень серьезный) риск; необходимы незамедлительные действия; работодателю/специалисту по охране труда необходимо разработать детальный план по устранению риска.

**Б** – большой риск; работодатель, производя оценку риска и внутренний контроль рабочей среды, должен уделить ему особое внимание; необходимы превентивные мероприятия для уменьшения риска и внедрение их по возможности в короткие сроки.

**С** – средний риск; необходимо уделять должное внимание мероприятиям по управлению риском, необходимо установить параметры риска, используя тестовую лабораторию.

**М** – небольшой риск; необходимы обычные (стандартные) процедуры в сфере охраны труда, иногда необходимы кратковременные специфические мероприятия.

*Матрица University of Melbourne, Australia, 2003.*

Идентификация опасности	Оценка риска			Оценка (P=Bo x Be x П)	Степень риска
	Воздействие (Bo)	Вероятность (Be)	Последствия (П)		

Формулировки						
Воздействие (Bo)		Вероятность (Be)		Последствия (П)		P
Непрерывное	10	Несомненная	1,00	Катастрофические	20	K>20
Частое	6	Возможная	0,60	Большие	10	B>10
Иногда	3	Вероятная	0,30	Средние	5	C 3-10
Редкое	2	Малая	0,10	Малые	2	M<3
Очень редкое	1	Очень малая	0,05	Незначительные	1	

**Пояснение к матрице:**

**К** – катастрофический или экстремальный риск; действия необходимы незамедлительно.

**Б** – большой риск; необходимо вмешательство специалиста по охране труда, необходимо предусмотреть соответствующие мероприятия.

**С** – средний риск; необходимо уточнить меры безопасности, установить приоритеты.

**М** – малый риск; необходим порядок организации управления работой и охраны труда.

*1.3.7. Оценка риска с использованием диаграмм типа «дерево событий»*

В немецком стандарте **DIN V VDE 19250** представлена методика определения классов безопасности профессиональной деятельности с использованием диаграмм в виде «деревьев событий». Оценка риска производится по схеме:

*травматизм - продолжительность нахождения в опасной зоне - предотвращение опасности - вероятность нежелаемого события - класс безопасности.*

Параметры риска приведены в табл. 1.3. Диаграмма представлена на рис. 1.3.

Таблица 1.3

Параметры риска

<b>Травматизм:</b>
<i>S1=незначительные травмы</i>
<i>S2=серьёзные травмы одного или нескольких человек, смерть одного человека</i>
<i>S3=смерть нескольких человек</i>
<i>S4=катастрофические последствия, большие человеческие потери.</i>
<b>Продолжительность нахождения в опасной зоне:</b>
<i>A1=от редкого до относительно частого нахождения</i>
<i>A2=частое или постоянное.</i>
<b>Предотвращение опасности:</b>
<i>G1=возможно при определённых обстоятельствах.</i>
<i>G2=невозможно</i>
<b>Вероятность не желаемого события</b>
<i>W1=крайне низкая</i>
<i>W2=низкая</i>
<i>W3=высокая</i>
<b>Классы безопасности</b>
<i>Класс 8 - наивысший класс требований</i>
<i>класс 1 – наименьший класс требований</i>



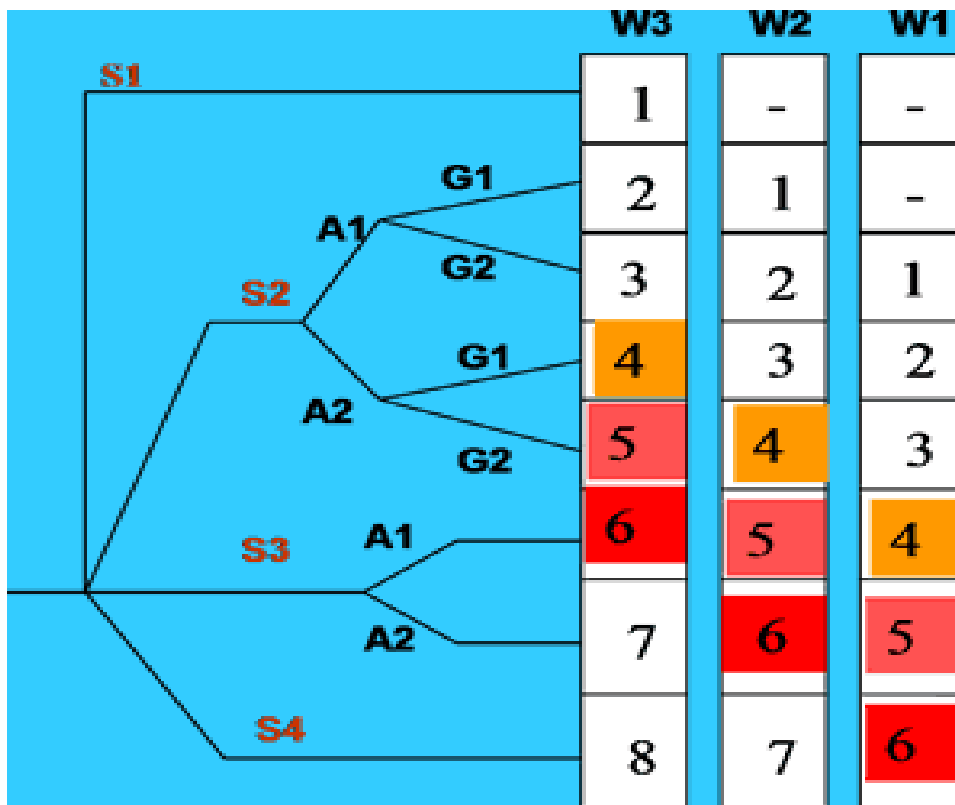


Рис.1.3. Диаграмма для оценки класса безопасности

*В общем случае выбор методов оценки рисков определяется:*

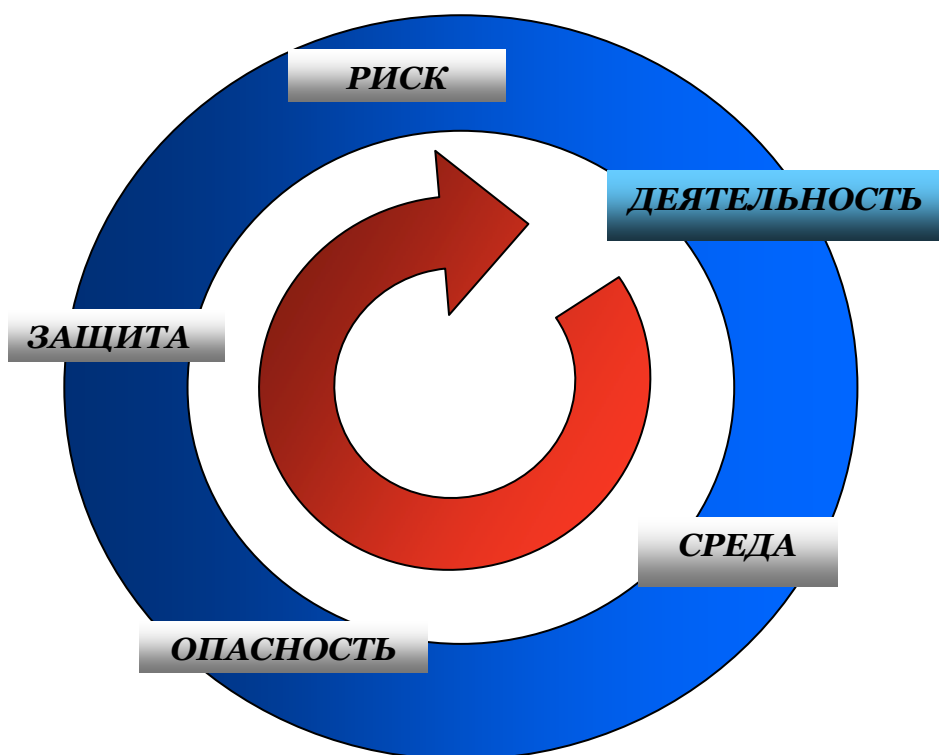
- целью проведения исследований (отдельный человек или социальная группа определенной численности, элемент или система техносферы, природный объект или территория заданных размеров);
- потенциальной опасностью и ущербами при переходе от нормальных (штатных) условий функционирования сложной системы «человек – объект экономики – среда жизнедеятельности» к аварийным и катастрофическим (нештатным);
- наличием исходной детерминированной или статистической информации о реализации рисков на предшествующих стадиях функционирования указанной выше системы;
- наличием исходных баз знаний для расчетно-экспериментального определения функционалов и параметров рисков;
- наличием правовой и нормативно-технической базы для обязательного или факультативного определения рисков;
- наличием обоснованной мотивации определения рисков и управления рисками для повышения безопасности и уровня защищенности от чрезвычайных ситуаций.

#### 1.4. Проблемы анализа и оценки профессиональных рисков

Под **профессиональным риском (ПР)** понимается математическая концепция, отражающая ожидаемую частоту и (или) тяжесть неблагоприятных реакций на данную экспозицию.

Иными словами, профессиональный риск – это прогностическая вероятность частоты и тяжести неблагоприятных реакций на воздействие вредных факторов производственной среды и трудового процесса. В этой связи, *определение факторов профессионального риска, фундаментальные и прикладные исследования их воздействия на работающих, мониторинг здоровья и безопасности на рабочих местах, организация работы по изучению несчастных случаев и профессиональных заболеваний на государственном уровне и ряд других вопросов входит в круг задач по оценке профессионального риска.* Схема, иллюстрирующая основные этапы возникновения и формирования профессионального риска, приведена на рис. 1.4.

Рис. 1.4. Этапы возникновения риска



Проблемы анализа профессиональных рисков обусловлены сложной природой этих рисков, значительным их многообразием, труднопредсказуемыми и длительными последствиями. Специалисты международной организации труда (МОТ) и Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) выделяют более 150 классов профессиональных рисков и приблизительно 1 тыс. их видов, которые представляют реальную опасность для 2 тыс. различных профессий (источник: [www.ilo.org/safework](http://www.ilo.org/safework)). При этом считается, что данная

классификация является неполной и охватывает только отдельные аспекты безопасности и гигиены труда. По данным МОТ:

- *каждый год более 2 миллионов человек умирают вследствие несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний;*
- *из-за вредных воздействий, связанных с пребыванием на рабочем месте, каждый год заболевают более ста миллионов трудящихся;*
- *среди наиболее пострадавших - самые бедные и наименее защищенные, это, в основном, женщины, дети и мигранты;*
- *малые и сверхмалые предприятия составляют более 90 процентов всех тех предприятий, где, как правило, условия труда крайне неудовлетворительны, а их работники не пользуются никакой защитой.*

Основная задача анализа профессионального риска заключается в том, чтобы предоставить объективную информацию о состоянии условий труда лицам, принимающим решения в отношении безопасности. Анализ риска необходимо организовывать и применять для того, чтобы:

- *определить угрозы, имеющиеся в рабочем процессе, и оценить связанные с ними риски, чтобы, соблюдая требования существующего законодательства, определить, какие мероприятия необходимо осуществить для обеспечения безопасности и сохранности здоровья работников и других лиц;*
- *оценить риск, чтобы, основываясь на полученной информации, правильно организовать работу, выбрать необходимые для работы оборудование, химические вещества, материалы и т. п.;*
- *проверить, адекватны ли осуществляемые мероприятия по охране труда;*
- *определить приоритеты деятельности, если в результате оценки была установлена необходимость в дальнейших мероприятиях;*
- *показать работникам и их представителям, что все факторы, связанные с работой, приняты во внимание, а также приняты все необходимые меры для организации безопасного труда;*
- *обеспечить улучшение здоровья и повышение уровня безопасности работающих при помощи превентивных мероприятий, методов и приёмов работы, которые были признаны необходимыми и внедрены после проведения оценки рисков.*

Развернутая процедура проведения анализа профессионального риска включает последовательную реализацию следующих этапов:

- *Идентификация риска*
- *Осознание риска*
- *Избежание риска*
- *Снижение риска*
- *Оценка риска*
- *Оценивание риска*
- *Обработка риска*

Схема анализа приведена на рис. 1.5. Содержание этапов представлено в табл. 1.4.

*Идентификация риска:* процесс нахождения, составления перечня и описания элементов риска. Элементы риска могут включать в себя источники или опасности, события, последствия и вероятность.

*Осознание риска:* набор ценностей и озабоченностей, в соответствии с которыми причастная сторона (*в данном случае – человек*) рассматривает конкретный риск. Осознание риска зависит от потребностей, результатов и знаний причастных сторон и может отличаться от объективных данных.

*Избежание риска (предотвращение риска)* – отказ от совершения тех или иных действий, принятия решений, характеризующихся высоким риском.

*Снижение риска:* действия, предпринятые для уменьшения вероятности, негативных последствий или того и другого вместе, связанных с риском.

*Оценка риска:* процесс присвоения значений вероятности и последствий риска.

Оценка профессионального риска – процесс, используемый для определения степени риска анализируемой опасности для здоровья человека. Оценка проводится с учетом величины экспозиции, показателей функционального состояния, состояния здоровья и утраты трудоспособности работников. 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

*Оценивание риска:* процесс сравнения количественно оцененного риска с данными критериями риска для определения значимости риска.

*Обработка риска:* процесс выбора и осуществления мер по модификации риска. Термин «обработка риска» иногда используют для обозначения самих мер. Меры по обработке риска могут включать в себя избежание, оптимизацию, перенос или сохранение риска.

*Оптимизация риска (модификация):* процесс, связанный с риском, направленный на минимизацию негативных и максимальное использование позитивных последствий и, соответственно, их вероятности. С точки зрения безопасности оптимизация риска направлена на снижение риска.

*Перенос (передача) риска:* разделение с другой стороной бремени потерь или выгод от риска. Перенос риска предполагает его передачу третьим лицам в случаях, когда воздействие на него невозможно или экономически не оправдано, а величина риска превышает допустимый уровень. Передача риска осуществляется при помощи страхования, а также при помощи иных механизмов.

*Сохранение риска:* принятие бремени потерь или выгод от конкретного риска, т.е. решение принять риск. Сохранение риска применяется в случаях, когда его значение находится на приемлемом уровне, а воздействие на этот риск невозможно или экономически не эффективно.

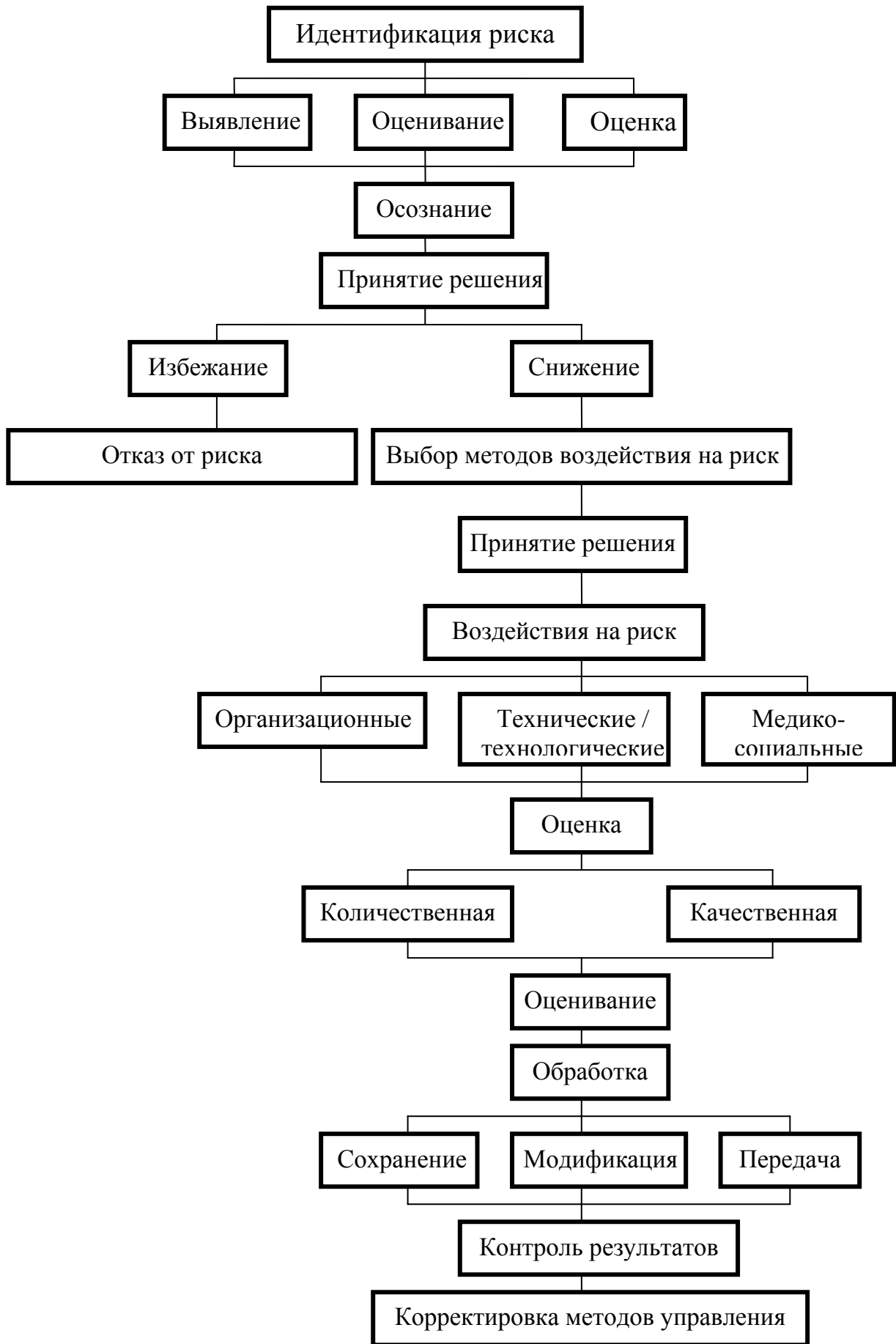


Рис. 1.5. Этапы анализа профессионального риска

Таблица 1.4

Объекты анализа	Цели анализа	Этапы анализа профессиональным риском							Оценка риска	Оценивание риска	Обработка риска
		Идентификация риска	Осознание риска	Предотвращение риска	Снижение риска	Оценка риска	Оценивание риска	Обработка риска			
		Содержание этапов									
Человек	Формирование мотивации к осознанному выбору деятельности	Оценка способности человека заниматься определенным видом деятельности	Осознанный выбор рода деятельности с учетом потенциального риска	Отказ от выбора деятельности	Изменение характера деятельности	Анализ достигнутого уровня опасности	Сопоставление с приемлемым уровнем	Сохранение, модификация или передача опасной деятельности			
Профессиональная деятельность	Адаптация человека к избранной деятельности	Выявление негативных последствий, связанных с выбранной деятельностью	Анализ негативных последствий деятельности	Изменение вида деятельности	Снижение значимых опасных факторов, присутствующих в среде	Анализ достигнутого уровня опасных факторов	Сопоставление с приемлемым уровнем	Сохранение, модификация или передача опасных факторов			
Среда	Адаптация человека к среде деятельности	Выявление опасных факторов, связанных с выбранной деятельностью	Анализ опасных факторов среды	Изменение среды деятельности	Снижение уровня опасных взаимодействий человека и среды	Анализ достигнутого уровня взаимодействия	Сопоставление с приемлемым уровнем	Сохранение, модификация или передача опасных взаимодействий			
Опасность	Оптимизация субъектных взаимодействий в процессе деятельности	Выявление опасных взаимодействий, возникающих в процессе деятельности	Анализ опасных взаимодействий с факторами среды	Избежание взаимодействия	Понижение уровня риска	Анализ достигнутого уровня	Сопоставление с приемлемым уровнем	Сохранение, модификация или передача риска			
Уровень безопасности	Оптимизация уровня безопасности	Выявление рисков, связанных с профессиональной деятельностью	Анализ уровня риска	Избежание повышенного риска							

В приложении **П7** представлены варианты базовой формы записи об идентификации, оценке и обработке риска, а также формы идентификации и устранения несоответствия с элементами оценки риска.

### ***Контрольные вопросы***

1. *Перечислить и охарактеризовать основные этапы развития теории риска.*
2. *Дать примеры существующих определений риска.*
3. *Пояснить сущность методологических проблем исследований риска.*
4. *Пояснить различие понятий анализа, оценки и управления риском.*
5. *Пояснить смысл и суть математической формализации понятия риск.*
6. *Пояснить суть концепций нулевого и приемлемого риска.*
7. *Дать определение социотехнической системы.*
8. *Пояснить, что представляют собой техническая и социальная подсистемы.*
9. *Пояснить, в чем заключаются проблемы управления безопасностью социотехнических систем.*
10. *Пояснить сущность и сферы использования методов и методик оценки рисков:*
  - *санитарно-гигиеническая оценка риска;*
  - *медико-экологическая оценка риска;*
  - *экономическая (страховая) оценка риска;*
  - *оценка риска по шкале Россера;*
  - *оценка риска с помощью карт опасности;*
  - *«матричная» оценка риска;*
  - *оценка риска с использованием диаграмм типа «дерево событий».*
11. *Пояснить, в чем заключаются проблемы анализа и оценки профессиональных рисков.*
12. *Пояснить содержание этапов анализа профессионального риска.*

### МЕТОДОЛОГИЯ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО РИСКА

---

*Системный подход является методологической концепцией познания, сущность которой состоит в том, что все изучаемые объекты или явления рассматриваются как системы, отдельные элементы (стадии, фазы процесса и т. п.) которых связаны между собой определенной совокупностью причинно-следственных связей. Этот подход существенно облегчает выявление этих причинно-следственных связей, благодаря возможности использования при этом могучего арсенала методов и моделей, накопленных в рамках теории систем.*

**В.В.Ильин.** *Философия науки*

**Основные задачи:** *изучить методы и процедуры выявления опасности и оценки возможных негативных последствий, основные характеристики различных методов, роль человеческого фактора в системе обеспечения безопасности, методы анализа безопасности технических устройств и систем.*

В современной литературе под **методологией** понимают *метод научного познания, т. е. учение о принципах построения, формах и способах научно-познавательной деятельности* (Российский энциклопедический словарь, 2001). Методология включает в себя, кроме того, собственно исследование самой теории, ее становления и развития, отношения ее к другим теориям и к объективной реальности, исследование оснований теории, ее места в системе научного знания, законов формирования и развития научной теории, научных исследований и их методов. Методологический анализ позволяет абстрагироваться от конкретных научных фактов и осознать те основные принципы, на которых строится конкретное исследование, обобщить имеющиеся данные, установить меру соотношения между конкретными данными в разных областях науки. *«Философскую концепцию научного учения можно уподобить рулевому управлению, а методологию - движению, обеспечивающему приближение к поставленной цели»* (Цит. по: Ильин, 2003).

Любые социальные структуры могут рассматриваться как элементы более широких социальных систем. Объединения людей по признаку профессиональной деятельности представляют собой относительно обособленные социотехнические образования, функционирующие в границах современной техносферы. Деятельность человека в профессиональной сфере связана с проявлением сложного комплекса взаимоувязанных факторов: условий



труда и трудового процесса, биологического состояния человека и его здоровья, безопасности используемых технических систем и технологий, развитости механизмов защиты от рисков (охраны и медицины труда, социального страхования и т.д.).

Эффективным средством исследования сложных структур является *системный анализ, представляющий собой совокупность формализованных методов, моделей и процедур, базирующихся на принципах системного подхода и опирающихся на арсенал математических моделей.*

Системный анализ позволяет перейти от изучения функций конкретного объекта в пределах упорядоченной системы к изучению структуры самой системы, ее взаимосвязанных элементов и процессов. Системное познание объекта предполагает: рассмотрение объекта, как ограниченного множества взаимодействующих элементов; определение состава, структуры и организации элементов и частей, составляющих объект; обнаружения главных связей между ними; выявление внешних связей объекта, выделения из них главных; определение функции объекта и его роли среди других систем; анализ диалектики структуры и функции объекта; обнаружение закономерностей и тенденций развития рассматриваемой системы.

Системный анализ предоставляет к использованию в различных науках, системах следующие методы и процедуры:

- *абстрагирование и конкретизация;*
- *анализ и синтез;*
- *индукция и дедукция;*
- *формализация;*
- *структурирование;*
- *макетирование;*
- *алгоритмизация;*
- *моделирование;*
- *экспертное оценивание и тестирование и другие методы и процедуры.*

## ***2.1. Общая характеристика методов системного анализа риска***

В число основных методов анализа и определения рисков любой природы в общем случае входят следующие: детерминированные, статистические, вероятностные, логико-вероятностные, методы нечетких множеств, экспертные или их комбинации (Вентцель, 1998). Методы анализа и оценки риска в общем случае делятся на феноменологические, детерминистские и вероятностные.

***Феноменологический метод*** базируется на определении возможности или невозможности возникновения опасных событий, явлений или процессов, исходя из результатов анализа необходимых и достаточных условий, связанных с реализацией тех или иных законов природы. Этот метод является наиболее простым в применении и дает надежные результаты, если только состояния или процессы таковы, что можно с достаточным запасом достоверности определить текущее состояние компонентов рассматриваемой сис-

темы. Феноменологический метод хорош при определении сравнительного уровня безопасности стационарных ситуаций, процессов, технологий, но мало пригоден для анализа разветвленных аварийных процессов, развитие которых может происходить по различным сценариям.

**Детерминистский метод** предусматривает анализ последовательности этапов реализации опасностей, начиная от формирования исходных предпосылок через последовательность предполагаемых состояний, стадий, проявлений воздействий тех или иных факторов до конечного состояния, т.е. определения риска. Процесс формирования и реализации опасностей изучается и предсказывается с помощью математического моделирования, построения имитационных моделей и проведения сложных расчетов. Детерминистский подход обеспечивает наглядность и психологическую приемлемость, так как дает возможность выявить основные факторы, определяющие развитие процесса.

В **вероятностном методе** анализ риска содержит как оценку вероятности возникновения опасного события или явления, так и расчет относительных вероятностей того или другого сценария развития. При этом анализируются разветвленные сценарии событий и процессов, выбирается подходящий математический аппарат и оценивается полная вероятность реализации всех негативных параметров. Расчетные математические модели в этом подходе, как правило, можно значительно упростить в сравнении с детерминированными схемами расчета. Основные ограничения вероятностного анализа безопасности связаны с недостаточностью сведений по функциям распределения параметров, а также недостаточной статистикой по отказам оборудования. *Тем не менее, вероятностный метод в настоящее время считается одним из наиболее перспективных для применения в будущем.* Для сложных систем обычно используется сочетание перечисленных выше методов.

При анализе и оценке риска применяются **качественные** и **количественные** методы анализа. При этом они могут быть дедуктивными или индуктивными, а также могут комбинироваться при исследовании сложных и опасных процессов, которые способны привести к тяжелым последствиям.

При использовании **качественных** методов риски, в основном, оцениваются субъективно. Во многих случаях в основе этих методов лежат так называемые «матрицы риска». Если в процедуру оценки риска вводится система баллов или пунктов, которая более или менее объективно (численно) оценивает возможность происшествия и опасность последствий, тогда можно говорить о **полуколичественном** методе оценки. Полуколичественный метод обычно дополняет качественный анализ. Его используют также на начальной стадии количественного анализа. Качественно оцененный риск характеризует происхождение потенциальной угрозы и вид опасности, например, около горячего нагревательного элемента можно обжечься, эфир может воспламениться, динамит может взорваться и т. п. Качественная оценка риска фактически не определяет ни вероятность наступления опасного события в пространстве и времени, ни объем возможных последствий. Если даже она пока-

зывает вероятность и опасность последствий, то необходимые параметры определяются по системе баллов или пунктов.

*Численная* или *количественная* оценка риска имеет ряд преимуществ:

- полученная численная оценка риска даёт основание объективно судить о степени угрозы и сравнить её с требованиями нормативов;
- даёт возможность разработать систему управления риском, соответствующую его степени.

Только численно оценённые риски можно сравнивать между собой, несмотря на различную природу их происхождения и негативного проявления. Например, можно сравнивать риски, появившиеся из-за взрыва и токсического воздействия какого-либо вещества, можно определить приоритеты, какой из упомянутых процессов может проявиться быстрее и воздействие какого из них может создать большую опасность (большее количество происшествий, больший вред здоровью и т. п.).

Анализ безопасности системы может проводиться до или после события (*априорный* или *апостериорный анализ*), в обоих случаях используемый метод может быть прямым или обратным. *Априорный анализ* имеет место до нежелательного происшествия. Аналитик рассматривает определенное количество таких происшествий, чтобы узнать, как и почему они происходят. И наоборот, *апостериорный анализ* проводится после того, как нежелательное происшествие свершилось. Его цель - определить ориентиры на будущее и, особенно, сделать выводы, которые могут оказаться полезными для последующих априорных анализов. На первый взгляд может показаться, что априорный анализ гораздо важнее, чем апостериорный, поскольку он предшествует происшествию, хотя на самом деле оба они дополняют друг друга.

Выбор метода зависит от сложности данной системы и от того, что о ней уже известно. В случае с материальными системами, такими как машины или промышленное оборудование, предыдущий опыт может помочь в подготовке очень подробного априорного анализа. Тем не менее, даже тогда анализ не является непогрешимым и может обогатиться за счет последующего апостериорного анализа, в основном базирующегося на изучении происшествий, которые происходят в ходе эксплуатации. Что касается более сложных систем с участием людей, таких как рабочие смены, мастерские или заводы, апостериорный анализ является даже еще более важным. В таких случаях прошлый опыт не всегда достаточен для того, чтобы сделать подробный и надежный априорный анализ.

Апостериорный анализ может развиваться в априорный анализ по мере того, как аналитик идет дальше, выходит за рамки единственного процесса, который привел к данному происшествию, и начинает рассматривать различные происшествия, которые вполне могли привести к подобному несчастному случаю или к нескольким таким случаям. Другой способ, благодаря которому апостериорный анализ может стать априорным анализом, – это когда акцент делается не на происшествии (предупреждение которого является главной целью текущего анализа), а на менее серьезных происшествиях. Эти происшествия, такие как технические остановки, порча материала, неболь-

шие или всего лишь потенциальные несчастные случаи, сравнительно незначительные сами по себе, могут считаться предупредительными к более серьезным происшествиям. В подобных случаях, хотя анализ проводится после того, как незначительное происшествие имело место, он будет априорным потому, что более серьезные происшествия еще не произошли. Можно использовать самые различные методы анализа и оценки риска (и их комбинации) при условии, что они содержат в себе необходимые элементы. То, какой метод оценки рисков использовать, зависит от:

- *характера рабочего места (например, постоянное или временное рабочее место);*
- *вида деятельности (например, повторные действия, развивающийся/меняющийся процесс, работа, выполняемая по требованию);*
- *выполняемого задания (например, обработка данных, работа с токсичными химическими веществами, работа около электрораспределительного оборудования, работа в ограниченных помещениях и т. п.);*
- *степени технической сложности.*

В некоторых случаях один метод может охватить всё рабочее место и все на нём существующие риски (**комплексный анализ** риска). В других случаях для различных составляющих рабочего места могут применяться несколько различных методов (**дифференцированный анализ**). Например, в механообрабатывающем цехе, где обычно обрабатывается стандартная номенклатура изделий, оценку рисков необходимо проводить, отдельно рассматривая:

- *оборудование и другие опасности механического характера;*
- *обрабатываемые или используемые в оборудовании материалы (особые расплавы, охлаждающие жидкости и т. д. и их возможное воздействие на здоровье);*
- *общую рабочую среду (микроклимат, вентиляцию, шум и освещение);*
- *средства доступа (лифты, лестницы, транспорт и т. п.);*
- *электробезопасность;*
- *другие работы (уборка и эксплуатация);*
- *психологические, социальные и физические факторы, которые способствуют стрессу на рабочем месте.*

Большая часть оценки, которую необходимо провести, основывается на исследовании рабочих операций. Однако к некоторым аспектам, таким, как использование компьютерных технологий или особые условия эксплуатации, необходим более детальный подход. На практике часто имеет место **многоэтапный процесс**, в котором каждая следующая ступень является шагом вперёд, чтобы детальнее оценить конкретное рабочее место, на котором идентифицирован риск. Элементы процесса оценки риска являются общими для всех видов систем.

Первым этапом является **постановка** (корректировка – при последующем анализе) **целей**. На данном этапе происходит определение условий, которым должны удовлетворять методы исследования рисков. На основании целей устанавливается характер применяемых методов исследования риска.

Вторым этапом является **анализ риска** (повторный анализ риска). Он, в свою очередь, состоит из двух подэтапов – количественного и качественного анализа риска, на которых происходит выявление риска и причин, его порождающих, определяется возможное влияние риска на объект риска, формируются пути избежания риска.

Непосредственно с анализом риска связан третий этап – **выбор** (корректировка) **методов управления риском**. На нем происходит оценка сравнительной эффективности указанных методов, а также анализируется их воздействие в комплексе.

Четвертым этапом является **контроль и переосмысление рисков**. На этом этапе возникает новая информация о сущности риска, о правильности предыдущих выводов о его природе. На каждом из этапов используются свои методы исследования рисков, каждый из них по отдельности дает результаты, являющиеся исходными данными для последующих этапов, что требует объединения этих этапов в систему. Это позволит максимально эффективно добиваться целей анализа, поскольку информация, получаемая на каждом из этапов, позволяет корректировать не только методы воздействия на риск, но и переосмысливать цели, ставящиеся перед организацией.

*Оценка риска в соответствии с международными стандартами является итерационным процессом. То есть общая оценка риска должна позволить сделать вывод о том, достигнут ли допустимый риск. В случае, если допустимый риск не достигнут после применения мер безопасности (защитных мер), то процесс оценки риска должен быть повторен. И так до тех пор, пока не будет достигнут указанный допустимый риск.*

Большинство используемых в настоящее время методов анализа риска разрабатывались и традиционно применяются для исследований безопасности и надежности технических систем. Вместе с тем, наиболее общие подходы, этапы, алгоритмы и процедуры, лежащие в их основе, все шире применяются в исследованиях безопасности человека (методы опросных листов, экспертных оценок, «Что будет, если...?» и т.д.). В настоящее время активно разрабатываются и специальные методы и методологии, позволяющие осуществлять анализ как надежности (стабильности функционирования и поведения), так и безопасности человека в производственной среде.

## **2.2. Социально-психологические и техногенные факторы профессионального риска**

Наличие общих закономерностей служит объективной основой использования общих подходов к исследованию безопасности и анализа риска как для сложных технических, так и социотехнических систем. Основные положения теории безопасности универсальны и применимы к системам, поведе-

ние которых описывается показателями, обусловленными процессами и/или коллективным поведением одного и того же типа. Это дает новые подходы, как к формализации функции безопасности, так и к прогнозу показателей состояния производственной среды, обуславливаемых природными, техногенными, социогенными опасностями и психологией коллективного поведения.

В общем случае вероятность надежной и безопасной работы системы «человек – техника» определяется свойствами составляющих ее подсистем. Если предположить, что успешное и безопасное функционирование технической и социально-психологической составляющих системы при выполнении заданной процедуры – события независимые, то вероятность безопасного выполнения заданной процедуры  $p_i$  определяют выражением

$$p_i = p(T)_i \times p(\Pi)_i \quad (2.1)$$

где  $p(T)_i$  – вероятность безопасного функционирования технических средств;  $p(\Pi)_i$  – вероятность успешного (безошибочного) функционирования человека при выполнении  $i$ -й процедуры.

Вместе с тем, при моделировании реального функционирования человеко-машинных систем требуется учитывать не только многообразие поведения технических компонентов системы, но и реальное поведение человека, т.к. оно во многом определяет границы и значения рассматриваемых параметров. Поскольку социотехнические производственные системы в качестве обязательной составляющей включают человека, им по сравнению с техническими системами присуще принципиально новое свойство, которое можно определить, как целесообразность функционирования в виде способности достигать поставленную цель. Причем целеполагающей является человеческая деятельность, а функционирование технической части носит исполняющий характер.

Большое число случайных факторов и отсутствие универсальных методов, позволяющих выявить наиболее значимые связи, определяющие возможность наступления опасных ситуаций, существенно осложняют решение проблемы прогнозирования безопасности профессиональной деятельности. Проблема анализа осложняется, кроме того, тем, что зачастую трудно или невозможно провести разграничение *причинных факторов и факторов риска*.

**Фактор риска (Riskfactor)** - характерный признак, такой как привычка человека или воздействие присутствующих в окружающей среде вредных веществ, в результате которого увеличивается вероятность возникновения несчастного случая или развития у человека какого-либо заболевания. Отличие фактора риска от причинного фактора заключается в том, что он не является причиной реализации опасности, но увеличивает вероятность её возникновения. Факторы риска принято называть *рискообразующими*, понимая под ними сущность процессов или явлений, способствующих возникновению того или иного вида риска и определяющих его характер.

*Экспертная оценка факторов риска* - результат оценивания системы факторов риска с целью определения степени их влияния на результирующий показатель.

На современном этапе исследований, посвященных проблеме управления рисками, большое внимание уделяется формированию групп рискообразующих факторов, оказывающих воздействие на конкретные виды рисков. Причем основные усилия направлены на уточнение списка рискообразующих факторов для конкретных видов риска, а также на разработку методик оценки влияния этих факторов на динамику соответствующих рисков.

Оценка вредных и опасных производственных факторов проводится на основе первичного перечня контролируемых вредных и опасных факторов производственной среды и трудового процесса на рабочих местах в рамках производственного контроля, а также в рамках проведения аттестации рабочих мест и оценки их травмобезопасности. По результатам оценки вредных и опасных производственных факторов составляется реестр факторов по каждому рабочему месту. При формировании реестра достигаются следующие основные цели:

- *учет всех вредных производственных факторов* (причинных), подлежащих контролю в рамках производственного контроля за соблюдением санитарных правил, в соответствии с обязательными государственными требованиями;
- *учет дополнительных вредных производственных факторов* (факторов риска), выявленных при проведении идентификации профессиональных рисков, если установлено, что данные факторы присутствуют на рабочих местах в количествах, превышающих допустимые гигиенические нормы, или их наличие может повлиять на установление компенсаций работникам за работу во вредных и опасных условиях труда;
- *учет факторов травмобезопасности* на рабочих местах, приведших к классификации условий труда на данных рабочих местах как опасных.

Разграничение технической и социальной подсистем позволяет (с определенными допущениями) выделить две группы рискообразующих и/или причинных факторов (рис. 2.1). Первая группа (***техногенные факторы***) включает факторы, связанные с *оборудованием, технологическими процессами, производственной средой, материалами*, т.е. с так называемыми *техническими* или *техногенными* составляющими производственного процесса. Вторая (***социально-психологические факторы***) – факторы, обусловленные *психологическим и/или физиологическим состоянием человека, организационными, социальными или иными подобными* воздействиями (приложение П8).

Количество учитываемых рискообразующих и причинных факторов достаточно велико. В качестве иллюстрации приведён примерный реестр факторов из документа Европейского Содружества «*Guidance on risk assessment at work*». Перечень типовых видов опасностей приведен в приложении П9.

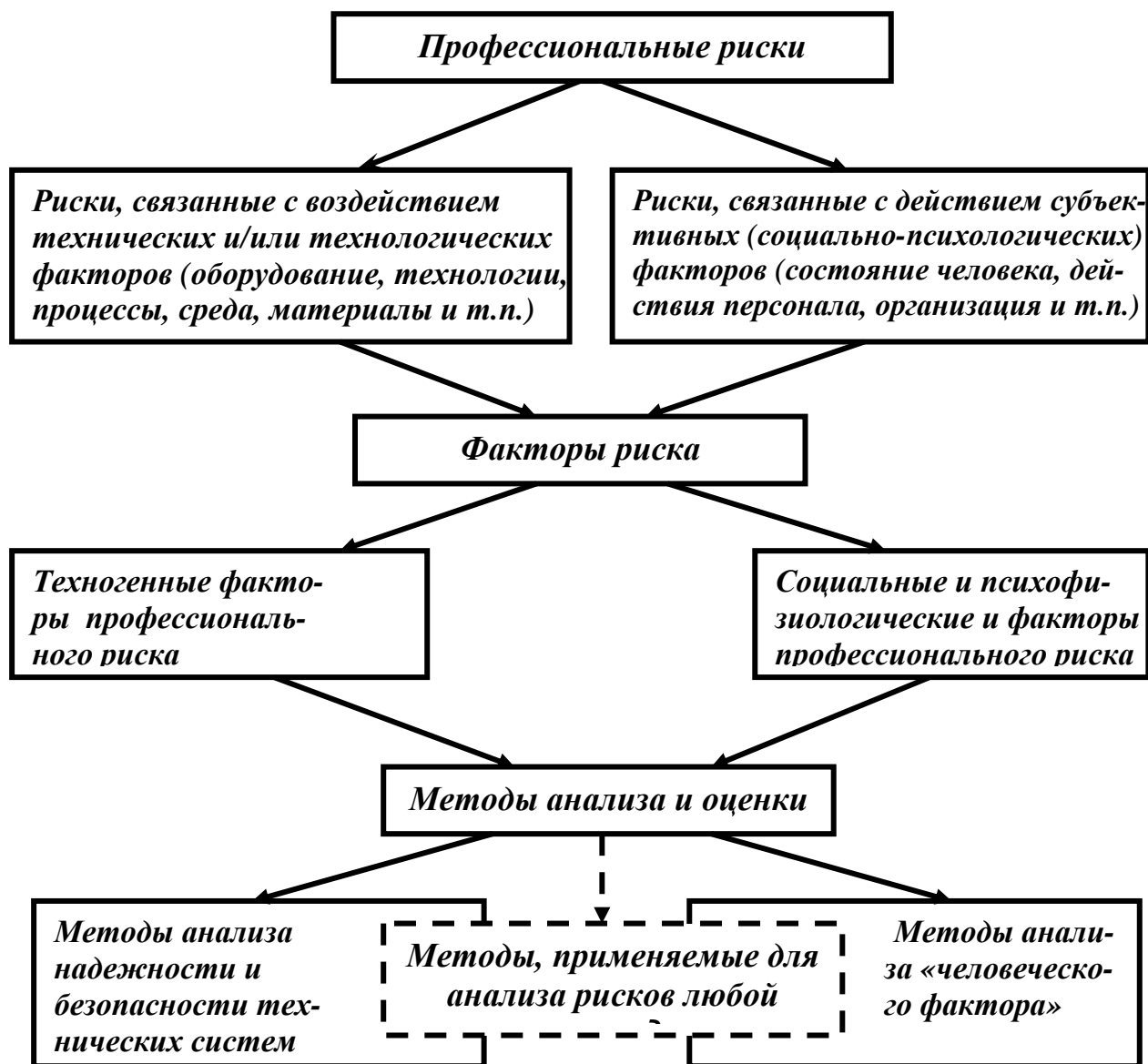


Рис.2.1. Методы анализа риска

### *Социально-психологические факторы профессионального риска*

#### 1. Взаимодействие рабочей среды и человеческих факторов:

- зависимость системы безопасности труда от:
  - необходимости получать и точно обрабатывать информацию;
  - знаний и способностей персонала;
  - норм поведения работников;
  - хорошей коммуникации;
  - отклонений условий безопасности или изменений процедур безопасности труда;
  - пригодности средств индивидуальной защиты;
  - слабой мотивации соблюдать технику безопасности;



- эргономических факторов (соответствие конструкции ручного инструмента и оборудования антропометрическим и физиологическим показателям работника).

## 2. Психологические факторы:

- характер труда (интенсивность, монотонность);
- размещение рабочего места (работа в одиночестве);
- неопределённость и конфликтные ситуации;
- обстоятельства, влияющие на работу и выполнение задания, принятие решений;
- контроль за работой (слишком тщательный или недостаточный);
- реакция в случае аварии.

## 3. Психоэмоциональные факторы:

- концентрация и устойчивость внимания
- осторожность
- аккуратность
- способность к волевой саморегуляции
- настойчивость
- самообладание
- тип характера
- техническое мышление
- вербальное мышление
- решительность
- уверенность

## 4. Организация труда:

- факторы, определяющие рабочий процесс (например, непрерывная работа, посменная работа, работа в ночную смену);
- эффективная система управления и организация, планирование, наблюдение и контроль за мероприятиями по безопасности труда;
- эксплуатация оборудования, в том числе устройств для обеспечения безопасности труда;
- соответствующие мероприятия для предотвращения происшествий и аварий.

### *Техногенные факторы профессионального риска*

## 1. Использование рабочего оборудования:

- недостаточно защищённые вращающиеся или движущиеся детали, которые могут травмировать работника (придавить, уколоть, ушибить, захватить или порвать одежду);
- свободное движение деталей или материалов (падение, качение, скольжение, перекося, обрыв, скатывание, разрушение), в результате которых работник может быть травмирован;
- движение оборудования или автомобилей;
- угроза пожара или взрыва (например, трение или повышенное давление);
- неправильное использование ручного инструмента.

2. Характер и размещение рабочих помещений:

- опасные поверхности (острые края, выступы);
- работа на большой высоте;
- работы, которые связаны с неудобными движениями/позами;
- ограниченное пространство (например, необходимость работать между закреплёнными частями);
- скольжение (влажные или другие скользкие поверхности и т. д.);
- стабильность рабочей ситуации;
- влияние использования средств индивидуальной защиты;
- методы труда;

3. Использование электричества:

- электрораспределительное оборудование;
- электрооборудование, например, замкнутая электросеть;
- оборудование, приводимое в действие электричеством, его изоляция;
- использование переносных электроинструментов;
- пожар или взрыв, вызванный электричеством;
- воздушные линии электропередачи.

4. Воздействие химических веществ или химических продуктов, вредных для здоровья:

- вдыхание, приём с пищей или всасывание через кожу (в том числе аэрозолей и мелкой пыли);
- использование легковоспламеняющихся и взрывоопасных материалов;
- недостаток кислорода (асфиксия);
- присутствие веществ, вызывающих коррозию;
- реагирующие/нестабильные вещества;
- присутствие сенсibilизаторов.

5. Воздействие физических факторов:

- воздействие электромагнитного излучения (инфракрасного и ультрафиолетового излучения, видимого света, ионизирующего излучения);
- воздействие электромагнитного поля (микроволн, радарных волн и др.);
- воздействие лазерного излучения;
- воздействие шума, ультразвука;
- воздействие механических вибраций;
- воздействие горячих или холодных веществ/растворителей;
- воздействие высокого давления (сжатый воздух, пар, жидкости).
- воздействие физических факторов:

6. Воздействие биологических факторов:

- использование биологически-активных веществ;
- косвенное воздействие микроорганизмов (инфекционные заболевания);
- присутствие аллергенов.

7. Факторы окружающей среды и рабочая среда:

- недостаточное или несоответствующее освещение;
- недостаточный контроль за температурой, влажностью и обменом воздуха;
- присутствие загрязнителей.

## 2.3. Анализ социально-психологических факторов

### 2.3.1. Понятие человеческого фактора

Когда человек вступает в контакт с определенной средой и присутствующими в ней опасными факторами, начинается процесс взаимодействия. Особенности системы, а также индивидуального поведения могут спровоцировать возникновение опасной ситуации. Способность человека противостоять негативным воздействиям, в свою очередь, является переменной величиной: она зависит от квалификации, возраста, пола, физиологического состояния организма в момент воздействия неблагоприятного фактора и т.д.

Отношения человека и рабочей среды оцениваются как *динамические отношения*. В них входят фактические возможности и требования, а также осознанные возможности и требования. Схематично связь между человеком, его поведением и средой показывает «треугольник безопасности»: все три величины связаны между собой и, если меняется одна из них, меняются и остальные (рис.2.2).



Рис. 2.2. «Треугольник безопасности» (ЕС DOC/05/20/97)

**Человеческий фактор** — специфическое обозначение функционирования человека в системе социальных, экономических, производственных, научно-технических, организационно-управленческих и др. отношений; все, что относится к человеку как субъекту деятельности в разных сферах общественной жизни (Российский энциклопедический словарь, 2001).

Человеческий фактор является одной из главных причин несчастных случаев на рабочем месте. В промышленно развитых странах вопросам человеческого фактора в сфере производства уделяется серьезное внимание, причем важнейшим направлением здесь является проблема охраны труда и промышленной безопасности. В начале 50-х годов в США были затрачены значительные усилия на то, чтобы понять и научиться исправлять ошибки человека, приводящие к отказам систем. Одна из первых количественных оценок

возможностей человека была выполнена в 1962 г. в лаборатории «Сандиа». Были проведены исследования систем ядерного оружия на самолетах с использованием метода, базирующегося на экспериментальных оценках среднего количества ошибок оператора на выполняемую операцию. Частота возникновения ошибок была введена в уравнения, описывающие надежность работы системы, наряду с другими событиями, относящимися к ней. Задача моделирования заключалась в обработке фиксируемых статистических оценок – результатов коллективного (массового) поведения людей. Оценки влияния человеческого фактора, проведенные в начале 80-х годов в Австралии, исследования несчастных случаев со смертельным исходом, случившихся за трехлетний период, показали, что человеческий фактор присутствовал в более чем 90% этих случаев. Полученные данные выявили необходимость понимания роли человеческого фактора в формировании обстоятельств и возникновении несчастного случая.

Термин *«человеческий фактор»* охватывает широкий диапазон элементов взаимодействия между индивидуумом и производственной средой. Человеческий фактор рассматривается как проявление всей совокупности личностных качеств человека, которые влияют на его трудовую активность. Он включает в себя:

- *психофизиологические особенности - способности и склонности человека, состояние его здоровья, работоспособность, выносливость, тип нервной системы и т.п.;*
- *квалификационные характеристики - объем, глубину и разносторонность общих и специальных знаний, трудовых навыков и умений, обуславливающие способность работника к труду определенного содержания и сложности;*
- *личностные особенности - уровень сознания и социальной зрелости, степень усвоения работником норм отношения к труду, ценностные ориентации, интересы, потребности и запросы в сфере труда, исходя из иерархии потребностей человека.*

Человеческий фактор производства характеризуется, кроме того, показателями отношения к труду, инициативы, предприимчивости, интересов, потребностей, ценностей, способов поведения в различных ситуациях. В содержание понятия «человеческий фактор» входят категории культуры, воспитания, цивилизованности, стремления к совершенству и т.п.

Психофизиологические факторы (влияние психологической напряженности, утомления, эмоциональных факторов и особенностей нервно-психической организации человека) оказывают непосредственное воздействие на безопасность и эффективность системы «человек-машина». Оценка возможности, надежности, точности и стабильности работы человека, изучение приспособительных и творческих возможностей должны основываться на выяснении закономерностей психических и физиологических процессов, лежащих в основе определенных видов трудовой деятельности.

Квалификационная составляющая, с одной стороны, характеризует подготовленность работников к выполнению трудовых функций, а с другой -

является фактором, формирующим отношение к труду, трудовую дисциплину, интенсивность труда. Квалификационные характеристики включают:

- *уровень подготовки (уровень базового образования, профиль, специализацию);*
- *творческие способности (организатор, экспериментатор, теоретик и т.д.);*
- *стремление к повышению личностного потенциала;*
- *трудовую активность;*
- *трудовую мобильность и т.д.*

Выделение социально-личностной составляющей призвано акцентировать внимание на потенциальных, т.е. либо перспективных, либо попросту «неиспользуемых», социальных возможностях работника. Данная составляющая характеризует способность человека к самопреобразованию и саморазвитию. Структура личностного потенциала включает в себя следующие основные элементы:

- *способность к сотрудничеству, коллективной организации и взаимодействию (коммуникативный потенциал);*
- *творческие способности (творческий потенциал);*
- *ценностно-мотивационные свойства (идейно-мировоззренческий и нравственный потенциал).*

Эти очевидные аспекты человеческого фактора получают расширенное выражение в общей организационной среде. Безопасность труда в значительной мере зависит от степени взаимного согласования психофизиологического, квалификационного, и личностного потенциала, механизм управления каждым из которых существенно различается. Игнорирование человеческого фактора повышает уровень риска и значительно снижает эффективность последующих управляющих воздействий.

### *2.3.2. Роль человеческого фактора в системе обеспечения безопасности*

Исследование влияния человеческого фактора, не относящегося к непосредственным ошибкам человека в обстоятельствах, предшествовавших несчастному случаю, служит основой для понимания природы несчастного случая. Традиционные модели исследований несчастных случаев уделяют недостаточно внимания человеческому фактору. Элементы, относящиеся к действиям человека, как правило, связываются лишь с ошибкой в цепи непосредственных событий, приведших к нему.

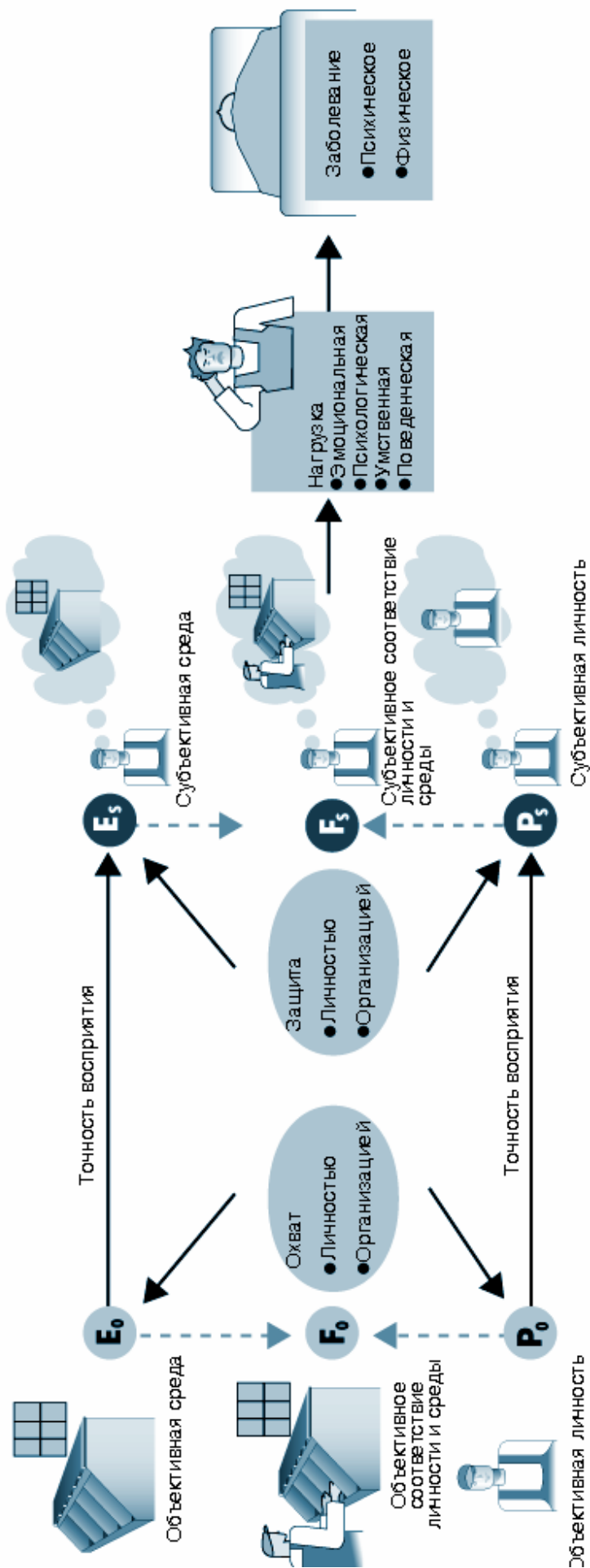
Теория соответствия личности окружающей среде дает основу для оценки и прогнозирования процесса, в рамках которого характеристики работника и рабочей среды совместно определяют безопасность работника и, в свете этих знаний, предлагает пути формирования модели для выявления методов профилактического вмешательства в рабочий процесс (Гребнев, 1992). Недостаточное соответствие человека и среды может рассматриваться с точ-

ки зрения потребностей работника (*соответствие потребностей и поступлений*), а также требований в рамках рабочей процесс-среда (*соответствие требований и возможностей*). Характеристики личности включают как потребности, так и способности. Характеристики среды включают поступления и возможности с ее стороны, призванные удовлетворить потребности работника, а также требования, предъявляемые к способностям работника. Для того чтобы оценить степень, в которой личность соответствует или не соответствует среде, теория требует, чтобы эти оба компонента измерялись со-размерно. На рис. 2.3 отображается влияние объективного соответствия на субъективное, которое, в свою очередь, непосредственно влияет на безопасность и благополучие человека (*источник: [www.ilo.org/safework](http://www.ilo.org/safework)*).

Напряжения, возникающие в процессе взаимодействия с окружающей средой, могут иметь эмоциональный характер (*депрессия, тревожное состояние*), физиологический характер (*повышение холестерина, артериального давления*), когнитивный характер (*низкая самооценка, перекладывание вины на других*), а также поведенческие реакции (*агрессивность, изменение образа жизни, употребление алкоголя, наркотических и лекарственных препаратов*). В соответствии с указанной моделью, уровни и изменения в объективном соответствии, внесенные как в плановом порядке, так и другим путем, не всегда воспринимаются работником адекватно, в результате чего между объективным и субъективным соответствием возникают расхождения. Неадекватное восприятие может иметь две причины. Первая из них заключается в организации труда, которая может побуждать работника к неверным действиям относительно среды и его самого. Второй источник указанного явления – сам работник, который не в состоянии оценить имеющуюся информацию или может в целях самозащиты исказить объективную информацию относительно требований трудового процесса, либо относительно своих способностей и потребностей. На практике несоответствие между потенциальными возможностями работника и их реализацией проявляется:

- *в несоответствии между требованиями производственного процесса и фактически необходимым уровнем квалификации работников;*
- *в неадекватном восприятии опасных факторов производственного процесса;*
- *в неудовлетворении трудом, его организацией и условиями;*
- *в недостаточно развитой мотивации человека к работе в безопасных условиях и др.*

Соответствие человека и среды может иметь нелинейную связь с психологическим напряжением, как это проиллюстрировано в виде U-образной кривой на рис. 2.4 (*источник: [www.ilo.org/safework](http://www.ilo.org/safework)*). Нижний уровень психологического напряжения на кривой имеет место, когда работник и характеристики производственного процесса находятся в равновесии ( $P = E$ ).



Источник: French, Rogers and Cobb 1974; adopted from Harrison 1979.

Рис. 2.3. Схема соответствия личности и среды

Напряжение нарастает по мере того как способности или потребности работника соответственно отстают от требований рабочего процесса или имеющихся в его составе ресурсов ( $P < E$ ) или превышают их ( $P > E$ ).

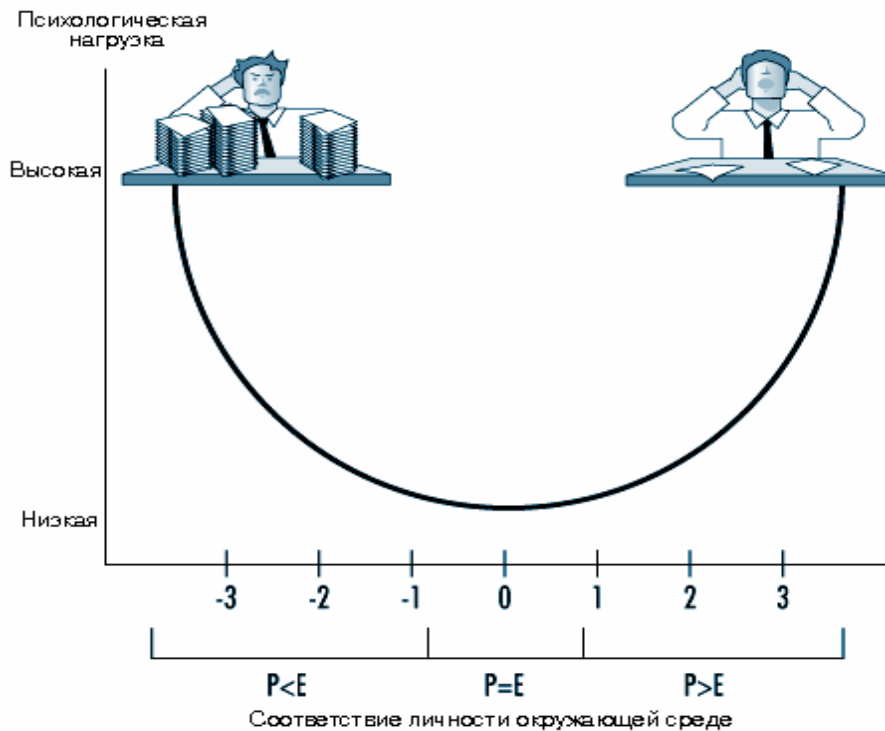


Рис. 2.4. Динамика психологической нагрузки

Природа человеческого участия в несчастных случаях различается по своему характеру, временным характеристикам и по значимости в природе формирования несчастного случая. Чаще всего человеческий фактор порождает основные причины несчастных случаев. Данные причины объединяются с последующими техническими ошибками и промахами или неблагоприятными условиями окружающей среды и приводят в результате к несчастному случаю. Существенным компонентом обеспечения безопасности является понимание природы, времени появления и причин ошибок.

Одной из важнейших и уникальных характеристик ошибки, отличающей ее от других факторов, может служить то обстоятельство, что ошибка является нормой поведения человека. Ошибка играет основную роль в обучении новым навыкам и режимам работы, а также в поддержании этих навыков. Только путем исследования границ взаимодействия с окружающей средой - и, следовательно, совершения ошибок - люди могут узнать, каковы эти границы. Это существенно не только для выработки новых навыков, но и для совершенствования и сохранения старых. Степень, до которой люди проверяют границы своих навыков, связана с уровнем риска, на который они готовы пойти.

Ошибки отличаются друг от друга в зависимости от способа обработки информации. При попытке проанализировать причины несчастного случая



или спрогнозировать роль человеческого фактора невозможно понять все аспекты обработки информации человеком, которые повлияли или могли повлиять на развитие ситуации. Например, ошибки могут принимать форму ложных ощущений благодаря слабой стимуляции органов чувств, благодаря ослаблению внимания из-за длительного или слишком сложного воздействия окружающей среды, благодаря различным провалам в памяти, ошибкам мотивации и рассуждений. Все эти типы ошибок различимы в контексте каждого несчастного случая. Их присутствие означает сбой в той или иной функции обработки информации, и, следовательно, они требуют различных подходов к их преодолению.

### *2.3.3. Понятие надежности профессиональной деятельности*

В процессе оценивания и управления профессиональным риском значительные трудности вызываются наличием неопределенностей в характеристиках надежности персонала. В значительной степени это связано с тем, что в условиях производственного процесса возникают не предусмотренные сценарии развития событий, в которых реакция человека является неадекватной, вследствие чего выполняются ошибочные действия. Расширение сферы применения автоматизированных средств приводит к новым проблемам, поскольку при этом появляются новые типы отказов и ошибок. Кроме того, в этих условиях непредсказуемым образом меняется весь комплекс отношений между человеком, с одной стороны, и машиной или компьютером, с другой.

***Надёжность профессиональной деятельности*** – это способность работников к эффективной и безаварийной деятельности в течение длительного периода времени, при сохранении здоровья и работоспособности самого работника и лиц, связанных с ним совместной деятельностью (Леонтьев, 2002). Это свойство выражается в соответствующих обобщающих показателях безопасности (безопасность технических устройств, технологий, параметров рабочей среды и т.д.), которые, в свою очередь, могут делиться на более мелкие единичные показатели безопасности, разнообразные и завязанные на различные структурные составляющие характеристик (свойств) объекта.

Надежность человека можно разложить на ряд составляющих: надежность психических процессов, надежность энергетических процессов и т.д. Полная надежность человека определяется совокупностью процессов, протекающих в его организме. Надежность деятельности, в свою очередь определяется надежностью человеческого организма и надежностью выполнения человеком функций по управлению и обслуживанию. Поэтому надежность деятельности человека целесообразно представить в виде структурной и функциональной надежности.

Основой для получения количественного показателя надежности является структура деятельности человека. Ее построение основано на следующих принципах:

- *деятельность человека декомпозируется на более мелкие элементы (функциональные и операционные единицы);*
- *определяются показатели надежности операционных единиц (безошибочность и своевременность выполнения операции) экспериментальным путем или из соответствующих справочников;*
- *на уровне функций показатели надежности деятельности человека определяются через известные характеристики декомпозированных элементов путем сворачивания полученных структур деятельности к более простым структурам с эквивалентными временными и надежностными характеристиками.*

Путем анализа построенных структур в деятельности человека выделяются типовые блоки функциональных единиц, для которых могут быть получены аналитические выражения по определению характеристик функциональной надежности (безошибочности и своевременности) их выполнения.

С помощью этих зависимостей структура любой сложности может быть приведена к эквивалентной, в частном случае представляющей собой последовательную цепочку эквивалентных блоков. Показатели функциональной надежности будут определяться как произведение вероятностей безошибочного выполнения каждого блока. Показатели надежности технических средств (техногенные факторы риска) находятся обычными методами теории надежности.

#### *2.3.4. Методы анализа социально-психологических факторов профессионального риска*

В настоящее время для прогнозирования и оценки «надежности» поведения человека используется ряд методов позволяющих на различных уровнях организации поведения (реактивного или целенаправленного) исследовать разные регулирующие деятельность механизмы. При анализе надежности возможно несколько подходов (Губинский, 1982):

- *системотехнический, при котором человек рассматривается как элемент среды;*
- *равноэлементный, где человек и техника рассматриваются как равнозначные элементы системы;*
- *человеко-системный, в котором рассматривается система человеческой деятельности, где любые технические средства являются орудием труда человека.*

В основе первого и второго подходов лежит попытка перенести идеи и методы классической теории надежности на новый объект исследования – человека. Вместе с тем, при использовании данных подходов необходимо учитывать, что человеку свойственен принципиально новый тип отказа – ошибка в деятельности (временный неустойчивый отказ). Разработанные в рамках теории надежности математические модели не всегда способны учитывать этот тип отказа. Более приемлемым явился человеко-системный подход. Но и ему присущ ряд недостатков, основным из которых является не-

чувствительность метода к изменению режима и условий функционирования системы, если при этом не изменилась структура деятельности человека.

**«Системотехнический анализ».** В качестве основных показателей надежности человека, как элемента рассматриваемой системы, принимаются вероятности безотказного, безошибочного и своевременного решения задачи системой, определяемые через показатели надежности человека-оператора и комплекса технических средств, которые берутся в качестве исходных с учетом взаимного влияния их друг на друга.

Надежность человека характеризуется показателями безошибочности, готовности, восстанавливаемости и своевременности.

Безошибочность человека определяется вероятностью безошибочной работы, которая вычисляется как на уровне отдельной операции, так и на уровне алгоритма

$$P_j = \frac{N_j - n_j}{N_j}, \quad (2.2)$$

где  $P_j$  – вероятность безошибочного выполнения операции  $j$ -го типа;  $N_j, n_j$  – соответственно общее число выполненных операций  $j$ -го вида и допущенное при этом число ошибок.

Формула (2.2) справедлива лишь для участка устойчивой работоспособности оператора. В этом случае, зная интенсивность ошибок при выполнении различных операций и алгоритм работы оператора, можно найти вероятность безошибочного выполнения этого алгоритма

$$P = \prod_{j=1}^J P_j^{K_j} \approx e^{-\sum_{j=1}^J (1-P_j)K_j} \approx e^{-\sum_{j=1}^J \lambda_j T_j K_j}, \quad (2.3)$$

где  $\lambda_j$  – интенсивность возникновения ошибок  $j$ -го вида;  $K_j$  – число операций  $j$ -го вида;  $T_j$  – среднее время выполнения операций  $j$ -го вида.

Важным показателем надежности является и коэффициент готовности оператора ( $K_{\text{гоп}}$ ), представляющий собой вероятность включения оператора в работу в любой произвольный момент времени:

$$K_{\text{гоп}} = \frac{T - T_0}{T}. \quad (2.4)$$

где  $T_0$  – время, в течение которого оператор отсутствует на рабочем месте;  $T$  – общее время его работы.

Показатели восстанавливаемости обусловлены возможностью самоконтроля оператором своих действий и исправления допущенных ошибок. Вероятность исправления ошибки при этом будет равна

$$P_{исп} = P_k \cdot P_{обн} \cdot P_n, \quad (2.5)$$

где  $P_k$  – вероятность выдачи сигнала схемой контроля;  $P_{обн}$  – вероятность обнаружения оператором сигнала контроля;  $P_n$  – вероятность исправления ошибочных действий при повторном решении.

Показатели своевременности действий человека вводятся потому, что даже правильные, но несвоевременные действия обычно не приводят к достижению цели, т.е. по своим последствиям они равносильны ошибке. Основным критерием своевременности является вероятность своевременного выполнения работы. Она может быть найдена, если известны функция плотности  $f(t)$  времени решения задачи и допустимый лимит времени  $t_d$  на ее решение:

$$P_{св} = \int_0^{t_d} f(t) dt. \quad (2.6)$$

Если лимит времени и время решения подчинены нормальному закону распределения, то выражение для  $P_{св}$  может быть упрощено. После определения частных показателей надежности технических средств и работы человека-оператора может быть найдена надежность всей системы.

**«Анализ причин ошибок персонала».** В течение последних двух десятилетий методы оценки человеческой надежности существенно изменились, сейчас они значительно отличаются от подходов, традиционно используемых в расчетах показателей надежности оборудования. Для изучения человеческого фактора создаются специальные технические средства, моделирующие взаимодействие человека с машиной комплексы, имитационные установки и исследовательские тренажеры. Они используются для всестороннего изучения действий персонала, анализа стратегии поведения операторов, выявления основных ошибок. Одним из направлений изучения роли человеческого фактора является выявление причин ошибочных действий людей, обслуживающих сложные технологические установки. Чтобы определить характеристики различных по природе ошибок, психологи разрабатывают их классификацию. Одна из таких классификаций представлена на рис. 2.5.

Приведенная классификация используется в моделировании взаимодействия человека с машиной. Схема на рис. 2.5 показывает, что все опасные действия, которые могут привести к несчастному случаю, можно разделить на *ненамеренные* и *намеренные*. Первые из них, в свою очередь, подразделяются на *промахи* и *упущения*, а вторые — на *оплошности* и *нарушения*. Причиной промахов выступают недостатки внимания (например, перепутан порядок выполнения двух последовательных операций), в то время как причинами упущений являются недостатки памяти (например, оператор забыл об одном звене в цепи необходимых операций). Причинами оплошностей могут быть неправильное выполнение действующих правил (например, неверное выполнение правила, необходимого в данной ситуации, или действие по та-

кому правилу, которое вообще неприменимо в сложившейся обстановке) или же недостаточные знания о действиях как в штатных, так и в нештатных ситуациях. Нарушения представляют собой сознательные действия, ведущие к отклонениям от нормального функционирования объекта.



Рис. 2.5. Классификация причин опасных действий человека, могущих привести к несчастным случаям

«Метод анализа ошибок персонала» (*Human Reliability Analysis — HRA*) предназначен для качественной оценки событий, связанных с ошибками персонала. Он также может быть использован для разработки рекомендаций по снижению вероятности таких ошибок. Ошибка персонала — это действие, которое выполняется или не выполняется при некоторых условиях. Это могут быть физические действия (поворот рукоятки) или действия, связанные с умственной деятельностью (диагностика отказов или принятие решения). HRA включает идентификацию условий, которые вызывают ошибки людей и оценку вероятностей таких ошибок. Преднамеренные действия в данном анализе в расчет не принимаются. Для анализа ошибок персонала используют различные методики, содержащие:

- *определение перечня задач (действий), которые решает (выполняет) или должен решать (выполнять) оператор;*
- *представление с помощью декомпозиции каждой такой задачи (действия) в виде комбинации элементарных действий в целях выявления среди них наиболее подверженных ошибкам и определения точек взаимодействия оператора и системы;*
- *использование данных, получаемых из записей о предшествующих событиях;*
- *определение наличия условий, влияющих на частоту ошибок, к которым относятся стрессы, уровень тренированности и качество систем отображения информации.*

Количественные характеристики ошибок персонала получают с помощью «Метода прогноза частоты ошибок персонала» (Technique For Human Error Rate Prediction - THERP), «Плана развития последовательности событий» (Accident Sequence Evaluation Programm - ASEP) или «Метода анализа риска человеческого фактора» (Human Factors Risk Analysis).

**Метод «Шаг за шагом».** В связи с изменениями в характере труда меняются также и факторы риска на рабочем месте. Возрастает влияние вредных психосоциальных и организационных факторов на работника. Стресс, депрессия, неуверенность, являются основой примерно 18% проблем на работе, связанных со здоровьем, и четвертая часть их вызывает пропуски работы в две недели и более. Это связано с целым комплексом факторов, таких как организация труда, организация рабочего времени, иерархические отношения, соблюдение этических норм в рабочем коллективе, усталость, вызванная транспортом, а также культурные и этнические различия. Эти факторы по терминологии Международной организации труда – МОТ (ILO) определяются как «благополучие на рабочем месте».

Стресс не является исключительно негативным явлением. Было бы ошибкой концентрироваться только на патологических аспектах стресса, не подчёркивая его значение при поиске способа оперативно приспособиться к соответствующей ситуации. Если считать здоровье динамическим равновесием, тогда стресс является составляющей частью этого равновесия, потому что здоровье не существует без взаимодействия с другими людьми и окружающей средой. Недопустимыми являются только чрезмерности. Поэтому определённое количество стресса является нормальным и даже необходимым. Но если стресс сильный, длительный и регулярно повторяется, если человек не способен справиться с ним или ему не хватает моральной поддержки, тогда стресс становится негативным явлением, которое приводит к физическим болезням и психологическим травмам. Спектр вредных последствий, вызванных стрессом, очень широк: бессонница, беспокойство, мигрень, эмоциональное беспокойство, хроническая усталость, депрессия, язва желудка, аллергия, кожные болезни, люмбаго, приступы ревматизма, и может привести к очень серьёзным последствиям: сердечному приступу, несчастному случаю или даже самоубийству.

Важно, чтобы антистрессовые и антинасильственные мероприятия проводились систематически, выполняя серию фундаментальных шагов. В такую серию входят:

- *распознавание стресса;*
- *оценка стресса;*
- *антистрессовые мероприятия;*
- *контроль и оценка.*

Одним из первых шагов, который нужно сделать, рассматривая устранение стресса и насилия, связанных с работой, является оценка и диагностика существенных источников опасностей и рискованных ситуаций. Это часто делается с помощью *аудита* стресса. Каждый аудит должен быть тщательно подогнан к конкретной ситуации на соответствующем предприятии или в организации, в различных её отраслях и отделах. Это может быть относительно формальный процесс или же менее формальный и меньшего масштаба. Чтобы сделать результаты исследования достойными внимания, в любом случае необходимо приложить усилия, чтобы установить цели и задания аудита и уточнить модель исследования, которая представляла бы работников и была бы достаточно обширной. После того, как результаты аудита проанализированы, очень важно убедиться, что об этих результатах сообщено и тем, кто участвовал в исследовании, и всему коллективу.

Существуют очень разные методы оценки рабочего стресса, и работодателю или эксперту следует выбирать конкретный метод, основываясь на специфике работы, количестве и структуре персонала (женщины, мужчины, разнообразие профессий и т. п.) организации или предприятия. Данные, необходимые для определения вреда, причинённого психосоциальными и организационными факторами, можно получить и из эпидемиологических исследований (в области профессионального здоровья эпидемиологические исследования связаны с влиянием определённых условий труда или рисков рабочей среды на заболеваемость работников), моделируя результаты исследования отобранных групп.

Для выявления психосоциальных и организационных факторов на рабочем месте можно использовать таблицу, в которой указаны характерные черты работы и условий труда, которые могут создать стресс (приложение *П8*). Таблицу можно использовать также для составления контрольных вопросов для оценки стресса на рабочем месте.

Активизация человеческого фактора представляет собой многогранную проблему. Для того, чтобы сформулировать стратегию профилактических действий, нужно не просто описать всевозможные пути влияния человеческого фактора, но и указать место и время наиболее эффективного вмешательства. Лучшее понимание того как, когда и почему действия человека влияют на возникновение несчастных случаев, увеличит способность делать прогнозы относительно влияния человеческого фактора и поможет предотвратить несчастные случаи.

## 2.4. Анализ техногенных факторов риска

### 2.4.1. Качественные методы анализа риска

**Метод экспертных оценок.** Экспертные оценки представляют собой подход, в котором не используется напрямую математический анализ как средство принятия решения. Метод экспертной оценки может использоваться в тех случаях, когда формальные методы слишком сложны и исходная база данных недостаточна для получения однозначного аналитического решения. Кроме того, с помощью формальных методов трудно учитывать особенности социально-психологической ситуации и другие особенности, не укладывающиеся в схему, например, баланса «затраты – выгода».

Наиболее широко используемые методы экспертной оценки можно разделить на три группы – индивидуальные, коллективные и комбинированные. Они схематично показаны на рис. 2.6.

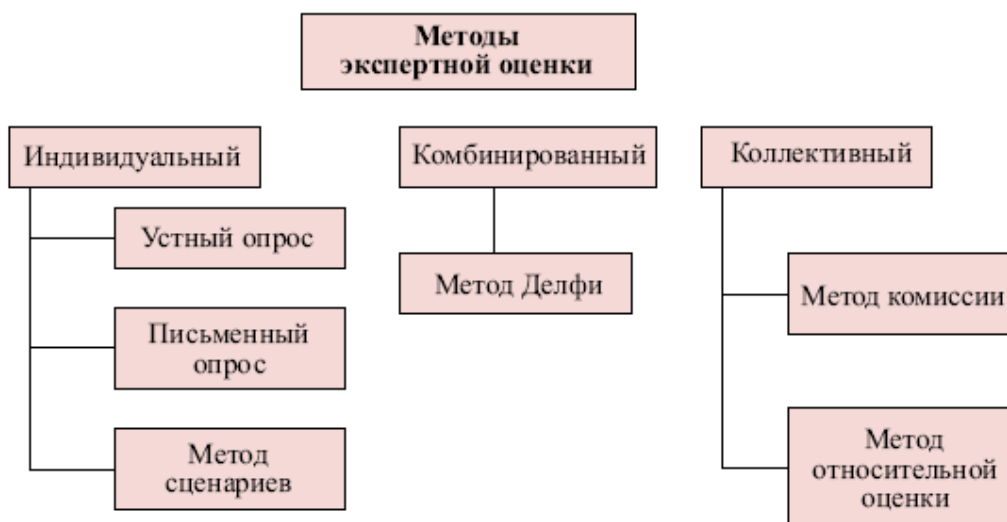


Рис. 2.6. Методы экспертной оценки

Индивидуальные методы в основном применяют для оценки хорошо известного объекта по отработанным и проверенным на практике критериям. Например, если проводят проверку безопасности труда, соблюдения норм пожарной безопасности и т. п. Оценка экспертов в таких проверках ограничивается выводами «есть» – «нет» или «отвечает» – «не отвечает», которые указывают в предварительно разработанном опросном листе. Аудит такого типа в большей или меньшей степени является рутинной работой, которая не требует глубоких знаний о сущности анализируемого риска. В связи с этим индивидуальная оценка экспертов допустима в случаях, когда необходимо сделать малозначительные выводы или принять маловажные решения. Понятие индивидуальной оценки здесь используется в том смысле, что каждый участник экспертной комиссии производит оценку независимо от остальных членов комиссии. Работа экспертной комиссии выражается в открытом обсуждении проблем и оценок и коллективном принятии решения.



Методы *проверочного листа, контрольных карт* и «*Что будет, если..?*» или их комбинация относятся к группе методов качественных оценок опасности, основанных на изучении соответствия условий профессиональной деятельности требованиям безопасности.

**Метод «что — если».** Он является индуктивным методом, обычно используется для относительно простых приложений, применяется на начальных этапах анализа риска, когда рассматриваются вопросы проектирования, размещения, эксплуатации опасных объектов и их выводе из эксплуатации. На каждом этапе анализа формулируются вопросы «что, если?», и на них даются ответы, чтобы оценить влияние отказов компонентов систем или методических ошибок персонала на возникновение факторов опасности.

Для сложных применений метод «что — если» может быть наилучшим образом применен с помощью «*проверочного листа*» и соответствующего распределения работ, чтобы определенные аспекты процесса поручить персоналу, имеющему наибольший опыт в оценке этих аспектов. При этом действия оператора и его компетентность в работе тщательно проверяются. Действия персонала и его профессионализм аттестуются. Оцениваются пригодность оборудования, конструкция машины, ее системы управления и средства безопасности.

Результатом проверочного листа является перечень вопросов и ответов о соответствии опасного процесса или объекта требованиям безопасности и указания по их обеспечению. Метод проверочного листа отличается от «Что будет, если..?» более обширным представлением исходной информации и представлением результатов о последствиях нарушений безопасности. В общем случае, осуществляется оценка процесса с помощью «проверочного листа» до тех пор, пока процесс не будет безопасным.

Эти методы наиболее просты (особенно при обеспечении их вспомогательными формами, унифицированными бланками, облегчающими на практике проведение анализа и представление результатов), относительно нетрудоемки (результаты могут быть получены одним специалистом в течение одного дня) и наиболее эффективны при исследовании безопасности хорошо изученных объектов и технологий.

Каждый технологический процесс характеризуется некоторым набором переменных процесса, отклонения которых от своих рекомендованных значений могут приводить к непредвиденным химическим реакциям, превышению рабочего давления и (или) температуры и как следствие — к повреждению (разрушению) технологического оборудования. Для оценки устойчивости процесса используют различные методы, одним из которых является **метод контрольных карт**. Контрольные карты процесса позволяют визуально контролировать соответствующие переменные параметры процесса и определять появление систематических отклонений. Несмотря на свою простоту, контрольные карты являются достаточно надежным и эффективным методом, позволяющим выявлять отклонения от нормального хода процесса.

Для анализа технологических процессов, состояний параметров установок на стадии их проектирования применяется «Метод изучения опасностей функционирования» (*Hazard and operability study — HAZOP*).

Применение метода HAZOP (рис.2.7) начинается не с определения видов возможных неполадок, а с изучения системных переменных (переменных процесса) и их отклонений от нормы. Данный метод основан на том, что развивающиеся или уже существующие неполадки проявляются в той или иной мере в отклонениях переменных процесса от обычно наблюдаемого уровня. Применение метода начинается с исследования структуры системы и протекающих в ней процессов, анализа каждого возможного отклонения переменных от нормального значения, а затем выявляются возможные причины и следствия этих отклонений. Результаты исследований для каждого из параметров процесса заносятся в специальные таблицы. Основные процедуры HAZOP схожи с процедурами метода контрольных карт. Данный метод заключается в получении ответов на вопросы: «Что может произойти в системе при изменении ее параметров, чем это изменение может быть вызвано и как противодействовать его влиянию?»

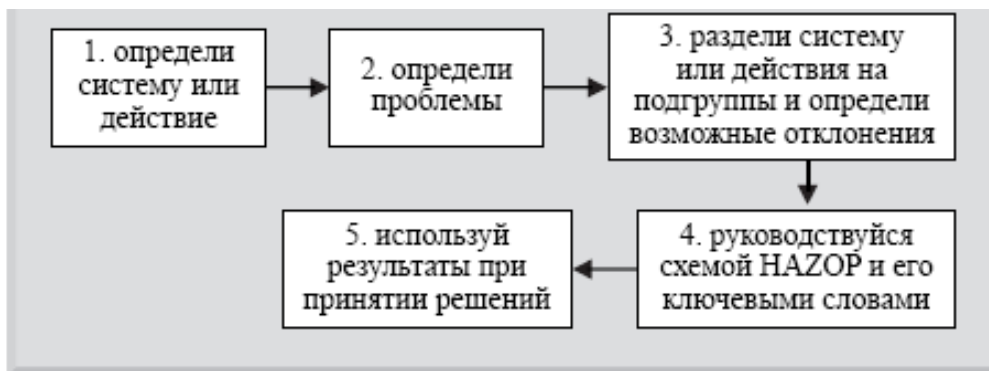


Рис.2.7. Процедура анализа HAZOP

### Пример применения HAZOP

В химическом технологическом процессе происходит подача гелия по трубам (рис.2.8). Метод HAZOP позволяет оценить все возможные происшествия, которые могут произойти, если:

- скорость потока гелия слишком большая или слишком малая;
- гелий подаётся в неправильном направлении;
- по трубам подаётся другой газ или жидкость;
- в поток гелия попадают другие вещества (газ, другие примеси);
- гелий слишком нагрет или охлаждён;
- давление в системе слишком большое или малое.

**Анализ видов и последствий отказов (АВПО)** применяется для качественного анализа опасности рассматриваемой технической системы или процесса (как совокупности технических устройств, так и отдельных технических устройств или их элементов). Существенной чертой этого метода яв-



Рис. 2.8. Процедура HAZOP для каждого этапа технологии

ляется рассмотрение каждого элемента или составной части системы на предмет того, как он стал неисправным (вид и причина отказа) и каким может быть воздействие отказа на систему в целом.

Анализ видов и последствий отказа можно расширить до количественного *анализа видов, последствий и критичности отказов (АВПКО)*. В этом случае каждый вид отказа ранжируется с учетом двух составляющих критичности — вероятности (или частоты) и тяжести последствий отказа. Определение параметров критичности необходимо для выработки рекомендаций и приоритетности мер безопасности. Результаты анализа представляются в виде таблиц с перечнем оборудования, видов и причин возможных отказов, с частотой, последствиями, критичностью, средствами обнаружения неисправности (сигнализаторы, приборы контроля и т.п.) и рекомендациями по уменьшению опасности. Методы АВПО, АВПКО применяются, как правило, для анализа проектов сложных технических систем или технических решений. Выполняются группой специалистов различного профиля (напри-

мер, специалистами по технологии, химическим процессам, инженером по охране труда).

**Методом анализа опасности и работоспособности (АОР)** исследуются опасности отклонений технологических параметров (температуры, давления и пр.) процесса от регламентных режимов. АОР по сложности и качеству результатов соответствует уровню АВПО, АВПКО. В процессе анализа для каждой составляющей опасного производственного объекта или технологического блока определяются возможные отклонения, причины и указания по их недопущению. При оценке отклонения используются ключевые слова: «нет», «больше», «меньше», «так же, как», «другой», «иначе, чем», «обратный» и т.п. Применение ключевых слов помогает исполнителям выявить все возможные отклонения. Конкретное сочетание этих слов с технологическими параметрами определяется спецификой производства.

Результаты анализа представляются на специальных технологических листах (таблицах). Степень опасности отклонений может быть определена количественно путем оценки вероятности и тяжести последствий рассматриваемой ситуации по критериям критичности аналогично методу АВПКО.

*Пример типовых обозначений («Quide word») для химических процессов, таких, как поток, давление, температура и операции, которые обеспечивают пуск, остановку системы и другие действия:*

«Quide-word»	Значение	Пример
НЕТ	Цель запрета	В прогнозируемом процессе нет потока
БОЛЬШЕ	Количественное увеличение	Температура больше, чем в проекте
МЕНЬШЕ	Количественное уменьшение	Давление меньше нормального
А ТАКЖЕ	Качественные изменения	Другие клапаны в то же время закрыты (сбой или ошибка человека)
ЧАСТЬ ИЗ	Качественное уменьшение	Только часть системы не работает
ИЗМЕНЕНИЯ НАПРАВЛЕНИЯ	Логическое противодействие цели	Противопоток, когда система выключена
ИНАЧЕ ЧЕМ	Полное замещение	В газовый трубопровод попала жидкость

Результаты оценки потенциальной опасности объектов, получаемые при использовании методов «Анализ опасности и работоспособности» и «Анализ вида и последствий отказов», могут быть (при выполнении определенных условий) представлены в количественном виде. Для представления результатов применения упомянутых методов в количественном виде каждому типу (виду) отказа приписывают две составляющие: вероятность (частоту) реализации и тяжесть возможных последствий. Эта процедура проводится для выработки соответствующих рекомендаций.

Метод АОР, так же как АВПКО, кроме идентификации опасностей и их ранжирования позволяет выявить неясности и неточности в инструкциях по безопасности и способствует их дальнейшему совершенствованию. Не-

достатки методов связаны с затрудненностью их применения для анализа комбинаций событий, приводящих к аварии.

**Предварительный анализ факторов опасности РНА** (*Preliminary Hazard Analysis*) - индуктивный метод, назначение которого состоит в том, чтобы идентифицировать для всех этапов эксплуатационного периода указанной системы (подсистемы, компонента) факторы опасности, опасные ситуации и опасные события, которые могли бы привести к несчастному случаю. Метод позволяет идентифицировать возможность несчастного случая и качественно оценить степень возможного повреждения или вреда для здоровья. Затем даются предложения о мерах по обеспечению безопасности и результат их применения. Анализ РНА должен обновляться в течение выполнения этапов проектирования, изготовления и испытания, чтобы обнаружить новые опасности и внести исправления, в случае необходимости.

Среди дедуктивных методов можно выделить **метод MOSAR** (*Method Organized Analysis of Risks – метод системного анализа рисков*). Данный метод состоит из десяти этапов. Анализируемая система рассматривается как некоторое количество подсистем, которые взаимодействуют. Используется таблица, чтобы идентифицировать факторы опасности, опасные ситуации и опасные события. Адекватность мер по обеспечению безопасности изучается по второй таблице и по третьей таблице, принимающей во внимание их взаимозависимость. Изучение подчеркивает возможные опасные отказы. Это позволяет разработать сценарии несчастных случаев. Сценарии сортируются по степени серьезности. В следующей таблице эта серьезность связывается с целями, которые будут преследоваться мерами по обеспечению безопасности, и определяются уровни эффективности технических и организационных мер. Затем меры по обеспечению безопасности включаются в логические деревья, а остаточные риски анализируются по таблице допустимости.

Перечисленные методы могут применяться изолированно или в дополнение друг к другу, причем методы качественного анализа могут включать количественные критерии риска (в основном, по экспертным оценкам с использованием, например, матрицы «вероятность-тяжесть последствий» ранжирования опасности). По возможности полный количественный анализ риска должен использовать результаты качественного анализа опасностей.

#### 2.4.2. Логико-графические методы анализа риска

Для выявления рисков и их оценки опасных событий, выявления причинно-следственных связей возникновения этих событий и между ними используют **логико-графические методы диаграмм влияния**. Они наиболее полно удовлетворяют требованиям анализа сложных технических систем и представляют процесс выявления отдельных предпосылок и развития их в причинную цепь происшествия в виде соответствующих диаграмм причинно-следственных связей. *Под такими диаграммами обычно понимают некоторое формализованное представление моделируемых категорий (объектов, процессов, целей и свойств) в виде множества графических символов (узлов,*

*вершин) и отношений – предполагаемых или реальных связей между ними.* Самое широкое распространение в настоящее время получили диаграммы в форме различных графов (либо потоковых состояний и переходов), деревьев событий (целей, свойств) и функциональных сетей различного назначения и структуры, в том числе стохастической. При этом эти методы могут относиться к прямым или обратным методам (дедуктивным или индуктивным методам анализа рисков).

Как показывает опыт применения перечисленных диаграмм влияния, их основными достоинствами являются: высокая информативность представления и описания исследуемых категорий, хорошая наглядность и деконструируемость, доступность и однозначность понимания пользователем, удобство интерпретации и обработки на средствах вычислительной техники, возможность применения формализованных процедур системного анализа этих моделей и системного синтеза мероприятий по совершенствованию их оригиналов.

Диаграммы влияния как средств формализации опасных процессов, связанных с функционированием человеко-машинных систем, занимают особое место, так как позволяют описывать, а затем и оценивать параметры первого, второго и высших порядков, являющихся соответственно их свойствами, отношениями между ними и другими категориями. Это достоинство обусловлено возможностью применять различные языки описания, позволяющие переходить от смысловых моделей к знаковым и использовать последние для анализа и синтеза с помощью современных математических и машинных методов.

Из определения диаграммы влияния следует, что основными компонентами ее структуры служат узлы (вершины) и связи (отношения) между ними. В качестве узлов обычно подразумевают простейшие элементы моделируемых категорий (переменные или константы) – события, состояния, свойства, а в качестве связей - активности, работы и ресурсы.

Каждые два соединенных между собой узла образуют ветвь диаграммы. В тех случаях, когда узлы связаны направленными дугами таким образом, что каждый из них является общим ровно для двух ветвей, возникают циклы или петли. Петли могут характеризоваться порядком, величина которого  $n$  определяется количеством не связанных между собой петель первого порядка. В свою очередь, петля первого порядка не должна содержать внутри себя другие петли и обеспечивать достижимость ее любых узлов.

Одним из достоинств диаграмм влияния, как отмечалось выше, является их легкость сопряжения с другими способами формализации и моделирования. С помощью предварительно построенных диаграмм – графов, сетей и деревьев – могут быть получены, например, математические модели появления аварийности и травматизма. Созданные при этом аналитические модели пригодны для статистического моделирования данного явления и решения задач совершенствования безопасности методами оптимизации. Однако для осуществления перехода от графических моделей к математическим нужна дополнительная символика. Введенные специальные обозначения позволяют формализовать и однозначно интерпретировать в последующем конкретный

опасный процесс или объект техносферы, представленный диаграммой влияния.

Самым известным типом рассматриваемых диаграмм влияния является граф. При моделировании условий возникновения аварийных ситуаций в техносфере обычно используются ориентированные графы, характеризующиеся определенным набором состояний рассматриваемой человеко-машинной системы и возможными переходами между ними.

В исследованиях по техносферной безопасности, однако, более широкое распространение сейчас получили диаграммы причинно-следственных связей, имеющие ветвящуюся структуру и называемые «дерево». В настоящее время чаще всего используются два типа этих диаграмм – дерево происшествия (неисправности, отказов) и дерево событий, каждая из которых представляет собой разветвленный, конечный и связный граф, не имеющий петель или циклов.

В последнее время для нужд исследования техносферы интенсивно разрабатываются диаграммы влияния, относящиеся к классу семантических функциональных сетей. Такие сети также являются графами, но отличаются дополнительной информацией, содержащейся в их узлах и дугах (ребрах). Из них наиболее пригодны для исследования условий возникновения и предупреждения техносферных происшествий так называемые сети стохастической структуры типа *PERT* и *GERT*.

В отличие от более известных сетей PERT (Program Evaluation and Research Technique - методика сетевого планирования и управления), более совершенные сети GERT (Graphic Evaluation and Review Technique) пока что не нашли в России должного применения.

Достоинства таких сетей:

- а) возможность объединения логических и графических способов представления исследуемых событий;
- б) учет стохастичности информации, выраженной узлами и дугами;
- в) доступность для моделирования параллельно протекающих, циклических и многократно наблюдаемых процессов;
- г) наибольшие (по сравнению с другими типами диаграмм) логические возможности – в смысле строгости, компактности и простоты корректировки условий наблюдения моделируемых событий и явлений.

Отличительной же особенностью функциональных сетей типа PERT и GERT служит не детерминистская, а так называемая стохастическая структура. Эти сети имеют в общем случае четыре типа символов - источник, сток, метка или планка и статистика. В отличие от графов и деревьев узлы сети PERT могут характеризоваться еще и раскраской, а сети GERT - числом степеней свободы. Раскраска, т.е. использование разноцветных маркеров, позволяет учесть разнородность состояний или потоков информации, а введение степеней свободы – количество условий, необходимых для реализации конкретного узла сети GERT. В целом же эти и другие дополнительные возможности стохастических функциональных сетей позволяют не только увеличить

множество учитываемых признаков моделируемого объекта или процесса, но и упростить их структуру.

Сети стохастической структуры позволяют моделировать различные процессы в техносфере и прогнозировать альтернативные исходы. Вероятность их реализации зависит от распределения тех случайных или лингвистических переменных, которые задаются узлами или ветвями каждой такой сети. Помимо вероятностных параметров, рассматриваемые модели используют практически весь набор данных, предусмотренных для семантического и семиотического моделирования с помощью диаграмм влияния.

**Метод FTA** (*Fault Tree Analysis – анализ дерева отказов (аварий, происшествий, последствий, нежелательных событий, несчастных случаев и пр.)*). В данном методе исходят из события, рассматриваемого как нежелательное (рис. 2.9). Такой метод дает возможность пользователю этого метода найти целый набор критических вариантов, неисправностей или отказов, которые приводят к нежелательному событию. Опасные или итоговые события сначала идентифицируются, затем все сочетания отдельных отказов показываются в логическом формате дерева отказов. Использование метода дерева неисправностей (отказов) позволяет выполнить количественную оценку риска. Оценивая вероятности отдельных отказов, а затем, используя соответствующие арифметические операции, можно рассчитать вероятность итогового события. Таким путем можно быстро оценить влияние изменений характера происшествий на их частоту. Поэтому метод FTA обеспечивает простую возможность исследовать воздействие альтернативных мер по обеспечению безопасности.

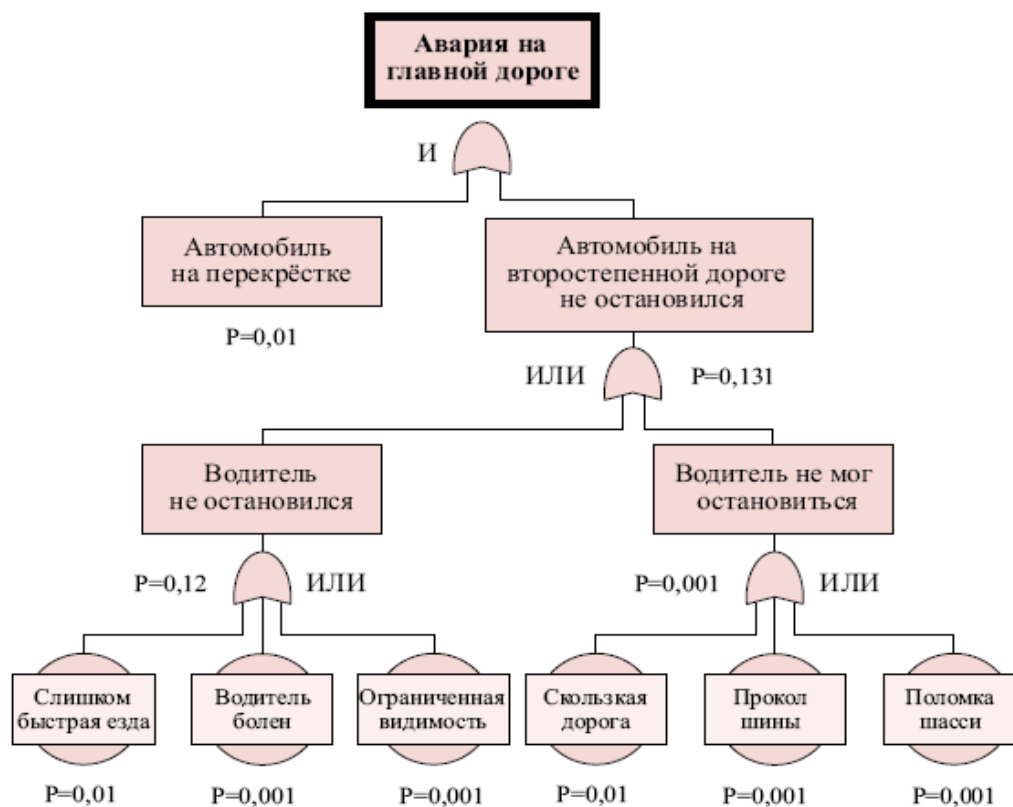
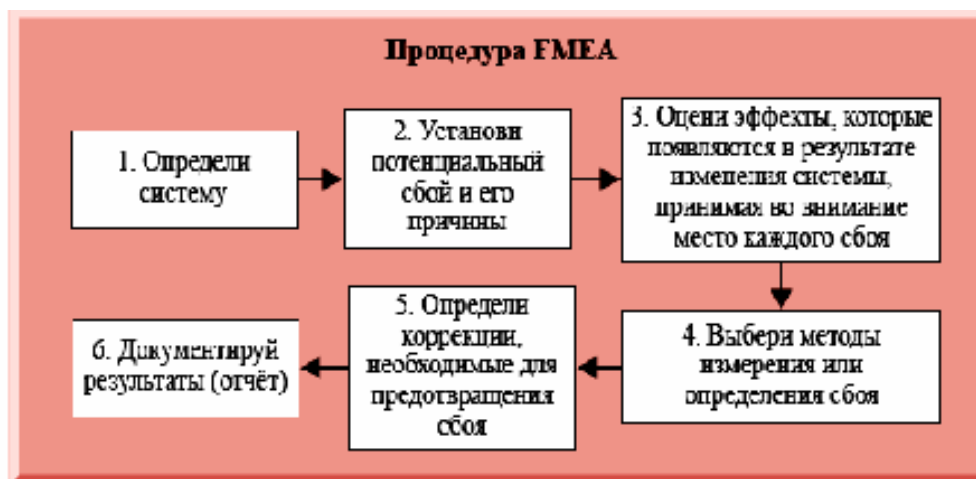


Рис. 2.9. Анализ дерева причин аварии автомобиля



Этот метод широко используется в самых различных отраслях техники и технологии, особенно для анализа риска потенциально опасных объектов.

**Анализ видов отказов и последствий (FMEA) (Failure Mode and Effects Analysis)** - индуктивный метод, основная цель которого состоит в том, чтобы оценить перечень сбоев системы или оборудования, частоту и последствия отказа (рис. 2.10). Для каждого возможного сбоя определяется ранг опасности. Для каждого вида сбоев составляются характеристики повреждений оборудования или ошибок (открыто, закрыто, выключено, включено). Последствия сбоев – это ответная реакция системы или авария, вызванная повреждением оборудования.



В оценке можно использовать известную зависимость –  $Риск = Q \cdot p$ , где последствия сбоя  $p$  определяют, руководствуясь категориями и степенью вероятности  $Q$ :

Категория	Степень	Описание
I	Маловажная	Функциональный сбой в машине или процессе - нет потенциальной опасности
II	Значительная	Сбой может угрожать функционированию машины или процесса
III	Очень важная	Большие сбои в машине или процессе, которые создают угрозу (травмы и др.)
IV	Катастрофическая	Сбой такой большой, что угрожает жизни человека

Степень	Q	Описание	Режим появления отдельных сбоев
A	$10^{-1}$	Широко распространен	Появляются очень часто или непрерывно
B	$10^{-2}$	Случайный характер	Возможны через какой-то интервал времени
C	$10^{-3}$	Время от времени	Возможны несколько раз в ходе процесса
D	$10^{-4}$	Малозначительный	Иногда появляются, но незначительные
E	$10^{-5}$	Практически невозможен	Сбои очень редкие, незначительные и на них не обращают внимание

Рис. 2.10. Схема анализа FMEA

С помощью FMEA отдельно выясняется каждый возможный вид сбоев, который непосредственно или косвенно может привести к серьёзной аварии. Ошибки человека этим методом обычно не проверяют. FMEA неэффективен в случаях, когда одновременно возможны несколько технических сбоев или их комбинации и отличается тем, что не предусматривает ранжирование опасности сбоев по важности.

**Метод построения деревьев событий (ETA) (Event Tree Analysis)** представляет собой графический способ прослеживания последовательности отдельных возможных инцидентов, например, отказов или неисправностей каких-либо элементов технологического процесса или системы с оценкой вероятности каждого из возможных событий и вычисления суммарной вероятности главного события, приводящего к выходу из строя системы или причинения вреда окружающей среде, жизни и здоровью людей или ущербу их имуществу.

Дерево событий строится, начиная с заданных исходных событий, т.е. каких-то отказов в системе, которые могут привести к аварии. Затем прослеживаются возможные пути развития последствий этих событий в зависимости от отказов или срабатываний элементов системы обеспечения безопасности.

Построение дерева событий позволяет проследить за последствиями каждого возможного исходного события и вычислить максимальную вероятность главного события от каждого из таких исходных событий. Основное в этом анализе - не пропустить какое-либо из возможных исходных событий и не упустить из рассмотрения возможные промежуточные события. Но основная ценность метода дерева событий связана с возможностью на проектном уровне выявить различные последовательности событий, приводящих к главному событию, и тем самым определить возможные последствия каждого из исходных событий. Анализ вероятности главного события обычно проводится другим методом, в какой-то мере представляющим собой инверсию дерева событий, а именно, методом деревьев – отказов.

Такой анализ может дать достоверную величину вероятности главного события только в том случае, если достоверно известны вероятности исходных и промежуточных событий. Но это общее и неперемutable условие любого вероятностного анализа безопасности.

Метод дерева событий прост по форме и легко интерпретируется, он представляет собой мощный инструмент представления события, которое включает в себя многочисленные неисправности самой системы и неисправности систем поддержки, а также действия оператора. Дерево событий начинается с исходного события и ветвей, ведущих к последующим отказам и/или неудачным исходам в работе основного оборудования. Так же как и дерево неисправностей, дерево событий представляет собой «живую» компьютерную логическую модель, которую можно быстро изменить, чтобы узнать, какова чувствительность по риску к изменениям в конструкции или функционировании физической системы. При квантификации дерева событий ис-

пользуются данные, заложенные в метод анализа дерева отказов, или данные из других источников о частоте реализации опасных ситуаций.

В общем случае, как деревья отказов, так и деревья событий являются лишь наглядной иллюстрацией к простейшим вероятностным моделям. Однако они представляют значительный интерес для специалистов, связанных с эксплуатацией, обслуживанием и надзором технических объектов. Имея такую схему, специалист, даже не обладая основательными знаниями по теории вероятностей, может не только найти наиболее критический вариант развития событий, но и оценить ожидаемый риск, если соответствующее дерево событий или отказов дополнено статистическими данными. Методы деревьев событий (ДС) являются разделом технологии ДО и применяются для графического представления и анализа последовательностей функциональных событий «успешной и неуспешной» работы подсистем, представляемых деревьями отказов. Несмотря на то, что данный метод не позволяет строить сценарии фазы инициирования аварий, тем не менее, он может быть полезен при приближенной оценке частот реализации иницирующих событий на различных объектах.

Метод дерева событий хорошо приспособлен для анализа исходных событий, которые могут приводить к различным эффектам. Каждая ветвь дерева событий представляет собой отдельный эффект (последовательность событий), который является точно определенным множеством функциональных взаимосвязей.

Основная процедура анализа дерева событий включает четыре стадии:

1. *Определение перечня исходных событий.*
2. *Определение «безопасных действий» для каждого исходного события.*
3. *Построение дерева событий.*
4. *Описание общей последовательности событий.*

Важной частью метода является первая стадия — определение перечня исходных событий. Как правило, для этих целей используют методы, описанные выше.

К «безопасным действиям» относятся ответные действия, направленные на устранение влияния реализовавшегося исходного события. Они включают:

- *работу системы защиты, включая системы автоматического отключения;*
- *работу сигнализации, предупреждающую персонал о происшедших событиях;*
- *действия персонала, выполняемые по сигналу тревоги или в соответствии с технологическим регламентом;*
- *защитные и сдерживающие методы, направленные на ограничение влияния исходных событий.*

Исследователь должен определить все безопасные действия, которые могут изменить результат реализации исходного события, причем в той хро-

нологической последовательности, в которой их предусмотрено принимать. Успех или неуспех безопасных действий включается в дерево событий.

На первом шаге построения дерева событий перечисляются исходное событие и безопасные действия. Исходное событие записывается в левой части листа, а безопасные действия в хронологическом порядке — в верхней части листа. Далее исследователь должен определить, как успех или неуспех безопасного действия влияет на ход развития процесса. Если такое влияние существует, то в структуру дерева событий включается точка ветвления, в которой добавляется восходящий участок в случае успеха или нисходящий — в случае неуспеха безопасного действия. Если безопасное действие не влияет на развитие процесса, горизонтальная линия продолжается до следующего безопасного действия. Каждая точка ветвления создает новые пути развития процесса, которые также должны быть исследованы (рис. 2.11).

Последним этапом процедуры построения дерева событий является общее описание последовательности событий, которые приводят к аварии и должны представлять множество всех последствий, сопровождающих исходное событие.



Рис. 2.11. Процедура анализа *Event Tree*

При анализе событий дерева должны быть учтены все возможные варианты истечения, распространения и трансформации разрушительного воз-

действия потоков энергии и вещества, высвободившихся в результате происшествия. Иначе говоря, сумма безусловных вероятностей ( $P$ ) появления всех событий на каждом из трех уровней этого дерева должна составлять единицу.

Во-вторых, все события данного дерева и входящие в него ветви, воспроизводящие условия причинения ущерба людским, материальным и природным ресурсам, должны быть разделены между собой по *правилам* деления понятий, принятым в формальной логике. Это означает, что возможные исходы должны делиться следующим образом:

*а) всегда по одному основанию, т.е. с соблюдением лишь одного признака деления на  $i$ ,  $j$  и  $k$ -м уровнях дерева;*

*б) непрерывно – переход к новому признаку может осуществляться лишь после рассмотрения всех возможных вариантов данного уровня;*

*в) соразмерно – суммарное число событий-исходов, выделенных на каждом уровне, должно быть точно равно их возможному количеству (в противном случае деление будет либо неполным, либо избыточным);*

*г) с соблюдением требования непересекаемости различных исходов на всех уровнях (исключается возможность повторного использования события на одном и том же уровне).*

Технология деревьев событий предусматривает, что вероятностные характеристики функциональных событий могут определяться с помощью деревьев отказов.

Широкое использование методов ДО/ДС вызвано простотой и ясностью исходной идеи, используемой при постановке задачи моделирования. Действительно, поскольку нас интересует вероятность (частота) появления события, связанного с нарушением безопасности, то кажется вполне разумным начать анализ именно с него и, последовательно разбираясь с причинами появления этого события и отображая эти причины на графе, в конце концов, получить требуемую модель.

Моделирование происшествий с помощью диаграмм типа «дерево» указывает и способ определения предпочтительных для этого стратегий, основанный на учете значимости и критичности соответствующих событий-предпосылок.

Как было указано выше, оценка частоты реализации различных сценариев аварии определяется с использованием метода деревьев событий.

Во многих случаях информация о частоте аварий, требуемая для проведения анализа риска, может быть получена непосредственно из записей о работе исследуемой системы или из записей о работе других подобных систем. Число зарегистрированных отказов должно быть поделено на общую длительность времени работы для определения частоты отказов. Данный метод позволяет непосредственно вычислять частоту отказов без детального моделирования. Численным результатом данного метода является математическое ожидание частоты, а не вероятность. Использование статистических данных не требует понимания механизмов инициирования аварии, как это требуется в случае применения дерева неполадок.

Изложенные методические подходы к оценкам частот реализации различных сценариев возникновения и развития аварии предполагают наличие полной информации о частотах первичных отказов, взаимных влияниях отказов элементов и др.

**Метод «События – последствия»** (или *СП-метод*) – это, по существу, тот же метод деревьев событий, но только без использования графического изображения цепочек событий и оценки вероятности каждого события. Такой подход к идентификации и оценке последствий тех или иных событий на этапе проектирования широко используется в промышленности. По существу, СП-метод – это критический анализ работоспособности предприятия с точки зрения возможности неисправностей или выхода из строя всего или части оборудования. Основная идея подхода – расчленение сложных производственных систем на отдельные более простые и легче анализируемые части. Каждая такая часть подвергается тщательному анализу с целью выявить и идентифицировать все опасности и риски.

В рамках этого метода процесс идентификации риска разделяется на четыре последовательных шага или этапа, на каждом из которых следует ответить на ключевой вопрос. Эти вопросы следующие: (1) назначение исследуемой части установки или процесса; (2) возможные отклонения от нормального режима работы; (3) причины отклонений; (4) последствия отклонений.

Сначала выделяется конкретная часть установки или процесса и определяется ее назначение. Очевидно, что это ключевой момент, поскольку если назначение неточно установлено, то и отклонение параметров режима работы также нельзя точно установить. Исследование выполняется последовательно для каждой из частей установки. Очень важно, чтобы такая работа выполнялась группой специалистов, а не одним человеком, поскольку маловероятно, чтобы один человек, как бы квалифицирован он ни был, хорошо знал назначения всех составных частей сложной промышленной установки, условия их работы и последствия отклонений параметров.

После того как назначение всех частей установки или процесса определены, необходимо перечислить возможные отклонения параметров от нормальных проектных значений. Перечень отклонений – это и есть, по существу, основное ядро исследований. Чтобы структурировать перечень отклонений, используются специальные ключевые слова.

Следующий шаг – составление перечня причин каждого отклонения. Необходимо перечислить все возможные причины, а не только наиболее вероятные или те, которые имели место в прошлом. И, наконец, составляется перечень последствий возможных отклонений параметров или режимов. Анализ последствий позволяет разработать различные меры безопасности. Эти меры часто принимаются еще в процессе исследований, не дожидаясь, пока все исследования будут закончены.

Отметим следующие преимущества метода. Выявление возможных рисков выполняется здесь очень детально. Маловероятно, чтобы при таком

подходе что-нибудь существенное было упущено, конечно, если исследование выполняется аккуратно и тщательно. Безусловно, проведение исследований группой специалистов дает определенные гарантии получения квалифицированной оценки и обеспечения полноты выявленных рисков. И такая оценка скажется в дальнейшем на результативности работы риск-менеджера. Метод позволяет также подробно проанализировать каждую часть или секцию сложной системы, что едва ли можно достигнуть без структурирования системы.

В то же время рассматриваемому методу присущи и определенные недостатки. Главный недостаток – это значительные затраты времени на проведение полного комплекса исследований. Второй недостаток связан с методологией исследований. Для того чтобы нарисовать схему установки, часто ее необходимо упростить, тем самым, опуская некоторые детали. Поэтому, всегда существует опасность, что некоторые аспекты риска могут быть упущены.

*Анализ рисков с помощью диаграмм типа «граф».* Вторым (после деревьев) типом диаграмм причинно-следственных связей являются графы, среди которых обычно выделяют два их типа: а) графы переходов и состояний; б) потоковые графы.

Наиболее представленными в литературе и первыми среди используемых для исследования безопасности моделей оказались диаграммы влияния типа «граф». Их достоинство состоит в удобстве перехода к знаковым моделям и вывода на их основе математических формул, устанавливающих зависимости между выбранными ранее количественными показателями безопасности и основными параметрами человеко-машинных систем. Полученные таким образом аналитические выражения могут быть использованы затем для априорной (предварительной) и апостериорной (статистической) оценки уровня рисков техносферных процессов.

Таким образом, моделирование условий появления аварийности и травматизма с помощью потокового графа подтверждает возможность получения аналитических выражений, пригодных для исследования и количественной оценки выбранных ранее показателей качества системы обеспечения безопасности. Однако до того, как сформулировать соответствующую методику, целесообразно еще раз проверить только что полученные здесь результаты моделирования на достоверность и обосновать возможность получения необходимых исходных данных.

Применительно к моделированию опасных процессов в техносфере особый интерес имеют:

- 1) новые либо уточненные представления о закономерностях возникновения и предупреждения техногенных происшествий;
- 2) предварительная оценка их параметров на стадии разработки или реконструкции производственных объектов.

### 2.4.3. Логико-вероятностные методы анализа риска

Анализ существующих в настоящее время методов моделирования надежности и безопасности структурно сложных систем позволил сделать ряд следующих обобщений и заключений.

1. Все известные отечественные и зарубежные теории анализа надежности и безопасности структурно-сложных систем основываются на так называемых логико-вероятностных методах (ЛВМ) системного анализа. ЛВМ реализуются в четыре этапа:

- постановка задачи путем построения логической структурной схемы системы, задания критерия работоспособности или отказа (аварии) и задания вероятностных и других параметров элементов;

- определение логической функции, которая аналитически строго представляет все состояния, в которых реализуется заданный критерий работоспособности или отказа (аварии) системы;

- определение расчетной вероятностной функции (ВФ) или другой расчетной математической модели системы (марковской, статистической, сетевой);

- выполнение расчетов показателей надежности или безопасности системы и их использование для выработки и обоснования технических решений.

2. В зависимости от вида исходных структурных схем систем и уровня использования основного аппарата моделирования – алгебры логики различают три основных класса логико-вероятностных методов структурного моделирования систем:

- логико-вероятностные методы, алгоритмы и программы, использующие для структурного описания систем аппарат деревьев отказов и деревьев событий (ДО/ДС);

- классические монотонные логико-вероятностные методы, алгоритмы и программы, использующие для структурного описания систем аппарат графов связности;

- общий логико-вероятностный метод, алгоритмы и программы технологии автоматизированного структурно-логического моделирования, использующие для структурного описания систем логически универсальный графический аппарат схем функциональной целостности (СФЦ).

Отличительной особенностью классических ЛВМ является использование для постановки задач структурного анализа систем графического аппарата графов связности. По логическим возможностям графы связности превосходят деревья отказов:

- позволяют выполнять не только явное, но и функциональное логическое описание структур исследуемых систем, что делает их подобными функциональным схемам исследуемых объектов и облегчает правильную постановку задач анализа надежности и безопасности;

- позволяют представлять последовательное соединение вершин (событий);



- позволяют представлять циклические (мостиковые связи) между элементами;

- графы связности реализуют и «прямую» и «обратную» логику рассуждений при построении графических схем надежности и безопасности систем и сценариев возникновения аварийных состояний.

Вместе с тем, технологии классических логико-вероятностных методов также не лишены недостатков и ограничений:

- как и технологии ДО/ДС, классические ЛВМ не реализуют всех возможностей основного аппарата моделирования – алгебры логики, и позволяют строить только подкласс так называемых монотонных моделей надежности и безопасности систем;

- графы связности имеют ограниченные возможности представления логических операций конъюнкции (только последовательное соединение) и дизъюнкции (только параллельное соединение);

- как и в технологиях ДО/ДС, в классических ЛВМ не реализованы возможности размножения вершин, учета стохастически зависимых событий и элементов, с произвольным числом собственных состояний.

Таких недостатков лишен общий логико-вероятностный метод (ОЛВМ), предусматривающий использование схем функциональной целостности (СФЦ).

**Общий логико-вероятностный метод, основанный на схемах функциональной целостности (ОЛВМ).** Общий логико-вероятностный метод разработан путем развития классических логико-вероятностных методов до уровня, реализующего все возможности основного аппарата моделирования алгебры логики в функционально полном базисе операций «И» (конъюнкция), «ИЛИ» (дизъюнкция) и «НЕ» (инверсия). По построению в ОЛВМ сохранены положительные стороны классических ЛВМ, что и позволяет строить как известные виды монотонных логико-вероятностных моделей систем, так и принципиально новый класс немонотонных логико-вероятностных моделей надежности, живучести и безопасности структурно сложных системных объектов и процессов.

В качестве основного графического средства представления структур исследуемых систем в ОЛВМ и технологии АСМ используется аппарат схем функциональной целостности (СФЦ).

Аппарат СФЦ является логически полным в базисе операций «И», «ИЛИ» и «НЕ». Это позволяет без ограничений представлять с помощью СФЦ практически все известные логически строгие графические описания структур систем – последовательно-параллельные соединения элементов, графы связности с циклами, деревья отказов, деревья событий и др.

В качестве положительных сторон ОЛВМ, теории и технологии АСМ можно отметить:

1. Логическая универсальность ОЛВМ (реализация всех возможностей алгебры логики) позволяет решать практически все известные задачи, рассматриваемые в других технологиях структурного моделирования. Задачи,

решаемые в технологиях ДО, ДС и классических ЛВМ, в качестве дополнительных вариантов имеют решения на основе СФЦ технологии АСМ.

2. Технология АСМ позволяет применять при постанове задач как прямую, так и обратную логику рассуждений, что предоставляет пользователю право выбора наиболее удобного подхода при построении исходной структурной схемы системы.

Этой технологии достаточно, чтобы с помощью программных комплексов технологии АСМ получить как прямые, так и обратные логические и вероятностные математические модели (работоспособности и отказа, безаварийной работы и возникновения аварии и т.п.), а также любые их немонотонные комбинации. Если же постановка задачи выполнена в форме дерева отказов, то оно также может представляется средствами СФЦ и использоваться в программных комплексах технологии АСМ.

3. Методы, алгоритмы и программы технологии АСМ ориентированы на построение достаточно точных математических моделей надежности и безопасности исследуемых системных объектов и процессов.

4. В методах и программных комплексах технологии АСМ преодолен ряд ограничений технологий ДО/ДС и классических ЛВМ:

- представляются в СФЦ и корректно учитываются в логических и вероятностных моделях циклические (мостиковые) связи между элементами исследуемых систем;

- допускается неограниченное размножение вершин СФЦ, что позволяет учитывать многофункциональность сложных элементов;

- с помощью одной СФЦ может представляться множество выходных функций, реализуемых в системе, и строиться соответствующие математические модели;

- реализована возможность моделирования систем так называемого «второго типа», функционирующих в разных состояниях с различной эффективностью или степенью возможных последствий аварий, что позволяет вычислять показатели реальной эффективности и риска функционирования опасных производственных объектов;

- в ОЛВМ разработана и реализована возможность учета с помощью так называемых «групп несовместных событий» ряда стохастических зависимостей и множественных (более двух) состояний элементов;

- на основе одной структурной модели, в форе СФЦ, могут определяться как кратчайшие пути успешного функционирования, так и минимальные сечения отказов (минимальные пропускные и отсечные сочетания), а так же соответствующие им вероятностные модели;

**Методы нечетких множеств** являются методами интервальной оценки рисков (Можаев, 2000). Под нечеткой величиной  $\Xi$  обычно подразумевается подмножество, определяемое на множестве действительных чисел и характеризуемое соответствием между ее конкретными значениями и степенями принадлежности  $\mu$  на числовом интервале  $[0,1]$ . Функция принадлежности значений такой величины  $\mu(\Xi)$  рассматривается как распределение возможностей появления определенных действительных чисел. Модальным

же значением нечеткой величины  $m_{\Xi}$  является элемент подмножества, обладающий единичной степенью принадлежности - наибольшей возможностью наблюдения в рассматриваемых условиях:

$$\mu_{\Xi}(m) = 1. \quad (2.7)$$

В свою очередь, *нечетким числом*  $\Sigma$  считается полунепрерывный сверху, компактный нечеткий интервал с выпуклой функцией принадлежности и единственным модальным значением. Иначе говоря, это понятие часто выражается на практике словами «приблизительно, примерно, около, порядка  $m$ ». Естественно, что функция принадлежности нечеткого числа  $\mu(\Sigma)$  может иметь несколько форм, отличающихся размахом, т.е. шириной диапазона возможных значений принимаемых им действительных чисел.

Считается, что наиболее подходящей областью применения только что рассмотренного способа нечеткого интервального прогнозирования техногенного риска является оценка возможности появления и предупреждения уникальных (редких и наиболее тяжелых по последствиям) катастроф и аварий. В этом случае оправдана необходимость привлечения высококвалифицированных экспертов и повышенная трудоемкость моделирования, что связано, в том числе, с проведением итерационных процедур вычисления. Также эти методы широко используются для оценки рисков в системах с неопределенностью, например, в системах «человек-машина-среда».

Решение каждой из этих главных задач может быть осуществлено лишь с использованием не менее чем трех уровней соответствующей семантической модели – путем последовательного определения:

*а) количества нежелательно высвободившихся энергии или вещества –  $K$ , а также режима их истечения во времени и расположения источников выброса;*

*б) размеров пространства, в пределах которого сформировались поля поражающих факторов таких выбросов или продуктов их последующей трансформации –  $\Pi$ ;*

*в) величины ущерба от их разрушительного воздействия на оказавшиеся в зонах поражения этих факторов людские, материальные и природные ресурсы  $Y=U$ .*

Рассмотренные выше методы являются в основном качественными, они также позволяют оперировать и количественными значениями.

#### 2.4.4. Количественные методы анализа риска

**Количественная оценка риска** рабочей среды основывается на математических методах (используются принципы теории вероятности, алгоритмы, эмпирические коэффициенты, функции, методы анализа (Монте-Карло, Маркова и др.), а также различные компьютерные программы). Параметры, наиболее часто используемые в оценке:

- *вероятность заболевания (профессиональные болезни и другие болезни, связанные с работой);*

- вероятность отравления;
- вероятность профессиональной патологии;
- вероятность рабочего стресса или синдрома «сгорания»;
- вероятность травматизма;
- вероятность взрыва;
- вероятность пожара;
- вероятность аварии;
- вероятность химических, радиационных, биологических, экологических, эпидемиологических и др. рисков.

Проведение количественного анализа требует высокой квалификации исполнителей, большого объема информации по аварийности, надежности оборудования, выполнения экспертных работ, учета особенностей окружающей местности, метеоусловий, времени пребывания людей в опасных зонах и других факторов. Начальный этап количественной оценки обычно основывается на **полуколичественном** методе (*Semi-Quantitative Risk Assessment*), когда в оценке риска используют опросные листы, расчёты упрощённого анализа вероятности и последствий опасностей по балльной системе и матрицам.

В число количественных методов определения рисков и их параметров можно включить следующие разновидности методов: детерминированные; статистические; детерминировано-статистические; вероятностные; статистико-вероятностные; детерминировано-вероятностные; логико-вероятностные; методы нечетких множеств; бифуркационные; экспертные и др.

Количественные методы используют математическое моделирование, экспериментальные исследования, статистические данные и т.д.

**Методы аналогий** или репродуцирования (*булстреппинг*) относится к другим альтернативным подходам, которые могут дать количественный ответ без обращения к сложным математическим формулам на основе анализа политики, проводимой в прошлом. Сторонники таких подходов утверждают, что общество достигает разумного баланса между рисками и выгодами только за длительный период времени на основе приобретенного опыта. Уровни безопасности, достигнутые со старыми рисками, обеспечивают наилучшее руководство для управления вновь возникающими рисками. Прежде достигнутый баланс между затратами на обеспечение безопасности и выгодами, которые получены в результате работы промышленных предприятий (в предположении, что такое равновесное состояние может быть идентифицировано), следует сохранить и в будущих решениях. Таким образом, можно сократить и упростить процесс принятия решений, опираясь на прошлый опыт и действуя аналогично тому, как поступали прежде наши предшественники. Лицо, принимающее решение, привязывает себя к ранее принятым решениям.

В одном из таких методов, методе предпочтений, в качестве базы для аналогий и как руководство для будущих балансов используется баланс «затраты-выгода», разработанный рыночными, социальными и политическими

институтами в недавнем прошлом. Другой метод из этого семейства, метод естественных стандартов, обращается к геологическому прошлому Земли. Он исходит из предпосылки, что уровень загрязнения, который существовал в процессе развития видов флоры и фауны, является тем уровнем, к которому эти виды наилучшим образом приспособлены, и этот уровень должен быть сохранен и в будущем.

В методах бутстреппинга политика принятия решений связана с учетом всех последствий создания новых объектов и налагает довольно жесткие ограничения на вновь возникающие риски. Одно из концептуальных ограничений этих методов связано с тем обстоятельством, что для новых рисков (новых опасностей, вредных воздействий) не существует соответствующего опыта. Другой недостаток связан с тем, что эти методы оценивают приемлемость конкретного выбора без рассмотрения альтернативных решений. Они не способны исправлять ситуацию, если она неприемлема для общества.

**Метод индексов опасности.** В этом случае к оценке потенциальной опасности подходят интегрально, не вдаваясь в детали проявлений опасных процессов. Основная идея, заложенная в этом методе, состоит в том, чтобы оценить некоторым числовым значением (индексом) степень опасности рассматриваемой технической системы. Существуют различные способы, которыми это может быть сделано, но наиболее часто и широко при оценке пожаро- и взрывобезопасности используется метод, называемый «*Индекс Дау*» (*Dow Fire and Explosion Index*).

При вычислении индекса Дау отдельным техническим характеристикам системы ставятся в соответствие определенные показатели, численно характеризующие потенциальную опасность конкретных элементов процесса или технической системы. Такие показатели суммируют, не вдаваясь в подробности устройства или функционирования рассматриваемой системы.

Индекс Дау формируется как произведение двух интегральных показателей: узлового показателя опасности  $F$  и материального фактора  $M$ , т.е.  $ДАУ = F \cdot M$ . Узловой показатель опасности равен  $F = f_1 \cdot f_2$ , где  $f_1$  – показатель общих опасностей, а  $f_2$  – показатель специфических опасностей. Материальный фактор  $M$  — это количественная мера интенсивности выделения энергии из определенных химических веществ или материалов, которые могут находиться или находятся в составе выбранной единицы оборудования или части процесса. Он численно характеризует опасность, которую представляют собой определенные химические вещества или материалы при их использовании. Для его определения составляется перечень всех потенциально опасных химических веществ и материалов, используемых в данной системе или процессе. Каждому из таких веществ ставится в соответствие определенное число, характеризующее его опасность. Шкала таких чисел для химически опасных веществ обычно разрабатывается специальными службами и приводится в нормативных документах. Общий материальный фактор системы определяется как сумма материальных факторов всех потенциально опасных веществ, используемых в рассматриваемом процессе, взятых с весами, соответствующими их количеству.

**Частотный анализ аварийных событий (ЧА).** Назначение частотного анализа (ЧА) – оценить возможную интенсивность реализаций каждой из прогнозируемых наиболее опасных аварий. В отличие от вероятностей, интенсивности случайных событий измеряются в единицах, обратных времени.

Частотный анализ является одним из основных этапов анализа аварийного риска. ЧА – необходимое условие для прогнозирования аварийного риска. Если исследователь не располагает необходимыми данными, позволяющими определять интенсивности (вероятности) аварий, то рассчитать аварийный риск, порождаемый объектом, невозможно. В лучшем случае можно прогнозировать лишь потери, ущерб от аварий, принимая, что они произойдут с вероятностью, равной единице.

Частотный анализ включает в себя в следующие этапы:

- 1) *нахождение интенсивностей (вероятностей) аварий;*
- 2) *выявление событий, наиболее сильно влияющих на интенсивности (вероятности) аварий;*
- 3) *разработка рекомендаций по снижению интенсивностей (вероятностей) наиболее опасных событий.*

Частотный анализ опирается на использование теоретических положений теории вероятности и математической статистики, теории надежности, алгебры логики.

Интенсивности (вероятности) аварий могут быть определены тремя путями: непосредственно, с помощью *деревьев отказов (ДО) и деревьев событий (ДС) и с помощью моделей Маркова.*

Первый путь связан с использованием ретроспективных («исторических») данных, со статистической обработкой эмпирических (экспериментальных) данных и с применением метода экспертных оценок. Подобные процедуры, во-первых, пригодны для определения интенсивностей (вероятностей) иницирующих, базовых событий. Во-вторых, они могут быть использованы для нахождения интенсивностей (вероятностей) инцидентов, которые нередко фигурируют в деревьях отказов в виде верхнего нежелательного события (ВНС). И, наконец, их используют при непосредственном определении интенсивностей (вероятностей) самих аварий.

Второй путь состоит в использовании графических представлений совокупности различных случайных событий, приводящих к авариям. Это сочетания событий, предшествующих инциденту, и сочетания событий от инцидента до аварии. Первые графически изображаются с помощью *деревьев отказов*, вторые – с помощью *деревьев событий*. Второй путь базируется на формировании и качественном и количественном анализе сопряженных (по инцидентам) *деревьев отказов* и *деревьев событий*. При количественном анализе *деревьев отказов* используют следующие методы: *метод характеристик надёжности; т.н. метод логических переключателей, специально приспособленный для анализа ДО; метод минимальных аварийных сочетаний; метод функций алгебры логики (ФАЛ), а также метод статистических испытаний Монте-Карло.*

Третий путь связан с использованием моделей состояния исследуемой системы (моделей марковских процессов), выражаемых дифференциальными уравнениями Колмогорова-Чепмена. С помощью моделей Маркова может быть определена вероятность аварийного состояния рассматриваемых объектов.

Наибольшее распространение получил второй подход, опирающийся на анализ *совмещенных ДО и ДС*. Интенсивности (вероятностей) наиболее опасных событий могут быть, например, вычленены из сочетаний аварийных событий с использованием специальной процедуры анализа значимости аварийных событий, отраженных в дереве отказов.

Одним из методов, применяемых в процессе анализа риска угрозы здоровью со стороны техногенных факторов, является анализ затрат и получаемых в результате выгод (*анализ «затраты-выгоды»*). Суть этого метода состоит в следующем. Сначала рассматриваются все варианты (сценарии) возможных действий и мер по снижению риска. Для каждого  $i$ -го сценария ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) вычисляются затраты  $W_i$  на его реализацию и планируемая при этом выгода  $V_i$ . Кроме того, для каждого сценария оцениваются значения так называемого остаточного риска  $R_i$ , к которому приведет осуществление  $i$ -го сценария. Чистый экономический эффект  $E_i$  для каждого сценария определяется разностью выгод и затрат:

$$E_i = V_i - W_i. \quad (2.8)$$

Затраты  $W_i$  на реализацию мероприятий по  $i$ -му сценарию рассчитываются как приведенная стоимость осуществления этих мероприятий (проекта), усредненная по времени экономической жизни проекта:

$$W_i = \frac{1}{t} \cdot \sum_{j=0}^{r-1} (C_j + tD_j) \left( \frac{1}{1+r_j} \right)^j, \quad (2.9)$$

где  $t$  – время жизни проекта,  $C_j$  и  $D_j$  – капитальные и текущие затраты соответственно,  $r_j$  – среднегодовая процентная ставка  $j$ -го года.

Выгоду от реализации  $i$ -го сценария можно определять различными способами, унифицированного метода оценки выгод не существует. Наиболее употребительным является способ оценки выгоды через предотвращенный социально-экономический ущерб. Для этого нужно сначала рассчитать остаточный социально-экономический ущерб после реализации  $i$ -го сценария.

Остаточный экономический ущерб  $Y_i$  определяется произведением цены риска и остаточного риска (риск в рассматриваемом случае измеряется числом случаев смерти на 1 млн человек, проживающих в течение всей жизни в условиях данного риска, или же — количеством лет сокращения продолжительности жизни). Остаточный среднегодовой приведенный социально-экономический ущерб вычисляется по формуле:

$$Y_i = \frac{1}{t} \cdot \sum_{j=0}^{r-1} \alpha_j R_{i,j} \left( \frac{1}{1+r_j} \right)^j, \quad (2.10)$$

где  $\alpha_j$  — цена риска для  $j$ -го года,  $R_{i,j}$  — остаточный риск  $j$ -го года для  $i$ -го сценария.

Выгода как предотвращенный ущерб оценивается следующим образом. Если  $Y_o$  — социально-экономический ущерб, имевшийся до принятия каких-либо действий по возможным сценариям, а  $Y_i$  — остаточный социально-экономический ущерб после реализации  $i$ -го сценария, то предотвращенный ущерб  $\Delta Y_i$  определяется разностью:

$$\Delta Y_i = Y_o - Y_i. \quad (2.11)$$

Эта разность и используется в качестве меры выгоды от реализации  $i$ -го сценария:

$$V_i = \Delta Y_i. \quad (2.12)$$

Чистый экономический эффект  $E_i$  определяется выражением:

$$E_i = \Delta Y_i - W_i = Y_o - (Y_i + W_i). \quad (2.13)$$

Сумму  $(Y_i + W_i)$  называют обобщенными приведенными затратами. Формула (2.13) показывает, что чистый экономический эффект будет максимален при минимуме обобщенных приведенных затрат:

$$\max E_i \rightarrow \min (Y_i + W_i). \quad (2.14)$$

Полученное соотношение отражает сущность *принципа оптимизации* вариантов (сценариев) снижения риска.

Количественные методы особенно необходимы, когда предполагаемые серьезность и степень ущерба велики. Количественные методы полезны для того, чтобы оценить альтернативные меры по обеспечению безопасности определить, какой из них дает лучшую защиту. В случаях, когда полный количественный анализ не всегда возможен из-за недостатка информации (данных) о системе, условиях её эксплуатации, возможных отказах (авариях), влиянии человеческого фактора и т.п., при таких обстоятельствах может оказаться эффективным сравнительное количественное или качественное ранжирование риска специалистами, хорошо информированными в данной области.

В общем случае *выбор методов анализа и оценки рисков определяется следующими основными факторами:*

- видами исследуемых потенциальных опасностей;
- наличием исходной статической или детерминированной информации о реализации рисков или об оценках рисков;
- наличием или созданием исходных баз знаний для расчетно-экспериментального определения рисков  $R$ ;
- наличием правовой или нормативно-технической базы для обязательного определения рисков  $R$ ;
- наличием международного, национального, отраслевого и объектового опыта постановки и решения задач оценки рисков;



## **Контрольные вопросы**

1. Пояснить сущность термина «методология научного познания».
2. Дать определение понятия «системный анализ».
3. Дать общую характеристику методов системного анализа риска.
4. Пояснить, в чем сходство и различие причинных факторов и факторов риска.
5. Дать определение социально-психологических факторов профессионального риска.
6. Дать определение техногенных факторов профессионального риска.
7. Дать определение «человеческого фактора» профессионального риска.
8. Пояснить, какие элементы включает в себя «человеческий фактор».
9. Охарактеризовать роль человеческого фактора в системе обеспечения безопасности.
10. Пояснить понятие «надежность профессиональной деятельности».
11. Дать общую характеристику методов анализа надежности профессиональной деятельности:
  - а) системотехнический анализ;
  - б) анализ причин ошибок персонала;
  - в) метод «Шаг за шагом».
12. Дать общую характеристику качественных методов анализа риска:
  - метод «экспертных оценок» ;
  - методы проверочного листа, контрольных карт и «Что будет, если..?» ;
  - метод изучения опасностей функционирования;
  - анализ видов и последствий отказов;
  - анализ видов, последствий и критичности отказов;
  - метод анализа опасности и работоспособности;
  - предварительный анализ факторов опасности.
13. Дать общую характеристику логико-графических методов анализа риска:
  - анализ дерева отказов;
  - анализ видов отказов и последствий;
  - метод построения деревьев событий;
  - метод «события – последствия»;
  - метод анализа с помощью диаграмм типа «граф».
14. Дать общую характеристику логико-вероятностных методов анализа риска.
15. Дать общую характеристику количественных методов анализа риска:
  - метод аналогий (бутстреппинг) ;
  - метод индексов опасности («Индекс Дау»);
  - частотный анализ аварийных событий;
  - анализ «затраты-выгоды».

# МОДЕЛИРОВАНИЕ РИСКА ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

---

*Практический опыт учит: чем больше знаешь, тем больше знаешь, чего не знаешь, и тем скорее формируется сознание риска. Чем более рациональны, чем более сложно задуманы калькуляции, тем больше граней проблемы попадает в поле зрения.*

*Luhmann, 1991*

**Основные задачи:** *изучить методы имитационного моделирования, общие принципы формирования структурной схемы и математической модели профессионального риска, процедуры ее исследования, возможности выявления наиболее значимых параметров, оказывающих влияние на величину риска.*

### 3.1. Методика имитационного моделирования

Основным средством и инструментом современных научных исследований является моделирование. Моделирование представляет собой один из основных методов познания, является формой отражения действительности и заключается в выяснении или воспроизведении тех или иных свойств реальных объектов, предметов и явлений с помощью других объектов, процессов, явлений, либо с помощью абстрактного описания в виде изображения, плана, карты, совокупности уравнений, алгоритмов и программ.

#### 3.1.1. Методы моделирования

Возможности моделирования, то есть перенос результатов, полученных в ходе построения и исследования модели, на оригинал основаны на том, что модель в определенном смысле отображает (воспроизводит, моделирует, описывает, имитирует) некоторые интересующие исследователя черты объекта. Применительно к естественным и техническим наукам принято различать следующие методы моделирования (Можаев, 2000):

- *концептуальное моделирование*, при котором совокупность уже известных фактов или представлений относительно исследуемого объекта или системы истолковывается с помощью некоторых специальных знаков, символов, операций над ними или с помощью естественного или искусственного языков;

- *физическое моделирование*, при котором модель и моделируемый объект представляют собой реальные объекты или процессы единой или различной физической природы, причем между процессами в объекте-оригинале и в модели выполняются некоторые соотношения подобия, вытекающие из схожести физических явлений;
- *структурно-функциональное моделирование*, при котором моделями являются схемы (блок-схемы), графики, чертежи, диаграммы, таблицы, рисунки, дополненные специальными правилами их объединения и преобразования;
- *математическое (логико-математическое) моделирование*, при котором моделирование, включая построение модели, осуществляется средствами математики и логики;
- *имитационное (программное) моделирование*, при котором логико-математическая модель исследуемого объекта представляет собой алгоритм функционирования объекта, реализованный в виде программного комплекса для компьютера.

В настоящее время под компьютерной моделью чаще всего понимают:

- *условный образ объекта* или некоторой системы объектов (или процессов), описанный с помощью взаимосвязанных компьютерных таблиц, блок-схем, диаграмм, графиков, рисунков, анимационных фрагментов, гипертекстов и т. д. и отображающий структуру и взаимосвязи между элементами объекта. Компьютерные модели такого вида называют структурно-функциональными;
- *отдельную программу*, совокупность программ, программный комплекс, позволяющий с помощью последовательности вычислений и графического отображения их результатов, воспроизводить (имитировать) процессы функционирования объекта, системы объектов при условии воздействия на объект различных, как правило, случайных, факторов. Такие модели называют имитационными моделями.

Компьютерное моделирование - метод решения задачи анализа или синтеза сложной системы на основе использования ее компьютерной модели. Суть компьютерного моделирования заключена в получении количественных и качественных результатов по имеющейся модели. Качественные выводы, получаемые по результатам анализа, позволяют обнаружить неизвестные ранее свойства сложной системы: ее структуру, динамику развития, устойчивость, целостность и др. Количественные выводы в основном носят характер прогноза некоторых будущих или объяснения прошлых значений переменных, характеризующих систему.

Предметом компьютерного моделирования могут быть: технологический процесс, любой реальный объект или процесс, и вообще - любая сложная система. Цели компьютерного моделирования могут быть различными, однако наиболее часто моделирование является, как уже отмечалось ранее, центральной процедурой системного анализа, причем под системным анализом понимается совокупность методологических средств, используемых для

подготовки и принятия решений организационного, социального или технического характера.

Компьютерная модель сложной системы должна по возможности отображать все основные факторы и взаимосвязи, характеризующие реальные ситуации, критерии и ограничения. Модель должна быть достаточно универсальной, чтобы по возможности описывать близкие по назначению объекты, и в то же время достаточно простой, чтобы позволить выполнить необходимые исследования с разумными затратами.

Суть *математического имитационного моделирования риска* заключается в построении множества всех (без исключения, не противоречащих законам физики) сценариев возникновения и развития возможных опасных ситуаций, с последующей оценкой частот реализации каждого из сценариев и определением масштабов их последствий.

Большинство имитационных экспериментов с моделями человеко-машинных систем являются стохастической имитацией. Под *имитацией* понимается численный метод проведения на компьютере экспериментов с математическими моделями, описывающими поведение сложных систем в течение продолжительного периода времени. Имитационная модель является компьютерной программой. Практическое применение этой модели заключается в наблюдении за результатами многовариантных расчетов при различных задаваемых значениях вводимых переменных. Пространство, в границах которого изменяются переменные (пространство поиска), называют *морфологическим множеством*, а процесс определения этого пространства – *морфологическим анализом*. В результате морфологического анализа определяется морфологическое множество или *множество альтернативных значений*. Морфологический подход достаточно формален и допускает компьютерную реализацию.

Модели сложных объектов и явлений часто оказываются интегрированными, включающими в себя содержательно-описательную и формально-математическую составляющие. Задача *структурного моделирования* заключается в *графической интерпретации входных и выходных параметров модели и математической формализации их взаимосвязей*. Структурная схема представляет собой описание исследуемой системы как набора взаимодействующих элементов. Эти взаимодействия могут быть техническими (порождаемыми реальными физическими процессами в пространстве и времени) и логическими (например, отражающими причинно-следственные связи). При этом каждый элемент должен обладать свойством целостности, то есть однозначно определяться некоторым конечным набором свойств (в частности, технических характеристик), позволяющих отследить любое влияние элемента на поведение системы в целом. Сама структура, в свою очередь, должна удовлетворять свойству полноты: любое её поведение должно быть объяснимо только с помощью анализа взаимодействия составляющих элементов. Описываемая структурной схемой система моделирует те характеристики системы, которые нужно выделить и исследовать в целях обеспечения безопасности. Связь между структурной схемой и реальными объектами

осуществляют правила применения, дополнительно предлагаемые отдельно для каждой используемой схемы.

Путём анализа взаимодействия составных элементов выявляются возможные потенциально опасные сценарии поведения системы, описываемой структурной схемой, и для каждого из этих сценариев задаются обязательные требования безопасности, минимальные для достижения целей.

### 3.1.2. Математическое описание предметной области

**Морфологическое описание эргатической системы** - описание строения или структуры системы: описание совокупности  $A$  элементов этой системы и необходимого для достижения цели набора отношений  $R$  между ними (Вайдлих, 2004).

Морфологическое описание задается кортежем:

$$S = \langle A, B, R, V, Q \rangle, \quad (3.1)$$

где  $A$  - множество элементов и их свойств,  $B$  - множество отношений с окружающей средой,  $R$  - множество связей в  $A$ ,  $V$  - структура системы, тип этой структуры,  $Q$  - описание, представление системы на каком-либо языке. Из морфологического описания системы получают **функциональное описание системы** (т.е. описание законов функционирования, эволюции системы), а из нее - **информационное описание системы** (описание информационных связей как системы с окружающей средой, так и подсистем системы) или же так называемую информационную систему, а также информационно-логическое (инфологическое) описание системы.

Используя символные обозначения математической логики, определение системы записывают в виде математического соотношения. Ниже приняты следующие обозначения:

$P, Q$  – произвольное множество свойств;

$m$  – множество объектов, входящих в состав сложного объекта;

Тот факт, что множество объектов  $m$  является, в свою очередь, объектом, обозначается с помощью скобок. Тогда запись вида  $(m)Q$  будет означать сложный объект, состоящий из множества объектов  $m$ , обладающих множеством свойств  $Q$ . Приняв, далее, что  $(m)$  означает множество отношений между объектами  $m$ , а запись вида  $(m)^S$  означает, что сложный объект является системой, определение системы можно записать в виде следующего высказывания:

$$(m)^S = \text{Def}[(m)Q \& (m) \rightarrow (P \ Q = \ )], \quad (3.2)$$

которое читается следующим образом:

«Системой  $(m)^S$  по определению является множество объектов  $(m)$ , обладающих множеством свойств  $Q$ , таких, что при заданном множестве отношений  $\mathcal{R}(m)$  существует множество свойств  $P$ , невыводимых и не сводимых к множеству свойств  $Q$ ».

**Эргатическая система** – это система  $(m)^S$ , формирующаяся множеством факторов окружающей производственной среды  $m$  (*технические устройства, технологии, микроклимат, коллектив и т.д.*), обладающих множеством свойств  $Q$  (*в т.ч. оказывать потенциально опасные воздействия*), таких, что при заданном множестве отношений  $\mathcal{M}(m)$  (*человек - техника, человек - производственная среда, человек – коллектив и т.д.*) существует множество свойств  $P$  (*опасностей, создаваемых в результате совместного действия факторов  $m$* ), невыводимых и не сводимых к множеству опасных свойств отдельно взятых факторов. Таким образом, еще раз подчеркивается, что главным признаком, отличающим эргатическую систему от простой совокупности объектов, является некое новое свойство, которым объекты в отдельности не обладают.

Термин «**система**» используется не только для определения совокупностей материальных объектов, но и для обозначения целостностей, определяющих совокупность свойств или признаков неких явлений или процессов. Системный подход предполагает рассматривать профессиональный риск, как системную категорию и проводить анализ, исходя из неразрывности связи трех категорий: объекты, свойства, отношения. Методология системного анализа позволяет выделить такое конечное множество связей, влияющих на свойства системы, которое с необходимостью определяет роль и значение каждого существенного элемента системы. Именно методология выделения существенных связей на высшем уровне обобщения составляет сущность общей методологии системного анализа.

Понятие «**профессиональный риск**» характеризует вероятностную меру возникновения опасных явлений (событий, процессов), сопровождающихся формированием и действием вредных факторов, и нанесенного при этом ущерба. При этом под мерой риска понимается некоторая комплексная характеристика рискованного события, основанная на введении набора упорядоченных троек элементов (триплетов), где первый элемент тройки описывает вероятность присутствия опасности, второй – вероятность воздействия опасности, третий – вероятность возникновения ущерба. Таким методом оценивается интегральная мера риска при различных значениях исходной информации - когда с вероятностью «единица» реализуются все нежелательные события.

Представленная логическая конструкция отличается от схем, используемых для анализа опасностей технических систем (Белов П.Г., 2003). Предпосылкой для проведения их анализа является факт произошедшей аварии (инициирующее событие). Субъект опасности представлен в виде замкнутой технической системы, функционирование которой поддается описанию формализованным языком математической логики. Далее по известным алгоритмам осуществляется построение сценариев развития ситуации (распространение ударной волны, токсичных веществ и т.п.), оценивается вероятность воздействия на объект безопасности и ущерб. При этом в качестве модели для расчета риска наиболее часто используют дерево событий, отображающее в наглядной форме сценарии развития ситуаций.

Принципиальным отличием анализа профессионального риска является то, что техногенные факторы, учитываемые при проведении анализа, не представляют собой систему «в чистом виде». Это совокупность разнообразных элементов (оборудование, технологии, материалы, параметры среды и т.п.), разнонаправленные стохастические (а, зачастую, и синергетические) воздействия подавляющего большинства которых на человека невозможно описать языком математических формул.

Используя общее определение системы, представляется возможным сформулировать следующее положение:

*«Профессиональный риск представляет собой системную категорию  $(m)^S$ , включающую подкатегории  $m$  («вероятность присутствия опасности», «вероятность воздействия опасности» и «вероятность возникновения ущерба»), каждая из которых обладает множеством свойств  $Q$  («присутствие фактора опасности», «нахождение в зоне воздействия», «взаимодействие с фактором опасности», «отсутствие средств защиты» и т.д.), таких, что при заданном множестве отношений  $\mathcal{R}(m)$  («присутствие опасности – воздействие опасности», «присутствие опасности – возникновение ущерба» и т.д.) существует множество значений уровней риска  $P$ , невыводимых и не сводимых к множеству свойств отдельных подкатегорий.*

### *3.1.3. Методика и процедуры построения модели*

Построение модели риска предполагает необходимость задания процедур агрегирования (свертки) исходных событий. При агрегировании однородных показателей (в частности, вероятностей событий) в качестве средств построения структурных схем, как правило, используется аппарат «деревьев отказов» (аварий, происшествий, последствий, нежелательных событий, несчастных случаев и пр. - метод FTA), представляющих собой универсальную экспертную систему оценки риска (Хенли, 1984; Можаяев, 2000 и др.).

Методика «*деревья отказов*» - это совокупность приемов (качественных или количественных), при помощи которых методом дедукции выявляются, выстраиваются в логическую цепь и представляются в графической форме те условия и факторы, которые могут способствовать определенному нежелательному событию (называемому вершиной событий). Основным принцип построения дерева отказов заключается в последовательной постановке вопроса: «по каким причинам может произойти конечное событие?». Математический аппарат «деревья отказов» позволяет разрабатывать модели и проводить анализ результатов, полученных на основе минимальной информации. Этот метод широко используется при принятии связанных с риском решений.

Методология деревьев отказов начала развиваться с 1961 г., когда впервые была применена для анализа надежности систем управления запуском ракет «Минитмен». В классическом варианте, с точки зрения учитываемых в модели факторов «надежностного поведения» исследуемых систем, объектов и применяемого математического аппарата, деревья отказов ничем не отличаются от логико-вероятностных методов и, в частности, от блок-

схем надежности. Единственным отличием данной методологии является формальное представление надежностных отношений в системе в виде деревьев отказов и происходящих при этом событий, связанных логическими операторами. Дерево отказов (аварий, происшествий, последствий, нежелательных событий, несчастных случаев и пр.) лежит в основе логико-вероятностной модели причинно-следственных связей отказов системы с отказами ее элементов и другими событиями (воздействиями); при анализе возникновения отказа состоит из последовательностей и комбинаций нарушений и неисправностей, и таким образом оно представляет собой многоуровневую графологическую структуру причинных взаимосвязей, полученных в результате прослеживания опасных ситуаций в обратном порядке, для того чтобы отыскать возможные причины их возникновения.

К числу его достоинств относятся удобство и наглядность графического представления, а также существенное облегчение расчетов на компьютерах. Метод деревьев особенно эффективен в тех случаях, когда сложная проблема может быть расчленена на то или иное количество сравнительно простых задач, каждая из которых решается отдельно, после чего производится своеобразный синтез сложного решения. В процессе прогнозирования опасных ситуаций и их моделирования использование метода деревьев позволяет рассчитать вероятность реализации определенного сценария, включающего несколько событий. Структура дерева основывается на основных теоремах теории вероятности – теореме сложения и теореме умножения.

В качестве положительных сторон технологии *FTA* выделяют:

- наличие зарубежных и отечественных программных комплексов автоматизированного моделирования, поддерживающих технологию *FTA*;
- глубокое теоретическое и методическое обеспечение технологии *FTA*;
- возможность графического представления и учета в логических и вероятностных моделях различных комбинаторных комбинаций групп элементов (исходных, базовых событий).

Ценность дерева отказов заключается в следующем:

- анализ ориентируется на нахождение отказов;
- позволяет показать в явном виде ненадежные места;
- обеспечивается графикой и представляет наглядный материал для той части работников, которые принимают участие в обслуживании системы;
- дает возможность выполнять качественный или количественный анализ надежности системы;
- метод позволяет специалистам поочередно сосредотачиваться на отдельных конкретных отказах системы;
- обеспечивает глубокое представление о поведении системы и проникновение в процесс ее работы;
- помогает дедуктивно выявлять отказы;
- облегчает анализ надежности сложных систем.



Главное преимущество дерева отказов (по сравнению с другими методами) заключается в том, что анализ ограничивается выявлением только тех элементов системы и событий, которые приводят к данному конкретному несчастному случаю или аварии.

**Процедура построения** дерева отказов включает:

а) разработку сценария аварии или опасного состояния системы:

- анализ структуры системы и определение функциональных свойств событий более высокого уровня для выявления причин тех или иных негативных состояний;
- проведение более глубокого анализа поведения системы с целью выявления логической взаимосвязи событий более низкого уровня, способных привести к данным состояниям;
- выделение конечного числа элементарных исходных событий (ИС), свершение которых может привести к конечному состоянию (эти события должны определяться в терминах идентифицируемых независимых первичных отказов);
- задание вероятностей свершения каждого ИС на рассматриваемом интервале времени функционирования системы;
- определение всех возможных комбинаций ИС, которые могут привести к конечному состоянию системы, и описание их с помощью графических изобразительных средств деревьев отказов.

б) определение логической модели (функции) несчастного случая, аварии, опасного состояния системы, обычно в форме минимальных сечений (минимальных пропускных сочетаний);

в) определение вероятностной функции (обычно приближенной) несчастного случая, аварии, опасного состояния системы;

г) выполнение расчетов вероятностных показателей несчастного случая, аварии, опасного состояния системы.

**Методика построения** дерева отказа заключается в следующих этапах.

1. Определяют аварийное (предельно опасное, конечное) событие, которое образует вершину дерева. Данное событие четко формулируют, дают признаки его точного распознавания. Перечисляют возможные отказы, рассматривают их комбинации, определяют последствия этих событий.

2. Используя стандартные символы событий и логические символы, дерево строят в соответствии со следующими правилами:

а) конечное событие (риск несчастного случая) помещают вверху;

б) дерево состоит из последовательности событий, которые ведут к конечному событию;

в) последовательности событий образуются с помощью логических знаков И, ИЛИ и др. (эти логические символы представляют собой логические условия, которые выбираются, исходя из «здравого смысла» работы системы);

г) событие над логическим знаком помещают в прямоугольнике, а само событие описывают в этом прямоугольнике;

д) первичные события (исходные причины) располагают снизу.

3. Квалифицированные эксперты проверяют правильность построения дерева. Это позволяет исключить субъективные ошибки разработчика, повысить точность и полноту описания объекта и его действий.

4. Определяют минимальные аварийные сочетания и минимальную траекторию для построения дерева. Первичные и неразлагаемые события соединены с событием нулевого уровня маршрутами (ветвями).

5. Качественно и количественно исследуют дерево несчастного случая с помощью выделенных минимальных аварийных сочетаний и траекторий. Качественный анализ заключается в сопоставлении различных маршрутов от начальных событий к конечному и определении критических (наиболее опасных) путей, приводящих к несчастному случаю. При количественном исследовании рассчитывают вероятность возникновения несчастного случая в течение задаваемого интервала времени по всем возможным маршрутам. При расчете вероятности возникновения необходимо учитывать применяемые логические знаки. Вероятность  $p(B)$  выходного события при независимости входных события  $A_{1...n}$ , определяют по формулам:

$$\text{при знаке И: } p(B) = \prod_{i=1}^n p(A_i) \quad , \quad (3.3)$$

$$\text{при знаке ИЛИ: } p(B) = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - p(A_i)) \quad , \quad (3.4)$$














где  $p(A_i)$  - вероятность события  $A$ .

Чтобы отыскать и наглядно представить причинную взаимосвязь с помощью дерева отказов, необходимы элементарные блоки, подразделяющие и связывающие большое число событий. Имеется два типа блоков: *логические символы* (знаки) и *символы событий*. Логические символы (знаки) связывают события в соответствии с их причинными взаимосвязями. Обозначения логических знаков приведены в табл. 3.1. Логический символ (знак) может иметь один или несколько входов, но только один выход, или выходное событие. Символы событий приведены в табл. 3.2.




Прямоугольный блок обозначает событие отказа, которое возникает в результате более элементарных исходных отказов, соединенных с помощью логических элементов.

Круглый блок обозначает исходный отказ (исходное событие) отдельного элемента (в пределах данной системы или окружающей среды), который определяет, таким образом, разрешающую способность данного дерева отказов. Для того чтобы получить количественные результаты с помощью дерева отказов, круглые блоки должны представлять события, для которых имеются

## Логические символы

вершина	название	описание
	AND	логическое И
	OR	логическое ИЛИ
	NAND	логическое И-НЕ
	NOR	логическое ИЛИ-НЕ
	NOT	логическое НЕ
	VOTING (k/n)	m/n голосование (мажоритарный выбор)
	INHIBIT	логическое И с запрещающим входом (ингибиторное И)
	XOR	исключающее ИЛИ
	PRIORITY AND	приоритетное И (динамический оператор)
	FDEP	учитывает зависимости между событиями и временной порядок (динамический оператор)
	SPARE	учитывает состояние резерва, в частности, нагрузки (динамический оператор)
	SEQ	учитывает последовательность возникновения событий (динамический оператор)
	REMARKS	ввод комментариев (вспомогательный оператор)

## Символы событий

событие	название	описание
	BASIC	базовое событие
	UNDEVELOPED	событие аналогичное базовому, за исключением того, что его можно было бы представить совокупностью других событий, однако это раскрытие не существенно для анализа
	HOUSE	событие-переключатель, может принимать лишь два значения FALSE или TRUE, что соответственно исключает или включает в рассмотрение входящие в него ветви дерева

данные по надежности и которые называются исходными событиями. Обычно такое событие обуславливается определенным элементом и, когда оно происходит, этот элемент необходимо отремонтировать или заменить.

Ромбы используются для обозначения детально не разработанных событий в том смысле, что детальный анализ не доведен до исходных типов отказов в силу отсутствия необходимой информации, средств или времени. «Авария из-за саботажа или диверсии» является примером детально не разработанного события. Часто такие события не увеличиваются при количественном анализе. Они включаются на начальном этапе, и их присутствие служит показателем глубины и ограничений данного исследования.

Символ «домик — ожидаемое событие». Иногда желательно рассмотреть различные особые случаи дерева отказов, заведомо предполагая, что одни события происходят, а другие события исключаются из рассмотрения. В таких случаях, целесообразно пользоваться символом, изображенным в виде домика. Когда этот символ включают в дерево отказов, предполагают, что данное событие обязательно происходит, и возникает противоположная ситуация, когда его исключают. Можно также опустить причинные взаимосвязи, расположенные под знаком «И», не учитывая события, заключенного в домике и стоящего на входе этого логического знака. Подобным образом можно аннулировать связи под логическим знаком «ИЛИ», присоединив событие, заключенное в домике, непосредственно к этому знаку.

Если событие, заключенное в прямоугольнике, может быть детально разработано, то его называют «состояние элемента». В противном случае событие называют «состояние системы». Для события «состояние системы» нельзя выделить определенный элемент, который является единственной причиной данного события. Сразу несколько элементов или даже отдельные подсистемы определяют это событие. Такие события следует разрабатывать до тех пор, пока не выявятся события «состояние элемента».

#### *3.1.4. Моделирование профессионального риска*

Категория «риск» представляет собой системное, целостное понятие, которое может быть полностью определено через совокупность подсистем:

- «вероятность присутствия опасности»,
- «вероятность воздействия опасности»,
- «вероятность возникновения ущерба».

«Вероятность присутствия и воздействия опасности» в сочетании определяют *вероятность несчастного случая*, как такового. «Вероятность возникновения ущерба» характеризует его *возможные последствия*. Исходя из того, что наличие указанных условий является необходимым, т.е. отсутствие любого из них приведет к отсутствию риска, символы событий связаны логическим знаком «И», а структурная схема имеет вид, изображенный на рис. 3.1.

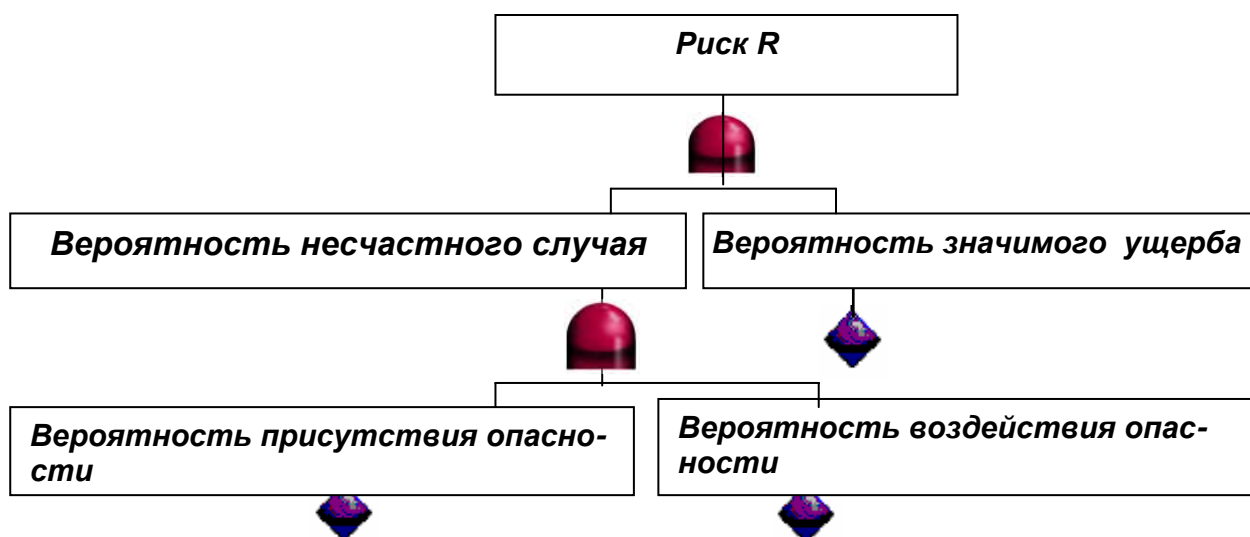


Рис. 3.1. Структурная схема риска

Вероятность присутствия опасности  $p(\Pi O)$ , в свою очередь зависит от присутствия, величины и характера опасных факторов. Негативное воздействие потенциально опасного фактора становится значимым лишь тогда, когда его интенсивность (величина) превышает определенный уровень (порог безопасности). Оценка кратности (степени) превышения безопасного порога воздействия может быть представлена как пороговая вероятность (кратность) воздействия  $K_{\phi j}$ .

С учетом однонаправленности действия, а также требований нормативных документов, выделяют группы факторов (химические, биологические, акустические и т.п.) и по степени превышения безопасного порога воздействия (ПДК, ПДУ и т.п.) оценивают их значимость. При необходимости более детального анализа, оценка проводится по каждому идентифицированному фактору.

Вероятность присутствия опасности  $p(\Pi O)$  от группы факторов определяется по зависимости

$$p(\Pi O)_i = \prod_{j=1}^n p(\Phi_j) = \prod_{j=1}^n (p(\Pi_{\phi j}) \times K_{\phi j}), \quad (3.5)$$

где  $i$  - группа факторов (химические, биологические, тяжесть, травмоопасность и т.п.);  $n$  - количество идентифицированных факторов, относящихся к данной группе;  $p(\Phi_j)$  - вероятность наличия опасности от  $j$  фактора;  $p(\Pi_{\phi j})$  - вероятность присутствия на рабочем месте  $j$  фактора;  $K_{\phi j}$  - параметр, определяющий степень превышения допустимых значений  $j$  фактора.

Вероятность присутствия опасности от всех идентифицированных групп факторов определяется по зависимости

$$p(\Pi O)_{\Sigma} = \prod_{i=1}^n p(\Pi O)_i \quad (3.6)$$

Вероятность воздействия опасности  $p(BO)$  определяется двумя параметрами – пространственным и временным, т.е. для того, чтобы факт воздействия состоялся, необходимо присутствие человека в зоне действия и во время проявления тех или иных опасных факторов. Кроме того, нахождение человека в зоне повышенной опасности является необходимым, но не достаточным условием. Вероятность воздействия опасности может быть минимизирована в результате использования эффективных СИЗ, СКЗ, а также организационно-технических, лечебно-профилактических и иных мероприятий.

Вероятность воздействия опасных факторов  $i$  группы  $p(BO)_i$  определяется по зависимости:

$$p(BO)_i = p(H_{oz})_i \times K_{ззi}, \quad (3.7)$$

где  $p(H_{oz})$  - вероятность нахождения человека в зоне воздействия опасных факторов  $i$  группы;  $K_{зз}$  – параметр, определяющий эффективность защитных мероприятий от воздействия факторов  $i$  группы.

Таким образом, вероятность возникновения несчастного случая от группы факторов однонаправленного действия  $i$  вида  $p(НС)_i$  составит:

$$p(НС)_i = p(ПО)_i \times p(BO)_i = \prod_{j=1}^n (p(\Pi_{фj}) \times K_{фj}) \times (p(H_{oz})_i \times K_{ззi}). \quad (3.8)$$

Величина  $p(НС)_i$ , по сути, представляет собой вероятность реализации опасных воздействий определенного вида, интенсивность которых может представлять угрозу для жизни и здоровья человека.

В соответствие со структурной схемой, степень риска, помимо вероятности опасного воздействия, оценивается возможностью причинения им определенного, значимого для человека ущерба. Оценка возможного ущерба производится через определение вероятности неблагоприятных исходов и степени их тяжести.

Вероятность возникновения ущерба определенного вида  $k$  (травм, профессиональных патологий, летальных исходов) представлена вероятностной характеристикой  $p(Y)_k$ , а возможная степень тяжести последствий - параметром  $p(T_n)_k$ , определяющим их значимость. Исходя из этого:

- вероятность возникновения ущерба, вызванного травмированием, может быть определена по зависимости:

$$p(ЗУ)_1 = p(Y)_1 \times p(T_n)_1, \quad (3.9)$$

- вероятность возникновения ущерба, вызванного возникновением профессиональных патологий:

$$p(ЗУ)_2 = p(Y)_2 \times p(T_n)_2, \quad (3.10)$$

- вероятность летальных исходов:

$$p(ЗУ)_3 = p(Y)_3 \times p(T_n)_3, \quad (3.11)$$

где параметр, определяющий тяжесть последствий  $p(T_n)_3 = 1$ .

Таким образом, оценка возможных последствий, характеризующая вероятность значимого ущерба определенного вида  $p(3Y)_k$ , определяется по зависимости:

$$p(3Y)_k = (1-p(Y)_1) \times (1-p(Y)_2) \times (1-p(Y)_3). \quad (3.12)$$

Итоговое выражение риска несчастного случая, сопровождающегося возникновением ущерба определенного вида  $R_k$ , определяется по зависимости:

$$\begin{aligned} R_k &= p(\text{ПО})_i \times p(\text{ВО})_i \times p(3Y)_k = \\ &= \prod_{i=1}^n (p(\text{Пфи}) \times K_{\text{фи}}) \times (p(H_{\text{оз}})_i \times K_{\text{эз}}) \times \\ &\times ((1-p(Y)_1) \times (1-p(Y)_2) \times (1-p(Y)_3)). \end{aligned} \quad (3.13)$$

Структурная схема принимает вид, представленный на рис. 3.2.

*Модель представляет собой теоретический инструмент для исследования механизмов, которые связывают между собой условия, обстоятельства, причины и закономерности возникновения несчастных случаев.*

Полученное выражение позволяет оценить риск, связанный с воздействием одной группы производственных факторов. Совокупность факторов, определяющих уровень безопасности в процессе трудовой деятельности, представлена в Руководствах (Р 2.2.1766 – 03 и Р 2.2.2006 - 05). В процессе формирования структурной схемы приняты следующие допущения:

- а) факторы, относящиеся к одной группе, имеют однонаправленное действие;
- б) факторы, относящиеся к одной группе, приводят к возникновению ущерба одного вида.

В процессе корректировки и настройки модели, при наличии как однонаправленных, так и разнонаправленных эффектов воздействий различных факторов, эти допущения могут быть устранены путем замены символов «И», «ИЛИ» и «m/n». Параметры  $p(\text{П}_{\text{фj}})$ ,  $K_{\text{фj}}$ ,  $p(H_{\text{оз}})$ ,  $K_{\text{эз}}$ ,  $p(Y)$  и  $p(T_n)$  должны быть рассмотрены более детально и могут быть представлены, как:

- а) вершинные события, формируемые с учетом мер по регулированию и контролю риска (исходных событий), в качестве которых используют:
  - исключение опасной работы (процедуры);
  - замену опасной работы (процедуры);
  - инженерные (технические) методы ограничения воздействия опасностей;
  - административные методы ограничения воздействия опасностей;
- б) параметрические функции, подчиняющиеся теоретическим законам распределения вероятностей.

Структура интегрального риска профессиональной деятельности с учетом всех указанных групп факторов может быть представлена в виде:

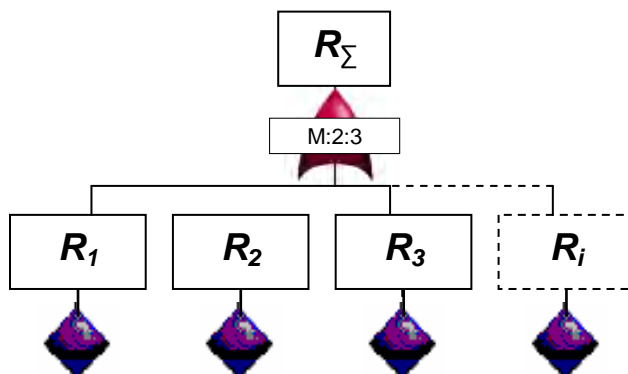


Рис. 3.3. Структурная схема интегрального риска

где  $R_1 \dots R_i$  – риски, обусловленные различными группами факторов (химическими, биологическими и т.п.). Символ «m/n» предполагает возможность перебора различных сочетаний и выявление комбинаций факторов, которые имеют наибольшую значимость в формировании величины интегрального риска.

Важнейшим элементом процедуры анализа риска является использование программных средств, предназначенных для обнаружения и идентификации скрытых факторов угрозы, прогнозирования угрожаемых ситуаций и построения сценариев их развития. Решение задач анализа риска возможно только при использовании специализированных информационных систем, реализующих в себе функции хранения и обработки массивов данных, моделирования и выполнения расчетных задач, представления результатов в наглядной графической форме, выработки советов и рекомендаций лицам, принимающим решения по управлению рисками и ликвидации аварий и т.д.

Построение схемы осуществлено с использованием программного комплекса "Relex 7.6" компании "RELEX SOFTWARE" (США), широко применяемого для анализа риска систем различных типов. Модуль деревьев отказов (Relex Fault Tree) лишен недостатков и ограничений классических деревьев отказов за счет введения новых логико-динамических операторов (вершин), учитывающих зависимость событий, временные соотношения и приоритеты. Введенные операторы, общие элементы и общие причины позволяют учитывать в модели многие особенности, присущие возникновению опасных последствий и технические, алгоритмические, организационные меры по обеспечению безопасности. В приложении **III** приведены другие программные продукты, используемые для этих целей.



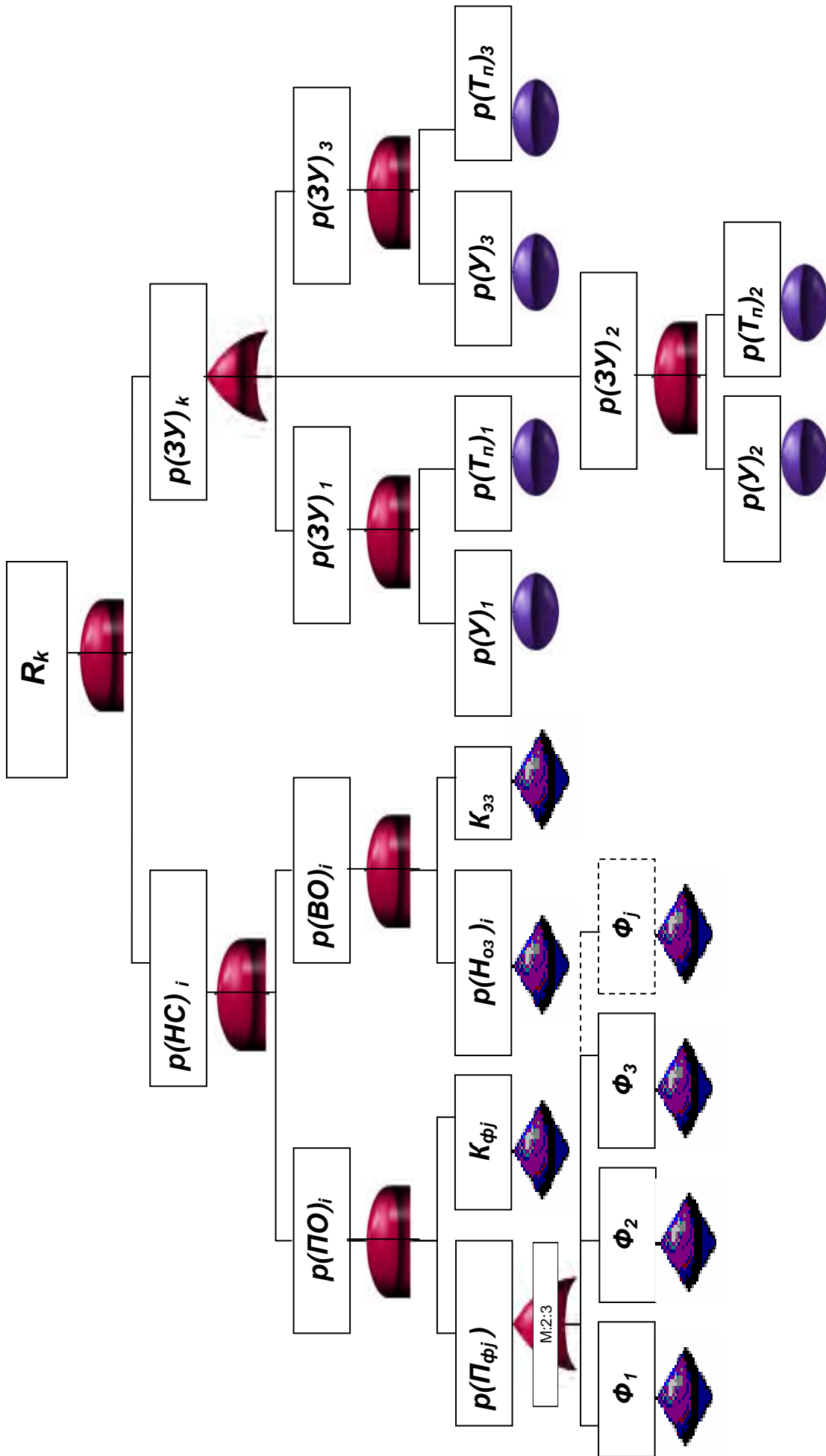


Рис. 3.2. Структурная схема модели профессионального риска

### **3.2. Определение параметров модели**

При математическом моделировании практически всегда присутствует необходимость нахождения компромисса между точностью результатов моделирования и возможностью получения подробной достоверной, необходимой для построения модели. Важное значение имеет установление критериев и шкал измерений, позволяющих количественно оценивать и измерять опасности, угрозы и степень защищенности человека от воздействия ОВПФ. На их основе формируются количественные и качественные параметры принимаемых управленческих решений, конструкторско-технологических и других нормативно-технических документов. Исходными данными для установления номенклатуры входных параметров могут являться результаты производственного контроля, государственного санитарно-эпидемиологического надзора или аттестации рабочих мест.

При разработке имитационной модели, содержащей стохастические или вероятностные элементы, всегда возникает вопрос, следует ли применять непосредственно эмпирические данные или же нужно воспользоваться одним из теоретических распределений. Законы распределения случайных величин являются объектом исследования при анализе надежности и безопасности любых систем и их элементов. Поэтому, прежде чем приступить к инженерным методам расчета, необходимо рассмотреть закономерности, которым подчиняются эти системы (элементы). Этот вопрос очень важен по трем причинам.

Во-первых, при использовании «сырых» эмпирических данных подразумевается, что моделируется только прошлое. Данные, полученные «вчера», строго говоря, отображают лишь вчерашнее поведение системы; возможными событиями оказываются только те, что уже произошли. Следовательно, необходимо предположить, что основная форма распределения вероятностей останется неизменной во времени и что его особенности, относящиеся к определенному периоду времени, будут повторяться.

Во-вторых, использование теоретического распределения в большинстве случаев дает лучшие результаты с точки зрения затрат времени.

В-третьих, при использовании теоретического распределения гораздо легче изменять параметры исходных значений, когда требуется проверить чувствительность модели или «проиграть» на ней различные возможные ситуации. Поэтому целесообразно сразу же проверить, не согласуются ли имеющиеся эмпирические данные с известным теоретическим распределением (на статистически приемлемом доверительном уровне). Если да, то следует воспользоваться теоретическим распределением.

Типы, характеристики и параметры некоторых распределений приведены в приложении **III**.

### 3.2.1. Определение исходных параметров на основе законов вероятностного распределения

Распределение вероятностей исходных событий может характеризоваться теоретическими законами (экспоненциальным, нормальным, логарифмическим, Вейбулла и т.д.) или задаваться пользователем. Известно, что для однозначного определения закона распределения, относящегося к некоторому типу, необходимо задать столько независимых чисел, сколько параметров имеет этот тип закона распределения (Вентцель, 1998). Этими числами могут быть, в частности, числовые характеристики распределения, т.е. показатели некоторой составляющей надежности (безопасности). Таким образом, выбор числа показателей некоторой составляющей надежности связывается с числом параметров того типа закона распределения, к которому относится распределение определяющей эту составляющую надежности случайной величины.

Так, например, если известно, что случайная величина  $T$  подчиняется нормальному закону распределения, который, как известно, относится к двухпараметрическим законам, то свойство безотказности системы целесообразно задавать двумя показателями, например, средней наработкой на отказ  $T_0$  и вероятностью безотказной работы в пределах заданного интервала времени  $P(t)$ . Если случайная величина  $T$  в системе подчинена экспоненциальному распределению, являющемуся однопараметрическим, то очевидна бесполезность использования более одного численного показателя, т.е. все показатели, кроме одного, будут неинформативными, поскольку могут быть легко вычислены на его основе.

Для проверки совместимости экспериментальных данных (гистограмм) с некоторым теоретическим распределением подбирается одно или несколько теоретических распределений (например, нормальное, Пуассона, биномиальное, экспоненциальное, гамма-распределение и т.д.). После этого ему следует определить параметры распределения с тем, чтобы подвергнуть их проверке по статистическим критериям. Для статистической оценки гипотезы о том, что совокупность эмпирических, или выборочных данных незначительно отличается от той, которую можно ожидать при некотором теоретическом законе распределения, применяется стандартный критерий «хи-квадрат» (*критерий Пирсона*). Такой, достаточно общий, но строгий подход может применяться по отношению к любой составляющей надежности и безопасности эргатической системы.

Таким образом, законы распределения случайных величин являются объектом исследования при анализе надежности и безопасности систем и их элементов. Поэтому, прежде чем приступить к инженерным методам расчета, необходимо рассмотреть закономерности, которым подчиняются эти системы (элементы). Для **моделирования отказов** в технических и эргатических системах применяются следующие законы распределения вероятностей.

**Экспоненциальный.** Экспоненциальное распределение часто используют при анализе данных, зависящих от времени, когда частота появления событий не изменяется. *Экспоненциальный закон* обладает важным свойством: вероятность безотказной работы объекта на данном интервале времени  $(t, t + \tau)$  зависит не от времени предшествующей работы  $t$ , а только от длины интервала  $\tau$ . Распределение случайной величины  $x$  называется экспоненциальным, если плотность вероятности имеет вид

$$f(x) = \lambda e^{-\lambda \cdot x} \quad (3.14)$$

и при условии, что  $\lambda = \text{const}$  и  $x \geq 0$ .

Если  $x$  - наработка до отказа, то величина  $\lambda$  называется интенсивностью отказов. График плотности распределения  $f(x)$  (рис. 3.4) представляет собой спадающую экспоненту, у которой при  $x=0$   $f(x) = \lambda$ , а при  $x \rightarrow \infty$   $f(x) \rightarrow 0$ .

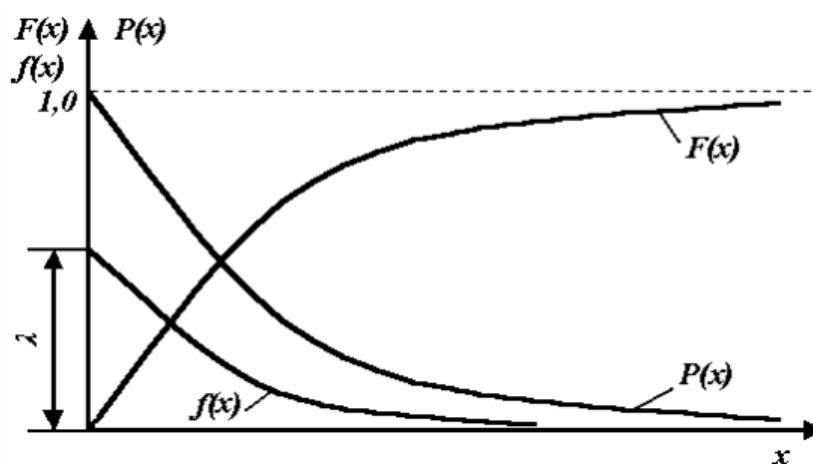


Рис. 3.4. Графики плотности вероятности  $f(x)$ , функции  $F(x)$  и вероятности безотказной работы  $P(x)$

Функция распределения находится по уравнению:

$$F(x) = \int_0^x f(x) dx = 1 - e^{-\lambda \cdot x}. \quad (3.15)$$

Если  $x$  - наработка до отказа, то  $F(x)$  - это вероятность отказа до момента  $x$ .

Чем больше  $x$ , тем больше вероятность отказа. График функции распределения  $F(x)$  представляет собой нарастающую экспоненту, у которой при  $x = 0$   $F(0) = 0$ , а при  $x \rightarrow \infty$   $F(\infty) \rightarrow 1$ . Вероятность безотказной работы до момента  $x$

$$P(x) = 1 - F(x) = e^{-\lambda \cdot x}. \quad (3.16)$$

График функции безотказной работы  $P(x)$  представляет собой спадающую экспоненту, у которой при  $x = 0$   $P(0) = 1$ , а при  $x \rightarrow \infty$   $P(\infty) \rightarrow 0$ .

Обычно этот закон выполняется тогда, когда отказы объектов независимы, случайны во времени и носят внезапный характер. Для большинства объектов данный закон проявляется при установившемся режиме эксплуатации ( $\lambda = \text{const}$ ). Этому закону подчиняются хорошо организованные процессы.

**Нормальный.** Нормальное распределение (или распределение Гаусса) является наиболее известным двухпараметрическим распределением. Все нормальные распределения симметричны. Двумя параметрами этого распределения являются  $M$  и  $\sigma$ , т. е. его среднее значение и стандартное отклонение.

Нормальные распределения часто используют для описания характеристик оборудования, которое имеет возрастающую со временем частоту отказов и занимает особое место в теории вероятностей и в теории надежности. Закон нормального распределения случайных величин находит широкое применение при оценке надежности различных систем. Модели нормального распределения описывают плотность вероятности отказа и вероятность отказа объекта за время  $t$ . Нормальное распределение часто применяется при оценке надежности объектов, подверженных действию старения и износа. Этот закон наблюдается при постепенных отказах как электрических, так и механических объектов. Он широко используется при анализе безотказности сложных систем с учетом ухода параметров за допустимые пределы.

Нормальным распределением называется распределение вероятности непрерывной случайной величины, которая может принимать как отрицательные, так и положительные значения во всем диапазоне возможных значений от  $-\infty$  до  $+\infty$ . Плотность вероятности имеет вид:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(x-M)^2}{2\sigma^2}}, \quad (3.17)$$

где  $\sigma$  - положительная величина,  $M$  - любая положительная, отрицательная или нуль.

Кривая плотности (рис. 3.5) симметрична относительно центра, так как  $(x - M)^2$ , и достигает максимума при  $x = M$ .

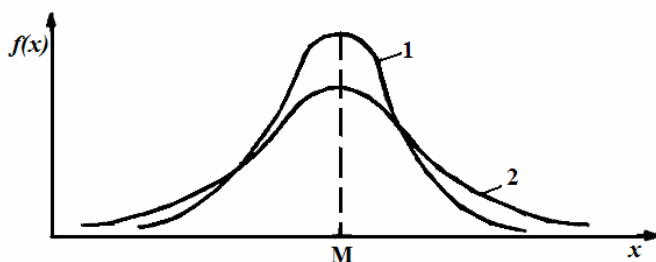


Рис. 3.5. Графики плотности вероятности нормального распределения  $\sigma_1 < \sigma_2$ ;  $M_1 = M_2 = M$

Значит, математическое ожидание – это среднее значение случайной величины, а  $\sigma$  – среднеквадратическое отклонение, определяет величину рассеивания вокруг центра распределения. Функция распределения находится по уравнению:

$$F(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot \int_0^x e^{-\frac{(x-M)^2}{2\sigma^2}} dt. \quad (3.18)$$

Вероятность безотказной работы до момента  $x$

$$P(x) = 1 - F(x). \quad (3.19)$$

**Логарифм нормальный.** Логарифмически-нормальное распределение подобно нормальному распределению, за исключением того, что вместо самих величин принимают нормально распределенные логарифмы значений случайной переменной. Таким образом, все значения положительные, распределения сдвинуты вправо, а степень смещения зависит от  $\sigma$ .

Логарифмически-нормальные распределения часто встречаются при обработке данных усталостных испытаний, данных по обслуживанию и ремонту (по срокам ремонта), а также по отказам и ремонтам оборудования. Графики плотности вероятности этого распределения приведены на рис. 3.6.

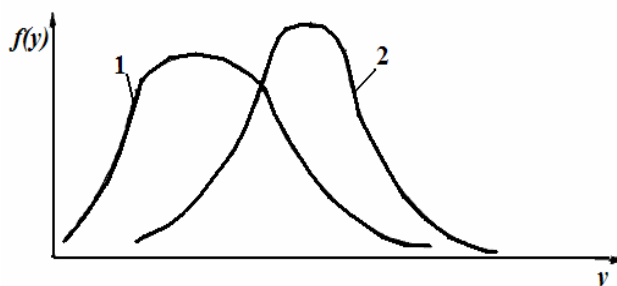


Рис 3.6. График плотности вероятности логнормального распределения:

1 – для  $\sigma_1$ , 2 – для  $\sigma_2$

**Вейбулла.** Это распределение непрерывной случайной величины, которая может принимать только положительные значения с плотностью вероятности:

$$f(x) = \frac{\alpha}{\beta} \cdot x^{\alpha-1} \cdot e^{-\frac{x^\alpha}{\beta}}, \quad (3.20)$$

функция распределения:

$$F(x) = 1 - e^{-\frac{x^\alpha}{\beta}} \quad (3.21)$$

и вероятность безотказной работы:

$$P(x) = e^{-\frac{x^\alpha}{\beta}}. \quad (3.22)$$

где  $x$  - величина переменная. Постоянные параметры  $\alpha$  и  $\beta$  носят название:  $\alpha$  - параметр формы и  $\beta$  - параметр масштаба. В экспоненциальном распределении параметр  $\lambda$  - один, здесь - два. Значит, это распределение более сложное. Оно служит для расчетов долговечности технических объектов, для описания распределения сроков службы различных элементов машин. Оно хорошо описывает отказы механических систем в начальный период эксплуатации и отказы из-за хрупких и усталостных разрушений, может применяться как в технических системах машиностроения, радиоэлектроники, приборостроения, энергетики, так и для управления риском в сложных проектах и программах. При  $\alpha = 1$  получим экспоненциальное распределение.

Параметры распределения  $\alpha$  и  $\beta$  можно найти по формулам:

$$\alpha = \frac{\ln \ln \left[ \frac{1}{1 - f(x_1)} \right] - \ln \ln \left[ \frac{1}{1 - f(x_2)} \right]}{\ln x_1 - \ln x_2}; \quad (3.23)$$

$$\beta = \frac{x_1^\alpha}{\ln \left[ \frac{1}{1 - f(x_1)} \right]}. \quad (3.24)$$

Графики  $f(x)$  распределения Вейбулла при различных значениях параметра  $\alpha$  приведены на рис. 3.7.

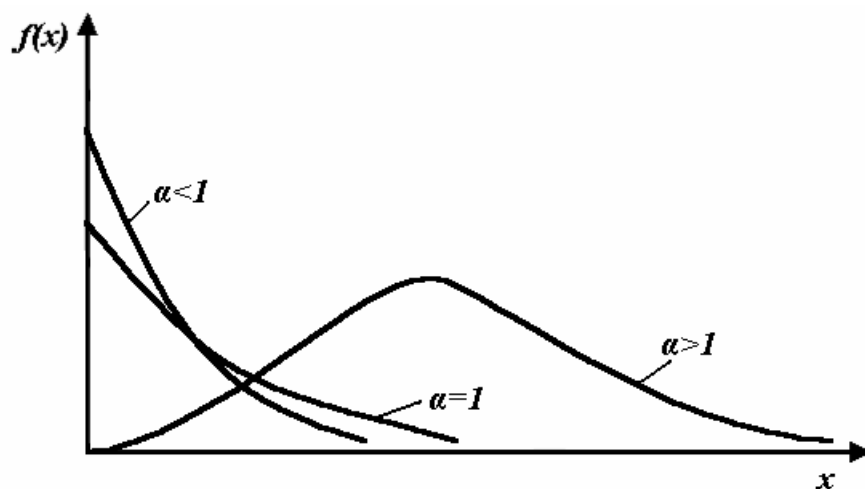


Рис. 3.7. Графики плотности распределения Вейбулла

**Равномерный.** Это распределение непрерывной случайной величины, которая может принимать только положительные значения. Функция распределения имеет следующий вид:

$$F(t) = \begin{cases} 0, & t \leq a \\ (t - a)/(b - a), & a < t < b \\ 1, & t \geq b \end{cases} . \quad (3.25)$$

**Произвольный** (вероятность жестко указывается пользователем). В данном случае вероятность жестко указывается в формуле. Для определения плотности вероятности используется формула:

$$f(t) = a. \quad (3.26)$$

Функция распределения имеет следующий вид:

$$F(t) = a \cdot x. \quad (3.27)$$

И вероятность безотказной работы:

$$P(t) = 1 - a \cdot x. \quad (3.28)$$

### 3.2.2. Определение исходных параметров на основе статистической информации и экспертных оценок

Обоснованное применение того или иного закона распределения возможно лишь при наличии достоверной информации о входных параметрах модели. Вместе с тем, необходимо учитывать, что:

- во-первых, изменения различных параметров (технология производства, отказы оборудования, природные воздействия, функциональные особенности человека и т.д.) подчиняются различным законам распределения;
- во-вторых, эти законы еще мало исследованы и не всегда неизвестны;
- в третьих, практические эксперименты для выявления закономерностей функционирования эргатических (человеко-машинных) систем зачастую бывают невозможны, неэтичны или неэкономичны по целому ряду причин.

Одна из главных составляющих применения метода деревьев отказов – это оценка вероятностей событий. Если вероятности отдельных событий оценены неправильно или недостаточно точно, то все последующие вычисления для оценки вероятности главного события окажутся недостоверными.



В зависимости от наличия статистической информации, возможны следующие варианты решений:

- использование достоверных данных на основе статистической информации;
- использование экспертных (полуколичественных, балльных) оценок по шкале от 0 до 1;
- использование критериальных значений, принятых в действующих нормативно-технических и санитарно-гигиенических документах;
- комбинированный подход.

**Нахождение человека в зоне действия ОВПФ (параметр А).** Время выполнения работ в зоне возможного действия ОВПФ может быть определено путем хронометражных наблюдений или по фотографии рабочего дня. Абсолютное время определяется на основании данных за смену, после чего рассчитывается время пребывания в относительных величинах, т. е. в процентах к 8-часовой смене. Данный показатель характеризует вероятность нахождения человека в зоне действия ОВПФ. В табл. 3.3 приведены предлагаемые критерии оценки  $P_A$ .

Таблица 3.3

Критерии оценки  $P_A$

Продолжительность нахождения в опасной зоне	Относительное время пребывания в опасной зоне, %	$P_A$
Нулевая	0	0
Кратковременная	20	0,2
Средней продолжительности	40	0,4
Долговременная	60	0,6
Продолжительная	80	0,8
Постоянная	100	1,0

**Проявление (возникновение) ОВПФ (параметр В).** Идентификация опасных и вредных факторов производится в ходе работ по аттестации рабочих мест по условиям труда. Объектами анализа могут быть технические системы, технологические процессы, параметры окружающей среды, а также социально-психологические факторы. Вероятностные характеристики реализации ОВПФ  $P_{Vi}$  определяются на основе проектных или статистических данных по интенсивности отказов техники, частоте нарушений параметров технологического процесса, возникновения ошибок эксплуатирующего ее персонала и вероятности нерасчетных для них внешних воздействий. Эти показатели могут быть найдены в соответствующей научно-технической лите-

ратуре. Оценку вероятности или частоты воздействия ОВПФ возможно осуществлять по результатам моделирования или с помощью статистических данных об аналогичных происшествиях. В табл.3.4 приведены предлагаемые критерии оценки  $P_B$ .

Таблица 3.4

Критерии оценки  $P_B$

Вероятность реализации негативного воздействия ОВПФ	$P_B$
Нулевая	0,0
Минимальная	0,2
Низкая	0,4
Средняя	0,6
Высокая	0,8
Чрезвычайно высокая	1,0

В документах Европейского сообщества «ЗДОРОВЬЕ И БЕЗОПАСНОСТЬ ТРУДА», предусматривающих общий подход к оценке существующих на рабочем месте рисков, приведены следующие рекомендации (табл. 3.5).

Таблица 3.5

Вероятность реализации негативных воздействий на основе статистических данных

Возможность	Описание	Вероятность
Всокая	Большая возможность происшествия	Степень = 0,7-1
Средняя	Происшествие будет происходить равномерно	Степень=0,3-0,7
Низкая	Происшествие будет происходить неравномерно	Степень=0,05-0,3
Очень низкая	Происшествие будет происходить редко	Степень=0,001-0,05
Крайне низкая	Происшествие будет происходить очень редко	Степень= $10^{-6}$ -0,001
Незначительная	Происшествие практически не произойдет	Степень=0- $10^{-6}$

Описание	Вероятность
Редкий случай	0,00-0,01
Маловероятный случай	0,02-0,05
Возможный случай	0,06-0,20
Часто возможный случай	0,21-0,50
Случай происходит постоянно	0,51-1,00

**Превышение безопасного уровня ОВПФ (параметр С).** Кратность превышения безопасных значений исследуемых факторов фактически характеризует класс опасности условий труда по данному фактору. Исходя из этого, градация интенсивности воздействий  $P_C$  по каждому фактору может быть установлена в соответствие с картой аттестации рабочих мест по условиям труда. Анализ статистических выборок позволяет установить кратность превышения значений исследуемого фактора для работников данной профессии. На предварительном этапе значения  $P_C$  могут быть приняты из табл. 3.6.

Таблица 3.6

Критерии оценки  $P_C$

Интенсивность воздействия ОВПФ	Класс опасности	$P_C$
Нулевая	1	0,0
Минимальная	2	0,2
Слабая	3.1	0,4
Умеренная	3.2	0,6
Сильная	3.3	0,8
Чрезвычайно сильная	4	1,0

**Возможность возникновения ущерба (параметр D).** Определение вероятности возникновения ущерба неизбежно предусматривает значительную степень вовлечения экспертных оценок. На предварительном этапе при оценке возможности возникновения ущерба целесообразно применять кодификацию и систему Международной классификации функционирования, ограничений жизнедеятельности и здоровья (МКФ). Результаты оценки ущерба по степени весомости доказательств подразделяют на следующие категории доказанности: 1А (доказанный), 1Б (предполагаемый) или 2 (подозреваемый). Исходя из этого, вероятностная оценка возникновения ущерба  $P_D$  может иметь три градации (табл. 3.7). Более достоверная информация по профессиям может быть получена на основе анализа статистики и данных из официальных источников.

**Значимость ущерба (параметр E).** При априорной оценке тяжести нарушений здоровья следует руководствоваться рекомендациями (Р 2.2.1766 - 03), согласно которым несчастные случаи на производстве подразделяют на две категории: тяжелые и легкие. Квалифицирующими признаками являются характер полученных повреждений и осложнения, связанные с ними, а также усугубление имеющихся и развитие хронических заболеваний; длительность

расстройства здоровья и последствия полученных повреждений. С учетом возможности летального исхода, вероятностный критерий оценки тяжести ущерба  $P_E$  на начальном этапе моделирования может принимать значения 0,1 (ущерб низкой значимости, легкий), 0,5 (ущерб высокой значимости, тяжелый) и 1,0 (запредельный ущерб, летальный исход).

Таблица 3.7

Критерии оценки  $P_D$

Вид ущерба	Категория	$P_D$
Подозреваемый	2	0,1
Предполагаемый	1Б	0,5
Доказанный	1А	1,0

Более детальная градация разработана в указанных ранее документах Европейского сообщества ЕС DOC/05/20/97. В соответствии с приведенными в них рекомендациями, для оценки степени тяжести может быть использована 9-балльная шкала. В этом случае критерий оценки тяжести ущерба  $P_E$  может принимать значения, представленные в табл. 3.8.

Таблица 3.8

Критерии оценки  $P_E$

Степень тяжести	$P_E$
<b>9</b> – смерть	0,9 – 1,0
<b>8</b> – инвалидность 1-й группы	0,8
<b>7</b> – инвалидность 2-й группы	0,7
<b>6</b> – инвалидность 3-й группы	0,6
<b>5</b> – потеря работоспособности более чем на 4 недели	0,5
<b>4</b> – потеря работоспособности менее чем на 4 недели	0,4
<b>3</b> – потеря работоспособности до 4 дней	0,3
<b>2</b> – небольшие ранения	0,2
<b>1</b> – ранений нет	0,1

### 3.3. Оценка результатов моделирования

Оценка результатов моделирования зависит от характера исходных данных. В том случае, когда исходные данные (вероятности параметров) представлены в виде экспертных оценок, может быть рекомендована эмпирическая шкала уровня риска (табл. 3.9).

На основе градаций риска осуществляется разработка сценариев действий для различных вариантов. Примерный перечень мер по уменьшению рисков приведены в табл. 3.10, разработанной в Технологическом университете Тампере, Финляндия (ЕС DOC 1996–2000), которую используют, чтобы оценить риски рабочей среды на предприятиях с относительно простыми производственными технологическими процессами.

Таблица 3.9

Эмпирическая шкала уровня риска  $P_{\Sigma}$

№	Величина риска	Наименование градаций
1	0,0 – 0,1	Минимальный риск
2	0,1 – 0,3	Малый риск
3	0,3 – 0,4	Средний риск
4	0,4 – 0,6	Высокий риск
5	0,6 – 0,8	Максимальный риск
6	0,8 – 1,0	Критический риск

Таблица 3.10

Примерный перечень мер по уменьшению рисков

Величина риска	Степень риска	Необходимые мероприятия
0,0 – 0,2	Незначительный риск I	Специальные мероприятия не нужны. Документировать риски необязательно
0,2 – 0,4	Приемлемый риск II	Специальные мероприятия для уменьшения риска не нужны, но рекомендуется оценить, какие мероприятия могли бы быть реализованы с минимальными затратами
0,4 – 0,6	Терпимый риск III	Необходимы мероприятия для уменьшения риска, но их необязательно реализовывать немедленно, необходимо принимать во внимание экономические соображения. Мероприятия необходимо проводить по крайней мере в течение 3-5 месяцев после оценки риска

<b>Величина риска</b>	<b>Степень риска</b>	<b>Необходимые мероприятия</b>
0,6 – 0,8	Значительный риск IV	Работу нельзя продолжать, пока не приняты меры для уменьшения или устранения риска. Если работу невозможно прервать, то мероприятия (коллективные) необходимо принять в течение 1-3 месяцев, в зависимости от количества работников, подверженных риску. Необходимо своевременно приобрести средства индивидуальной защиты
0,8 – 1,0	Недопустимый риск V	Уменьшение риска обязательно. Если из-за недостатка средств нет возможности осуществить превентивные мероприятия, то работа в опасной зоне категорически запрещается

Если в качестве исходных параметров используются данные статистических исследований (т.е. истинные значения вероятностей тех или иных факторов риска), оценка может производиться по шкале Хантера (Covello, 1993), приведенной в таблице 3.11.

Таблица 3.11

Связь между количественными характеристиками возможности события и значениями соответствующей вероятности (шкала Хантера)

<b>Характеристика события</b>	<b>Вероятность</b>
Событие является достоверным или гипотезу о нем можно считать весьма правдоподобной	<b>1</b>
Событие не может считаться достоверным, но гипотеза о нем представляется правдоподобной	<b>10<sup>-1</sup></b>
Гипотеза о событии представляется неправдоподобной, однако ее нельзя исключить	<b>10<sup>-2</sup></b>
Событие, вероятно, не произойдет — судя по имеющимся данным, его надо считать невероятным, однако эти данные вызывают сомнение	<b>10<sup>-3</sup></b>
Данные о событии являются надежными, но гипотеза о том, что оно произойдет, весьма неправдоподобна	<b>10<sup>-4</sup></b>
Гипотеза о событии в высшей степени неправдоподобна	<b>10<sup>-5</sup></b>
Событие физически возможно, но оно почти наверняка не произойдет	<b>10<sup>-6</sup></b>
С учетом всех имеющихся данных, событие надо считать физически невозможным	<b>0</b>

В этом случае при установлении фиксированных значений  $P_{DE}$  (в диапазоне от 0,01 до 1,0) величина  $P_{\Sigma}$  позволяет оценить вероятность наступления определенных последствий исследуемых воздействий (от незначительных травм до летального исхода). Это дает возможность соотносить полученные результаты с рекомендуемыми в ряде нормативных документов критериями оценки приемлемого риска (целевыми уровнями риска).

Однако необходимо учитывать, что предлагаемые критерии носят условный характер и в любом случае окончательное решение о допустимой для конкретной ситуации вероятности нежелательного исхода остается за разработчиком.

### *3.3.1. Определение минимальных аварийных сочетаний*

Дерево отказов может быть использовано для анализа чувствительности отдельных событий к отклонениям параметров системы или для выявления тех частей системы, которые наиболее сильно влияют на вероятность возникновения неблагоприятных событий. Оно позволяет выявить все пути, которые приводят к главному событию, и, что наиболее важно, определить минимальное число комбинаций событий, которые могут привести к главному событию.

*С помощью этого метода можно сравнительно просто исследовать влияние альтернативных защитных мер. Он оказывается полезным при определении причин несчастных случаев.*

Главное событие может инициироваться большим числом исходных событий, некоторые из которых могут перекрываться или дублироваться в различных частях процесса. Если можно выделить минимальное число цепочек событий, которые приведут к главному событию, то можно далее будет определить те исходные события, которые с наибольшей вероятностью приведут к главному событию, и те места, где модернизация системы или процесса может быть наиболее эффективной.

*Минимальным аварийным сочетанием («набором минимальных кратчайших путей» (set of minimum cut sets)) называют наименьший набор исходных событий, при которых наступает конечное событие. В деревьях отказов размер аварийного сочетания определяется количеством исходных событий, соединенных символом «И».*

*Минимальная траектория («кратчайший путь» (cut set)) – это наименьшая группа событий, без возникновения которых отказ системы не происходит. Минимальные траектории представляют собой события, которые являются критическими для поддержания объекта в рабочем состоянии, иначе говоря, это – события, наступление которых должно быть исключено для предотвращения конечного события.*

Вероятность появления аварийного сочетания  $Q_{AB}$  равна:

$$Q_{AB} = \prod_{i=1}^n Q(X_i) \quad , \quad (3.29)$$

где  $Q(X_i)$  – вероятность возникновения  $i$ -го исходного события (отказа  $i$ -го элемента системы) в данном аварийном сочетании;  $n$  – число исходных событий (элементов системы) в сочетании.

Аварийное сочетание, включающее другие сочетания, не является минимальным аварийным сочетанием. Аварийные сочетания с единичными событиями, вероятность появления которых не слишком мала, создают основную потенциальную угрозу функционирования системы.

### 3.3.2. *Определение значимости исходных параметров и аварийных сочетаний*

*Вклад элемента или аварийного сочетания в появление конечного события называется его значимостью.* Эта характеристика является функцией времени, а также структуры системы. Анализ значимости сходен с анализом чувствительности и, таким образом, является полезным при проектировании, диагностике и оптимизации систем.

Например, можно оценить возможные изменения степени риска за счет изменения показателей вероятностей возникновения опасности, нахождения в опасной зоне, использования или неиспользования средств защиты и т.д. Мероприятия по снижению риска можно проводить в порядке значимости исходных событий, а совершенствовать систему путем улучшения элементов с относительно большей значимостью.

Вклад элемента или аварийного сочетания оценивают по следующим критериям (ЕС DOC/05/20/97, Александровская, 2001 и др):

- ***расчет значимости исходных событий:***
  - по Бирнбауму (вероятность состояния системы, при котором появление события  $i$  является критическим);
  - по критичности (вероятность того, что событие  $i$  произошло и является критическим для отказа системы, при условии, что отказ системы произошел);
  - по Фусселю-Везели (вероятность того, что событие  $i$  вносит вклад в отказ системы);
  - по Барлоу-Прошану (ожидаемое число отказов, вызываемых исходным событием  $i$  в интервале  $[0, t]$ );
  
- ***расчет значимости аварийных сочетаний:***
  - по Фусселю-Везели (вероятность того, что минимальное аварийное сочетание  $i$  способствует отказу системы);
  - по Барлоу-Прошану (ожидаемое число отказов системы, вызываемых минимальным аварийным сочетанием  $i$ ).



### *Структурная значимость по Бирнбауму $\Delta g_i[t]$ для исходных событий*

Это простейший критерий значимости, являющийся частной производной (классическая чувствительность) от  $F_s$  системы по параметрам элементов  $F_i$ . Функция коэффициента простоя системы  $g[F]$  является многочленной линейной функцией  $F$ . Таким образом, частная производная имеет вид

$$\frac{\partial g(F(t))}{\partial F_i(t)} = g(I_i, F(t)) - g(0_i, F(t)) \equiv \Delta g_i(t). \quad (3.30)$$

Таким образом, это просто разница вероятности возникновения конечного события системы при вероятности исследуемого исходного события равной 1 и 0, при неизменных всех остальных параметров системы.

### *Значимость по критичности $I_i^{CR}[t]$ для исходных событий*

Значимость по критичности учитывает тот факт, что труднее усовершенствовать более надежные элементы, чем менее надежные. Значимость элемента  $i$  определяется выражением

$$I_i^{CR}(t) = \lim_{\Delta F_i \rightarrow 0} \frac{[\frac{\Delta g(F(t))}{g(F(t))}]}{[\frac{\Delta F_i(t)}{F_i(t)}]} = \frac{\partial g(F(t))}{\partial F_i(t)} \times \frac{F_i(t)}{g(F(t))}. \quad (3.31)$$

Подставляя выражения для значимости по Бирнбауму, получаем:

$$I_i^{CR}(t) = \frac{\Delta g_i \times F_i(t)}{g(F(t))} = \frac{[g(I_i, F(t)) - g(0_i, F(t))]F_i(t)}{g(F(t))}. \quad (3.32)$$

### *Значимость по Фусселю-Везели $I_i^{FV}[t]$ для исходных событий*

Эта мера была введена Везели и использована Фусселем в его методике ручного вычисления. Основная идея заключается в том, что элемент, не будучи критичным, может способствовать возникновению отказа, находясь в одном или нескольких аварийных сочетаниях. Под выражением «не будучи критичным» подразумевается, что восстановление элемента не вызовет изменения общего состояния системы.

Вероятность того, что элемент  $i$  способствует возникновению отказа в аварийном сочетании  $g_i(F(t))$  при условии, что система отказывает в момент времени  $t$ ,  $g(F(t))$ , является основой определения

$$I_i^{FV}(t) = \frac{g_i(F(t))}{g(F(t))}. \quad (3.33)$$

где  $g_i(F(t)) = \bigcup_{k \in K_j} K_j$ , - показатель объединения всех аварийных сочетаний  $K_j$ , которые содержат исходное событие  $i$ .

*Значимость по Барлоу-Прошану  $I_i^{BP}[t]$  для исходных событий*

Анализ по Барлоу-Прошану предназначен для систем, элементы которых отказывают последовательно один за другим. Анализ позволяет получить выражение для ожидаемого числа отказов, вызываемых исходным событием  $i$  в интервале времени от 0 до  $t$ . Значимость по Барлоу-Прошану отличается от ранее введенных категорий тем, что здесь рассматриваются отказы, обусловленные последовательностью действий; эти действия вызывают отказ системы со временем и, следовательно, являются функциями предыдущего поведения, а не какого-либо момента времени. Уравнение Барлоу-Прошана имеет вид

$$I_i^{BP}(t) = \int_0^t [g(I_i, F(t)) - g(0_i, F(t))] \cdot f(t) \cdot dt. \quad (3.34)$$

В сущности  $I_i^{BP}$ , есть вероятность отказа системы за счет критичности аварийного сочетания, содержащего  $i$  отказов, причем элемент  $i$  отказывает последним.

Для нормирования полученных результатов результат делится на вероятность возникновения конечного события.

$$I_i^{BP}(t) = \frac{\int_0^t [g(I_i, F(t)) - g(0_i, F(t))] \cdot f(t) \cdot dt}{F_s(t)}. \quad (3.35)$$

*Значимость по Фусселю-Везели  $I_i^{*FV}[t]$  для аварийных сочетаний*

Вероятность того, что минимальное аварийное сочетание  $i$  способствует отказу системы. Это простое и удобное выражение уже встречалось выше:

$$I_i^{*FV}(t) = \frac{F_i(t)}{F_s(t)}. \quad (3.36)$$

Здесь  $F_i$  – это вероятность возникновения минимального аварийного сочетания, а  $F_s$  вероятность возникновения конечного события дерева отказов.

*Значимость по Барлоу-Прошану  $I_i^{*BP}[t]$  для аварийных сочетаний*

Значимость  $i$ -го аварийного сочетания по Барлоу-Прошану определяется как вероятность того, что оно вызывает отказ системы. Это означает, что какое-то исходное событие в аварийном сочетании должно произойти, при этом все другие события произошли раньше. Формализованное выражение имеет вид:

$$I_i^{*BP}(t) = \frac{\sum_{j \in i} \int_0^t [1 - g(0j_i, I^{i-\{j\}}, F(t))] \cdot \prod_{k \neq j; k \in i} F_k(t) \cdot f(t) \cdot dt}{F_s(t)}, \quad (3.37)$$

где  $\mathbf{1}^{i-\{j\}}$  означает, что  $F_i$  равно единице для каждого исходного события при  $i \neq j$ , содержащегося в  $i$ -м аварийном сочетании.

### **Контрольные вопросы**

13. *Пояснить сущность основных методов моделирования.*
14. *Дать характеристику методов компьютерного моделирования.*
15. *Пояснить сущность методов математического имитационного моделирования риска.*
16. *Пояснить сущность структурного моделирования.*
17. *Пояснить, что представляет собой математическое описание предметной области.*
18. *Дать общее определение системы.*
19. *Пояснить суть термина «эргатическая система».*
20. *Дать системное определение «профессионального риска».*
21. *Пояснить методику и процедуру построения «дерева отказов».*
22. *Пояснить смысл логических символов и символов событий, используемых в «дереве отказов».*
23. *Пояснить логику построения модели «профессионального риска».*
24. *Пояснить методы определения параметров модели.*
25. *Дать общую характеристику основных законов распределения вероятностей.*
26. *Дать общую характеристику основных методов определения исходных параметров на основе статистической информации.*
27. *Пояснить смысл определения минимальных аварийных сочетаний.*
28. *Пояснить смысл определения значимости исходных параметров и аварийных сочетаний.*
29. *Дать общую характеристику критериев, определяющих значимости исходных параметров и аварийных сочетаний.*

## Заключение

Любая профессиональная деятельность характеризуется соответствующими этой деятельности видами рисков. Многогранность понятия риска обусловлена разнообразием факторов, характеризующих как особенности конкретного вида деятельности, так и многочисленные факторы неопределенности, в условиях которой эта деятельность осуществляется.

Оценка риска неблагоприятного воздействия факторов производственной среды для жизни и здоровья человека - это многостадийный процесс, предполагающий использование данных различных научных дисциплин. Для правильного учета этих факторов необходим как научный анализ, так и экспертные оценки. Конкретные численные значения риска должны рассматриваться только в контексте со всеми факторами неопределенности, выявленными в процессе анализа,

Методы исследования риска весьма разнообразны, тем не менее, в общем плане, предполагают применение методологии систем. Системный анализ, как методология решения проблем, выполняет роль каркаса, объединяющего все необходимые методы, знания и действия для решения проблемы.

Моделирование профессионального риска представляет собой метод исследования, состоящий из этапов построения модели риска, модельного эксперимента и интерпретации полученных результатов. Важной особенностью этого типа анализа является использование так называемого метода деревьев, учитывающего все возможные сценарии возникновения и развития опасных ситуаций, причем каждый сценарий характеризуется собственной вероятностью.

Системный анализ психофизиологических, социальных, технических и иных параметров с использованием компьютерного моделирования позволяет выявить корреляционную связь существенных факторов системы «человек - техника - производственная среда» и их значимость для ее безопасного и устойчивого функционирования. Он позволяет не только рассчитать вероятности неблагоприятных событий, но и оценить их конкретные последствия.

Исследование риска методом моделирования следует рассматривать как процесс, имеющий целью разработать научное обеспечение безопасности человека в процессе трудовой деятельности и путем внедрения новых информационных технологий повысить результативность деятельности по ее реализации.

## Список литературы

- Акимов В.А., Лапин В.Л., Попов В.М. и др. Надежность технических систем и техногенный риск. – М.: ЗАО ФИД «Деловой экспресс», 2002.
- Актуальные вопросы совершенствования законодательства об охране труда // Аналитический вестник Совета Федерации ФС РФ, № 5 (322), 2007.
- Александровская Л.Н., Аронов И.З., Елизаров А.И. и др. Статистические методы анализа безопасности сложных технических систем. – М.: Логос, 2001.
- Аронов И.З., Адлер Ю.П., Агеев А.В., Папич Л. Обзор современных подходов к обеспечению качества и безопасности сложных систем на основе анализа видов, последствий и критичности отказов // Надежность и контроль качества. – 1996. – № 11.
- Белов П.Г. Системный анализ и моделирование опасных процессов в техносфере. – М.: Академия, 2003.
- Белов С.В. Безопасность жизнедеятельности как наука // Безопасность жизнедеятельности. – 2003. – №2.
- Бурков В.Н., Грацианский Е.В., Дзюбко С.И., Щепкин А.В. Модели и механизмы управления безопасностью. Серия «Безопасность». – М.: СИНТЕГ, 2001.
- Быков А.А. «К читателям журнала «Вопросы анализа риска»// Вопросы анализа риска. – Т. 1, – №1, –1999.
- Быков А.А., Мурзин Н.В. Проблемы анализа безопасности человека, общества и природы. – СПб.: Наука, 1997.
- Вайдлих В. Социодинамика: системный подход к математическому моделированию в социальных науках/ Пер. с англ.; Под ред. Ю. С. Попкова, А. Е. Семечкина. – М.: Едиториал УРСС, 2004.
- Вентцель Е.С. Теория вероятностей. – М.: Высш. шк., 1998.
- Владимиров В.А., Воробьев Ю.Л., Малинецкий Г.Г. и др. Управление риском. – М.: Наука, 2000.
- Гнатюк В.И. Закон оптимального построения техноценозов. – М.: Центр системных исследований, 2004.
- Горский В.Г., Моткин Г.А., Петрунин В.А. Терещенко Г.Ф., Шаталов А.А., Швецова-Шиловская Т.Н. Научно-методические аспекты анализа аварийного риска. – М.: Экономика и информатика, 2002.
- ГОСТ Р 12.0.006-2002. Общие требования к системам управления охраной труда в организации.
- ГОСТ Р 51897-2002. Менеджмент риска. Термины и определения.
- ГОСТ Р 51898-2002. Аспекты безопасности. Правила включения в стандарты.
- ГОСТ Р 51901-2002. Управление надежностью. Анализ риска технологических систем.
- ГОСТ Р 51901.1-2002. Менеджмент риска. Анализ риска технологических систем.
- ГОСТ Р 51901.2-2005. Менеджмент риска. Системы менеджмента надежности.
- ГОСТ Р 51901.4-2005. Менеджмент риска. Руководство по применению при проектировании.
- ГОСТ Р 51901.5-2005. Менеджмент риска. Руководство по применению методов анализа надежности.
- ГОСТ Р 51901.6-2005. Менеджмент риска. Программа повышения надежности.
- ГОСТ Р 51901.11-2005. Менеджмент риска. Исследование опасности и работоспособности. Прикладное руководство.
- ГОСТ Р 51901.13-2005. Менеджмент риска. Анализ дерева неисправностей.
- ГОСТ Р 51901.14-2005. Менеджмент риска. Метод структурной схемы надежности.
- ГОСТ Р 51901.15-2005. Менеджмент риска. Применение марковских методов.
- ГОСТ Р 51901.16-2005. Менеджмент риска. Повышение надежности. Статистические критерии и методы оценки.

- Гребнев Л. С. Человек в экономике: Теоретико-методологический анализ: Автореф. дис. ... д-ра экон. наук. – М., 1992.
- Губинский А. И. Надежность и качество функционирования эргономических систем. – Л.: Наука, 1982.
- Даль В.И. Толковый словарь живого великорусского языка: Т.3. – М.: Рус.яз., 1989.
- Измалков В.И., Измалков А. В Техногенная экологическая безопасность и управление риском. – М.; СПб.: ЦСИ гражданской защиты МЧС РФ - НИЦ экологической безопасности РАН, 1998.
- Измеров Н.Ф., Капцов В.А., Овакимов В.Г., Денисов Э.И. Концепция оценки профзаболеваний по категориям их риска и тяжести// Медицина труда и пром. экология. – 1993. – N 9-10.
- Ильин В.В.. Философия науки: Учебник. – М.: Изд-во МГУ, 2003.
- Интернет – Академия Безопасного труда. Официальное Интернет-представительство Института промышленной безопасности, охраны труда и социального партнерства. [Электронный ресурс]: Режим доступа: <http://www.safework.ru/>
- Капица С.П., Курдюмов С.П., Малинецкий Г.Г. Синергетика и прогнозы будущего. – М.: Наука, 1997.
- Киселев А.В., Фридман К.Б. Оценка риска здоровью. Подходы к использованию в медико-экологических исследованиях и практике управления качеством окружающей среды. –СПб.: СПбГУТ, 1997.
- Клир Дж. Системология. Автоматизация решения системных задач /Пер. с англ. –М.: Радио и связь, 1990.
- Кузьмин А.П., Левашов С.П. Опасность: понятие, системные свойства, структура // Безопасность жизнедеятельности.- 2004.- №9.
- Левашов С.П. Техногенный риск: Учеб. пособие. – Курган: Изд-во Курганского гос. ун-та, 2000.
- Левашов С.П. О методологических принципах анализа безопасности жизнедеятельности // Безопасность жизнедеятельности.- 2005.- №8. – С.2-6.
- Левашов С.П. О применении Общероссийского классификатора видов экономической деятельности при исследовании безопасности социотехнических систем // Безопасность труда в промышленности.- 2006.- №1.
- Левашов С.П. «Безопасность жизнедеятельности»: проблемы анализа и таксономии предметной области // Безопасность жизнедеятельности.- 2006.- №8.
- Левашов С.П. Вероятностный анализ и моделирование риска профессиональной деятельности // Безопасность труда в промышленности.- 2007.- №2.
- Левашов С.П. Классификация производственных опасностей // Безопасность труда в промышленности.- 2007. – №11.
- Левашов С.П. Методологические основы менеджмента профессионального риска // Безопасность жизнедеятельности.- 2007.- №12.
- Леонтьев Е. А. Надежность экономических информационных систем: Учеб. пособие. – Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2002.
- Махутов Н.А., Крышевич О.В., Переездчиков И.В., Петров В.П., Тарташов Н.И. Особенности применения методов анализа опасности систем «Человек-машина-среда» на базе нечетких множеств / Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях. Вып.1, 2001.
- Моделирование риска и рискованных ситуаций: Учеб. пособие / В.И.Максимов, О.И.Никонов. – Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2004.
- Можаев А.С., Громов В.Н. Теоретические основы общего логико-вероятностного метода автоматизированного моделирования систем. – СПб.: ВИТУ, 2000.
- МЭК 60812: 1985 Техника анализа надежности систем. Метод анализа вида и последствий отказов (FMEA).

- МЭК 61025: 1990 Анализ диагностического дерева отказов (FTA).
- МЭК 61078: 1991 Методика анализа надежности. Метод блок-системы надежности.
- OHSAS 18001:1999 «Системы менеджмента профессионального здоровья и безопасности. – Спецификация».
- OHSAS 18002:2000 «Системы менеджмента в области охраны труда и предупреждения профессиональных заболеваний. Руководящие указания по применению OHSAS 18001».
- Ожегов С.И. Словарь русского языка: ок. 57000 слов / Под ред. – чл.-корр. АН СССР Н.Ю. Шведовой. 20-е изд., стереотип. – М.: Русский язык, 1988.
- Пазюк Ю.В. Интегрированные системы менеджмента предприятий / Ю.В. Пазюк // Партнер и конкуренты. – 2004. – № 11.
- Панферова И.В. Об одном подходе к оценке риска повреждения здоровья работающих неблагоприятными условиями труда // Охрана труда и социальное страхование. – 2003. – № 1.
- Поликарпов В.С. Философия безопасности. – СПб.; Ростов-на-Дону; Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2001.
- Пригожин И., Стенгерс И. Порядок из хаоса: Новый диалог человека с природой: пер с англ. - М.: Прогресс, 1986.
- Профессиональный риск для здоровья работников (Руководство) / Под ред. Н.Ф.Измерова и Э.И.Денисова. - М.: Тривант, 2003.
- Р 2.2.1766 – 03. Руководство по оценке профессионального риска для здоровья работников. Организационно-методические основы, принципы и критерии оценки.
- Р 2.2.2006 – 05. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда.
- Рачков Б.П. Человек в современном технизированном обществе: проблемы безопасности развития / РАН. Ин-т философии. - М.: Изд-во РАН, 1998.
- Резников Б А. Системный анализ и методы системотехники //Ч.1. Моделирование системных исследований. Моделирование сложных систем. –М.: МО СССР, 1990.
- Российский энциклопедический словарь: В 2 кн. / Гл. ред. А. М. Прохоров. — М.: Большая Российская энциклопедия, 2001. — Кн. 1: А—Н. Кн. 2: Н—Я. — 2015 с.: ил.
- Русак О. Н., Малаян К. Р., Занько Н. Г. Безопасность жизнедеятельности: Учеб. пособие. 6-е изд., стер. / Под ред. О. Н. Русака. — СПб.: Издательство «Лань», 2003.
- Рябинин И.А. Надежность и безопасность сложных систем // СПб.: Политехника, 2000.
- Управление риском в социально-экономических системах: концепция и методы ее реализации. Ч. 1. Публикация Объединенного комитета по управлению риском. - В кн.: Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях. Обзорная информация, выпуск 11.– М.: ВИНТИ 1995.
- Хенли Э., Кумамото Х. Надежность технических систем и оценка риска.– М.: Машиностроение, 1984.
- Хоцей А.С. Теория общества: В 4 т. – Казань: Матбугат йорты, 1999.
- Доклад «Охрана труда в цифрах и фактах». (Introductory Report: Decent Work – Safe Work by Dr. J. Takala, Director, SafeWork International Labour Office, Geneva, 2002). [Электронный ресурс]: Режим доступа: <http://www.ilo.org/safework>
- Документы Европейского сообщества (ЕС ДОС) «ЗДОРОВЬЕ И БЕЗОПАСНОСТЬ ТРУДА» «GUIDANCE ON RISK ASSESSMENT AT WORK, Luxemburg: Office for Official Publications of the European Communities, 1996–2000».
- ЕС ДОС/05/20/97. Guidance on risk assessment at work. Advisory committee for safety, hygiene and health protection at work, Draft Opinion Doc. 5196/94 PA. 1994.
- Global Estimates of Fatalities and Accidents. [www.ilo.org/public/safework/dis/index.htm](http://www.ilo.org/public/safework/dis/index.htm)
- Kaplan S. “The words of risk analysis”, Risk Analysis, 17(4), 1997.

## ПРИЛОЖЕНИЯ

### Приложение 1

### **Показатели и критерии оценки профессионального риска**

#### **Классы условий труда, категории профессионального риска и срочность мер профилактики**

Класс условий труда по руководству Р 2.2.2006 – 05	Индекс профзаболеваний И	Категория профессионального риска	Срочность мероприятий по снижению риска
Оптимальный - 1	-	Риск отсутствует	Меры не требуются
Допустимый - 2	<0,05	Пренебрежимо малый (переносимый) риск	Меры не требуются, но уязвимые лица нуждаются в дополнительной защите*
* К уязвимым группам работников относят несовершеннолетних, беременных женщин, кормящих матерей, инвалидов (№ 184-ФЗ).			
Вредный - 3.1	0,05-0,11	Малый (умеренный) риск	Требуются меры по снижению риска
Вредный - 3.2	0,12-0,24	Средний (существенный) риск	Требуются меры по снижению риска в установленные сроки
Вредный - 3.3	0,25-0,49	Высокий (непереносимый) риск	Требуются неотложные меры по снижению риска
Вредный - 3.4	0,5-1,0	Очень высокий (непереносимый) риск	Работы нельзя начинать или продолжать до снижения риска
Опасный (экстремальный)	>1,0	Сверхвысокий риск и риск для жизни, присущий данной профессии	Работы должны проводиться только по специальным регламентам*
* Ведомственные, отраслевые или профессиональные регламенты работ с мониторингом функционального состояния организма работника до начала или в течение смены.			



**Протокол оценки травмобезопасности рабочего места №...**

\_\_\_\_\_ (наименование рабочего места)

Дата проведения оценки: “\_\_” \_\_\_\_\_ 200\_\_ г.

Используемые нормативные правовые акты по охране труда:

Результаты оценки:

№№ п. п.	Наименование объектов, определяющих травмоопасность рабочего места	Нормативные требования безопасности, заключения надзорных органов	Фактическое их выполнение	Оценка ТБ
1	2	3	4	5
1.	Раздел 1. Производственное оборудование, здания и сооружения			
	<i>Первая категория травмоопасных факторов</i>			
2.	Раздел 2. Приспособления, инструмент, машины и механизмы			
	<i>Первая категория травмоопасных факторов</i>			
3.	Раздел 3. Средства защиты*			
	<i>Первая категория травмоопасных факторов</i>			
4.	Раздел 4. Средства обучения и инструктажа			
	<i>Первая категория травмоопасных факторов</i>			
<i>Общая оценка травмобезопасности рабочего места</i>				
<i>(I категория травмоопасных факторов)</i>				

\_\_\_\_\_ (Наименования должностей, (подпись))

Ф.И.О. лиц, проводивших оценки) \_\_\_\_\_

(подпись)

**Критерии профессиональных рисков по показателям здоровья работающих и классам условий труда**

Критерии риска	Уровни профессионального риска					
	2	3.1	3.2	3.3	3.4	4
Классы условий труда по степени вредности и опасности						
Интегральный показатель величины утраты трудоспособности	менее 30	30 - 100	101 - 300	301 - 1000	1001 - 3000	более 3000
Индекс профессионального риска	0.1	0.1 - 0.5	0.51 - 1.5	1.51 - 5.0	5.1 - 15.0	более 15
Интегральный показатель частоты и тяжести профессиональной патологии	менее 1.5	0.12 - 0.18	0.19 - 0.24	0.25 - 0.36	0.36 - 0.49	более 0.5
Профессиональная заболеваемость (число случаев на 1000 работников данной профессии (производства) в год)		менее 1.5	1.6 - 5.0	5.1 - 15.0	15.1 - 50	более 50
Заболеваемость с ВУТ по всем болезням (на 100 работников):						
- случаев нетрудоспособности	66.4 - 72.3	72.4 - 84.6	84.7 - 90.7	90.8 - 96.8	96.9 - 102.9	более 102.9
- дней нетрудоспособности	867 - 938	939 - 1081	1082 - 1153	1154 - 1225	1226 - 1281	более 1281
Производственно-обусловленная заболеваемость (число случаев на 100 работающих данной профессии)	В зависимости от нозологической формы					

**Уравнения для вычисления некоторых стандартных показателей риска**

Индивидуальный риск в точке (x,y)	$R_{\Sigma} (x, y) = \sum_{\alpha} \lambda_{\alpha} \cdot E_{\alpha}(x, y) \cdot F_{\alpha}$
Максимальный уровень индивидуального риска (потенциальный)	$R_{\Sigma}^{max} (x_m, y_m) = \max( R_{\Sigma} (x, y) )$
Средний индивидуальный риск	$IR^{ip} = (\sum_{x,y} R_{\Sigma} (x, y) \cdot N(x, y)) / \sum_{x,y} N(x, y) = F/N$
Суммарный риск (общее число смертельных исходов)	$F = \sum_{x,y} R_{\Sigma} (x, y) \cdot N(x, y) = IR^{ip} \cdot N$
Экономический эквивалент социального ущерба	$ESC = \sum C_2^+ N_2^0 \quad (1,2 < p < 2)$
<p><math>\lambda_i</math> - вероятность выброса по сценарию i  <math>E_{ij}(x,y)</math> - вероятность реализации механизма воздействия j в точке (x,y) для сценария выброса i  <math>F_j</math> - вероятность летального исхода при реализации механизма воздействия j  <math>N(x,y)</math> - численность людей в ячейке (единичной площадке) с координатами (x,y)  <math>N</math> - общее количество людей, подвергающихся потенциальному негативному воздействию  <math>C_i^*</math> - вероятность негативных последствий при реализации аварийного сценария i  <math>N_i</math> - количество смертельных исходов при реализации аварийного сценария i</p>	

**Правила отнесения отраслей (подотраслей) экономики к классу профессионального риска (фрагмент)**

(в ред. Постановлений Правительства РФ от 27.05.2000 N 415, от 21.12.2000 N 996, от 26.12.2001 N 907)

1. Настоящие Правила определяют порядок отнесения отраслей (подотраслей) экономики к классу профессионального риска для установления страховых тарифов, соответствующих уровню производственного травматизма, профессиональной заболеваемости и расходов на обеспечение по страхованию от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний, сложившемуся в отраслях (подотраслях) экономики.

2. Все отрасли (подотрасли) экономики дифференцируются по группам в зависимости от класса профессионального риска.

3. Классификация отраслей (подотраслей) экономики по классам профессионального риска согласно приложению предусматривает 22 класса профессионального риска.

Наименования отраслей (подотраслей) экономики, используемые в указанной классификации, соответствуют общесоюзному классификатору "Отрасли народного хозяйства" (ОКОНХ). (с 2001г. ОКВЭД – прим. авт.)

4. Класс профессионального риска для отрасли (подотрасли) экономики определяется величиной интегрального показателя профессионального риска.

5. Интегральный показатель профессионального риска определяется как отношение величины суммарных затрат в отрасли (подотрасли) экономики на возмещение в истекшем календарном году вреда, причиненного застрахованным в результате несчастных случаев на производстве или профессиональных заболеваний при исполнении ими трудовых обязанностей (пособие по временной нетрудоспособности, возмещение утраченного заработка, единовременные и ежемесячные страховые выплаты, расходы на медицинскую, социальную и профессиональную реабилитацию), к размеру фонда оплаты труда в этой отрасли (подотрасли) экономики, на который начислены взносы в Фонд социального страхования Российской Федерации.

6. Интегральный показатель профессионального риска рассчитывается по формуле  $I_p = (\Sigma_{вв} : \Sigma_{фот}) \times 100$ ,

где:  $I_p$  - интегральный показатель профессионального риска по отрасли (подотрасли) экономики, выраженный в процентах;

$\Sigma_{вв}$  - сумма в возмещение вреда, начисленная в отрасли (подотрасли) экономики в истекшем календарном году;

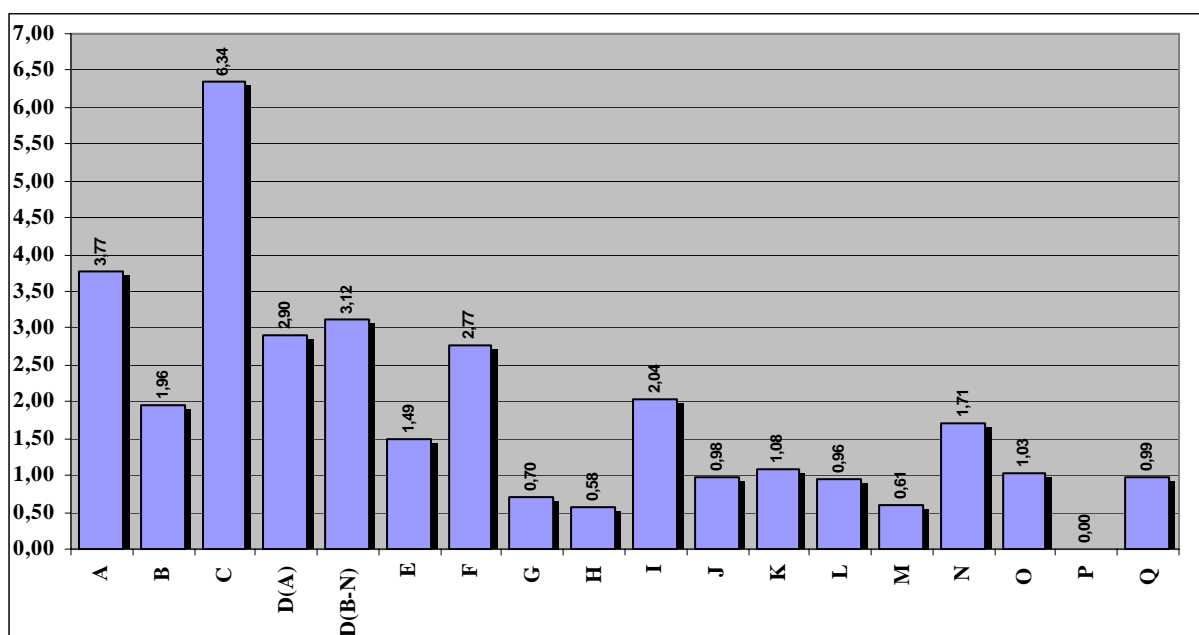
$\Sigma_{фот}$  - размер фонда оплаты труда в отрасли (подотрасли) экономики, на который начислены взносы в Фонд социального страхования Российской Федерации в истекшем календарном году.

9. Класс профессионального риска отрасли (подотрасли) экономики, которой соответствует основной вид деятельности страхователя, а также классы профессионального риска отраслей (подотраслей) экономики, которым соответствуют виды деятельности подразделений страхователя, являющихся самостоятельными классификационными единицами, определяются и учитываются Фондом социального страхования Российской Федерации в соответствии с предусмотренной настоящими Правилами классификацией отраслей (подотраслей) экономики по классам профессионального риска.

12. При изменении класса профессионального риска отрасли (подотрасли) экономики в соответствии с внесенными в классификацию отраслей (подотраслей) экономики по классам профессионального риска коррективами изменяются класс профессионального риска и размер страхового тарифа страхователя.

*Продолжение приложения 5*

**Интегральный показатель профессионального риска Ип**  
(по ОКВЭД) – (иллюстрация)




**Общероссийский классификатор видов экономической деятельности**  
(ОКВЭД)

Разделы и подразделы ОКВЭД	Наименование разделов и подразделов
A	Сельское хозяйство, охота и лесное хозяйство
B	Рыболовство, рыбоводство
C	Добыча полезных ископаемых
D	Обрабатывающие производства
E	Производство и распределение электроэнергии, газа и воды
F	Строительство
G	Оптовая и розничная торговля; ремонт автотранспортных средств, мотоциклов, бытовых изделий и предметов личного пользования
H	Гостиницы и рестораны
I	Транспорт и связь
J	Финансовая деятельность
K	Операции с недвижимым имуществом, аренда и предоставление услуг
L	Государственное управление и обеспечение военной безопасности;
M	Образование
N	Здравоохранение и предоставление социальных услуг
O	Предоставление прочих коммунальных и социальных услуг
P	Предоставление услуг по ведению домашнего хозяйства
Q	Деятельность экстерриториальных организаций

**Информационный листок опасностей по профессии**

*Оператор персонального компьютера*

Формат информационного листка — четыре страницы.

- Страница 1: информация по наиболее актуальным опасностям, относящимся к профессии.
- Страница 2: более детализированная и систематическая презентация различных опасностей, относящихся к профессии, с обозначением мер их предотвращения (обозначены  и объяснены на третьей странице)
- 3 страница: предложения по мерам предотвращения отдельных опасностей.
- 4 страница: специализированная информация, предназначенная прежде всего для специалистов по охране труда и включающая такую информацию, как краткое описание профессии, перечень обязанностей, примечания и ссылки.

Страница 1

**Кто такой оператор персонального компьютера?**

Это работник, который постоянно пользуется компьютерами и компьютерными терминалами в значительной части своей обычной работы.

**Что опасного в этой работе?**

- Операторы часто проводят много часов в день, интенсивно работая на своих рабочих местах, что помещает их глаза, спину и руки под серьезную нагрузку и может вызвать усталость, боль в глазах, затекшую спину и другие неприятные ощущения. С течением времени, особенно если уделяется недостаточное внимание улучшению рабочих условий (паузы в работе, упражнения, лучшее оборудование и т. п.), эти проблемы могут стать более тревожными.
- Операторы компьютеров подвержены опасностям, типичным для их рабочего окружения, - например, работник, использующий компьютер для управления химическим заводом, может встречать множество опасностей на таком рабочем месте.

Страница 2

**Профессиональные опасности**

**Несчастные случаи и травмы:**






Общие опасности несчастного случая на соответствующем рабочем месте: падения, поскользывания, падения предметов и т. п.
Ушибы при наклонах под стол, чтобы дотянуться (например, присоединить или отсоединить провода) до часто помещаемого там процессора
Ожоги в результате случайного контакта с горячими поверхностями внутри лазерного принтера
Электрический шок при попытке починить неисправное оборудование, розетки и т.д.

**Физический риск:**



Общие физические опасности соответствующего рабочего окружения	
Операторы персональных компьютеров постоянно подвергаются электромагнитной неионизирующей радиации (в основном низ-	

	<p>кочастотной и сверхнизкочастотной), электростатическим и магнитным полям, испускаемым компьютерами; на настоящий момент не доказано, что такой контакт приносит вред здоровью (см. примечание 3)</p> <p>Уровень шума на компьютеризованном рабочем месте обычно намного меньше предельного; однако, даже негромкий шум (особенно на высоких тонах) от принтеров и мониторов может восприниматься как раздражающий фактор</p>	
<p><b>Химический риск:</b></p> 	<p>Общие химические опасности соответствующего рабочего окружения</p> <p>Контакт с веществами, специфичными для компьютеризованных рабочих мест (тонер принтеров, озон, испускаемый лазерными принтерами) в правильно проветриваемых помещениях ниже предельного уровня и не представляет опасности: однако он может стать опасным в плохо вентилируемой комнате, содержащей несколько лазерных принтеров и копировальных машин</p>	
<p><b>Биологический риск:</b></p> 	<p>Общие биологические опасности соответствующего рабочего окружения</p> <p>Операторы компьютеров, работающие в густо населенных и/или неадекватно вентилируемых комнатах (например, в подвалах) могут подвергаться повышенному риску инфекционных заболеваний</p>	
<p><b>Эргономические, психосоциальные и организационные факторы:</b></p> 	<p>Факторы, характерные для соответствующего рабочего окружения</p> <p>Проблемы со зрением (синдром дискомфорта глаз), вызванные излишней визуальной нагрузкой, продолжительной концентрацией на экране, неподходящим углом зрения, плохим освещением, отблесками, мерцанием изображения, плохой комбинацией цветов и т. д.</p> <p>Астенопические симптомы: напряжение глаз, боль в глазах, головная боль</p> <p>Окулярные симптомы: сухие глаза, раздраженные глаза, слезящиеся глаза</p> <p>Визуальные симптомы: расплывчатое изображение, двойное изображение, остаточное изображение</p> <p>Связанные со зрением мышечно-скелетные симптомы: боли в шее, в спине и т. п.</p> <p>Проблемы, связанные с ношением очков (особенно мультифокальных) и контактных линз (в случае сухости глаз)</p> <p>Травма повторного растяжения или синдром профессионального излишнего употребления в результате продолжительной работы с клавиатурой, мышью и другими средствами ввода и обработки информации</p> <p>Расстройства спины, шеи и плечей в результате продолжительного раздельного или совместного воздействия таких факторов, как: неправильная сидячая поза, эргономически неадекватный стул, неправильно (особенно слишком высоко) расположенный монитор, отсутствие соответствующей опоры для запястий, ног и т. д.</p> <p>Когнитивные проблемы взаимодействия человека и компьютера в результате недостаточного учета человеческого фактора при</p>	

	разработке программных продуктов (трудно использовать графический интерфейс пользователя, неоднозначные подсказки и указания, неполная справка и т. д.)	
	Психологические проблемы (психологический барьер) адаптации работников (особенно постарше) к работе на компьютере и информационной перегрузки	
	Психолингвистические проблемы, связанные с использованием неродного языка (в основном английского) и неадекватно переведенными текстами в документации и руководстве по применению	
	Психосоциальные проблемы увеличившейся рабочей нагрузки, ожидаемого увеличения производительности и недостатка личной независимости из-за увеличения доступности (за пределами рабочего дня и рабочего места) работника с портативным компьютером	
	Проблемы, связанные с увлечением компьютерами (хакеры, интернетоманы и т.д.)	

Страница 3

### Меры по предотвращению

- 1 Установите акустические заграждения вокруг шумного оборудования.
- 2 Установите эффективную выхлопную вентиляцию, чтобы предотвратить загрязнение воздуха; при необходимости добавьте местную выхлопную вентиляцию.
- 3 Установите общее освещение, подходящее для компьютерной комнаты: обратитесь к специалисту по освещению. Предотвращайте отблески соответствующим расположением монитора или установите фильтр против отблесков.
- 4 Установите рабочее место, спроектированное по эргономическим соображениям и адаптирующееся к росту работника и другим личным характеристикам.
- 5 Делайте частые перерывы на отдых и упражнения, если проявляются симптомы травмы повторного растяжения; не перенапрягайте запястье, плечо или другую часть тела, если вы чувствуете там боль. Обращайтесь к производственному врачу или медсестре.

Страница 4

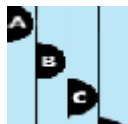
### Синонимы

Компьютерный работник, пользователь компьютера, работник компьютерного терминала, работник компьютерного рабочего места

### Определение

Любой работник, который постоянно использует оборудование с дисплеем в значительной части своей нормальной работы (согласно директиве 90/270/ЕЕС). Работает на компьютеризованном рабочем месте в зависимости от его конфигурации и согласно определяемым работой процедурам: включает и выключает компьютер и другие применяемые устройства, например, монитор, принтер, сканер и т. д. Запускает основные и вспомогательные программы, выдает команды и вводит информацию, используя клавиатуру, средства манипуляции (мышь, шарик), графическое табло, чувствительный к прикосновению экран, голосовой контроль и другие средства ввода. Контролирует работу рабочего места и принимает меры в случае ошибочных сообщений и других нарушений; читает информацию с экрана, распечаток и печатных/рукописных внешних документов. Общается с другими людьми (коллегами, начальством, клиентами и т. д.), используя технику и программное обеспечение. Может вставлять и вынимать средства для записи информации (магнитные или оптические диски, карточки, пленки

### и/или описание



и т. д.). Может налаживать и обслуживать периферийное оборудование (выбирать тип работы принтера, загружать бумагу для принтера, заменять картридж и т. д.)

**Родственные и более узкие профессии**

Счетовод, бухгалтер, инженер/техник CAD/CAM, кассир, помощник клерка, оператор инструментов CNC, компьютерный инженер/техник, компьютерный график, оператор контрольного помещения, оператор по вводу данных, редактор, специалист по информации, специалист по учету инвентаря, библиотекарь, программист, клерк по продажам/броням, автор технических текстов, агент по телефонным продажам, кассир банка, наборщик, машинистка, секретарь, инженер/техник по программному обеспечению, оператор текстовых редакторов и т. д.

**Выполняемые операции**

Подтверждать (сообщения, подсказки), Налаживать, Отвечать, Упорядочивать данные, Просматривать, Проверять, Сообщать, Сравнить (данные, результаты), Составлять, Формировать (оборудование), Контролировать, Обработать данные, Стирать, Проектировать (алгоритмы и т. д.), Загружать,	Осматривать (данные, результаты), Обмениваться (данными), Выполнять (программы), Экспортировать и импортировать (файлы, объекты), Подавать (бумагу), Чинить (оборудование), Следовать (инструкциям, процедурам), Форматировать, Вводить, Вставлять, Переводить, Выдавать команды, Грузить, Принимать решения,	Нажимать на кнопки, Печатать, Программировать, Читать, Убирать, Работать с программами, Выбирать (параметры, типы действий), Устанавливать, Распределять работу, Обслуживать, Искать информацию в Интернете, Включать/выключать, Следить, Печатать, Работать в текстовом редакторе, Писать, Оценивать, Редактировать
---	--	---

**Используемые инструменты и оборудование**

Компоненты рабочего места: компьютер (системная единица), монитор с дисплеем, клавиатура и другие средства ввода данных и манипуляции (мышка, шарик и т.д.),	Периферийное оборудование (принтер, сканер, средства внешней памяти и т. д.) Рабочий стул Рабочий стол Рабочая лампа	Держатель для документов, Коммуникационное оборудование (телефон, факс) и т.д.
--	---	---

**Отрасли, где распространена данная профессия**

Все отрасли промышленности, торговли, обслуживания и виды учреждений



**Базовые формы записей об идентификации, оценке и  
обработке риска**

Дата  
составления

№ Рег. №

**1. Идентификация риска**

1.1 Исследуемый объект: \_\_\_\_\_

1.2 Событие: \_\_\_\_\_

1.3 Последствия: \_\_\_\_\_

1.4 Объект, подвергающийся риску:

- а) \_\_\_\_\_
- б) \_\_\_\_\_
- в) \_\_\_\_\_

1.5 Источник риска: \_\_\_\_\_

**2. Оценка риска**

2.1 Тяжесть последствий: *Незначительная/ Умеренная/ Значительная*

2.2 Вероятность возникновения: *Низкая/ Средняя/ Высокая*

Вероятность возникновения	Тяжесть последствий		
	Незначительная	Умеренная	Значительная
Низкая	С	В	В
Средняя	В	В	А
Высокая	В	А	А

А – недопустимый риск, требуется немедленная обработка

В – умеренный риск, требуется обработка

С – допустимый риск, обработка не требуется

2.3 Значимость риска: \_\_\_\_\_

(А/В/С)

**3 Обработка риска**

Действия по обработке:

*очевидны и нересурсоемки / неочевидны или ресурсоемки*

*направлены на: предупреждение/устранение посл.*

*носят: технический/ организационный характер*

Описание действий по обработке: \_\_\_\_\_

Ответственный: \_\_\_\_\_ Срок/периодичность исполнения: \_\_\_\_\_

**СОСТАВИТЕЛИ:**

Должности

Подписи

Расшифровки подписей

Форма идентификации и устранения несоответствия с элементами  
оценки риска

Дата  
составления

№ Рег.№

1 Идентификация несоответствия

1.1 Объект: \_\_\_\_\_

1.2 Тип несоответствия: *Несоответствие/ Потенциальное несоответствие*

1.3 Описание несоответствия: \_\_\_\_\_

1.4 Нормативный документ с указанием раздела и пункта, требования  
которого не выполнены: \_\_\_\_\_

1.5 Источник (причина) несоответствия: \_\_\_\_\_

2 Оценка риска

2.1 Степень несоответствия: *Незначительное/ Умеренное/ Значительное*

2.2 Вероятность повторного возникновения: *Маловероятно/ Вероятно*

Вероятность повт. возникновения	Степень несоответствия		
	Незначительное	Умеренное	Значительное
Маловероятно	С	С	В
Вероятно	В	В	А

А – недопустимый риск, необходимы немедленные действия по устранению

В – умеренный риск, действия по устранению необходимы в течение определенного времени

С – допустимый риск, действия по устранению не требуются

2.3 Значимость риска: \_\_\_\_\_

(А/В/С)

3 Устранение несоответствия

Действия по устранению:

*очевидны и нересурсоемки / неочевидны или ресурсоемки*

*направлены на: предупреждение/устранение посл.*

*носят: технический/ организационный характер*

Описание действий по устранению: \_\_\_\_\_

Ответственный: \_\_\_\_\_ Срок исполнения: \_\_\_\_\_

СОСТАВИТЕЛИ:

Должности

Подписи

Расшифровки подписей

**Причины стресса на работе и их выявление**  
*(T. Cox and A. Griffith: Manual and Occupational Stress in Nursing, ILO, 1994)*

Характеристики труда	Вредные факторы	-нет -очевидны -частые
Функционирование и культура организации	<ul style="list-style-type: none"> <li>• плохие внутренние связи</li> <li>• трудности в решении проблем в организации</li> <li>• плохое развитие организации</li> </ul>	
Участие	<ul style="list-style-type: none"> <li>• малое участие в разработке решений</li> </ul>	
Карьера и рабочий статус	<ul style="list-style-type: none"> <li>• неопределенность незапрограммированность карьеры</li> <li>• малоквалифицированный труд</li> <li>• нецелесообразный и социально малоценный труд</li> <li>• неуверенность в дальнейшей работе</li> <li>• плохая оплата</li> </ul>	
Роль работника в организации	<ul style="list-style-type: none"> <li>• неясная роль или конфликты</li> <li>• ответственность за других людей</li> <li>• длительный контакт с другими людьми</li> </ul>	
Содержание работы	<ul style="list-style-type: none"> <li>• мало понятная работа</li> <li>• однообразная работа</li> <li>• бессмысленная и бессвязная работа</li> <li>• неполное использование навыков</li> <li>• физическая зависимость</li> </ul>	
Рабочая нагрузка и темп	<ul style="list-style-type: none"> <li>• слишком большая или малая нагрузка (количественно)</li> <li>• слишком большая или малая нагрузка (качественно)</li> <li>• быстрый темп работы</li> <li>• недостаточный контроль за темпом работы</li> <li>• ограниченное время для исполнения работы</li> </ul>	
Организация труда	<ul style="list-style-type: none"> <li>• неизменный рабочий график</li> <li>• непрогнозируемое рабочее время</li> <li>• многочасовое рабочее время</li> <li>• посменная работа</li> </ul>	
Отношения с другими работниками	<ul style="list-style-type: none"> <li>• социальная или физическая изоляция</li> <li>• нехватка общественной поддержки</li> <li>• разногласия или злонамеренность среди рабочих</li> <li>• плохие или недостаточные отношения с руководством</li> </ul>	
Отношения «дом-работа»	<ul style="list-style-type: none"> <li>• разногласия в отношениях дом-работа</li> <li>• нехватка поддержки домашних проблемы двойной карьеры</li> </ul>	

**Анкета для оценки психологической атмосферы на рабочем месте**  
(V. Spalski: *Psychology of Management*, 2001)

Признаки здорового психологического климата	Шкала оценки (5-4-3-2-1)	Признаки нездорового психологического климата
1. В начале рабочего дня я редко вижу коллег в плохом настроении		1. У большинства работников в начале рабочего дня будничное настроение. Они не чувствуют подъёма и бодрости
2. Большинство из нас радуется, что появляется возможность контактировать друг с другом		2. Члены нашей команды безразличны к взаимному эмоциональному контакту
3. В наших деловых отношениях преобладает благожелательность и доверительная атмосфера		3. Наши деловые контакты создают очевидную или замаскированную нервность или неприязнь
4. Успехи каждого члена команды неподдельно радуют остальных и почти никто не чувствует зависть		4. Удача кого-либо вызывает у окружающих неприязнь или даже зависть
5. В нашей рабочей команде новенький скорее всего будет встречен благожелательно		5. В нашей команде новичок ещё долго будет чувствовать себя чужим
6. В случае неприятностей мы не спешим обвинять друг друга, а стараемся спокойно выяснить обстоятельства дела		6. В случае неприятностей в нашей команде будут пытаться свалить вину друг на друга или найти «крайнего»
7. В присутствии начальника чувствуем себя свободно и непринуждённо		7. Многие в присутствии начальника чувствуют себя напряжённо или растерянно
8. Мы обычно в своём кругу обсуждаем семейные радости и печали		8. Многие из нас не хотят обсуждать свои проблемы с другими
9. Внезапный вызов к начальнику у большинства работников не вызывает негативных эмоций		9. Внезапный вызов к начальнику у многих вызывает негативные эмоции
10. Нарушитель рабочей дисциплины отчитывается не только перед начальником, но и перед членами рабочей команды		10. Нарушитель рабочей дисциплины отчитывается только перед начальником
11. Высказывая критические замечания, большинство из нас делает это тактично		11. Критические замечания звучат открыто или замаскировано оскорбительно
12. Появление начальника вызывает у нас позитивные эмоции		12. Появление начальника у многих вызывает неприязнь
13. В нашей команде «прозрачность» является нормой жизни		13. До «прозрачности» в нашей команде ещё очень далеко

**Виды опасностей (опасности, опасные ситуации и события по ГОСТ Р 51344-99).**

**1. Механические опасности от:**

- элементов машин и заготовок, например:

- формы,
- относительного расположения,
- массы и стабильности (потенциальной энергии элементов, которые могут сдвигаться под действием тяжести),
- массы и скорости (кинетической энергии элементов в управляемом и неуправляемом движении),
- неадекватной механической прочности;
- аккумуляирование потенциальной энергии внутри машины, например:
- упругими элементами (пружинами),
- жидкостями и газами под давлением,
- вакуумом

1.1. Опасность раздавливания

1.2. Опасность ранения

1.3. Опасность разрезания или разрыва

1.4. Опасность запутаться

1.5. Опасность затягивания или попадания в ловушку

1.6. Опасность удара

1.7. Опасность быть уколотым или проткнутым

1.8. Опасности, обусловленные трением или абразивным воздействием

1.9. Опасности, обусловленные выбросом жидкости

**2. Электрические опасности вследствие:**

2.1. Контакта с токоведущими частями (прямой контакт)

2.2. Контакта с токоведущими частями, которые в неисправном состоянии, находясь под напряжением (косвенный контакт)

2.3. Попадания частями тела под высокое напряжение

2.4. Электростатического заряда

2.5. Тепловой или другой радиации, попадания расплавленных частиц или химического воздействия от короткого замыкания и т. д.

**3. Термические опасности, приводящие к:**

3.1. Ожогу или ошпариванию или другому повреждению от касания с предметами или материалами с высокой температурой из-за воспламенения или взрыва, а также теплового излучения;

3.2. Нанесению ущерба здоровью из-за жаркого или холодного окружения рабочего места

**Опасности, опасные ситуации и события**

**4. Опасности от шума, выражающиеся в:**

4.1. Потере слуха (глухоте), других физиологических расстройствах (например в потере равновесия, ослаблении внимания)

4.2. Ухудшении восприятия речи, звуковых сигналов и т.д.

**5. Опасности от вибраций**

5.1. Использование ручных механизмов, приводящих к различным неврологическим или сосудистым расстройствам

5.2. Вибрации всего тела, особенно при неудобном положении

**6. Опасности, вызванные излучениями**

6.1. Излучение на низких частотах, радиочастотах, в микроволновом диапазоне

6.2. Инфракрасное, видимое и ультрафиолетовое излучение

6.3. Икс- и гамма излучения

6.4. Альфа-, бета-излучения, электронные и ионные лучи, нейтроны

6.5. Лазеры

**7. Опасности от материалов и веществ (и их составляющих), используемых или выделяемых машиной**

7.1. Опасности от контакта или вдыхания паров вредных жидкостей, газов, пыли, тумана, дыма

7.2. Опасности воспламенения или взрыва

7.3. Биологические и микробиологические опасности (вирусные и бактериологические)

**8. Опасности, возникающие при пренебрежении принципами эргономики при конструировании машины от:**

8.1. Вредных для здоровья поз, связанных с чрезмерным напряжением тела

8.2. Несоответствия анатомическим возможностям рук и ног человека

8.3. Скванности, вызванной применением средств индивидуальной защиты

8.4. Неадекватного местного освещения

8.5. Психических нагрузок, стрессов

8.6. Ошибок в поведении людей

8.7. Неадекватной конструкции, расположения или опознания органов управления

8.8. Неадекватной конструкции или расположения средств отображения информации

**9. Комбинация рисков**

**10. Неожиданные пуски, повороты, прокручивания (или любые подобные нештатные состояния) от:**

10.1. Неполадок или повреждения систем управления

10.2. Возобновления энергоснабжения после его прерывания

10.3. Внешнего воздействия на электрооборудование

10.4. Другие внешние воздействия (тяжести, ветра и т.д.)

10.5. Неполадок и ошибок программно-математического обеспечения

10.6. Ошибок оператора (вследствие несоответствия машины с характеристиками и возможностями человека (8.6)).

**11. Невозможность останова машины или останова в желаемом положении**

**12. Нарушение скорости вращения инструмента**

**13.Нарушения энергоснабжения**

**14.Ошибки в системе управления**

**15.Ошибки монтажа**

**16.Разрушения в процессе работы**

**17.Падение или выброс предметов или жидкостей**

**18.Потери устойчивости / опрокидывания машины**

**19.Скольжения, опрокидывания или падения людей (вызванных машиной)**

*Дополнительные опасности, опасные состояния и события, связанные с движением*

**20.Опасности, связанные с функциями передвижения**

20.1.Рывки в начале движения

20.2.Движение в отсутствии водителя

20.3.Движение, когда не все детали находятся в безопасном положении

20.4.Превышение скорости машины, когда человек управляющий ею, идет рядом

20.5.Сильные вибрации при движении

20.6.Невозможность притормозить или полностью остановить

**21. Опасности, связанные с расположением рабочего места, включая место водителя**

21.1.Падение человека при посадке на рабочее место или выпадение из него на машину

21.2.Загазованность / запыленность рабочего места

21.3.Пожароопасность (воспламеняемость кабины, отсутствие средств пожаротушения)

21.4. Механические опасности на рабочем месте:

а)касание колес

б)наматывание

с)выпадение наружу или попадание внутрь

д)поломки быстровращающихся элементов

е) касание с элементами машины или инструментом (оборудования управления пешеходами)

21.5.Недостаточная обзорность рабочего места

21.6.Недостаточное освещение

21.7.Неудобное сидение

21.8.Недопустимый уровень шума на рабочем месте

21.9.Недопустимый уровень вибрации на рабочем месте

21.10. Нет возможности быстрой эвакуации с рабочего места/отсутствует аварийный выход

**22. Опасности, связанные с системами управления**

22.1. Неудовлетворительное размещение органов управления

22.2. Неудовлетворительная конструкция органов управления

**23. Опасности при работе на машине (потеря стабильности)**

**24. Опасности, связанные с источниками энергии или ее передачей**

24.1. Опасности от двигателей и батарей

24.2. Опасности при передаче энергии между машинами

24.3. Опасности от разъемов и кабелей

**25. Опасности, связанные с посторонними лицами**

25.1. Самовольное включение или использование

25.2. Перемещение деталей или узлов за допустимые пределы

25.3. Отсутствие или неисправность световых или звуковых сигнальных устройств

**26. Недостатки инструкций для водителей или обслуживающего персонала**

*Дополнительные опасности, опасные состояния и события при подъеме грузов*

**27. Механические опасности и опасные события**

27.1. От попадания грузов, ударов о машину по причине:

27.1.1. Недостаточной устойчивости

27.1.2. Бесконтрольной загрузки, перегрузки, превышения допустимого наклона

27.1.3. Бесконтрольного отклонения движения

27.1.4. Неожиданного / непредусмотренного перемещения груза

27.1.5. Несоответствующих крепежных приспособлений / принадлежностей

27.1.6. Столкновения машин

27.2. От доступа людей к опорам для груза

27.3. При сходе с рельс

27.4. Из-за недостаточной механической прочности деталей

27.5. Из-за конструкции крюков и барабанов

27.6. Из-за неправильного выбора цепей, тросов и других грузоподъемных принадлежностей и их неправильного крепления к машине

27.7. Из-за падения нагрузки при управлении фрикционным

27.8. Из-за нарушения правил монтажа, испытаний, эксплуатации обслуживания

27.9. Из-за воздействия груза на персонал (удар груза или противовеса)

**28. Электрическая опасность**



28.1. От удара молнии

**29. Опасности из-за пренебрежения основами эргономики**

29.1. Недостаточная видимость с рабочего места водителя

*Дополнительные опасности, опасные ситуации и опасные события при подземных работах*

**30. Механические опасности и опасные ситуации вследствие:**

30.1. Недостаточной устойчивости механически поддерживаемой кровли

30.2. Неполадок в управлении ускорением или торможением машин, перемещаемых по рельсам

30.3. Неполадок или неправильного управления анкерным блоком механизмов, перемещаемых по рельсам

**31. Ограничения движения людей**

**32. Возгорания или взрыва**

**33. Выделения пыли, газов и т. д.**

*Дополнительные опасности, опасные ситуации и опасные события вследствие подъема или перемещения людей*

**34. Механические опасности и опасные события из-за:**

34.1. Неправильно выбранных нагрузок и расчетных коэффициентов

34.2. Ошибок в управлении грузом

34.3. Неполадок в управлении средств перевозки людей

34.4. Превышения скорости передвижения людей

**35. Падение лиц с индивидуальных средств передвижения**

**36. Падение или опрокидывание индивидуальных средств**

**37. Ошибки людей, ошибочное поведение**

**ПРОГРАММНЫЕ КОМПЛЕКСЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ  
И РАСЧЕТА РИСКА**

1. **Программный комплекс Risk Spectrum** вероятностного анализа надежности и безопасности систем. Разработан Шведской фирмы Relcon AB. Первая разработка выполнена в 1985 г. Форма исходной структурной схемы системы - дерево отказов. Размерность системы может достигать нескольких тысяч элементов. Позволяет вычислять статические вероятности отказа (безотказной работы), коэффициент неготовности и частоту отказов исследуемой системы. Выполняет автоматическое построение и анализ минимальных сечений отказов. Основное применение Risk Spectrum получил в вероятностном анализе безопасности объектов атомной энергетики. Его использование санкционировано МАГАТЭ. Используется в организациях Атомэнергопроекта РФ. (Данные получены из Internet, сайт <http://www.riskspectrum.com/>).
2. **Комплекс программ SAPHIRE**, разработан в Национальной технической лаборатории (INEL) штата Айдахо США. Предназначен для вероятностного анализа надежности, безопасности и риска атомных электростанций. Программы позволяют пользователю создавать деревья отказов и деревья событий, генерировать минимальные сечения и логические последовательности, выполнять анализ значимости, сохранять и документировать результаты. (Данные получены из Internet, сайт: <http://www.nea.fr/abs/html/psr-0405.html>).
3. **Программа RiskWave**, разработана в отделе "Вероятностного анализа безопасности и риска" ИБРАЭ под руководством д-ра физ.-мат. наук Р.Т.Исламова Реализует метод аналитико-статистического моделирования деревьев событий и деревьев отказов. Позволяет учитывать детерминистические и случайные процессы совместно, в рамках единой модели, оценивать значимость, чувствительность и неопределенность одновременно как случайных, так и детерминистических параметров. Сотрудники отдела участвуют в разработке первого отраслевого (Минатом РФ) расчетного кода "РИСК" вероятностного анализа безопасности объектов атомной энергетики. (Данные получены из Internet, сайт: <http://www.ibrae.ac.ru/cgi/koi/ibrae/russian/analysis.html>).
4. **Программный комплекс численного анализа надежности и риска** для сложной системы на основе деревьев отказов, автор В.А. Проурзин лаборатория надежности ИПМАШ РАН, г. Санкт-Петербург. Форма исходной структурной схемы - дерево отказов. Комплекс позволяет вычислять вероятность безотказной работы, коэффициент готовности системы и оптимизировать надежность системы по критерию суммарных затрат. [МА БРК 2001, с.263-268].
5. **Программный комплекс BUNKER** моделирования и расчетов надежности и производительности технических систем с накопителями, авторы В.С. Викторова и А.С. Степанянц ИПУ РАН, г. Москва. Форма исходной

структурной схемы - дерево отказов. Позволяет вычислять коэффициент готовности, математическое ожидание производительности, среднюю наработку на отказ, параметр потока отказов, вероятность безотказной работы системы. (Данные получены из Internet, сайт: <http://www.ipu.rssi.ru/kommer/komm.htm>).

**6. Программный комплекс RAY** логико-вероятностного моделирования и расчетов надежности и безопасности систем авторы В.С. Викторова и А.С. Степанянц ИПУ РАН, г. Москва. Форма исходной структурной схемы - граф связности. Позволяет вычислять коэффициент готовности, параметр потока отказов, вероятность безотказной работы, среднюю наработку до отказа с учетом полноты контроля и периодической профилактики. (Данные получены из Internet, сайт: <http://www.ipu.rssi.ru/kommer/komm.htm>).

**7. Программный комплекс ПК АСМ 2001.** Форма представления исходной структуры системы - схема функциональной целостности. Впервые реализует все возможности основного аппарата моделирования- алгебры логики. [МА БРК 2001, с.56-61].

**8. Программный комплекс автоматизированного структурно-логического моделирования ПК АСМ СЗМА.** Разработан в ОАО «СПИК СЗМА». Форма представления исходной структуры системы - схема функциональной целостности. Позволяет автоматически формировать расчетные аналитические модели надежности систем и вычислять вероятность безотказной работы, среднюю наработку до отказа, коэффициент готовности, среднюю наработку на отказ, среднее время восстановления, вероятность отказа восстанавливаемой системы, вероятность готовности смешанной системы, а также значимости и вкладов элементов в различные показатели надежность системы в целом. Автоматически определяет кратчайшие пути успешного функционирования, минимальные сечения отказов и любые не-монотонные логические модели функционирования систем. (Дополнительные сведения на сайтах: <http://www.szma.com/> и <http://www.safety.fromru.com/>).

**9. Программный код «RISK»** предназначен для выполнения стандартных вероятностных расчетов: анализ минимальных сечений (minimal cut sets), анализ значимости (sensitivity), анализ неопределенности (uncertainty). Используются модели: дерево отказов (fault tree), дерево событий (event tree), отказы по общим причинам (common cause failures). Код RISK имеет гибкий интерфейс к базе данных (локальной и сетевой). Код RISK совместим с кодом SAPHIRE (лицензия Комиссии Ядерного Регулирования США), RISKSPECTRUM (лицензия стран Европейского сообщества, Госатомнадзора Российской Федерации).

**10. Программный комплекс «Relex».** Программный комплекс Relex реализует основные и наиболее применяемые модели и методы анализа надежности и безопасности и содержит обширную базу данных по исходным надежностным характеристикам элементов. В состав комплекса входят 8 ана

литических модулей, в т.ч. *Анализ Видов, Последствий и Критичности Отказов (FMEA/FMECA)*; *Деревья Отказов/Событий (Fault Tree/Event Tree)* и т.д. ПК Relex может формироваться из произвольного количества взаимодействующих и разделяющих единую базу данных модулей.

**11 . Программный комплекс «FaultTree» (RST Company).** Программный продукт предназначен для автоматизации процесса построения и оценки дерева отказов сложных технологических систем. Программа может быть использована для анализа надежности оборудования в космической, атомной, авиационной, химической и других смежных отраслях промышленности. Программное обеспечение представляет собой комплексную систему расчетных модулей, выполняющих:

- точечную оценку вероятности как отказа системы в целом (конечного события в дереве отказов), так и промежуточных событий, включая исходные события в течение заданного временного интервала на основе информации об отказах ее элементов (исходные события);
- определение минимальных логических выражений для вычисления вероятности возникновения событий;
- точечную оценку вероятности появления аварийных сочетаний (набор исходных событий, при которых наступает конечное событие);
- поиск минимальных аварийных сочетаний;
- расчет значимости исходных событий;
- расчет значимости аварийных сочетаний.

## Параметры распределений

### Типы распределений

Различают дискретные и непрерывные вероятностные распределения. *Дискретное* распределение характеризуется тем, что оно сосредоточено в конечном или счетном числе точек. *Непрерывное* распределение «размазано» по некоторому вещественному интервалу.

### Характеристики распределений

Вероятностное распределение может быть описано несколькими эквивалентными способами. Здесь приведены лишь некоторые из них.

- *Функция распределения.* Определена для любого вещественного распределения. Для случайной величины  $X$  ее функцией распределения называется

$$F_X(z) = P(X \leq z), \quad -\infty < z < \infty.$$

- *Плотность распределения.* Определена для непрерывных распределений. Представляет собой производную от функции распределения:

$$f_X(z) = F'_X(z), \quad -\infty < z < \infty.$$

- *Функция вероятности.* Альтернативный способ описания дискретных распределений. Если распределение случайной величины  $X$  сосредоточено в конечном или счетном числе точек  $x_1, x_2, \dots, x_n, \dots$  то его можно описать вероятностями принятия случайной величиной  $X$  соответствующих значений:

Значение	$x_1$	$x_2$	...	$x_n$	...
Вероятность	$p_1$	$p_2$	...	$p_n$	...

Здесь  $p_k = f(x_k) = P(X = x_k), k=1,2,\dots,n,\dots$

### Параметры распределений

- *Математическое ожидание (среднее значение)  $EX$*  случайной величины  $X$ . Представляет собой интеграл вида

$$EX = \int_{-\infty}^{\infty} z dF_X(z).$$

Для непрерывной случайной величины может быть выражено также через плотность ее распределения

$$EX = \int_{-\infty}^{\infty} z f_X(z) dz,$$

а для дискретной случайной величины - через функцию вероятности:

$$EX = \sum_k x_k p_k.$$

- *Дисперсия (рассеяние)* случайной величины  $X$  имеет вид

$$DX = E(X - EX)^2.$$

В классических методах теории риска дисперсия часто использовалась в качестве *меры риска*, измерителя рискованности проектов.

- *Стандартное отклонение* случайной величины  $X$  задается выражением

$$\sigma(X) = \sqrt{DX}.$$

- *Асимметрия* распределения случайной величины  $X$ :

$$\gamma(X) = \frac{E(X - EX)^3}{\sigma^3(X)}.$$

характеризует различие «хвостов» распределения; асимметрия положительна при более тяжелом правом хвосте, и отрицательна при более тяжелом левом хвосте. Для симметричных распределений асимметрия равна 0.

- *Острровершинность* распределения случайной величины  $X$ :

$$\mathcal{J}(X) = \frac{E(X - EX)^4}{\sigma^4(X)} - 3.$$

характеризует тяжесть «хвостов» распределения; положительные значения этого параметра соответствуют распределениям с более тяжелыми хвостами, чем у нормального распределения.

- *Медианой*  $a = med(X)$  распределения случайной величины  $X$  называется корень уравнения

$$F_x(a) = \frac{1}{2}.$$

Медиана является средней характеристикой распределения в том смысле, что  $X$  с равными вероятностями принимает значения, лежащие справа и слева от  $a$ . Медиана симметричного распределения совпадает с его средним значением (если последнее существует).

- *Модой* распределения называется наиболее вероятное значение случайной величины: в непрерывном случае - точка максимума плотности распределения, в дискретном случае - точка максимума функции вероятности. Мода распределения может быть неоднозначной, и использование этого параметра в теории риска ограничено.

- *Характеристическая функция*. Определена для произвольных распределений.

$$\varphi_x(z) = E \exp(izX) = \int_{-\infty}^{\infty} \exp(izx) dF_x(x), \quad -\infty < z < \infty.$$

Здесь  $i$  - мнимая единица. Для непрерывного распределения характеристическую функцию можно также выразить через плотность распределения:

$$\varphi_x(z) = \int_{-\infty}^{\infty} \exp(izx) f_x(x) dx, \quad -\infty < z < \infty$$

а для дискретного распределения - через функцию вероятности

$$\varphi_x(z) = \sum_k \exp(izx_k) p_k, \quad -\infty < z < \infty$$

## ГОСТ Р 51897-2002. МЕНЕДЖМЕНТ РИСКА.

## Термины и определения (фрагмент)

## 3.1. Основные термины

3.1.1. **Риск:** сочетание вероятности события и его последствий.

## Примечания

1. Термин «риск» обычно используют только тогда, когда существует возможность негативных последствий.

2. В некоторых ситуациях риск обусловлен возможностью отклонения от ожидаемого результата или события.

3.1.2. **Последствие:** результат события.

## Примечания

1. Результатом события может быть одно или более последствий.

2. Последствия могут быть ранжированы от позитивных до негативных. Однако применительно к аспектам безопасности последствия всегда негативные.

3. Последствия могут быть выражены качественно или количественно

3.1.3. **Вероятность:** мера того, что событие может произойти.

## Примечание

ГОСТ Р 50779.10 дает математическое определение вероятности: «действительное число в интервале от 0 до 1, относящееся к случайному событию». Число может отражать относительную частоту в серии наблюдений или степень уверенности в том, что некоторое событие произойдет. Для высокой степени уверенности вероятность близка к единице

3.1.4. **Событие:** возникновение специфического набора обстоятельств, при которых происходит явление.

## Примечания

1. Событие может быть определенным или неопределенным.

2. Событие может быть единичным или многократным.

3. Вероятность, связанная с событием, может быть оценена для данного интервала времени.

3.1.5. **Источник:** объект или деятельность с потенциальными последствиями.

## Примечание

Применительно к безопасности источник представляет собой опасность (см. [1]).

3.1.6. **Критерии риска:** правила, по которым оценивают значимость риска.

## Примечание

Критерии риска могут включать в себя сопутствующие стоимость и выгоды, законодательные и обязательные требования, социально-экономические и экологические аспекты, озабоченность причастных сторон, приоритеты и другие затраты на оценку

3.1.7. **Менеджмент риска:** скоординированные действия по руководству и управлению организацией в отношении риска.

## Примечание

Обычно менеджмент риска включает в себя оценку риска, обработку риска, принятие риска и коммуникацию риска.

**3.1.8. Система менеджмента риска:** набор элементов системы менеджмента организации в отношении менеджмента риска.

Примечание

Элементы системы менеджмента риска могут включать в себя стратегическое планирование, принятие решений и другие процессы, затрагивающие риск.

3.2. Термины, относящиеся к лицам или организациям, подвергающимся риску.

**3.2.1. Причастная сторона:** любой индивидуум, группа или организация, которые могут воздействовать на риск, подвергаться воздействию или ощущать себя подверженными воздействию риска.

Примечания

1. Лицо, принимающее решение, также является причастной стороной.

2. Причастная сторона включает в себя заинтересованную сторону, но имеет более широкое значение, чем заинтересованная сторона

**3.2.2. Заинтересованная сторона:** лицо или группа лиц, заинтересованные в деятельности или успехе организации.

Примеры: потребители, владельцы, работники организации, поставщики, банкиры, ассоциации, партнеры или общество.

**3.2.3. Осознание риска:** набор ценностей и озабоченностей, в соответствии с которыми причастная сторона рассматривает конкретный риск.

Примечания

1. Осознание риска зависит от потребностей, результатов и знаний причастных сторон.

2. Осознание риска может отличаться от объективных данных

**3.2.4. Коммуникация риска:** обмен информацией о риске или совместное использование этой информации между лицом, принимающим решение, и другими причастными сторонами.

Примечание

Информация может касаться существования, природы, формы, вероятности, тяжести, приемлемости, мероприятий или других аспектов риска

3.3. Термины, относящиеся к оценке риска

**3.3.1. Оценка риска:** общий процесс анализа риска и оценивания риска

**3.3.2. Анализ риска:** систематическое использование информации для определения источников и количественной оценки риска.

Примечания

1. Анализ риска обеспечивает базу для оценивания риска, мероприятий по снижению риска и принятия риска.

2. Информация может включать в себя исторические данные, результаты теоретического анализа, информированное мнение и касаться причастных сторон

**3.3.3 Идентификация риска:** процесс нахождения, составления перечня и описания элементов риска.

Примечания

1. Элементы риска могут включать в себя источники или опасности, события, последствия и вероятность.

2. Идентификация риска может также отражать интересы причастных сторон.



**3.3.4. Идентификация источников:** процесс нахождения, составления перечня и описания источников.

Примечание

Применительно к безопасности идентификация источников представляет собой идентификацию опасностей (см. [1]).

**3.3.5. Количественная оценка риска:** процесс присвоения значений вероятности и последствий риска.

Примечание

Количественная оценка риска может учитывать стоимость, выгоды, интересы причастных сторон и другие переменные, рассматриваемые при оценке риска

**3.3.6. Оценивание риска:** процесс сравнения количественно оцененного риска с данными критериями риска для определения значимости риска.

Примечания

1. Оценивание риска может быть использовано для содействия решениям по принятию или обработке риска.

2. Применительно к безопасности см. [1]

3.4. Термины, относящиеся к обработке риска и управлению риском.

**3.4.1. Обработка риска:** процесс выбора и осуществления мер по модификации риска.

Примечания

1. Термин «обработка риска» иногда используют для обозначения самих мер.

2. Меры по обработке риска могут включать в себя избежание, оптимизацию, перенос или сохранение риска

**3.4.2. Управление риском:** действия, осуществляемые для выполнения решений в рамках менеджмента риска.

Примечание

Управление риском может включать в себя мониторинг, переоценивание и действия, направленные на обеспечение соответствия принятым решениям

**3.4.3. Оптимизация риска:** процесс, связанный с риском, направленный на минимизацию негативных и максимальное использование позитивных последствий и, соответственно, их вероятности.

Примечания

1. С точки зрения безопасности оптимизация риска направлена на снижение риска.

2. Оптимизация риска зависит от критериев риска с учетом стоимости и законодательных требований.

**3.4.4. Снижение риска:** действия, предпринятые для уменьшения вероятности, негативных последствий или того и другого вместе, связанных с риском

**3.4.5. Уменьшение (последствия события):** ограничение любого негативного последствия конкретного события

**3.4.6. Предотвращение риска:** решение не быть вовлеченным в рискованную ситуацию или действие, предупреждающее вовлечение в нее.

Примечание

Решение может быть принято на основе результатов оценивания риска

3.4.7. **Перенос риска:** разделение с другой стороной бремени потерь или выгод от риска.

3.4.8. **Финансирование риска:** предусмотрение финансовых средств на расходы по обработке риска и сопутствующие затраты.

Примечание

В некоторых отраслях финансирование риска относится только к субсидированию финансовых последствий, связанных с риском

3.4.9. **Сохранение риска:** принятие бремени потерь или выгод от конкретного риска.

Примечание

Сохранение риска не включает в себя обработку риска в результате страхования или перенос риска другими средствами

3.4.10. **Принятие риска:** решение принять риск.

Примечание

Принятие риска зависит от критериев риска

3.4.11. **Остаточный риск:** риск, остающийся после обработки риска.

Учебное издание

**Левашов Сергей Петрович**

**Профессиональный риск:  
методология системного анализа и моделирования**

Учебное пособие

Редактор – Н.М. Кокина

---

Подписано в печать	Формат 80X64 1/16	Бумага тип. №1
Печать трафаретная	Усл.печ.л. 9,75	Уч.-изд.л. 9,75
Заказ	Тираж 100	Цена свободная

---

Редакционно-издательский центр КГУ.  
640669, г. Курган, ул. Гоголя, 25.  
Курганский государственный университет.