Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего профессионального образования
«Пермский национальный исследовательский
политехнический университет»

Н.Н. Слюсарь, И.В. Новикова, А.А. Сурков, А.В. Цыбина

УПРАВЛЕНИЕ РИСКАМИ, СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И МОДЕЛИРОВАНИЕ

Конспект лекций

Утверждено
Редакционно-издательским советом университета

Издательство
Пермского национального исследовательского
политехнического университета
2012

УДК 504.75.06+614.8]-047.58(078)
У66

Рецензенты:
д-р техн. наук, профессор *В.В. Карманов*
(Пермский национальный исследовательский
политехнический университет);
д-р биол. наук, профессор, чл.-корр. РАЕН *И.В. Май*
(Федеральный научный центр медико-профилактических
технологий управления рисками здоровью населения, г. Пермь)

У66 **Управление** рисками, системный анализ и моделирование : конспект лекций / Н.Н. Слюсарь, И.В. Новикова, А.А. Сурков, А.В. Цыбина. – Пермь : Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2012. – 262 с.

ISBN 978-5-398-00915-6

Приводятся основные понятия теории рисков, классификация рисков, теоретические и методологические основы системного анализа, моделирования и управления рисками систем и процессов. Выполнен анализ структуры оценки риска и его составляющих. Рассмотрены программные продукты, обеспечивающие проведение анализа, оценки и управления рисками.

Предназначено для студентов высших учебных заведений, а также научных работников и специалистов в области охраны окружающей среды, контроля и прогноза загрязнений

УДК 504.75.06+614.8]-047.58(078)

ISBN 978-5-398-00915-6 © ПНИПУ, 2012

ОГЛАВЛЕНИЕ

МОДУЛЬ 1. ОСНОВЫ УПРАВЛЕНИЯ РИСКАМИ, СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА И МОДЕЛИРОВАНИЯ 5
Глава 1. ПОНЯТИЕ И СУЩНОСТЬ РИСКА 5
1.1. Основные понятия 5
1.2. Методологические основы управления рисками 36
Контрольные вопросы 44
Список литературы 44
Глава 2. СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ И ПРОЦЕССОВ 46
2.1. Понятие систем и системного анализа 46
2.1.1. Понятие системы 46
2.1.2. Классификация систем 47
2.1.3. Общесистемные закономерности 51
2.1.4. Характеристики системы 54
2.1.5. Понятие системного анализа 57
2.1.6. Методология системного анализа 59
2.2. Моделирование систем и процессов 64
2.2.1. Понятие модели и моделирования 64
2.2.2. Математические модели 67
2.2.3. Математическое моделирование 73
Контрольные вопросы 76
Список литературы 76
МОДУЛЬ 2. АНАЛИЗ РИСКОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДОВ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА И МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ 78
Глава 3. ИДЕНТИФИКАЦИЯ РИСКОВ 78
3.1. Методы и инструменты идентификации рисков 78
3.1.1. Источники информации для идентификации 78
3.1.2. Методы выявления рисков 82
3.2. Моделирование и анализ моделей процессов с целью выявления источников риска 110
3.2.1. Общие принципы моделирования 110
3.2.2. Проверка адекватности модели 114
3.2.3. Моделирование систем и процессов для идентификации рисков 115
3.2.4. Показатели надежности технических систем 139
Контрольные вопросы 143
Список литературы 144

Глава 4. АНАЛИЗ И ОЦЕНКА РИСКОВ 145
4.1. Методы анализа и оценки риска 145
4.2. Оценка ущербов 160
4.2.1. Основные принципы системного анализа и моделирования процесса причинения ущерба..... 160
4.2.2. Оценка величины ущерба. Классификация методов оценки 170
4.2.3. Методы оценки ущерба 173
4.2.4. Модели оценки ущерба..... 177
4.3. Расчет степени риска..... 183
Контрольные вопросы 201
Список литературы 203
МОДУЛЬ 3. УПРАВЛЕНИЕ РИСКАМИ 205
Глава 5. МЕТОДЫ УПРАВЛЕНИЯ РИСКАМИ..... 205
5.1. Характеристика методов управления рисками 205
5.2. Оценка эффективности управления рисками..... 213
Контрольные вопросы 216
Список литературы 217
Глава 6. УПРАВЛЕНИЕ РИСКАМИ НА ПРЕДПРИЯТИИ..... 218
6.1. Риск-менеджмент на предприятии..... 218
6.1.1. Цели, законы и принципы риск-менеджмента..... 218
6.1.2. Система управления рисками на предприятии 220
6.2. Российские стандарты в области управления рисками организации..... 226
Контрольные вопросы 238
Список литературы 238
МОДУЛЬ 4. ИНФОРМАЦИОННОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ 239
Глава 7. ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ РИСКА..... 239
7.1. «ПДВ-ЭКОЛОГ» (версия 4.35, вариант «Локальный») 239
7.2. УПРЗА «Эколог 3.0»..... 241
7.2.1. Назначение программы..... 241
7.2.2. Основные функциональные возможности программы..... 241
7.2.3. Модификации программы 244
Глава 8. ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ РАСЧЕТА КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ РИСКА..... 245
8.1. Программа PHAST и SAFETI..... 245
8.2. ТОКСИ+ 247
Список литературы к главам 7, 8 260

МОДУЛЬ 1. ОСНОВЫ УПРАВЛЕНИЯ РИСКАМИ, СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА И МОДЕЛИРОВАНИЯ

Глава 1. ПОНЯТИЕ И СУЩНОСТЬ РИСКА

1.1. Основные понятия

Безопасность населения крупных городов вызывает сегодня особенно большую тревогу. Население урбанизированных районов очень уязвимо при возникновении аварий, катастроф, стихийных и иных бедствий. Концентрация на относительно небольшой территории городов большого количества потенциально опасных объектов, ежедневные перевозки по автомобильным и железным дорогам опасных химических, радиоактивных и взрывчатых веществ требуют прежде всего постоянного контроля за состоянием этих объектов, а также проведения целого ряда мероприятий по предупреждению чрезвычайных ситуаций.

Объемы производства и потребления опасных веществ в последнее время постоянно возрастают, а возможность возникновения аварий на потенциально опасных объектах в городах усугубляется высокой степенью износа основных производственных фондов, низкими темпами модернизации, нарушением регламента работ и профилактических работ, падением на производстве технологической дисциплины [1, 3].

На территории России сохраняется высокий уровень техногенной и природной опасности. Современное экологическое состояние территории России можно определить как критическое, а в некоторых регионах оно приобрело характер экологического бедствия. Одним из источников экологического неблагополучия являются аварии и катастрофы, сопровождающиеся выбросами и сбросами загрязняющих химических, радиоактивных, биологических веществ и материалов в окружающую среду.

В последние годы информация о техногенных авариях и катастрофах свидетельствует о том, что в России с 1991 г. наметилась устойчивая тенденция роста чрезвычайных ситуаций. Этот рост сопровождается увеличением количества погибших и пострадавших людей, материальным ущербом на многие миллиарды рублей, загрязнением огромных лесных территорий, водоемов и рек, пахотных земель и воздушного пространства, уничтожением растительности и объектов животного мира.

Кроме того, техногенные аварии, катастрофы, пожары и стихийные бедствия, происходившие в России в последние годы, оказывают все возрастающее негативное воздействие и на социально-экономическую обстановку.

Одна из важных характеристик системы, от которых зависит ее существование и способность к самосохранению, – **опасность**.

Под термином «**опасность**» понимается такая ситуация в окружающей среде, когда при определенных условиях возможно возникновение нежелательных событий, явлений и процессов (опасных факторов), воздействие которых на человека и окружающую среду может привести к одному из следующих последствий или их совокупности:

– отклонению здоровья человека от среднестатистического значения;
– ухудшению состояния окружающей среды.

Природная опасность – состояние определенных частей литосферы, гидросферы, атмосферы или космоса, представляющее угрозу для людей, объектов экономики, техносферы и биотехносферы.

Степень природной опасности зависит от повторяемости и силы опасных природных явлений, пространственных характеристик (площадей развития или зон действия негативных факторов неблагоприятных природных явлений, пространственного распределения очагов возникновения экстремальных природных явлений).

Антропогенная опасность – состояние, при котором негативные факторы, формирующиеся главным образом отходами хозяйственной деятельности человека (промышленности, сельского хозяйства, энергетики, транспорта, повседневной жизни человека, животных), создают угрозу здоровью населения и окружающей природной среде.

Техногенная опасность – состояние, при котором негативные факторы, формирующиеся в зонах действия технологических процессов, технических систем и объектов, создают угрозу здоровью промышленного персонала и населению.

Степень техногенной опасности зависит в первую очередь от видов и числа потенциально опасных объектов, накопленного на них потенциала опасности, надежности и устойчивости технологических систем, удаленности объектов от мест проживания людей.

Опасность территории – состояние территории, характеризующееся наличием источников природной и техногенной опасности. Эти опасности создают угрозу для жизнедеятельности населения, проживающего на дан-

ной территории. Угроза имеет место при хозяйственном освоении районов, где возможны неблагоприятные природные явления, а также зон возможного действия поражающих факторов экстремальных природных явлений и факторов аварий, катастроф и стихийных бедствий.

Источник опасности – это ограниченные в некоторой области пространства процессы, которые могут привести к возникновению негативных воздействий на людей, объекты техносферы и природную среду. Такой областью могут быть районы возможного возникновения опасных природных явлений, места захоронения токсичных отходов, промышленные объекты, промышленные зоны и селитебные территории с объектами жизнеобеспечения в целом [6, 10].

Сопровождающие жизнедеятельность человека опасности можно классифицировать:

– по источнику возникновения – природные, техногенные, биолого-социальные;

– по степени распределенности в пространстве – сосредоточенные, распределенные по координатам;

– по возможности реализации – вредные или неблагоприятные для жизнедеятельности районы, потенциально опасные районы (объекты);

– по неопределенности местоположения – с известными (стационарные источники) и неизвестными случайными координатами (трубопроводы, эпицентр землетрясения);

– по продолжительности действия – кратковременные и долговременные;

– по регулярности действия – случайные и детерминированные (постоянно действующие) (на урановых рудниках, ядерный реакторах, химических объектах) [1–3, 6, 7].

Экологические факторы опасности – обусловлены причинами природного характера (неблагоприятными для жизни человека, растений и животных климатическими условиями, физико-химическими характеристиками воды, атмосферы, почв, природными бедствиями и катастрофами).

Социально-экономические факторы опасности – обусловлены причинами социального, экономического и психологического характера (недостаточным уровнем питания, здравоохранения, образования, обеспечения материальными благами; нарушенными общественными отношениями, недостаточно развитыми социальными структурами).

Техногенные факторы опасности – обусловлены хозяйственной деятельностью людей (чрезмерными выбросами и сбросами в окружающую среду отходов хозяйственной деятельности; необоснованными отчуждениями территорий под хозяйственную деятельность; чрезмерным вовлечением в хозяйственный оборот природных ресурсов и т.д.).

При изучении проблемы безопасности человека и природной среды все эти факторы необходимо рассматривать в комплексе, с учетом их взаимного влияния и связей.

Обратное понятие опасности – **безопасность**. В настоящее время безопасность следует толковать как *приемлемый уровень опасности*, который зависит от затрат на ограничение действия факторов, инициирующих опасность. В широком смысле **безопасность** – *это способность противостоять угрозам по отношению к жизни, здоровью, благополучию, основным правам человека, источникам жизнеобеспечения, ресурсам, социальному порядку*.

Под **экологической безопасностью** понимают *совокупность действий, состояний и процессов, прямо или косвенно не приводящих к жизненно важным ущербам (или угрозам ущербов), наносимым природной среде, отдельным людям, человечеству*.

В рамках вышеприведенных определений **экологическая безопасность** – *это приемлемая на данном этапе социально-экономического развития степень защищенности жизненно важных интересов личности и общества от угроз, которые могут возникнуть в результате изменений (деградации) окружающей природной среды вследствие антропогенного воздействия, а также природных воздействий*.

Источники риска

Основными источниками риска являются:

1. Спонтанность природных процессов и явлений, стихийные бедствия. Проявления стихийных сил природы – землетрясения, наводнения, бури, ураганы, а также отдельные природные явления – мороз, гололед, град, гроза, засуха – могут оказать серьезное отрицательное влияние на результаты хозяйственной деятельности, стать источником непредвиденных затрат.

2. Случайность. Вероятностная сущность многих социально-экономических и технологических процессов, многовариантность материальных отношений, в которые вступают субъекты предпринимательской деятельности, приводят к тому, что в сходных условиях одно и то

же событие происходит неодинаково, т.е. имеет место элемент случайности. Это предопределяет невозможность однозначного предвидения наступления предполагаемого результата.

Весьма заметное и не всегда предсказуемое влияние на результаты хозяйственной деятельности оказывают:

– различного рода аварии – пожары, взрывы, отравления, выбросы атомных и тепловых электростанций и т.п.;

– выход из строя оборудования;

– несчастные случаи на транспорте, производстве и мн. др.

Как показывает практика, несмотря на принимаемые обществом меры, направленные на уменьшение вероятности их появления и снижение величины причиняемого ими ущерба, указанные выше случайные события остаются возможными, их не могут исключить самые дорогостоящие инженерно-технические меры.

3. Наличие противоборствующих тенденций, столкновение противоречивых интересов. Проявление этого источника риска весьма многообразно – от войн и межнациональных конфликтов до конкуренции и простого несовпадения интересов.

Так, в результате военных действий предприниматель может столкнуться с запретом на экспорт или импорт, конфискацией товаров и даже предприятий, лимитированием иностранных инвестиций, замораживанием или экспроприацией активов или доходов за рубежом и др.

В борьбе за покупателя конкуренты могут увеличить номенклатуру выпускаемой продукции, улучшить ее качество, уменьшить цену и т.п. Существует недобросовестная конкуренция, при которой один из конкурентов усложняет другому осуществление предпринимательской деятельности незаконными, нечестными действиями, включая подкуп должностных лиц, опорочивание конкурента, нанесение ему прямого ущерба.

Наряду с элементами противодействия может иметь место простое несовпадение интересов, которое также способно оказывать негативное воздействие на результаты предпринимательской деятельности.

Например, как показывают исследования, разные группы, участвующие в инновационном процессе, могут занимать различные, подчас противоположные позиции по отношению своей роли к ней – инициативы, содействия, бездействия или противодействия. Позицию инициативы занимают разработчики, содействия – проектировщики, бездействия – пользователи. И наконец, изготовители часто оказывают проти-

водействие, так как перестройка технологических и других процессов, требуемая нововведением, не всегда достаточным образом обеспечивается организационно-экономическими и техническими мероприятиями, соответствующими стимулами.

Наличие коррумпированных структур в управленческом аппарате создает реальные возможности для яростного сопротивления, для появления особенно жестких форм противодействия вплоть до покушения на жизнь и здоровье тех, кто пытается бороться с такими антиобщественными явлениями.

Таким образом, наличие противодействующих и противоборствующих тенденций в общественно-экономическом развитии вносит в социально-экономическую жизнь элементы неопределенности, создает ситуации риска.

4. На процесс воспроизводства неопределенности и риска оказывает воздействие вероятностный характер научно-технических открытий. Общее направление развития науки и техники, особенно на ближайший период, может быть предсказано с известной точностью. Однако заранее во всей полноте определить конкретные последствия тех или иных научных открытий, технических изобретений практически невозможно. Технический прогресс неосуществим без риска, что обусловлено его вероятностной природой, поскольку затраты и особенно результаты растянуты и отдалены во времени. Они могут быть предвидены лишь в некоторых, обычно широких, пределах.

5. Существование неопределенности связано также с неполнотой, недостаточностью информации об объекте, процессе, явлении, по отношению к которому принимается решение, с ограниченностью человека в сборе и переработке информации, с постоянной изменчивостью этой информации.

Процесс принятия решений предполагает наличие достаточно полной и правильной информации. Эта информация включает осведомленность: о наличии и величине спроса на товары и услуги, на капитал; о финансовой устойчивости и платежеспособности клиентов, партнеров, конкурентов; о ценах, курсах, тарифах, дивидендах; о возможностях оборудования и новой техники; о позиции, образе действий и возможных решениях конкурентов и др. Однако на практике такая информация часто бывает разнородной, разнокачественной, неполной или искаженной.

Так, например, источником информации о производительности оборудования могут служить проектные, нормативные или фактические данные. Большинство из них являются укрупненными, усредненными, и между ними имеются значительные расхождения.

Кроме того, многие компании намеренно искажают информацию для того, чтобы ввести в заблуждение конкурентов.

Таким образом, чем ниже качество информации, используемой при принятии решений, тем выше риск наступления отрицательных последствий такого решения.

6. К источникам, способствующими возникновению неопределенности и риска, относятся также:

– ограниченность, недостаточность материальных, финансовых, трудовых и других ресурсов при принятии и реализации решений;

– невозможность однозначного познания объекта при сложившихся в данных условиях уровне и методах научного познания;

– относительная ограниченность сознательной деятельности человека, существующие различия в социально-психологических установках, идеалах, намерениях, оценках, стереотипах поведения.

Элементы риска и неопределенности в хозяйственную деятельность вносят также:

– необходимость выбора новых инструментов воздействия на экономику в условиях перехода от экстенсивных к интенсивным методам развития;

– несбалансированность основных компонентов хозяйственного механизма: планирования, ценообразования, материально-технического снабжения, финансово-кредитных отношений.

Объективное и субъективное восприятие риска

Риск имеет два измерения: объективное и субъективное. Объективное измерение выражено количественно и выявляется с помощью ряда алгоритмических методик. Объективное понимание риска подразумевает наличие неопределенной возможности неблагоприятного исхода, не зависящей от воли и сознания лица, подверженного риску. Иными словами, неопределенность является объективной характеристикой соответствующей ситуации. Реакция людей на такие ситуации и их субъективное отношение к неопределенности являются следствием проявления риска, а не его компонентом. Подобная точка зрения вовсе не означает, что лицо, подверженное риску, не может влиять на его

проявление. Однако это влияние возможно лишь за счет воздействия на окружающую среду как источник риска и не связано с изменением точки зрения на риск.

Субъективное измерение не может быть сведено к числам, но на практике оно часто перевешивает объективные подходы. Субъективное понимание риска должно предполагать наличие нашего отношения или нашей оценки имеющейся неопределенности. Иными словами, источник неопределенности лежит не в самой ситуации, а в субъективном отношении к ней. В частности, субъективные вероятности реализации неопределенной возможности неблагоприятного исхода не имеют прямого отношения к действительным шансам его реализации, а выражают то, что лицо, принимающее решения, думает о такой возможности. Таким образом, в данном контексте риск представляет собой оценку ситуации с точки зрения восприятия потенциальной осуществимости отрицательных последствий. Отсюда следует, что риск, понимаемый субъективно, связан с поведением и мышлением лица, принимающего решения, т.е. является характеристикой этого лица, а не окружающей среды [5, 9, 11].

Профессионалы обычно оценивают риски как объективные, но большинство людей рассматривают их как сугубо субъективные. Это различие объясняет результаты исследований, в которых экспертов и информированных неспециалистов (образованные и политически активные женщины, студенты коллежда и эксперты) просили проранжировать риски, связанные с технологиями в широком смысле (табл. 1.1).

Таблица 1.1

Восприятие степени риска от наиболее высокой (1) до самой низкой (30) тремя категориями опрошенных

Источник риска	Лига женщин	Студенты	Эксперты
Ядерная энергетика	1	1	20
Автотранспорт	2	5	1
Огнестрельное оружие	3	2	4
Курение	4	3	2
Мотоцикл	5	6	6
Алкогольные напитки	6	7	3
Частная авиация	7	15	12
Работа полицейского	8	8	17
Пестициды	9	4	8

Окончание табл. 1.1

Источник риска	Лига женщин	Студенты	Эксперты
Хирургия	10	11	5
Пожаротушение	11	10	18
Большое строительство	12	14	13
Охота	13	18	23
Аэрозоли	14	13	26
Альпинизм	15	22	29
Велосипед	16	24	15
Коммерческая авиация	17	16	26
Электроэнергия (не атомная)	18	19	9
Плавание	19	30	10
Контрацепция	20	9	11
Лыжный спорт	21	25	30
Рентгеновское излучение	22	17	7
Студенческий футбол	23	26	27
Железная дорога	24	23	19
Пищевые консервы	25	12	14
Пищевые красители	26	20	21
Моторные косилки	27	28	28
Назначенные антибиотики	28	21	24
Бытовая техника	29	27	22
Вакцинация	30	29	25

Это различие в восприятии возникает в связи с тем, что люди объединяют ряд субъективных факторов со своим определением риска, в особенности:

– степень, в которой риск оказывается контролируемым рискующими (студенты колледжей, которые много ездят на велосипедах и таким образом чувствуют, что они управляют ситуацией, ранжируют этот риск гораздо ниже, чем эксперты);

– ситуации, когда риска боятся (оценка риска раковых заболеваний возникает частично из-за страшной природы болезни);

– степень, в которой риск возлагается, а не принимается добровольно (женщины ранжируют риск от применения контрацепции ниже, чем эксперты, что, возможно, связано как с добровольным принятием риска, так и со знакомством с контрацептивами и представлением о возможностях, связанных с риском их использования);

– степень, до которой риск легко наблюдать, в особенности населения, подверженного риску, и, если возможно, управлять им с использованием современных технологий;

– то, насколько жертвы симпатичны и уязвимы (в особенности дети);

– степень, в которой риск непривычен и количественно не определим или ранее неизвестен;

– степень и тип внимания СМИ;

– наблюдаемая равномерность распределения риска среди различных групп: общественность будет более озабочена, если издержки, затраты и риски неравномерно распределены между группами, чем эксперт в области оценки риска, которого интересуют главным образом кумулятивный рост и падение абсолютного риска.

Классификация рисков

Существует ряд признаков, позволяющих провести классификацию природных, социальных, финансовых, предпринимательских и прочих рисков. Вместе с тем единая классификация рисков отсутствует, что связано с их многообразием и невозможностью отнесения к различным сферам хозяйственной деятельности. Наряду с рисками, присущими большинству видов производства, существуют риски, характерные только для определенной сферы деятельности.

На основании литературных данных [1–4, 8, 10] можно предложить следующую классификацию рисков:

- *по источникам риска* – **техногенный** риск, источником которого является хозяйственная деятельность человека, и **природный** риск, связанный с воздействием природных явлений (землетрясения, наводнения, ураганы и т.д.);
- *по виду источника риска для объекта воздействия* – **внешний** риск (риск, не связанный с деятельностью объекта), **внутренний** риск (зависящий от функционирования объекта) и **риск, связанный с человеческим фактором** (зависящий от ошибок конкретных лиц, персонала);
- *по уровню воздействия* – **локальный** и **глобальный**;
- *по масштабу воздействия* – **индивидуальный** и **коллективный**;
- *по времени воздействия* – **краткосрочный** риск (опасное воздействие не превышает по времени одного часа), **среднесрочный** и **долгосрочный** (последствия сказываются на протяжении долгого времени);
- *по частоте воздействия* – **постоянный** риск (риск воздействия существует постоянно), **периодический** (риск, возникающий время от времени) и **разовый** (риск, появляющийся при возникновении нестандартной ситуации);

- *по восприятию людьми* – **добровольный** риск (для персонала, работающего на опасном производственном объекте) и **принудительный** (для населения, живущего вблизи опасного производственного объекта);
- *по целесообразности* – **обоснованный** риск и **необоснованный** (безрассудный);
- *по отношению к сферам человеческой деятельности* – **коммерческий**, **социально-бытовой**, **политический**, **технологический** риски и **риск в природопользовании**;
- *по характеру наносимого ущерба* – **экономический**, **экологический** и **социальный** риски;
- *по степени допустимости* – **пренебрежимый**, **приемлемый**, **предельно допустимый**, **чрезмерный**.

Пренебрежимый риск имеет настолько малый уровень, что находится в пределах допустимых отклонений естественного (фонового) уровня.

Приемлемый риск допускает такой уровень риска, с которым мирятся, учитывая технико-экономические и социальные возможности общества на данном этапе развития.

Предельно допустимый риск представляет собой максимальный риск, который не должен быть превышен независимо от ожидаемой выгоды.

Чрезмерный риск характеризуется исключительно высоким его уровнем, который в подавляющем большинстве случаев приводит к негативным последствиям.

Достичь нулевого уровня риска невозможно. Пренебрежимый риск в настоящих условиях также не может быть обеспечен, так как отсутствуют технические и экономические предпосылки для этого.

Индивидуальный и коллективный риски

Одной из наиболее часто употребляемых характеристик опасности является ***индивидуальный риск*** – *вероятность (или частота) поражения отдельного индивидуума в результате воздействия исследуемых факторов опасности при реализации неблагоприятного случайного события*. В общем случае количественно (численно) индивидуальный риск выражается отношением числа пострадавших людей к общему числу рискующих за определенный период времени. Индивидуальный риск определяется потенциальным риском и вероятностью нахождения человека в районе возможного действия опасных факторов. При этом индивидуальный риск во многом определяется квалификацией и обученностью индивидуума действиям в опасной ситуации, его защищенностью.

Например, для целей радиационной безопасности при облучении в течение года индивидуальный риск *RI* сокращения длительности периода полноценной жизни в результате возникновения тяжелых последствий от детерминированных эффектов консервативно определяется следующим образом:

$$RI = P_i\{D > Д\}, \tag{1.1}$$

где $P_i\{D > Д\}$ – вероятность для *I*-го индивидуума быть облученным дозой $D > Д$ при обращении с источником в течение года; Д – пороговая доза для детерминированного эффекта (процесс, исход которого полностью определен алгоритмом, значениями входных переменных и начальным состоянием системы).

В общем случае индивидуальный риск на рассматриваемой территории от некоторой опасности или угрозы характеризуется вероятностью смерти произвольного лица из населения за интервал времени, равный одному году. Риск определяется статистическим либо вероятностным (с помощью математических моделей) методом. Так, если имеется достаточная статистика, то точечная статистическая оценка индивидуального риска (1/год) может быть получена по формуле

$$RI = n/N, \tag{1.2}$$

где n – число смертей в год по рассматриваемой причине; N – численность населения на рассматриваемой территории в оцениваемом году.

Этот вид риска рассматривается в качестве первичного и основного понятия. Во-первых, в связи с приоритетом человеческой жизни как высшей ценности. Во-вторых, в связи с тем, что именно индивидуальный риск может быть оценен по большим выборкам с достаточной степенью достоверности, что позволяет определять другие важные категории риска (например, потенциальный территориальный) при анализе техногенных опасностей и осуществлять установление приемлемого и неприемлемого уровней риска.

Обычно индивидуальный риск измеряется вероятностью гибели в исчислении на одного человека в год. В случае если оценивается риск для какой-либо группы людей определенной профессии или специального рода деятельности, связанных с повышенной опасностью, целесообразно их риск относить к одному часу работы или одному технологическому циклу.

Аналогично могут быть определены индивидуальные риски увечий, заболеваний, потери трудоспособности и т.п. Если говорится, что индивидуальный риск для пассажиров гражданской авиации составляет 10^{-4} 1/год, то в статистическом плане это означает, что следует ожидать один смертельный исход в результате несчастного случая, связанного с отказом на самолете, на 10 тыс. пассажиров в год.

При анализе риска обычно не проводится расчет индивидуального риска каждого человека, а оценивается индивидуальный риск для групп людей, характеризующихся примерно одинаковым временем пребывания в различных опасных зонах и использующих одинаковые средства защиты. Обычно речь идет об индивидуальном риске для работающих и для населения окружающих районов или для более узких групп, например для рабочих различных специальностей.

Индивидуальный риск при техногенных опасностях в основном определяется ***потенциальным территориальным риском*** (*пространственным распределением частоты реализации негативного воздействия определенного уровня*) и вероятностью нахождения человека в районе возможного действия опасных факторов.

Данная мера риска не зависит от факта нахождения объекта воздействия (человека) в данном месте пространства. Предполагается, что вероятность нахождения объекта воздействия равна 1 (например, человек находится в данной точке пространства в течение всего рассматриваемого промежутка времени). Потенциальный риск не зависит от того, находится ли опасный объект в многолюдном или пустынном месте и может меняться в широком интервале. Потенциальный риск, в соответствии с определением, выражает собой потенциал максимально возможного риска для конкретных объектов воздействия, находящихся в данной точке пространства. На практике важно знать распределение потенциального риска для отдельных источников опасности и для отдельных сценариев аварий. Как правило, потенциальный риск оказывается промежуточной мерой опасности, используемой для оценки социального и индивидуального риска. Распределения потенциального риска и населения в исследуемом районе позволяют получить количественную оценку социального риска для населения. Для этого нужно определить число пораженных при каждом сценарии от каждого источника опасности и затем определить зависимость частоты событий (F), в которых пострадало на том или ином уровне число людей больше определенного (N), от этого определенного числа людей (социальный риск).

В большинстве промышленно развитых стран статистические данные об индивидуальном фатальном риске систематически собираются и публикуются в печати. На рис. 1.1 показаны оцененные по статистическим данным промышленно развитых стран (США, Канада, Великобритания, Норвегия) ориентировочные значения индивидуального риска, разбитого на три категории:

– общегражданский риск (риск, которому подвергается каждый житель страны независимо от профессии и образа жизни);

– профессиональный риск (риск, связанный с выбором профессии);

– риск – «плата за удовольствие и комфорт».

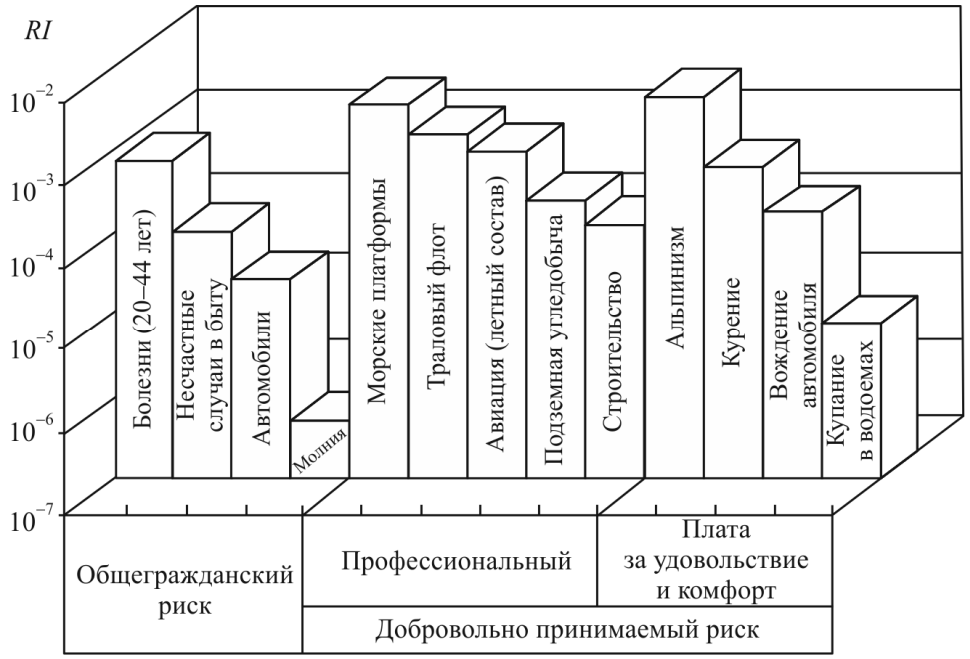


Рис. 1.1. Категории индивидуального риска и его ориентировочные значения (1/год)

Главенство в первой категории принадлежит несчастным случаям в быту (если исключить болезни), во второй – работе на морских платформах при разработке месторождений континентального шельфа, в третьей – занятию альпинизмом.

В любом регионе, независимо от наличия или отсутствия каких-либо техногенных объектов, всегда существует некоторая вероятность того, что человек погибнет в результате несчастного случая, преступления или иного «неестественного события».

Очевидно, что вероятность смерти возрастает, если в районе проживания человека имеют место некоторые (фоновые) факторы, тем или иным путем негативно воздействующие на здоровье человека. Поэтому индивидуальный среднестатистический риск от техногенной деятельности сравнивается именно с этой категорией риска.

На основании того, что индивидуальный риск характеризуется одним числовым значением и является универсальной характеристикой опасности для человека, на практике имеют место многочисленные попытки нормирования уровня приемлемого индивидуального риска. Однако опыты анализов риска различных производств показывают, что оценки индивидуального риска имеют существенный разброс, что связано с неопределенностью исходных данных (место расположения, профессия, состояние обученности и защищенности и т.д.).

Поэтому уровень приемлемого индивидуального риска нормативно или законодательно закреплен лишь в некоторых странах (например, в Голландии – 10^{-6} 1/год; в России, согласно некоторым нормативным документам, – от 10^{-4} до 10^{-6} 1/год).

Количественной интегральной мерой опасности является ***коллективный риск***, определяющий масштаб ожидаемых последствий для людей от потенциальных аварий или других негативных воздействий:

$$RN = RI \cdot N, \tag{1.3}$$

где N – общее число людей, подвергающихся потенциальному негативному воздействию.

Фактически коллективный риск определяет ожидаемое число смертельных исходов в результате аварий на рассматриваемой территории за определенный период времени. Наиболее удобно пользоваться этим понятием для сравнения различных территорий хозяйственной деятельности, однако для разработки мер безопасности применение коллективного риска неэффективно, так как основной ущерб от несчастных случаев как результатов неблагоприятных событий зачастую не рассматривается.

Индивидуальный и коллективный риски могут быть переведены в сферу экономических и финансовых категорий, если установить стоимость человеческой жизни и использовать математическое определение риска ($R = P \cdot$ У). Такой подход широко обсуждается, вызывая возражения определенного круга ученых, которые считают, что человеческая жизнь бесценна и все финансовые дискуссии на этой почве недопусти-

мы. Однако на практике неизбежно возникает необходимость стоимостной оценки человеческой жизни именно с целью обеспечения безопасности людей. В большинстве промышленно развитых стран этот вопрос решается путем страхования индивидуальных рисков, в том числе смертельных.

Исходя из того, что при использовании понятий «индивидуальный риск» и «коллективный риск» возникают значительные неопределенности, в настоящее время на практике стали применять другие категории риска (территориальный и социальный) как меры опасности, характеризующие риск не единственным числовым значением, а наборами чисел или функциональными зависимостями [5, 8].

Потенциальный территориальный и социальный риски

Комплексной мерой риска, характеризующей опасный объект (территорию), является *потенциальный территориальный риск* – пространственное распределение вероятности (или частоты) реализации негативного воздействия определенного уровня. Например, при моделировании опасных техногенных процессов по схеме «авария – механизм воздействия – реализация воздействия» для оценки риска, связанного с выбросами вредных веществ, потенциальный территориальный риск в точке (x, y) оценивается по формуле

$$RI(x, y) = \sum_{ij} P(A)_i P_{ij}(x, y) P(L)_j, \qquad (1.4)$$

где $P(A)_i$ – вероятность аварии по сценарию i; $P_{ij}(x, y)$ – вероятность реализации механизма воздействия j в точке (x, y) для сценария выброса i; $P(L)_j$ – вероятность летального исхода (или заболевания) при реализации механизма воздействия.

Потенциальный территориальный риск, в соответствии с названием, представляет собой потенциал максимально возможного риска для конкретных объектов воздействия, находящихся в данной точке пространства. Данная мера риска не зависит от факта нахождения объекта воздействия (например, человека) в данном месте пространства. Предполагается, что вероятность нахождения объекта воздействия равна 1. Потенциальный риск не зависит от того, находится ли опасный объект в многолюдном или пустынном месте, и может меняться в широком интервале. На практике важно знать распределение потенциального риска для отдельных источников опасности и для отдельных сценариев

аварий. При этом часто полагают вероятность инициирующего события также равной 1, т.е. $P(A)_i = 1$. Таким образом, потенциальный территориальный риск принимает характер территориального условного индивидуального риска и равен вероятности (или частоте) негативного исхода в результате реализации механизма воздействия в точке с координатами рассматриваемой территории.

Как правило, потенциальный риск оказывается промежуточной мерой опасности, используемой для оценки индивидуального и социального рисков (табл. 1.2).

Таблица 1.2

Уравнения для вычисления показателей риска при авариях с выбросами вредных веществ

Показатель риска	Уравнения
Потенциальный территориальный риск	$RI(x, y) = \sum_{ij} P(A)_i P_{ij}(x, y) P(L)_i$
Средний индивидуальный риск	$\bar{R} = \frac{\left[\sum_{x,y} RI(x,y) N(x,y)\right]}{\sum_{x,y} N(x,y)}$
Интегральный риск (общее число смертельных исходов)	$RN = \sum_{x,y} R_{\Sigma}(x,y) N(x,y) = \bar{R}N$
Экономический эквивалент социального ущерба	–
$N(x, y)$ – численность людей в ячейке (единичной площадке) с координатами (x, y) P^*_i – вероятность негативных последствий при реализации аварийного сценария i N_i – число смертельных исходов при реализации аварийного сценария i	

Социальный риск характеризует масштаб возможных аварий и определяется функцией, у которой есть установившееся название – *F–N*-кривая. В зависимости от задач анализа под *N* можно понимать общее число пострадавших, число смертельно травмированных или другой показатель тяжести последствий. Знание распределения потенциального риска и распределения населения в исследуемом районе позволяет получить количественную оценку социального риска для населения. Для этого нужно определить число пораженных при каждом сценарии от каждого источника опасности, затем определить зависимость частоты событий (*F*), в которых пострадало на том или ином уровне число людей больше определенного (*N*), от этого определенного числа людей.

Соответственно, критерий приемлемой степени риска будет определяться для отдельного события уже не числом, а кривой, построенной для различных сценариев аварии.

На рис. 1.2 приведены ориентировочные оценки опасностей различных производств, аварий технических объектов и катастрофических природных явлений с помощью *F–N*-кривых.

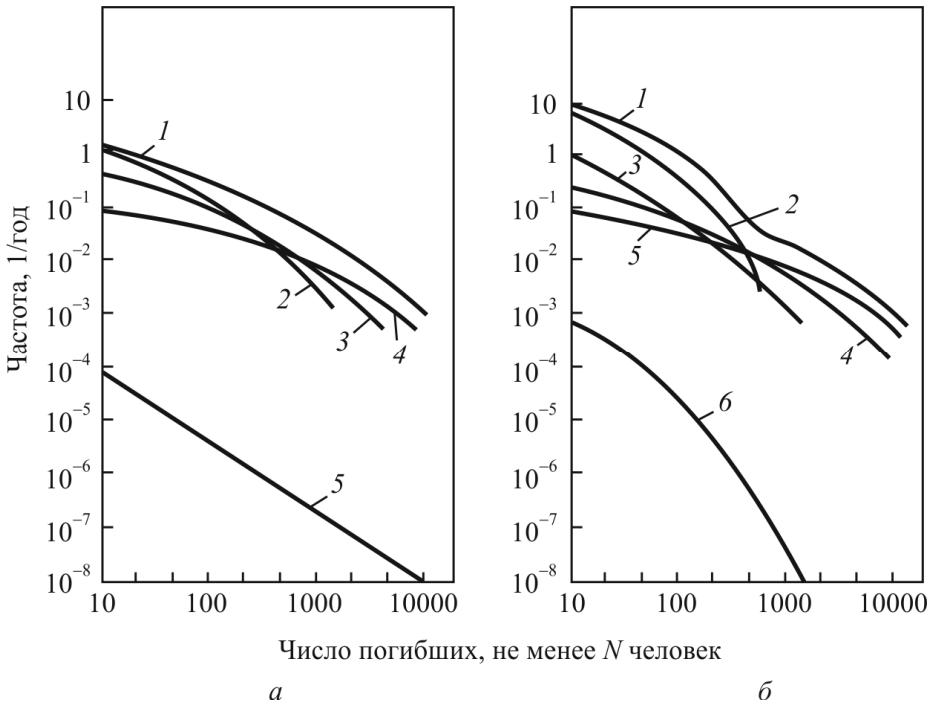


Рис. 1.2. *F–N*-кривые для природных (*а*) и техногенных (*б*) рисков:
а: *1* – суммарная кривая; *2* – торнадо; *3* – ураганы;
4 – землетрясения; *5* – метеориты;
б: *1* – суммарная кривая; *2* – аварии самолетов; *3* – пожары;
4 – взрывы; *5* – выбросы; *6* – 100 ядерных реакторов

В настоящее время общераспространенным подходом к определению приемлемости риска является использование двух кривых, когда в логарифмических координатах определены *F–N*-кривые приемлемого и неприемлемого социального риска смертельного травмирования, а область между этими кривыми определяет промежуточную степень риска, вопрос о снижении которой следует решать, исходя из специфики производства и местных условий, путем согласования с органами надзора и местного самоуправления [11].

Аналогично в качестве переменной N можно принять материальный и/или экологический ущербы, для которых могут быть построены свои F–TV-кривые, служащие мерой страхового или экологического риска соответственно.

Приемлемый риск

В настоящее время при оценке степени опасности исходят из понятия приемлемого риска. Величину приемлемого риска можно определить, используя затратный механизм, который позволяет распределять расходы общества на достижение заданного уровня безопасности между природной, техногенной и социальной сферами.

Необходимо поддержание сбалансированных затрат в указанные сферы, поскольку нарушение соотношения в пользу одной из сфер резко увеличит риск, и его уровень выйдет за границу приемлемого. Так, сокращение расходов на охрану окружающей среды в пользу техногенной и социальной сфер вызовет деградацию природы и снижение качества жизни человека в результате загрязнения атмосферы, воды, почвы.

Предельные значения степени риска имеют временные значения и с течением времени должны пересматриваться в сторону их снижения. Это определяется корректировкой методик по определению степени риска или их коренной переработкой.

В ряде стран пороговые значения степени риска определены и законодательно установлены. Так, в Нидерландах принято считать в качестве максимально приемлемого риска вероятность гибели человека в течение года 10^{-6}, а пренебрежительно малым риском – аналогичную вероятность, равную 10^{-8} [8].

В Великобритании в качестве максимально приемлемого риска используется величина $6 \cdot 10^{-6}$. В этой же стране установлены для строительства в районе потенциально опасных объектов три зоны с разной степенью опасности и даются рекомендации, в какой зоне разрешается возводить сооружения разных типов [9]. В литературе [8] за максимально допустимую величину риска принята вероятность гибели человека $5 \cdot 10^{-6}$ в год.

Таким образом, общепринятых значений уровня риска в мире пока нет. Разброс в пороговых значениях степени риска объясняется различным отношением к риску, уровнем развития промышленной безопасности в стране, а также различиями в методологии анализа риска.

Отечественные исследователи считают, что естественными границами риска для человека является диапазон между 10^{-2} (вероятность заболеваемости на душу населения) и 10^{-6} (нижний уровень риска от природной катастрофы или другой серьезной опасности), техногенный риск считается приемлемым, если он меньше 10^{-6}.

Исходя из анализа зарубежного опыта и состояния системы безопасности в нашей стране, предлагаются следующие уровни риска [6, 8]:

– более 10^{-4} – зона недопустимого риска;

– менее 10^{-4} и более 10^{-6} – зона жесткого контроля риска;

– менее 10^{-6} – зона приемлемого риска.

Предложенные нормы, устанавливающие предельные значения степени риска поражения людей, следует сопроводить требованиями (указаниями) о необходимости проведения мероприятий по снижению степени риска поражения людей при превышении степени риска предельных значений. При этом, если степень риска превышает максимальный приемлемый уровень, следует принимать срочные меры по снижению степени риска. При степени риска, находящемся между максимальным приемлемым и пренебрежимо малым уровнем, необходимо проводить плановые мероприятия по снижению степени риска на основе компромисса между социальной выгодой и экономическими возможностями.

Виды рисков

Процесс хозяйственной деятельности сопровождается совокупностью различных видов риска, которые отличаются между собой по месту и времени возникновения, совокупности внешних и внутренних факторов, влияющих на их уровень и, следовательно, по способу их анализа и методам описания.

Предпринимательский риск

Предпринимательский риск – это риск, возникающий при любых видах предпринимательской деятельности, связанных с производством продукции, товаров и услуг, их реализацией; товарно-денежными и финансовыми операциями; коммерцией, а также осуществлением научно-технических проектов.

Предпринимательский риск имеет объективную основу из-за неопределенности внешней среды по отношению к предпринимательской фирме. Внешняя среда включает в себя объективные экономические, социальные и политические условия, в рамках которых фирма осуществляет свою дея-

тельность и к динамике которых она вынуждена приспосабливаться. Неопределенность ситуации предопределяется тем, что она зависит от множества переменных, контрагентов и лиц, поведение которых не всегда можно предсказать с приемлемой точностью. Сказывается также и отсутствие четкости в определении целей, критериев и показателей их оценки (сдвиги в общественных потребностях и потребительском спросе, появление технических и технологических новшеств, изменение конъюнктуры рынка, непредсказуемые природные явления).

Устранить неопределенность будущего в предпринимательской деятельности невозможно, так как она является элементом объективной действительности. Риск присущ предпринимательству и является неотъемлемой частью его экономической жизни. Риск связан с реальными процессами в экономике. Объективность риска связана с наличием факторов, существование которых в конечном счете не зависит от действия предпринимателей.

Сложность классификации предпринимательских рисков заключается в их многообразии. С риском предпринимательские фирмы сталкиваются всегда при решении как текущих, так и долгосрочных задач. Существуют определенные виды рисков, действию которых подвержены все без исключения предпринимательские организации, но наряду с общими есть специфические виды риска, характерные для определенных видов деятельности: так, банковские риски отличаются от рисков в страховой деятельности, а последние, в свою очередь, от рисков в производственном предпринимательстве.

С риском предприниматель сталкивается на разных этапах своей деятельности, и, естественно, причин возникновения конкретной рисковой ситуации может быть очень много. Обычно под причиной возникновения подразумевается какое-либо условие, вызывающее неопределенность исхода ситуации. Для риска такими источниками являются: непосредственно хозяйственная деятельность, деятельность самого предпринимателя, недостаток информации о состоянии внешней среды, оказывающей влияние на результат предпринимательской деятельности. Исходя из этого следует различать следующие предпринимательские риски:

– риск, связанный с хозяйственной деятельностью;

– риск, связанный с личностью предпринимателя;

– риск, связанный с недостатком информации о состоянии внешней среды.

В связи с тем что вероятность возникновения последнего риска обратно пропорциональна тому, насколько предпринимательская фирма информирована о состоянии внешней среды по отношению к своей фирме, он наиболее важен в современных условиях хозяйствования. Недостаточность информации о партнерах (покупателях или поставщиках), особенно их деловом имидже и финансовом состоянии, грозит предпринимателю возникновением риска. Недостаток информации о налогообложении в России или в стране зарубежного партнера – это источник потерь в результате взыскания штрафных санкций с предпринимательской фирмы со стороны государственных органов. Недостаток информации о конкурентах также может стать источником потерь для предпринимателя.

Риск, связанный с личностью предпринимателя, определяется тем, что все предприниматели обладают различными знаниями в области предпринимательства, различными навыками и опытом ведения предпринимательской деятельности, различными требованиями к уровню рискованности отдельных сделок.

По сфере возникновения предпринимательские риски можно подразделить на внешние и внутренние. Источником возникновения внешних рисков является внешняя среда по отношению к предпринимательской фирме. Предприниматель не может оказывать на внешние риски влияние, он может только предвидеть и учитывать их в своей деятельности.

Таким образом, к внешним относятся риски, непосредственно не связанные с деятельностью предпринимателя. Речь идет о непредвиденных изменениях законодательства, регулирующего предпринимательскую деятельность, неустойчивости политического режима в стране, а соответственно, и о потерях предпринимателей, возникающих в результате начавшейся войны, национализации, забастовок, введения эмбарго.

Источником внутренних рисков является сама предпринимательская фирма. Эти риски возникают в случае неэффективного менеджмента, ошибочной маркетинговой политики, а также в результате внутрифирменных злоупотреблений.

Основными среди внутренних рисков являются кадровые риски, связанные с профессиональным уровнем и чертами характера сотрудников предпринимательской фирмы.

С точки зрения длительности во времени предпринимательские риски можно разделить на кратковременные и постоянные. К группе кратковременных относятся те риски, которые угрожают предпринима-

телю в течение конечного известного отрезка времени, например: транспортный риск, когда убытки могут возникнуть во время перевозки груза, или риск неплатежа по конкретной сделке.

К постоянным рискам относятся те, которые непрерывно угрожают предпринимательской деятельности в данном географическом районе или в определенной отрасли экономики, например: риск неплатежа в стране с несовершенной правовой системой или риск разрушений зданий в районе с повышенной сейсмической опасностью.

По степени правомерности предпринимательского риска могут быть выделены: оправданный (правомерный) и неоправданный (неправомерный) риски. Возможно, это наиболее важный для предпринимательского риска элемент классификации, имеющий наибольшее практическое значение. Для разграничения оправданного и неоправданного предпринимательского риска необходимо учесть в первую очередь то обстоятельство, что граница между ними в разных видах предпринимательской деятельности, в разных секторах экономики различна.

Все предпринимательские риски можно также разделить на две большие группы в соответствии с возможностью страхования: страхуемые и нестрахуемые. Предприниматель может частично переложить риск на другие субъекты экономики, в частности обезопасить себя, осуществив определенные затраты в виде страховых взносов. Таким образом, некоторые виды риска, такие как риск гибели имущества, риск возникновения пожара, аварий и др., предприниматель может застраховать.

Следует выделить еще две большие группы рисков: статистические (простые) и динамические (спекулятивные). Особенность статистических рисков заключается в том, что они практически всегда несут в себе потери для предпринимательской деятельности. При этом потери для предпринимательской фирмы, как правило, означают и потери для общества в целом.

В соответствии с причиной потерь статистические риски могут далее подразделяться на следующие группы:

– вероятные потери в результате негативного действия на активы фирмы стихийных бедствий (огня, воды, землетрясений, ураганов и т.п.);

– вероятные потери в результате преступных действий;

– вероятные потери вследствие принятия неблагоприятного законодательства для предпринимательской фирмы (потери связаны с прямым изъятием собственности либо с невозможностью взыскать возмещение с виновника из-за несовершенства законодательства);

– вероятные потери в результате угрозы собственности третьих лиц, что приводит к вынужденному прекращению деятельности основного поставщика или потребителя;

– потери вследствие смерти или недееспособности ключевых работников фирмы либо основного собственника предпринимательской фирмы (что связано с трудностью подбора квалифицированных кадров, а также с проблемами передачи прав собственности).

В отличие от статистического риска динамический риск несет в себе либо потери, либо прибыль для предпринимательской фирмы. Поэтому их можно назвать «спекулятивными». Кроме того, динамические риски, ведущие к убыткам отдельной фирмы, могут одновременно принести выигрыш для общества в целом. Поэтому динамические риски являются трудными для управления.

Коммерческий риск

Коммерческий риск – это риск, возникающий в процессе реализации товаров и услуг, произведенных или купленных предпринимателем.

Коммерческие риски возникают из-за следующих основных причин:

– снижение объемов реализации в результате падения спроса или потребности на товар, реализуемый предпринимательской фирмой, вытеснение его конкурирующими товарами, введение ограничений на продажу;

– повышение закупочной цены товара в процессе осуществления предпринимательского проекта;

– непредвиденное снижение объемов закупок в сравнении с намеченными, что уменьшает масштаб всей операции и увеличивает расходы на единицу объема реализуемого товара (за счет условно постоянных расходов);

– потери товара;

– потери качества товара в процессе обращения (транспортировки, хранения), что приводит к снижению его цены;

– повышение издержек обращения в сравнении с намеченными в результате выплаты штрафов, непредвиденных пошлин и отчислений, что приводит к снижению прибыли предпринимательской фирмы.

Коммерческий риск включает в себя:

– риск, связанный с реализацией товара (услуг) на рынке;

– риск, связанный с транспортировкой товара (транспортный);

– риск, связанный с приемкой товара (услуг) покупателем;
– риск, связанный с платежеспособностью покупателя;
– риск форс-мажорных обстоятельств.

Экономический риск

Экономический риск относится к будущим контрактным сделкам. Экономический риск имеет долгосрочный характер, связан с перспективным развитием компании и более легко прогнозируемый.

Если компания регулярно покупает или продает товары за рубеж, она постоянно сталкивается с риском сокращения выручки или роста расходов, связанных с неблагоприятными изменениями курсов валют. Такой долгосрочный риск и называется экономическим.

В международной торговле возникает угроза убытков для любой компании, которая несет расходы в одной валюте, а доходы получает в другой. Любые изменения курсов валют могут повлечь ухудшение или улучшение финансового и рыночного положения компании.

Экономические риски возникают, если компания планирует в перспективе заключить отдельные контракты или проводить операции. Экономические риски являются долгосрочными и потенциально наиболее опасными проявлениями рисков, связанных с иностранными валютами. Экономический риск может иметь самые пагубные последствия для стратегии развития крупных компаний.

Существует два главных последствия экономического риска для компании в случае неблагоприятного изменения обменного курса:

– уменьшение прибыли по будущим операциям (такой экономический риск называется прямым);

– потеря определенной части ценовой конкурентоспособности в сравнении с иностранными производителями (такой экономический риск называется косвенным).

Источником прямого экономического риска являются операции, которые будут проведены в будущем. После заключения сделки прямой экономический риск трансформируется в операционный. Примером возникновения угрозы убытков может служить предложение контракта, оцененного в иностранной валюте, или представление прайс-листа в иностранной валюте. Любая компания, покупающая или продающая товар за границей, подвергается прямому экономическому риску.

К косвенному экономическому риску относится изменение затратной и ценовой конкурентоспособности, вызванное движением курсов валют.

Косвенным экономическим риском называется риск убытков, связанных с ухудшением конкурентоспособности данной компании в сравнении с иностранными (а может даже и внутренними) конкурентами, вызванном, вследствие движения курсов валют, относительно высокими затратами или относительно низкими ценами.

Производственный риск

Производственный риск связан с производством продукции, товаров и услуг; с осуществлением любых видов производственной деятельности, в процессе которой предприниматели сталкиваются с проблемами неадекватного использования сырья, роста себестоимости, увеличения потерь рабочего времени, использования новых методов производства.

Производственный риск возникает из-за основных причин, к которым относятся:

– снижение намеченных объемов производства и реализации продукции вследствие снижения производительности труда, простоя оборудования, потерь рабочего времени, отсутствия необходимого количества исходных материалов, повышенного процента брака производимой продукции;

– снижение цен, по которым планировалось реализовывать продукцию или услугу в связи с ее недостаточным качеством, неблагоприятным изменением рыночной конъюнктуры, падением спроса;

– увеличение расхода материальных затрат в результате перерасхода материалов, сырья, топлива, энергии, а также за счет увеличения транспортных расходов, торговых издержек, накладных и других побочных расходов;

– рост фонда оплаты труда за счет превышения намеченной численности либо за счет выплат более высокого, чем запланировано, уровня заработной платы отдельным сотрудникам;

– увеличение налоговых платежей и других отчислений в результате изменения ставки налогов в неблагоприятную для предпринимательской фирмы сторону и их отчислений в процессе деятельности;

– низкая дисциплина поставок, перебои с топливом и электроэнергией;

– физический и моральный износ оборудования отечественных предприятий.

Политический риск

Политический риск – это возможность возникновения убытков или сокращения размеров прибыли, являющихся следствием государственной политики. Таким образом, политический риск связан с возможными изменениями в курсе правительства, переменами в приоритетных направлениях его деятельности. Учет политических рисков особенно важен в странах с неустоявшимся законодательством, отсутствием традиций и культуры предпринимательства.

Политический риск с неизбежностью присущ предпринимательской деятельности, от него нельзя уйти, можно лишь верно оценить и учесть.

Следует отметить, что попытки учитывать политические риски, вызываемые действиями отдельных государственных деятелей или правительств, предпринимались еще в XIX веке. Так, известный банкир Ротшильд таким образом организовал систему информации о политических событиях, что получал сообщения о них на несколько дней раньше, чем правительство.

Понятие «политический риск» появилось в лексиконе американских корпораций в 1959 году после прихода к власти на Кубе Ф. Кастро. Одна из первых работ по этой проблеме – книга Ф. Рута «Бизнес США за рубежом и политический риск», где был проанализирован политический риск, которому подвергается деятельность американских компаний в других странах.

О важности учета влияния политического риска на результаты деятельности предпринимательской фирмы говорит то, что для анализа и оценки политического риска создана мировая сеть специализированных аналитических центров как коммерческого, так и некоммерческого характера. В развитых странах насчитывается свыше 500 подобных центров, основная часть которых находится в США. Наиболее известными некоммерческими центрами, изучающими политический риск в основном в теоретическом плане, являются Центр стратегических и международных исследований в Джорджтаунском университете, Исследовательский центр международных изменений при Колумбийском университете (Нью-Йорк).

Политические риски можно подразделить на четыре группы:

– риск национализации и экспроприации без адекватной компенсации;

– риск трансферта, связанный с возможными ограничениями на конвертирование местной валюты;

– риск разрыва контракта из-за действий властей страны, в которой находится компания-контрагент;

– риск военных действий и гражданских беспорядков.

Риск национализации на практике толкуется предпринимателями очень широко – от экспроприации до принудительного выкупа властями имущества компании или просто ограничения доступа инвесторов к управлению активами. При определении риска национализации сложность состоит в том, что в любой стране власти никогда не рекламируют возможность экспроприации или национализации. Как следствие, ни в одном документе юридически точно не определяется, чем, например, отличается национализация от конфискации.

Риск трансферта связан с переводами местной валюты в иностранную. Примером может служить ситуация, когда предприятие работает рентабельно, получая прибыль в национальной валюте, но не в состоянии перевести ее в валюту инвестора, чтобы рассчитаться за кредит. Причин может быть множество, например принудительно длинная очередь на конвертацию.

Риск разрыва контракта предусматривает ситуации, когда не помогают ни предусмотренные в договоре штрафные санкции, ни арбитраж: контракт разрывается по не зависящим от партнера причинам, например в связи с изменением национального законодательства.

Последний из группы политических рисков – это риск военных действий и гражданских беспорядков, в результате которых предпринимательские фирмы могут понести большие потери и даже обанкротиться.

Политический риск условно можно также подразделить на страновой, региональный, международный. Под страновым политическим риском следует понимать нестабильность внутриполитической обстановки страны, оказывающей влияние на результаты деятельности предпринимательских фирм, в связи с чем возрастает риск ухудшения финансового состояния фирм, вплоть до их банкротства. Особенно это сказывается на предприятиях различных форм малого бизнеса, поскольку напряженность политической ситуации в стране приводит к нарушению хозяйственных связей, что наиболее ощутимо отражается на деятельности небольших предприятий, ставит их на грань банкротства вследствие необеспеченности сырьем, материалами, оборудованием.

Под региональным политическим риском следует понимать нестабильность политической обстановки в определенном регионе, которая влияет на результаты деятельности предпринимательских фирм; в ча-

стности, это может быть вероятность потерь из-за военных действий в данном регионе, а также вмешательства в предпринимательскую деятельность региональных органов управления.

Учет международного политического риска важен для предпринимательской деятельности как для фирм, имеющих выход на международный рынок, так и для фирм, имеющих зарубежных партнеров.

Поскольку на политические риски предприниматель не может оказывать непосредственного влияния, так как их возникновение не зависит от результатов его деятельности, политический риск следует относить к группе внешних рисков.

Технический риск

Технический риск определяется степенью организации производства, проведением превентивных мероприятий (регулярной профилактики оборудования, мер безопасности), возможностью проведения ремонта оборудования собственными силами предпринимательской фирмы.

К техническим рискам можно отнести:

– вероятность потерь вследствие отрицательных результатов научно-исследовательских работ;

– вероятность потерь в результате недостижения запланированных технических параметров в ходе конструкторских и технологических разработок;

– вероятность потерь в результате низких технологических возможностей производства, что не позволяет освоить результаты новых разработок;

– вероятность потерь в результате возникновения при использовании новых технологий и продуктов побочных или отсроченных во времени проявления проблем;

– вероятность потерь в результате сбоев и поломки оборудования и т.д.

Следует отметить, что технический риск относится к группе внутренних рисков, поскольку предприниматель может оказывать на данные риски непосредственное влияние и возникновение их, как правило, зависит от деятельности самого предпринимателя.

Экологический риск

В последние годы в России приоритеты в природоохранной политике, основанные на учете предельно допустимых концентраций и других норм и нормативных воздействий на окружающую природную сре-

ду, пересматриваются. Причина этого заложена в невысокой эффективности нормативного подхода из-за возможности субъективного подхода к «норме» и манипулирования этим понятием. В связи с этим в основу государственной экологической политики в условиях прогрессирующего загрязнения постепенно закладывается концепция экологического риска.

Существует ряд определений понятия «экологический риск». Экологический риск – это оценка на всех уровнях – от точечного до глобального – вероятности появления негативных изменений в окружающей природной среде, вызванных антропогенным или иным воздействием. Под экологическим риском понимают также вероятностную меру опасности причинения вреда природной среде в виде возможных потерь за определенное время [3].

В нормативной литературе [10] экологический риск рассматривается как вероятность возникновения неблагоприятных ситуаций, разрушения экосистем или гибели отдельных популяций и видов под воздействием хозяйственной деятельности человека.

Большинство исследователей определяют экологический риск как вероятность возникновения в природной среде таких нарушений, которые при антропогенном вмешательстве могут быть неблагоприятными для дальнейшего функционирования и существования экологических систем, иначе экологический риск – совокупность условий, угрожающих как здоровью и жизни людей, так и состоянию среды обитания.

Применительно к страхованию понятие риска рассматривается как гипотетическая возможность возникновения ущерба. В случае наступления какого-либо нежелательного события ущерб будет иметь определенную величину, и затем уже определяется вероятность причинения этого ущерба.

В рамках «Методологии оценки риска» [10] риск рассматривается как вероятность развития неблагоприятных для здоровья населения последствий техногенного загрязнения окружающей среды (среды обитания, среды производственной) либо наличия в ней природных компонентов, обладающих вредным воздействием на организм.

В общем случае экологический риск – это возможность возникновения неблагоприятных экологических последствий, вызванных опасными природными или антропогенными, в том числе техногенными факторами – факторами риска.

Наиболее объективной оценкой уровня экологической безопасности антропогенной деятельности, объединяющей различные аспекты – технический, экономический, экологический и социальный, является оценка суммарного риска. Под этим термином понимается вероятность возникновения неблагоприятных природно-техногенных процессов, сопровождающихся, как правило, существенными экологическими последствиями. При этом уровень экологического риска возрастает из-за недостаточной изученности функционирования новой природно-технической системы и возможности предвидеть весь комплекс неблагоприятных процессов их развития, а также из-за недостаточной информации о свойствах и показателях отдельных компонентов природной среды, необходимых для построения оперативных, среднесрочных и долгосрочных прогнозов развития каждого из природно-техногенных процессов на основе моделей различного типа – детерминированных, вероятностных и других. Существенно возрастает уровень экологического риска из-за того, что практически невозможно оценить обобщенную реакцию природной среды от суммарного воздействия отдельных видов антропогенной деятельности, носящей всеобъемлющий характер и способной привести к катастрофическим последствиям.

Вред природной среде при различных антропогенных воздействиях очевидно неизбежен, однако он должен быть сведен до минимума и быть экономически оправданным. Любые хозяйственные или иные решения должны приниматься с таким расчетом, чтобы не превышать пределы вредного воздействия на природную среду. Установить эти пределы очень трудно, поскольку пороги воздействия многих антропогенных и природных факторов неизвестны. Поэтому расчеты экологического риска должны быть вероятностными и многовариантными, с выделением риска для здоровья человека и природной среды [1, 10].

Оценке допустимого экологического риска в последнее время уделяется все больше внимания, особенно при принятии решений о вложении инвестиций в то или иное производство. При этом при антропогенном воздействии учитываются следующие правила допустимого экологического риска [1]:

1) неизбежность потерь в окружающей природной среде;

2) минимальность потерь в окружающей природной среде;

3) реальная возможность восстановления потерь в окружающей природной среде;

4) отсутствие вреда здоровью человека и необратимость изменений в окружающей природной среде;

5) соразмерность экологического вреда и экономического эффекта.

Различают три главные составляющие экологического риска:

– оценка состояния здоровья человека и возможного числа пострадавших;

– оценка состояния биоты по биологическим интегральным показателям;

– оценка воздействия загрязняющих веществ на человека и окружающую природную среду.

Экологический риск характеризуется двойственным проявлением. С одной стороны, он обусловлен вероятностью негативных проявлений сил природы в процессе производственной деятельности. С другой стороны, экологический риск выражается в вероятности воздействия хозяйственной деятельности на окружающую среду. Реализация экологического риска приводит к ущербу для природы и общества.

В большинстве случаев экологический риск связан с поступлением в окружающую среду веществ и энергии, которые могут оказывать неблагоприятное воздействие на природные ресурсы.

Особенностью большинства экологических рисков является их долговременный характер, т.е. они могут проявиться спустя много лет после совершения рискового события и чреваты катастрофическими потерями.

Другая особенность экологических рисков заключается в присущей им неопределенности, так как в перспективе может трансформироваться оценка риска. Это происходит из-за того, что меняются научные воззрения на степень опасности тех или иных видов загрязнений.

С течением времени некоторые виды экологических рисков связываются с большей ответственностью за них, становятся более дорогими и трудно поддаются оценке. Ущерб, который может повлечь за собой реализацию экологических рисков, определяется, как правило, стоимостью проведения восстановительных работ или потенциальными потерями общества вследствие повреждения природных ресурсов.

1.2. Методологические основы управления рисками

В основе оценки опасности любого события лежит понятие «риск». Определение понятия риска в любой деятельности является весьма сложным и обусловлено его комплексностью и наличием многих аспектов.

Согласно ГОСТ Р 51897–2002 «Менеджмент риска. Термины и определения» риск – сочетание вероятности события и его последствий. Основной смысл, который часто закладывается в это понятие, заключается в том, что «риск» – это угроза возникновения опасной ситуации. Иначе, риск – это вероятность наступления опасности, неблагоприятного события с прямыми или косвенными последствиями и неопределенной величиной ущерба. При этом под ущербом понимается убыток, урон экономического, социального, экологического или смешанного характера, определяемый как условные средние потери за соответствующий период времени. Понятие ущерба в данном случае трактуется в самом широком смысле: от финансовых убытков, недополученной прибыли и ущерба имиджу до моральных издержек и потери здоровья.

Само понятие «риск», как следует из определения, включает в себя три основных элемента:

1. Неопределенность. Риск существует тогда и только тогда, когда возможно не единственное развитие событий.

2. Ущерб. Риск существует, когда как минимум один исход может привести к ущербу.

3. Значимость. Риск существует, когда предполагаемое событие имеет практическое значение и затрагивает интересы хотя бы одного субъекта.

Следует отметить, что неопределенность предполагает наличие факторов, при которых результаты действий не являются детерминированными, а степень возможного влияния этих факторов на результаты неизвестна; это неполнота или неточность информации об условиях реализации ситуации.

При этом неопределенность может проявляться по-разному:

– в виде вероятностных распределений (распределение случайной величины точно известно, но неизвестно, какое конкретно значение примет случайная величина);

– в виде субъективных вероятностей (распределение случайной величины неизвестно, но известны вероятности отдельных событий, определенные экспертным путем);

– в виде интервальной неопределенности (распределение случайной величины неизвестно, но известно, что она может принимать любое значение в определенном интервале).

Понятие риска всегда включает два элемента: частота, с которой осуществляется опасное событие, и последствия этого события.

В общем случае риск – это произведение вероятности возникновения неблагоприятной ситуации (P) на ее последствия с точки зрения нанесенного ущерба (У):

$$R = P \cdot \text{У} \tag{1.5}$$

или

$$R = \sum_i P_i \text{У}_i, \tag{1.6}$$

если могут иметь место несколько (i) неблагоприятных событий с различными вероятностями P_i и соответствующими им ущербами У_i.

Риск имеет математически выраженную вероятность наступления определенного события, которая опирается на статистические данные или экспертные оценки и может быть математически рассчитана.

Рассматривая риск с точки зрения его оценки, необходимо решить следующие задачи:

– описать как можно больше возможных вариантов развития событий в будущем, соответствующих данному риску (возможные исходы принятия решений или случайные события);

– определить вероятности наступления каждого из этих вариантов (случайных событий).

Случайные события. Частота. Вероятность

Случайным событием (или просто *событием*) называется всякое явление, которое может произойти или не произойти при осуществлении определенной совокупности условий. Теория вероятностей имеет дело с такими событиями, которые имеют массовый характер. Это значит, что данная совокупность условий может быть воспроизведена неограниченное число раз. Каждое такое осуществление данной совокупности условий называют *испытанием* (или *опытом*).

Если, например, испытание состоит в бросании монеты, то выпадение герба является событием; если испытание – изготовление подшипника данного типа, то соответствие подшипника стандарту – событие; если испытание – бросание игральной кости, т.е. кубика, на гранях которого проставлены цифры (очки) от 1 до 6, то выпадение пятерки – событие.

События будем обозначать заглавными буквами латинского алфавита: A, B, C и т.д. Пусть при n испытаниях событие A появилось m раз. Отношение m/n называется *частотой* (*относительной частотой*) события A и обозначается $P^*(A) = m/n$.

Опыт показывает, что при многократном повторении испытаний частота $P^*(A)$ случайного события обладает устойчивостью. Поясним это на примере.

Пусть при бросании монеты 4040 раз герб выпал 2048 раз. Частота появления герба в данной серии опытов $P^*(A) = m/n = 2048/4040 = 0{,}5069$. При бросании той же монеты 12000 раз герб выпал 6019 раз. Следовательно, в этом случае частота $P^*(A) = 6019/12000 = 0{,}5016$. Наконец, при 24000 бросаний герб появился 12012 раз с частотой $P^*(A) = 0{,}5005$. Таким образом, при большом числе бросаний монеты частота появления герба обладает устойчивостью, т.е. мало отличается от числа 0,5. Как показывает опыт, это отклонение частоты от числа 0,5 уменьшается с увеличением числа испытаний. Наблюдаемое в этом примере свойство устойчивости частоты является общим свойством массовых случайных событий, а именно – всегда существует такое число, к которому приближается частота появления данного события, мало отличаясь от него при большом числе испытаний. Это число называется вероятностью события. Оно выражает объективную возможность появления события. Чем больше вероятность события, тем более возможным оказывается его появление. Вероятность события A будем обозначать через $P(A)$. В рассмотренном выше примере вероятность появления герба, очевидно, равна 0,5.

Событие называется *достоверным*, если оно в данном опыте обязательно должно произойти; наоборот, событие называется *невозможным*, если оно в данном опыте не может произойти.

Пусть, например, из урны, содержащей только черные шары, вынимают шар. Тогда появление черного шара – достоверное событие; появление белого шара – невозможное событие.

Если событие достоверно, то оно произойдет при каждом испытании ($m = n$). Поэтому частота достоверного события всегда равна единице. Наоборот, если событие невозможно, то оно ни при одном испытании не осуществится ($m = 0$). Следовательно, частота невозможного события в любой серии испытаний равна нулю. Поэтому вероятность достоверного события равна единице, а вероятность невозможного события равна нулю.

Если событие A не является ни достоверным, ни невозможным, то его частота m/n при большом числе испытаний будет мало отличаться от некоторого числа p (где $0 < p < 1$) – вероятности события A.

Совмещением (или *произведением*) двух событий A и B называется событие, состоящее в совместном наступлении как события A, так и события B. Это событие будем обозначать AB или BA.

Аналогично совмещением нескольких событий, например A, B и C, называется событие $D = ABC$, состоящее в совместном наступлении событий A, B и C.

Объединением (или *суммой*) двух событий A и B называется событие C, заключающееся в том, что произойдет по крайней мере одно из событий – A или B. Это событие обозначается так: $C = A + B$.

Объединением нескольких событий называется событие, состоящее в появлении по крайней мере одного из них. Запись $D = A + B + C$ означает, что событие D есть объединение событий A, B и C.

Два события A и B называются несовместными, если наступление события A исключает наступление события B. Отсюда следует, что если события A и B несовместны, то событие AB – невозможное.

При большом числе n испытаний частота $P^*(A) = m/n$ появления события A обладает устойчивостью и дает приближенное значение вероятности события A, т.е. $P(A) \approx P^{\cdot}(A)$.

Это обстоятельство позволяет находить приближенно вероятность события опытным путем. Практически такой способ нахождения вероятности события не всегда удобен. В ряде случаев вероятность события удается определить до опыта с помощью понятия равновероятности событий (или равновозможности).

Два события называются *равновероятными* (или *равновозможными*), если нет никаких объективных причин считать, что одно из них может наступить чаще, чем другое.

Так, например, появления герба или надписи при бросании монеты представляют собой равновероятные события.

Рассмотрим другой пример. Пусть бросают игральную кость. В силу симметрии кубика можно считать, что появление любой из цифр 1, 2, 3, 4, 5 или 6 одинаково возможно (равновероятно).

События $E1$, $E2$, ..., EN в данном опыте образуют *полную группу*, если в результате опыта должно произойти хотя бы одно из них.

Так, в последнем примере полная группа событий состоит из шести событий – появлений цифр 1, 2, 3, 4, 5 и 6.

Очевидно, любое событие A и противоположное ему событие $\overline{A}$ образуют полную группу.

Событие *B* называется *благоприятствующим* событию *A*, если наступление события *B* влечет за собой наступление события *A*.

Так, если *A* – появление четного числа очков при бросании игральной кости, то появление цифры 4 представляет собой событие, благоприятствующее событию *A*.

Пусть события *E*1, *E*2, ..., *EN* в данном опыте образуют полную группу равновероятных и попарно несовместных событий. Будем называть их *исходами* испытания. Предположим, что событию *A* благоприятствуют *M* исходов испытания. Тогда вероятностью события *A* в данном опыте называют отношение *M*/*N*.

Таким образом, *вероятностью P(A) события в данном опыте называется отношение числа M исходов опыта, благоприятствующих событию A, к общему числу N возможных исходов опыта, образующих полную группу равновероятных попарно несовместных событий:*

$$P(A) = M/N. \quad (1.7)$$

Это определение вероятности часто называют *классическим*.

На основе вероятностей рассчитываются стандартные характеристики риска:

– математическое ожидание – это средневзвешенное всех возможных результатов, где в качестве весов используются вероятности их достижения;

– дисперсия – представляет собой средневзвешенное из квадратов отклонений случайной величины от ее математического ожидания (т.е. отклонений действительных результатов от ожидаемых). Квадратный корень из дисперсии называется стандартным отклонением и показывает степень разброса возможных результатов по проекту;

– коэффициент вариации – показывает, какую долю среднего значения случайной величины составляет ее средний разброс;

– коэффициент корреляции – показывает связь между переменными, состоящую в изменении средней величины одной из них в зависимости от изменений другой [4].

Описанные выше критерии применяются к нормальному распределению вероятностей, так как его важнейшие свойства (симметричность распределения относительно средней, ничтожная вероятность больших отклонений случайной величины от центра ее распределения) позволяют существенно упростить анализ.

Математическое определение риска

Следуя определению риска, по формуле (1.2) можно записать выражение для риска в виде интеграла:

$$R = \int F(\text{У})\, p(\text{У})\, dy, \tag{1.8}$$

где F(У) – весовая функция потерь, с помощью которой последствия различной природы приводятся к единой оценке ущерба (например, стоимостной); p(У) – плотность распределения случайной величины У (в общем случае векторной).

В такой формулировке риск определяется как математическое ожидание ущерба или потерь.

В методиках оценки комплексного риска для населения от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера риск как математическое ожидание потерь людей $M[N]$ в пределах некоторой территории (например, города) определяется по формуле

$$R = M[N] = P \iint\limits_{S_\Gamma} \int\limits_{\Phi\min}^{\Phi\max} P(\Phi)\psi(x, y)\, f(x, y, \Phi)\, d\Phi dx dy, \tag{1.9}$$

где P – вероятность аварии или чрезвычайной ситуации, в результате которой возникает поражающий фактор, характеризуемый параметром Ф (например, интенсивность землетрясения, избыточное давление на фронте воздушной ударной волны, токсодоза); S_Γ – область интегрирования (например, территория города); Φ_{min},Φ_{max} – соответственно минимально и максимально возможное значение параметра поражающего фактора; P(Ф) – вероятность поражения людей в зависимости от Ф как параметра (часто задается в виде функции нормального распределения от пробит-функции параметра Ф); $\Psi(x, y)$ – плотность населения в пределах рассматриваемой площадки; $f(x, y, \Phi)$ – плотность распределения интенсивности параметра Ф в пределах площадки с координатами (x, y).

В общем случае при учете фактора времени риск в соответствии с формулой (1.3) является функционалом, зависящим от реализации случайного процесса, описывающего течение или сценарий неблагоприятного события.

Таким образом, один и тот же риск может быть вызван или высокой вероятностью отказа с незначительными последствиями, или ограниченной вероятностью отказа с высоким уровнем ущерба.

При анализе опасностей для населения и окружающей среды используют риск, отнесенный к единице времени, при этом за единицу

времени чаще всего принимают 1 год. В качестве примера в табл. 1.3. приведено распределение рисков для жителей России [1, 4, 7, 10].

Таблица 1.3

Оценки уровней риска некоторых неблагоприятных событий для жителей и работающего населения России

Содержание риска	Частота гибели людей, 1/чел. в год
Летальный исход от злокачественных новообразований	$2 \cdot 10^{-3}$
Получение производственной травмы	$1{,}3 \cdot 10^{-4}$
Несчастный случай и травма во внерабочее время	$2{,}34 \cdot 10^{-3}$
Авиационная катастрофа	$8 \cdot 10^{-5}$
Авария с ядерным реактором	$1 \cdot 10^{-7}$
Дорожно-транспортное происшествие	$2{,}4 \cdot 10^{-4}$
Транспортные травмы (всех видов)	$2{,}9 \cdot 10^{-4}$
Падение или удар падающим предметом	$1{,}06 \cdot 10^{-4}$
Опасные факторы пожара и взрыва	$4 \cdot 10^{-5}$
Опасности работы и отдыха на воде	$3{,}3 \cdot 10^{-5}$
Болезни человека в возрасте до 20 лет	$6 \cdot 10^{-3}$
Стихийные бедствия (молния, ураган, наводнение)	$6 \cdot 10^{-7}$
Травмирование при занятиях акробатикой	$5 \cdot 10^{-3}$
Поражающее действие электротока	$6 \cdot 10^{-6}$
Убийство	$3{,}09 \cdot 10^{-4}$
Смерть человека от любых причин	$1{,}62 \cdot 10^{-2}$
Гибель от случайного отравления алкоголем	$3{,}12 \cdot 10^{-4}$

Приведенные выше математические определения риска теряют элемент случайности (математическое ожидание случайно величины 0 величина не случайная, а детерминированная) и обладают всеми недостатками, характерными для точечных оценок случайных величин. Поэтому учет факторов неопределенности при таком рассмотрении риска имеет принципиальное значение.

Несмотря на отмеченную ограниченность процедуры определения риска по соотношениям (1.1) и (1.2), такая мультипликативная и аддитивная комбинация двух величин, характеризующих риск, в одну весьма продуктивна, так как позволяет упростить процедуру оценки риска, разделив ее на два этапа, имеющих во многих случаях самостоятельное значение:

– определение вероятностей (или интенсивностей) неблагоприятных исходов P_i;

– определение ущербов $У_i$ при соответствующих неблагоприятных исходах.

Аварии, природные и техногенные катастрофы, как правило, вызывают последствия различного характера. По этой причине требуется привлечение единой меры ущерба последствий (например, стоимостной) или подходящих весовых функций, которые сводят различные последствия к единому базису. При более сложных структурах событий и ущербов приведенные выше формулы для вычисления риска могут усложняться.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Дайте определение понятиям «опасность» и «безопасность».
2. Дайте определение понятию «риск».
3. Перечислите факторы, которые обусловливают появление рисков.
4. Приведите классификацию факторов риска.
5. Приведите классификацию рисков.
6. Дайте характеристику экологического риска.
7. Перечислите факторы субъективного восприятия риска.
8. Дайте определения и приведите формулы индивидуального, коллективного и потенциального территориального риска.
9. Охарактеризуйте понятие приемлемого риска.
10. Дайте характеристику основным элементам риска.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алымов В.Т., Тарасова Н.П. Техногенный риск: анализ и оценка: учеб. пособие для вузов. – М.: Академия, 2005. – 118 с.

2. Белов П.Г. Системный анализ и моделирование опасных процессов в техносфере: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений. – М.: Академия, 2003. – 512 с.

3. Буянов В.П., Кирсанов К.А., Михайлов Л.А. Управление рисками (рискология). – М.: Экзамен, 2002.

4. Основные показатели риска аварии в терминах теории вероятности / А.И. Гражданкин, Д.В. Дегтярев, М.В. Лисанов, А.С. Печеркин // Безопасность труда в промышленности. – 2002. – №7. – С. 35–39.

5. Гражданкин А.И. Оценка техногенного риска: техническое регулирование, стандартизация, критерии приемлемости // Безопасность труда в промышленности. – 2004. – № 7. – С. 48–49.

6. Гридэл Т.Е., Алленби Б.Р. Промышленная экология: учеб. пособие для вузов / пер. с англ. под ред. проф. Э.В. Гирусова. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2004. – 527 с.

7. Гринин А.С., Новиков В.Н. Экологическая безопасность. Защита территории и населения при чрезвычайных ситуациях: учеб. пособие. – М.: ФАИР-ПРЕСС, 2002. – 336 с.

8. Лесных В.В. Нормирование риска: зарубежный и отечественный опыт // Общие подходы определения степени риска чрезвычайных ситуаций: тез. докл. / ФГУ ВНИИПО МЧС России. – М., 2004.

9. Лисанов М.В. О техническом регулировании и критериях приемлемого риска // Безопасность труда в промышленности. – 2004. – №5. – С. 11–14.

10. РД 03-418–01. Методические указания по проведению анализа риска опасных производственных объектов: утв. постановлением Госгортехнадзора от 10.07.01 г. № 30 / ГУП «Научно-технический центр по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России». – М., 2002.

11. Меньшиков В.В., Швыряев А.А. Опасные химические объекты и техногенный риск: учеб. пособие. – М.: Изд-во хим., фак. Моск. ун-та, 2003. – 254 с.

Глава 2. СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ И ПРОЦЕССОВ

2.1. Понятие систем и системного анализа

2.1.1. Понятие системы

Термин и понятие «система» является искусственно введенным понятием, служащим для представления достаточно сложных объектов и используемым в целях их более качественного исследования и совершенствования.

В настоящее время отсутствует единственное общерпинятое определение системы:

- «Комплекс элементов, находящихся во взаимодействии» (Л. Берталанфи);
- «Множество элементов с соотношением между ними и между их атрибутами (А. Холл, Р. Фейдшин)»;
- «Совокупность элементов, организованных таким образом, что изменения, исключения или введение нового элемента закономерно отражаются на остальных элементах» (В.Н. Топоров);
- «Взаимосвязь самых различных элементов», «все состоящее из связанных друг с другом частей» (С. Бир);
- «Отображение входов и состояний объекта в выходных объекта» (М. Месарович).

Система (греч. – «составленное из частей», «соединение» от «соединяю») – объективное единство закономерно связанных друг с другом предметов, явлений, а также знаний о природе и обществе.

Другими словами, под системой понимается такая совокупность элементов, объединенных общими ресурсами, связями, функциональной средой и целью существования, которая обладает свойствами, отсутствующими у отдельных элементов [1, 3, 6].

Элементы – условно неделимые и самостоятельно функционирующие части системы.

В некоторых системах, помимо элементов, иногда выделяют их *компоненты* (подсистемы), под которыми подразумевают совокупности относительно однородных элементов, объединенных общими функцией и ресурсом. Компоненты вводятся для упрощения описания процесса функционирования человекомашинной системы в целом, поскольку образующие ее люди, используемая техника и окружающая их среда могут

считаться подсистемами более низкого уровня. Примером может служить современный компьютер, компонентами которого служит большое число практически одинаковых и параллельно работающих электронно-вычислительных машин. Основными же подсистемами и элементами последних могут считаться, например, процессор и отдельная микросхема. Другую, чрезвычайно сложную систему представляет, например, сама техносфера, а также составляющие ее человекомашинные системы.

Характер взаимодействия между подсистемами играет важную роль, поэтому наиболее важной характеристикой системы считается ее *структура* – множество тех связей и элементов, которые имеют наиболее важное значение при обеспечение энерго-, массо- и информационного обмена не только внутри самой системы, но и между ней и окружающей ее средой.

Другими, также важными характеристиками является *функциональная среда* системы и *состояние*, которое они занимают в каждый момент времени, определяемое всей совокупностью ее существенных свойств на данный момент их проявления.

Для того чтобы выделить систему из среды необходимо соблюдать некоторые правила:

1. Определить границы системы и ее связи с внешней средой.

2. Четко сформулировать функцию системы и в соответствии с ней проверить систему на полноту элементов, целостность, единство с позиции ее функционирования и в конечном счете – достижения желаемой цели (чтобы отсутствовали лишние, дублирующие, несовместимые либо недостающие элементы или связи).

3. Построить структуру системы, учитывая при этом, что функция системы может реализоваться различными структурами.

4. Определить внутренние законы, по которым система существует и развивается. При этом система должна пониматься в развитии и движении. Должна быть установлена связь законов функционирования внутри системы с законами функционирования системного окружения (среды и надсистемы) [1, 4, 7].

2.1.2. Классификация систем

Полной классификации систем в настоящее время нет, более того, не выработаны окончательно ее принципы. Разные авторы предлагают различные принципы классификации, а сходным по смыслу – дают разные названия.

Одна из возможных классификаций систем приведена на рис. 2.1.

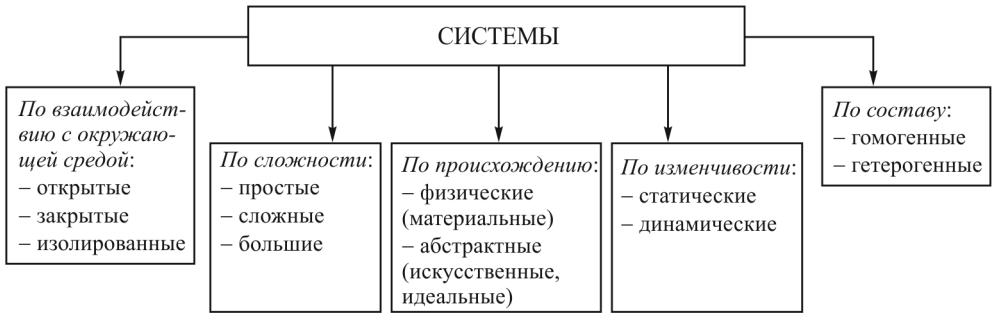


Рис. 2.1. Классификация систем

В соответствии с рис. 2.1 различают системы гомогенные, или однородные, и гетерогенные (разнородные), а также смешанного типа. В гомогенных системах структурные элементы однородны, т.е. обладают одинаковыми свойствами, их элементы взаимозаменяемы (жидкости, газы, популяции организмов).

Гетерогенные системы состоят из разнородных элементов, не обладающих свойством взаимозаменяемости (техносфера).

По сложности систем они могут разделяться на три группы: простые – 4.1, сложные – 4.2 и большие – 4.3. Отличными свойствами сложных и больших считаются:

а) уникальность;

б) многоступенчатость, иерархичность;

в) случайный характер функционирования и реагирования на воздействие факторов;

г) многокритериальность оценки состояния;

д) слабая структурированность и разнородность образующих их частей.

Главным отличительным свойством большой системы служит ее размер, не позволяющий провести исследование системы без предварительной декомпозиции (расчленения на компоненты) с последующим укрупнением.

Еще один вариант классификации – классификация действующих систем, которые способны совершать операции, работы, процедуры, обеспечивать заданное выполнение технологических процессов, действуя по программам, задаваемым человеком.

1. *Технические системы* – материальные системы, которые решают задачи по составленным человеком программам; сам человек при этом не является элементом таких систем (автомобиль, холодильник, компьютер).

2. *Эргатические системы* – это система, составным элементом которой является человек-оператор (шофер за рулем автомобиля, рабочий, вытачивающий деталь на токарном станке).

3. *Технологические системы* – это совокупность операций (процессов) в достижении некоторых целей. Структура такой системы определяется набором методов, методик, рецептов, регламентов, правил и норм. Элементами формальной технологической системы будут операции (действия) или процессы (рецепт блюда, в котором указаны основные параметры приготовления – количество продуктов, температура, продолжительность, но отсутствуют требования, например, к виду кастрюли или плиты).

Технологическая система более гибкая, чем техническая: минимальными преобразованиями ее можно переориентировать на производство других объектов либо на получение других свойств последних (производство бумаги, изготовление автомобиля, оформление командировки, получение денег в банкомате).

4. *Экономическая система* – система отношений (процессов), складывающихся в экономике.

5. *Социальная система* – совокупность мероприятий, направленных на социальное развитие жизни людей (улучшение социально-экономических и производственных условий труда, усиление его творческого характера, улучшение жизни работников, улучшение жилищных условий).

6. *Организационная система* – совокупность элементов, обеспечивающих координацию действий, правильное функционирование и развитие основных функциональных элементов объекта. Связи в такой системе основаны на информации и определяются различными нормативными документами.

7. *Система управления*. Содержит два главных элемента: управляемую подсистему (объект управления) и управляющую подсистему (осуществляющую функцию управления) [4, 6, 8].

Классификация систем по сложности

Не существует четкой границы между простыми и сложными системами, разные авторы предлагают различные классификации сложных систем. Например, признаком простой системы считают небольшой объем информации, требуемый для ее успешного управления. Системы, в которых не хватает информации для эффективного управления, считают сложными. Г.Н. Поваров оценивает сложность систем в зависимости от числа элементов, входящих в систему:

– малые системы ($10 – 10^3$ элементов);
– сложные ($10^4 – 10^6$);
– ультрасложные ($10^7 – 10^{30}$ элементов);
– суперсистемы ($10^{30} – 10^{200}$ элементов).

Ю.И. Черняк сложной называет систему, которая строится для решения многоцелевой задачи и отражает объект с разных сторон в нескольких моделях.

Одна из интересных классификаций по уровням сложности предложена К. Боулдингом (табл. 2.1).

Таблица 2.1

Классификация систем по уровню сложности К. Боулдинга

Тип системы	Уровень сложности	Примеры
Неживые системы	Статические структуры (остовы)	Кристаллы
	Простые динамические структуры с заданным законом поведения	Часовой механизм
	Кибернетические системы с управляемыми циклами обратной связи	Термостат
Живые системы	Открытые системы с самосохраняемой структурой (первая ступень, на которой возможно разделение на живое и неживое)	Клетки
	Живые организмы с низкой способностью воспринимать информацию	Растения
	Живые организмы с низкой способностью воспринимать информацию	Животные
	Системы, характеризующиеся самосознанием, мышлением и нетривиальным поведением	Люди
	Социальные системы	Социальные организации
	Трансцендентные системы или системы, лежащие в настоящий момент вне нашего познания	–

В этой классификации каждый последующий класс включает в себя предыдущий.

Ст. Вир предлагает делить системы на простые, сложные и очень сложные. *Простые* – это наименее сложные системы. *Сложные* – это системы, отличающиеся разветвленной структурой и большим разнообразием внутренних связей. *Очень сложная* система – это сложная система, которую подробно описать нельзя.

Позднее Ст. Вир предложил относить к простым системам те, которые имеют до 10^3 состояний, к сложным – от 10^3 до 10^6 состояний и к очень сложным – системы, имеющие свыше миллиона состояний.

2.1.3. Общесистемные закономерности

Общесистемные закономерности – это закономерности, характеризующие принципиальные особенности построения, функционирования и развития систем. Общесистемные закономерности приведены в табл. 2.2 [2, 3, 6].

Таблица 2.2

Общесистемные закономерности

Закономерности	Свойства	Описание
1. Закономерности взаимодействия части и целого	*1.1 Эмерджентность (или интегративность)*	*Эмерджентность* (от англ. emergence – возникновение, явление нового) – это возникновение в системе новых интегративных качеств, не свойственных ее компонентам в отдельности. Эмерджентность является одной из форм проявления диалектического закона перехода количественных изменений в качественные. Чем проще система, чем из меньшего числа элементов и связей она состоит, тем меньше проявляет она системное качество, и чем сложнее система, тем более непохожим является ее системный эффект по сравнению со свойствами каждого элемента. Из данной закономерности следует важный практический вывод: невозможно предсказать свойства системы в целом, разбирая и анализируя ее по частям
	1.2. Целостность	Изменение в одном элементе системы вызывает изменения во всех других элементах и в системе в целом. Целостность возникает благодаря связям в системе, которые осуществляют перенос свойств каждого элемента системы ко всем остальным элементам. Предельным случаем целостности является абсолютная целостная система. Благодаря абсолютно жестким связям такая система может находиться только в одном состоянии, поэтому энтропия ее равна нулю. В реальных системах связи между элементами не являются абсолютно жесткими ($k < 1$), из-за чего система может находиться в нескольких состояниях. В этом случае воздействие на элемент системы отразится во всех элементах и в системе в целом, но с неким «затуханием»

Продолжение табл. 2.2

Закономерности	Свойства	Описание
	1.3. Синергизм	Проявляется в виде мультипликативного эффекта при однонаправленных действиях. Примеры: если система имеет два входа (x_1 и x_2) и один выход y, тогда мультипликативный эффект можно выразить уравнением $y = ax_1x_2$. Примеры: В медицине часто можно наблюдать явление, когда комбинированное действие лекарственных веществ на организм превышает действие, оказываемое каждым компонентом в отдельности. В экономике доходы от совместного использования ресурсов превышают сумму доходов от использования тех же ресурсов по отдельности
2. Закономерности иерархической упорядоченности систем	*2.1. Коммуникативность*	Любая система не изолирована от других систем, но связана множеством коммуникаций с окружающей средой, которая представляет собой сложное и неоднородное образование, содержащее: – надсистему (систему более высокого порядка, задающую требования и ограничения рассматриваемой системе); – элементы или подсистемы (нижележащие, подведомственные системы); – системы одного уровня с рассматриваемой. В силу закономерности коммуникативности каждый уровень иерархической упорядоченности имеет сложные взаимоотношения с вышестоящим и нижележащим уровнями.
	2.2. Иерархичность	Любую систему можно представить в виде иерархического образования. При этом на всех уровнях иерархии действует закономерность целостности. Более высокий иерархический уровень объединяет элементы нижестоящего и оказывает на них направляющее воздействие
3. Энтропийные закономерности	*3.1. Принцип компенсации энтропии*	Энтропия неизолированной системы может быть уменьшена только за счет компенсирующего увеличения энтропии в другой или других системах, взаимодействующих с данной. На основе вышеизложенного можно утверждать, что прогресс не может быть общим для всех частей системы. По законам термодинамики снижение энтропии в одной части системы обязательно сопровождается повышением энтропии в другой части или окружающей среде

Продолжение табл. 2.2

Закономерности	Свойства	Описание
4. Закономерности развития	*4.1. Закономерность развития во времени – историчность*	Любая система не может быть неизменной, поскольку она не только возникает, функционирует, развивается, но и погибает – любая система имеет свой жизненный цикл
	4.2. Рост и развитие	Развитие – это изменения процессов в системе во времени, выраженные в количественных, качественных и структурных преобразованиях от низшего (простого) к высшему (сложному). Деградация – постепенное ухудшение, снижение или утрата положительных качеств, упадок
	4.3. Закономерность неравномерного развития и рассогласования темпов выполнения функций элементами системы	Чем сложнее система, тем более неравномерно развиваются ее составные части. При этом в процессе функционирования или развития системы ее элементы выполняют свои локальные функции в соответствии со своим темпом. Это закономерно приводит к рассогласованию темпов выполнения функций элементами, что создает угрозу целостности системы и ее способности выполнять свои функции, а также дезорганизации всей системы вплоть до ее остановки
	4.4. Эквифинальность	Состояние равновесия в закрытых системах полностью определяется начальными условиями. Для открытых же систем их конечное состояние не зависит от начального состояния, а определяется особенностями протекающих внутри системы процессов и характером ее взаимодействия со средой. Эквифинальность – это способность системы достигать определенного состояния, которое не зависит ни от времени, ни от ее начальных условий, а определяется исключительно ее параметрами
5. Другие общесистемные закономерности	*5.1. Полисистемность*	Любой объект окружающего мира принадлежит в качестве элемента одновременно многим системам. При этом между всеми системами, которым принадлежит общий элемент, существуют противоречия: каждая из этих систем стремится к своей, особой цели, используя любой свой элемент в качестве средства
	5.2. Противодействие системы внешнему возмущению	А.Л. Ле Шателье сформулировал следующий принцип: «Если существующее равновесие системы подвергается внешнему воздействию, изменяющему какое-либо из условий равновесия, то в ней возникают процессы, направленные так, чтобы проти-

Окончание табл. 2.2

Закономерности	Свойства	Описание
		водействовать этому изменению», т.е. при внешнем возмущении, нарушающем условие равновесия, в системе развиваются противоположно действующие процессы, и до определенного уровня они нейтрализуют эффект внешнего воздействия
	5.3. Закономерность «наиболее слабых мест»	Устойчивость всей системы зависит от наиболее слабых элементов в системе, поэтому структурная устойчивость (приспособленность) системы определяется устойчивостью наиболее слабой подсистемы. Там, где относительное сопротивление будет меньше необходимого, произойдет сбой

2.1.4. Характеристики системы

Одной из наиболее важных задач системного анализа является установление причинно-следственных связей выходов системы с ее входами и состоянием. Значения выходов системы зависят от следующих факторов:

– значений входных переменных;

– начального состояния системы;

– функции системы.

1. Состояние системы и его оценка. Состояние системы характеризует ее свойства в определенный момент времени. При этом можно говорить о состоянии входов, внутреннем состоянии и состоянии выходов системы.

Состояние входов системы представляется вектором значений входных параметров $X = (x_1, ..., x_n)$ и фактически является отражением состояния окружающей среды.

Внутреннее состояние системы представляется вектором значений ее внутренних параметров (параметров состояния) $Z = (z_1, ..., z_v)$ и зависит от состояния входов X и начального состояния Z_0:

$$Z = F1(X, Z_0).$$

Примерами параметров состояния служат температура газа в трубе, психологическое состояние человека, степень изношенности оборудования, уровень квалификации персонала.

Внутреннее состояние практически ненаблюдаемо, но может быть оценено по состоянию выходных переменных системы $Y = (y_1...y_m)$ благодаря зависимости $Y = F2(Z)$.

При этом в качестве характеристик, отражающих состояние системы, могут выступать не только сами выходные значения, но и характеристики их изменения – скорость, ускорение и т.д. Таким образом, внутреннее состояние системы S в момент времени t может характеризоваться множеством значений ее выходных координат и их производных в этот момент времени:

$$St = \left\{ Y_t, Y_t^1, Y_t^{11} \right\}.$$

Например, состояние финансовой системы страны можно характеризовать не только курсом национальной валюты к доллару, но и скоростью изменения этого курса, а также ускорением или замедлением этой скорости.

При этом выходные переменные могут не полностью, неоднозначно и несвоевременно отражать состояние системы в данный момент времени. Например, повышенная температура (y > 37 °С) может быть характерна для различных внутренних состояний; низкая прибыль предприятия может наблюдаться при разных состояниях организации.

2. Процесс. Если система способна переходить из одного состояния в другое (например, $S_1 \rightarrow S_2 \rightarrow S_3$...), то говорят, что она обладает поведением – в ней происходит процесс (P), который может быть описан через функцию времени $P = S(t)$ или множеством $P = \{St_1\ St_2 \ldots.\}$.

По отношению к системе существует два вида процессов:

– внешний процесс – последовательная смена воздействий на систему (последовательная смена состояний внешней среды);

– внутренний процесс – последовательная смена состояний системы, которая наблюдается как процесс на выходе системы.

3. Изменение системы. В зависимости от того, изменяется ли состояние системы со временем, ее можно отнести к статическим или динамическим системам.

Статические модели отражают функцию системы – конкретное состояние реальной или проектируемой системы (например, закон Ома). Динамические модели отражают процесс функционирования или изменения состояний системы (различия между состояниями, последовательность смены состояний и развитие событий с течением времени). Например, описание процесса изменения спроса на какой-либо товар под влиянием рекламы, изменение температуры утюга при его включении.

Отличие статических и динамических моделей заключено в учете времени: в статике его как бы не существует, а в динамике оно является основным элементом.

Для описаний функционирования системы используются динамические модели. Для разных объектов и систем разработано большое количество динамических моделей, описывающих процессы с различной степенью детальности: от самого общего понятия динамики, движения вообще, до формальных математических моделей конкретных процессов типа уравнений движения в механике или волновых уравнений в теории поля.

4. Функция и функционирование системы. Свойства системы проявляются не только в значениях выходных переменных, но и в ее функциях, поэтому определение функций системы является одной из первых задач ее анализа или проектирования.

Функция системы – это способ (правило, алгоритм) преобразования входной информации в выходную.

Система может быть одно- или многофункциональной.

Функцию динамической системы можно представить логико-математической моделью, связывающей входные (X) и выходные (Y) координаты системы: $Y = F(X)$, где F – оператор (в частном случае некоторая формула), называемый алгоритмом функционирования, – вся совокупность математических и логических действий, которые нужно произвести, чтобы по данным входам X найти соответствующие выходы Y.

Функционирование рассматривается как процесс реализации системой своих функций и описывает, как меняется состояние системы при изменении состояния ее входов.

5. Состояние функции системы. Поскольку функция системы является ее свойством, то можно говорить о состоянии системы в заданный момент времени, указывая ее функцию для этого момента времени. Таким образом, состояние системы можно рассматривать в двух разрезах: состояние ее параметров и состояние ее функции, которая, в свою очередь, зависит от состояния структуры и параметров: $S_t = \{A_t, F_t\} = \{A_t, (S_t, A_t)\}$.

Знание состояния функции системы позволяет прогнозировать значения ее выходных переменных для стационарных систем.

Систему считают стационарной, если ее функция практически не изменяется в течение определенного периода ее существования. Для такой системы реакция на одно и то же воздействие не зависит от момента приложения этого воздействия.

Ситуация значительно осложняется, если функция системы меняется во времени, что является свойством нестационарных систем. Систему считают нестационарной, если ее функция изменяется со временем.

6. Режимы динамической системы. Динамическая система может находиться в трех режимах: равновесный, переходной и периодический.

Равновесный режим – это такое состояние системы, в котором она может находиться сколь угодно долго в отсутствие внешних возмущающих воздействий или при постоянных воздействиях.

Под переходным режимом понимают процесс движения динамической системы из некоторого начального состояния к какому-либо ее установившемуся режиму – равновесному или периодическому.

Периодическим режимом называется такой режим, когда система через равные промежутки времени приходит в одни и те же состояния [5, 7, 8].

2.1.5. Понятие системного анализа

Под системным анализом понимают одно из направлений системного подхода к изучению больших и/или сложных систем, предполагающее мысленное расчленение сложного (целого) объекта для выявления его наиболее существенных частей – компонентов и свойств.

Системный подход – это направление методологии научного познания и социальной практики, в основе которого лежит рассмотрение объектов как системы. Системный подход ориентирует исследователей на раскрытие целостности объекта, на выявление многообразных связей и сведение их в единую теоретическую картину.

Системный синтез – направление системного подхода, концентрирующее внимание на органическом соединении различных частей рассматриваемого сложного объекта в единое, целостное образование, уже обладающего качественно новыми свойствами, включая способность к самоорганизации путем усложнения и дифференциации.

Подходы к анализу и проектированию систем

При анализе и проектировании действующих систем нас могут интересовать различные аспекты: от внутреннего устройства системы до организации управления в ней. В связи с этим условно выделяют следующие подходы к анализу и проектированию:

- *Системно-элементный подход*: отвечает на вопрос о том, из чего (каких элементов) образована система.

- *Системно-структурный подход* направлен на выявление компонентного состава системы и связей между ними, обеспечивающих целенаправленное функционирование (предметами исследований являются состав, структура, конфигурация, топология и т.п.)
- *Системно-функциональный подход* направлен на рассмотрение системы с точки зрения ее поведения в среде для достижения целей. В данном случае рассматриваются динамические характеристики, устойчивость, живучесть, эффективность, т.е. все то, что при неизменной структуре системы зависит от свойств ее элементов и их отношений.
- *Системно-генетический подход* (или системно-исторический) подход направлен на изучение системы с точки зрения ее развития во времени.
- *Системно-коммуникативный подход* направлен на изучение системы с точки зрения ее отношений с другими, внешними по отношению к ней системами.
- *Системно-управленческий подход*. Система постоянно испытывает на себе внутренние и внешние возмущающие воздействия. Между тем система живет, функционирует, развивается. Значит, наряду со специфическим набором компонентов, внутренней организацией (структурой) и т.д., есть и другие системообразующие, системосохраняющие факторы. Эти факторы обеспечения устойчивости жизнедеятельности системы называют управлением. Системно-управленческий подход направлен на изучение системы с точки зрения обеспечения ее целенаправленного функционирования в условиях внутренних и внешних возмущений.
- *Системно-информационный подход* направлен на изучение системы с точки зрения передачи, получения, хранения и обработки данных внутри системы и в связи со средой.

Принципы системного анализа

При системном анализе процессов в техносфере необходимо пользоваться следующими принципами:

1. При интерпретации объекта как системы каждый элемент следует описывать не как таковой, а с учетом его места в системе.

2. Исследование системы необходимо проводить неотделимо от исследования окружающей ее среды.

3. Центральным моментом системного исследования должно быть изучение порождения свойств целого из свойств элементов и наоборот.

4. В системном исследовании следует стремиться устанавливать не только чисто причинные объяснения функционирования и развития объекта, но и их целесообразность.

5. Источник преобразований системы следует искать в ней самой; нередко он связан с ее самоорганизацией и самонастройкой.

6. Необходимыми частями системного исследования нужно считать выявление целостности объекта, изучение его внутренних и внешних связей, структуры и функций, определение системообразующих факторов, интегральных свойств и показателей [4, 5, 6].

При исследовании сложных техносферных объектов (человеко-машинные системы) и предметов исследования (объективные закономерности появления и предупреждения происшествий при их функционировании), точнее, тех особенностей, которые имеют существенное значение для моделирования, системного анализа и синтеза соответствующих процессов, возникают некоторые проблемы.

Во-первых, это трудоемкость моделирования и системного исследования человеко-машинной системы. Ведь не возможно определить ее существенные свойства без выявления структуры, а также оценить важность системообразующих компонентов без учета их интегральных свойств и взаимодействующих обратных связей.

Во-вторых, это невозможность точного прогноза интегральных показателей столь сложной системы, не говоря уже о траектории их изменения. В связи с этим основное внимание в моделировании процессов в техносфере следует уделять уяснению тех внутренних закономерностей и каждой конкретной человеко-машинной системы, воздействия на которые окажется наиболее результативным.

Чем сложнее система, тем менее правдоподобны точные количественные предсказания ее будущего поведения.

2.1.6. Методология системного анализа

Системный подход следует рассматривать как некоторый методологический подход человека к действительности, представляющий собой некую общность принципов, системное мировоззрение.

Подход – это совокупность приемов, способов воздействия на кого-либо, в изучении чего-нибудь, ведении дела и т.д.

Системный подход – это методология научного познания и практической деятельности, а также объяснительный принцип, в основе которых лежит рассмотрение объекта как системы.

Основной акцент при применении системного подхода делается на *анализе целостных свойств объекта, выявлении его различных связей и структуры, особенностей функционирования и развития.*

Системный подход представляется достаточно универсальным подходом при анализе, исследовании, проектировании и управлении любых сложных технических, экономических, социальных, экологических, политических, биологических и других систем.

Системный метод реализует познавательную и методологическую функции. Он выступает как некоторая интегральная совокупность относительно простых методов и приемов познания, а также преобразования действительности. Конечная цель любой системной деятельности заключается в выработке решений, как на стадии проектирования систем, так и при управлении ими.

Центральное место в исследовании занимают два противоположных подхода: анализ и синтез.

Анализ предусматривает процесс разделения целого на части. Он весьма полезен в том случае, если требуется выяснить, из каких частей (элементов, подсистем) состоит система. Посредством анализа приобретаются знания. Однако при этом нельзя понять свойства системы в целом. Задача синтеза – построение целого из частей. Посредством синтеза достигается понимание.

Системный подход состоит в многосвязности процесса решения: этапы рассматриваются совместно, во взаимосвязи и диалектическом единстве. При этом возможен переход к любому этапу, в том числе и возврат к постановке цели исследования.

В настоящее время отсутствуют какие-либо устоявшиеся, общепринятые технологии системного анализа. Системный анализ в настоящее время представляет собой слабосвязанную совокупность приемов и методов неформального и формального характера.

Кроме того, нет однозначности в понимании самого системного анализа. Ю.П. Сурминым выделяются следующие варианты понимания сущности системного анализа:

- Отождествление технологии системного анализа с технологией научного исследования. При этом для самого системного анализа в этой технологии практически не находится места.
- Сведение системного анализа к системному конструированию. По сути, системно-аналитическая деятельность отождествляется с системотехнической.

- Очень узкое понимание системного анализа, сведение его к одной из его составляющих, например к структурно-функциональному анализу.
- Отождествление системного анализа с системным подходом в аналитической деятельности.
- Понимание системного анализа как исследования системных закономерностей.
- В узком смысле под системным анализом довольно часто понимают совокупность математических методов исследования систем.
- Сведение системного анализа к совокупности методологических средств, которые используются для подготовки, обоснования и реализации решений сложных проблем.

Таким образом, то, что называют системным анализом, представляет собой недостаточно интегрированный набор методов и приемов системной деятельности.

Наиболее важную часть методологии системного анализа составляют ее методы и методики (для простоты в дальнейшем обобщенно будем говорить о методиках).

В качестве простейшего варианта методики системного анализа можно рассматривать такую последовательность:

1) постановка задачи;
2) структуризация системы;
3) построение модели;
4) исследование модели.

Другие примеры и анализ этапов первых методик системного анализа приведены в книге, где рассматриваются методики ведущих специалистов системного анализа 70-х и 80-х годов прошлого столетия: С. Оптнера, Э. Квейда, С. Янга, Е.П. Голубкова. Ю.Н. Черняка.

Примеры

Этапы методик системного анализа по *С. Оптнеру*:

1. Идентификация симптомов.
2. Определение актуальности проблемы.
3. Определение цели.
4. Вскрытие структуры системы и ее дефектных элементов.
5. Определение структуры возможностей.
6. Нахождение альтернатив.
7. Оценка альтернатив.
8. Выбор альтернативы.
9. Составление решения.

10. Признание решения коллективом исполнителей и руководителей.

11. Запуск процесса реализации решения.

12. Управление процессом реализации решения.

13. Оценка реализации и ее последствий.

Этапы методик системного анализа *по С. Янгу*:

1. Определение цели системы.

2. Выявление проблем организации.

3. Исследование проблем и постановка диагноза.

4. Поиск решения проблемы.

5. Оценка всех альтернатив и выбор наилучшей из них.

6. Согласование решений в организации.

7. Утверждение решения.

8. Подготовка к вводу.

9. Управление применением решения.

10. Проверка эффективности решения.

Этапы методик системного анализа *по Ю.И. Черняку*:

1. Анализ проблемы.

2. Определение системы.

3. Анализ структуры системы.

4. Формирование общей цели и критерия.

5. Декомпозиция цели и выявление потребности в ресурсах и процессах.

6. Выявление ресурсов и процессов – композиция целей.

7. Прогноз и анализ будущих условий.

8. Оценка целей и средств.

9. Отбор вариантов.

10. Диагноз существующей системы.

11. Построение комплексной программы развития.

12. Проектирование организации для достижения целей.

Из анализа и сопоставления этих методик видно, что в них в той или иной форме представлены следующие этапы:

- *выявление проблем и постановка целей;*
- *разработка вариантов и модели принятия решения;*
- *оценка альтернатив и поиска решения;*
- *реализация решения.*

Кроме того, в некоторых методиках имеются этапы оценки эффективности решений. В наиболее полной методике Ю.И. Черняка особо предусмотрен этап проектирования организации для достижения цели.

При этом различные авторы акцентируют свое внимание на разных этапах, соответственно более подробно их детализируя.

Конечная цель системного анализа – оказать помощь в понимании и решении имеющейся проблемы, что сводится к поиску и выбору варианта решения проблемы. Результатом будет выбранная альтернатива либо в виде управленческого решения, либо в виде создания новой системы (в частности, системы управления) или реорганизации старой, что опять же является управленческим решением.

В общем виде этапы системного анализа объекта выглядят следующим образом:

1. Определение границы исследуемой системы.

2. Определение всех подсистем, в которые входит исследуемая система в качестве части.

3. Определение основных черт и направлений развития всех надсистем, которым принадлежит данная система в частности, формулировка их целей и противоречий между ними.

4. Определение роли исследуемой системы в каждой надсистеме с рассмотрением этой роли как средства достижения целей надсистемы. Следует рассмотреть при этом два аспекта: идеализированную, ожидаемую роль системы с точки зрения надсистемы, т.е. те функции, которые следовало бы выполнять, чтобы реализовать цели надсистемы; реальную роль системы в достижении целей надсистемы.

5. Выявление состава системы, т.е. определение частей, из которых она состоит.

6. Определение структуры системы, представляющей собой совокупность связей между ее компонентами.

7. Определение функций активных элементов системы, их «вклада» в реализацию роли системы в целом.

8. Выявление причин, объединяющих отдельные части в систему, в целостность.

9. Определение всех возможных связей, коммуникаций системы с внешней средой.

10. Рассмотрение исследуемой системы в динамике, в развитии [1, 3, 5–8].

Изложенная здесь последовательность процедур системного анализа не является обязательной и закономерной. Обязательным является скорее сам перечень процедур, чем их последовательность. Единствен-

ное правило заключается в целесообразности многократного возвращения в ходе исследования к каждой из описанных процедур. Только это является залогом глубокого и всестороннего изучения любой системы.

2.2. Моделирование систем и процессов

2.2.1. Понятие модели и моделирования

При исследовании объектов окружающего мира возникает необходимость их представления, анализа и хранения в удобном виде. При проектировании чего-либо изначально формируется некоторый образ этого нового, который необходимо представить. Данные задачи требуют фиксации (представления) информации об объекте в виде некоторого образа (словесного, графического и т. п.).

В связи с этим в деятельности человека большую роль играют модели и моделирование. Особенно незаменимо моделирование при работе со сложными объектами. Все это делает моделирование важнейшим инструментом системного анализа.

Модель в широком понимании – это образ (в том числе условный или мысленный) какого-либо объекта или системы объектов, используемый при определенных условиях в качестве их «заместителя» или «представителя».

Модель – это упрощенное подобие объекта, которое воспроизводит интересующие нас свойства и характеристики объекта-оригинала или объекта проектирования.

Моделью Земли служит глобус, звездного неба – экран планетария. Чучело животного есть его модель, а фотография на паспорте или любой перечень паспортных данных – модель владельца паспорта.

Моделирование связано с выяснением или воспроизведением свойств какого-либо реального или создаваемого объекта, процесса или явления с помощью другого объекта, процесса или явления.

Моделирование – это построение, совершенствование, изучение и применение моделей реально существующих или проектируемых объектов (процессов и явлений).

Есть три основных причины для моделирования объектов и процессов:

1. *Сложность реальных объектов*. Число факторов, которые относятся к решаемой проблеме, выходит за пределы человеческих возможностей. Поэтому одним из выходов (зачастую единственным) в сло-

жившейся ситуации является упрощение ситуации с помощью моделей, в результате чего уменьшается разнообразие этих факторов до уровня восприимчивости специалиста.

2. *Необходимость проведения экспериментов*. На практике встречается много ситуаций, когда экспериментальное исследование объектов ограничено высокой стоимостью или вовсе невозможно (опасно, вредно, ограничено на современном этапе развития).

3. *Необходимость прогнозирования*. Важное достоинство моделей состоит в том, что они позволяют «заглянуть в будущее», дать прогноз развития ситуации и определить возможные последствия принимаемых решений.

Кроме того, исследуемый объект может быть либо очень велик (модель Солнечной системы), либо очень мал (модель атома); процесс может протекает очень быстро (модель двигателя внутреннего сгорания) или очень медленно (геологические модели); исследование объекта может привести к его разрушению (модель самолета, автомобиля), что также значимо при выборе моделирования как метода исследования.

Следует отметить две особенности моделирования:

1. Поскольку к моделированию прибегают из-за сложности изучаемого объекта, модель заведомо проще оригинала. В завимимости от цели исследования отсекаются несущественные качества объекта.

2. Каждая модель создается под определенную исследовательскую задачу и не всегда применима к решению других. Распространенный в науке перенос моделей с одной задачи на другую далеко всегда оправдан и обоснован [1, 6].

Для моделирования используются два типа моделей: описательные и нормативные.

Описательные модели (дескриптивные, познавательные) предназначены для описания свойств или поведения реальных объектов. Они являются формой представления знаний о действительности (план города, отчет о деятельности фирмы, психологическая характеристика личности).

Можно назвать следующие цели описательного моделирования в зависимости от решаемых задач:

- научные исследования – наиболее полно и точно отразить свойства объекта;
- управление – наиболее точно отразить свойства объекта в рабочем диапазоне изменения его параметров;
- прогнозирование – построить модель, способную наиболее точно прогнозировать поведение объекта в будущем;

- обучение – отразить в модели изучаемые свойства объекта.

Построение описательной модели происходит по следующей схеме: наблюдение, кодирование, фиксация (рис. 2.2).



Рис. 2.2. Последовательность построения описательной модели

Нормативные модели (прескриптивные, прагматические) предназначены для указания целей деятельности и определенного порядка (алгоритма) действий для их достижения. Цель – образ желаемого будущего, т.е. модель состояния, на реализацию которого и направлена деятельность.

Алгоритм – образ (модель) будущей деятельности.

При нормативном моделировании обычно не используют слово «модель» – чаще говорят «проект», «план» (проекты машин, зданий; планы застройки; законы; уставы организаций и должностные инструкции, бизнес-планы, программы действий).

Познавательные и прагматические модели можно классифицировать по характеру выполняемых функций, форме, зависимости объекта моделирования от времени.

Модели по форме делятся:

- на физические – материальные объекты, имеющие сходство с оригиналом (модель самолета, которая исследуется в аэродинамической трубе; модель плотины);
- словесные (вербальные) – словесное описание чего-либо (внешность человека, принцип работы устройства, структура предприятия);
- графические – описание в виде графических изображений (схемы, карты, графики, диаграммы);
- знаковые – описание в виде символов и знаков (дорожные знаки, условные обозначения на схемах, математические соотношения). Разновидностью знаковых моделей являются математические модели.

Математическая модель (или математическое описание) – это система математических соотношений, описывающих изучаемый процесс или явление.

Примеры математических моделей: $X > 5$; $U = IR$; $34y + 5x = 0$.

2.2.2. Математические модели

Рассмотрим постановку задачи и алгоритмы решения задач построения математических моделей аналитическими и статистическими методами.

Пусть имеется некоторый объект с m входами $X = (x_1, \ldots, x_m)$ и одним выходом y, связанными некоторой функциональной зависимостью

$$y = F(X, A) + \varepsilon,$$

где $A = (a_1, \ldots, a_m)$ – вектор коэффициентов (параметров); ε – помехи.

Необходимо по выборке из k значений $W = \{w^1, \ldots, w^i, \ldots, w^k\}$, где $w^i = \{y^i_y, x^i\}$, найти такое функциональное преобразование, чтобы минимизировать некоторый критерий рассогласования модели и объекта (критерий качества модели): $D_F \to \min\limits_{F \in f}$, где F – функциональное преобразование (фактически структура математической модели), f – множество возможных преобразований (структур моделей).

В задаче построения математической модели возникает ряд проблем, среди которых можно выделить следующие:

- выбор структуры модели (функции $F(X, A)$);
- оценивание вектора коэффициентов модели A;
- выбор критерия оценки качества модели D.

Все эти задачи тесно связаны между собой: выбирая структуру модели, надо оценивать ее качество, а чтобы оценить качество модели, необходимо предварительно найти ее коэффициенты.

Выделяют следующие методы построения математических моделей:

- аналитический;
- статистический (экспериментальный);
- экспериментально-аналитический.

Аналитические модели (их еще называют «физическими») строятся исходя из анализа объекта и известных законов (физики, химии, экономики и т.п.).

Экспериментальные модели строятся на основе экспериментальных данных, полученных с объекта исследования. Фактически используется метод «черного ящика», при котором математические модели строятся на основании наблюдений за входными и выходными значениями. Построение математических моделей по результатам наблюдения входных и выходных переменных объекта получило название

«идентификация». При этом определяются не только коэффициенты модели (идентификация в узком смысле), но и ее структура (структурная идентификация).

Однако, как показывает практика, ни тот ни другой подход не используется в чистом виде: при построении аналитических моделей приходится их подстраивать по данным эксперимента, а в экспериментальных моделях закладываются некоторые априорные сведения об объекте (применяется так называемый метод «серого ящика»). Поэтому наиболее распространен экспериментально-аналитический подход, когда исходная структура модели строится на основании анализа процессов в системе, а коэффициенты определяются по экспериментальным данным.

Выбор структуры модели

Уточним постановку задачи структурной идентификации. Будем считать, что нам ничего не известно о структуре истинной зависимости F. Тогда при входных переменных теоретически может существовать бесконечное количество структур F (X, A), принадлежащих f. Поскольку нам не известна структура F^o, то, если даже мы найдем такую F, которая равна F^o, мы не узнаем об этом.

Решение любой задачи выбора состоит из двух подзадач: «генерация» альтернатив и формирование критерия выбора наилучшей из них. В отношении структуры модели эти подзадачи можно сформулировать как необходимость:

- разработать алгоритм «генерации» (перебора) структур;
- сформировать критерий оценки качества структуры (качества модели).

Методы и алгоритмы выбора структур моделей

1. *Методы шаговой регрессии*. Основная идея шаговой (пошаговой) регрессии заключается в гипотезе о том, что искомую структуру можно найти, трансформируя модель путем следующих последовательных действий:

1) добавления к модели наиболее значимых по некоторому критерию переменных (метод включения, или «присоединения»);

2) исключения незначимых по некоторому критерию переменных (метод исключения, или «удаления»);

3) добавления наиболее значимых переменных при одновременном исключении незначимых (метод добавления-исключения, или «присоединения-удаления»).

В качестве добавляемых (удаляемых) переменных могут выступать не только сами исходные переменные x_1, …, x_m, но и функции от них $f_1(x_1, ..., x_m), l = 1, 2, ...,$ например $x^2, \ln(x), x_i x_j$.

Частным случаем функций можно считать и функции вида: $f_1(x_1, ..., x_m) = x_i, i = 1, ..., m.$ Таким образом, с помощью шаговой регрессии можно строить нелинейные (нелинейные по переменным, но линейные по параметрам) математические модели вида

$$y = a_0 + \sum a_i f_i(x_1, \ldots, x_m).$$

2. *Метод включения* начинает свою работу с выбора наиболее значимой (по некоторому критерию) переменной (функции) из списка: $f_1(\cdot), l = 1, ..., L.$ Затем из оставшихся переменных выбирается наиболее значимая и включается в модель. И так до тех пор, пока улучшается качество модели. Качество последней во многом зависит от порядка вхождения переменных в модель, который, в свою очередь, определяется используемым критерием включения. Поскольку между переменными практически всегда имеется ненулевая корреляционная зависимость, не выполняется правило аддитивности. В результате переменная, значимая на предыдущих шагах, может стать незначимой на последующих, и ее присутствие может препятствовать включению в модель другой, более значимой переменной. Эта особенность ограничивает возможность метода включения.

3. *Метод исключения* первоначально рассматривает модель, в которую включены все имеющиеся L входных переменных. Затем из них последовательно исключаются незначимые (по некоторому критерию) переменные до тех пор, пока улучшается качество модели. Структура конечной модели может совпадать со структурой, полученной по методу включения, но для сложных моделей это скорее исключение, чем правило. Данному методу присущ недостаток метода включения: исключенные на предыдущих шагах переменные могут оказаться значимыми после исключения других переменных. Кроме того, к недостаткам можно отнести и повышенные требования к вычислительным ресурсам при работе с массивами большого размера на первых шагах алгоритма, а при небольших выборках экспериментальных данных алгоритм может вообще не работать (например, если $k < L$).

4. Объединение вышеназванных методов дает *метод включения-исключения*, в основе которого лежит метод включения, но дополнительно на каждом шаге алгоритма происходит проверка переменных на

значимость: незначимые переменные исключаются из модели. При кажущейся эффективности такого подхода метод не дает уверенности в оптимальности найденной структуры. В работе предложен алгоритм, автоматически выбирающий порог исключения переменных, что частично решает проблему выбора соответствующего критерия, но опять же не гарантирует нахождения глобального экстремума.

5. *Метод группового учета аргументов* (МГУА). Сложно говорить о МГУА как о конкретном методе, поскольку начиная с 1968 года разработаны десятки его разновидностей. В МГУА можно выделить два направления: комбинаторные и селективные (еще их называют многорядными) алгоритмы. В комбинаторном алгоритме сначала рассматривается множество моделей от одной переменной:

$$y_r = a_0 + a_1 z_r, \text{ где } z_r \in \left\{ x_i, x_i x_j : i, j = 1, ..., m \right\}.$$

Затем рассматривается множество всех возможных моделей от двух переменных:

$$y_{rv} = a_0 + a_1 z_r + a_2 z_v.$$

Далее от трех и так до тех пор, пока улучшается критерий *D*. Возможности комбинаторного алгоритма ограничены возможностями вычислительной техники, поскольку ввод одной дополнительной входной переменной увеличивает время счета примерно вдвое [1, 2, 7, 8].

Выбор критерия оценки качества модели

Различные алгоритмы порождают необходимость определиться с множеством различных критериев. В частности, необходимо выбрать критерий включения переменных в модель и их исключения, критерий останова алгоритма и критерий оценки окончательной модели.

Общий принцип останова шаговых алгоритмов структурной идентификации следующий: расчеты надо прекращать, когда дальнейшая работа алгоритма не приводит к улучшению качества модели. Отсюда следует общность критериев останова и качества модели.

Критерий оценки качества модели зависит от ее назначения. Например, если предполагается использовать модель для управления или прогнозирования, то необходима высокая прогностическая способность модели – на одни и те же входные воздействия модель и объект должны давать близкие результаты на выходе. Если модель используется в системе измерений, то целью является минимум максимального отклонения

значений модели и объекта. Если необходимо построить распознающую систему, то в качестве критерия берут ошибку распознавания – отношение правильных ответов к общему их числу.

Если ограничиться задачей управления, то в основу искомого критерия останова можно заложить требование близости значений выхода модели y^m и объекта y при одинаковых значениях входных переменных $X^i \in X, i = 1, ..., k,$ где X – рабочая область изменения входных переменных:

$$D\left(y, y^t\right) \to \min_{F \in f}.$$

Наиболее распространен следующий критерий оценки качества модели:

$$D\left(y, y^t\right) \to \sum_{i=1}^{k}\left(y_i - y_i^t\right)^2.$$

В приведенном виде среднеквадратичная ошибка отклонения рассчитывается в процентах от среднего значения:

$$\overline{y} : D = \frac{1}{y}\sqrt{\frac{1}{k}\sum_{i=1}^{k}\left(y_i - y_i^t\right)^2} \cdot 100\ \%.$$

Все критерии останова, алгоритмов структурной идентификации (они же критерии качества модели), за исключением критерия достижения заданного числа входных переменных в модели и ему подобных, можно разбить на две группы: внутренние и внешние. Внутренние критерии вычисляются на основании данных, участвующих в построении модели, а внешние – на основании дополнительных данных.

К внутренним критериям в первую очередь следует отнести остаточную ошибку модели – сумму отклонений (абсолютных или квадратов разностей) значений выходных переменных объекта и модели. Далее следует назвать коэффициент детерминации (квадрат множественного коэффициента корреляции R^2), приведенную остаточную ошибку, приведенный R^2 и критерий Марллоуса C_p, а также другие критерии.

Более надежным представляется использование нескольких выборок данных: по одним выборкам строится модель, а по другим – оценивается ее качество.

В ряде работ дополнительные экспериментальные данные (экзаменационные точки) предлагается применять для оценки качества готовых моделей. Таким образом, предлагается из множества эксперимен-

тальных данных выделять часть точек в качестве контрольных. Среднеквадратичная ошибка на этих точках может служить в качестве критерия останова алгоритмов структурной идентификации.

Если наблюдать поведение модели на дополнительных экспериментальных точках, то можно заметить, что с некоторого шага модель начинает удаляться от этих точек (в случае неустойчивости это удаление начинается с первого же шага). Исходя из этого, предлагается определять момент останова алгоритма по ошибке на контрольных точках – расчеты прекращаются в момент достижения первого минимума ошибки по шагам алгоритма.

В силу независимости от конкретного алгоритма в качестве критерия качества готовых моделей или для сравнения моделей, построенных с помощью различных алгоритмов, предлагается также использовать среднеквадратичную ошибку на контрольных точках.

Оценивание параметров модели

Будем считать, что нам известна структура модели (оператора F), но не известны коэффициенты (параметры) этой модели. Какой бы точной ни была структура модели, практически всегда имеются параметры, которые необходимо найти или уточнить. Задача оценивания параметров модели ставится как задача оптимизации: необходимо найти такой вектор параметров $\boldsymbol{A}$ из области допустимых значений Ω, чтобы минимизировать некоторую функцию отклонения значений выхода модели (y^m) от выхода объекта (y) при одних и тех же значениях входных переменных:

$$D\left(y - y^t\right) \to \min_{A \in \Omega}.$$

Пример. Пусть известна структура модели: $y^m = a_0 + a_1 x$. Необходимо по k-измерениям y и x найти параметры модели a_0 и a_1. Запишем критерий:

$$D = \sum_{i=1}^{k}\left(y_i - y_i^t\right)^2 = \sum_{i=1}^{k}\left[y_t - \left(a_0 + a_1 x_t\right)\right]^2 \to \min_{a_2,\, a_1}.$$

Для нахождения a_0 и a_1, приводящих к минимизации заданный критерий D, возьмем частные производные от D по a_0 и a_1 и приравняем их нулю (из математики известно, что в точках экстремума функции ее производная равна нулю):

$$\begin{cases} \dfrac{\partial D}{\partial a_0} = 0 \\ \dfrac{\partial D}{\partial a_1} = 0 \end{cases}.$$

В результате получается система двух линейных уравнений с двумя неизвестными, решение которой и дает искомые значения параметров a_0 и a_1:

$$a_1 = \frac{\sum_{i=1}^{k}(y_i x_i) - \frac{1}{k}\sum_{i=1}^{k} y_i \sum_{i=1}^{k} x_i}{\sum_{i=1}^{k} x_i^2 - \frac{1}{k}\left(\sum_{i=1}^{k} x_i\right)^2}; \qquad a_0 = \frac{1}{k}\left(\sum_{i=1}^{k} y_i - a_1 \sum_{i=1}^{k} x_i\right).$$

Однако для применения этого метода предъявляются определенные требования к данным:

а) входные переменные модели должны быть линейно независимыми, что выполняется;

б) помехи, действующие на систему, должны иметь нормальное распределение.

Эти требования выполняются далеко не всегда, что может привести к ненадежным оценкам параметров модели. Другой проблемой является ограниченность имеющейся выборки данных (набор экспериментальных точек). Для параметров модели используется эмпирическое правило: для корректной, надежной оценки одного параметра необходимо 5–10 экспериментальных точек. Однако бывают ситуации, когда получение достаточного числа точек крайне затруднено или очень дорого.

2.2.3. Математическое моделирование

Математическое моделирование – это средство изучения реального объекта, процесса или системы путем их замены математической моделью, более удобной для экспериментального исследования с помощью ЭВМ.

Математическая модель является приближенным представлением реальных объектов, процессов или систем, выраженным в математических терминах и сохраняющим существенные черты оригинала. Математические модели в количественной форме, с помощью логико-математических конструкций, описывают основные свойства объекта, процесса или системы, его параметры, внутренние и внешние связи.

В общем случае математическая модель реального объекта, процесса или системы представляется в виде системы функционалов:

$$\Phi_i (X, Y, Z, t) = 0,$$

где X – вектор входных переменных, $X = [x_1, x_2, x_3,..., x_N]t$; Y – вектор выходных переменных, $Y = [y_1, y_2, y_3, ..., y_N]t$; Z – вектор внешних воздействий, $Z = [z_1, z_2, z_3, ..., z_N]t$; t – координата времени.

Построение математической модели заключается в определении связей между теми или иными процессами и явлениями, создании математического аппарата, позволяющего количественно и качественно выразить связь между теми или иными процессами и явлениями, между интересующими специалиста физическими величинами, и факторами, влияющими на конечный результат [5].

При построении математической модели перед исследователем возникает задача выявить и исключить из рассмотрения факторы, несущественно влияющие на конечный результат (математическая модель обычно включает значительно меньшее число факторов, чем в реальной действительности). На основе данных эксперимента выдвигаются гипотезы о связи между величинами, выражающими конечный результат, и факторами, введенными в математическую модель. Такая связь зачастую выражается системами дифференциальных уравнений в частных производных (например, в задачах механики твердого тела, жидкости и газа, теории фильтрации, теплопроводности, теории электростатического и электродинамического полей).

Конечной целью этого этапа является формулирование математической задачи, решение которой с необходимой точностью выражает результаты, интересующие специалиста.

По принципам построения математические модели разделяют:

– на аналитические;

– имитационные.

В аналитических моделях процессы функционирования реальных объектов, процессов или систем записываются в виде явных функциональных зависимостей.

Аналитическая модель разделяется на типы в зависимости от математической проблемы:

– уравнения (алгебраические, трансцендентные, дифференциальные, интегральные);

– аппроксимационные задачи (интерполяция, экстраполяция, численное интегрирование и дифференцирование);

– задачи оптимизации;

– стохастические проблемы.

Однако по мере усложнения объекта моделирования построение аналитической модели превращается в трудноразрешимую проблему. Тогда исследователь вынужден использовать имитационное моделирование.

В *имитационном моделировании* функционирование объектов, процессов или систем описывается набором алгоритмов. Алгоритмы имитируют реальные элементарные явления, составляющие процесс или систему с сохранением их логической структуры и последовательности протекания во времени. Имитационное моделирование позволяет по исходным данным получить сведения о состояниях процесса или системы в определенные моменты времени, однако прогнозирование поведения объектов, процессов или систем здесь затруднительно. Можно сказать, что имитационные модели – это проводимые на ЭВМ вычислительные эксперименты с математическими моделями, имитирующими поведение реальных объектов, процессов или систем.

В зависимости от характера исследуемых реальных процессов и систем математические модели могут быть:

– детерминированные;

– стохастические.

В детерминированных моделях предполагается отсутствие различных случайных воздействий, элементы модели (переменные, математические связи) достаточно точно установленные, поведение системы можно точно определить. При построении детерминированных моделей чаще всего используются алгебраические уравнения, интегральные уравнения, матричная алгебра.

Стохастическая модель учитывает случайный характер процессов в исследуемых объектах и системах, который описывается методами теории вероятности и математической статистики.

По степени соответствия между математической моделью и реальным объектом, процессом или системой математические модели разделяют:

– на изоморфные (одинаковые по форме);

– гомоморфные (разные по форме).

Модель называется изоморфной, если между ней и реальным объектом, процессом или системой существует полное поэлементное соответствие. Гомоморфной – если существует соответствие лишь между наиболее значительными составными частями объекта и модели.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Сформулируйте определения понятий «модель», «моделирование».
2. Какие принципы моделирования существуют?
3. Для каких целей создаются дескриптивные модели?
4. Какие существуют особенности моделей по сравнению с реальными объектами?
5. Дайте определение системного анализа. Какие основные этапы включает системный анализ?
6. Перечислите подходы к анализу и проектированию систем.
7. Какие общие этапы можно выделить в методологии системного анализа?
8. Что такое система и из чего она состоит?
9. Существуют ли в природе системы как таковые?
10. Какие основные признаки используются для классификации систем?
11. Какими свойствами характеризуются системы? Какие принципы для них характерны?
12. В чем состоят принципиальные отличия между сложными и простыми системами?
13. Какой (гомогенной или гетерогенной) системой является фабрика?
14. Охарактеризуйте статистические и динамические системы. Приведите примеры.
15. Какое содержание имеет термин «эмерджентность»?
16. Чем отличаются статистические и динамические системы?
17. Перечислите основные принципы системного анализа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анфилатов В.С., Емельянов А.А., Кукушкин А.А. Системный анализ в управлении. – М.: Финансы и статистика, 2003. – 368 с.

2. Волкова В.Н. Концепции современного естествознания: учеб. пособие. – СПб.: Изд-во политехн. ун-та, 2006. – 200 с.

3. Волкова В.Н., Денисов А.А. Основы теории управления и системного анализа. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1997. – 510 с.

4. Качала В.В. Основы теории систем и системного анализа: учеб. пособие для вузов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2007. – 216 с.

5. О'Конор Д., Мак-Дермот Я. Искусство системного мышления. Творческий подход к решению проблем и его основные стратегии. – Киев: София, 2001. – 304 с.

6. Прангишвили И.В. Системный подход и общесистемные закономерности. – М.: СИН-ТЕГ, 2000. – 528 с.

7. Системный анализ и принятие решений: учеб. пособие для вузов / под ред. В.Н. Волковой, В.Н. Козлова. – М.: Высшая школа, 2004. – 616 с.

8. Сурмин Ю.П. Теория систем и системный анализ: учеб. пособие. – Киев: МЛУП, 2003. – 368 с.

МОДУЛЬ 2. АНАЛИЗ РИСКОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДОВ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА И МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ

Глава 3. ИДЕНТИФИКАЦИЯ РИСКОВ

3.1. Методы и инструменты идентификации рисков

3.1.1. Источники информации для идентификации

Для выявления различных видов рисков организации могут использоваться внешние и внутренние источники информации (рис. 3.1)

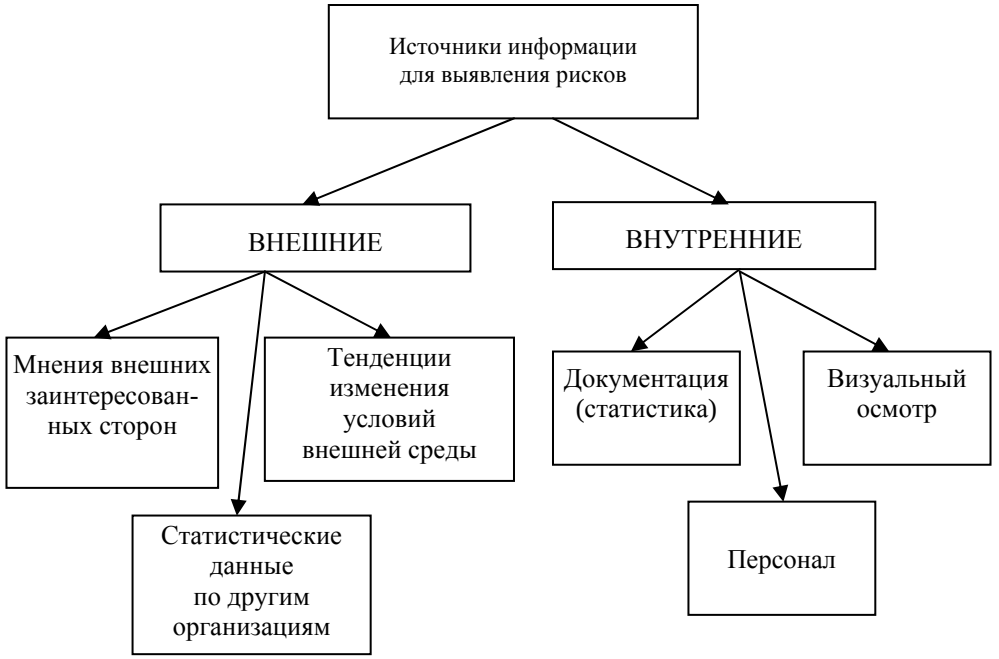


Рис. 3.1. Источники информации для идентификации рисков

Наиболее полезной и адекватной информацией для выявления рисков является документация, содержащая статистические данные по изучаемому объекту. Это связано с тем, что такие данные учитывают все специфические особенности функционирования и развития объекта, включая те, которые важны для анализа рисков (климатические и географические условия, особенности технологии, конъюнктура рынков сырья и готовой продукции, специфика управления и т.п.).

Вместе с тем в ряде случаев нельзя ограничиться только информацией из внутренних источников, что связано с возможными недостатками таких данных. Среди них можно назвать:

1. *Изменение тенденций.* Прогнозирование на основе прошлой статистики всегда базируется на предположении о том, что тенденции, наблюдаемые в прошлом, в той или иной степени сохранятся и в будущем. Однако их изменение может существенно ограничить полезность собранных данных. Так, статистика российских предприятий начала 90-х годов XX века вряд ли может быть использована для прогнозирования в настоящий момент. Иногда в статистику вносят поправки, повышающие возможность ее использования для оценивания рисков.

2. *Ограниченность объема информации*. Не всегда статистические данные присутствуют в достаточном количестве. Если организация или проект не имеет аналогов, такие данные могут отсутствовать вообще.

3. *Искажения наблюдаемых данных*. Несмотря на то, что внутренние источники информации наиболее адекватны исследуемому объекту, наблюдаемые данные не свободны от некоторых искажений. Это может быть связано как со случайными колебаниями статистики, так и с ошибками наблюдения.

Для преодоления указанных недостатков внутренние источники данных должны быть дополнены сведениями из внешних источников информации, напрямую не связанных с деятельностью данной фирмы. К таким источникам относятся отраслевая статистика, данные, полученные из анализа деятельности конкурентов, сведения об авариях, произошедших на аналогичных предприятиях. Конечно, подобная информация может не вполне соответствовать качественной характеристике изучаемого объекта или риска, но в условиях дефицита информации она также может дать знания, важные для принятия решений в области управления риском.

Ниже дана характеристика и возможности использования различных источников информации для идентификации и анализа рисков организации.

1. Документация. Документация может содержать информацию о различных аспектах деятельности фирмы (финансовая, техническая и другие виды документации), так что с ее помощью будут анализироваться разнородные риски. Документы могут служить источником как количественных данных (статистики), так и качественной информации. Правильно организованный документооборот в фирме будет являться важным аспектом эффективного процесса управления риском.

Информация о произошедших авариях служит хорошим источником качественной информации о реализации риска и его возможных последствиях.

Организационная схема и схема принятия решений в изучаемой организации дает некоторые представления о сферах деятельности, взаимодействии подразделений, в том числе с точки зрения получения и распределения доходов и анализа издержек, о специфике распределения ответственности за принятие и исполнение управленческих решений. Это позволяет сформировать первичное представление о портфеле рисков и предварительно выявить узкие места в деятельности организации.

Схемы денежных, ресурсных и информационных потоков полезны для понимания особенностей технологии производства, снабжения и продаж данной фирмы, а также специфики ее управления. Степень подробности соответствующих схем должна определяться особенностями анализируемых рисков, в частности уровнем их реализации и появления экономического ущерба.

2. Персонал. Данный источник информации способствует вовлечению в процесс идентификации и анализа рисков опыта и знаний людей, непосредственно сталкивающихся с ними в своей повседневной работе, что позволяет более ответственно и глубоко проводить подобное исследование. Объем и качество информации, полученной в рамках такого источника, будут зависеть от типов вопросов и метода проведения опроса.

3. Визуальный осмотр. Некоторые аспекты деятельности предприятия или особенности тех или иных процессов нельзя выявить из документов. В этом случае расследование того, что и как произошло или может произойти, осуществляется на месте. Одновременно появляется возможность напрямую пообщаться с находящимися там сотрудниками, от которых зависит фактический уровень риска.

При проведении визуального осмотра исследуются различные аспекты, влияющие на причины и уровень риска. Проверке могут подлежать: условия содержания, соблюдение техники безопасности и санитарных норм, пространственное расположение объектов, связи между операциями. При изучении условий содержания и соблюдения различных требований анализируется не только подверженность рискам пожара, взрыва, несчастного случая и т.д., но и общее отношение сотрудников и администрации к безопасности. По косвенным признакам можно оценить уровень трудовой дисциплины, которая также влияет на вероятность ошибок и упущений в работе.

Пространственное расположение объектов производится с целью выяснить:

– подверженность организации рискам окружающей среды (в т.ч. риску наводнений, оползней и т.д.);

– наличие и подверженность окружающих организацию объектов (строений, лиц, имущества) рискам аварий на данном предприятии;

– возможность кумуляция риска, то есть одновременного причинения вреда сразу нескольким объектам в результате одного и того же события;

– взаимное расположение людей и возможных источников вредного воздействия (огня, ядовитых веществ, излучений и т.д.);

– пути возможного распространения аварии и эвакуации людей.

В процессе исследования связей между операциями выявляются направления потоков (физических, информационных, бизнес-процессов, энергоснабжения и т.д.). При этом основным является вопрос: где (что) и почему может быть заблокировано. Для поиска ответа на него по результатам инспекции часто составляются различные схемы процессов, как на уровне отдельных технологических операций, так и на уровне всей организации в целом. На правильно составленной схеме хорошо видно влияние того или иного элемента на весь процесс. Но далеко не всегда удается определить степень подверженности отдельных составляющих различным рискам. Иными словами, обычно видно, что произойдет с процессом, если конкретная операция не будет выполнена, но не видно из-за чего такое может наступить. Поэтому составление схем приходится комбинировать с другими источниками информации о рисках.

4. Инспекции и экспертизы. Позволяет сочетать изучение конкретного объекта, подверженного риску, и опыта эксперта (инспектора), который бывает сложно формализовать при анализе других источников. Результаты инспекции и/или экспертизы наиболее адекватны целям и задачам процесса управления рисками, включая этап их идентификации и анализа. Однако препятствием для более широкого использования данного источника является его достаточно высокая стоимость.

Среди государственных органов, информация которых полезна для идентификации рисков, можно выделить:

– службы, отвечающие за пожарную безопасность и ликвидацию последствий чрезвычайных ситуаций;

– органы, контролирующие опасные технические объекты (подъемные механизмы, сосуды под высоким давлением и т.д.);

– правоохранительные органы;

– санитарный надзор и организации, контролирующие безопасность труда;

– государственные службы финансового мониторинга и регуляторы отдельных видов финансовой деятельности (банков, страхования, финансовых рынков);

– статистические бюро и т.д.

Они обладают статистическими сведениями по своим направлениям, которые дают возможность оценить средние уровни рисков по стране, региону, отрасли, наиболее опасные события и их последствия. Сведения, характеризующие уровень риска на конкретном предприятии, можно получить из результатов инспекции соответствующих органов, разумеется, при условии, что такая проверка производилась компетентно и объективно [1, 4].

3.1.2. Методы выявления рисков

Идентификация риска – первый этап управления риском, цель которого состоит в установлении потенциальных источников причинения ущерба путем проведения полного анализа всех возможных случаев, которые могут произойти в результате небрежности, недосмотра или несчастного случая, характерных для определенного вида деятельности, и определении их характеристик, иными словами, идентификация риска – это процесс нахождения, составления перечня и описания элементов риска.

Для реализации данного этапа существует множество методов и технологий.

В табл. 3.1 представлена одна из классификаций методов идентификации рисков.

Таблица 3.1

Методы идентификации рисков

	Индивидуальные	Групповые
Экспертные	– метод Дельфи – чек-листы – структурированные интервью	– мозговой штурм – метод номинальных групп – метод Кроуфорда
Социальные	– интервью – анкетирование – опросы	–

Методы экспертных оценок базируются на мнениях специалистов по интересующему объекту или системе. Эксперты, детально знающие данный объект, должны высказывать свое мнение, причем опрос должен проводиться среди специалистов разного профиля, которые будут оценивать и характеризовать объект с различных сторон. Анализируются отдельные элементы, системы с точки зрения выходов из строя, разрушений, возможности отклонения параметров за определенные значения, рассматривается взаимосвязь и влияние различных систем друг на друга. Градация и шкала экспертных оценок может быть различной – 5-, 10-, 100-балльная.

При этом не ставится вопрос о том, каким образом эксперты будут оценивать безопасность данного объекта. Здесь имеет значение их опыт, знания в смежных областях. Метод экспертных оценок может проводиться на разных стадиях – начиная с обсуждения проекта, кончая оценкой состояния безопасности работающего оборудования.

Социологические методы, так же как и методы экспертных оценок, основаны на опросе, но, в отличие от первого метода, опрашиваются не специалисты, а дилетанты. Дело в том, что этот метод основан на опросе людей, заинтересованных в безопасности обсуждаемого объекта. Информацию об этом объекте, степени его надежности и безопасности люди получают из средств массовой информации, популярных изданий, массовых газет и журналов, публичных выступлений специалистов, из различных дискуссий. Иногда этим методом оценки риска бывают охвачены группы населения, целые регионы.

Экспертные методы

Основным достоинством индивидуальных экспертных методов является оперативность получения информации для принятия решений и относительно небольшие затраты. В качестве недостатка следует выделить высокий уровень субъективности и, как следствие, отсутствие уверенности в достоверности полученных оценок.

Указанный недостаток призваны устранить или ослабить коллективные экспертные оценки, которые, как правило, менее субъективны, и решения, принятые на их основе, связаны с большей вероятностью осуществления.

Используя групповые экспертные процедуры, предполагают, что при решении проблем в условиях неопределенности мнение группы экспертов надежнее, чем мнение отдельного эксперта, т.е. что две

группы одинаково компетентных экспертов с большей вероятностью дадут аналогичные ответы, чем два эксперта. Предполагается также, что совокупность индивидуальных ответов экспертов должна включать «истинный» ответ.

Можно выделить следующие типы групповых экспертных процедур:

1) открытое обсуждение поставленных вопросов с последующим открытым или закрытым голосованием;

2) свободное высказывание без обсуждения и голосования;

3) закрытое обсуждение с последующим закрытым голосованием или заполнением анкет экспертного опроса.

Опыт показал, что традиционные методы обсуждения вопросов, поставленных перед группой экспертов, относящихся к первому типу экспертных опросов, не всегда обеспечивают эффективное достижение цели – достоверность полученных оценок.

Эти методы страдают рядом недостатков, таких как влияние авторитетных и «напористых» участников на суждения остальных и нежелание участников обсуждения отказываться от точек зрения, ранее высказанных публично.

Поэтому на практике при подготовке решений по проблемам анализа и оценки риска все большее распространение находят второй и третий типы групповых экспертных оценок.

Второй тип групповых экспертных оценок предусматривает отсутствие любого вида критики, препятствующей формулировке идей, свободную интерпретацию идей в рамках поставленной проблемы.

Такой метод обсуждения получил название метода коллективной генерации идей (по американской терминологии – метод «мозговой атаки»). Он направлен на получение большого количества идей, в том числе и от лиц, которые, обладая достаточно высокой степенью эрудиции, обычно воздерживаются от высказываний. Процесс выдвижения идей протекает в определенном смысле лавинообразно: высказываемая одним из членов группы идея порождает творческую реакцию у других.

Исследование эффективности метода коллективной генерации идей показало, что групповое мышление производит на 70 % больше ценных новых идей, чем сумма индивидуальных мышлений.

С помощью этого метода может успешно решаться ряд задач управления риском: выявление источников и причин риска, установление всех возможных рисков, а также выбор направлений и путей снижения риска.

При использовании результатов групповых экспертных процедур, осуществляемых посредством открытого обсуждения поставленных проблем, следует учитывать такое явление, как «сдвиг риска». Феномен сдвига риска означает, что после проведения открытой групповой дискуссии возрастает уровень рискованности принимаемых решений. В настоящее время наиболее распространенным объяснением явления «сдвига риска» является использование гипотезы риска как ценности. Она исходит из идеи, согласно которой люди ценят риск, и в групповой ситуации многие из них стремятся повысить свой статус в группе. Поэтому в условиях групповой дискуссии они меняют свои оценки в сторону большего риска с целью создать о себе представление как о людях решительных, способных и умеющих рисковать. Таким образом, данная гипотеза исходит из того, что сотрудники стремятся рисковать не меньше, чем другие члены коллектива.

Третий тип групповых экспертных оценок – закрытое обсуждение поставленных проблем – позволяет в значительной степени устранить указанные выше недостатки первого и второго типов экспертных процедур [6].

Ниже приведены характеристики существующих методов выявления рисков. Данный список не является полным, что связано с большим многообразием методов, кроме того, методы могут видоизменяться и комбинироваться с другими.

- ***Метод Дельфи***

Метод Дельфи – многоэтапный метод, предусматривающий первоначальное изолированное вынесение экспертами своих суждений и дальнейшую многократную их корректировку на базе ознакомления каждого эксперта с суждениями других экспертов до тех пор, пока величина разброса оценок не будет находиться в рамках заранее устанавливаемого желаемого интервала варьирования оценок.

Как метод экспертного прогнозирования Дельфи был разработан в 1950-е годы в корпорации RAND (США) и впервые для широкого ознакомления опубликован в работе Т. Гордона и О. Хелмера в 1964 году [10]. Первоначально метод предназначался для повышения согласованности мнений экспертов относительно обобщенной групповой оценки или суждения. Группу экспертов называли «жюри», последовательно проводимые опросы – «турами», опросные документы с дополнительно информацией и аргументацией оценок предыдущего тура – «анкетами».

Проведенные Т. Гордоном и О. Хелмером экспериментальные исследования точности и надежности метода Дельфи и схожести его результатов при повторных опросах давали эмпирические рекомендации по числу туров от двух до четырех. Большее число туров существенно не улучшало согласованность результатов, было психологически затруднительно для экспертов и затратно для организаторов опроса.

По мере дальнейшего развития экспертного прогнозирования возможности Дельфи расширялись, становились более разнообразными, но сохранялся основной отличительный его признак – многотуровый характер опроса. Дельфи превратился из одного метода в совокупность нескольких его модификаций.

В отличие от традиционных методов экспертной оценки метод Дельфи предполагает полный отказ от коллективных обсуждений. Это делается для того, чтобы уменьшить влияние таких психологических факторов, как присоединение к мнению наиболее авторитетного специалиста, нежелание отказаться от публично выраженного мнения, следование за мнением большинства.

Метод представляет собой заочный и анонимный опрос экспертной группы в несколько туров с согласованием мнений экспертов. Многотуровый характер прогнозных экспертных исследований позволяет обеспечить «обратную связь». Эксперты знакомятся с результатами предыдущего тура: общей групповой оценкой, «экстремальными» (особыми) суждениями и их аргументацией. В итоге в каждом последующем туре эксперты работают с обновленной информацией, что позволяет им либо корректировать свое мнение, повышая общую согласованность в группе, либо подтверждать свою прежнюю оценку, имея для этого уже больше оснований.

Такая процедура повторяется несколько раз до достижения приемлемой сходимости совокупности высказанных мнений.

При использовании Дельфи-прогнозирования согласованность мнений и уточнение групповых оценок в каждом последующем туре в значительной степени достигаются за счет общего формата и содержания предыдущего – практически не меняются (или изменяются несущественно) опросные документы (анкеты, вопросники, опросные листы, программы и др.),

Экспертные опросы по методу Дельфи характеризуются несколькими особенностями [10]:

– анонимность достигается за счет заочной формы опроса, при которой эксперты никаким образом не влияют на мнения и оценки друг друга, что позволяет им «сохранять лицо» без риска для своей профессиональной репутации;

– использование результатов предыдущего тура опроса расширяет информацию, которой могут воспользоваться эксперты на повторных турах, реализуя тем самым принцип «обратной связи»; кроме того, это позволяет исключить, либо свести к минимуму лоббирование интересов отдельных экспертов или подгрупп;

– статистическая характеристика группового ответа позволяет оценить степень согласованности мнений экспертов всей группы относительно общей групповой оценки, т.е. степень того, насколько полученная групповая оценка отражает все различающиеся (в большей или меньшей степени) мнения опрашиваемых экспертов. Сама по себе аргументация не согласующихся с групповой оценкой мнений представляет интерес для экспертов на повторных турах, заставляя их снова возвращаться к аргументации собственных оценок.

Такую статистическую характеристику обобщенной групповой оценки и степени согласованности (и вариации) оценивают соответственно медианой и величиной интервала между нижним и верхним квартилями. Объектом дополнительного анализа и аргументации становятся те мнения и оценки, которые в межквартильный интервал не попадают (50 % от их общего числа).

Процедуру экспертного опроса по методу Дельфи можно выделить в несколько этапов (рис. 3.2).

Этап 1. Предопросная подготовка

В соответствии с процедурой Дельфи-опросов на начальном этапе осуществляется предопросная подготовка, когда определяются конкретные задачи и условия опроса. На этом этапе решаются и важные экспертные задачи – формулируются направления и «темы» дальнейшего технологического развития, которые «переводятся» в «утверждения» для последующего экспертного опроса. Вырабатываются критерии оценки приоритетности исследуемых тем. На этапе предопросной подготовки работают относительно небольшие, 15–20, иногда до 50 человек, экспертные группы.

Этап 2. Составление опросных листов и формирование экспертных сетей

На основе результатов работы экспертных групп формируются опросные документы – анкеты (опросные листы), включающие:

1. Необходимые пояснения для экспертов, отражающие:

– цели и условия проводимого опроса;

– процедуру работы с опросными листами;

– критерии оценки их компетентности;

– использование результатов опроса и т.д.

2. Заранее подготовленный список направлений технологического развития (тем), сформулированных в виде некоторых «утверждений». Список может быть закрытым – с конечным перечнем – или открытым с возможностью его дополнения и изменения. Для каждого технологического направления готовится отдельная анкета, что позволяет эксперту проявить свою компетентность в предпочтительных для него областях.

3. Предлагаемые критерии и шкалы для оценки важности тем, их ранжирование по заранее определенным предпочтениям. Здесь характерна тенденция постепенного перехода от критериев важности (степени влияния) технологических тем преимущественно для научно-производственного и экономического развития и их реализуемости.



Рис. 3.2. Процедура опроса по методу Дельфи [10]

На предопросном этапе устанавливаются все организационные формы работы экспертов, исходя из необходимости обеспечения анонимности и удобства их работы. Для этого создается рабочая группа, к которой эксперты смогут обращаться за необходимыми разъяснениями, отрабатываются способы коммуникации (почта, факс, телефон, электронная почта, интерфейс в режиме онлайн), устанавливаются сроки опросов, необходимые ресурсы, готовится компьютерное обеспечение для обработки результатов по турам опроса.

Этап 3. Проведение опроса

Проведение самого опроса в заочной форме требует от экспертов серьезной творческой работы. В перерыве между турами проводится обработка результатов, они оформляются в компактной, доступной, хорошо воспринимаемой экспертами форме в виде структурированных текстов, диаграмм, таблиц, графиков, с акцентами на наиболее спорные, экстремальные, вызывающие затруднение и т.д. моменты оценок. По мере необходимости перечень тем, критерии и шкалы оценки могут корректироваться. Таким образом, на следующих раундах опроса экспертам предлагаются обновленные опросные листы и информация о результатах предыдущего тура.

При проведении опроса необходимо иметь в виду, что зачастую каждый эксперт оценивает до нескольких десятков «утверждений» (тем) только по одной анкете, а при «размытости» границ между областями и темами эксперты иногда заполняют две и более анкеты. Статистическая репрезентативность общих оценок группы в этом случае должна отслеживаться более четко. Кроме того, одна из основных целей многотуровой экспертизы – повышение согласованности экспертов – может и не быть достигнута, сближение мнений может быть несущественным.

Этап 4. Анализ и обработка результатов опроса

Заключительный этап Дельфи, который проводится по каждому из туров и в целом по опросу. Методика обработки, интерпретация результатов и возможности их графического представления определяются логическим построением вопросов в опросных листах относительно предлагаемых технологических тем, т.е. принятой формулировкой «утверждений» и соответствующей им формой ответов. Практическая реализация метода Дельфи может принимать разнообразные формы в зависимости от целей, условий и параметров проектов, включая такие характеристики, как:

– ожидаемые результаты и предполагаемые направления их использования;

– масштабы охвата обследования;

– наличие необходимых навыков и ресурсов;

– субъект организации процесса и управления им;

– достаточность получаемых данных для достижения целей обследования;

– состав приглашаемых экспертов;

– число тем;

– вопросы, задаваемые экспертам;

– организация обсуждения и распространения результатов (публикации, семинары, презентации, конференции и т.д.).

Метод Дельфи широко применяется для корпоративного управления, решения социальных проблем (развития образования, здравоохранения, разработки политики в области злоупотребления наркотическими веществами и др.), промышленных секторов экономики (стали и сплавов, пластмасс и материалов, нанотехнологий), развития информационного общества и многих других областей.

Недостатками метода Дельфи являются:

– значительный расход времени на проведение экспертизы, связанный с большим количеством последовательных повторений оценок;

– необходимость неоднократного пересмотра экспертом своих ответов, вызывающая у него отрицательную реакцию, что сказывается на результатах экспертизы [5, 7, 8, 13].

- ***Мозговой штурм***

Концепция получила широкое распространение с начала 50-х годов как метод тренировки мышления, нацеленный на открытие новых идей и достижение согласия группы людей на основе интуитивного мышления. Методы этого типа известны также под названиями «мозговой штурм», «конференция идей», «коллективная генерация идей».

Целью мозгового штурма является создание подробного списка рисков для процесса или объекта. Список рисков разрабатывается на собрании, в котором принимает участие 10–15 человек – часто совместно с участием экспертов из разных областей.

Обычно при проведении мозгового штурма стараются выполнять определенные правила, суть которых:

- обеспечивать как можно большую свободу мышления участников и высказывания ими новых идей;
- приветствовать любые идеи, даже если вначале они кажутся сомнительными или абсурдными (обсуждение и оценка идей производятся позднее);
- не допускать критики любой идеи, не объявлять ее ложной и не прекращать обсуждение;
- желательно высказывать как можно больше идей, особенно нетривиальных.

В зависимости от принятых правил и жесткости их выполнения различают прямую «мозговую атаку», метод обмена мнениями и другие виды коллективного обсуждения идей и вариантов принятия решений. В последнее время стараются ввести правила, помогающие сформировать некоторую систему идей, т.е. предлагается, например, считать наиболее ценными те из них, которые связаны с ранее высказанными и представляют собой их развитие и обобщение. Участникам не разрешается зачитывать списки предложений, которые они подготовили заранее. В то же время, чтобы предварительно нацелить участника на обсуждаемый вопрос, при организации сессий «коллективной генерации идей» заранее или перед началом сессии участникам представляется некоторая предварительная информация об обсуждаемой проблеме в письменной или устной форме. Подобием таких сессий можно считать разного рода совещания, заседания научных советов по проблемам, заседания специально создаваемых временных комиссий и другие собрания компетентных специалистов [8].

- ***Чек-листы***

Для идентификации рисков часто используются чек-листы, которые представляют собой заранее разработанные (на основании прошлого опыта, предыдущей оценки) списки рисков или источников опасности. Данный список оформляется в виде анкеты, и проводится опрос среди сотрудников предприятия или экспертов в этой области. Основная цель составления чек-листа – учесть все возможные риски, которые могут возникнуть, и подсказать опрашиваемым области для выявления рисков.

Заполняя чек-лист, эксперт может отметить галочкой все возможные риски, характерные для данного процесса, а может более подробно их сформулировать применительно к рассматриваемому объекту или процессу.

Пример чек-листа для выявления производственных рисков приведен ниже.

Возможности реализации
– отказ, поломка технических устройств и приспособлений
– поломки технических устройств и приспособлений с образованием разлетающихся частей, деталей
– обрушения, обвалы конструкций
– несоответствующее качество продукции, полуфабрикатов на входе или выходе процесса
– несоответствующее качество сырья
– разгерметизация (порыв, утечка) с возможным выбросом или сбросом токсичных, радиоактивных веществ
– отклонение параметров процесса от установленных (давление, температура, скорость вращения, уровень, концентрация и т.д.)
– возгорание, взрыв
– износ оборудования, коррозия
– механическое повреждение
– попадание посторонних частиц, жидкостей, газов
– несоблюдение процедур при проведении пуска-остановки оборудования
– несоблюдение процедур при проведении ремонтных работ
– несрабатывание систем управления
– природные угрозы: затопление, удар молнии, землетрясение, ураган, снегопад и т.д.
– иные угрозы: террористический акт, аварии на других промышленных объектах и т.д.
– другие виды угроз

- ***SWOT-анализ***

Представляет собой анализ сильных и слабых сторон, возможностей и угроз. Цель проведения анализа – оценить потенциал и окружение. Потенциал процесса, объекта или проекта, выраженный в виде его сильных и слабых сторон, позволяет оценить разрывы между содержанием и возможностями. Оценка окружения (внешней среды) показывает, какие благоприятные возможности предоставляет и какими опасностями угрожает внешняя среда. Матрица SWOT-анализа представлена на рис. 3.3.

Сильные стороны (Strengths)	***Возможности (Opportunities)***
Преимущества: особенности, предоставляющие дополнительные возможности. Сила может заключаться в имеющемся опыте, доступе к уникальным ресурсам, наличии передовой технологии и современного оборудования, высокой квалификации персонала, высоком качестве выпускаемой вами торговой марки и т.п.	Факторы внешней среды, использование которых создаст преимущества организации на рынке; слабые стороны, которые могут стать сильными
Слабые стороны (Weaknesses)	***Угрозы (Threats)***
Недостатки: отсутствие чего-то важного для функционирования предприятия или то, что пока не удается по сравнению с другими компаниями и ставит вас в неблагоприятное положение. В качестве примера слабых сторон можно привести слишком узкий ассортимент выпускаемых товаров, плохую репутацию компании на рынке, недостаток финансирования, низкий уровень сервиса и т.п.	События, наступление которых может оказать неблагоприятное воздействие на предприятие. Примеры рыночных угроз: выход на рынок новых конкурентов, рост налогов, изменение вкусов покупателей, снижение рождаемости и т.п. Сильные стороны, которые могут перейти в слабые

Рис. 3.3. Схема проведения SWOT-анализа

- ***Предварительный анализ опасностей***

Представляет собой индуктивный метод анализа, задачей которого является идентификация опасностей, опасных ситуаций и событий, которые могут причинить вред данной деятельности, объекту или системе. Чаще всего его принято проводить на ранней стадии разработки проекта, когда мало информации по деталям конструкции и рабочим процедурам, и зачастую он может быть предшественником последующих исследований. Кроме того, данный метод может оказаться полезным в тех случаях, когда анализируются существующие системы или устанавливаются приоритеты опасностей.

При проведении предварительного анализа опасностей, или рисков, вырабатывается перечень опасностей и опасных ситуаций общего характера посредством рассмотрения следующих характеристик:

а) используемые или производимые материалы и их способность вступать в реакцию;

б) применяемое оборудование;

в) условия окружающей среды;

г) схема расположения;

д) области контакта и взаимодействия между компонентами системы и т.д.

Реализация данного метода завершается определением возможностей аварии, качественной оценкой величины возможного вреда или ущерба здоровью, который мог быть нанесен, и идентификацией возможных исправительных мер. Метод должен корректироваться на стадиях проектирования, изготовления и испытания для обнаружения новых опасностей, внесения поправок и его совершенствования. Полученные результаты могут быть представлены различными способами, например в виде таблиц и «деревьев» [3].

- ***Анализ видов и последствий отказов (FMEA)***

Метод FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) – «Анализ характера и последствий отказов» (часто его также называют «Анализ потенциальных несоответствий и их последствий») появился в США в середине 60-х годов и был использован впервые при разработке проекта космического корабля «Аполлон», а затем в медицине и ядерной технике. В 80-е годы метод получил дальнейшее развитие под названием FMEA и нашел применение также в автомобильной и других отраслях промышленного производства США, а затем в Европе и Японии. В некоторых областях промышленного производства метод стал основой обеспечения качества. В ФРГ метод нормирован стандартом ДИН 25448.

Данный метод – один из наиболее эффективных методов аналитической оценки результатов конструкторской деятельности, процессов (в том числе и испытаний) на таких важнейших стадиях жизненного цикла продукции, как ее создание и подготовка к производству. Важнейшей задачей этого метода является прогнозирование дефектов и предупреждение их появления на этапе создания новой техники на основе теории проб и ошибок.

FMEA представляет собой метод, при помощи которого систематически идентифицируются последствия каждого отдельного компонента аварийных состояний. Это индуктивный метод, который основан на вопросе «что случится, если... ?». Непременной отличительной чертой в любом FMEA является рассмотрение каждого основного компонента/части системы на предмет того, каким образом он достигает аварийного состояния и как это влияет на аварийное состояние системы. Как правило, анализ является описательным и организуется в форме составления таблицы или рабочего листа, предназначенного для информации. FMEA, безусловно, относится к аварийным состояниям компонента системы, причинным факторам и воздействиям этого состояния на систему в целом и представляет их в удобной форме.

Наиболее часто метод FMEA применяют:

– при разработке новых изделий;

– разработке новых материалов и методов;

– изменении продукции, процесса или операции;

– новых условиях применения существующей продукции;

– недостаточных возможностях технологического процесса;

– ограниченных возможностях контроля;

– ограниченных возможностях контроля;

– использовании новых установок, машин или инструментов;

– высокой доле брака;

– возникновении риска загрязнения окружающей среды, нарушении норм техники безопасности;

– существенных изменениях организации работы.

На этапе создания процессов методом FMEA решаются задачи:

– принятие решений о пригодности альтернативных процессов и оборудования при предварительном планировании и определении лучших из них;

– обнаружение «слабых» мест и принятие мер по их устранению при планировании производства;

– подготовка серийного производства;

– исправление процессов серийного производства, которые оказываются нестабильными или неспособными.

Этот метод определяет технический уровень продукции с точки зрения предотвращения ошибок, т.е. выявления потенциальных ошибок и оценки тяжести последствий для заказчика (внешней стороны), а также устранение ошибок или уменьшение степени их влияния на качество. Анализ конструкции основан на теоретических знаниях и информации о прошлом опыте. Анализ проходит параллельно самому процессу разработки, придает ему документированную форму и обобщает все поиски и рассуждения в процессе разработки. Снижение риска появления ошибок, которые вызывают неудовлетворенность потребителя и потерю у него интереса к продукции, является важнейшим элементом для сохранения конкурентоспособности.

При конструировании методом FMEA решаются следующие задачи:

– получение сведений о риске альтернативных вариантов;

– определение «слабых» мест конструкций и нахождение мер по их устранению;

– сокращение дорогостоящих экспериментов.

FMEA конструкции помогает процессу разработки, понижая риск отказов за счет:

– помощи при объективной оценке требований и альтернатив конструкции;

– помощи в начальной разработке требований для изготовления и сборки;

– повышения вероятности того, что виды потенциальных отказов и их последствия для действия системы и транспортного средства будут рассмотрены в процессе конструирования/разработки;

– предоставления дополнительной информации в помощь при планировании глубокого и эффективного испытания конструкции и программ развития;

– разработки списка видов потенциальных отказов, ранжированных соответственно их влиянию на «потребителя», чем устанавливается система приоритетов для улучшения конструкции и программ испытаний;

– создания открытой формы для рекомендаций и прослеживания действий, снижающих риск;

– обеспечения рекомендаций для будущего, помогающих при анализе совокупности требований, оценивании изменений конструкции и при разработке перспективных конструкций.

Структура FMEA содержит известные элементы методик структурирования, анализа и оценки вместе с перечнем мероприятий и обязательными контрольными нормативами. FMEA представляет собой подход по принципу «снизу вверх» и рассматривает последствия аварийных состояний компонента по принципу «одно за один раз». Этот метод способен переработать достаточное количество данных, прежде чем стать затруднительным для реализации. Кроме того, результаты могут быть легко перепроверены другим человеком, знакомым с системой.

Главными недостатками метода являются избыточность, исключение из рассмотрения восстановительно-ремонтных действий и сосредоточение на авариях единственного компонента.

FMEA может распространяться на выполнение того, что называется «Анализом видов отказов, функционирования и критичности (FMECA)». При FMECA каждый выявленный отказ ранжируется в соответствии с вероятностью его возникновения и серьезностью его последствий. Схема проведения анализа FMEA представлена на рис. 3.4.

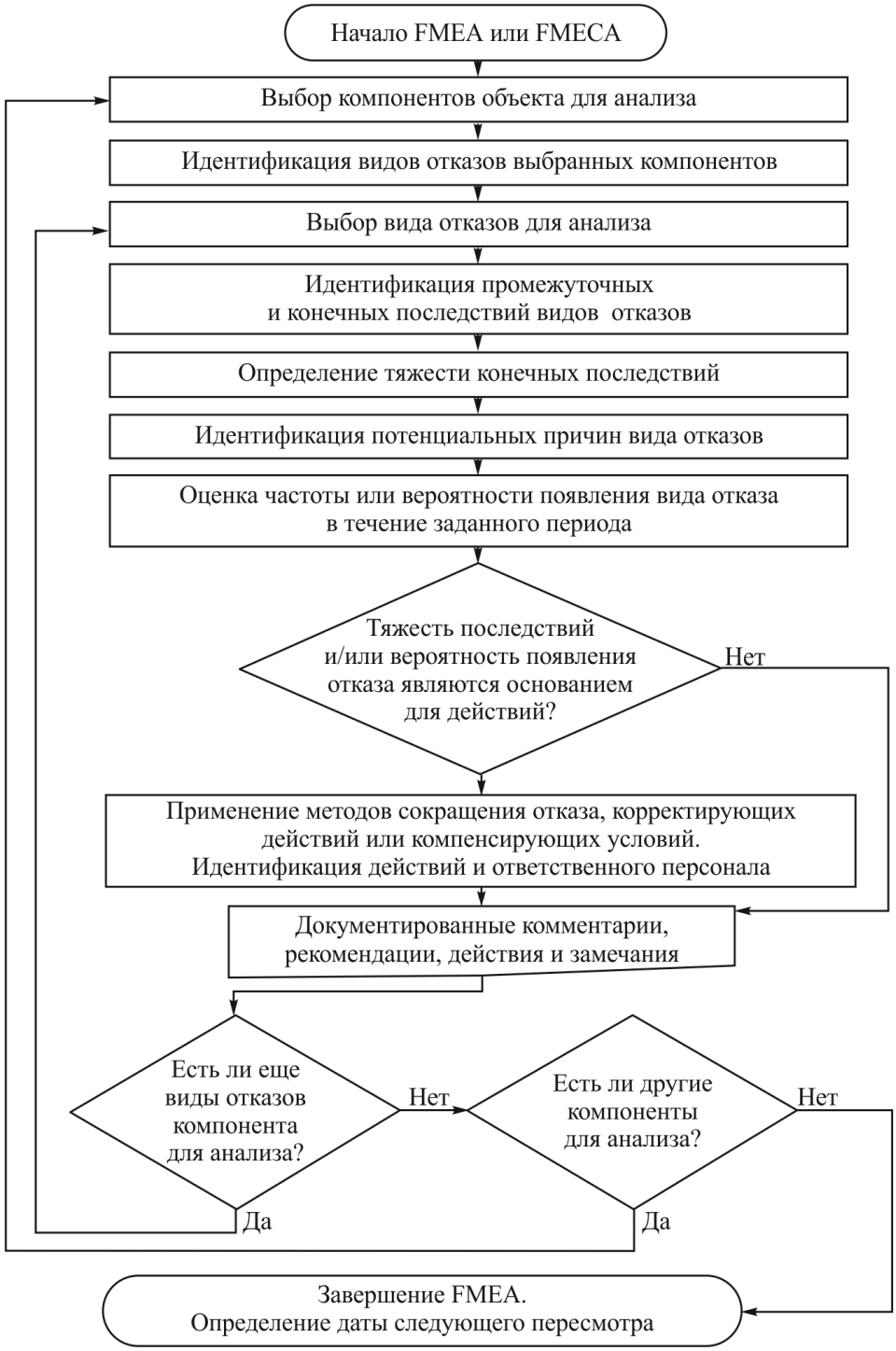


Рис. 3.4. Схема проведения анализа FMEA

FMEA и FMECA обеспечивают вклад в анализ такого рода, как анализ «дерева неисправностей» (анализ диаграммы всех возможных последствий несрабатывания или аварии системы). Наряду с применением по отношению к компонентам системы FMEA и FMECA могут использоваться и по отношению к ошибке человека; они могут использоваться как для идентификации опасности, так и для оценки вероятности.

Данный анализ основан на методе структурированной «мозговой атаки». Группе опытных специалистов, знакомых с анализируемыми процессами, руководителям аналитической группы предлагается задавать вопросы и ставить проблемы, связанные с рассматриваемой конструкцией (например, в химической промышленности это вопросы о блокировках, утечках, коррозии, вибрации, частичных выходах из строя (неполадках), событиях вне предприятия).

FMEA-анализ включает два основных этапа:

1) этап построения компонентной, структурной, функциональной и потоковой моделей объекта анализа (например, моделей построенных с использованием методов IDEF-0);

2) этап исследования моделей, при котором определяются:

– потенциальные дефекты для каждого из элементов компонентной модели объекта; такие дефекты обычно связаны или с отказом функционального элемента (его разрушением, поломкой и т.д.), или с неправильным выполнением элементом его полезных функций (отказом по точности, производительности и т.д.), или с вредными функциями элемента; в качестве первого шага рекомендуется перепроверка предыдущего FMEA-анализа или анализ проблем, возникших за время гарантийного срока; необходимо также рассматривать потенциальные дефекты, которые могут возникнуть при транспортировке, хранении, а также при изменении внешних условий (влажность, давление, температура);

– потенциальные причины дефектов; для их выявления могут быть использованы диаграммы Ишикавы, которые строятся для каждой из функций объекта, связанных с появлением дефектов;

– потенциальные последствия дефектов для потребителя; поскольку каждый из рассматриваемых дефектов может вызвать цепочку отказов в объекте, при анализе последствий используются структурная и потоковая модели объекта;

– возможности контроля появления дефектов; определяется, может ли дефект быть выявленным до наступления последствий в результате предусмотренных в объекте мер по контролю, диагностике, самодиагностике и др.;

– параметр тяжести последствий для потребителя *S*; это экспертная оценка, проставляемая обычно по 10-балльной шкале; наивысший балл проставляется для случаев, когда последствия дефекта влекут юридическую ответственность (табл. 3.2);

Таблица 3.2

Ранжироваине значимости последствий

Значимость (Severity)		
Ранг	Эффект	Критерий (Значимость последствия)
10	Опасно высокий	Потенциальный отказ может привести к угрозе потери здоровья и жизни рабочего, заказчика или покупателя
9	Очень высокий	Потенциальный отказ воздействует на безопасное функционирование и/или ведет к нарушению законодательных норм
8	Высокий	Отказ приводит к потере функциональности всего изделия
7	Средний	Отказ приводит к крайней неудовлетворенности заказчика/покупателя
6	Умеренный	Отказ влечет значительную потерю функциональности всего изделия
5	Низкий	Отказ приводит к частичной потере функциональности
4	Очень низкий	Отказ не влияет на функциональность изделия, но приводит к неудовлетворенности заказчика/покупателя
3	Малый	Отказ не влияет на функциональность, но может быть замечен обычным пользователем
2	Очень малый	Отказ не влечет значительных последствий и не будет замечен обычным пользователем
1	Незначительный	Нет видимого дефекта

– параметр частоты возникновения дефекта *O*; это – также экспертная оценка, проставляемая по 10-балльной шкале; наивысший балл проставляется, когда оценка частоты возникновения составляет 1/4 и выше (табл. 3.3);

– параметр вероятности не обнаружения дефекта *D*; как и предыдущие параметры, он является 10-балльной экспертной оценкой; наивысший балл проставляется для «скрытых» дефектов, которые не могут быть выявлены до наступления последствий (табл. 3.4);

Таблица 3.3

Ранжирование вероятности

Возникновение (Occurrence)		
Ранг	Вероятность	
10	Очень высокая	Отказ практически неизбежен
9	Высокая	Вероятность возникновения отказов сходна с вероятностью их отсутствия
8	Высокая	Серийные отказы
7	Высокая	Постоянные отказы
6	Средняя	Частые отказы
5	Средняя	Случайные отказы
4	Средняя	Непостоянные отказы
3	Низкая	Редкие отказы
2	Низкая	Возможны случайные отказы
1	Незначительная	Отказ маловероятен

Таблица 3.4

Ранжирование возможности обнаружения

Обнаружение (Detection)		
Ранг	Критерий	Определение
10	Невозможность обнаружения	Наличие дефекта не проверяется или не может быть найдено
9	Дефект скорее всего не будет обнаружен	Продукт выборочно проверяется и оценивается на основании допустимого уровня качества/брака
8	Большая вероятность необнаружения	Продукт целиком проверяется визуально и оценивается на основании отсутствия дефектов
7	Есть вероятность обнаружения	Продукт проверяется визуально в ходе процесса производства
6	Очень низкая вероятность обнаружения	Продукт исследуется визуально с помощью золотого образца
5	Низкая вероятность обнаружения	Процесс контролируется статистически, но оценивается вне линии
4	Средняя вероятность обнаружения	Процесс статистически контролируется и оценивается непосредственно в ходе производства
3	Высокая вероятность обнаружения	Процесс статистически управляемый
2	Почти полная вероятность обнаружения	Вся продукция проверяется автоматически
1	Вероятность обнаружения 100 %	Вся продукция проверяется автоматически, и дефект не может быть пропущен

– параметр риска потребителя RPZ; он определяется как произведение $S \times O \times D$; этот параметр показывает, в каких отношениях друг к другу в настоящее время находятся причины возникновения дефектов; дефекты с наибольшим коэффициентом приоритета риска (ПЧР больше либо равно 100...120) подлежат устранению в первую очередь.

Результаты анализа заносятся в специальную таблицу (табл. 3.5).

Таблица 3.5

Результаты анализа рисков

Номер шага/ операции	Процесс/ описание операции/ требования	Потенциальный отказ/ эффект	Возможные последствия отказа			*S*	Причина/ механизмы отказа	*O*
			на данном этапе производства	на последующих этапах производства	для заказчика/ потребителя			
1	2	3	4	5	6	7	8	9

Окончание табл. 3.5

Система контроля		*D*	RPZ	Рекомендуемые действия	Ответственность и дата завершения	Принятые меры	Результаты проведенных мероприятий			
Предотвращение	Обнаружение						*S*	*O*	*D*	RPZ
10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20

Выявленные «узкие места» – компоненты объекта, для которых RPZ будет больше 100...120, – подвергаются изменениям, т.е. разрабатываются корректировочные мероприятия.

При составлении перечня корректировочных мероприятий «направления воздействия» рекомендуется рассматривать в следующей последовательности:

– исключить причину возникновения дефекта; при помощи изменения конструкции или процесса уменьшить возможность возникновения дефекта (уменьшается параметр *O*);

– воспрепятствовать возникновению дефекта; при помощи статистического регулирования помешать возникновению дефекта (уменьшается параметр *O*);

– снизить влияние дефекта. Снизить влияние проявления дефекта на заказчика или последующий процесс с учетом изменения сроков и затрат (уменьшается параметр *S*);

– облегчить и повысить достоверность выявления дефекта; облегчить выявление дефекта и последующий ремонт (уменьшается параметр *D*).

По степени влияния на повышение качества процесса или изделия корректировочные мероприятия располагаются следующим образом:

– изменение структуры объекта (конструкции, схемы и т.д.);

– изменение процесса функционирования объекта (последовательности операций и переходов, их содержания и др.);

– улучшение системы качества.

Часто разработанные мероприятия заносятся в последующую графу таблицы FMEA-анализа. Затем пересчитывается потенциальный риск RPZ после проведения корректировочных мероприятий. Если не удалось его снизить до приемлемых пределов (малого риска RPZ < 40 или среднего риска RPZ < 100), разрабатываются дополнительные корректировочные мероприятия и повторяются предыдущие шаги.

По результатам анализа для разработанных корректировочных мероприятий составляется план их внедрения. Определяется:

– в какой временной последовательности следует внедрять эти мероприятия и сколько времени проведение каждого мероприятия потребует, через сколько времени после начала его проведения проявится запланированный эффект;

– кто будет отвечать за проведение каждого из этих мероприятий и кто будет конкретным его исполнителем;

– где (в каком структурном подразделении организации) они должны быть проведены;

– из какого источника будет производиться финансирование проведения мероприятия (статья бюджета предприятия, другие источники).

Процедуру FMEA-конструкции следует инициировать до (или при) завершении концепции разработки, непрерывно обновлять при возникновении изменений или получении дополнительной информации на различных стадиях разработки продукции и в основном закончить до выпуска производственных чертежей и оснастки [8, 9].

- ***Изучение опасностей и работоспособности системы (HAZOP)***

HAZOP является формой анализа видов и последствий отказов (FMEA). Исследования HAZOP первоначально были разработаны для химической промышленности. Это процедура идентификации возможных опасностей по всему объекту в целом. Она особенно полезна при идентификации непредвиденных опасностей, заложенных в объекте

вследствие недостатка информации при разработке, или опасностей, проявляющихся в существующих объектах из-за отклонений в процессе их функционирования.

Данную форму анализа применяют для идентификации слабых мест (существующих или предполагаемых) в системах, включая поток материалов, людей, данных, событий, действий в запланированной последовательности или в процедурах, управляющих такой последовательностью; для исследования опасности и потенциальных проблем, связанных с различными режимами эксплуатации данной системы (например, запуск, резервирование, нормальная эксплуатация, нормальное завершение, чрезвычайное завершение); для неустановившихся процессов и последовательностей, а также для непрерывных процессов. Во многих случаях этот метод используют, чтобы проанализировать проблемы, которые мешают предприятию достичь оптимальных объемов производства или же получить качественную продукцию в соответствии с требованиями стандарта ISO 9000.

В процедурах этого метода обычно участвуют компетентные специалисты из разных областей (физики, химики, механики и др.). Эффективность применения этого метода в большой степени зависит от компетенции и опыта команды оценщиков (рабочей группы). В ходе анализа рабочая группа методично просматривает проектную и техническую документацию, применяя типовые обозначения («управляющие слова»). После обнаружения проблемы рабочая группа определяет причины найденной проблемы и возможные последствия.

Основными задачами метода являются:

а) составление полного описания объекта или процесса, включая предполагаемые состояния конструкции;

б) систематическая проверка каждой части объекта или процесса с целью обнаружения путей возникновения отклонений от проектного замысла;

в) принятие решения о возможности возникновения опасностей или проблем, связанных с данными отклонениями.

Принципы исследований HAZOP могут применяться по отношению к техническим объектам в процессе их функционирования либо на различных стадиях проектирования. Исследование HAZOP, осуществляемое во время начальной стадии проектирования, может выполнять руководитель проекта.

Наиболее распространенная форма исследования HAZOP осуществляется на стадии рабочего проекта и носит название исследования HAZOP II.

Исследование HAZOP II предусматривает следующие этапы (рис. 3.5).

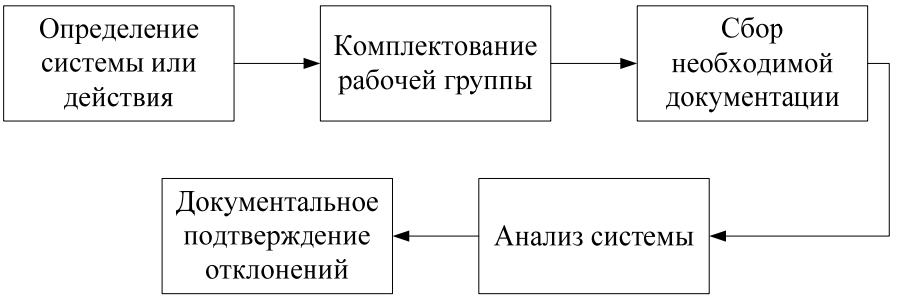


Рис. 3.5. Процедура анализа HAZOP II

- *Этап 1* – определение целей, задач и области применения исследования, например выделение опасности, характеризующейся только нелокальными последствиями или только локальными последствиями, участков промышленного объекта, подлежащих рассмотрению, и т.д.
- *Этап 2* – комплектование группы по исследованию HAZOP. Данная группа должна состоять из проектировщиков и операторов, обладающих достаточной компетентностью для оценки последствий отклонений от условий функционирования системы.
- *Этап 3* – сбор необходимой документации, чертежей и описаний технологического процесса. Сюда входят графики последовательности технологических операций; чертежи трубопроводов и измерительного оборудования; технические условия на оборудование, трубопроводы и измерительную аппаратуру; логические диаграммы управления технологическим процессом; проектные схемы; методики эксплуатации и технического обслуживания; методики реагирования на чрезвычайные ситуации и т.д.
- *Этап 4* – анализ каждой основной единицы оборудования и всего вспомогательного оборудования, трубопроводов и контрольно-измерительной аппаратуры с использованием документов, собранных на этапе 3. В первую очередь определяется цель проектирования технологического процесса, затем применительно к каждой линии и единице оборудования

по отношению к таким переменным процесса, как температура, давление, расход, уровень и химический состав, применяются слова-указатели (табл. 3.6). (Данные слова-указатели стимулируют индивидуальное мышление и побуждают к коллективному обсуждению).

Таблица 3.6

Слова-указатели HAZOP II [15]

Слово-указатель	Значение	Определение
Нет или не	Полное отрицание назначения	Ни одна из частей предполагаемого результата не достигается (например, нет расхода)
Больше	Большее значение параметра	Количественное увеличение (например, высокое давление)
Меньше	Меньшее значение параметра	Количественное уменьшение (например, низкое давление)
А также	Качественное увеличение свойств	Качественное увеличение (например, дополнительный материал)
Часть (чего-то)	Качественное уменьшение свойств	Качественное уменьшение (например, только один или два компонента в смеси)
Обратное	Логически противоположное назначение	Противоположное (например, противоток)
Иначе	Полное изменение назначения	Ни одна из частей замысла не осуществляется, происходит что-то совершенно другое (например, поток несоответствующего материала)

- *Этап 5* – документальное подтверждение любого отклонения от нормы и соответствующих состояний. Кроме того, осуществляется выявление способов обнаружения и/или предупреждения отклонения. Данное документальное подтверждение обычно указывается на рабочих листах HAZOP. Образец такого рабочего листа слов-указателей «не, нет» на примере расхода полимера в резервуаре представлен в табл. 3.7.

Исследование HAZOP может выделить отклонения, для которых необходима разработка смягчающих мер. В тех случаях, когда смягчающие меры не очевидны или очень дороги, результаты исследования HAZOP дают возможность идентифицировать инициирующие события, необходимые для дальнейшего анализа риска.

Преимуществом рассматриваемого метода является тот факт, что возможные риски выявляются очень детально, при условии, что исследование проводят компетентные специалисты. Метод также позволяет подробно проанализировать отдельные части и элементы сложной системы.

Таблица 3.7

Образец рабочего листа слов-указателей «не, нет» HAZOP II [15]

Слово-указатель	Отклонение	Возможные причины	Последствия	Необходимое действие
НЕ, НЕТ	Нет расхода	1. Отсутствие подаваемого материала	Выработка формуемого полимера будет снижена	1. Обеспечить хорошую связь с оператором 2. Предусмотреть сигнал низкого уровня на установочном резервуаре
		2. Неисправен насос (множество причин)	Выработка формуемого полимера будет снижена	Предусмотреть сигнал низкого уровня на установочном резервуаре
		3. Закупоривание линии, или ошибочное закрытие клапана, или невозможность закрыть регулирующий клапан	Насос будет перегреваться	Установить линию рециркуляции на каждом насосе

Основной недостаток метода заключается в значительных затратах временных и кадровых ресурсов и, как следствие, его высокая стоимость. Одним из недостатков данного метода является необходимость создания более упрощенной схемы процесса или оборудования, при этом могут быть исключены некоторые аспекты риска.

Пример применения HAZOP

В химическом технологическом процессе происходит подача гелия по трубам (рис. 3.6). Метод HAZOP позволяет оценить все возможные происшествия, которые могут произойти, если:

– скорость потока гелия слишком большая или слишком малая;

– гелий подается в неправильном направлении;

– по трубам подается другой газ или жидкость;

– в поток гелия попадают другие вещества (газ, другие примеси);

– гелий слишком нагрет или охлажден;

– давление в системе слишком большое или малое.

Пример типовых обозначений («управляющих слов») для химических процессов, таких как поток, давление, температура и операции, которые обеспечивают пуск, остановку системы и другие действия, приведен в табл. 3.8.

Таблица 3.8

Типовые обозначения

«Управляющее слово»	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 самое время закрыты (сбой или ошибка человека)
ЧАСТЬ ИЗ	Качественное уменьшение	Только часть системы не работает
ИЗМЕНЕНИЕ НАПРАВЛЕНИЯ	Логическое противодействие цели	Противопоток, когда система выключена
ИНАЧЕ ЧЕМ	Полное замещение	В газовый трубопровод попала жидкость

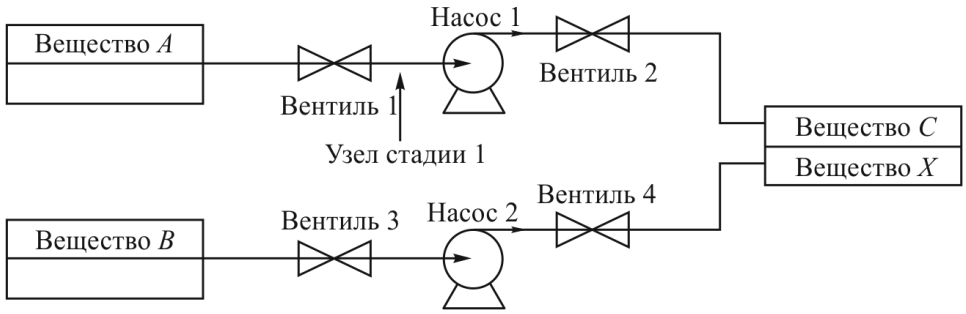


Рис. 3.6. Процесс подачи гелия по трубам

Например, жидкость *A* необходимо смешать с жидкостью *B*, чтобы получить вещество *C*. Соотношение реагирующих веществ, температура и давление реакции являются важными параметрами, чтобы получить вещество *C* с определенными свойствами (табл. 3.9).

Таблица 3.9

Пример анализа процесса [2, 8, 9]

Отклонения	Опасности	Причины	Предложенные действия
Нет потока из *A*	Неадекватная химическая реакция, образуется токсичный продукт	Ошибка из-за: вентиля 1; насоса 1; вентиля 2; утечки вещества *A*; засорения трубы; повреждения трубы	Необходимо автоматическое закрытие вентиля 4 для уменьшения потока вещества *B*
Поток из *A* уменьшился	Неадекватная химическая реакция, образуется токсичный продукт	Вентиль 1 или 2 частично закрыты; сбой в насосе 1	Необходимо автоматическое закрытие вентиля 4
Нормальный поток, но уменьшилась концентрация вещества *A*	Неадекватная химическая реакция, образуется токсичный продукт	Поврежден автомат подачи вещества А; сбой в баке приготовления исходного материала	Проверить концентрацию вещества и работу автомата подачи

- ***Анализ критичности***

Анализ критичности представляет собой методику, включающую в рассмотрение не только отказы технических элементов оборудования, но и ошибки человека-оператора. Методика анализа критичности устанавливает несколько категорий отказов по степени значимости возможных последствий. Категории критичности могут иметь различную шкалу для всевозможных различных видов отказов. Например, существует 4 категории критичности:

- категория 1: отказ, потенциально приводящий к жертвам;
- категория 2: отказ, потенциально приводящий к невыполнению основной задачи;
- категория 3: отказ, приводящий к задержкам или потере работоспособности;
- категория 4: отказ, приводящий к дополнительному незапланированному обслуживанию.

Может быть и более подробная классификация критичности, например по 10-балльной шкале:

- оценки 1–2 баллов соответствуют фактическому отсутствию опасности;

• оценки 3–5 баллов соответствуют незначительной вероятности легких травм (при этих показателях травмы с тяжелыми или смертельными исходами исключены);

• оценки 6–8 баллов соответствуют незначительной вероятности риска, при которой велика вероятность тяжелых травм (переломы, ампутация и т.п.).

• оценки 9–10 баллов характеризуют катастрофическое положение дел, значительна вероятность наступления аварий, катастроф, связанных с гибелью людей).

Методика анализа критичности проводится в виде составления таблиц, где последовательно описываются элементы системы, виды отказов, причины отказов, возможные последствия, вероятность проявления, степень критичности (в баллах или категориях) и заканчивается в формулировке возможных действий по предупреждению как данного отказа, так и последствий.

В этом методе в графу причин отказов включаются как технические, так и ошибки человека-оператора. Данный метод анализа позволяет очень подробно анализировать последовательно все элементы по потенциальным отказам, но анализ достаточно трудоемкий. Результатом подобного анализа является установление элемента или части системы, требующей особого внимания в эксплуатации, повышения надежности и безотказности, ужесточения норм контроля, или введение специальных требований и правил безопасности.

Однако, несмотря на достаточную подробность в выявлении отказов и возможных причин, этот метод не дает возможность увязать отказы в единую логическую цепь и не позволяет установить количественной меры вероятности общего риска и его возможных последствий.

Реестр рисков

Полученная из разных источников информация о выявленных рисках собирается в единый реестр и структурируется определенным образом (как правило, в табличном виде), позволяющим их наглядно представлять и сравнивать.

Единой рекомендованной формы реестра нет. Однако в большинстве случаев в нем присутствуют поля, определяющие для каждого риска:

– категорию риска по разным критериям классификации;

– виды ресурсов, подверженных воздействию данного риска;

– перечень факторов, влияющих на вероятность и тяжесть реализации риска (факторы риска);

– сотрудников или подразделения, ответственных за работу с данным риском.

Данная информация регистрируется в реестре в процессе идентификации. Кроме того, в реестре предусмотрены поля, которые заполняются в процессе дальнейшей работы, в частности при оценивании и обработке рисков. Они определяют:

– вероятность наступления риска;

– тяжесть последствий;

– возможные меры регулирования и финансирования данного риска;

– способы контроля уровня риска и эффективности управления им.

Излишне детализированная информация требует больших трудовых затрат на ее сбор и регистрацию, она может плохо поддаваться формализации и обработке. В то же время поверхностное описание не позволяет выявлять аспекты риска. Задачей риск-менеджера является выбор такой структуры и формата заполнения реестра рисков, которые наиболее адекватно соответствуют целям системы управления рисками и имеющимся трудовым и информационным ресурсам организации [1].

3.2. Моделирование и анализ моделей процессов с целью выявления источников риска

3.2.1. Общие принципы моделирования

Важное место в исследовании процессов и идентификации существующих рисков занимает моделирование, так как полученные при моделировании результаты являются основной для последующего системного анализа условий проявления техногенных происшествий (рисков) и системного синтеза мероприятий по их предупреждению и/или снижению возможного ущерба.

Модель – такой материальный или мысленно представляемый объект, который в процессе изучения замещает объект-оригинал, сохраняя некоторые его важные для данного исследователя типичные черты. *Моделированием* называют процесс построения и использования модели.

Все модели и методы моделирования с определенной условностью могут быть разделены на следующие наиболее общие классы: *материальные*, или реально существующие (лабораторные установки, макеты автомашин, зданий), и *идеальные*, или мысленно воображаемые (описание или представление любых явлений, процессов и предметов с помощью графических и математических символов и слов).

Важной особенностью всех моделей служит их относительная неполнота, что связано с тем, что при моделировании исследователь всегда исходит из вполне определенной цели, учитывая только наиболее существенные для ее достижения факторы. Поэтому любая созданная модель не всегда тождественна оригиналу: для сравнительно простых объектов она может быть совершеннее оригинала, тогда как для сложных объектов она всегда значительно проще его.

К другим важным характеристикам моделей следует отнести то, что называют адекватностью, а также степень их сложности и предсказательности (или потенциальности). Если результаты использования модели удовлетворяют цели, т.е. могут быть пригодными, например, для прогнозирования поведения или свойств оригинала, то говорят, что модель адекватна реальности. Однако, учитывая заложенную при создании неполноту модели, можно утверждать, что идеально адекватная сложному объекту модель принципиально невозможна.

Что касается сложности (или простоты) модели, то из двух моделей, позволяющих достичь желаемой цели, предпочтение должно быть отдано более простой. При этом адекватность и простота модели далеко не всегда представляют собой противоречивые требования. Следовательно, для сложного объекта можно создать множество разных моделей, отличающихся по степени полноты, адекватности и сложности.

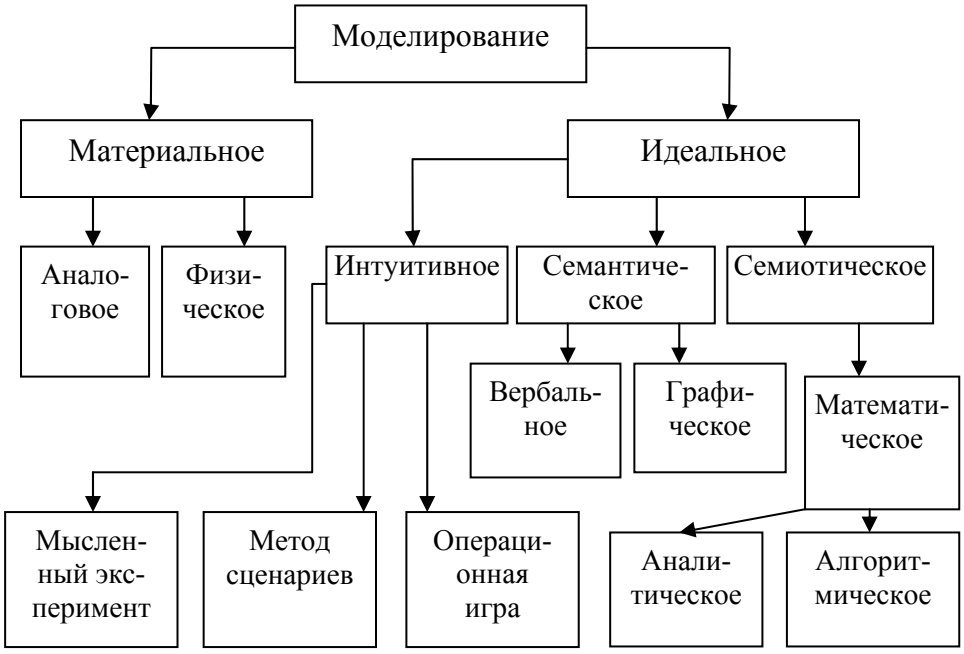


Рис. 3.7. Классификация способов моделирования систем и процессов

Наконец, под предсказательностью модели обычно понимают ее пригодность для получения новых знаний об объекте-оригинале. Обоснованно считается, что хорошая модель содержит в себе потенциальное знание, которое человек, исследуя ее, может приобрести, сделать доступным для других и использовать в практических целях. Именно свойство потенциальности модели позволяет ей выступать в качестве самостоятельного объекта исследования [4, 8].

На рис 3.7 приведена классификация способов моделирования систем и процессов.

- ***Материальное моделирование***

Материальные модели основаны на использовании свойства подобия между ними и какими-либо объектами-оригиналами.

1. Методы *физического* (натурного, предметного) моделирования нашли самое широкое применение в авиа-, автомобиле-, ракето- и судостроении, а также в других отраслях промышленности и транспорта. Например, при разработке нового летательного аппарата большое значение имеют эксперименты с натурными образцами или моделями в аэродинамической трубе. Исследование полученных там результатов их обтекания воздушным потоком позволяет найти наиболее рациональные формы корпуса самолета либо ракеты и всех их выступающих частей.

2. В основу *аналогового* моделирования положено совпадение (преимущественно – качественное) математического описания различных предметов, процессов и явлений. Характерным примером аналоговых моделей служат механические и электрические колебания, которые подчинены одним и тем же законам, т.е. описываются одинаковыми аналитическими формулами, но относятся к качественно различным физическим процессам.

- ***Идеальное (воображаемое) моделирование***

Под *интуитивным* обычно подразумевают моделирование, использующее не обоснованное с позиций формальной логики представление объекта исследования, которое к тому же не поддается формализации или не нуждается в ней. Такое моделирование осуществляется в сознании человека в форме мысленных экспериментов, сценариев и игровых ситуаций с целью его подготовки к предстоящим практическим действиям за счет заблаговременной преднастройки к ним.

В отличие от интуитивного *семантическое* (смысловое) моделирование логически обосновано с помощью некоторого числа исходных предположений. Сами эти предположения нередко принимают форму

гипотез, создаваемых на основе наблюдения за объектом моделирования или какими-либо его аналогами. Главное отличие этого вида моделирования от предыдущего заключается не только в умении выполнять и воспроизводить для других его действия, но и в знании внутренних механизмов, которые используются при этом.

Как показано на рис. 3.7, в данную группу методов входит вербальное (словесное) и графическое моделирование. При этом первый тип моделей образуется с помощью слов, из которых составляются высказывания, суждения и умозаключения относительно моделируемого объекта. При графическом моделировании уже используются материальные носители информации – бумага, классная доска или монитор компьютера, на которых размещаются различные рисунки, чертежи, структурно-функциональные схемы или диаграммы причинно-следственных связей.

В отличие от смыслового *семиотическое*, или знаковое, моделирование является наиболее формализованным, поскольку использует не только общеизвестные слова или довольно наглядные изображения (как в семантических моделях), но и разного рода символы – буквы, иероглифы, нотные знаки, цифры. Более того, в последующем все они объединяются с помощью специфических правил, по которым принято оперировать как отдельными элементами, так и создаваемыми из них знаковыми образованиями.

Основным и наиболее представительным подвидом данного моделирования считается математическое моделирование. Далее под математическим моделированием будет подразумеваться идеальное знаковое формальное моделирование, при котором описание объекта-оригинала осуществляется на языке математики, а исследование модели проводится с использованием тех или иных математических методов.

В зависимости же от способа исследования все математические модели принято делить на аналитические и алгоритмические. *Аналитическое* моделирование позволяет получить выходные результаты в виде конкретных аналитических выражений, использующих счетное число арифметических операций и переходов к пределу по натуральным числам. При этом частными случаями соответствующих моделей являются все корректные алгебраические выражения, а также та их часть, которая имеет умышленно ограниченное число параметров и применяется для получения приближенных результатов.

В отличие от аналитических *алгоритмические* модели могут учитывать практически любое число существенных факторов, а потому используются для моделирования наиболее сложных объектов и чаще всего с помощью мощных и быстродействующих компьютеров. Однако в большинстве подобных случаев алгоритмические модели позволяют получать лишь приближенные результаты, используя метод численного или имитационного моделирования.

Рассмотренная классификация не является всеобъемлющей и универсальной. Существуют классификации по типу входных и выходных параметров (постоянные величины или функции, скаляры или векторы, четкие или нечеткие подмножества); по времени (статическое, динамическое); по размерности пространства (одномерная, многомерная); в зависимости от цели моделирования или предназначения математических моделей (дескриптивные, нормативные и ситуационные) [8].

Разные типы моделей могут использоваться совместно и должны органично дополнять друг друга, поскольку имеют вполне конкретные области предпочтительного применения.

3.2.2. Проверка адекватности модели

В процессе работы модель выступает в роли относительно самостоятельного объекта, позволяющего получить при исследовании некоторые знания о самом объекте. Если результаты такого исследования (моделирования) подтверждаются и могут служить основой для прогнозирования в исследуемых объектах, то говорят, что модель адекватна объекту. При этом адекватность модели зависит от цели моделирования и принятых критериев.

Проверка может производиться путем сравнения показателей, полученных на модели, с реальными, а также путем экспертного анализа. Желательно проведение такого анализа независимым экспертом. Если по результатам проверки адекватности выявляются недопустимые расхождения между системой и ее моделью, в модель вносят необходимые изменения.

Под *адекватностью* понимают степень соответствия модели реальному явлению или объекту, для описания которого она строится. Вместе с тем создаваемая модель направлена, как правило, на исследование определенных свойств этого объекта. Поэтому можно считать, что адекватность модели определяется степенью ее соответствия не столько реальному объекту, сколько целям исследования. Особенно это утверждение справедливо относительно моделей проектируемых систем (когда реальная система еще не существует).

Тем не менее во многих случаях полезно иметь формальное подтверждение (или обоснование) адекватности разработанной модели. Один из наиболее распространенных способов такого обоснования – использование методов математической статистики. Суть этих методов заключается в проверке выдвинутой гипотезы (в данном случае – об адекватности модели) на основе некоторых статистических критериев.

Процедура оценки основана на сравнении измерений на реальной системе и результатов экспериментов на модели и может проводиться различными способами. Наиболее распространенные из них:

– по средним значениям откликов модели и системы;

– по дисперсиям отклонений откликов модели от среднего значения откликов системы;

– по максимальному значению относительных отклонений откликов модели от откликов системы.

Названные способы оценки достаточно близки по сути, поэтому рассмотрим первый из них. При этом способе проверяется гипотеза о близости среднего значения наблюдаемой переменной X среднему значению отклика реальной системы X^*.

В результате n опытов на реальной системе получают множество значений (выборку) X^*. Выполнив n экспериментов на модели, также получают множество значений наблюдаемой переменной X.

Затем вычисляются оценки математического ожидания и дисперсии откликов модели и системы, после чего выдвигается гипотеза о близости средних значений величин X^* и X (в статистическом смысле). Основой для проверки гипотезы является t-статистика (распределение Стьюдента). Ее значение, вычисленное по результатам испытаний, сравнивается с критическим значением tKP, взятым из справочной таблицы. Если выполняется неравенство $tn < tKP$, то гипотеза принимается.

Необходимо еще раз подчеркнуть, что статистические методы применимы только в том случае, если оценивается адекватность модели существующей системе. На проектируемой системе провести измерения, естественно, не представляется возможным [14].

3.2.3. Моделирование систем и процессов для идентификации рисков

Моделированию принадлежит особое место при проведении теоретического системного анализа процессов техносферы и связанных с ними рисков. Это объясняется в первую очередь неприемлемостью по

этическим и экономическим соображениям экспериментального изучения тех аспектов, которые касаются жизни и здоровья людей, ущерба материальным ценностям и природным ресурсам. В данных условиях только моделирование позволяет оценить возможности возникновения и предупреждения техногенных рисков и величину ущерба, компенсировать дефицит в соответствующих статистических данных.

Важным условием теоретического системного анализа опасных техносферных процессов является выявление объективных закономерностей возникновения техногенных происшествий и априорная оценка соответствующего риска. Подобный прогноз предполагает разработку моделей, пригодных для количественной оценки:

а) вероятности появления конкретных происшествий (рисков);

б) величины соответствующего ущерба от них людским, материальным и природным ресурсам.

Функциональное моделирование

В каждом из случаев для идентификации исчерпывающего списка рисков или его источников удобно использовать хорошо структурированный процесс, поэтому представляется достаточно логичным и перспективным использование инструмента, который применяется при описании процессов. Одним из распространенных подходов при описании процессов является принцип декомпозиции, который используется при разбиении сложного процесса на составляющие его функции.

При декомпозиции процесса может применяться методология функционального моделирования EDF0, которая позволяет эффективно представить и проанализировать любую деятельность предприятия.

Основной концептуальный принцип методологии IDEF – представление любой изучаемой системы в виде набора взаимодействующих и взаимосвязанных блоков, отображающих процессы, операции, действия, происходящие в изучаемой системе.

В IDEF0 все, что происходит в системе и ее элементах, принято называть функциями. Каждой функции ставится в соответствие блок. На IDEF0-диаграмме – основном документе при анализе и проектировании систем – блок представляет собой прямоугольник. Интерфейсы, посредством которых блок взаимодействует с другими блоками или с внешней по отношению к моделируемой системе средой, обозначаются стрелками, входящими в блок или выходящими из него. Входящие стрелки показывают, какие условия должны быть одновременно выполнены, чтобы функция, описываемая блоком, осуществилась.

Необходимо учитывать, что каждая сторона блока имеет особое, вполне определенное назначение (рис. 3.8).

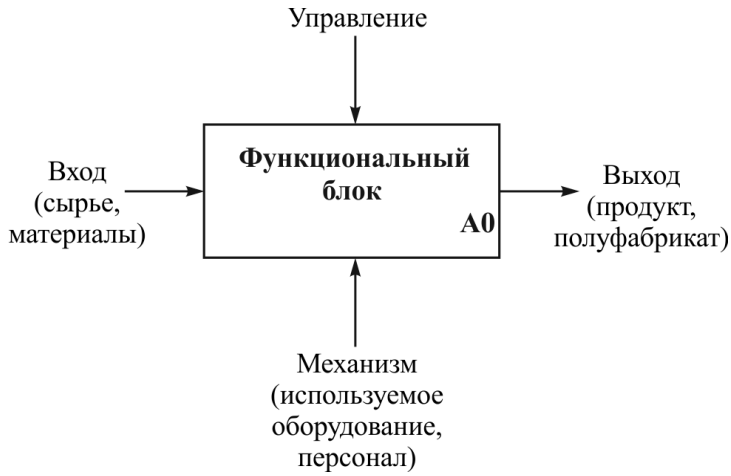


Рис. 3.8. Назначение сторон функционального блока

Левая сторона блока предназначена для входов, верхняя – для управления, правая – для выходов, нижняя – для механизмов. Такое обозначение отражает определенные системные принципы: входы преобразуются в выходы, управление ограничивает или предписывает условия выполнения преобразований, механизмы показывают, кто выполняет функцию, что он для этого предпринимает и как выполняется функция.

В процессе декомпозиции функциональный блок, который в контекстной диаграмме отображает систему как единое целое, подвергается детализации на другой диаграмме. Получившаяся диаграмма второго уровня содержит функциональные блоки, отображающие главные подфункции функционального блока контекстной диаграммы, и называется дочерней по отношению к нему (каждый из функциональных блоков, принадлежащих дочерней диаграмме, соответственно называется дочерним блоком). Каждая из подфункций дочерней диаграммы может быть далее детализирована путем аналогичной декомпозиции соответствующего ей функционального блока (рис. 3.9).

Стандарт EDF0 и его методология подробно описаны в руководящем документе «Методология функционального моделирования EDF0», выпущенном Госстандартом России.

Функциональная модель может быть использована для любого процесса и позволяет более удобно выявлять риски, поскольку в данном случае рассматривается каждый отдельный блок.

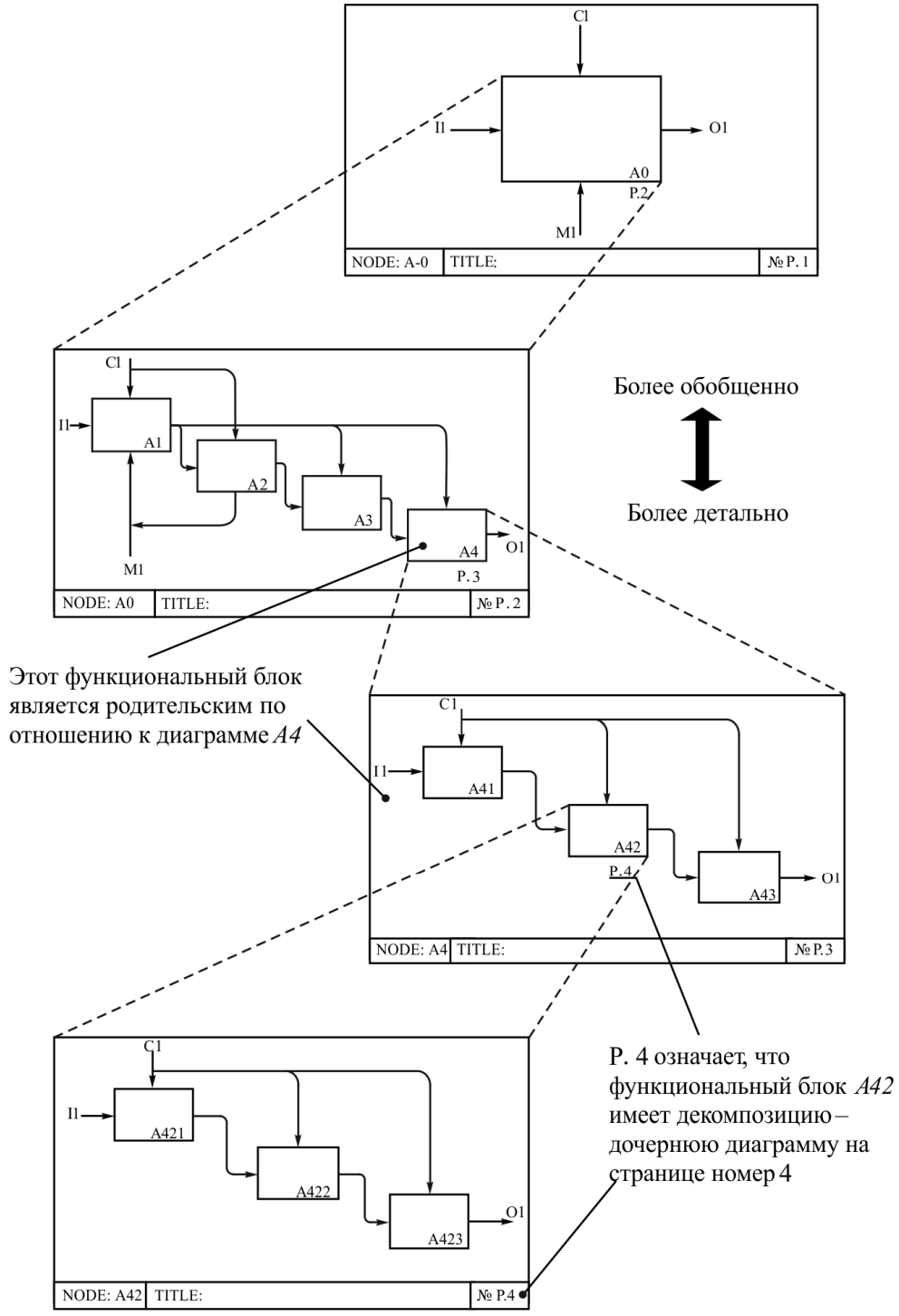


Рис. 3.9. Процедура декомпозиции согласно IDF0

Основные этапы построения функциональной модели процесса

Стандарт IDEF0 содержит набор процедур, позволяющих разрабатывать и согласовывать модель большой группе людей, принадлежащих к разным областям деятельности моделируемой системы. Обычно процесс разработки является итеративным и состоит из следующих условных этапов:

1. *Создание модели группой специалистов, относящихся к различным сферам деятельности предприятия.* Построение первоначальной модели является динамическим процессом, в течение которого авторы опрашивают компетентных лиц о структуре различных процессов. На основе имеющихся положений, документов и результатов опросов создается черновик модели. В качестве опрашиваемых экспертов могут выступать начальники соответствующих отделов и цехов, ответственных за эксплуатацию технического оборудования и применение технологических процессов на производственных объектах организации. При построении модели для получения дополнительной информации авторам модели может быть необходима документация с описанием процесса, технологии, оборудования и т.д.

2. *Распространение черновика для рассмотрения, согласований и комментариев.* На этой стадии происходит обсуждение черновика модели с широким кругом компетентных лиц на предприятии. При этом каждая из диаграмм черновой модели письменно критикуется и комментируется, а затем передается автору. Автор, в свою очередь, также письменно соглашается с критикой или отвергает ее с изложением логики принятия решения и вновь возвращает откорректированный черновик для дальнейшего рассмотрения. Этот цикл продолжается до тех пор, пока авторы и читатели не придут к единому мнению.

3. *Официальное утверждение модели.* Утверждение согласованной модели происходит руководителем рабочей группы в том случае, если у авторов модели и читателей отсутствуют разногласия по поводу ее адекватности. Окончательная модель представляет собой согласованное представление о предприятии (системе) с заданной точки зрения и для заданной цели [2].

Общая схема процесса построения функциональной модели представлена на рис. 3.10.

Перед проведением моделирования необходимо определить цель модели, поскольку цель определяет соответствующие области в исследуемой системе, на которые надо обратить внимание в первую очередь.

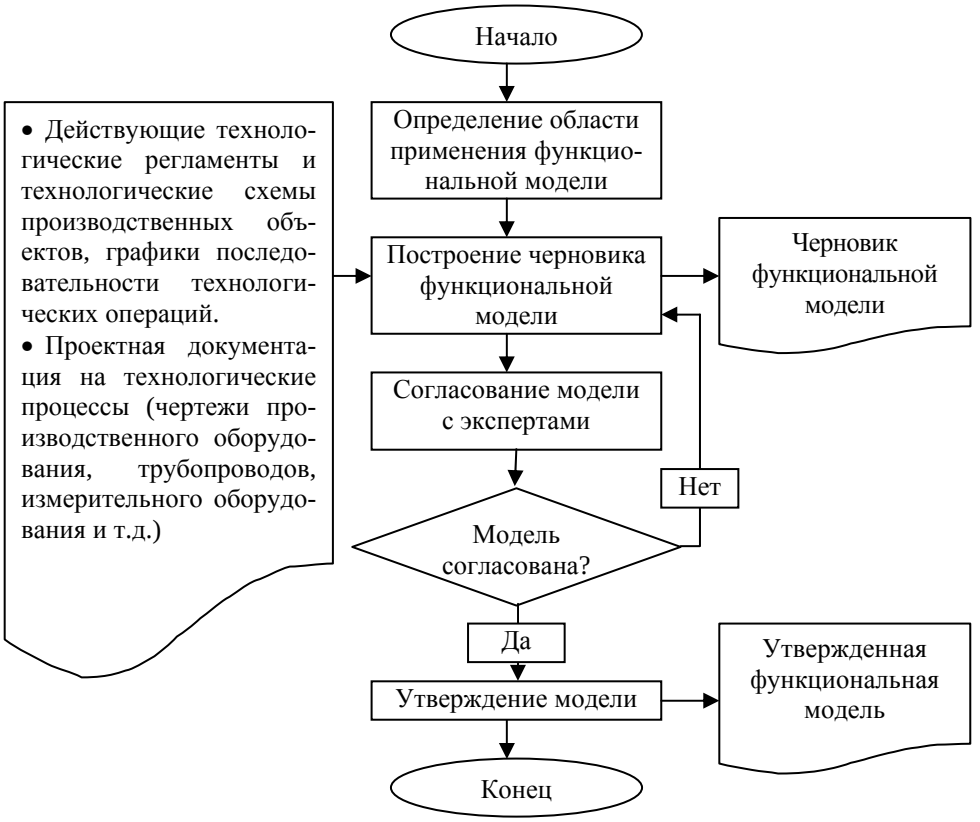


Рис. 3.10. Схема процесса построения функциональной модели

Необходимый уровень детализации при декомпозиции определятся задачами и функциями участка, перечнем технологического оборудования на участке, мнением экспертов.

Подготовка к моделированию позволяет максимально облегчить сбор информации. Кроме того, перед построением функциональной модели необходимо четко определить границы исследуемой системы.

Информация для идентификации рисков процесса может быть получена при опросе экспертов, которые достаточно хорошо знают исследуемый процесс и его особенности, а также путем изучения соответствующей документации, касающейся процесса. Такой документацией могут являться:

– действующие технологические регламенты и технологические схемы производственных объектов, графики последовательности технологических операций;

– проектная документация на технологические процессы (чертежи производственного оборудования, трубопроводов, измерительного оборудования и т.д.);

– материалы, содержащие информацию о сырье и материалах;

– паспорта оборудования и эксплуатационные документы на технические устройства, здания и сооружения;

– декларации промышленной безопасности;

– законодательные и нормативные требования в области охраны труда и промышленной безопасности, охраны окружающей среды;

– внутренние нормативные документы предприятия в области охраны труда и промышленной безопасности, охраны природы и нормативы качества;

– отчеты аудитов систем управления качеством, охраной труда и промышленной безопасностью, охраной окружающей среды;

– информация о противоаварийных и противопожарных системах;

– оценка воздействия на окружающую среду;

– материалы расследования несчастных случаев, профессиональных заболеваний и аварий за последние пять лет (планы ликвидации аварий, материалы по профессиональной заболеваемости, материалы по аттестации рабочих мест, протоколы замеров уровней вредных и опасных производственных факторов на рабочих местах, тяжести и напряженности трудового процесса);

– статистические данные по аварийности и надежности технологических систем;

– материалы проверок, проводимых в рамках производственного контроля и государственными надзорными органами, содержащие факты нарушений требований охраны труда и окружающей среды;

– материалы по предшествующей идентификации и оценке рисков;

– информация о субподрядчиках.

При проведении декомпозиции процесса необходимо учитывать деление производства на цеха, участки, распределение ресурсов и оборудования. Также следует принимать во внимание следующие факторы: задачи и функции участка, перечень технологического оборудования на участке, используемые вещества, число фаз производства.

Барьерные диаграммы

Цель построения барьерных диаграмм состоит в том, чтобы дать возможность четкого рассмотрения сложной последовательности событий, которые могли бы привести к аварии.

На барьерных диаграммах изображаются последовательности событий, которые могут происходить наиболее часто, или те, которые могут вызвать серьезные последствия. Это позволяет определить «слабые» места, где необходимо установить дополнительные защитные меры (барьеры). Барьерные диаграммы могут быть использованы в качестве основы для определения уровня безопасности технической системы и степени его приемлемости.

Барьерные диаграммы иллюстрируют последовательность возможного развития аварии. На диаграмме показываются ошибки и отклонения, которые могут вызвать аварию. Они сопровождаются изображением альтернативных путей развития аварии и окончательных последствий. На диаграмме также показываются «барьеры», которые предназначены для предотвращения дальнейшего развития неблагоприятных обстоятельств, остановки развития аварии или ограничения ее последствий. На рис. 3.11 представлен пример барьерной диаграммы безопасности.

В качестве барьеров могут выступать элементы специальной защиты, или части какого-либо устройства, или оборудование, например предохранительный клапан или система аварийной остановки, которая вступает в действие автоматически при превышении заданных технологических параметров. Барьеры также могут включать в себя предписания или административные инструкции, определяющие действия персонала, такие как проверка оборудования и приборов или запрет на эксплуатацию оборудования в определенных нестандартных условиях. Барьеры могут представлять собой комбинацию «технического обеспечения» и «программного обеспечения», например аварийная сигнализация повышения температурного режима, с последующей реакцией оператора, который, как предполагается, нажимает аварийную кнопку, когда слышит этот аварийный сигнал.

Существуют различные виды барьеров:

- активные/пассивные;
- полные/частичные;
- автоматические/требующие вмешательства персонала.

Если не предполагается детальная оценка барьеров, то более надежные барьеры могут быть заштрихованы черным цветом, а менее надежные – белым. Это позволяет пользователю быстро уловить, где находятся слабые места в той или иной системе.

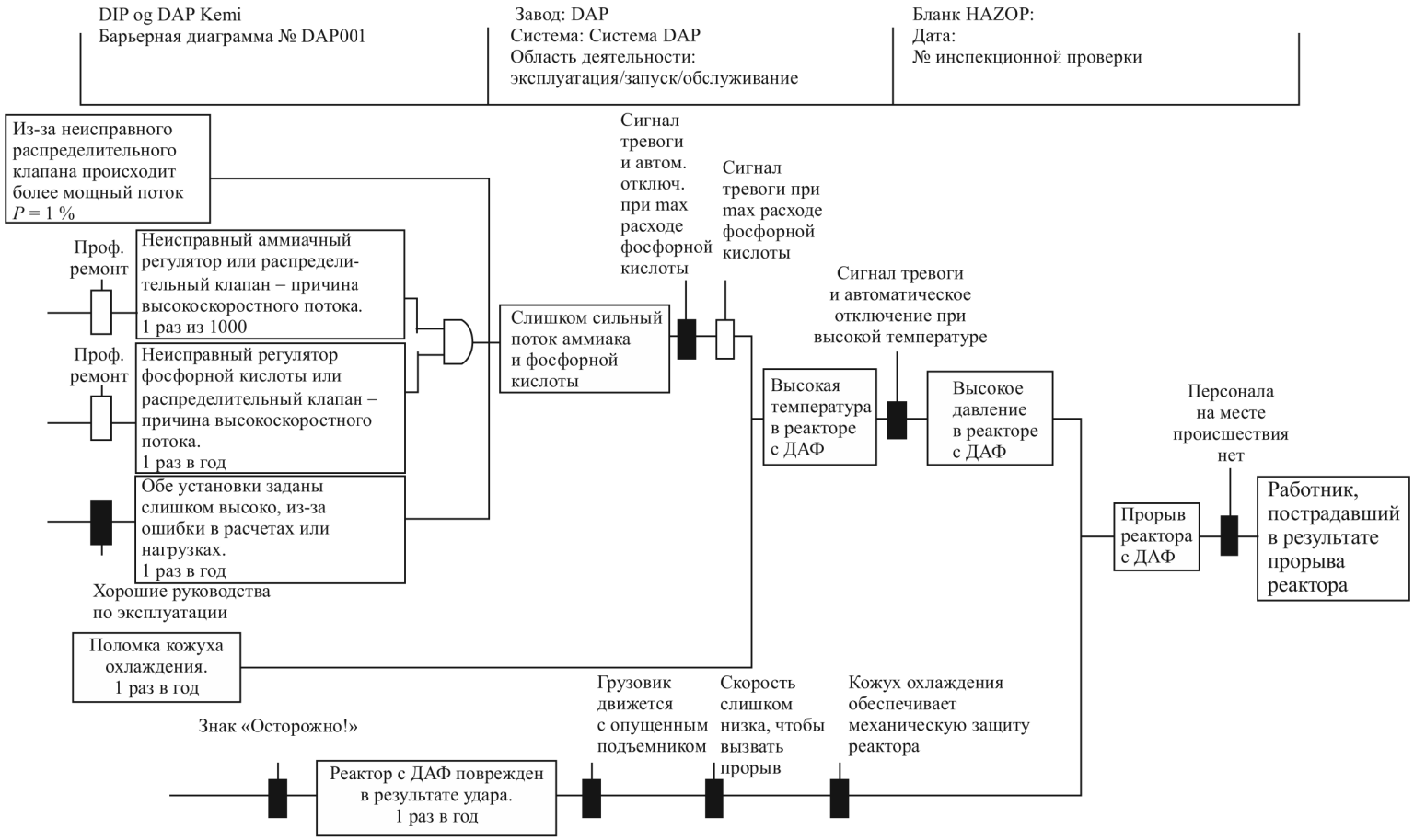


Рис. 3.11. Барьерная диаграмма безопасности

На барьерных диаграммах барьеры показаны следующим образом (рис. 3.12).

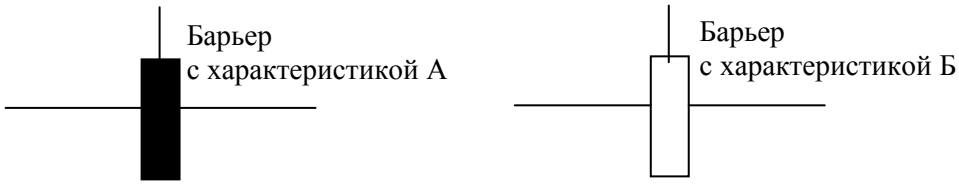


Рис. 3.12. Условные обозначения барьеров с различными характеристиками

В зависимости от степени защиты, участия персонала и необходимости активации барьеры могут быть подразделены на полные и частичные.

Полные барьеры – это барьеры, действующие эффективно при всех аварийных ситуациях, для которых они предназначены. Аварийный сигнал и связанную с ним процедуру ручного отключения можно считать полным барьером.

Частичный барьер – это барьер, который может не всегда срабатывать.

Аварийный сигнал, требующий от персонала анализа ситуации и принятия решения об остановке технологического процесса, будет считаться частичным барьером.

Полные барьеры обычно более надежные, чем частичные.

Пассивный барьер – это барьер, который функционирует без необходимости активации. Подсыпка со стороны днища емкости для хранения, достаточная по своим размерам, чтобы удержать все содержимое емкости и предохранить любые утечки, может считаться пассивным барьером. Пассивные барьеры – обычно полные барьеры.

Активный барьер состоит из двух компонентов: один – для определения ненормальной ситуации, а другой для выполнения действия, которое остановит дальнейшее развитие аварийной ситуации.

В качестве активного барьера может служить устройство измерения давления с аварийной сигнализацией при превышении давления и связанные с этим предписанные процедуры, требующие от персонала предпринять аварийное отключение при появлении аварийной ситуации. Активные барьеры могут быть частичными или полными.

По степени автоматизации систем безопасности на предприятии барьеры можно подразделить на автоматические (распределительный клапан или аварийная система в сочетании с автоматическим отключением) и управляемые персоналом.

Барьерные диаграммы изображаются сначала в таком виде, как показано на рис. 3.13. На схеме с левой стороны указываются возможные причины аварийной ситуации, а в правой части – последствия. Положение, до которого развивается авария, может быть указано в центре схемы, между причинами и последствиями.

Зачастую ряд различных причин может стать причиной одного и того же аварийного последствия. Такое положение проиллюстрировано на рис. 3.13, где указаны три разные причины: «Причина 1», «Причина 2» и «Причина 3».

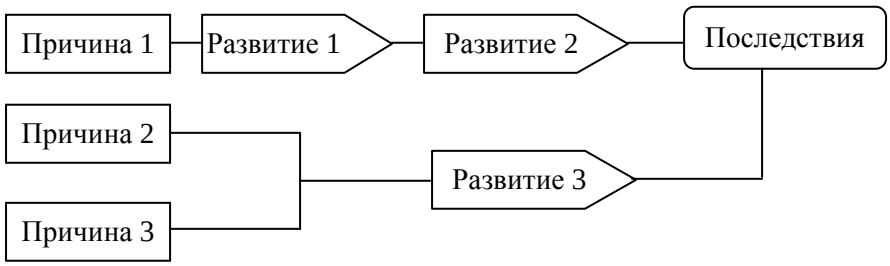


Рис. 3.13. Структура барьерной диаграммы

В большинстве случаев даже единичной причины или отказа достаточно для запуска аварийной последовательности событий. Однако, в ряде случаев, аварийные последствия возникают в результате комбинации причин или отказов, когда все из них должны проявиться в одно и то же время. Такая комбинация известна как логическое условие «И» (рис. 3.14).



Рис. 3.14. Обозначения логических условий «ИЛИ»
и «И» в барьерных диаграммах

Барьеры, как было определено ранее, являются мерами безопасности, направленными против дальнейшего развития аварийной ситуации. Они показываются на структурной схеме барьерной диаграммы. На рис. 3.15 показана аналогичная структурная схема барьерной диаграммы, но с указанием барьеров.

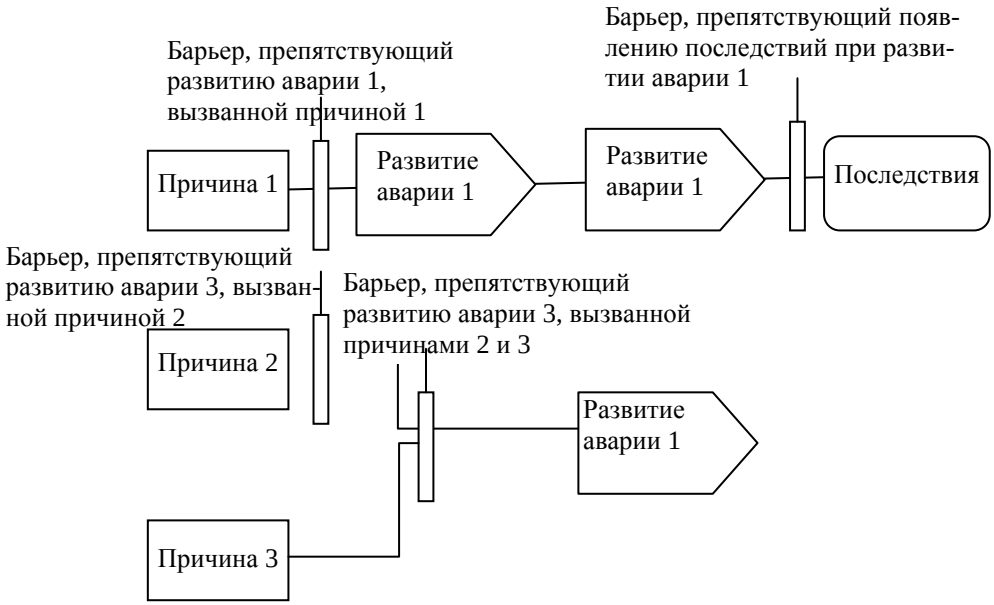


Рис. 3.15. Барьерная диаграмма с указанием барьеров

Инициирующим событиям и барьерам могут быть приписаны баллы в соответствии с ожидаемой частотой (для инициирующих событий) или вероятности отказов (для барьеров). В дальнейшем можно выявить последовательность событий с наименьшим числом оценочных баллов.

Примеры оценки барьеров в зависимости от вероятности отказа его функционирования представлены в табл. 3.10.

Таблица 3.10

Меры безопасности барьера с максимальным количеством баллов

Описание	Применение / комментарии	Кол-во баллов
Пожарная стена	Предохраняет распространение огня в другие места, по крайней мере в течение 60 мин	10
Обваловка (сборные пруды)	Сборные пруды, способные задержать наиболее крупные объемы возможных утечек (сбросов)	8
Резервуар для воды	Достаточный объем воды для тушения огня в случае наиболее крупных утечек (выброса)	6
Дисковое отключение при неполадке	Выпускает излишнее давление в атмосферу	6

Окончание табл. 3.10

Аварийный выпускной клапан	Выпускает излишнее давление в атмосферу	6
Аварийная сигнализация с автоприводом	Автозапуск инициирует эффективные меры безопасности	6
Аварийный прерыватель	Прерывает автоматически, является составной частью защиты установки при отказе	4
Аварийная сигнализация с ручным управлением	Тревожная сигнализация подает сигнал оператору, постоянно находящемуся в операционном зале, и оператор предпринимает соответствующие защитные меры	4
Регулярный осмотр	Осмотр на 100 % выполняется квалифицированным сотрудником при тщательном контроле качества. Интервалы между осмотрами зависят от вида оборудования	4
Нереверсивный вентиль	Обеспечивает движение потока в трубе в одном направлении	2

При построении барьерной диаграммы на каждой барьерной диаграмме можно отразить от 5 от 8 причин и последствий аварийной ситуации. Если насчитывается большее число причин, то потребуется построение более чем одной барьерной диаграммы. Если требуется построение более чем одной барьерной диаграммы, необходимо сделать так, чтобы содержание каждой схемы являлось логическим продолжением каждой из них, так чтобы последовательности, имеющие общие барьеры, были отражены на той же диаграмме. Графические схемы строятся так, чтобы обстоятельства, которые приводят к аварийной однотипной ситуации, были сгруппированы вместе.

Барьерные диаграммы могут быть использованы для получения общего представления о том, какая последовательность событий может ожидаться наиболее часто или какие из них могут привести к наиболее серьезным последствиям. Данный обзорный анализ, в свою очередь, может быть использован для выявления тех цепочек событий, в которых требуются дополнительные меры безопасности [8].

Метод Монте-Карло

Методы создания математических моделей объектов и систем, а также имитационных моделей предполагают детерминированные задачи или задачи, решаемые в условиях неопределенности. Во втором

случае неопределенные факторы или параметры, входящие в задачу, являются случайными величинами, вероятностные характеристики которых или известны, или могут быть определены из опыта.

В реальных случаях приходится анализировать безопасность сложных объектов и систем, в которых взаимосвязано большое количество элементов и процессов (машина, агрегаты, организации, люди) и присутствует много случайных факторов, которые взаимно влияют друг на друга. В таких ситуациях единственным методом решения задачи является использование универсального метода статистического моделирования, называемого методом Монте-Карло.

Суть метода моделирования Монте-Карло состоит в том, что вместо того, чтобы пытаться описывать процесс с помощью каких-либо уравнений, которые могут быть чрезвычайно сложными и описывать процесс очень приближенно, производится модельное появление случайного события с помощью специально организованной процедуры.

Процедура предполагает получение случайных чисел, отождествляемых с каким-либо событием. Случайные числа могут быть связаны с вероятностью наступления неблагоприятного события (авария, взрыв, травма, выброс токсичных веществ и др.). По процедуре формирования случайного сигнала (цифры) происходит формирование переменной по ее распределению. Однако реализация, т.е. одно выпадение случайного числа, не может служить характеристикой поведения системы, но при достаточно большом количестве реализаций этот выбор случайных чисел может быть обработан методами математической статистики, что дает вероятностные характеристики состояния и развития исходного объекта.

Блок-схема, представленная на рис. 3.16, отражает укрупненную схему работы с моделью.

Анализ рисков с использованием метода имитационного моделирования Монте-Карло представляет собой «воссоединение» методов анализа чувствительности и анализа сценариев на базе теории вероятностей.

Результатом такого комплексного анализа выступает распределение вероятностей возможных результатов.

Для использования метода Монте-Карло необходимо представлять, хотя бы примерно, закон распределения. На практике в большинстве случаев описывают процессы и явления, имеющие нормальный закон распределения. Для получения случайных реализаций или используют

готовые таблицы случайных чисел, или создают с помощью ЭВМ, используя генераторы (датчики) случайных чисел. При других законах распределения (биноминальное, экспоненциальное) вводят специальную программу формирования случайного сигнала по этому закону.



Рис. 3.16. Схема работы с моделью имитационного моделирования

Метод статистического моделирования (метод Монте-Карло) имеет свои достоинства и недостатки.

Достоинства:

– возможность моделирования сложных систем, где действует много взаимодействующих случайных факторов;

– возможность проверки правильности других аналитических моделей;

– не требует серьезных упрощений и допущений, так как в статистическую модель можно заложить любые законы распределения, любой сложности системы.

Недостатки:

– громоздкость и трудоемкость в разработке, потребность в большом количестве расчетов для получения статистически достоверных данных;

– результаты статистического моделирования труднее воспринимать и осмыслить, чем аналитические модели, и, кроме того, значительно труднее решать задачу оптимизации.

При статистических модельных исследованиях и разработке моделей с использованием метода Монте-Карло, на основе имеющейся статистики и предыдущего опыта, предполагается, что закон распределения в определенной мере известен. По этому закону производится генерирование случайных сигналов. Это производится тогда, когда случайные явления обладают статистической устойчивостью, когда при достаточном повторении опытов частота появления случайных событий стабилизируется и приближается к ее вероятности. Такие случайные параметры или факторы можно назвать доброкачественной статистической неопределенностью. Примером доброкачественной неопределенности являются отказы различных устройств, разрушение элементов конструкций за счет износа или усталости материалов. Эти примеры находятся в компетенции теории надежности. Но в системах «человек – машина – среда» могут быть неопределенности такого вида, когда мы не можем хоть как-то прогнозировать закон распределения случайных величин. Это могут быть неправильные и ошибочные действия оператора. В данных случаях при разработке моделей необходимо исходить из возможности возникновения наихудшего случая.

Теория орграфов

Для анализа больших систем используются модели, представляющие собой процесс появления отдельных предпосылок и развития их в причинную цепь происшествия в виде соответствующих диаграмм причинно-следственных связей.

Орграф представляет собой набор вершин, определенные пары которых соединены линиями со стрелками или без стрелок.

Рассмотрим на примере: численность населения города влияет на количество мусора в нем. Мусор, в свою очередь, увеличивает бактериологическую зараженность, которая влияет на заболеваемость в городе, что приводит к изменению заболеваемости и смертности населе-

ния. Условия жизни в городе определяют сальдо миграции. Все это создает нагрузку на очистные сооружения и может быть описано орграфом, изображенным на рис. 3.17.

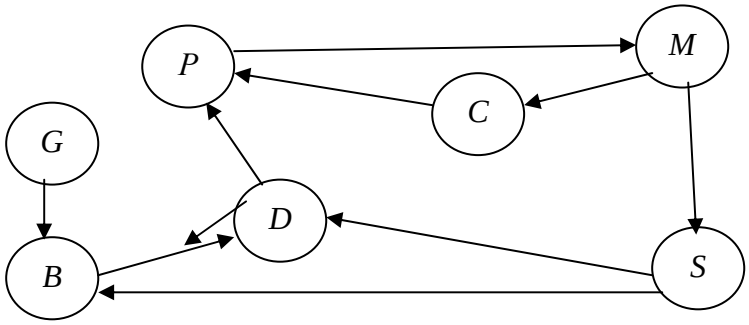


Рис. 3.17 Модельный орграф удаления мусора в городе: *P* – число жителей города; *M* – условия жизни в городе; *C* – миграция в город; *G* – количество мусора на единицу площади; *D* – число заболеваний; *S* – число очистных сооружений; *B* – бактериологическая зараженность на единицу площади

Орграфы (или диаграммы влияния) используются в настоящее время в различных модификациях, например:

– потоковые графы (графы состояний и переходов);

– ориентированные графы;

– деревья происшествий («отказов»);

– деревья событий, деревья решений;

– функциональные сети различного предназначения и структуры, в том числе стохастической.

Основными компонентами диаграммы влияния служат узлы (вершины) и связи (отношения). В качестве узлов обычно подразумеваются простейшие элементы моделируемых категорий (события, состояния, свойства), а в качестве связей – действия, ресурсы и т.п.

Каждые два соединенных между собой узла образуют ветвь диаграммы. Отношения или связи между переменными или константами в узлах диаграммы представляются в виде дуг или ребер.

Узлы диаграммы характеризуются наборами данных, т.е. множеством выходов (значений, принимаемых переменными). Если диаграмма стохастическая, то дугам или ребрам приписываются вероятности (или распределения вероятностей) появления этих значений.

Диаграммы влияния сравнительно легко комбинируются с другими средствами формализации и моделирования. В последнее время к ним все чаще обращаются для решения задач повышение безопасности с помощью математического моделирования.

Так, с помощью предварительно построенных диаграмм – графов, сетей, деревьев – могут быть получены математические модели аварийности и травматизма.

Дугой в орграфе называется ориентированная пара вершин графа (рис. 3.18).

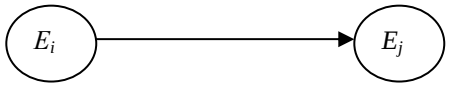


Рис. 3.18. Дуга (E_i E_j)

Кратными дугами называются дуги, у которых совпадают начальная и конечная вершины (рис. 3.19).

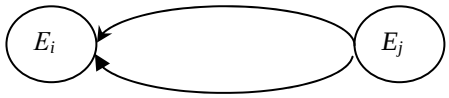


Рис. 3.19. Кратные дуги

Ребром называется неориентированная пара вершин (рис. 3.20).



Рис. 3.20. Ребро

Ребра и дуги называются смежными, если они имеют хотя бы одну смежную вершину. Ребра или одинаково направленные дуги называются кратными, если их концевые вершины совпадают.

Возникновение происшествий в системах техносферы и ликвидация их последствий могут быть представлены в виде следующего потокового графа (рис. 3.21).

Здесь рассматриваемый процесс характеризуется шестью состояниями (безопасное, опасное, предаварийное, послеаварийное, состояние системы после смертельного несчастного случая и ее состояние после катастрофы), а также девятью переходами с соответствующими вероятностями. Для описания такого графа введена следующая формальная запись:

U = {1, 2, 3, 4, 5, 6} – множество узлов или вершин диаграммы;

V = {вышеприведенные наименования соотношений} – множество переменных, или соответствующих;

Д = {1-2, 2-1, 2-3, 3-2, 3-1, 3-4, 3-5, 3-6, 4-1} – множество дуг (ребер), соединяющих узлы;

P = {P12, P21, P23, P32, P31, P34, P35, P36, P41} – вектор мер возможностей перехода из узла i в узел j.

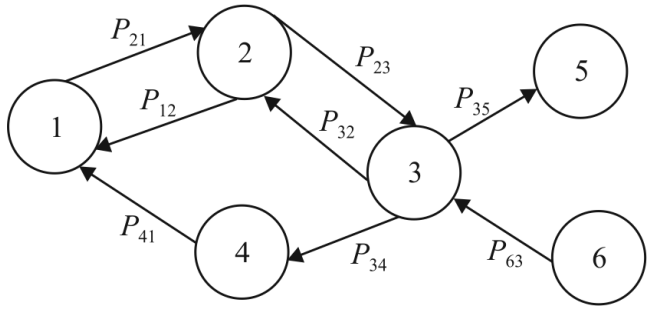


Рис. 3.21. Потоковый граф

Полученная модель показывает воздействие одного показателя (в вершине графа) на другой показатель (вершину). Построенная модель позволяет провести анализ взаимодействия показателей, выявить показатели, связанные контуром (это очень важно при исследовании графов), определить начальные и конечные вершины. Но для моделирования развития систем этого недостаточно. Можно дополнить орграф, присвоив каждой дуге знак «+» (если при увеличении показателя i показатель j будет увеличиваться) или «–» (если при увеличении показателя i показатель j будет уменьшаться). Таким образом, мы получаем *знаковый* орграф (рис. 3.22).

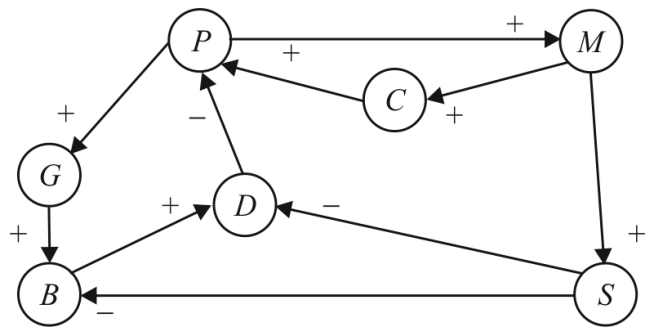


Рис. 3.22. Ориентированный граф

Дуга (*P*, *G*) имеет знак «+», поскольку рост городского населения ведет, при прочих равных условиях, к увеличению количества мусора. Дуга (*D*, *P*) имеет знак «–», так как рост заболеваемости ведет к уменьшению численности населения, а уменьшение заболеваемости – к увеличению. Дуга (*P*, *M*) имеет знак «+», так как рост населения ведет к улучшению инфраструктуры города, т.е. к улучшению условий жизни. Дуга (*M*, *C*) имеет знак «+», так как улучшение условий жизни увеличивает миграцию населения в город, что, в свою очередь, ведет к росту населения – дуга (*C*, *P*). Улучшение условий жизни в городе ведет к увеличению числа очистных сооружений – дуга (*M*, *S*) и т.д.

Модели, основанные на знаковых орграфах, являются весьма упрощенными. В реальных системах воздействие некоторых переменных на другие может быть разной силы, тогда как модель, основанная на знаковом орграфе, предполагает одинаковое по силе воздействие по всем дугам, отличающееся только знаком. Чтобы усилить модель, каждой дуге, кроме знака, можно присвоить еще и вес. Тогда мы получим взвешенный орграф, который является более тонким инструментом моделирования.

Определение весов дуг орграфа может быть проведено так же, как и знаков, на основе логики и экспертных оценок. В случае, когда имеется статистическая информация, весовые коэффициенты могут быть установлены на основе обработки этой информации.

Модель, базирующуюся на орграфах, можно сделать еще более глубокой по содержанию и точности описания, если построить функциональные орграфы.

В ориентированном графе связи между вершинами заданы дугами, в неориентированном – ребрами. Граф является смешанным, если в него входят и дуги, и ребра.

Путем в графе называется такая конечная последовательность дуг, в которой начало каждой последующей дуги совпадает с концом предыдущей. Например, путь {(2, 4)(4, 5)(5, 7)(7, 10)(10, 12)} можно записать в виде последовательности вершин {2, 4, 5, 7, 10, 12}. Для неориентированного графа путь называется цепью.

Контуром называется путь, начальная вершина которого совпадает с конечной. Длина пути или контура определяется числом входящих в него дуг.

Полученная с помощью орграфа модель отражает воздействие одной вершины на другую. Дуги орграфа отражают характер взаимодействия. В зависимости от способа задания дуг различают следующие виды орграфов:

Взвешенный орграф – взаимодействие вершин в нем отражено только качественно. Для количественного описания модели дугам присваиваются весовые коэффициенты, отражающие степень влияния одной вершины на другую. Орграф, дугам которого присвоены весовые коэффициенты, называется взвешенным орграфом.

В функциональном орграфе дугам ставится в соответствие вместо знака или весового коэффициента функциональная зависимость.

Вероятностный орграф – орграф, имеющий случайные возмущения при взаимодействии вершин (дугам ставится математическое ожидание случайной величины).

Гибридные орграфы. В ряде случае оказывается целесообразным сочетать взвешенный и функциональный орграфы. Обычно это происходит при недостатке информации или при невозможности экспертов отразить зависимость изменения одного показателя от другого. В этих случаях орграфы имеют дуги, части которых поставлены в соответствие функциональным зависимостям, а части – весовые коэффициентам. Такие орграфы называют гибридными.

Динамические орграфы. В динамических орграфах значения весов для некоторых (или всех) дуг не остаются постоянными, а зависят от величин показателей в вершинах орграфа, что позволяет повысить гибкость взвешенных орграфов. В этом случае весовой коэффициент дуги ij может быть записан в виде зависимости от некоторого показателя.

При исследовании реальных систем важен учет времени реализации воздействия одного показателя на другой или времени реакции одного показателя на изменения другого.

Простейший подход, который позволяет учесть временные задержки импульсного процесса, – установка дополнительных промежуточных вершин. Например, если показатель *j* реагирует на изменение показателя *i* через одну временную единицу, а показатель l реагирует на изменение показателя *i* через три временных единицы, то орграф с временными задержками примет вид, который показан на рис. 3.23.

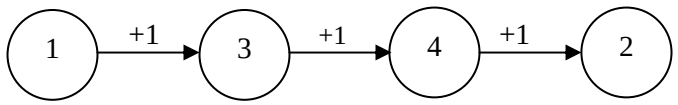


Рис. 3.23. Импульс передается от вершины 1 к вершине 2 с задержкой в 3 единицы

Недостатком данного подхода является то, что количество вершин орграфа увеличивается, орграф становится громоздким и трудоемкость расчетов увеличивается.

Вершины орграфа составляют сложный контур, который может быть представлен отдельными простыми контурами. Среди них можно выделить контуры, все дуги которых имеют знак «+». При увеличении значения одной из вершин в этом контуре значения всех остальных вершин (а также и этой) будут возрастать. Очевидно, что отклонение в такой контуре будет все время усиливаться.

Контуры, усиливающие отклонения, называются контурами положительной обратной связи.

Контур, содержащий одну отрицательную дугу, противодействует росту отклонения, так как рост значения одной из вершин приводит к уменьшению значения других вершин (и этой вершины в том числе). Контуры, противодействующие отклонению, называются контурами отрицательной обратной связи.

Устойчивость орграфов

Вершина i орграфа называется импульсно устойчивой в импульсном процессе, если последовательность $\{|p_i(t)|,\ t = 0, 1, 2\ldots\}$ имеет ограничения, т.е. существует такое положительное число M, что$\{|p_i(t)|$ меньше M для всех t.

Вершина называется устойчивой по значению в импульсном процессе, если последовательность значений вершины ограничена.

Взвешенный орграф называется импульсно устойчивым в импульсном процессе, если каждая из его вершин импульсно устойчива.

Понятие устойчивости играет важную роль в моделировании. При математической постановке задач с помощью системного подхода прежде всего учитывается, что в данной системе присутствует человек и именно он делает систему устойчивой при каждом импульсном воздействии. Если допущена ошибка (импульсное воздействие), то система становится хуже, но не распадается, поэтому при следующем импульсном воздействии негативные последствия гасятся. Конечно, последовательностью импульсных воздействий возможно сделать систему неустойчивой, но из-за одного импульса этого сделать нельзя.

Для того чтобы добиться нужного поведения модели, необходимо определить круг элементов модели, на которые можно воздействовать, а именно:

– изменить на определенное время значения показателей некоторых вершин орграфа;

– изменить на определенное время знак, весовой коэффициент или функцию определенной дуги или ряда дуг;

– изменить временное запаздывание на одной или нескольких дугах;

– добавить новую дугу в орграф;

– убрать имеющуюся в орграфе дугу (для этого достаточно приравнять к нулю весовой коэффициент при этой дуге);

– создать или убрать контур;

– добавить в определенное время новую вершину и инцидентные ей (т.е. входящие) дуги;

– убрать в определенное время новую вершину и инцидентные ей дуги.

Следует помнить, что за любыми изменениями в орграфе стоит одно или несколько определенных мероприятий. Одно мероприятие может повлечь за собой комплексное изменение в орграфе, поэтому важно тщательно анализировать все производимые изменения с точки зрения их целесообразности [11, 12].

Главной задачей, определяющей успех при исследовании поведения системы с помощью орграфов, считается построение модели. Прежде всего, необходимо четко и корректно определить цель исследования.

Построение орграфа состоит из следующих этапов:

1. Выделение объекта исследования.

2. Определение контура, определение ее целостности.

3. Обозначение факторов (вершин орграфа), определяющих поведение системы.

4. Установление связей (весовые коэффициенты) между вершинами.

При этом необходимо иметь в виду, что описание самой системы возможно только при наличии описания этой системы как элемента более широкой системы. Именно такое описание системы в виде орграфа позволяет воздействовать на систему и через это воздействие проследить реакцию системы и применить методы управления этой реакцией.

Рассмотрим процесс построения орграфа на примере одного из регионов. Целью исследования будем считать определение социо-эколого-экономической перспективы развития региона.

Региональную модель представим в виде двух орграфов: первый описывает взаимодействие крупных блоков региона, второй более детализирован (рис. 3.24, 3.25).

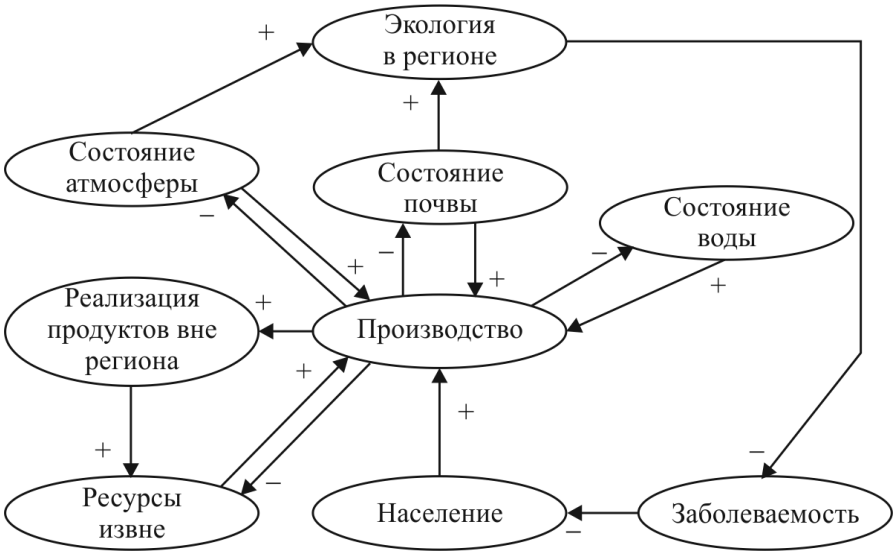


Рис. 3.24. Схема взаимодействия основных блоков региона

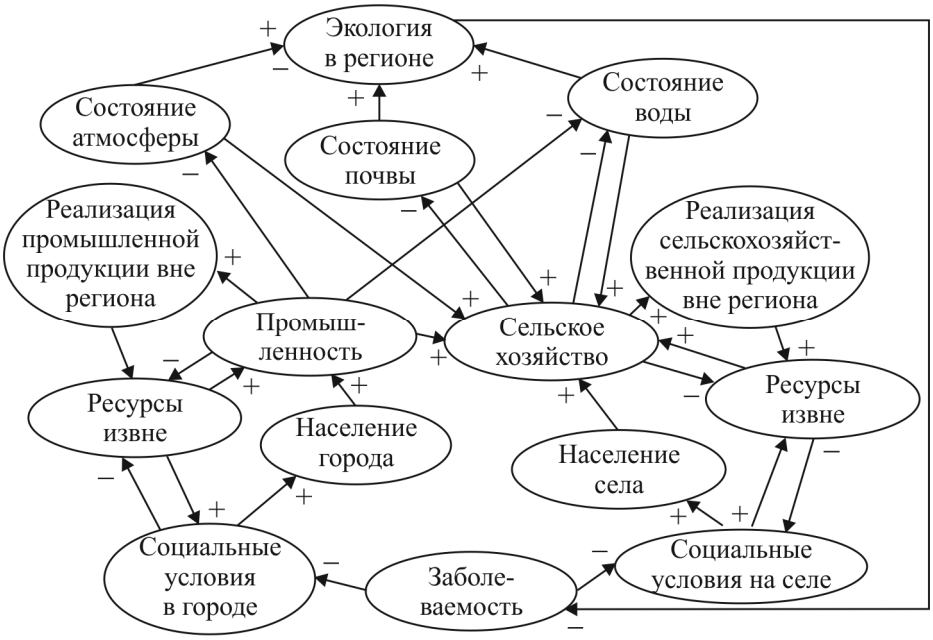


Рис. 3.25. Уточненная модель взаимодействия основных блоков региона

Если проследить изменение ситуации по всем моделям на протяжении 10 шагов и сравнить полученные результаты, то сумма значений одинаковых вершин в разных моделях будет различна. Эти различия следуют из принципа целостности системы.

Добавление новых вершин и связей в последующих орграфах уточняет свойства системы и более полно отражает эколого-экономическую ситуацию региона [11].

3.2.4. Показатели надежности технических систем

Анализ безопасности и оценка риска во многом определяется надежностью технических устройств. Большинство случаев различных аварий, катастроф, взрывов, загораний, приводящих к травматизму и летальным исходам, связаны с отказами устройств, разрушениями элементов, выходами из строя агрегатов. Однако могут быть случаи выхода из строя по вине людей и случаи травматизма при вполне исправной работающей технике.

Надежность – свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, хранения и транспортирования

Состояние элементов системы различают в двух позициях: работоспособное и неработоспособное.

Объект (элемент или система) считается работоспособным, если он способен выполнять свои функции и соответствует требованиям нормативно-технической документации.

Объект считается неработоспособным, если он не выполняет свои функции или по какому-то параметру не соответствует требованиям документации.

Характер перехода работоспособного объекта в неработоспособный может происходить или внезапно, или постепенно. Возникновение любого вида отказа обусловлено накоплением различных изменений внутри объекта. При этом отказы, обусловленные действиями человека, не рассматриваются.

Анализ работоспособности системы с точки зрения влияния отказов отдельных элементов удобно проводить, рассматривая отдельно две системы – простые и сложные. В простых системах отказ любого элемента приводит или к отказу всей системы или вообще не влияет на качество работы всей системы. В простых системах рассматриваются два возможных состояния: работоспособное состояние, оцениваемое некоторым показателем эффективности и состояние отказа с нулевым показателем эффективности. Поэтому в простых системах надежность мож-

но оценивать в виде безотказной работы или сохраняемости – это для невосстанавливаемых систем, а для восстанавливаемых систем – в виде ремонтопригодности и долговечности.

Сложными называются многофункциональные системы с избыточной структурой. Такие системы имеют возможность частичного или полного резервирования отдельных элементов и целых подсистем. Отказ отдельного элемента в такой системе приводит не к отказу всей системы, а только к ухудшению качества ее работы.

Надежность объекта является комплексным свойством, ее оценивают по четырем показателям – безотказности, долговечности, ремонтопригодности и сохраняемости или по сочетанию этих свойств (табл. 3.11).

Таблица 3.11

Показатели надежности систем

Показатель	Характеристика
Безотказность	Свойство объекта сохранять работоспособность непрерывно в течение некоторого времени или некоторой наработки. Это свойство особенно важно для машин, отказ в работе которых связан с опасностью для жизни людей. Безотказность свойственна объекту в любом из возможных режимов его существования, в том числе при хранении и транспортировке
Долговечность	Свойство объекта сохранять работоспособное состояние до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонта. В отличие от безотказности долговечность характеризуется продолжительностью работы объекта по суммарной наработке, прерываемой периодами для восстановления его работоспособности в плановых и неплановых ремонтах и при техническом обслуживании
Ремонтопригодность	Свойство объекта, заключающееся в его приспособленности к поддержанию и восстановлению работоспособного состояния путем проведения технического обслуживания и ремонта. Важность ремонтопригодности технических систем определяется огромными затратами на ремонт машин
Сохраняемость	Свойство объекта сохранять в заданных пределах значения параметров, характеризующих способность объекта выполнять требуемые функции в течение и после хранения и (или) транспортирования. Практическая роль этого свойства велика для деталей, узлов и механизмов, находящихся на хранении в комплекте запасных принадлежностей

Безотказность. Математически вероятность безотказной работы определяется следующей математической зависимостью:

$P(t) = P\{T \geq t\}$, $t > 0$, где $P(t)$ – вероятность безотказной работы.

Чем больше требуемое время безотказной наработки, тем меньше вероятность безотказной работы.

Долговечность – это свойство объекта сохранять работоспособное состояние до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонта.

Предельное состояние – это состояние, при котором дальнейшая эксплуатация или применение элементов по назначению недопустимо или нецелесообразно либо восстановление невозможно или нецелесообразно.

Критерием предельного состояния служат совокупность признаков предельного состояния объекта, которые устанавливаются в нормативно-технической и конструкторской документации.

Объект может перейти в предельное состояние, оставаясь работоспособным, если его дальнейшее применение по назначению не допустимо по требованиям безопасности, экономичности или эффективности.

Для ремонтируемых объектов выделяют три вида предельных состояний:

– средний ремонт;

– капитальный ремонт;

– окончательный вывод из эксплуатации.

В общем виде долговечность объектов измеряется техническим ресурсом объекта либо сроком службы и определяется не отказом объекта, а переходом в предельное состояние, что приводит к необходимости проведения ремонта.

Одним из центральных понятий в теории надежности является понятие наработки. Под наработкой понимается продолжительность или объем работы объекта. Наработка измеряется единицами времени или объемом выполненной работы.

Объект может работать непрерывно (режим работы, когда объект останавливается в случаях отказа или ремонта) или с перерывами (когда объект останавливается по причинам, которые не связаны с его техническим состоянием). Когда объект работает с перерывами, для него вводится понятие «суммарная наработка».

Для изделий или технических систем вводят понятия:

– наработка до отказа – это наработка объекта от начала его эксплуатации до первого отказа;

– наработка между отказами – это наработка объекта после восстановления его работоспособности (отказа) до возникновения следующего отказа;

– ресурс технический – это наработка объекта от начала его эксплуатации или после ремонта до перехода его в предельное состояние;

– срок службы – это календарная продолжительность от начала эксплуатации или после ремонта определенного вида до перехода в предельное состояние.

Показатели долговечности:

– средний ресурс;

– назначенный ресурс;

– средний срок службы;

– назначенный срок службы.

Ремонтопригодность – это свойство объекта, заключающееся в приспособленности к предупреждению и обнаружению причин отказов, повреждений и восстановлению работоспособного состояния путем проведения технического обслуживания и ремонта.

Свойство ремонтопригодности полностью определяется конструкцией объекта, т.е. свойства ремонтопригодности закладываются на этапах разработки, проектирования, изготовления и монтажа.

Кроме деления на ремонтопригодность, происходит дополнительное деление на восстанавливаемые и невосстанавливаемые объекты. В технике существуют другие понятия: ремонтируемый и неремонтируемый объект.

Как правило, ремонтируемые объекты являются восстанавливаемыми на протяжении всего срока службы. А неремонтируемые объекты, как правило, невосстанавливаемыми. В последнее время появились элементы сложных систем, являющиеся неремонтируемыми, но самовосстанавливающимися.

Показатели ремонтопригодности:

– вероятность восстановления работоспособности в заданное или за требуемое время;

– среднее время восстановления;

– интенсивность восстановления.

Сохраняемость – это свойство объекта сохранять показатели безотказности, долговечности, ремонтопригодности, как в течение, так и после хранения и транспортировки. Сохраняемость характеризуется способностью объекта противостоять отрицательному влиянию условий хранения и транспортировки на его безотказность и долговечность.

Срок сохраняемости – продолжительность хранения системы в определенных условиях, в течение которой сохраняются установочные показатели ее качества. Иногда сохраняемость характеризует продолжительность хранения, в течение которой техническая система сохраняет установленные показатели с заданной вероятностью гамма.

Основным показателем сохраняемости является средний срок сохраняемости.

Вероятностные характеристики отдельных свойств надежности являются независимыми. Например, объект может обладать высокими показателями безотказности, но быть плохоремонтируемым.

На практике желательно иметь объекты, обладающие высокими показателями и безотказности, и долговечности, и ремонтопригодности, но осуществить это очень трудно [3, 8, 9].

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Перечислите возможные источники информации для идентификации рисков процессов и систем?
2. Охарактеризуйте индивидуальные и групповые экспертные методы выявления рисков. В чем их преимущества и недостатки?
3. Дайте характеристику метода Дельфи.
4. Мозговой штурм: характеристика, достоинства, недостатки.
5. Дайте характеристику метода SWOT-анализа.
6. Дайте характеристику методов FMEA и HAZOP.
7. Перечислите основные характеристики и особенности, присущие моделям процессов и систем.
8. Что понимают под адекватностью модели? Как проверить модель на адекватность?
9. Функциональное моделирование: цели и возможности метода. Охарактеризуйте метод барьерных диаграмм.
10. Дайте характеристику метода Монте-Карло.
11. Построение моделей с помощью орграфов: характеристика и возможности метода.
12. Перечислите показатели надежности систем. Каким образом они рассчитываются?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Богоявленский С.Б. Управление риском в социально-экономических системах. – СПб.: Изд-во СПбГУЭФ, 2010. – 147 с.
2. Вайсман Я.И., Карманов В.В., Ерхова Н.Е. Экологический менеджмент на промышленных предприятиях: учеб. пособие / Перм. гос. техн. ун-т. – Пермь, 2006. – 127 с.
3. ГОСТ Р 51901–2002. Управление надежностью. Анализ риска технологических систем. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 2002. – 22 с.
4. Иванов А.А., Олейников С.Я., Бочаров С.А. Риск-менеджмент: учеб.-метод. комплекс. – М.: ЕАОИ, 2008. – 193 с.
5. Кукушкина С.Н. Метод Дельфи в форсайт-проектах // Форсайт. – 2007. – № 1 (1).
6. Макеева Д.Р. Оценка риска и страхование: курс лекций. – URL: http://uamconsult.com/book_425.html.
7. Маюнова Н.В. Основы управления проектами: учеб. курс (учеб.-метод. комплекс) / Моск. ин-т экономики, менеджмента и права. – М., 2010.
8. Муравьева Е.В.,Романовский В.Л. Прикладная техносферная рискология. Экологические аспекты. – Казань, 2007.
9. ГОСТ 27.310–95. Надежность в технике. Анализ видов, последствий и критичности отказов. Основные положения (МЭК 60812: 1985 Методы анализа надежности систем. Метод анализа вида и последствий отказов (FMEA): принят Межгосударственным Советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол № 7-95 от 26 апреля 1995 г.).
10. Кукушкина С.Н. Метод Дельфи в Форсайт-проектах // Форсайт. – 2007. – №1 (1).
11. Холина В.Н. Основы экономики природопользования: учебник для вузов. – СПб.: Питер, 2005. – 672 с.
12. Чепурных Н.В., Новоселов А.Л. Экономика и экология. Развитие, катастрофы. – М.: Наука, 1996.
13. Понятие адекватности модели и пути подтверждения адекватности. – URL: http://zxshader.narod2.ru/D7/V64/.

Глава 4. АНАЛИЗ И ОЦЕНКА РИСКОВ

4.1. Методы анализа и оценки риска

Существуют определенные требования к методу анализа риска. Он должен:

– быть научно обоснованным и соответствовать сложности и природе исследуемой системы;

– давать результаты в форме, обеспечивающей понимание природы риска и способов его контроля;

– быть типовым и обладать свойствами, обеспечивающими возможность прослеживаемости, повторяемости и контролируемости.

Должно быть представлено обоснование по выбору метода с точки зрения его уместности и пригодности.

Кроме того, на выбор метода анализа рисков влияют:

– стадия разработки системы; на ранней стадии развития системы могут применяться менее детализированные методы;

– задачи анализа; например, в том случае, если предпринимается сопоставительное исследование различных вариантов, может оказаться приемлемым использование довольно грубых моделей последствий для частей системы, не подверженных изменениям;

– типы анализируемой системы и рисков;

– уровень детализации потенциальных рисков; решение относительно глубины проведения анализа должно отражать первоначальное восприятие последствий (несмотря на то, что оно может измениться после получения предварительной оценки);

– требования к людским ресурсам, степени компетентности персонала и другим необходимым ресурсам;

– наличие и доступность информации и данных о системе;

– потребность в модификации/актуализации результатов анализа;

– любые правовые требования и требования контракта.

Далее приведены описания наиболее часто используемых методов анализа риска.

Метод построения деревьев событий

Метод построения деревьев событий – это графический способ прослеживания последовательности отдельных возможных инцидентов, например отказов или неисправностей каких-либо элементов тех-

нологического процесса или системы, с оценкой вероятности каждого из промежуточных событий и вычисления суммарной вероятности конечного события, приводящего к убыткам.

Дерево событий строится начиная с заданных исходных событий, называемых инцидентами. Затем прослеживаются возможные пути развития последствий этих событий по цепочке причинно-следственных связей в зависимости от отказа или срабатывания промежуточных звеньев системы.

На рис. 4.1 изображено дерево событий для количественного анализа различных сценариев аварий на установке переработки нефти.

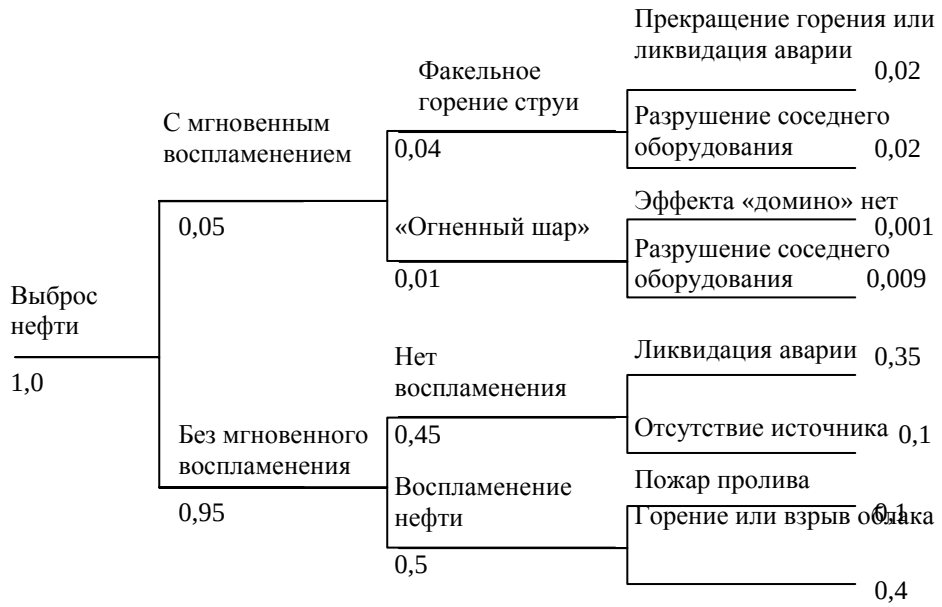


Рис. 4.1. Дерево событий для количественного анализа различных сценариев аварий на установке переработки нефти

Цифры рядом с наименованием события показывают условную вероятность возникновения этого события. При этом вероятность возникновения инициирующего события (выброс нефти из резервуара) принята равной 1. Значение частоты возникновения отдельного события или сценария пересчитывается путем умножения частоты возникновения инициирующего события на условную вероятность развития аварии по конкретному сценарию. Например, горение или взрыв облака произойдет со следующей вероятностью: $1 \cdot 0{,}95 \cdot 0{,}5 \cdot 0{,}4 = 0{,}19$.

Также можно рассмотреть пример построения дерева событий для случая развития аварии в виде пожара или взрыва на компрессорной станции магистрального газопровода. Исходным событием при этом является утечка газа вследствие нарушения уплотнений аппаратуры или разрыва трубопровода.

Предположим, что в данном случае функционирует простейшая схема предупреждения пожара, состоящая из четырех последовательных звеньев – систем: контроля утечки газа; автоматического прекращения подачи газа в поврежденный участок трубопровода; аварийной вентиляции; взрыво- и пожарозащиты (рис. 4.2).

a	b	c	d	e
Разрыв трубопровода	Система контроля утечки газа	Система автоматического прекращения подачи газа в поврежденный участок трубопровода	Система аврийной вентиляции	Системы и мероприятия пожаротушения

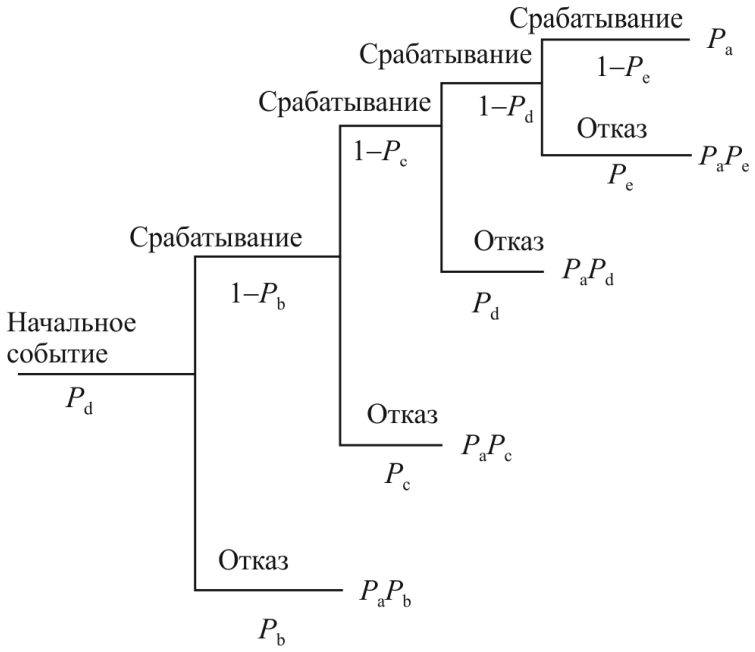


Рис. 4.2. Дерево событий для случая развития аварии в виде пожара или взрыва на компрессорной станции магистрального газопровода

Все элементы схемы развития аварии обозначены в верхней части рис. 4.2 в соответствующей последовательности. На каждом шаге развития событий рассматриваются две возможности: срабатывание системы (верхняя ветвь дерева) или отказ (нижняя ветвь). Предполагается, что каждое последующее звено срабатывает только при условии срабатывания предыдущего. Около каждой ветви указывается вероятность отказа (P) либо вероятность срабатывания ($1–P$). Для независимых событий вероятность реализации данной цепочки определяется произведением вероятностей каждого из событий цепочки. Полная вероятность событий указывается в правой части диаграммы. Поскольку вероятности отказов, как правило, очень малы, а вероятность срабатывания есть $1–P$, то для всех верхних ветвей в данном примере вероятность считается приблизительно равной 1.

Построение дерева событий позволяет последовательно проследить за результатами (последствиями) каждого возможного исходного события и вычислить максимальную вероятность конечного события от каждого из таких инцидентов.

Анализ риска может происходить и в обратную сторону – от известного последствия к возможным причинам. В этом случае мы получим одно главное событие у основания дерева и множество возможных причин (инцидентов) в его кроне. Такой метод называется деревом отказов [7, 8, 12].

Деревья отказов

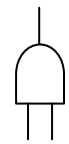
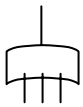
Данный метод представляет собой инверсию дерева событий. Это графическое представление всей цепочки событий, последствия которых могут привести к некоторому главному событию. Иначе говоря, определяются пути, по которым отдельные индивидуальные события могут в результате их комбинированного воздействия привести к потенциально опасным ситуациям.

Реализация метода построения дерева отказов начинается с установления головного нежелательного события, которое принимается за вершину дерева. Далее выявляются все первичные и вторичные события, которые могут вызвать головное событие. В качестве первичных и вторичных событий выбираются все события – как нормальные, характерные для обычной работы, так и отказы технических систем и ошибки человека. Констатируются любые события, возможные в системе, влияющие на возникновение головного события. Установленные

события соединяются друг с другом и с головным, посредством специальных логических символов «и», «или». Эти два логических символа являются основными при построении дерева отказов, хотя только этими символами не исчерпываются возможные случаи, возникающие в реальном объекте. Условные изображения логических символов представлены в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Условные изображения логических символов на деревьях отказов

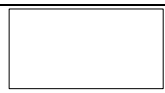
Логический символ	Название символа	Пояснение символа
	И	Символ совпадения. Сигнал на выходе (в верхней части) появляется только при обязательном появлении сигналов на входе (в нижней части). Выход только один, а входов может быть несколько.
	ИЛИ	Символ объединения (выборки). Сигнал на выходе появляется при возникновении любого из входных сигналов

При описании функционирования логических символов имеется в виду, что понятие сигнала на входе или выходе из символа подразумевает какое-то событие с определенной вероятностью реализации.

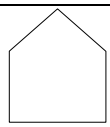
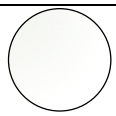
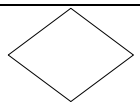
События, включенные в рассмотрение в дереве отказа, обозначаются различными символами (табл. 4.2).

Таблица 4.2

Логические символы «дерева отказов»

Символ	Описание
	Наиболее часто используемый символ, применяется для события, которое может иметь дальнейшее развитие. В некоторых случаях событие, отмеченное подобным символом, может служить головным для построения самостоятельного дерева отказов, которое, в свою очередь, будет частью исходного дерева. Например, при изучении возможного взрыва или пожара, в ряду прочих вторичных событий, может выявиться короткое замыкание в электросистеме. Для специалиста-электрика короткие замыкания могут служить головным событием для анализа работоспособности и отказов в системе электроснабжения

Окончание табл. 4.2

Символ	Описание
	Обозначение нормального события, которое должно произойти в системе, техпроцессе, действиях человека. Например, такими событиями могут быть включение станка, срабатывание клапана, работа вентилятора
	Основное событие, которое дальше не анализируется, т.к. о нем имеются достаточные данные, например, «станок работает». Событие, помещенное в круг, далее не анализируется
	Обозначение события, которое далее не анализируется из-за незначительности или его очевидности, но является анализируемым с помощью других методов. Например, человек закурил на рабочем месте или не надел защитные средства. Дальнейший анализ этих событий лежит в области профдисциплины, психологии, организации труда, системах наказаний и поощрений

Таким образом, используя логические символы и обозначение событий, начинают двигаться от вершины дерева, с головного события, устанавливая причинные взаимосвязи между различными событиями.

Рассмотрим для примера процесс построения дерева отказов для случая возможности взрыва и загорания в помещении с оборудованием, магистралями и трубопроводами с легко воспламеняемыми жидкостями (рис. 4.3).

Головным событием в этом случае будет событие E – загорание или взрыв в помещении. Реализация головного события возможна только при совпадении двух событий – образование горючих и взрывоопасных смесей критических концентраций и наличие источника воспламенения. Поэтому здесь использован логический символ «И».

Образование смесей критических концентраций возможно только при совпадении двух событий – утечка горючих веществ от оборудования и недостаточное их удаление из помещения. Появление каждого из этих событий в отдельности не приводит к достижению критических концентраций, а следовательно, и к головному событию. Действительно, даже при наличии утечек горючих веществ и образовании взрывоопасных смесей, при своевременном удалении их из помещения, критические концентрации смесей могут не достигать. Удаление может происходить за счет мощной системы вентиляции или за счет естественных процессов (сквозняки, инфильтрация и т.п.).

Причин, вызывающих появление источника воспламенения, может быть несколько и они связаны логическим элементом «ИЛИ». Приве-

денное дерево отказов является только небольшим фрагментом, поэтому все вторичные события заключены в прямоугольники и требуют дальнейшего анализа.

В принципе, каждое из этих событий может служить самостоятельной вершиной дерева отказов, для специалиста соответствующего профиля. Например, источники воспламенения, обусловленные электросистемой, могут иметь очень большое развитие. Это и система освещения, система питания оборудования. Причины могут быть разнообразные: короткие замыкания, искрения в контактах, перегрев токоведущих проводов и т.п. Среди причин, обусловливающих возникновение открытого огня в рабочей зоне, может быть одна, связанная с курением. В дереве отказов в сферу анализа попадают не только неполадки и отказы технических элементов, но и действия человека-оператора, а также возможные действия посторонних лиц.

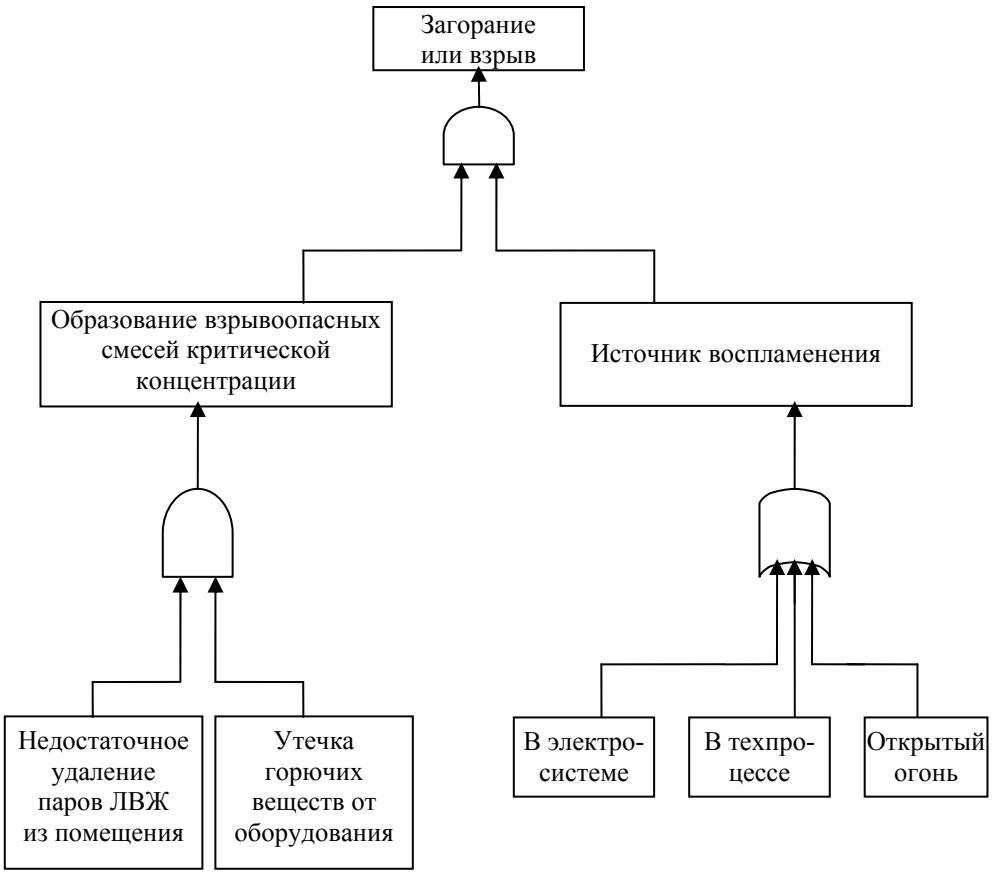


Рис. 4.3. Дерево отказов

Анализ с построением дерева отказов позволяет в графическом виде проследить иерархию возможных событий и последствий, приводящих к нежелательным событиям.

Метод построения дерева отказов позволяет проводить не только качественный, но и количественный анализ. Цель количественного анализа состоит в определении величины риска наступления нежелательного события, выбранного в качестве головного. Кроме того, количественная оценка величины риска головного события позволяет проводить анализ и оценивать эффективность различных мероприятий, направленных на уменьшение риска. Количественный анализ дерева отказов заключается в определении вероятности завершающего головного события, исходя из величин вероятностей совершения начальных исходных событий.

Количественную меру исходных событий выбирают из имеющейся статистики о надежности элементов, технических систем об отказах. Данные об ошибках и неправильных действиях человека-оператора устанавливают на основе анализа произошедших случаев и аварий.

Для статистически независимых событий, при логической схеме «ИЛИ», вероятность наступления завершающего выходного события в общем случае вычисляется из соотношения

$$P_0 = 1 - \prod_{i=1}^{n} (1 - P_i), \tag{4.1}$$

где P_0 – вероятность реализации выходного события; P_i – вероятность реализации i-го входного события; n – число входов в логический элемент.

Если имеется схема «ИЛИ» с двумя входами a и b, которые являются статистически независимыми, то соотношение принимает следующий вид:

$$P = P(a) + P(b) - P(a)P(b). \tag{4.2}$$

Если произведение очень мало и им можно пренебречь, то получится приближенное выражение

$$P = P(a) + P(b).$$

В случае схемы «ИЛИ» с n-входами можно использовать приближенное соотношение

$$P = P(a) + P(b) + P(c) + \dots P(n). \tag{4.3}$$

Это приближенное выражение дает хорошие результаты, если вероятности появления элементарных событий очень малы, и дает точный результат, если события являются несовместимыми.

Для логической схемы «И», для статистически независимых событий, при *n*-входных событиях, определяется по правилу умножения вероятностей:

$$P = \prod_{i=1}^{n} P_i. \qquad (4.4)$$

С помощью этих соотношений можно вычислить вероятность совершения головного события, находящегося в вершине дерева, основываясь на вероятностных характеристиках исходных событий.

Достоинства метода:

– четкая ориентация на отыскание отказов, выходов из строя, ошибок и неисправных действий человека, приводящих к головному событию;

– учет как отказов технических элементов, так и неправильных действий человека, т.е. учет надежности функционирования всей системы «человек – машина»;

– наглядность;

– возможность глубоко вникнуть в возможные причины, приводящие к головному событию;

– возможность проведения количественного анализа риска, что позволяет решать прямые и обратные задачи прогнозирования.

Основной *недостаток* метода заключается в том, что для больших многоуровневых систем получаются громоздкие деревья отказов, которые труднообозримы и сложны в понимании, так как логические связи в дереве отказов не всегда могут совпадать с реальными схемами протекающих процессов [5, 7].

Диаграмма «причин-последствий»

При анализе «причин-последствий» используют комбинацию двух методов – построение дерева событий и построение дерева отказов, причем для выявления причин используют дерево отказов, а для установления последствий применяют дерево событий. Построение комбинированной диаграммы проводят, рассматривая все явления и процессы в естественной хронологической последовательности их появления. Анализ начинается с выбора критического события. Критические события сами по себе не приводят к аварийной ситуации, но они могут на-

растать, приводя к конечному негативному событию. Наиболее широкий спектр типичных критических событий заключен в различных отклонениях, возмущениях, флуктуациях основных параметров процессов, протекающих в системе. Это могут быть изменения температуры, давления, концентрации, тока, напряжения, расхода и других величин за пределы номинальных граничных значений.

На рис. 4.4 показана диаграмма причин-последствий для условного процесса. Анализ по схеме построения дерева событий включает события 1, 2, 3, 4, взаимосвязанные по прямой логике в хронологической последовательности. В качестве инициирующего события для всей диаграммы выбрано критическое событие P_0, анализируемое с помощью дерева отказов, для которого исходными событиями являются события *E, G, H, K, M*. Аналогичным методом для события 2 критическим является событие P_1, для события 3 критическим будет событие P_2 и для события 4 – P_3.

В итоге получается четыре варианта реализации (1, 2, 3, 4) возможного протекания процессов, каждый из которых имеет свою меру величины риска.

Достоинствами метода «причины-последствия» является большая наглядность, подробность и глубина анализа, гибкость.

Недостатками являются соединенные недостатки дерева событий и дерева отказов, в том числе чрезмерная громоздкость [7].

Сценарный анализ

Сценарный анализ – это метод управления рисками хозяйствующего субъекта, основной принцип действия которого заключается в моделировании возможных ситуаций и последующей количественной оценке рисков на основе выводов, сделанных по результатам моделирования. Главной целью сценарного моделирования является выявление рисков и определение устойчивости организации к последствиям наступления рисков.

Сценарии позволяют анализировать и планировать нестандартные ситуации. Они позволяют понять, при каких условиях может возникнуть благоприятная или неблагоприятная ситуация. Сценарий помогает оценить, как можно и как нужно воздействовать на процессы, приводящие к приемлемым и неприемлемым для организации исходам. Сценарный анализ – систематический способ мониторинга макроэкономической, политической, социальной и технологической среды. Последние рассматриваются как внешние факторы, воздействующие на компанию. Сценарии могут стать основой стратегического планирования.

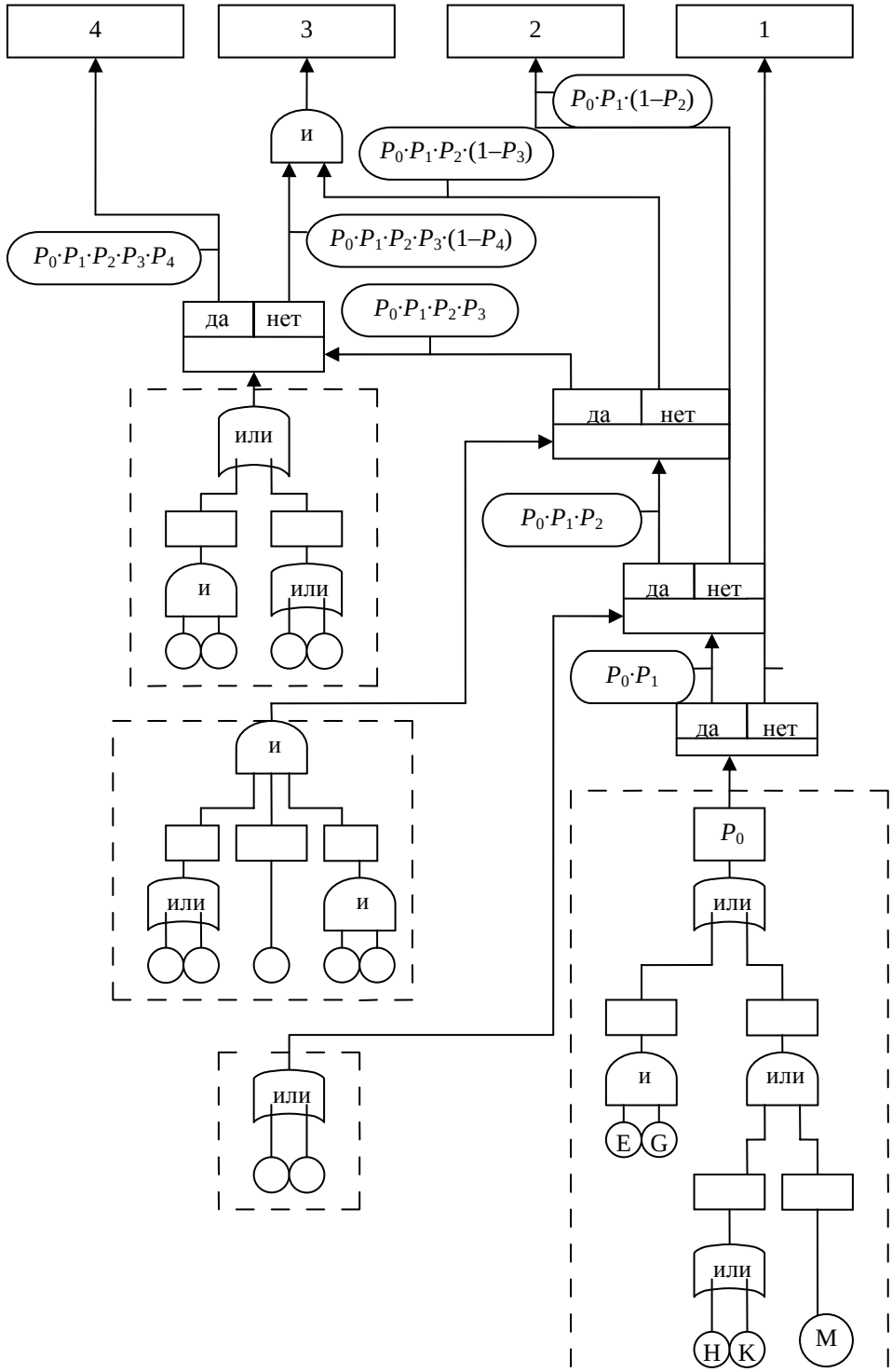


Рис. 4.4. Диаграмма «причин-последствий»

Большинство подходов к проведению сценарного анализа начинаются с анализа внешней среды организации, затем следует этап непосредственной разработки и формулирования сценариев.

1. Анализ внешней среды

Основной целью первого этапа сценарного анализа является определение наиболее значимых внешних факторов – «ключевых переменных», которые будут являться основой будущих сценариев. Наиболее эффективными методами выявления ключевых переменных могут быть динамический анализ PEST и отраслевой анализ.

Целью динамического анализа PEST является оценка воздействия наиболее значимых факторов окружения на деятельность организации и возможности изменения их влияния со временем. При этом следует учитывать факторы, являющиеся незначимыми сейчас, но способные в значительной мере повлиять на деятельность организации в рассматриваемой временной перспективе.

При проведении анализа PEST выделяют политические, экономические, социокультурные и технологические факторы воздействия. В последнее время в связи с лучшим пониманием проблемы загрязнения окружающей среды в факторы воздействия стали включать и экологический фактор.

2. Разработка сценариев

Этап включает:

– выбор изменяемых переменных (наиболее значимых факторов, которые будут являться основой сценариев);

– проектирование различных исходов сценариев (детальный анализ выявленных переменных и составление нескольких (не менее двух или трех) их возможных исходов);

– комбинирование ключевых переменных и написание сценариев (установление взаимозависимости между составленными исходами всех рассматриваемых переменных, а также написание самих сценариев).

Включение в сценарий различных исходов переменных, имеющих противоположную направленность и тем самым взаимопротиворечащих друг другу, не имеет смысла. Результатом является образование 7–9 логически сгруппированных исходов различных переменных.

Следующим шагом является объединение полученных 2–3 мини-сценариев.

3. Разработка стратегии в соответствии с составленными сценариями

Вклад сценарного планирования в дальнейшую разработку стратегии заключается в том, что сценарный метод позволяет разработать разумный набор стратегий, способствующий достижению лучшего результата деятельности организации.

Оптимальным считается нахождение и выбор такой поведенческой стратегии, последствия выполнения которой были бы благоприятны при любом рассматриваемом сценарии развития ситуации. Обычно каждому рассматриваемому сценарию соответствует единственная наиболее благоприятная стратегия. В данном случае необходимо выбрать такую стратегию, которая максимизировала бы выигрыш компании при любом варианте развития ситуации и обеспечивала бы минимальный уровень риска. В том случае, если вероятность реализации одного из предполагаемых сценариев намного выше вероятности реализации остальных, возможно выбрать стратегию, наиболее благоприятную для данного сценария [6].

Оценка величины вероятности

Наиболее распространенными методами оценки вероятности риска являются статистические, аналитические, метод экспертных оценок, метод аналогов. В табл. 4.3 кратко изложена суть применяемых методов, использующихся при оценке величины вероятностей и рисков.

Таблица 4.3

Методы для оценки величины вероятностей и рисков [13]

№ п/п	Методы оценки рисков	Суть метода
1	**Статистические методы**	Суть статистических методов оценки риска заключается в определении вероятности возникновения потерь на основе статистических данных предшествующего периода
1.1	Метод оценки вероятности исполнения	Позволяет дать упрощенную статистическую оценку вероятности исполнения какого-либо решения путем расчета доли выполненных и невыполненных решений в общей сумме принятых решений
1.2	Метод анализа вероятностных распределений потоков платежей	Позволяет при известном распределении вероятностей для каждого элемента потока платежей оценить возможные отклонения стоимостей потоков платежей от ожидаемых

Окончание табл. 4.4

№ п/п	Методы оценки рисков	Суть метода
1.3	Технология «Risk Metrics»	Разработана компанией «J.P. Morgan» для оценки риска рынка ценных бумаг. Методика подразумевает определение степени влияния риска на событие через вычисление «меры риска»
2	**Аналитические методы**	Позволяют определить вероятность возникновения потерь на основе математических моделей и используются в основном для анализа риска инвестиционных проектов
2.1	Анализ чувствительности	Сводится к исследованию зависимости некоторого результирующего показателя от вариации значений показателей, участвующих в его определении
2.2	Метод корректировки нормы дисконта с учетом риска	Основная идея заключается в корректировке некоторой базовой нормы дисконта, которая считается безрисковой или минимально приемлемой
2.3	Метод достоверных эквивалентов	С помощью данного метода осуществляется корректировка ожидаемых значений потока платежей путем введения специальных понижающих коэффициентов (a) с целью приведения ожидаемых поступлений к величинам платежей, получение которых практически не вызывает сомнений и значения которых могут быть достоверно определены
2.4	Метод сценариев	Позволяет совместить исследование чувствительности результирующего показателя с анализом вероятностных оценок его отклонений
3	**Метод экспертных оценок**	Представляет собой комплекс логических и математико-статистических методов и процедур по обработке результатов опроса группы экспертов, причем результаты опроса являются единственным источником информации
4	**Метод аналогов**	Используется в том случае, когда применение иных методов по каким-либо причинам неприемлемо. Метод использует базу данных аналогичных объектов для выявления общих зависимостей и переноса их на исследуемый объект

К вероятностям, используемым при определении количественной оценки риска, относятся вероятности событий и вероятности изменения состояния системы, в том числе вероятности безотказной работы оборудования.

При оценке вероятности существуют общие ошибки или смещения величин риска, которых следует избегать, учитывая следующие особенности:

1. Обычно люди недооценивают низкие вероятности и переоценивают слишком высокие вероятности. Зная об этих тенденциях, следует стремиться их компенсировать, применяя соответствующие гарантированные оценки.

2. Не всегда справедливо предположение о том, что все состояния и события независимы. Для событий, имеющих общую причину с высокой вероятностью появления, общая вероятность выше, чем произведение составляющих вероятностей.

3. Обычно люди оценивают вероятности сценариев, включающих опасность для имущества, и недооценивают или игнорируют распространенные сценарии, такие как возникновение пожара от электрозамыкания или нагревательного оборудования. Это является причиной использования усеченных данных об инцидентах возникновения пожара при оценке вероятностей возгорания.

4. Обычно инженеры используют данные о тщательном исследовании пожара в каждом инциденте. Это может привести к некоторым заблуждениям при оценке вероятностей, так как базы данных включают только необходимую часть информации о происшедших пожарах, в которой преобладают данные о пожарах с высоким уровнем потерь и со смертельным исходом. Таким образом, могут быть пропущены менее опасные пожары, где фактически происходит большинство смертельных случаев, а также наиболее крупные пожары, наносящие значительный ущерб имуществу.

5. Неблагоразумно считать нулевой вероятность сценариев, которые никогда не были документально описаны в доступных базах данных по ущербу от пожара. Если подобное упущение отражает недостаток данных, то хорошей практикой может быть использование более высокой вероятности для общего сценария, который включает более точные данные для оценки вероятности. Также возможно использование статистических методов оценки вероятности события, которое еще не произошло.

Величина риска чаще всего складывается из двух величин: вероятности и возможного ущерба.

В качестве количественной оценки вероятности на основе данных обычно используют частоту, которую вычисляют путем деления предполагаемого количества исследуемых событий на период или количество возможностей появления событий. Знаменатель может измеряться

в единицах времени (например, количество событий в год), количестве человек (например, количество пожаров на тысячу человек), единицах стоимости имущества (например, количество пожаров на общую стоимость всех зданий и их содержимого), количестве зданий (например, пожары на тысячу зданий данного типа) или других единицах (например, пожары на тысячу компаний, владеющих или использующих производственные здания одного типа).

Базы данных для числителей или знаменателей могут быть созданы на основе выборочных данных (допускающих статистическую выборку данных для оценки размера полной группы или генеральной совокупности, из которой отобрана выборка) или путем сбора сведений (обеспечивающего наиболее полные данные о группе).

Главное преимущество использования моделирования состоит в том, что, в отличие от других методов оценки, оно обычно не только обеспечивает получение количественных оценок, необходимых для анализа риска объекта защиты, но и помогает понять взаимосвязь изменений в объекте защиты с изменениями полученных значений вероятности. Эта взаимосвязь необходима в случае, когда при оценке пожарного риска первоначального состояния объекта защиты не получена приемлемая оценка соответствующего риска.

Использование модели не исключает использование экспериментальных или экспертных данных, но уменьшает потребность в данных по другим переменным.

Оценка вероятности может быть проведена на основе технического или научного анализа.

4.2. Оценка ущербов

4.2.1. Основные принципы системного анализа и моделирования процесса причинения ущерба

Существует два основных подхода к оценке ущерба в результате реализации риска природных и природно-техногенных процессов.

Первый подход основан на подсчете возможного ущерба от реализации конкретного опасного процесса. Здесь широко используются такие показатели, как общее число жертв, общее число пострадавших, общий объем экономических потерь и т.д.

При втором подходе риск оценивается по тем средствам, которые необходимо вложить в восстановление инфраструктуры территории, человеческого и экологического потенциала после реализации риска.

Если отсутствует точная информации о времени и возможности наступления аварийной ситуации, то необходимо принять решение о дальнейшем ведении деятельности либо о ее приостановке, изменении интенсивности или применении дополнительных мер защиты. Ситуация, связанная с вероятностным прогнозом, описывается с помощью так называемой «платежной матрицы» (табл. 4.5).

Таблица 4.5

Платежная матрица

Тип прогноза	Опасный процесс произошел	Опасного процесса не было
Утвердительный прогноз (в том, что опасный процесс произойдет)	Опасный процесс предсказывался и произошел, принятые меры уменьшили ущерб	Опасный процесс предсказывался, но не произошел, принятые меры были напрасными
Отрицательный прогноз (в том, что опасного процесса не будет)	Опасный процесс не предсказывался, но он произошел и нанес ущерб	Опасный процесс не предсказывался, что и оправдалось, защитные меры не принимались

Строки матрицы соответствуют альтернативным вариантам прогноза опасного события, а столбцы – двум вариантам событий: «опасное событие произошло», «опасного события не было». Как видно из матрицы, максимальный ущерб может быть нанесен при отрицательном прогнозе, который не оправдался, а опасное событие все же произошло.

Часто риск оценивается только с точки зрения экономики, а ущерб, наносимый, например, местному населению или окружающей среде, не учитывается. В 70-е годы прошлого столетия чисто экономический подход к оценке риска подвергся критике сначала со стороны экологов, а в последующие десятилетия и со стороны широкой общественности. В основе этой критики лежат убеждения в том, что экономические методы оценки риска не должны игнорировать так называемые внешние эффекты, связанные с разрушением природной обстановки, стимулированием негативных процессов в экосистемах и среде жизнедеятельности местного населения.

В целом структура возможного ущерба, отражающая риск, охватывает как социально-экономические, так и природные системы (рис. 4.5).

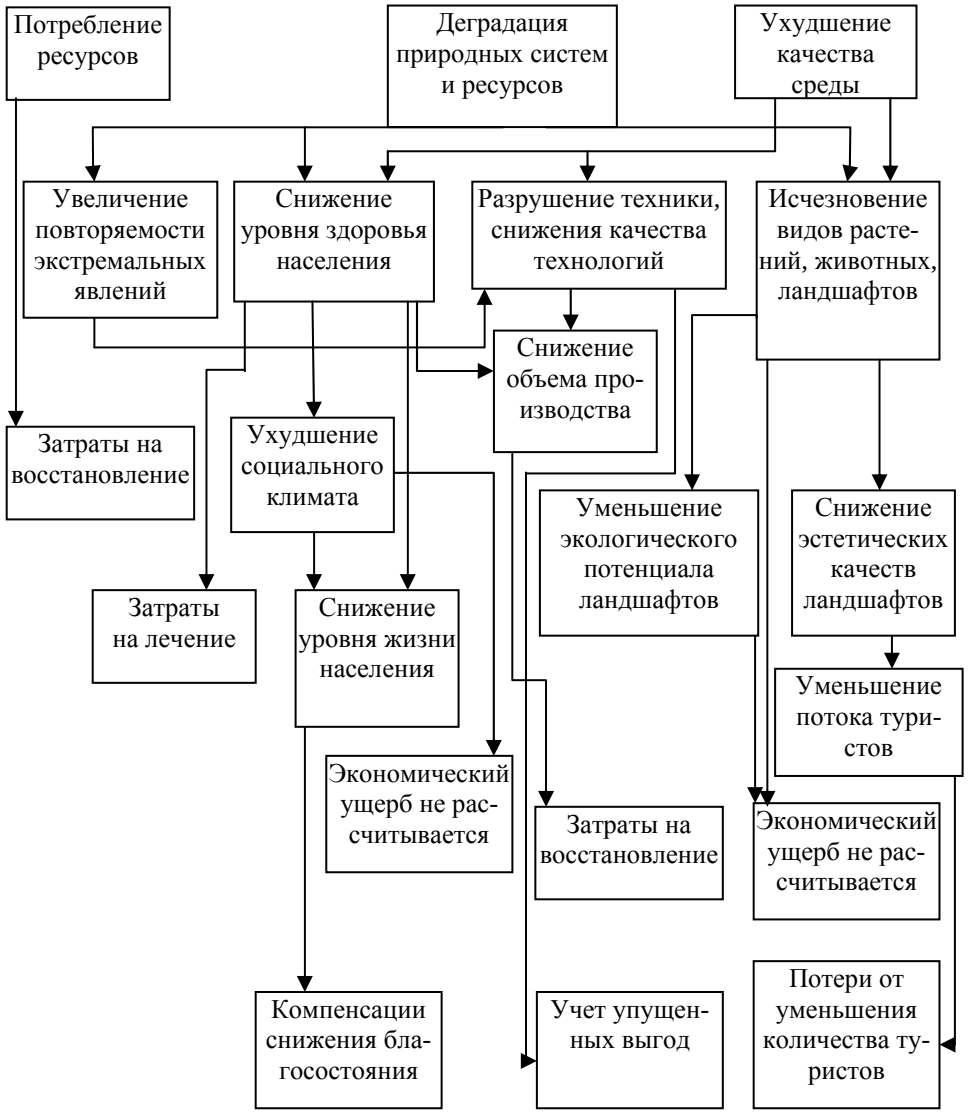


Рис. 4.5. Виды ущерба

На рис. 4.5 отражены возможные последствия и системные связи, которые сопровождают деградацию природных систем и ухудшение качества среды. При этом выделяются последствия, которые можно рассчитать в виде экономического ущерба или в виде затрат на восстановление, лечение и др.

Большинство техногенных происшествий обусловлено неконтролируемым высвобождением кинетической энергии движущихся машин и механизмов, а также потенциальной или химической энергией, нако-

пленной в сосудах высокого давления и топливовоздушных смесях, конденсированных взрывчатых веществах, ядовитых технических жидкостях и других вредных веществах.

К основным поражающим факторам техногенного характера обычно относят:

а) термический (тепловое излучение, «удар» пламенем или криогенным веществом);

б) дробящее, метательное или осколочное воздействие движущихся тел, включая непосредственные продукты взрыва;

в) агрессивные или токсичные свойства вредных или аварийно опасных химических веществ.

Процесс причинения техногенного ущерба можно разделить на четыре стадии (табл. 4.6).

Таблица 4.6

Процесс причинения техногенного ущерба

№ п/п	Стадия	Характеристика	Цель системного анализа и моделирования данной стадии
1	Высвобождение (расконсервация) накопленной в человекомашинной системе энергии или запасов вредного вещества	Высвобождение твердого тела или вещества (газообразного, жидкого, газокапельного или порошкообразного), которое может быть инертным и неинертным или меняющим и не меняющим свое агрегатное состояние после высвобождения, а также энергия (в форме движущихся тел или потока невидимых частиц-волн) из генератора (компрессора, насоса, источника энергии) или аккумулятора (емкости) – через образовавшуюся в них трещину либо отверстие; практически мгновенно (залповый выброс), непрерывно – с постоянным или переменным расходом и эпизодически – регулярно или случайным образом	Прогнозирование параметров: количество внезапно или постепенно высвободившегося вредного вещества, интенсивность и продолжительность его истечения, а также плотность потока тел либо частиц и напряженность электромагнитных полей или ионизирующих излучений

Окончание табл. 4.6

№ п/п	Стадия	Характеристика	Цель системного анализа и моделирования данной стадии
2	Неконтролируемое распространение (трансляция) потоков в процессе истечения вещества и энергии в новую для них среду и перемещения в ней	Особенности протекания второго этапа обусловлены спецификой пространства, заполняемого веществом или находящегося между источником энергии и подверженным ее воздействию объектом (атмосфера, водоем, почва и др.). С учетом данного обстоятельства возможны различные сочетания существенных для энерго-, массо- и потокообразования факторов, приводящих к различным сценариям	Построение полей пространственно-временного распределения плотности потоков или концентрации вещества
3	Физико-химическое их превращение (трансформация) с дополнительным энерговыделением и переходом в новое агрегатное или фазовое состояние	Фазовые переходы типа «кипение – испарение», химические превращения в форме горения или взрыва, сопровождающиеся выделением большого количества энергии	Прогнозирование характера трансформации вредных веществ, рассеянных в результате аварии, а также поражающих факторов, обусловленных последующим превращением в новой для них среде
4	Разрушительное воздействие (адсорбция) первичных потоков и/или наведенных ими поражающих факторов на не защищенные от них объекты	Оценка разрушительного воздействия с учетом исходных данных: а) поражающих факторов (перепад давления во фронте воздушной ударной волны, концентрация токсичных веществ, интенсивность тепловых и ионизирующих излучений, плотность потока и кинетическая энергия движущихся осколков); б) потенциальных жертв (стойкость и живучесть конкретных объектов с учетом частоты или длительности вредного воздействия на них и качества аварийно-спасательных работ)	Изучение поражающего воздействия первичных и вторичных продуктов аварийного выброса на не защищенные от них людские, материальные и природные ресурсы

Ущерб от воздействия целесообразно делить на два вида: *прямой*, или непосредственный, ущерб, обусловленный утратой целостности или полезных свойств конкретного объекта, и *косвенный*, вызванный разрушением связей между ним и другими объектами. Более детальное представление техногенного ущерба показано в табл. 4.7.

Таблица 4.7

Формы и особенности проявления ущерба

Ресурсы и объекты причинения ущерба	Форма причинения ущерба в зависимости от интенсивности вредного воздействия и отдаленности его проявления			
	большая	*немедленная*	*малая*	*впоследствии*
Материальные: производственные, бытовые и культурные здания, помещения и оборудование, готовая продукция.	Уничтожение в результате катастрофы либо аварии	Вывод из строя по причине отказов	Снижение эффективности из-за нерасчетных режимов работы	Повышенный износ либо интенсивное старение
Людские: непосредственно работающие и обслуживающие их персонал, проживающие вблизи люди.	Гибель и увечья по причине несчастных случаев	Снижение трудоспособности из-за травмирования	Ухудшение здоровья в результате профзаболевания	Преждевременная смертность и плохая наследственность
Природные: фауна и флора, другие органические энергоресурсы и минеральные руды	Вымирание биоособей и уничтожение ресурсов из-за аварий	Снижение биоразнообразия и жизнестойкости видов	Нарушение естественных биогеохимических циклов вещества	Мутагенные изменения и/или исчерпание запасов сырья

Несмотря на определенную условность, приведенная в табл. 4.6 классификация помогает убедиться в многогранности проявления техногенного ущерба и в его зависимости от большого числа перечисленных выше факторов. Все это свидетельствует о необходимости привлечения к прогнозированию рассматриваемого здесь ущерба самых разнообразных моделей и методов.

В общем случае представляется логичным рассмотрение ущерба не только от аварийных, но и систематических вредных выбросов. При этом следует также исходить из необходимости прогнозирования как конкрет-

ных форм его причинения людских, материальных и природных ресурсов, так и всевозможных сочетаний подобного разрушительного воздействия этих выбросов. Все это указывает на сложность и трудоемкость одновременного моделирования всех возможных последствий вредных выбросов и априорной оценки наблюдаемого при этом эффекта.

В качестве одного из способов преодоления связанных с этим трудностей часто используется введение понятия *«средний ущерб»* от одного вредного выброса конкретного типа, а также оперирование вероятностью появления хотя бы одного (любого) из них. С учетом подобных допущений величина среднего социально-экономического ущерба людских, материальным и природным ресурсам за некоторый период времени может быть рассчитана по формуле

$$M_x[Y] = \sum_{k=1}^{m} Q_{kc} Y_{kc} \sum_{l=1}^{n} Q_{lH} Y_{lH},$$

где k = 1:.. m – число возможных типов происшествия (катастрофа, авария, несчастный случай) и/или форм причинения ущерба конкретным ресурсам; Q_{kc}, Y_{kc} – вероятности случайного возникновения происшествия данного типа (причинения конкретного ущерба) за время и размеры обусловленного этим среднего ущерба; l = 1:. n – число видов непрерывных или систематических вредных выбросов: энергетические (дым, шлаки и.т.д); Q_{lH}, Y_{lH} – вероятности появления за время каждого типа этих выбросов и размеры обусловленного ими среднего ущерба.

Другой способ упрощенного прогноза последствий разрушительного воздействия аварийно-опасных веществ связан с *определением зон поражения*, под которыми понимаются объемы пространства или площади поверхности, в переделах которых располагаются не защищенные от этих факторов людские, материальные и природные ресурсы. Это указывает на возможность априорной оценки среднего ущерба соответствующим объектом с помощью следующей формулы:

$$M_x[Y] = \sum_{k=1}^{3} \left(Q_{kq} \Pi_{kq} F_k S_k \right) + \sum_{k=1}^{3} \left(\Pi_{kd} F_k S_k \right),$$

где Q_{kq} – вероятность причинения людским (k = 1), материальным (k = 2) и природным (k = 3) ресурсам ущерба заданной степени тяжести за время τ; Π_{kq}, Π_{kd} – соответственно площади зон вероятности и дос-

товерного подтверждения этих ресурсов поражающими факторами вредных выбросов; F_k, S_k – средние плотность и стоимость единицы каждого ресурса в зонах вероятного и достоверного поражения.

В свою очередь для априорной оценки конкретных последствий разрушительного воздействия рассматриваемых факторов удобно пользоваться зависимостями между вероятностями Q_{kc}, Q_{kl}, Q_{kq} вывода из строя учитываемых здесь ресурсов и полученной ими мощностью дозы вредных факторов *DP*. Графики наиболее типичных таких зависимостей *R*(*DP*), иногда называемых функциями «доза-эффект» (где под *R* подразумевается риск, измеряемый одной из перечисленных вероятностей причинения конкретного ущерба), изображены на рис. 4.6.

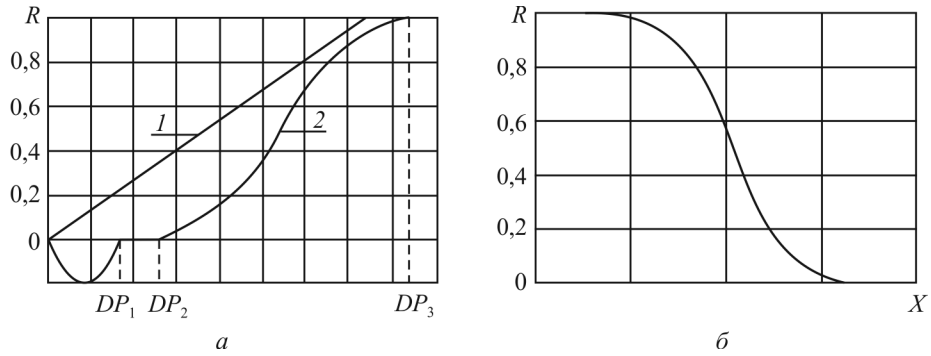


Рис. 4.6. Графики зависимости законов поражения

Как видно из рис. 4.6, функции «доза-эффект» могут иметь как сравнительно простой (прямая *1*), так и более сложный (кривая *2*) характер. При этом с помощью кривой *2* можно выделить четыре различных эффекта воздействия конкретного фактора:

1) при значениях дозы, принадлежащих отрезку [0: DP_1 имеет место так называемый гормезис (благотворное влияние малых доз вредного фактора на рассматриваемый объект);

2) диапазон $DP_1 \ldots DP_2$ соответствуют области безразличия или его нейтральной реакции;

3) при значения поглощенной дозы $DP_2 \ldots DP_3$ наблюдается нелинейное, монотонное возрастание разрушительного эффекта;

4) превышение же дозой величины DP_3 приводит уже к гибели всех объектов, подвергающих столь интенсивному воздействию вредных факторов.

На рис. 4.6, *б* показано зеркальное отображение отрезка кривой *2*, соответствующее диапазону $DP_1 \ldots DP_2$ изменения его аргумента. Этот график является уже зависимостью между риском (вероятностью) причинения конкретного ущерба R и удаленностью поражаемых ресурсов от источника разрушительного выброса энергии или вредного вещества X. Например, для взрыва облака углеводородного газа массой 32 т эта зависимость имеет место на интервале между радиусом смертельного поражения людей (<140 м) и радиусом их безопасного удаления (>250 м).

Среди способов определения рассматриваемых зависимостей и входящих в них параметров можно выделить и экспериментальные, и теоретические. Первые базируются на статистической обработке эмпирических данных, накопленных путем изучения последствий реальных происшествий в техносфере либо результатов опыта над животными [7]. Вторые же связаны с моделированием потенциальной жертвы как реципиента (адсорбера, ингалятора) вредных техногенных факторов. Например, при оценке последствий воздействия на человека электротока его моделью может служить сосуд, образованный плохо проводящим ток кожным покровом тела и наполненный почти не имеющим сопротивления ему электролитом (внутренними тканями). Если же моделируются последствия токсического воздействия на живые организмы, то их внутренние органы могут быть представлены в виде совокупности камер, которые постепенно впитывают в себе вредное вещество и разрушаются по этой причине.

Учитывая характеристики процесса и способы прогнозирования ущерба, отметим, что методика расчета ущерба должна основываться на закономерностях появления того ущерба, который обусловлен случайными и непрерывными выбросами энергии и вредного вещества. При этом его величину следует связывать с объемами и токсичностью таких выбросов, а также с количеством и степенью уязвимости ресурсов, подверженных их вредному воздействию.

Следовательно, можно утверждать о целесообразности включения в методику следующих основных шагов:

а) идентификации источников энергии и запасов вредных веществ, способных к нежелательному высвобождению;

б) прогнозирование предпосылок и сценариев таких выбросов;

в) оценки частоты и объемов неконтролируемых утечек вредного вещества и энергии;

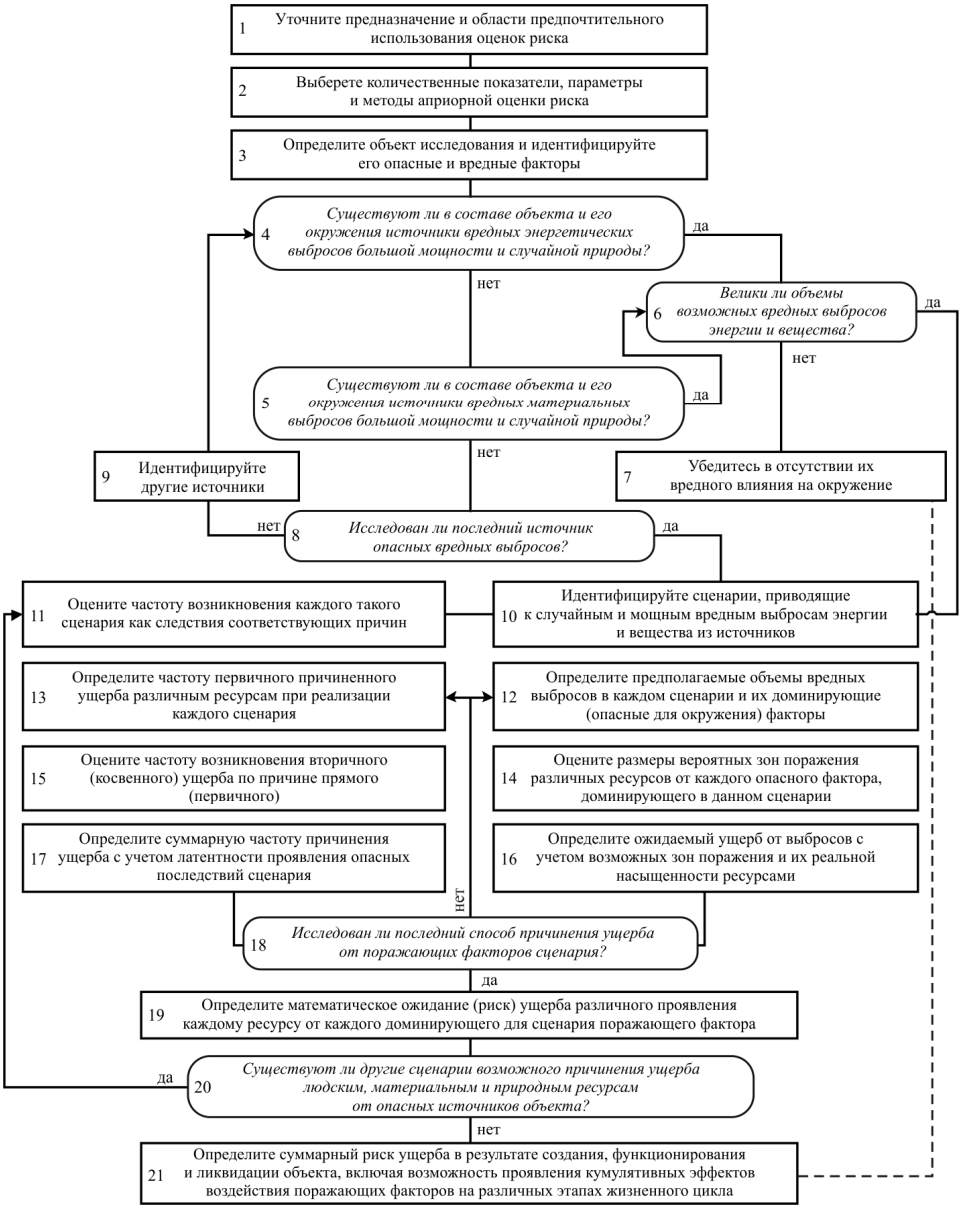


Рис. 4.7. Логика и последовательность прогнозирования риска

г) определение размеров зон их разрушительного действия и насыщенности эти зон людскими, материальными и природными ресурсами;

д) сопоставления сопутствующих вредным выбросам поражающих факторов со стойкостью указанных ресурсов;

е) прогноза характера разрушительных для них эффектов;

ж) оценка связанного с этим прямого и косвенного ущерба.

Общая последовательность процесса формализации и предварительной количественной оценки техногенного риска, учитывающая предложенные выше шаги, методы и показатели, представлена на рис. 7. Данная блок-схема представляет собой алгоритмическую модель итерационной процедуры количественной оценки частоты и тяжести тех вредных последствий, которые сопровождаются возможными в техногенных системах вредными выбросами вещества и энергии [9].

4.2.2. Оценка величины ущерба. Классификация методов оценки

Если итогом выполнения всех рассмотренных этапов анализа риска являются качественное описание сценариев развития неблагоприятных ситуаций и оценка вероятности их возникновения, то следующим этапом должна стать оценка размеров возможного ущерба.

Понятие ущерба есть экономическая количественная величина, которая должна представляться в стоимостном выражении. Иными словами, *ущерб* – это оцененные последствия.

Ущерб имуществу изначально выражается в натуральном виде (так называемый «физический ущерб»), т.е. в форме утраты или ухудшения свойств объектов. Далее при помощи определенной методики характеристики ущерба могут быть переведены в денежную форму («денежный ущерб»).

Денежная форма выражения ущерба называется убытками. В финансовой сфере неблагоприятное событие, как правило, уже выражено в количественной форме (например, «получение прибыли ниже запланированной»), и весь процесс оценки ущерба отталкивается от этого события. Ущерб жизни и здоровью граждан также может быть определен в натуральном или денежном виде. Однако вопрос о том, как адекватно оценить, например, стоимость травмы или гибели человека, не имеет в настоящее время однозначного ответа, и на этот счет существуют различные методики, результаты которых могут различаться в сотни раз. Методика оценка ущерба от различных рисков в наиболее полном виде должна включать в себя учет как прямых, так и косвенных убытков. Прямые убытки – это непосредственный ущерб здоровью, имуществу или имущественным интересам. Косвенные убытки возникают как следствие невозможности какое-либо время осуществлять нормальную деятельность предприятия. К их числу относятся:

– упущенная выгода;

– убытки в виде претензий и исков вследствие невыполнения обязательств перед контрагентами;

– потеря имиджа организации;

– расходы на юридическое урегулирование дел и т.д.

Как показывает практика, косвенные убытки часто во много раз превышают размер прямых, что в графическом виде представлено на рис. 4.8.



Рис. 4.8. Соотношение прямых и косвенных убытков при авариях в нефтегазохимическом комплексе зарубежных стран

Последствия большинства неблагоприятных событий не ограничиваются каким-либо одним видом ущерба. Первоначальная причина влечет за собой последовательность событий, развивающихся по цепочке согласно «принципу домино» [16].

Так, подземный толчок может вызвать разрушение системы газоснабжения в здании, что, в свою очередь, вызовет утечку газа, воспламенение и взрыв. В качестве другого примера рассмотрим случай аварии на предприятии, в результате которой может пострадать его имущество, персонал, а также окружающее население. Произойдет загрязнение окружающей среды, ухудшение качества пахотных земель, возгорание лесов. В результате прерывания процесса производства предприятие понесет убытки, связанные с недопоставкой продукции. Потребуются средства на восстановление поврежденных зданий и оборудования. Не исключено, что в результате ремонтных работ будет нанесен дополнительный экологический вред. Кроме того, если потребите-

ли продукции предъявят претензии по поводу невыполнения обязательств по поставкам, то предприятие понесет судебные издержки и, возможно, будет вынуждено уплатить штраф.

Для расчета величины ущерба его подразделяют на следующие основные виды:

1. ***Ущерб имуществу предприятия*** (основным и оборотным фондам). Общая сумма убытков в данной группе может быть рассчитана как полная восстановительная стоимость оборудования и сооружений, товаров и запасов на складах, включая затраты на строительные работы, монтаж и наладку оборудования.

2. ***Убытки, связанные с потерей прибыли в результате снижения или остановки производства*** (упущенная выгода). Из-за наступления неблагоприятных событий может быть прервана нормальная производственная деятельность, и предприятие недополучит запланированную прибыль.

3. ***Ущерб жизни и здоровью персонала***. Необходимость компенсировать его возникает, если по вине предприятия в результате аварии или несчастного случая пострадали его работники. В состав убытков включаются: оплата расходов на лечение травмированных работников, оплата санаторно-курортного лечения, выплаты по нетрудоспособности и инвалидности, компенсации родственникам в случае смерти, компенсации за вынужденные прогулы по болезни и другие виды выплат.

4. ***Нанесение ущерба окружающей среде***. Данный вид ущерба связан с наступлением гражданской ответственности предприятия перед государством и населением, проживающим на загрязненной территории. В состав убытков входят выплаченные компенсации за ухудшение качества жизни на загрязненных территориях (воздуха, воды, продуктов питания), долговременные последствия проявления загрязнения окружающей среды, ухудшение качества и выбытие из оборота природных ресурсов (пахотных земель, водоемов, лесов, флоры и фауны).

5. ***Нанесение прямого ущерба третьим лицам***. Это означает, что в результате деятельности предприятия был нанесен ущерб гражданам и организациям, не связанным с предприятием хозяйственными отношениями. Например, в результате аварии может быть нанесен ущерб жизни, здоровью и имуществу населения, а также имуществу организаций, размещенных на территории, окружающей место аварии или другого инцидента. Общий размер убытков формируется из выплаченных штрафов и компенсаций по искам государственных органов и пострадавших лиц.

6. ***Убытки, связанные с недопоставкой продукции или услуг потребителям***. К ним относятся штрафы за невыполнение обязательств по поставкам продукции или услуг, судебные издержки, компенсации за вынужденный простой предприятий – потребителей продукции.

Первые две группы рассмотренных ущербов связаны с имущественными рисками и непосредственно отражаются на имущественном положении предприятия.

Ущерб, нанесенный персоналу предприятия в результате наступления чрезвычайных событий, обычно связывается с так называемыми коллективными рисками. Такого рода убытки покрываются в рамках либо административной ответственности предприятия, либо коллективного личного страхования работников.

Три последние группы убытков возникают как следствие наступившей в силу закона гражданской ответственности предприятия перед третьими лицами. Их объем определяется в судебном порядке на основе рассмотрения претензий и исков пострадавших лиц к виновнику происшествия. События, приводящие к нанесению ущерба окружающей среде, и убытки, вытекающие из этого, носят обобщенное название «экологического риск».

4.2.3. Методы оценки ущерба

Будем различать методы оценки ущерба от гипотетической и реальной аварии.

Если рассматривается гипотетическая авария, то об этих видах ущерба говорят как о предполагаемых.

Для различных сценариев развития чрезвычайной ситуации расчетным методом получаются различные значения ущерба. В силу влияния на размер ущерба большого числа случайных факторов в задачах прогноза следует рассматривать случайную величину ущерба и ее определение проводить стандартными методами математической статистики.

Если речь идет о мерах защиты и оценке эффективности затрат на защиту, то все виды ущерба называются *предотвращенными*. Математически предотвращенный ущерб определяется соотношением ущерба до и после принятия мер защиты.

В качестве примера можно рассмотреть предотвращенный экологический ущерб, который рассчитывается как произведение удельного ущерба, наносимого конкретным веществом, на изменение массы его выброса в начале и конце расчетного периода.

Другими словами, для оценки величины экологического ущерба, предотвращенного в результате снижения загрязнения окружающей природной среды (выбросы в атмосферу, сбросы в водные объекты, размещение отходов и т.д.), исходят из разности платежа за загрязнение (без учета проведения мероприятия по его снижению) и величины платежа после проведения намечаемых мероприятий по его снижению.

Общая схема расчета ущерба при возникновении чрезвычайной ситуации приведена на рис. 4.9. В соответствии с существующей классификацией возникающих ущербов приведена юридическая и нормативно-техническая документация по оценке ущерба.



Рис. 4.9. Нормативная основа расчета ущербов различного вида

При рассмотрении последствий аварии различают прямой, косвенный, полный и общий ущерб. В первом приближении ущерб от стихийного бедствия или аварии равен затратам на восстановление положения, существовавшего до их наступления.

Под *прямым ущербом* в результате аварии понимаются потери и убытки всех представляющих интерес для жизнедеятельности человека объектов, которые попали в зону действия поражающих и вредных факторов опасного явления. Они складываются из ущерба здоровью людей, невозвратных потерь основных фондов, оцененных природных ресурсов в сфере интересов человека, и убытков, вызванных этими потерями, т.е. недобора предприятиями прибыли, государством – различных налогов и страховых выплат и пр.

Как прямой ущерб рассчитываются:

– единовременные затраты, направленные на проведение спасательных работ;

– затраты на эвакуацию, временное размещение, переселение людей из зоны бедствия, оказание им срочной медицинской помощи;

– единовременные выплаты пострадавшим и их семьям;

– стоимость разрушенных или нарушенных природных ресурсов;

– остаточная стоимость всего движимого и недвижимого имущества (жилищного фонда, коммунально-бытовой инфраструктуры, коммуникаций, товаров и нереализованной продукции, основных и оборотных фондов предприятий всех форм собственности).

Составляющие прямого экономического ущерба, как правило, поддаются документальному подтверждению на уровне «первичного звена» (организации, предприятия, муниципального образования), основанному на данных бухгалтерского учета, актов списания имущества, иных документов, имеющих достаточно высокую степень достоверности и поддающихся проверке. Поэтому можно заключить, что прямой экономический ущерб – это в основном документально подтверждаемый экономический ущерб.

Косвенный ущерб от стихийного бедствия или аварии – это потери, убытки и дополнительные затраты, которые понесут объекты, не попавшие в зону действия негативных факторов опасного явления и вызванные нарушениями и изменениями в сложившейся структуре хозяйственных связей, инфраструктуре, а также потери (дополнительные затраты), вызванные необходимостью проведения мероприятий по ликвидации последствий аварии.

К косвенному экономическому убытку от какого-то действия относятся вынужденные затраты, потери, убытки, обусловленные вторичными эффектами (действиями или бездействиями, порожденными первичным действием) природного, техногенного или террористического характера. Косвенный ущерб, в отличие от прямого, может проявляться через длительный отрезок времени; он не имеет четко выраженной территориальной принадлежности и носит, по большей части, так называемый «каскадный эффект», т.е. вторичные действия (бездействия) порождают следующую серию действий (бездействий) и, соответственно, косвенных ущербов.

Проблема состоит в том, что в результате ЧС может быть разрушен производственный объект, потери продукции которого являются основой для развития каскада косвенных потерь. Этот каскад образуется в связи со сложным характером межотраслевых потоков промежуточной продукции в экономике, направленных на выпуск конечной продукции. Существует процесс последовательного наслоения косвенных

потерь, имеющий вид «ветвящегося дерева», количество циклов которого ограничено 6–10 циклами [11], так как анализ последовательности взаимосвязанных событий при возникновении ЧС показывает, что по мере продвижения по их цепочке, во-первых, ослабевает влияние исходного события и, во-вторых, возрастают трудности оценки косвенного ущерба. Исходя из этих соображений в качестве оценки косвенного ущерба часто используется экспертная оценка в долях от прямого ущерба без детализации и анализа отдельных составляющих.

Главными составляющими косвенного экономического ущерба являются:

- косвенный ущерб для самого юридического и физического лица;
- упущенная им выгода в связи с прекращением или приостановкой деятельности;
- утрата нематериальных активов, не отраженных в бухгалтерской документации, утрата технической, экономической, научной документации, программно-математического обеспечения ЭВМ и т.д.;
- категория лица, претендующего на возмещение ущерба;
- участие этого лица в формировании фонда возмещения;
- реальная экономическая ситуация (наличие средств в фонде возмещения);
- потеря товарного вида;
- моральный ущерб;
- экономический ущерб, наносимый «третьим лицам»;
- затраты, связанные с предупреждением и ликвидацией ЧС.

Косвенный экономический ущерб может быть оценен на основе данных физического и прямого экономического ущерба. Однако он, как правило, не поддается (в отличие от прямого экономического ущерба) прямому расчету на основе документальных данных.

Главной составляющей косвенного ущерба для самого юридического и физического лица является упущенная непосредственно им выгода в связи с прекращением или приостановкой деятельности вследствие ЧС техногенного, природного характера или террористической деятельности.

При этом:

– юридическое лицо – предприятие – лишается прибыли и возможности покрытия ранее сделанных затрат, кроме того, несет потери, связанные с необходимостью ликвидации последствий ЧС на самом предприятии;

– физическое лицо лишается источников доходов в результате полной или частичной потери трудоспособности или вынужденного прекращения трудовой (оплачиваемой) деятельности в связи с необходимостью ликвидации последствий ЧС.

Определение таких составляющих косвенного ущерба, как утрата нематериальных активов, утрата технической, экономической, научной документации, программно-математического обеспечения ЭВМ, потеря товарного вида продукции, моральный ущерб и т.д., возможно лишь на основе весьма грубых и произвольных оценок.

Полный ущерб является суммой прямого и косвенного ущербов. Полный ущерб определяется на конкретный момент времени и является промежуточным по сравнению с *общим ущербом*, который определится количественно в отдаленной перспективе.

Необходимость рассмотрения распределенных во времени или отдаленных проявлений ущерба особенно важна для аварий, связанных с воздействием на компоненты окружающей среды. Сложность расчета ущерба требует учета специфики решаемых с его помощью задач. Наиболее часто решаются две задачи обоснования:

- предпринимаемых мер защиты;
- размеров возмещаемого ущерба.

Средний ущерб от ЧС можно установить по статистическим данным Ежегодного государственного доклада о состоянии защиты населения и территорий РФ от ЧС природного и техногенного характера (М.: МЧС России, 1996–2005 гг.). Например, средний ущерб от одной ЧС техногенного характера составил в 2000 году 27,8 млн рублей. Для редких событий средний ущерб можно оценить по расчетным данным для различных сценариев инициирования и развития ЧС и последующего усреднения с учетом весов сценариев.

Подробно методика расчета ущерба приведена в единой межведомственной методике оценки ущерба от чрезвычайных ситуаций техногенного, природного и террористического характера, разработанной ФГУ ВНИИ ГОЧС в 2004 году [1, 2, 4, 5].

4.2.4. Модели оценки ущерба

Расчет рассеивания вредных веществ

Величину ущерба, наносимого химическими или радиоактивными веществами нельзя оценить, не зная полей их концентрации.

Поэтому одним из способов оценки ущерба является построение моделей прогнозирования зон неуправляемого распространения пото-

ков энергии и вредных веществ, прогнозирования концентрации вредных веществ в техносфере.

Подобные модели применяются также при моделировании водных экосистем, распространении загрязнителей воздушной среды. Это модели, математическим аппаратом построения которых являются уравнения диффузии. Применение этих моделей ограничено, во-первых, необходимостью при их построении делать ряд допущений, в общем случае неверных в реальных ситуациях (например, допущение об отсутствии влияния примесей на скорость течения воды, хотя в реальных условиях в реках, озерах движение воды сплошь и рядом вызвано именно различиями в мутности). Во-вторых, существуют и чисто математические трудности решения подобных систем уравнений.

Также сложность заблаговременного и достоверного определения таких функций предопределена следующими группами факторов:

а) источник – его геометрия, расход, термодинамические параметры;

б) среда – температурная и скоростная стратификация на макроуровне, ее микронеоднородность, нерегулярность, турбулентность;

в) вредное вещество – плотность, размер частиц, их склонность к физико-химическим превращениям после контакта со средой и ограничивающей поверхностью.

Известные ныне модели и методы расчета полей концентраций также можно разделить на три важные группы:

1) аналоговые;

2) аналитические (гауссовы);

3) численного моделирования.

Исходными данными и средствами их верификации служат результаты статистических наблюдений, натурных и модельных экспериментов, получаемые и обрабатываемые методами теории подобия или другими специальными способами. Естественно, что каждый подход к имеет свои достоинства и недостатки.

Численное моделирование незаменимо для прогноза последствий истечения мощных струй и мгновенных выбросов большого количества веществ, имеющих существенно отличную от несущей среды температуру или плотность, т.е. при разрушениях газопроводов, взрывах токсичных продуктов и проливах сжиженных природных газов. Основанный на процессах массо-, энерго- и теплообмена данный метод позволяет учесть практически все перечисленные выше наиболее существенные факторы, а потому является самым точным, но (одновременно) и самым трудоемким способом построения полей концентраций вредных веществ.

В большинстве случаев, однако, используются *аналоговые* и аналитические (гауссовы) модели и методы прогнозирования полей концентрации загрязнителя в зонах его рассеяния. Первые из них хорошо применяются в случаях, когда наблюдается устойчивая корреляция между моделью и оригиналом по большинству их основных факторов (источник, вредное вещество, несущая среда). Последние модели и методы, основанные на закономерностях турбулентной диффузии и вероятностно-статистических представлениях о рассеянии загрязнителей, не требуют трудоемких расчетов и экспериментов, а потому лучше всего подходят для экспресс-прогноза зон их концентрации.

В модуле 4 описана методика расчета полей концентрации загрязняющих веществ в атмосферном воздухе, а также программный продукт, основанный на использовании данной методики.

Методы прогноза полученных людьми токсодоз

Для определения эффекта токсического поражения человека и других биоособей необходимо как можно точнее оценить полученную ими ингаляционную дозу химических веществ или экспозиционную – радиоактивных. Расчет значений таких доз должен проводиться с помощью моделей поглощения, связывающих их с теми параметрами концентрационного поля, которые прогнозировались в предыдущем разделе.

При оценке размеров зон и вероятности токсического поражения сильно действующими ядовитыми или аварийно опасными химическими веществами руководствуются длительностью воздействия таких вредных веществ $\tau = t - t_0$ и их концентрацией в конкретной точке $\underline{x}(x_1, x_2, x_3)$ в данный момент времени t.

В общем случае концентрация $c(\underline{x}, t)$ будет считаться функцией двух основных параметров – расстояния между источником загрязнения и местом расположения поражаемых ресурсов, а также длительности времени с момента выброса вредного вещества.

Возможный поражающий эффект вредных веществ (например, процент гибели людей или других биоособей) может быть оценен *двумя способами*, каждый из которых основывается на расчете поглощенных токсодоз и использовании зависимостей «доза-эффект». При прогнозе разрушительного эффекта должны также учитываться параметры стойкости потенциальных жертв, зависящие от их возраста, состояния здоровья и интенсивности физической нагрузки (объема вдыхаемого загрязненного воздуха).

Первый способ – приближенный. Он базируется на допущении о стационарности поля концентраций ($C = c(\underline{x}, t)$ = const) и применении известных нам пробит-функций. Мощность получаемой за этот период токсодозы рассчитывается по формуле $DP = C^n \cdot \tau$. Входящий в эту формулу показатель степени n совместно со смертельно опасными концентрациями типичных вредных веществ – $LC\gamma$ (мг/м^3) – приведен в табл. 4.8.

Таблица 4.8

Параметры токсичности химических соединений

№ п/п	Вещество	LC_{50}
1	Акролеин	304
2	Аммиак	6164
3	Бром	1075
4	Двуокись азота	235
5	Метилизоцианат	57
6	Сероводород	987
7	Угарный газ	7949
8	Фосген	14
9	Фтористый водород	802
10	Хлор	1017
11	Хлористый водород	3940
12	Цианистый водород	114

Второй (более точный) способ базируется на специальных моделях поглощения и разрушительного воздействия вредных веществ на человека и другую биоту. В отличие от первого, здесь предполагается нестационарное концентрационное поле, которое создается выбросом количества $K = M$ таких веществ из точки $\underline{x}'$ и их распространением под воздействием движущейся воздушной или водной среды, с учетом эффектов турбулентного или дисперсионного обмена между ними. Общее выражение для концентрации в интересующей нас точке $\underline{x}$ имеет вид

$$C(x, t) = M \cdot G(\underline{x}, \underline{x}', \tau),$$

где $G(\underline{x}, \underline{x}', \tau)$ – функция, называемая «фактором метеорологического разбавления» вредных веществ в зоне рассеяния, которая рассматривалась в предыдущем разделе.

Если принять, что $t_0 = 0$, и определить τ как разность между началом и концом времени ингаляции ($t_H - t_K$), то суммарную дозу D_H, полученную людьми от источника *непрерывных* выбросов (для всех $t > \tau$)

следует складывать из двух частей: а) токсодозы, приобретенной в период работы источника; б) токсодозы, полученной после прекращения вредных выбросов, считая, что люди остались подверженными их воздействию, хотя интенсивность его будет неуклонно снижаться [9].

Особенности оценки ущерба людям и биоресурсам

Существуют методы измерения и прогнозирования ущерба, связанного с гибелью или травмированием людей, отчуждением недр, уничтожением флоры и фауны как от тяжелых аварий и катастроф, так и от непрерывных вредных материальных выбросов.

При расчете данного вида ущерба в качестве исходных данных, необходимых для определения плотности рассматриваемых ресурсов, следует учитывать число оказавшихся там людей и основных групп биоресурсов.

Ущерб здоровью людей. Социально-экономический ущерб, вызванный профессиональными заболеваниями и несчастными случаями с временной потерей трудоспособности, может оцениваться числом человеко-дней, необходимых для лечения и реабилитации пострадавших. Если же следовать рекомендациям Международной организации труда, то ущерб обществу от гибели одного «среднестатистического» человека равен 6000–7500 потерянных человеко-дней, тогда как ущерб от его увечий, приведших к потере трудоспособности, может быть найден по табл. 4.9.

Таблица 4.9

Ущерб от стойкой утраты трудоспособности человека

Причина утраты трудоспособности	Ее степень, %	Ущерб, чел.·дн.
Полная утрата (смерть)	100	7500
Постоянная полная инвалидность	100	8750
Частичная утрата:		
потеря всей руки	35	2600
потеря предплечья	30	2250
потеря кисти	25	1860
потеря ноги	20	1500
потеря глаза	15	1125

Нетрудно показать, что стоимость одного человеко-дня может быть выражена и в эквивалентном ему денежном исчислении. Для определения его величины следует поделить суточный валовой нацио-

нальный доход государства или конкретной отрасли на число работающих, т.е. найти прибавочную стоимость одного работника за вычетом расходов на его жизнеобеспечение. В отдельных случаях можно исходить из субъективной оценки стоимости жизни или размеров страховых выплат на случай гибели человека.

Ущерб биоресурсам. По мнению исследователей [17], ущерб от гибели флоры и фауны следует оценивать по ослаблению энергонасыщенности соответствующих экосистем, потоки входящей (I) и выходящей (E) энергии через трофические уровни которых, показаны на рис. 4.10. Величину ущерба можно считать пропорциональной энергопродуктивности уничтоженных биоресурсов.

При этом стоимость энергии, утилизируемой ими автотрофно, должна сопоставляться с затратами на ее получение другими, «экологически чистыми» способами (например, солнечными электробатареями, при цене 5 долларов США за 1 Вт/ч).

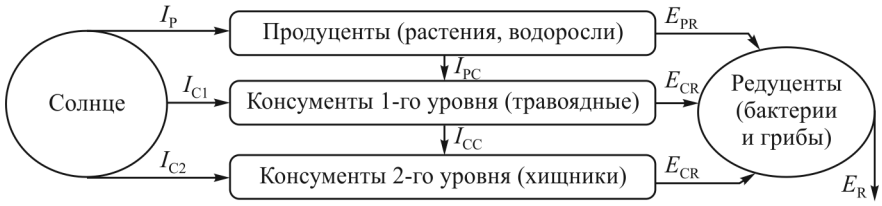


Рис. 4.10. Схема потоков энергии через экосистему

Для определения энергонасыщенности биоты необходимо располагать следующими исходными данными: средняя масса тела одной биоособи – M_k (кг), энергетическое содержание накопленного ею вещества – g_k (кДж/кг), скорость оборота или регенерации данной биомассы – V_k (1/год), энергия ее существования (интенсивность дыхания поддержания) – E_k (кДж/год), трофические (пищевые) уровень и специализация – j, а также коэффициенты утилизации энергии на всех k трофических уровнях – P_j.

Оценка ущерба от загрязнения атмосферы и гидросферы. Подробно методика расчета платежей описана в Инструктивно-методических указаниях по взиманию платы за загрязнение окружающей природной среды (утвержденных от 26.01.1993 г. Министерством охраны охраны окружающей среды и природных ресурсов РФ).

При расчете платежей устанавливаются различные нормативы выплат за данные вредные выбросы:

а) в пределах установленных для них лимитов – K_1

б) сверх установленных лимитов – K_2 (руб./усл. т). Эти выплаты предназначаются для снижения либо компенсации соответствующего социально-экономического ущерба [11].

4.3. Расчет степени риска

Эффективность любой финансовой или хозяйственной операции и величина сопутствующего ей риска взаимосвязаны. Не учитывая фактора риска, невозможно провести полноценный инвестиционный анализ. Таким образом, любая организация, которая ставит целью управлять своими рисками, должна научиться оценивать величину риска и устанавливать взаимосвязь между ней и уровнем доходности конкретной операции. Для оценки степени риска существуют два основных метода: количественный и качественный.

Главная задача *качественного анализа* – определить факторы риска, этапы и работы, при выполнении которых риск возникает, т.е. установить потенциальные зоны риска, после чего идентифицировать все возможные риски.

Количественный анализ риска применяется для определения численных размеров отдельных рисков и риска проекта в целом. При количественном анализе риска могут использоваться различные методы. Наиболее распространенными являются: анализ чувствительности, анализ сценариев, анализ моделей (метод «Монте-Карло»).

Чем выше вероятность получения низкого дохода или даже убытков, тем рискованнее проект и, соответственно, тем выше должна быть норма его доходности.

При выборе из нескольких возможных вариантов вложения капитала часто ограничиваются абстрактными рассуждениями типа «этот проект кажется менее рискованным» или «в этом случае прибыль больше, но и риск, вроде бы, больше». Между тем степень риска в большинстве случаев может быть достаточно точно оценена; также может быть определена величина доходности предлагаемого проекта, соответствующая данному риску.

Опираясь на полученные результаты, потенциальный инвестор может не только выбрать наиболее привлекательный для него способ вложения денег, но и значительно сократить степень возможного риска [10].

Инструментом для проведения необходимых вычислений является математическая теория вероятностей. Каждому событию ставится в соответствие некоторая величина, характеризующая возможность того, что событие произойдет – *вероятность* данного события – P. Если событие не может произойти ни при каких условиях, его вероятность нулевая ($P = 0$). Если событие происходит при любых условиях, его вероятность равна единице. Если же в результате проведения эксперимента или наблюдения установлено, что некоторое событие происходит в n случаях из N, то ему приписывается вероятность

$$P = n/N.$$

Сумма вероятностей всех событий, которые могут произойти в результате некоторого эксперимента, должна быть равна единице. Перечисление всех возможных событий с соответствующими им вероятностями **называется распределением вероятностей** в данном эксперименте.

Для оценки степени риска существуют два основных метода: количественный и качественный (рис. 4.11).

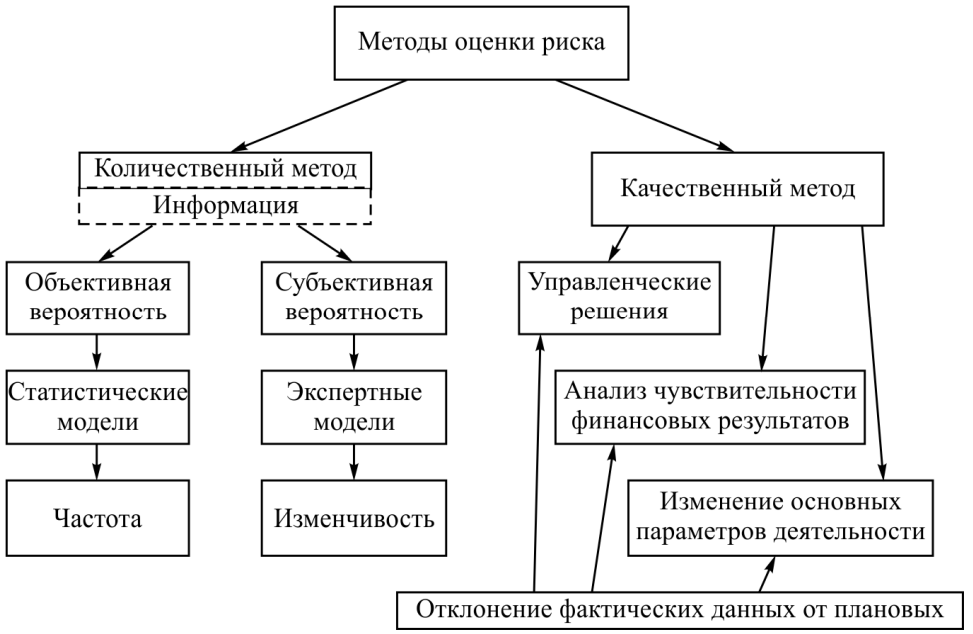


Рис. 4.11. Методы оценки риска

Анализ проектных рисков базируется на оценках рисков, которые заключаются в определении величины (степени) рисков. Методы определения критерия количественной оценки рисков включают:

1. Статистические методы оценки, базирующиеся на методах математической статистики, т.е. дисперсии, стандартном отклонении, коэффициенте вариации. Для применения этих методов необходим достаточно большой объем исходных данных, наблюдений.

2. Методы экспертных оценок, основанные на использовании знаний экспертов в процессе анализа проекта и учета влияния качественных факторов.

3. Методы аналогий, основанные на анализе аналогичных проектов и условий их реализации для расчета вероятностей потерь. Данные методы применяются тогда, когда есть представительная база для анализа и другие методы неприемлемы или менее достоверны. Методы аналогий широко практикуются на Западе, поскольку в практике управления проектами оценка проектов обычно осуществляется после их завершения; таким образом накапливается значительный материал для последующего применения.

4. Комбинированные методы, включающие в себя использование сразу нескольких методов [14].

Используются также методы построения сложных распределений вероятностей (дерева решений), аналитические методы (анализ чувствительности, анализ точки безубыточности и пр.), анализ сценариев.

Риск, связанный с проектом, характеризуется тремя факторами:

– событие, связанное с риском;
– вероятность рисков;
– сумма, подвергаемая риску.

Чтобы количественно оценить риски, необходимо знать все возможные последствия принимаемого решения и вероятность последствий этого решения.

Выделяют два метода определения вероятности.

Объективный метод определения вероятности основан на вычислении частоты, с которой происходят некоторые события. Частота при этом рассчитывается на основе фактических данных. Так, например, частота возникновения некоторого уровня потерь A в процессе реализации инвестиционного проекта может быть рассчитана по классической формуле:

$$f(A) = n(A)/n,$$

где f – частота возникновения некоторого уровня потерь; $n(A)$ – число случаев наступления этого уровня потерь; n – общее число случаев в статистической выборке, включающее как успешно осуществленные, так и неудавшиеся инвестиционные проекты.

На рис. 4.12 приведена иллюстрация распределения вероятностей потерь и допустимых уровней рисков.

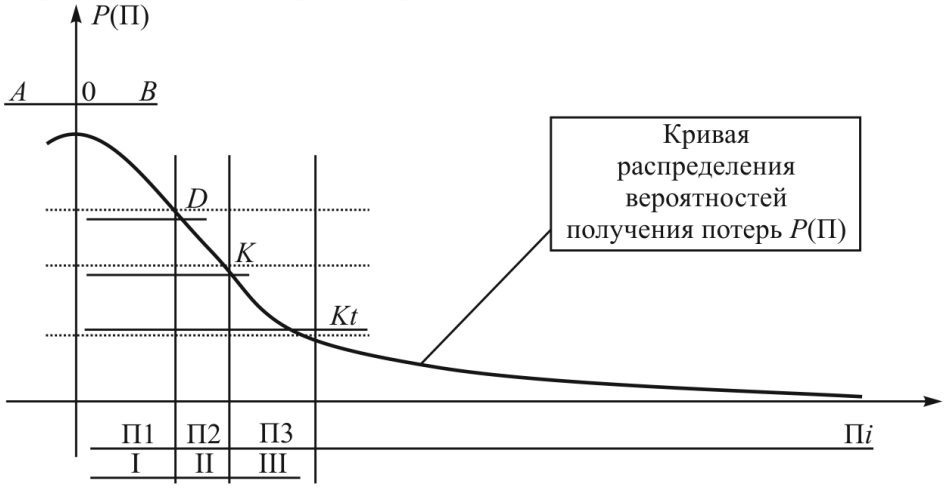


Рис. 4.12. Показатели рисков и их допустимого уровня

Представленный на рис. 4.11 риск проекта имеет ряд характерных зон, иллюстрирующих уровни рисков. Зона *A* характеризует выигрыш (отсутствие потерь), состояние проекта 0 исходит из положения, что оно не допускает какого-либо выигрыша *A* или потери *B*, зона *B* соответствует определенным потерям. При формировании и функционировании проекта под влиянием случайных факторов наблюдаются отклонения от состояния 0. Опасными и отрицательными являются отклонения, вызывающие существенные потери.

Если значение потерь находится в зоне I (до точки *D*) и не превышает значения расчетной прибыли П1, то это зона допустимых рисков; если в зоне II (от точки *D* до точки *K*) до значения расчетной прибыли П2 – это зона критического риска; если в зоне III (от точки *K* до точки *Kt*) до значения имущественного состояния П3 – это зона катастрофического риска.

Если нанести на кривую распределения вероятностей получения потерь *P*(П) граничные точки рисков *D*, *K*, *Kt*, то можно установить вероятность возникновения соответствующих рисков. В среднем для зоны I (допустимых рисков) вероятность возникновения такой ситуации возможна в 70 случаях из 100 (условный пример), для зоны II критические риски могут возникнуть в 40 случаях из 100 и для III зоны (зоны катастрофических рисков) – в 20 случаях из 100. Из этого видно, что любой проект имеет определенную степень рисков.

Важными понятиями, применяющимися в вероятностном анализе рисков, являются понятия альтернативы, состояния среды, исхода.

Альтернатива – это последовательность действий, направленных на решение некоторой проблемы. Примеры альтернатив: приобретать или не приобретать новое оборудование; решение о том, какой из двух станков, различающихся по характеристикам, следует приобрести; следует ли внедрять в производство новый продукт и т.д.

Состояние среды – ситуация, на которую лицо, принимающее решение, не может оказывать влияние (например, благоприятный или неблагоприятный рынок, климатические условия и т.д.).

Исходы (возможные события) возникают в случае, когда альтернатива реализуется в определенном состоянии среды. Это некая количественная оценка, показывающая последствия определенной альтернативы при определенном состоянии среды (например, величина прибыли, величина урожая и т.д.).

Анализируя и сравнивая варианты инвестиционных проектов, инвесторы действуют в рамках теории принятия решений.

Понятия неопределенности и рисков различаются между собой. Вероятностный инструментарий позволяет более четко разграничить их. В соответствии с этим в теории принятия решений выделяются три типа моделей:

1. Принятие решений в условиях определенности – лицо, принимающее решение (ЛПР), точно знает последствия и исходы любой альтернативы или выбора решения. Эта модель нереалистична в случае принятия решения о долгосрочном вложении капитала.

2. Принятие решений в условиях рисков – ЛПР знает вероятности наступления исходов или последствий каждого решения.

3. Принятие решения в условиях неопределенности – ЛПР не знает вероятностей наступления исходов каждого решения [10].

Если имеет место неопределенность (т.е. существует возможность отклонения будущего дохода от его ожидаемой величины, но невозможно даже приблизительно указать вероятности наступления каждого возможного результата), то выбор альтернативы инвестирования может быть произведен на основе одного из трех критериев:

1. Критерий MAXIMAX (критерий оптимизма) – определяет альтернативу, которая максимизирует максимальный результат для каждой альтернативы:

$$J = \max\max f_{kj},$$

где f_{kj} – оценка j-й альтернативы при k-м варианте ситуации.

2. Критерий MAXIMIN (критерий пессимизма) – определяет альтернативу, которая максимизирует минимальный результат для каждой альтернативы:

$$J = \max\min f_{kj}.$$

3. Критерий БЕЗРАЗЛИЧИЯ – выявляет альтернативу с максимальным средним результатом (при этом действует негласное предположение, что каждое из возможных состояний среды может наступить с равной вероятностью; в результате выбирается альтернатива, дающая максимальную величину математического ожидания):

$$J = \max \frac{1}{n} \sum_{k=1}^{n} f_{kj}.$$

Например, решение о капиталовложениях вряд ли будет принято в условиях полной неопределенности, так как инвестор приложит максимум усилий для сбора необходимой информации. По мере осуществления проекта инвестору поступает дополнительная информация об условиях реализации проекта и таким образом ранее существовавшая неопределенность «снимается». При этом информация, касающаяся проекта, может быть как выражена, так и не выражена в вероятностных законах распределения. Поэтому в контексте анализа инвестиционных проектов следует рассматривать ситуацию принятия решения в условиях рисков. Итак, в этом случае:

– известны (предполагаются) исходы или последствия каждого решения о выборе варианта инвестирования;

– известны вероятности наступления определенных состояний среды.

При проведении анализа проектного риска сначала определяются вероятные пределы изменения всех «рисковых» факторов (или критических переменных), а затем проводятся последовательные проверочные расчеты при допущении, что переменные случайно изменяются в области своих допустимых значений. На основании расчетов результатов проекта при большом количестве различных обстоятельств анализ рисков позволяет оценить распределение вероятности различных вариантов проекта и его ожидаемую ценность (стоимость).

При вероятностных оценках рисков в случае отсутствия достаточного объема информации для вычисления частот используются показатели субъективной вероятности, т.е. экспертные оценки [14, 15].

Субъективная вероятность является предположением относительно определенного результата, основывающемся на суждении или личном опыте оценивающего, а не на частоте, с которой подобный результат был получен в аналогичных условиях.

Экспертный анализ рисков применяют на начальных этапах работы с проектом в случае, если объем исходной информации является недостаточным для количественной оценки эффективности (погрешность результатов превышает 30 %) и рисков проекта.

Достоинствами экспертного анализа рисков являются:

– отсутствие необходимости в точных исходных данных и дорогостоящих программных средствах;

– возможность проводить оценку до расчета эффективности проекта;

– простота расчетов.

К основным недостаткам следует отнести:

– трудность в привлечении независимых экспертов;

– субъективность оценок.

Эксперты, привлекаемые для оценки рисков, должны:

– иметь доступ ко всей имеющейся в распоряжении разработчика информации о проекте;

– иметь достаточный уровень креативности мышления;

– обладать необходимым уровнем знаний в соответствующей предметной области;

– быть свободными от личных предпочтений в отношении проекта;

– иметь возможность оценивать любое число идентифицированных рисков.

Алгоритм экспертного анализа рисков может быть следующим:

– по каждому виду рисков определяется предельный уровень, приемлемый для организации, реализующей данный проект; предельный уровень рисков определяется по стобалльной шкале;

– устанавливается, при необходимости, дифференцированная оценка уровня компетентности экспертов, являющаяся конфиденциальной; оценка выставляется по десятибалльной шкале;

– риски оцениваются экспертами с точки зрения вероятности наступления рискового события (в долях единицы) и опасности данных рисков для успешного завершения проекта (по стобалльной шкале);

– оценки, проставленные экспертами по каждому виду рисков, сводятся разработчиком проекта в таблицы; в них определяется интегральный уровень по каждому виду рисков;

– сравниваются интегральный уровень рисков, полученный в результате экспертного опроса, и предельный уровень для данного вида и выносится решение о приемлемости данного вида риска для разработчика проекта;

– в случае, если принятый предельный уровень одного или нескольких видов рисков ниже полученных интегральных значений, разрабатывается комплекс мероприятий, направленных на снижение влияния выявленных рисков на успех реализации проекта, и осуществляется повторный анализ рисков.

Экспертный метод может быть реализован путем обработки мнений опытных предпринимателей и специалистов. Желательно, чтобы эксперты сопровождали свои оценки данными о вероятности возникновения различных величин потерь. Можно ограничиться получением экспертных оценок вероятностей допустимого критического риска либо оценить наиболее вероятные потери в данном виде предпринимательской деятельности.

Каждому эксперту, работающему отдельно, представляется перечень возможных рисков и предлагается оценить вероятность их наступления, основываясь, например, на следующей системе оценок:

- 0 – несущественный риск;
- 25 – рисковая ситуация, вероятнее всего, не наступит;
- 50 – о возможности риска нельзя сказать ничего определенного;
- 75 – рисковая ситуация, вероятнее всего, наступит;
- 100 – рисковая ситуация наступит наверняка.

Затем оценки экспертов подвергаются анализу на их противоречивость. Результаты такого анализа должны удовлетворять следующему правилу: максимально допустимая разница между оценками двух экспертов по любому виду риска не должна превышать 50, что позволяет устранить недопустимые различия в оценках экспертами вероятности наступления отдельного риска:

$$\max |ai - bi| \leq 50,$$

где a, b – векторы оценок каждого из рассматриваемой пары экспертов; i – вид оцениваемого риска.

При наличии трех экспертов должно быть сделано три оценки: для попарного сравнения мнений первого и второго экспертов, второго и третьего, первого и третьего.

Например, если три эксперта дали следующие заключения по одному из рисков: А – 25; В – 50, то в данном случае разности оценок составляют: АВ = 25 и ВС = 25, что удовлетворяет необходимому условию.

Разновидностью экспертного метода является *метод Дельфи*. Он характеризуется анонимностью и управляемой обратной связью. Анонимность членов комиссии обеспечивается путем физического разделения, что не дает им возможности обсуждать ответы на поставленные вопросы. Цель такого разделения – избежать «ловушек» группового принятия решения, доминирования мнения лидера. После обработки результата через управляемую обратную связь обобщенный результат сообщается каждому члену комиссии. Основная цель – позволить ознакомиться с оценками других членов комиссии, не подвергаясь давлению из-за знания того, кто конкретно дал ту или иную оценку. После этого оценка может быть повторена.

При экспертной оценке предпринимательского риска большое внимание следует уделять подбору экспертов, так как именно от правильности их оценок зависит решение о выборе того или иного предпринимательского проекта [10, 14].

Еще один важный метод исследования риска – *моделирование задачи выбора с помощью «дерева решений»*. Данный метод предполагает графическое построение вариантов решений, которые могут быть приняты. По ветвям «дерева» соотносят субъективные и объективные оценки возможных событий. Следуя вдоль построенных ветвей и используя специальные методики расчета вероятностей, оценивают каждый путь и затем выбирают менее рискованный.

Данный метод имеет и негативные факторы, усложняющие его использование:

- трудоемкость;
- учет в «дереве» только тех действий, которые намерен совершить предприниматель, и только тех исходов, которые, с его точки зрения, могут иметь место.

При этом совсем не учитывается влияние внешней среды на деятельность предпринимательской фирмы, а предприниматель не всегда может предвидеть действия партнеров и конкурентов.

В том случае, если другие методы оценки риска неприемлемы, используют *метод аналогий*. При использовании аналогов применяются базы данных о риске аналогичных проектов или сделок, исследовательские работы проектно-изыскательских учреждений. Полученные таким образом данные обрабатываются для выявления зависимостей в законченных проектах с целью учета потенциального риска при реализации нового предпринимательского проекта или сделки.

Вопросы о том, какой риск можно считать *приемлемым* и где проходит граница между приемлемым и неприемлемым рисками, являются одними из самых сложных и важных в практике риск-менеджмента. Как правило, для получения ответов на эти вопросы менеджер должен принять соответствующие управленческие решения, которые могут существенно отличаться друг от друга в разных ситуациях и для различных областей бизнеса. На решения риск-менеджера, очевидно, будет влиять специфика самого процесса принятия решений, в частности, склонность менеджера к риску. Тем не менее, несмотря на некоторую субъективность таких решений, они будут определяться следующими факторами:

1. Особенности измерения риска. Численное выражение уровня риска позволяет установить подходящие пределы (интервалы значений) для приемлемого риска, что облегчает контроль соблюдения соответствующих целевых установок. Однако очевидно, что разные методики измерения риска могут привести к различным представлениям о том, как можно выразить приемлемый риск. Поэтому подобные методики важны не только для идентификации и классификации рисков, они также встраиваются в алгоритмы выбора методов управления риском и оценки эффективности программ риск-менеджмента.

2. Традиции ведения данного бизнеса и корпоративной культурой, а также предписаниями и рекомендациями надзорных органов. Действительно, решения о том, что есть приемлемый риск, часто принимаются по аналогии с существующей практикой и в соответствии с действующими нормативными документами. Независимо от того, насколько четко прописаны в законодательстве соответствующие ограничения и насколько жесткие формально закрепленные в нем санкции за нарушение этих ограничений, любые значительные отклонения от принятого всеми подхода могут восприниматься как опасные и необоснованные. В частности, такой точки зрения, скорее всего, будут придерживаться суды при разбирательстве дел, связанных с обязательствами по возмещению ущерба.

3. Специфика принятой программы управления риском. Влияние этого фактора основывается на том, что разное сочетание методов управления риском (например, решение о величине рисков, оставляемых на собственном удержании) может изменить представления менеджеров о степени приемлемости тех или иных рисков. Поэтому установление уровней приемлемого риска может пересматриваться в ходе формирования программы управления риском.

Простейшим способом установления уровня приемлемого риска является определение пороговых значений критериальных показателей. Такие интервалы могут рассматриваться как целевые предписания для процесса управления риском, а также в качестве инструмента согласования отдельных методов управления риском и оценки эффективности программы управления риском в целом. Пороговые значения, используемые при таком подходе, определяются финансовыми возможностями фирмы, принятой общей стратегией управления и развития фирмы и вариантом управления рисками.

В качестве соответствующих критериальных показателей, для которых устанавливаются пороговые значения, как правило, используются так называемые меры риска, т.е. величины, численно выражающие размер соответствующего риска. Чаще всего это размер ущерба или вероятность его возникновения.

В случае, если рассматривается не отдельный риск, а портфель рисков, выбирают соответствующий критериальный показатель (например, размер возможного убытка) не по отдельному риску, а по всей совокупности рисков. Тогда указанные пороговые значения следует устанавливать для всего портфеля рисков, что будет способствовать проведению единой политики риск-менеджмента. Если подходить к проблеме строго, то дополнительно должны быть заданы пороговые значения и для каждого риска или каждого метода управления рисками.

Выбор того или иного критериального показателя зависит от конкретных условий оценки риска, его специфики и особенностей всего процесса управления риском. Так, если сравнивать установление пороговых значений в терминах вероятностей и в терминах размера убытка, то последний подход в некоторых ситуациях предпочтительнее. В частности, если границы соответствующего интервала выражаются в денежной форме, менеджеру бывает проще их оценить.

При выявлении и оценке источников и масштабов максимально возможного потенциального убытка менеджер должен рассматривать проблему комплексно. Должны быть приняты во внимание все возможные последствия потенциальных рисков, например возможные катастрофы, попытки шантажа, терроризм, похищение служащих, взрывы. Планирование критических ситуаций является неотъемлемой частью программы управления рисками при определении максимально возможного убытка, так как только в этом случае можно достаточно точно оценить вероятность возникновения убытков и составить планы по преодолению кризисной ситуации.

Однако, как показывает практика, менеджеру в общем случае не всегда следует планировать только самые худшие ситуации. Так, очевидно, что трата времени и денег на подготовку к тысячелетней засухе представляет пример нерационального использования ресурсов. В то же время планирование наиболее вероятного риска, с которым фирма может столкнуться каждые 5–10 лет, является более разумным.

Для того чтобы знать, способна ли фирма выдержать все убытки самостоятельно, должна ли она передать часть ответственности по ним другим субъектам или отказаться от каких-либо рисков, менеджер должен определить максимально возможный, наиболее вероятный и ожидаемый убыток как для всей компании, так и по каждому классу рисков.

В общем случае под максимально возможным убытком понимают наибольший финансовый вред (ущерб), причиненный фирме убытком при наихудшем стечении обстоятельств. Здесь важен момент наихудшей критической для фирмы ситуации. Прямой убыток (например, пожар в каком-либо производственном цехе) может привести к целой цепочке прямых и косвенных отрицательных последствий (травмы работников, утечка химических веществ, остановка производства и тем самым недопроизводство продукции, потеря дохода и возникновение дополнительных расходов и т.п.).

Подход, основанный только на анализе интервалов значений приемлемого риска, имеет ряд существенных ограничений практического применения. В первую очередь это связано с необходимостью учета взаимосвязей между пороговыми значениями для разных критериальных показателей. Другой причиной являются недостатки используемых показателей. Так, непосредственное использование наиболее вероятно-

го убытка Y^* как меры случайного суммарного убытка Y затруднено тем фактом, что, хотя убыток Y^* является «наиболее вероятным», сама эта «наибольшая вероятность» может быть крайне мала, т.е. возможность наблюдения реального значения убытка в малом диапазоне $[Y^* - e, Y^* + e]$, $0 < e < 1$ имеет пренебрежительно малую вероятность.

Поэтому в ряде случаев целесообразно использовать более сложные методики, одна из которых основана на рисковом капитале (рис. 4.13). Рисковый капитал (Value – at – Risk, VaR) как мера случайного убытка определяется соотношением

$$P\left(\{Y < \mathrm{VaR}\}\right) = y,$$

где y – фиксированная вероятность того, что случайный убыток не превысит значения VaR.

Значение вероятности, определяющей рисковый капитал, задает уровень приемлемого риска, связанного с тем, что убытки не превысят резервы и оборотные средства (в размере VaR) с указанной вероятностью. Это значение должно быть достаточно велико. Например, в настоящее время Базельский комитет рекомендует для суммарного банковского риска величину $\gamma = 0{,}99$. Таким образом, через понятие рискового капитала определяется правая граница диапазона $[A, \mathrm{VaR}]$ для наиболее вероятных значений случайного убытка Y, где A – минимально возможный общий убыток.

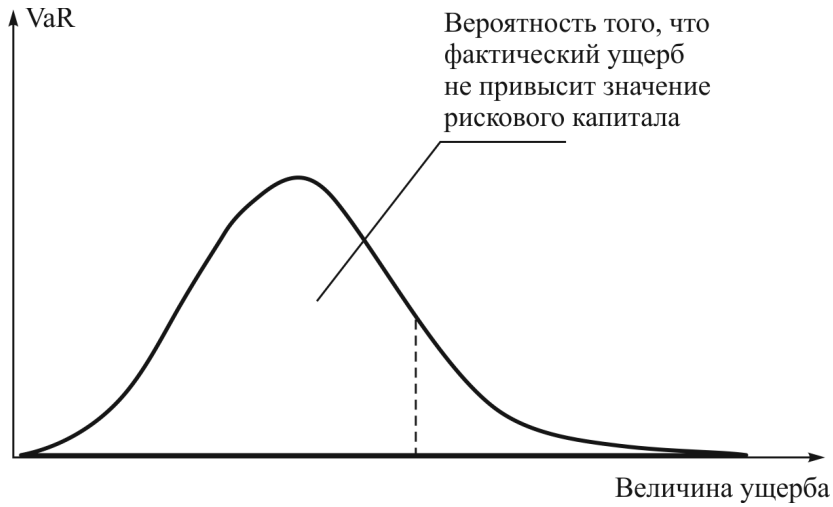


Рис. 4.13. Определение рискового капитала

Концепция рискового капитала является очень популярной. В настоящее время она широко используется при управлении рисками, особенно финансовыми. Основная проблема практического оценивания значения рискового капитала – дефицит информации для построения распределения ущерба, поэтому разрабатываются методы косвенной оценки.

В общем понимании *карта риска* – это графическое и текстовое описание ограниченного числа рисков, расположенных в таблице, по одной оси которой указана сила воздействия или значимость риска, а по другой – вероятность или частота его возникновения Такое понимание карты риска традиционно для многих западных и российских исследований. По вертикальной оси отражается вероятность потерь (от низкой до высокой); по горизонтальной оси – значимость риска или влияние (в денежных единицах, от низкой до высокой). Другими словами, каждый выявленный риск может быть определен двумя характеристиками и отражен на плоскости. Тогда величина риска в абсолютном выражении равна произведению вероятности и влияния.

Наиболее критичные виды рисков попадут в красную зону, а те, с которыми организация сталкивается очень часто, – в зеленую. Таким образом, вероятность появления риска увеличивается снизу вверх при продвижении по вертикальной оси, а его влияние увеличивается слева направо по горизонтальной оси. В зависимости от целей можно построить разные карты риска или вариации одной.

Рассмотрим пример. Имея двадцать выявленных рисков, компания *N* в соответствии с собственной политикой решает, с какими рисками она начнет работать в первую очередь. Причем необходимо точно определить, как риски должны переместиться по карте вследствие работы с ними (как нужно изменить их местонахождение и в какой срок).

Компания *N* принимает, что риски, находящиеся в левом нижнем квадрате, допустимы и не нужны специальные процедуры для их минимизации. Это риски, отмеченные цифрами 1, 3, 13, 16, 17 и 20. При дальнейшем анализе оценивается уровень покрытия оставшихся рисков и определяется, что риски под номерами 2, 4, 7, 10, 11, 14 и 19 покрыты, т.е. не нуждаются в дополнительных мерах по минимизации.

Все остальные риски (15, 12, 8, 9 и 6 – по убыванию опасности) являются значимыми и требуют принятия соответствующих мер. Для минимизации рисков определяются меры и контрольные точки, устанавливается срок и планируется результат.

В общем случае процесс картографирования рисков – часть систематической методологии, охватывающей все стороны деятельности организации и позволяющей выделить, расположить по приоритетам и оценить количественно (разбить на кластеры) риски организации.

Карта рисков очень удобна, например, для того, чтобы показать топ-менеджерам риски и степень их опасности. Простота ее построения позволяет сразу оценить риски, на которых стоит заострить внимание.

Методы, которые применяют специалисты при составлении карты рисков, включают интервью, формализованные и неформализованные опросники, обзоры и исследования отрасли, анализ документационного комплекта организации, численные методы оценки и т.д. Методологии построения карты рисков так же различны, как различны риски организаций. За простой и интуитивно понятной графической формой кроются сложные процедуры количественной оценки, формирующие агрегированные представления для риск-менеджеров и руководства компанией.

Карты рисков могут создаваться отдельно по их типам, затем на общую карту вносятся наиболее критичные риски и т.д. Карты формируются и в разрезе различных факторов (например, внутренних или внешних факторов риска).

Специалисты выделяют также карты остаточных рисков, т.е. оставшихся после принятия защитных мер.

Обратим внимание, что для рассматриваемого нами примера на карте остаточных рисков компании *N* нет рисков под номерами 5 и 18: они не превышают предельно допустимого уровня рисков, установленного в банке. Для всех остальных разрабатываются меры по снижению, строится новая карта, т.е. повторяется весь алгоритм.

Безусловно, представленные карты рисков являются лишь упрощенным вариантом этого инструмента. Продвинутые методики допускают формирование карт рисков с учетом ключевых индикаторов, установленных лимитов для мер контроля за рисками и др.

Матрица рисков является инструментом оценки рисков, который предполагает некоторую форму градации рисков. Она имеет диапазон по осям последствий и вероятности. Матрица рисков демонстрирует руководителю и тому, кто принимает решения, более четкий вид того, в чем заключается риск, что в него вовлечено (относительно затрат, изменений в процедурах и т.д.) и какой объем времени может быть уделен, принимая во внимание суровость и вероятность риска. Она может

помочь руководителю представить в более организованном формате риски, которые ему могут повстречаться, подготовиться и принять более верные решения в случае возникновения риска.

Чтобы составить эффективную матрицу рисков, необходимо:

1. Определить, для чего будет использоваться матрица рисков. Обычно матрица рисков рассматривается во время задач, включающих в себя анализ опасности и проверку эксплуатационной безопасности. В зависимости от целей использования матрицы следует установить уровни толерантности или приемлемости рисков, а также способ оценки эффективности действий по избеганию.

2. Определить последствия и вероятности. Типичная матрица рисков представлена сеткой размером 4×4. По вертикальной оси расположены критерии вероятности (редкие, маловероятные, возможные, очень вероятные, определенные), а по горизонтальной оси – критерии последствий (незначительные, минимальные, критичные, катастрофические) (рис. 4.14) [15].

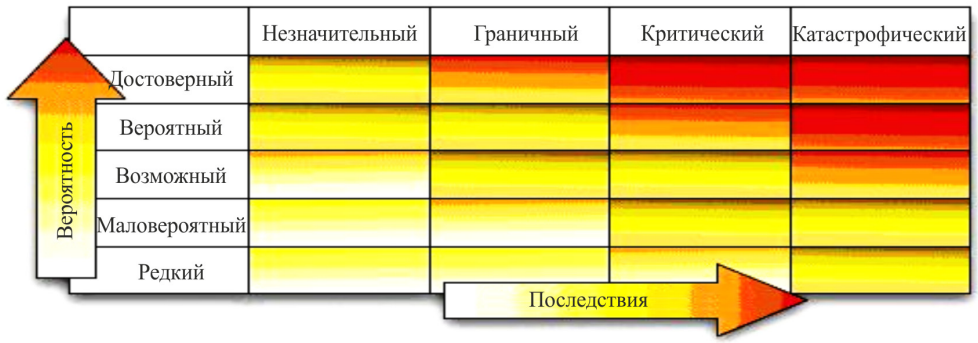


Рис. 4.14. Пример матрицы рисков

Последствия рисков, как это показано в сетке, используют слова в качестве описания и ранжируются согласно суровости: незначительные, минимальные, критичные, катастрофические. Незначительные риски меньше всего вредят проекту, и потому их ранг минимален. Катастрофический риск – это тот, который будет иметь наибольшее значение в ранжировании по суровости. Толерантность определяется путем определения материальных значений для каждого параметра суровости, а также по некоторым качественным характеристикам описываемых последствий. К примеру, незначительные риски – это те,

которые подразумевают затраты в 2–10 тыс. долларов и могут незначительно повлиять на сотрудников, не нарушают каких-либо законов или обладают минимальным влиянием на окружающую среду. Они получат ранг 1 в матрице. Катастрофические риски – это те, которые подразумевают потери в 1 млн долларов, могут привести к смерти или инвалидности, к невосполнимому вреду окружающей среды или полному закрытию бизнеса. Такой риск будет иметь значение ранга 4 в матрице (табл. 4.10).

Таблица 4.10

Пример ранжирования по последствиям

Ранг	Значения	Потери, у.е. (USD)	Описание потерь
4	Катастрофическое	1 млн долл. <	Может привести к смерти или инвалидности сотрудников. Необратимый вред окружающей среде. Закрытие бизнеса
3	Критичное	200 тыс. – 1 млн долл.	Может привести к инвалидности, физическому вреду или заболеванию трех или более сотрудников. Обратимый вред окружающей среде. Нарушение законов
2	Минимальное	2–10 тыс. долл.	Болезни или вред, приводящие к отстранению от работы на один или более рабочих дней. Избегаемый вред окружающей среде, при котором можно провести действия по восстановлению
1	Незначительное	2–10 тыс. долл.	Незначительные вред или заболевания сотрудников, что приведет к однодневному отсутствию. Не нарушает законов. Минимальный вред окружающей среде.

Вероятность возникновения рисков определяется такими значениями, как редкий, маловероятный, возможный, очень вероятный, определенный. Так же, как и с последствиями, критерий стоит измерять каким-нибудь количественным способом (к примеру, «вероятный» означает, что риск может произойти несколько раз на протяжении проекта, не менее 10 и не более 100 раз) и присвоить логические ранги (табл. 4.11).

Таблица 4.11

Пример ранжирования по вероятности

Ранг	Значения	Вероятности (на протяжении жизненного цикла бизнеса)	Описание
5	Определенный	Раз в 2 года	Постоянно испытывается
4	Очень вероятный	Раз в 4 года	Часто происходит
3	Возможный	Раз в 6 лет	Происходит несколько раз
2	Маловероятный	Раз в 12 лет	Скорее всего, не произойдет, но стоит ожидать
1	Редкий	Раз в 24 года	Редко происходит

Как только критерии влияния и вероятности описаны, можно перейти к определению конкретных инцидентов, событий или условий, которые представляют опасность для бизнеса, и назначить им клетки в матрице. Приемом инцидента в офисе может быть «протекание труб» – данному риску можно присвоить блок «редкий» (ранг 5 по вероятности) и «незначительный» (ранг 1 по последствиям).

3. Преобразовать критерии толерантности в матрицу. Матрица должна четко показывать, какие блоки можно опустить, а какие нельзя игнорировать. К примеру, пересечение вероятного риска (ранг 3 по вероятности) с катастрофическим (ранг 4 по последствиям) не может быть проигнорировано ни в каком бизнесе, учитывая те описания, которые были представлены выше. Данный блок четко указывает на то, что этого риска следует избегать, чего не скажешь о блоке, который находится на пересечении незначительного риска (ранг 1 по последствиям) и определенного (ранг 2 по вероятности) и который можно решить простым изменением организационной политики (рис. 4.15).

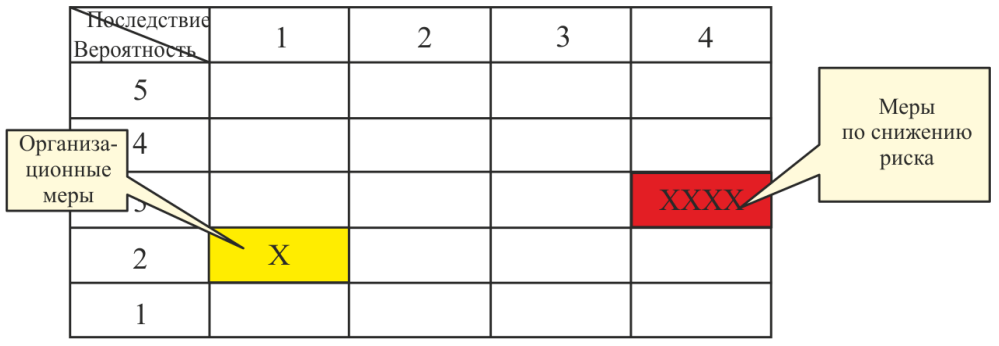


Рис. 4.15. Определение точек толерантности в матрице

Матрицы рисков стоят того, чтобы их составляли и понимали; тем не менее необходимо соблюдать осторожность при назначении значений и следует позаботиться о том, чтобы не переоценить и в то же время не забыть придать «защитный слой», включающий в себя активные мероприятия, при выполнений которых уровень риска падает. Как и при всех усилиях, связанных с планированием или управлением рисками, планировщику и аналитику рисков рекомендуется принять более консервативную точку зрения при разработке. Те, кто принимает решения, должны использовать данный инструмент при составлении политики и включить часть бюджета на разрешение не только постоянных рисков, но и быть готовыми к потенциальным катастрофическим рискам [15].

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Охарактеризуйте методы построения деревьев событий и деревьев отказов.
2. Дайте характеристику диаграммы «причин-последствий».
3. В чем заключаются особенности метода анализа критичности?
4. Дайте характеристику сценарного анализа.
5. Какими методами можно оценить величину вероятности события?
6. Опишите основные подходы к оценке ущерба.
7. Какие четыре стадии можно выделить в процессе причинения техногенного ущерба? Для каких целей может быть построена модель на каждом из этапов?
8. Перечислите виды ущерба. Чем прямой ущерб отличается от косвенного?
9. В какой форме может быть выражен ущерб?
10. Охарактеризуйте методы оценки ущерба.
11. Каким образом рассчитывается величина риска?
12. Что понимается под субъективной вероятностью?
13. Дайте характеристику метода аналогий. В каких случаях он используется как метод расчета риска?
14. Что понимается под «картой рисков»?
15. Дайте характеристику «матрицы рисков».
16. Ранжирование рисков.

17. Какие две основные категории методов существует для оценки степени риска?

18. На основе каких данных рассчитывается частота, с которой происходят некоторые события, при использовании объективного метода определения вероятности?

19. Как в вероятностном анализе рисков называются возможные события, которые возникают в случае реализации альтернативы в определенном состоянии среды?

20. Какие три типа моделей выделяют в теории принятия решений относительно неопределенностей и рисков?

21. На основании каких критериев может быть сделан выбор альтернативы инвестирования в случае, если имеет место неопределенность?

22. Какова максимально допустимая разница между оценками двух экспертов при их анализе на противоречивость?

23. Какими факторами может определяться выбор решения риск-менеджера относительно установления границы между приемлемым и неприемлемым рисками?

24. Как называется уровень риска, задаваемый значением вероятности, определяющей рисковый капитал?

25. Какие параметры отражаются по вертикальной и горизонтальной осям карты рисков?

26. На каком этапе составления матрицы рисков следует устанавливать уровни толерантности или приемлемости рисков?

27. Исходя из каких факторов выбирается метод анализа риска?

28. Каким ключевым свойством обладает последовательный переход от одного события к другому в «дереве событий»?

29. В каких случаях применим и в каких не применим метод анализа рисков с помощью построения деревьев событий?

30. К какому типу аналитических методов относится метод анализа рисков с использованием «дерева отказов» – к индуктивным или к дедуктивным?

31. Как называются два основных логических оператора, применяемых при построении «дерева отказов»?

32. В чем заключаются основные преимущества анализа рисков с использованием дерева отказов?

33. Комбинация каких двух методов анализа рисков используется при построении диаграммы «причины-последствия»?

34. На каком методе групповой работы основан аналитический метод «что произойдет, если»?

35. Как называется систематический подход к анализу рисков, основанный на использовании стандартов безопасности и опыта специалистов?

36. По каким категориям критичности могут быть классифицированы отказы при проведении анализа видов, последствий и критичности отказов?

37. Какие три вида сценариев обычно разрабатываются при проведении сценарного анализа?

38. С чего обычно начинается проведение сценарного анализа?

39. Какие методы оценки вероятности риска употребляются чаще всего?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Беляев Г.Н. «Методы оценки ущерба от техногенных чрезвычайных ситуаций» // Известия Томского политехнического университета. – 2008. – Т. 312, № 5.

2. Временная методика определения предотвращенного экологического ущерба / Гос. комитет РФ по охране окружающей среды. – М., 1999.

3. ГОСТ Р 51901.10–2009 (ISO/TS 16732:2005). Менеджмент риска. Процедуры управления пожарным риском на предприятии: утв. и введ. в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 15 декабря 2009 г. № 1242. – М.: Стандартинформ, 2010.

4. Единая межведомственная методика оценки ущерба от чрезвычайных ситуаций техногенного, природного и террористического характера / ФГУ ВНИИ ГОЧС. – М., 2004.

5. Елохин А.Н. Анализ и управление риском: Теория и практика. – М.: Лукойл, 2000. – 185 с.

6. Лаева Т.В. Сценарный анализ как основа стратегического планирования в организации // Менеджмент в России и за рубежом. – № 2. – 2006.

7. Муравьева Е.В., Романовский В.Л. Прикладная техносферная рискология. Экологические аспекты. – Казань, 2007.

8. РД 03-418–01. Методические указания по проведению анализа риска опасных производственных объектов: утв. постановлением Госгортехнадзора от 10.07.01 № 30 / ГУП «Научно-технический центр по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России. – М., 2002.

9. Белов П.Г. Системный анализ и моделирование опасных процессов в техносфере: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений. – М.: Академия, 2003. – 512 с.

10. Стоянова Е.С. Финансовый менеджмент. Теория и практика. – М.: Перспектива, 2003.

11. Холина В.Н. Основы экономики природопользования: учебник для вузов. – СПб.: Питер, 2005. – 672 с.

12. Хохлов Н.В. Управление риском: учеб. пособие для вузов. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2001. – 239 с.

13. Оценка рисков. – URL: http://www.top-audit.ru.

14. Иерархия рисков: от редких до определенных, от незначительных до катастрофичных. – URL: http://www.pmtoday.ru/project=management/risks/ranking-risks.html.

15. Создание карты рисков. – URL: http://polisre.kz/91-sozdanie-karty-riskov.html.

16. Грищенко Н.Б. Основы страховой деятельности: учеб. пособие. – Барнаул: Изд-во Алт. ун-та, 2001. – 274 с.

17. Новый подход к оценке стоимости биотических компонентов экосистем / В.Н. Большаков [и др.] // Экология. – 1998. – №5. – С. 339–348.

МОДУЛЬ 3. УПРАВЛЕНИЕ РИСКАМИ

Глава 5. МЕТОДЫ УПРАВЛЕНИЯ РИСКАМИ

5.1. Характеристика методов управления рисками

Существует целый набор разнообразных методов, позволяющих снизить степень риска и величину ущерба. На этапе выбора того или иного метода риск-менеджер рассматривает и анализирует существующие методы управления рисками применительно к конкретной ситуации, решает, как можно снизить риск, потери в случае наступления рисковой ситуации, ищет источники покрытия этого ущерба.

Методы риск-менеджмента достаточно разнообразны. Это связано с неоднозначностью понятия риска и наличием большого числа критериев классификации методов управления рисками.

Во-первых, подходы к управлению рисками можно сгруппировать как методы минимизации негативного влияния неблагоприятных событий следующим образом.

- *Уклонение от риска (избежание риска)* – это набор мероприятий, приводящих к полному избеганию влияния неблагоприятных последствий рисковой ситуации.

Методы этой группы предполагают исключение рисковых ситуаций из бизнеса.

Руководители, использующие такой подход в своей практике, избегают сделок с ненадежными партнерами, клиентами, стараются сузить круг и тех, и других. От услуг неизвестных или сомнительных фирм они, как правило, отказываются. Кроме этого, такие субъекты отказываются и от инновационных, инвестиционных или иных проектов, если те вызывают хоть малейшую неуверенность в их успешной реализации. К примеру, такой стратегии придерживается банк, выдающий кредиты только под конкретный залог.

- *Сокращение (снижение) риска* – это действия, приводящие к уменьшению ущерба. В данном случае фирма принимает риски на себя.

- *Передача (перенос) риска* – это меры, позволяющие переложить ответственность и возмещение возникающего вследствие наступления рисковой ситуации ущерба на другого субъекта.

С другой точки зрения, методы управления рисками можно классифицировать по соотношению времени осуществления управляющих мероприятий и наступления рисковой ситуации.

Передача (трансфер) риска используется как мелкими, так и крупными предприятиями. Причем для первых в качестве гаранта выступают, как правило, крупные компании, а для вторых – органы государственного управления. Такая сделка выгодна как для передающей (трансфер), так и для принимающей стороны (трансфери), благодаря следующим характеристикам подобных сделок:

– потери, которые велики для передающей стороны, могут быть незначительными для стороны принимающей;

– принимающая сторона может обладать лучшими возможностями для сокращения потерь;

– принимающая сторона может находиться в лучшей позиции для контроля хозяйственного риска и предотвращения потерь [2].

При передаче риска заключается соответствующий контракт. К наиболее распространенным из них можно отнести следующие типы соглашений:

1. *Строительные контракты* предполагают передачу всех рисков, связанных с новым строительством, строительной компании. Это могут быть различные сбои при поставках, сложные погодные условия, забастовки и т. д. Несвоевременная сдача объекта, повреждение его конструкции в период строительства влечет за собой соответствующую ответственность одной из сторон. В Гражданском кодексе РФ говорится, что при случайных повреждениях объекта до его сдачи ответственность несет подрядчик. Если такое повреждение произошло вследствие использования недоброкачественных материалов или оборудования, предоставленного заказчиком, то ответственность ложится на заказчика.

2. *Аренда* – достаточно широко распространенный способ передачи риска. В случае передачи имущества в аренду (либо в финансовую аренду – лизинг) некоторые риски, связанные с этим имуществом, полностью или частично остаются на собственнике. Это может быть риск физического повреждения, риск увеличения налогов на имущество, риск снижения коммерческой ценности объекта и т.д. Путем специальных оговорок арендатору может быть передана большая доля рисков. Кроме того, Гражданский кодекс РФ предусматривает полную передачу арендатору риска случайной гибели и риска случайной порчи в момент передачи имущества.

При увеличении срока аренды арендодатель обеспечивает себе постоянный доход на этот период, но при этом увеличивается и уровень риска. Например, трудно предсказать, как в течение длительного промежутка времени будет меняться коммерческая ценность объекта. Для снижения риска в этом случае можно привязать арендную плату к объему продаж арендатора. При этом последний выплачивает фиксированный процент от выручки, но не ниже определенной суммы.

3. *Контракты на хранение и перевозку грузов* обеспечивают передачу транспортной компании рисков, связанных с порчей или гибелью имущества во время его транспортировки. Однако такие риски, как, например, падение рыночной цены продукции из-за транспортной задержки, несет уже само предприятие.

4. *Контракты продажи, обслуживания, снабжения* также предоставляют фирме широкие возможности передачи рисков. Потребитель товара передает риски, связанные с эксплуатацией или наличием дефектов, продавцу на период действия гарантии. Кроме того, между посредниками и производителем может быть достигнуто соглашение о возврате непроданных товаров. Дополнительно к данной группе контрактов можно отнести следующие:

- соглашение о снабжении товаром на условиях поддержания остатка на складе;
- гарантия технического обслуживания и ремонта оборудования при его аренде;
- гарантия поддержания определенных технических характеристик используемого оборудования;
- договоры на сервисное обслуживание техники.

5. *Контракт-поручительство* позволяет должнику переложить часть риска отсутствия средств для возврата долга на поручителя. В данном соглашении участвуют три стороны: поручитель, принципал и кредитор. Поручитель дает гарантию того, что долг принципала будет возвращен независимо от успеха или неуспеха деятельности последнего.

Поручителем выступает физическое или юридическое лицо, но чаще всего это организация, которая специализируется на сделках поручительства. Такое поручительство считается наиболее надежным.

Кредитор, в свою очередь, также передает риск невозврата кредита поручителю.

Выгода принципала заключается в том, что он получает кредит, который не мог бы получить без поручительства.

6. *Договор факторинга* – это финансирование под уступку денежного требования. Он подразумевает передачу кредитного риска. В данном договоре участвуют три стороны: фактор-посредник (банк или иная организация, имеющая лицензию на данный вид деятельности), предприятие-поставщик и предприятие-покупатель. Фактор-посредник покупает у поставщика требования к его клиентам, т.е. дебиторскую задолженность.

Обычно фактор-посредник покупает эти требования в течение нескольких дней, выплачивая 70–80 % требований. Остаток выплачивается после погашения задолженностей.

Выделяют два вида факторинга: открытый и закрытый. При открытом факторинге указывается, что требования переданы фактор-посреднику. При закрытом факторинге поставщик заключает договор с банком, высылая копии счетов по заключенным сделкам, но покупатели об этом не извещаются. Если покупатель не в состоянии оплатить счета в установленные сроки, то поставщик извещает его об уступке требований.

В стоимость факторинговых услуг входят процентная ставка по кредитам (обычно выше учетной процентной банковской ставки) и комиссионные (обычно 0,5–2 % от суммы требований).

7. *Биржевые сделки* снижают риск снабжения в условиях инфляционных ожиданий.

Здесь передача риска осуществляется путем:

- приобретения опционов на закупку товаров, цена на которые в будущем увеличится;
- заключения фьючерсных контрактов на закупку растущих в цене товаров.

Опцион – это документ, где поставщик гарантирует продажу товара по фиксированной цене в течение определенного срока. Опцион является ценной бумагой и может продаваться на вторичном рынке в ходе биржевых сделок. Текущая его цена определяется разницей между суммой, указанной в данном документе, и ценой товара на данный момент, а также от инфляционных ожиданий.

Цена товара, указанная в опционе, как правило, отличается от рыночной на момент продажи опциона. Однако рыночная цена товара в момент поставки обычно превышает указанную в опционе.

То, что опцион может перепродаваться, обеспечивает ряд преимуществ для заказчика:

- фирма может приобрести опцион не только у производителя, но и у временных держателей;

• фирма может приобрести опционы на покупку сырья для производства еще не заказанной продукции; если эти заказы так и не поступят, то фирма сможет продать опцион, избежав таким образом риска неполучения заказа на производимую продукцию.

Другой способ передачи риска через биржевые сделки – использование фьючерсных контрактов. Фьючерс отличается от опциона тем, что:

• заключается между заказчиком и поставщиком с отсрочкой исполнения;

• момент времени исполнения контракта строго фиксирован;

• в контракте может быть предусмотрена «плавающая» цена поставки.

Зарегистрированные на бирже фьючерсы и опционы могут вторично перепродаваться как поставщиком, так и заказчиком. Цена подобных контрактов – самостоятельный предмет биржевой котировки.

Фьючерс позволяет, с одной стороны, снизить уровень инфляционного риска и риска снабжения, с другой стороны – он не лишает возможности отказаться от контракта в случае нахождения более выгодных условий поставки.

Фьючерсный контракт может быть заключен не только как основной договор поставки, но и как резервный в дополнение к соглашению, вызывающему у организации определенные сомнения. При реализации основного контракта фирма продает фьючерс. Это подразумевает, что срок фьючерса должен быть больше, чем срок поставки по основному договору.

Данными способами можно также снизить риск сбыта продукции, приобретая опционы и фьючерсы уже на поставку готовой продукции.

Следует учесть, что трансфер (передача) риска – не самый безопасный и эффективный способ снижения предпринимательского риска. Принимающая сторона, как правило, не имеет средств для снижения уровня риска. Кроме того, у нее может не хватать средств для покрытия потерь, связанных с передачей риска. Следовательно, при использовании этих методов нужно принимать во внимание следующие моменты:

• распределение рисков между передающей и принимающей сторонами должно быть четким и недвусмысленным;

• принимающая сторона должна иметь возможность быстро выполнить все принятые на себя обязательства;

• принимающая сторона должна иметь полномочия для сокращения и контроля риска;

• решение о передаче риска должно приниматься на базе сравнения с аналогичными по надежности методами;

• риск должен передаваться по цене, одинаково привлекательной как для передающей, так и для принимающей стороны.

Различают следующие виды методов управления рисками:

1. *Дособытийные методы* – осуществляемые заблаговременно мероприятия, направленные на изменение существенных параметров риска (вероятность наступления, размеры ущерба). Сюда можно отнести методы трансформации рисков, которые связаны в основном с предотвращением реализации риска. Обычно эти методы ассоциируются с проведением превентивных мероприятий.

2. *Послесобытийные методы* осуществляются после наступления ущерба и направлены на ликвидацию последствий. Эти методы направлены на формирование финансовых источников, используемых для покрытия ущерба. В основном это методы финансирования риска [1].

В графическом виде обе приведенные разновидности представлены на рис. 5.1.

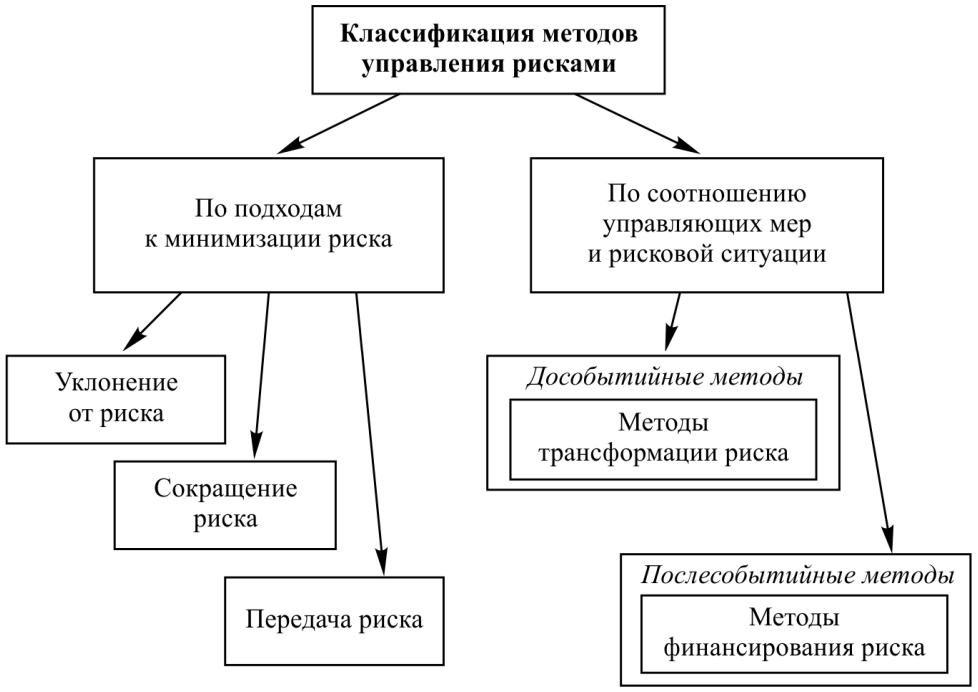


Рис. 5.1. Классификация методов управления рисками

Страхование рисков представляет собой метод управления риском, при котором ответственность за риск переносится на третье лицо. Для этого осуществляется поиск гарантов или страхование предпринимательского риска. Последнее подразумевает отношения по защите имущественных интересов лица при наступлении страхового случая за счет страховых взносов (страховых премий).

Если исключить покрытие потерь из собственных источников организации, то страхование – это наиболее быстрый способ получить возмещение убытков. Однако для данного метода существуют определенные ограничения:

- премия, запрашиваемая страховщиком, может быть слишком высокой;
- некоторые виды рисков могут не приниматься страховщиком к страхованию, например в случае высокой вероятности реализации риска.

Если руководство решает использовать страхование, то необходима разработка комплексной программы защиты, а не единичные обращения в страховую фирму. Структура и состав этой программы сильно зависят от конкретного предприятия и условий, в которых оно функционирует. Тем не менее можно обозначить общие положения страховой программы:

1) страхование имущества и имущественных ценностей (зданий, оборудования, складских запасов и т. д.) от несчастных случаев;

2) страхование грузовых потоков (принимаемых и отправляемых);

3) страхование общегражданской ответственности (например, риск вредного воздействия на окружающую среду), а также ответственности работодателя перед сотрудниками (например, риск получения увечья на рабочем месте);

4) страхование жизни и здоровья персонала.

В том случае, если у предприятия не хватает средств для комплексной страховой защиты, необходимо выделить те риски, реализация которых связана с наибольшими потерями, и застраховать именно их.

Если между страховой компанией и страхователем достигнуто соглашение о размерах возмещения (страховой суммы) и страховых премий, то заключается страховой договор, а страхователь получает специальный документ – страховой полис или свидетельство, в котором, помимо основных реквизитов, указываются:

– реквизиты компании-страхователя и страховщика;

– объект страхования;

– размер страховой суммы;

– страховой риск;

– размеры и порядок уплаты страховых взносов;

– срок действия договора;

– дополнительные условия договора.

При наступлении страхового случая страхователь может запросить дополнительные данные у правоохранительных органов, банков либо других организаций, располагающих информацией об обстоятельствах страхового случая. Кроме того, страхователь может самостоятельно выявить причины наступления этого случая. Если страховой случай не спровоцирован страхователем, а также отсутствуют другие условия, при которых страховая сумма не выплачивается, то страховщик возмещает ущерб, нанесенный страхователю, в пределах зафиксированной в договоре суммы.

Договор страхования в отдельных случаях может пересматриваться. К примеру, если страхователь осуществил какие-либо мероприятия, направленные на снижение вероятности наступления риска или повышение стоимости объекта страхования.

При выборе методов управления риском менеджер формирует антирисковую политику для компании, включающую мероприятия, направленные на снижение степени неопределенности в ее работе. Основные вопросы, на которые необходимо обратить внимание, сводятся к следующим:

- выбор наиболее эффективных методов управления рисками;
- определение влияния выбранной антирисковой политики на совокупный риск в деятельности организации.

По сути, выбор методов управления рисками сводится к расчету экономико-математической модели, где критериями и ограничениями выступают экономические и вероятностные характеристики риска. Кроме этого, на расчетную модель могут влиять и другие ограничивающие факторы, например технические или социальные.

При разработке системы риск-менеджмента менеджер должен учитывать прежде всего принцип ее результативности. Он заключается в том, что управляющие воздействия должны акцентироваться не на все риски, а в первую очередь на те, которые оказывают наибольшее влияние на деятельность компании. Например, в условиях бюджетных ограничений наиболее незначительные риски должны отбрасываться с це-

лью экономии ресурсов (пассивная стратегия). В то же время за счет освобожденных средств проводится интенсивная работа с более серьезными рисками (активная стратегия) [2, 5, 6].

Результатом данного этапа деятельности по управлению рисками будет являться программа управления рисками на предприятии. Она должна включать в себя детальное описание мероприятий, которые необходимо предпринять, ресурсное и информационное обеспечение, критерии определения эффективности программы, распределение ответственности.

5.2. Оценка эффективности управления рисками

На этапе мониторинга результатов и совершенствования системы управления риском должна реализовываться обратная связь в системе управления рисками. Первая задача этой связи заключается в определении общей эффективности функционирования системы в целом. Кроме того, выделяются узкие места и слабые стороны риск-менеджмента на предприятии.

Вторая задача – анализ рисков, реализованных за проверяемый период. При этом следует выявить причины реализации рисков и связанные с этим изменения программы управления риском, если таковые требуются.

Как следует из названия этапа, он направлен не только на наблюдение за процессом риск-менеджмента, но и на выявление тех усовершенствований, которые могут повысить эффективность работы системы управления рисками. Поэтому помимо двух вышеуказанных задач менеджер при реализации данного этапа управления рисками должен обратить внимание на следующие вопросы:

- вклад каждого реализованного мероприятия в общую эффективность системы;
- возможные коррективы в составе этих мероприятий;
- гибкость и эффективность системы принятия решений.

Помимо всего прочего, на данном этапе происходит пополнение информационной базы о рисках. Обновленная информация используется на следующем цикле процесса риск-менеджмента.

Особенностью расчетов эффективности на данном этапе является учет гипотетических потерь. Это связано с тем, что за анализируемый период риски могли вообще не реализовываться, а расходы на функ-

ционирование системы управления рисками компания несет в любом случае. Если учитывать только реальные потери (ущерб от реализации рисков), то в некоторых случаях соотношение потерь и затрат на управление рисками будет говорить о нулевой эффективности работы системы риск-менеджмента. Однако отсутствие потерь может служить свидетельством высокой эффективности системы.

Основная цель оценки эффективности реализованной системы мероприятий заключается в ее адаптации к изменяющейся внешней среде. Достижение этой цели осуществляется прежде всего посредством следующих изменений:

- замена малоэффективных мероприятий более эффективными (в рамках существующих ограничений);
- изменение организации исполнения программы управления риском.

Разработка рекомендаций по уменьшению риска является заключительным этапом анализа риска. В рекомендациях представляются меры по уменьшению риска, основанные на результатах оценок риска.

Меры по уменьшению риска могут иметь технический и (или) организационный характер. В выборе типа меры решающее значение имеет общая оценка действенности и надежности мер, оказывающих влияние на риск, а также размер затрат на их реализацию. На стадии эксплуатации опасного производственного объекта организационные меры могут компенсировать ограниченные возможности по осуществлению крупных технических мероприятий, направленных на уменьшение риска. При разработке мер по уменьшению риска необходимо учитывать, что вследствие возможной ограниченности ресурсов в первую очередь должны разрабатываться простейшие и связанные с наименьшими затратами рекомендации, а также меры на перспективу. В большинстве случаев первоочередными мерами обеспечения безопасности, как правило, являются меры предупреждения аварии. Выбор планируемых для внедрения мер безопасности имеет следующие приоритеты:

1) меры уменьшения вероятности возникновения аварийной ситуации, включающие:

– меры уменьшения вероятности возникновения инцидента;

– меры уменьшения вероятности перерастания инцидента в аварийную ситуацию;

2) меры уменьшения тяжести последствий аварии, которые, в свою очередь, имеют следующие приоритеты:

– меры, предусматриваемые при проектировании опасного объекта (например, выбор несущих конструкций, запорной арматуры);

– меры, относящиеся к системам противоаварийной защиты и контроля (например, применение газоанализаторов);

– меры, касающиеся готовности эксплуатирующей организации к локализации и ликвидации последствий аварий [2, 3].

При необходимости обоснования и оценки эффективности предлагаемых мер уменьшения риска рекомендуется придерживаться двух альтернативных целей их оптимизации:

1) при заданных средствах обеспечить максимальное снижение риска эксплуатации опасного производственного объекта;

2) обеспечить снижение риска до приемлемого уровня при минимальных затратах.

Для определения приоритетности выполнения мер по уменьшению риска в условиях заданных средств или ограниченности ресурсов следует:

– определить совокупность мер, которые могут быть реализованы при заданных объемах финансирования;

– ранжировать эти меры по показателю «эффективность-затраты»;

– обосновать и оценить эффективность предлагаемых мер.

Для внедрения методологии анализа риска в практику обеспечения безопасности с учетом положений технического регулирования необходимо:

1) устранить различие в терминологии анализа риска, имеющееся в нормативных документах по промышленной, пожарной и экологической безопасности, взяв за основу положения РД 03-418–01, ГОСТ Р 51901–2002;

2) активизировать внедрение качественных (инженерных) методов анализа опасностей и совершенствование количественных методик оценки риска, в том числе для типовых сценариев аварий и основных эффектов-явлений (выброс, рассеяние, взрыв, «огненный шар», факельное горение и т.д.); объектов (магистральные трубопроводы, нефтебазы, газонаполнительные станции, объекты нефтегазодобычи, хранилища токсичных веществ и т.д.);

3) обеспечить совершенствование механизмов обучения и подтверждения квалификации специалистов через соответствующие системы аттестации и аккредитации, как это предусмотрено в системе экспертизы промышленной безопасности Ростехнадзора России.

Поспешное установление в технических регламентах и стандартах количественных критериев приемлемого риска в условиях отсутствия единых методических подходов к оценке риска может вызвать трудности при их использовании на практике и тем самым снизить доверие к методологии анализа риска как основы принятия решений по обеспечению безопасности техносферы [2].

Под *идентификацией рисков* понимают выявление рисков, их специфику, обусловленную природой и другими характерными чертами рисков, выделение особенностей их реализации, включая изучение размера экономического ущерба, а также изменение рисков во времени, степень взаимосвязи между ними и изучение факторов, влияющих на них. Этот процесс подразумевает определение следующих моментов:

- источники неопределенности и риска;
- последствия реализации риска;
- источники информации;
- численное определение риска;
- взаимное влияние рисков друг на друга.

На данном этапе прежде всего создается информационная база для реализации дальнейшего процесса управления рисками: сведения о риске и его последствиях, величине экономического ущерба, количественная оценка параметров риска и т.д. Дополнительно следует отметить, что идентификация и анализ риска не являются единовременно выполняемыми действиями. Скорее он представляет собой непрерывный процесс, осуществляемый на протяжении всего алгоритма риск-менеджмента [5, 6].

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Охарактеризуйте метод уклонения от риска.
2. В каких случаях применяют метод удержания риска?
3. Охарактеризуйте метод передачи риска. Какие способы передачи риска существуют?
4. Дайте характеристику метода страхования рисков.
5. На основании чего происходит выбор метода управления риском?
6. Какие существуют способы снижения величины риска?
7. Как оценить эффективность мероприятий по управлению рисками?

8. Какие методы риск-менеджмента предполагают исключение рисковых ситуаций из бизнеса?

9. Какие типы соглашений могут заключаться при заключении сделок по передаче риска?

10. При каком методе управления риском ответственность за риск переносится на третье лицо?

11. Каким принципом прежде всего необходимо руководствоваться при разработке системы риск-менеджмента?

12. В чем заключается основная цель оценки эффективности реализованной системы мероприятий по управлению рисками?

13. Какой характер могут носить меры по уменьшению риска?

14. Какие действия следует предпринять, чтобы определить приоритетность выполнения мер по уменьшению риска в условиях ограниченности ресурсов?

15. Какие действия, кроме выявления рисков, выполняются на этапе идентификации рисков?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Боровкова В., Мокин В., Пирогова О. Экономика недвижимости. – СПб.: Питер-Пресс, 2007 – 416 с.

2. Иванов А.А., Олейников С.Я., Бочаров С.А. Риск-менеджмент: учеб.-метод. комплекс. – М.: ЕАОИ, 2008. – 193 с.

3. Малашихина Н.Н., Белокрылова О.С. Риск-менеджмент. – Ростов н/Д: Феникс, 2004.

4. РД 03-418–01. Методические указания по проведению анализа риска опасных производственных объектов: утв. постановлением Госгортехнадзора от 10.07.01 № 30 / ГУП «Научно-технический центр по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России. – М., 2002.

5. Ступаков В.С., Токаренко Г.С. Риск-менеджмент: учеб. пособие. – М.: Финансы истатистика, 2005. – 288 с.

6. Экономика предприятия. – URL: http://www.univerlib.ru/book/ekonomika-predprijatija-2008-73.html.

Глава 6. УПРАВЛЕНИЕ РИСКАМИ НА ПРЕДПРИЯТИИ

6.1. Риск-менеджмент на предприятии

6.1.1. Цели, законы и принципы риск-менеджмента

Риск-менеджмент можно определить как одно из направлений современного менеджмента, изучающее проблемы управления рисками, возникающими в деятельности самостоятельной хозяйственной организации. В теории и практике риск-менеджмента выделяются три основных направления: первое из них связано с разработкой системы мер, направленных на предупреждение и профилактику рисков; второе направление касается вопросов минимизации негативных последствий, которые могут причинить риски экономической деятельности организации; третье направление связано с возможностью получать в ситуации риска дополнительные доходы или иные коммерческие преимущества путем рационального использования ситуации.

Исходя из этих трех направлений, ***основную цель риск-менеджмента можно определить как обеспечение максимальной эффективности управления рисками хозяйственной организации.*** Эффективность любой деятельности определяется как отношение эффекта, полученного в результате этой деятельности, к затратам, понесенным в процессе ее осуществления. Эффективность риск-менеджмента можно определить по следующей формуле:

$$ЭРМ = Э/З,$$

где ЭРМ – эффективность риск-менеджмента; Э – эффект, полученный в результате управления рисками; З – затраты, понесенные в процессе рискового поведения.

Исходя из общих методологических законов управления можно выделить основные законы и принципы управления рисками.

Наиболее важным законом риск-менеджмента является закон *неизбежности риска*. Его смысл заключается в том, что деятельность любой организации всегда сопровождается рисками, присутствующими в ее внешней или внутренней среде. Этот закон говорит о том, что в условиях современного бизнеса просто невозможно избежать рисков, поэтому их необходимо воспринимать как объективный элемент системы управления.

Вторым законом можно обозначить *закон сочетания потенциальных потерь и выгод*. Он означает, что практически в любых ситуациях риска потенциальная возможность потерь или убытков сочетается с потенциальной возможностью получения дополнительных доходов.

Принцип прогнозирования гласит: в целях повышения эффективности управления рисками, а также снижения уровня затрат и внеплановых потерь руководство организации должно постоянно принимать меры для прогнозирования возникновения рисков. Прогнозирование позволяет заранее подготовиться к возможным негативным явлениям и создать необходимые предпосылки для их локализации или нейтрализации.

В соответствии с ***принципом страхования*** необходимо использовать возможности внешних страховых компаний для обеспечения полного или частичного погашения потерь, связанных с предпринимательскими рисками. Любые новые проекты или рискованные операции, осуществляемые организацией, необходимо заранее страховать. Страховые выплаты, полученные фирмой в случае неудачи, позволят компенсировать понесенные ею убытки частично или в полном объеме.

Принцип минимизации потерь и максимизации доходов требует от руководителя, с одной стороны, рационально использовать имеющиеся в распоряжении организации ресурсы, а с другой стороны – стремиться к повышению доходов за счет грамотной реализации проектов с высокой степенью риска. Это позволит добиться максимальной эффективности не только в управлении рисками, но и в деятельности организации в целом.

Принцип научной обоснованности управления требует сплошного, комплексного изучения всей совокупности факторов, влияющих на деятельность организации. В случае риск-менеджмента для принятия риска необходимо иметь всю совокупность факторов, имеющихся в организации, чтобы принять решение о вхождении в рисковую ситуацию. Без этого принятое решение о риске может оказаться авантюристическим.

Принцип системного подхода к решению управленческих задач требует, чтобы руководитель рассматривал организацию как совокупность взаимосвязанных и взаимодействующих элементов.

Принцип оптимальности управления устанавливает требование достижения целей управления с минимальными затратами времени и средств. С ним неразрывно связан ***принцип гибкости управления***, практическая реализация которого позволяет обеспечить своевременную адаптацию организации к изменяющимся условиям внешней среды [2, 5].

6.1.2. Система управления рисками на предприятии

Управление риском есть процесс идентификации, оценки, отбора и реализации совокупности действий, направленных на снижение величины различных видов рисков.

Целью управления риском является поиск и принятие научно обоснованных, экономически эффективных, интегрированных мер, призванных снизить или предотвратить риск возникновения опасных (негативных) ситуаций с учетом социальных, культурных, этических, политических и правовых особенностей.

При создании системы управления рисками на предприятии необходимо предусмотреть, чтобы она обладала следующими свойствами:

1. *Системный характер* – позволяет принимать комплексное решение с учетом всех взаимосвязей и возможных последствий. В системе управления риском может возникать такая ситуация, когда снижение одного риска может привести к неблагоприятным последствиям в другой области менеджмента, а системный подход позволяет снизить такую зависимость. Поэтому системный подход предполагает учет следующих системных характеристик:

– целостность как необходимость ориентации на общую оценку совокупности рисков и борьбу с негативными последствиями их реализации с учетом их взаимосвязи;

– комплексность как необходимость учета сложности объекта управления (совокупности рисков), включая взаимосвязь между рисками, всевозможные последствия проявления риска и особенности влияния решений на риск;

– способность системы к интеграции новых элементов, т.е. возможность гибкого реагирования всей системы на появление новых рисков, в том числе и порожденных самой системой управления риском.

2. *Сложная структура*. Такое свойство предполагает не только возможность оценки и управления рисками разного порядка и разными по своей природе, но и особенности взаимозависимости между рисками. Это же свойство предполагает изучение характера и степени влияния большого числа факторов на развитие рисковой ситуации. Здесь можно выделить следующие аспекты:

– многофункциональность и универсальность как способность бороться с рисками разной природы и различными последствиями их реализации;

– модульность как возможность использования различных сочетаний процедур управления риском в разных ситуациях;

– многоуровневость, т.е. обеспечение подходящей иерархической структуры принятия решений, которая обеспечивает адекватное распределение полномочий и ответственности.

3. *Высокая результативность*. Это свойство отражает способность системы управления риском к снижению возможностей возникновения негативных последствий риска. Такая система должна оперативно реагировать на изменение внешних и внутренних условий в организации и генерировать и проводить в жизнь действенные решения. Для этого необходимы:

– гибкость и адаптивность как способность приспосабливаться к изменяющимся условиям среды, высокая скорость реагирования, способность быстро справляться с неблагоприятными ситуациями;

– адекватность как соответствие принимаемых решений конкретной ситуации (умение выделять все ресурсы для достижения цели);

– эффективность, т.е. способность преодолевать неблагоприятные последствия при минимальных затратах.

Система управления риском должна являться частью процедур общего менеджмента организации, что означает ее соответствие и подчинение стратегии развития организации и особенностям ее функционирования. Особенности системы управления риском отражаются на ее целях и задачах, что предполагает особо тщательное и ответственное принятие решений в системе управления риском. Главной целью системы управления рисками является обеспечение успешного функционирования компании в условиях риска и неопределенности. Таким образом, программа управления риском является встроенной в общую систему управления и носит подчиненный характер.

При управлении риском следует учитывать внешние и внутренние ограничения. Учет и анализ влияния внешней среды и анализ внутреннего состояния компании особенно необходим при определении возможностей реализации рисков.

1. В отношении всей совокупности рисков должна проводиться единая политика по управлению рисками, что требует комплексного и единовременного управления.

2. Процесс управления рисками носит динамический характер, что связано с непрерывным принятием решений в отношении рисков.

Эти основные принципы управления рисками должны присутствовать в любом случае при принятии решений, при этом их конкретная реализация может быть различной.

Управление рисками на предприятии не является совокупностью моментных процедур, а представляет целый процесс направленных действий.

Процесс управления рисками включает в себя определенный набор этапов. Следует учесть, что в практике эти этапы реализуются не обязательно в строгой последовательности, а могут выполняться и параллельно. Общая схема риск-менеджмента представлена на рис. 6.1.

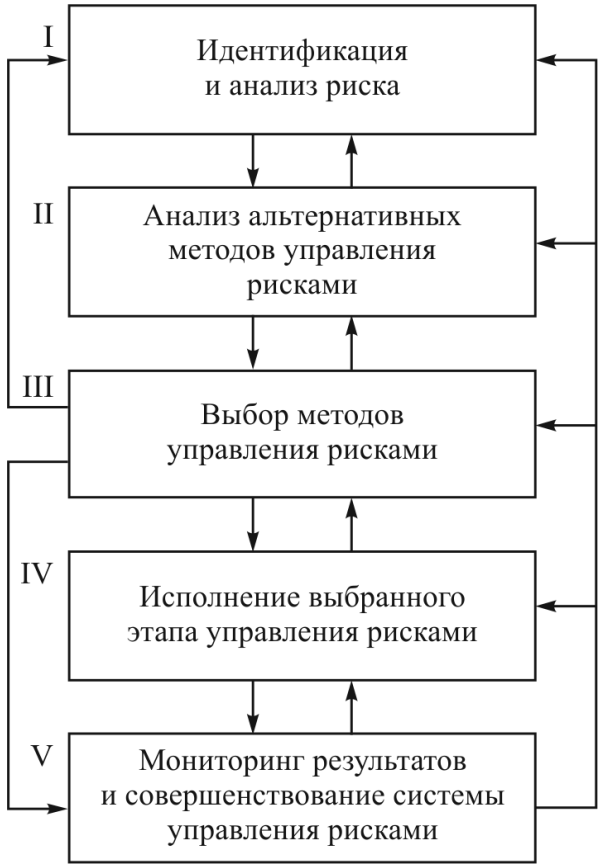


Рис. 6.1. Этапы процесса управления риском

Этап 1. Идентификация и анализ рисков. Он необходим для понимания специфики изучаемой рисковой ситуации. Под идентификацией и анализом рисков будем понимать выявление рисков, их специфику,

обусловленную природой и другими характерными чертами рисков, выделение особенностей их реализации, включение изучение размера экономического ущерба, а также изменение рисков во времени, степень взаимосвязи между ними и изучение факторов, влияющих на них.

Для идентификации и анализа рисков менеджер должен ответить на ряд вопросов:

- В чем источники неопределенности и риска в данной конкретной ситуации?
- С какими ситуациями и с какими негативными последствиями предстоит столкнуться вследствие реализации риска?
- Из каких источников следует получить информацию?
- Каким образом можно численно оценить риск?
- Как различные риски влияют друг на друга?

Специфика данного этапа связана прежде всего с его информационным значением. На этом этапе может быть получена качественная информация о возможности реализации риска и его последствиях, а также даны количественные оценки самого риска, его показателей, величины экономического ущерба и других показателей, необходимых для принятия решений по управлению рисками. Фактически на данном этапе обеспечивается информационная основа для всей процедуры риск-менеджмента.

Часто возникают проблемы анализа экологических рисков, так как зачастую установить причинно-следственную связь между загрязнителем и появлением отдельных эффектов достаточно сложно и становится возможным только тогда, когда под воздействие вредных веществ попадает большая группа населения или когда наступают такие последствия, которые бросаются в глаза своей редкостью и характерными особенностями.

Этап 2. Анализ альтернативных методов управления риском. Основная цель данного этапа заключается в исследовании тех инструментов, с помощью которых можно минимизировать негативные последствия его на деятельность организации. Характер таких инструментов может быть различным, но в целом менеджер должен ответить на следующие вопросы:

- Как можно снизить риск за счет подходящих превентивных мероприятий?
- Как можно снизить экономический ущерб от реализации риска?
- За счет каких источников можно будет покрыть такой ущерб в случае его возникновения?

Этап 3. Выбор методов управления рисками. Этот этап предназначен для формирования политики организации в области борьбы с риском и неопределенностью. Это связано прежде всего с различной результативностью методов управления и разным объемом ресурсов, требуемых для их реализации. Основными вопросами на этом этапе будут следующие:

- Какие методы управления рисками будут наиболее эффективны при данных бюджетных и иных ограничениях?
- Как изменится совокупный риск при реализации выбранной совокупность методов управления рисками?

Выбор методов управления рисками можно рассматривать как проблему оптимизации в условиях ограничений. Критерии выбора могут быть различными, включая финансово-экономические критерии (обеспечение эффективности). Однако при принятии решения о применяемых методах нельзя все сводить к экономической отдаче. Важно учитывать и другие критерии, например технологические или социальные.

Этап 4. Исполнение выбранного метода управления риском. Этот этап предполагает принятие и реализацию частных управленческих и технических решений. Особенности процедур риск-менеджмента проявляются на данном этапе в специфике принимаемых решений, а не в том, как они реализуются. Вопросы, на которые отвечает менеджер по управлению рисками, заключаются в следующем:

- Какие мероприятия необходимо реализовать?
- В какие сроки это должно произойти?
- Какие ресурсы и в каком объеме могут быть потрачены на осуществление данных мер?
- Кто несет ответственность за исполнение принятых решений и контроль за их реализацией?

Этап 5. Мониторинг результатов. Коррекция системы управления рисками. Этот этап призван осуществить обратную связь в указанной системе. Именно он обеспечивает гибкость и адаптивность управления риском и динамический характер этого процесса.

- Менеджер по управлению риском отвечает на следующие вопросы:
- Следует ли считать систему управления риском эффективной в данном конкретном случае?
- Каким образом проявлялись ее слабые места?

- Какие факторы повлияли на реализацию рисков за рассматриваемый период?
- Следует ли на этом основании внести изменения в систему?
- Все ли мероприятия, включенные в программу управления риском, сыграли свою роль?
- Возможны ли были более эффективные меры?
- Была ли система принятия решений относительно рисков достаточно гибкой, не препятствовала ли она конечной цели?

На данном этапе происходит обновление и пополнение информации о рисках. Более полные и свежие данные позволяют на первом этапе в дальнейшем принимать адекватные и своевременные решения. На основе информации о проделанной работе и информации по результатам управления рисками осуществляется оценка эффективности управления.

Серьезной проблемой, связанной с оценкой эффективности принимаемых мер, является то, что большинство экологических рисков, угрожающих здоровью человека и окружающей среде, слишком мало в сравнении с другими рисками, эффекты и последствия которых легко определимы, например: производственные травмы, дорожно-транспортные происшествия, детская смертность, общие уровни раковых заболеваний или появления врожденных дефектов и др.

Риск-менеджеры должны учитывать и косвенные показатели, такие как сокращение промышленных выбросов, уменьшение вредных воздействий пли постепенное убывание биологических признаков, свидетельствующих о подверженности загрязнениям или об уже начавших проявляться эффектах экологической угрозы.

Усилия специалистов, работающих в области управления рисками, должны быть сосредоточены:

- на изучении взаимосвязанности вредных воздействий и тех последствий, которые они вызывают при попадании в организм человека или окружающую среду;
- установлении региональных различий в доминировании той или иной болезни как реакции организма на загрязнения окружающей среды, а также тенденций развития ситуации (увеличение или снижение количества случаев проявления эффектов вредных воздействий) и опасных факторов;
- создании надежной базы данных, объединяющей в единое целое все имеющиеся сведения и позволяющей, например, получить информацию об уровнях заболеваний различного рода с указанием конкретных экологических причин, их вызывающих;

• выявлении наиболее важных экологических причин, вызывающих необратимые изменения в организме человека и ответственных за возникновение серьезных заболеваний [2, 5].

6.2. Российские стандарты в области управления рисками организации

В России, как и в других странах мира, также идет активный процесс разработки и принятия национальных стандартов, регулирующих сферу управления рисками (табл. 6.1).

Таблица 6.1

Национальные стандарты России в сфере менеджмента риска

ГОСТ Р 51897–2002	Менеджмент риска. Термины и определения
ГОСТ Р 51901.1–2002	Менеджмент риска. Анализ риска технологичсеких 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 применеию 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 древа 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
ГОСТ Р ИСО 17666–2006	Менеджмент риска. Космические системы
ГОСТ Р ИСО 14971–2006	Изделия медицинские. Применение менеджмента риска к медицинским изделиям
ГОСТ Р 51609–2000	Изделия медицинские. Классификация в зависимости от потенциального риска применения. Общие требования
ГОСТ Р 51344–99	Безопасность машин. Принципы оценки и определения риска

• **ГОСТ Р 51901.2–2002 «Менеджмент риска. Анализ риска технологических систем»**

Данный стандарт посвящен оценке рисков технологических систем и включает концепции анализа риска, процесс анализа риска, методы анализа риска.

Общая схема процесса управления риском в соответствии с данным стандартом представлена на рис. 6.2.

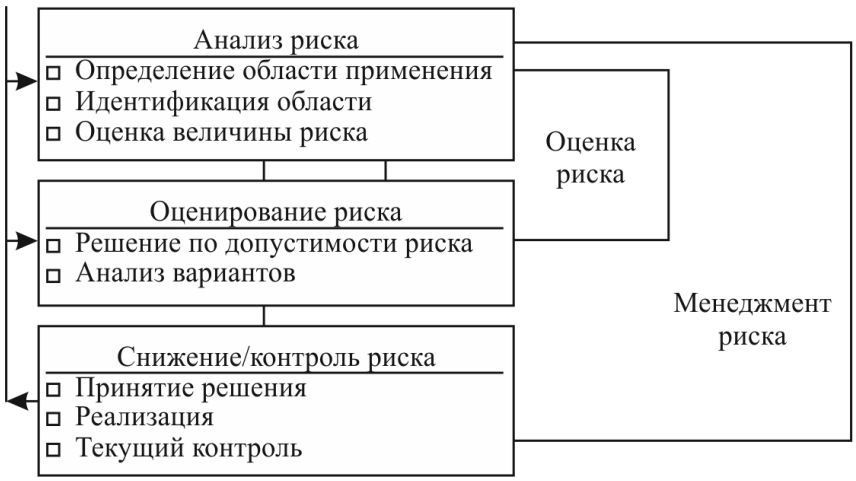


Рис. 6.2. Общая схема процесса управления риском в соответствии со стандартом ГОСТ Р 51901.2–2002 «Менеджмент риска. Анализ риска технологических систем»

Процесс анализа риска осуществляется в соответствии со следующими этапами:

а) определение области применения;

б) идентификация опасности и предварительная оценка последствий;

в) оценка величины риска;

г) проверка результатов анализа;

д) документальное обоснование;

е) корректировка результатов анализа с учетом последних данных.

Данный процесс показан на рис. 6.3. Оценка риска включает проведение анализа частот и анализа последствий. Несмотря на то, что на рис. 6.3 документация изображена в качестве отдельного блока, она разрабатывается на каждой стадии процесса. В зависимости от области применения рассматриваются лишь определенные элементы представленного процесса. Например, в некоторых случаях может оказаться, что нет необходимости выходить за рамки исходного анализа опасности и последствий.

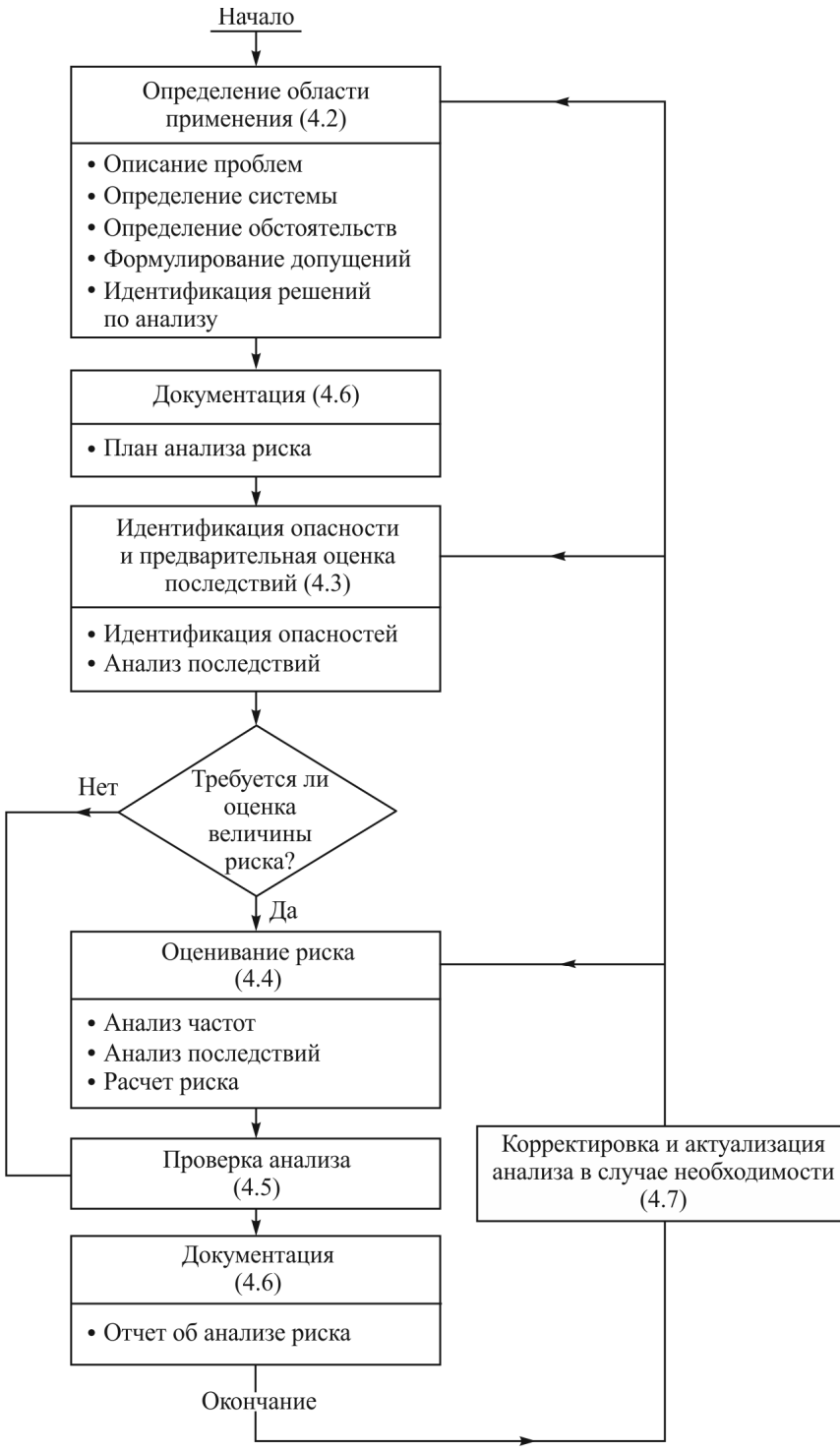


Рис. 6.3. Процесс анализа риска

Для идентификации опасностей применяются формальные методы, описанные в предыдущих главах. Одновременно с идентификацией проводится предварительная оценка последствий для выбора последующих действий.

Величина риска оценивается в соответствии со статистическими данными, при их отсутствии предлагается использовать экспертные методы.

При оценивании риска предлагается использовать матрицу, представляющую собой зависимость между величиной риска и тяжестью последствий (рис. 6.4)

Качественная Серьезность последствия	характеристика частоты события	Частота события в год			
		Катастрофическое	Значительное	Серьезное	Незначительное
Частое	>1	B	B	B	C
Вероятное	$1 – 1^{-1}$	B	B	C	M
Случайное	$1^{-1} – 1^{-2}$	B	B	M	M
Маловероятное	$1^{-2} – 1^{-4}$	B	B	M	M
Неправдоподобное	$1^{-4} – 1^{-6}$	B	C	H	H
Невероятное	$<10^{-6}$	C	C	H	H

Рис. 6.4. Матрица риска: B – высокая величина риска;
C – средняя величина риска; M – малая величина риска;
H – незначимая величина риска

Анализ последствий предусматривает определение результатов воздействия на людей, имущество или окружающую среду в случае наступления нежелательного события. Для расчетов рисков, касающихся безопасности (работающих или неработающих людей), анализ последствий представляет собой приблизительное определение количества людей, которые могут быть убиты, ранены или иметь серьезные поражения в том случае, если произойдет нежелательное событие.

- **РД 03-418–01 «Методические указания по проведению анализа риска опасных производственных объектов»**

Методические указания предназначены для специалистов организаций, осуществляющих проектирование и эксплуатацию опасных производственных объектов, экспертных и страховых организаций, разработчиков деклараций промышленной безопасности и специалистов в области анализа риска.

Процесс проведения анализа риска имеет схожую с вышеописанными стандартами структуру и включает следующие основные этапы:

– планирование и организация работ;

– идентификация опасностей;

– оценка риска;

– разработка рекомендаций по уменьшению риска.

Основные задачи этапа идентификации опасностей – выявление и четкое описание всех источников опасностей и путей (сценариев) их реализации. Результатом идентификации опасностей являются:

– перечень нежелательных событий;

– описание источников опасности, факторов риска, условий возникновения и развития нежелательных событий;

– предварительные оценки опасности и риска.

Идентификация опасностей завершается также выбором дальнейшего направления деятельности.

Для определения частоты нежелательных событий рекомендуется использовать:

– статистические данные по аварийности и надежности технологической системы, соответствующие специфике опасного производственного объекта или виду деятельности;

– логические методы анализа «деревьев событий», «деревьев отказов», имитационные модели возникновения аварий в человеко-машинной системе;

– экспертные оценки путем учета мнения специалистов в данной области.

Оценка последствий включает анализ возможных воздействий на людей, имущество и/или окружающую природную среду. Для оценки последствий необходимо оценить физические эффекты нежелательных событий (отказы, разрушение технических устройств, зданий, сооружений, пожары, взрывы, выбросы токсичных веществ и т.д.), уточнить объекты, которые могут быть подвергнуты опасности.

Разработка рекомендаций по уменьшению риска является заключительным этапом анализа риска. В рекомендациях представляются обоснованные меры по уменьшению риска, основанные на результатах оценок риска. Меры по уменьшению риска могут иметь технический и (или) организационный характер.

Кроме того, стандарт включает требования к оформлению результатов анализа риска в виде отчета, в том числе с рекомендациями по снижению величины рисков.

Для оценки величины риска используется матрица «вероятность – тяжесть последствий» (рис. 6.5).

Частота возникновения		Тяжесть последствий отказов			
		катастрофический отказ	критический отказ	некритический отказ	отказ с пренебрежимо малыми последствиями
Частый отказ	>1	A	A	A	C
Вероятный отказ	$1–10^{-2}$	A	A	B	C
Возможный отказ	$10^{-2}–10^{-4}$	A	B	B	C
Редкий отказ	$10^{-4}–10^{-6}$	A	B	C	D
Практически невероятный отказ	$< 10^{-6}$	B	C	C	D

Рис. 6.5. Матрица риска в соответствии с РД 03-418–01 «Методические указания по проведению анализа риска опасных производственных объектов»: A – обязателен количественный анализ риска или требуются особые меры обеспечения безопасности; B – желателен количественный анализ риска или требуется принятие определенных мер безопасности; C – рекомендуется проведение качественного анализа опасностей или принятие некоторых мер безопасности; D – анализ и принятие специальных (дополнительных) мер безопасности не требуется

- **Международный стандарт ISO 31000**

ISO 31000:2009 является практическим документом, который направлен на оказание помощи организациям в разработке собственных подходов к управлению рисками. Внедряя ISO 31000, организация может сравнить свою практику управления рисками с международным опытом.

Стандарт ISO 31000 «Риск-Менеджмент – Принципы и Руководство» обеспечивает принципы и содержит практическое руководство относительно процесса менеджмента риска; применим ко всем организациям независимо от их типа, размера, вида деятельности и местоположения, и учитывает все типы рисков.

Стандарт содержит концепцию, руководящие указания и описание повторяющегося процесса управления риском в организации любого размера, а также обеспечивает поддержку существующим стандартам,

касающимся управления рисками, которые были приняты ранее и использовались в определенных секторах (безопасность машин, профессиональное здоровье и безопасность, экология, медицина и др.). Стандарт неким образом объединяет все другие стандарты в сфере управления рисками, но не предназначен для сертификации. Однако за рубежом доказательство наличия наилучшей практики управления риском все более и более требуется для заключения, например, договоров страхования.

Стандарт ISO 31000 основан на 10 принципах менеджмента риска:

1. Управление риском должно придать значимость организации.

2. Управление риском должно быть связано с корпоративным управлением.

3. Ответственность за управление риском должна быть сопряжена со стратегическим руководством.

4. Целостный подход. Менеджмент риска должен быть «встроен» в цели организации, стратегическое руководство, рабочую практику и внутреннюю культуру. Он подлежит рассмотрению при выборе приоритета и распределении дохода, должен быть интегрирован в процесс принятия решения на рабочем и стратегическом уровнях.

5. Менеджмент риска – это катализатор для изменений в культуре организации. Эффективное управление риском будет неизбежно оказывать воздействие на культуру, лидерство и инновации в организации, создавая благоприятный климат для решения проблем, налаживания связей, что является существенным для экономического роста организации.

6. Менеджмент риска – не статический, а динамический процесс. Процесс управления риском направлен на достижение целей, определенных в организации. Когда изменяются цели, происходит изменение процесса управления риском. Это непрерывный процесс, который не является установленным «один раз в год».

7. Управление риском должно являться систематическим, последовательным и пропорциональным уровню рисков.

8. Менеджмент риска – это строго ориентированный процесс, который приспособлен к стратегическим целям организации или нуждам определенного проекта, удовлетворяет потребности лиц, принимающих решения, и ожидания заинтересованных сторон исходя из внешнего и внутреннего контекста.

9. Менеджмент риска – это обоснованное решение.

Управление риском должно гарантировать, что все объективные факторы риска рассмотрены и, где возможно, определены количественно прежде, чем организация примет решение по его обработке. Беспристрастный и информированный совет должен быть проверен независимо и везде, где это возможно. Свидетельства необходимо рассмотреть исходя из всего диапазона перспектив для всех вовлеченных сторон.

10. Управление риском является прозрачным и содержательным процессом.

Организационный контекст менеджмента риска

В проекте подчеркивается, что управление риском касается всех действий организации. Это фундамент для контроля среды, в которой она функционирует, и нормального корпоративного управления. По этой причине осуществление эффективного менеджмента риска в организации требует внимательного и тщательного планирования. Управление риском не только предусматривает стратегию для обработки рисков, препятствующих организации в достижении ее целей, но и обеспечивает для организации маневренность в использовании в своих интересах имеющихся возможностей и в реагировании на непредсказуемые опасности.

Процесс менеджмента риска

Управление риском – неотъемлемая часть грамотного менеджмента организации в целом. Это повторяющийся процесс непрерывного ее усовершенствования, который является наилучшим вкладом в существующие практики и бизнес-процессы. Главные процессы менеджмента риска представлены на рис. 6.6.

Поддержание связей и консультации

Необходимо поддерживать коммуникации и консультироваться с внутренними и внешними заинтересованными сторонами в целом и в каждом элементе процесса управления риском. Необходимо вовлечь в диалог все заинтересованные стороны, причем усилия должны быть сосредоточены на консультациях, а не на одностороннем потоке информации от лица, принимающего решение.

Очевидно, что заинтересованные стороны будут делать выводы о риске, основанные на их личном восприятии, которое может меняться из-за различий в ценностях, потребностях, предположениях, понятиях относительно рисков, процессов менеджмента риска, доверия к организации и других проблем. Поскольку эти представления могут иметь существенное воздействие на принимаемые решения, важно, чтобы восприятие риска было идентифицировано, записано и обращено к процессам менеджмента риска.

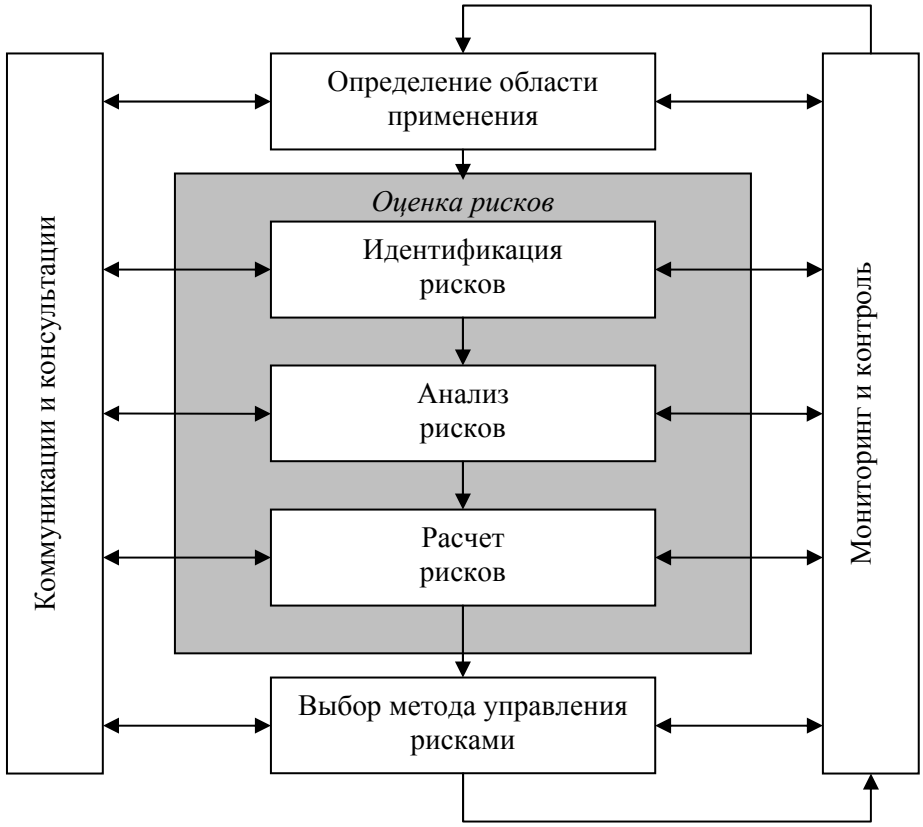


Рис. 6.6. Процессы риск-менеджмента

Установление контекста

Установление контекста определяет основные параметры, в рамках которых должно происходить управление рисками и которые устанавливают возможности для остальной части процесса менеджмента риска. Контекст включает внешнюю и внутреннюю среду организации и цель деятельности по управлению риском.

1. Установление внешнего контекста. Этот шаг определяет внешнюю среду, в которой организация функционирует. Внешний контекст может также включать: социальные, культурные, финансовые, политические и иные регулирующие аспекты; сильные и слабые стороны организации, ее конкурентоспособность; ключевые тенденции на рынках.

2. Установление внутреннего контекста. Понимание внутренней среды организации и внутренних процессов включает изучение внутренних заинтересованных сторон, внутренней организационной структуры; внутренних возможностей людских ресурсов, систем, процессов,

капитала; целей и стратегий. Установление внутреннего контекста важно, в частности, потому, что управление риском имеет место одновременно и в контексте достижения целей организации, и в контексте повседневных ее действий, а также помогает организации сосредоточиться на ее сильных и слабых сторонах для достижения целей, учитывая восприятие и ожидания заинтересованных сторон.

3. Установление контекста менеджмента риска. Область управления риском находится в зависимости от потребностей организации. Например, действия по управлению риском могут затронуть как всю организацию или ее часть, так и лишь отдельные процессы деятельности организации, проекты некоторых типов и т.д.

4. Разработка критериев риска. Необходимо определить критерии, относительно которых риск подлежит оцениванию на базе контекста. Решения относительно того, требуется ли обработка риска, могут базироваться на критериях эксплуатационного, технического, финансового, юридического, социального, экологического, гуманитарного и иного характера. Критерии могут также ориентироваться на восприятие заинтересованных сторон, законодательные и иные регулирующие требования. Важными критериями риска, которые необходимо рассмотреть, являются: последствия, которые подлежат учету, и то, как они будут измерены; каким образом будет определена вероятность; как должен быть определен уровень риска; какой уровень риска может требовать обработки.

5. Определение структуры остальной части процесса. Этот шаг включает выполнение обзора предложенной структуры в пределах характеристик риска и его контекста относительно отдельных подразделений.

Идентификация риска

Идентификация риска включает идентификацию источника риска, события и потенциальных последствий (если возможно, идентификация риска может также рассмотреть возможность управления риском). При этом необходимо получить ответы на довольно простые вопросы: что может случиться, когда, где, как и почему. Цель состоит в том, чтобы выявить исчерпывающий список источников рисков и событий, которые могут иметь воздействие на достижение каждой из целей, идентифицированных в контексте. При этом важно, чтобы лица, вовлеченные в идентификацию источников рисков, были хорошо осведомлены о детальных аспектах источника и причин риска. Идентификация источников рисков может также потребовать образного мышления и наличия соответствующего опыта. Как следует из проекта, идентифицировав

событие, которое может произойти, необходимо рассмотреть возможные причины и сценарии последствий. Важно, чтобы никакие существенные причины не были упущены. Выбор подходов, используемых для идентификации («мозговой штурм», сценарный анализ, анализ систем и т.д.), будет зависеть от характера рассматриваемых действий, типа риска, организационного контекста и цели.

Анализ риска

Результатом процесса анализа должно явиться достаточно детальное понимание уровня риска и его характера для последующей обработки. Риск анализируется путем комбинации последствий и их вероятности. В большинстве случаев должен быть принят во внимание существующий контроль.

Источниками информации для анализа рисков могут быть предыдущие записи, практика и соответствующий опыт; тематическая литература; маркетинговые исследования; результаты публичных консультаций; эксперименты и опытные образцы; экономические, проектные и другие модели; экспертные суждения. Что касается используемого метода анализа, то на его выбор будут влиять соответствующий контекст, цели, доступные ресурсы и текущее состояние знаний. Среди используемых методов – интервью с экспертами в соответствующей области, использование междисциплинарных групп экспертов, индивидуальные оценки с применением анкетных опросов, использование моделирования. При этом в зависимости от обстоятельств анализ риска может быть (по мере снижения сложности и затрат): качественным, полуколичественным, количественным или комбинированным.

Оценивание риска

Оценивание риска состоит в том, чтобы принять решения, основанные на анализе риска, об обработке необходимых рисков и приоритетах такой обработки. Оценивание риска включает сравнение уровня риска, определенного в процессе анализа, с критериями риска, установленными, когда рассматривался контекст. В некоторых случаях оценивание риска может иметь результатом решение о дальнейшем анализе или об отказе в обработке риска, учитывая существующий контроль.

Обработка риска

Включает идентификацию диапазона вариантов для обработки рисков, оценку этих вариантов, подготовку и выполнение планов обработки. Отбор самого адекватного варианта обработки является балан-

сированием затрат осуществления каждого из вариантов относительно выгод, полученных в результате его реализации. В целом надо учесть, что стоимость управления рисками должна быть соразмерна полученным выгодам. Следует иметь в виду, что организация может извлечь выгоду и посредством комбинации вариантов. Примером может быть эффективное использование контрактов и определенных обработок риска, поддерживаемых соответствующим страхованием. При этом, если бюджет для обработки риска ограничен, план обработки должен ясно идентифицировать порядок приоритетов, в котором обработка риска выполняется. Цель планов обработки документировать процесс, используемый для выполнения выбранных вариантов.

Остаточный риск – это риск, который остается после того, как варианты обработки были идентифицированы, а планы обработки осуществлены.

Наряду с этим в данную категорию включают также весь неидентифицированный (нераспознанный) риск. Важно, чтобы все заинтересованные стороны и лица, принимающие решения, знали о характере и степени остаточного риска. Поэтому он должен быть задокументирован, подвергнут мониторингу и анализу.

Мониторинг и обзор

Выполнение регулярного обзора является существенным для того, чтобы гарантировать, что план обработки продолжает оставаться уместным и адекватным. Могут измениться факторы, затрагивающие вероятность и последствия риска, обработанный риск или стоимость обработки. Каждая стадия процесса менеджмента риска должна быть зафиксирована документально, в том числе выдвинутые предположения, применяемые методы, источники данных, анализы, результаты и причины принятых решений. Записи процессов важный фактор успешного корпоративного управления. Решения относительно создания и объема записей должны принять во внимание юридические и деловые потребности в них, стоимость их создания и поддержания в рабочем состоянии, выгоды от многократного использования информации [23, 51].

В конце 2009 года вышел стандарт ISO 31010 «Техники оценки риска». Наряду с базовой версией ISO 31000, он пополняет пакет документов, определяющих терминологию, техники оценки, анализа и управления рисками на предприятиях и организациях.

В стандарте приведены примеры методик (техник) к использованию для идентификации и оценки риска и их описание: мозговой штурм, структурированные интервью, метод Дельфи, чек-листы, HACCP, оценка экологических рисков, «Что, если» техника, сцениро-

вание, анализ влияния на бизнес, анализ причин отказов, причинно-следственный анализ и ряд других (всего 31) техник и аналитических инструментов (прил. 1) [42, 57, 58].

Таким образом, стандарт серии ISO 31000 не только содержит практическое руководство относительно процесса менеджмента риска, но и предлагает конкретные методы, которые могут применяться на различных этапах оценки риска на предприятии.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Сформулируйте основные цели риск-менеджмента на предприятии.
2. Перечислите основные принципы управления рисками.
3. Что включает в себя процесс управления рисками?
4. Какими свойствами должна обладать система управления рисками в организации?
5. Охарактеризуйте основные этапы управления рисками на предприятии.
6. Какие российские стандарты в области риск-менеджмента вы знаете? Назовите основные области их применения.
7. Нарисуйте и опишите схему управления рисками в соответствии с международным стандартом ISO 31000.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ Р 51901.2–2002. Менеджмент риска. Анализ риска технологических систем. – М.: Стандартинформ, 2002.

2. Макарова Н.Н. Риск-менеджмент (методология управления рисками в организации): учеб. пособие. – Томск: Изд-во Томск. политехн. ун-та, 2009. – 88 с.

3. РД 03-418–01. Методические указания по проведению анализа риска опасных производственных объектов: утв. постановлением Госгортехнадзора от 10.07.01 № 30 / ГУП «Научно-технический центр по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России. – М., 2002.

4. Стандарт ISO 31000: 2009. Риск-Менеджмент – Принципы и руководства / ISO Technical Management Board Working Group (Группа технического руководства) по управлению рисками. – 2009.

5. Принципы риск-менеджмента. – URL: http://www.risk-manage.ru/likbez/laws/principy/

МОДУЛЬ 4. ИНФОРМАЦИОННОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Глава 7. ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ РИСКА

7.1. «ПДВ-ЭКОЛОГ» (версия 4.35, вариант «Локальный»)

Программа предназначена для разработки и формирования таблиц проекта нормативов предельно допустимых выбросов (ПДВ) предприятия.

Программа выполняет следующие функции:

– формирование таблиц проекта нормативов предельно допустимых выбросов (ПДВ) предприятия;

– формирование плана-графика контроля за выбросами предприятия с автоматическим расчетом категории источника и определением необходимой периодичности контроля;

– моделирование природоохранных мероприятий;

– определение перечней источников выброса и загрязняющих веществ, подлежащих государственному учету и нормированию;

– расчет категории предприятия по его воздействию на атмосферный воздух. При этом для определения наиболее значимых категорий используются результаты расчета рассеивания, выполненные в УПРЗА «Эколог» (рис. 7.1).

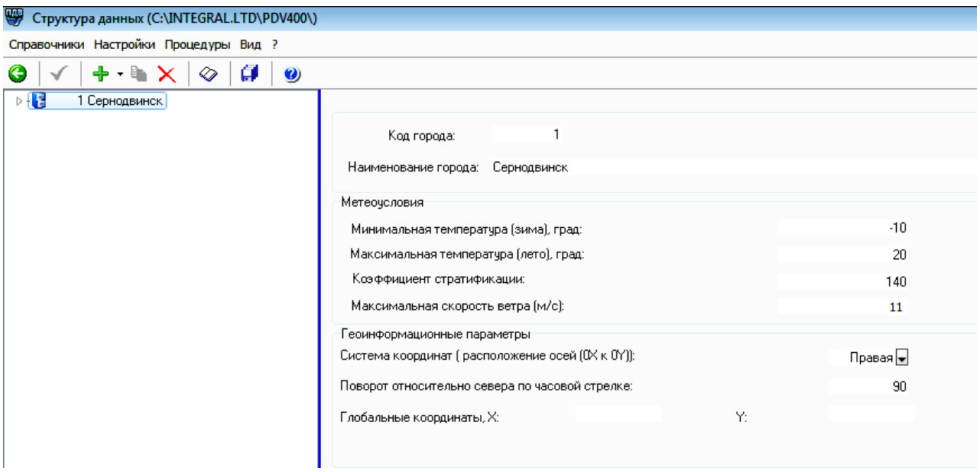


Рис. 7.1. Программа «ПДВ-Эколог»

При совместном использовании с унифицированной программой расчета загрязнения атмосферы (УПРЗА) «Эколог» программа позволяет произвести расчет величин приземных концентраций загрязняющих веществ, выбрасываемых предприятием, с целью:

– оценки эффективности запланированных мероприятий;

– формирования таблиц ПДВ, в которых используются рассчитанные величины приземных концентраций загрязняющих веществ.

Таблицы строятся программой в формате Microsoft Excel, что обеспечивает возможность их удобного форматирования и редактирования. Перед печатью каждая таблица открывается во встроенном редакторе.

Программа может использовать исходные данные, подготовленные другими программами серии «Эколог».

В программе используются следующие нормативно-методические документы:

- Рекомендации по оформлению и содержанию проекта нормативов ПДВ в атмосферу для предприятия (Госкомприрода. М., 1992).
- Методическое пособие по расчету, нормированию и контролю выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух (СПб., 2005).
- Приказ Минприроды России от 20 мая 2010 г. № 173 «О внесении изменений в Административный регламент Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору по исполнению государственной функции по выдаче разрешений на выбросы, сбросы загрязняющих веществ в окружающую среду, утвержденный приказом Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 31 октября 2008 года № 288».
- Приказ Минприроды России от 31 декабря 2010 г. № 579 «О порядке установления источников выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух, подлежащих государственному учету и нормированию, и о перечне вредных (загрязняющих) веществ, подлежащих государственному учету и нормированию».

В соответствии с рекомендациями НИИ «Атмосфера» и приказом №173 от 20 мая 2010 года в программу введена возможность формирования соответствующих отчетных печатных форм только для веществ и источников, подлежащих нормированию.

В программе полностью переработан модуль формирования списка веществ, подлежащих нормированию в соответствии с приказом №579 от 31 декабря 2010 года.

Программа обеспечивает работу с вариантами источников выброса и выделения, которые могут учитывать нестационарность их работы. Наличие вариантов источников выбросов учитывается при формировании отчетных форм.

7.2. УПРЗА «Эколог 3.0»

7.2.1. Назначение программы

Унифицированная программа расчета загрязнения атмосферы (УПРЗА) «Эколог» (версия 3) реализует положения «Методики расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий (ОНД-86)» Госкомгидромета. В зависимости от модификации программы реализуются также Приложение II к указанной «Методике...» (учет застройки и расчет на различных высотах) и «Отраслевая методика расчета приземной концентрации загрязняющих веществ, содержащихся в выбросах компрессорных станций магистральных газопроводов». Программа позволяет по данным об источниках выброса веществ и условиях местности рассчитывать разовые (осредненные за 20–30-минутный интервал) концентрации веществ в приземном слое при неблагоприятных метеорологических условиях.

7.2.2. Основные функциональные возможности программы

Вредные вещества и группы суммации. Рассчитываются приземные концентрации как отдельных веществ, так и групп веществ с суммирующимся вредным действием. Суммарное количество веществ и групп суммации в одном расчете не ограничено.

Типы источников выброса. В расчетах могут быть учтены нагретые и холодные выбросы точечных, линейных и площадных источников. Площадные источники могут быть трех типов:

– с выбросом со сплошной поверхности, для которых нельзя указать полного набора характеристик газовоздушной струи: скорости и объема выходящих газов, диаметра устья источника (например, пруды-испарители, пылящие поверхности и т.п.);

– с выбросом со сплошной поверхности, для которых выброс по каждому веществу может иметь несколько (до пяти) значений в зависимости от наблюдаемой скорости ветра;

– описывающие выбросы из многих мелких точечных источников (например, печных труб в поселке);

– описывающие выбросы от автомагистралей.

Общее число источников выбросов практически не ограничено.

Варианты параметров источников. Каждый источник выбросов может иметь несколько вариантов исходных параметров.

Учет влияния рельефа. Учитывается влияние рельефа на рассеивание веществ (с помощью введения поправок на рельеф для источников в соответствии с ОНД–86).

Учет фоновых концентраций. Учитывается фоновая концентрация веществ, дифференцированная по скоростям и направлениям ветра и по расположению постов наблюдений за фоном. При этом программа позволяет оценить фоновое загрязнение воздуха без учета вклада отдельных источников, что упрощает расчет загрязнения воздуха для реконструируемых предприятий.

Определение границ нормативных санитарно-защитных зон. Имеется возможность построения нормативных санитарно-защитных зон (СЗЗ) предприятия, а также задания охранных и производственных зон.

Занесение карты-схемы предприятия. Встроенный редактор позволяет занести и редактировать карту-схему предприятия и местности, на которую будут нанесены результаты расчета рассеивания. ***Варианты расчета.*** Расчет по предприятию может иметь несколько вариантов, существует возможность проведения расчета с минимальным заданием исходных данных.

Расчетные области. Расчеты ведутся на задаваемом пользователем множестве точек на местности, которое может включать в себя:

– узлы прямоугольных сеток в нескольких прямоугольных областях;

– отдельно заданные точки и точки, описывающие СЗЗ предприятия, границы зданий и особых зон. Общее количество расчетных областей практически не ограничено.

Результаты расчетов. Выдаются значения приземных концентраций в расчетных точках в мг/м или в долях ПДК. Эти значения сведены в специальные таблицы.

Карты рассеивания. Выдаются карты изолиний приземных концентраций вредных веществ на местности в любом задаваемом пользователем масштабе. Масштаб вывода карт также может выбираться автоматически с учетом удобства пользования картой (рис. 7.2).

Точки максимальных концентраций. Программой могут быть автоматически определены точки с максимальной концентрацией загрязняющих веществ.

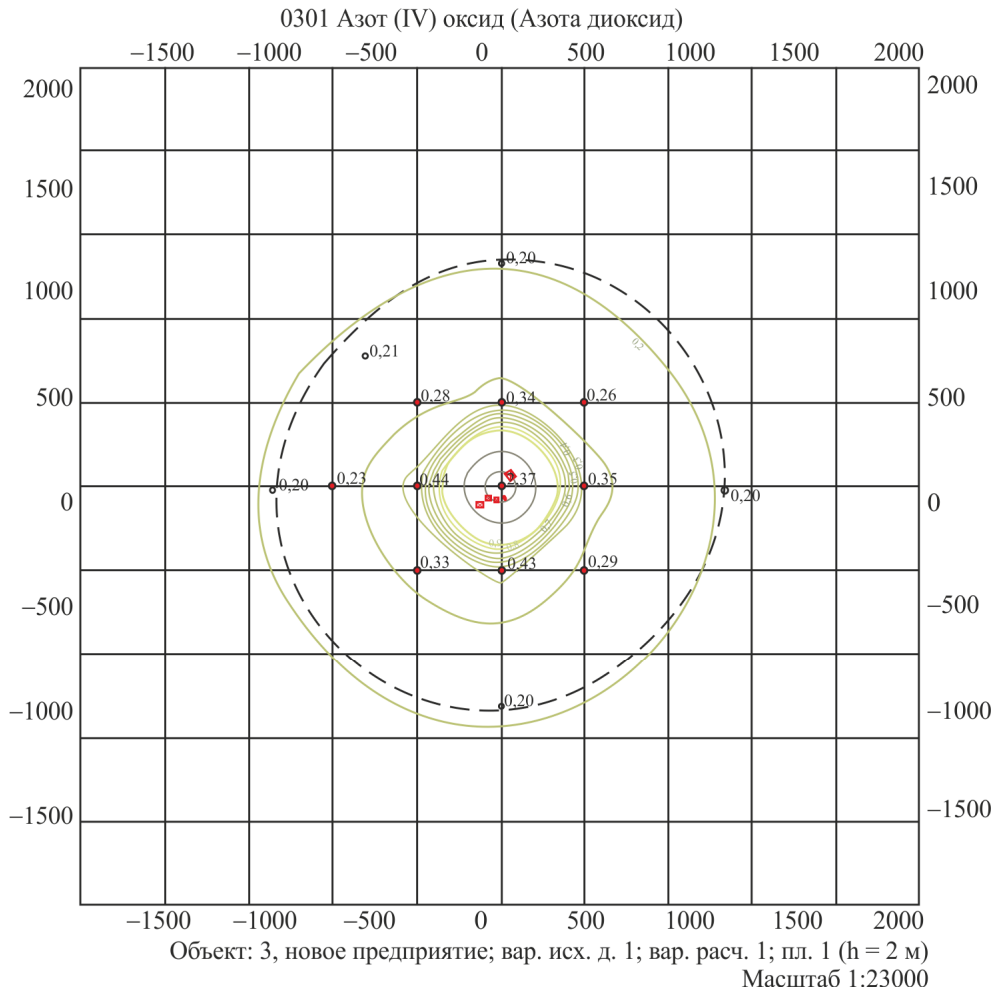


Рис. 7.2. Карта рассеивания по оксиду азота, выполненная в программе «Эколог»

Источники, дающие наибольшие вклады. Программа может найти источники, дающие наибольшие вклады в загрязнение атмосферы как в целом по предприятию, так и из задаваемого пользователем множества.

Печать отчетов производится как на принтер, так и в файл. Объем отчета регулируется пользователем.

Совместимость с другими программами. УПРЗА «Эколог» позволяет подключать другие программы серии «Эколог» для совместной работы.

Совместимость с предыдущими версиями УПРЗА «Эколог». Существует возможность приема данных, подготовленных в более ранних версиях программы (начиная с версии 2.0 и выше).

7.2.3. Модификации программы

УПРЗА «Эколог» (версия 3) существует в следующих вариантах:

Базовый. Программа предоставляет все возможности, описанные в подразд. 7.2.2.

Стандарт. Программа предоставляет следующие дополнительные возможности:

– возможность рисования топоосновы по растровой подложке;

– расширенные возможности графического блока, позволяющие заносить и передавать для последующего расчета выбросов информацию о дорожно-транспортной сети.

– совместимость (импорт) топоосновы со следующими графическими форматами: AUTOCAD dxf, mid/mif, shp;

– передача данных об источниках и полях расчетных концентраций в программы ArcInfo, AUTOCAD, MapInfo и других в виде слоя векторного формата.

Газ. Программа обладает всеми возможностями УПРЗА «Эколог» (вариант «Стандарт») и дополнительной возможностью расчета концентраций от труб компрессорных станций магистральных и других газопроводов, а также подземных хранилищ природного газа.

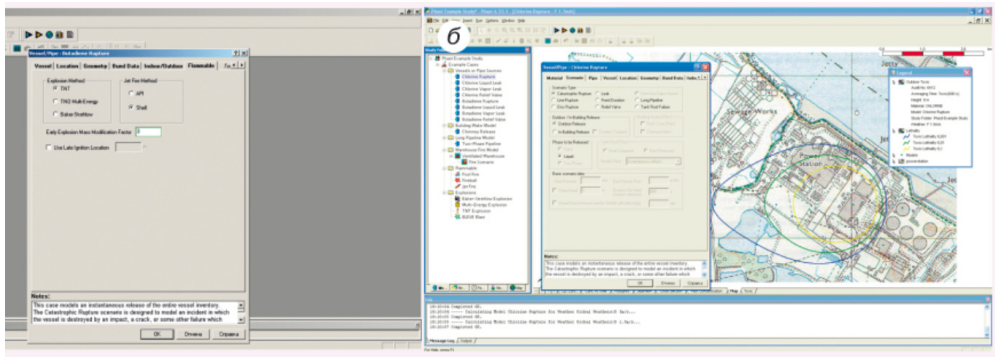
Любой вариант программы может быть укомплектован одним из двух расчетных модулей:

- стандартный расчетный модуль, позволяющий производить расчет рассеивания загрязняющих веществ в приземном слое без учета влияния застройки;
- расчетный модуль, позволяющий учитывать влияние застройки на рассеивание загрязняющих веществ, а также производить расчет концентраций загрязняющих веществ на различных высотах.

Глава 8. ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ РАСЧЕТА КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ РИСКА

8.1. Программа PHAST и SAFETI

Программный продукт PHAST (интерфейс представлен на рис. 8.1) и его версия для оценки риска SAFETI (PHAST RISK), разработанные международной фирмой Det Norske Veritas (DNV), широко используются для количественной оценки риска в нефтегазовой и химической промышленности более 20 лет. В настоящее время число пользователей PHAST – свыше 450 организаций во всем мире, SAFETI (PHAST RISK) – свыше 150. В России программные продукты DNV впервые появились в результате реализации проекта ТАСИС «Поддержка усилий МЧС России по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций и повышению готовности» (2000–2001 годы, FINRUS 9806). В России программы DNV успешно применялись для разработки деклараций промышленной безопасности, паспортов безопасности опасных объектов и другой проектной документации. Также PHAST используется для количественной оценки последствий ситуаций, которые представляют потенциальный риск для жизни, имущества и окружающей среды. В число таких последствий входят выбросы из сосудов, труб, рассеивание в атмосфере, а также пожары, излучения, взрывы и токсичные воздействия. База данных программы содержит характеристики более чем 1500 химикатов. Возможно моделирование выбросов во времени.



а *б*

Рис. 8.1. Интерфейс PHAST: *а* – окно ввода параметров расчета; *б* – зоны поражения на плане опасного производственного объекта

Основные характеристики PHAST и SAFETI

Программы позволяют рассмотреть широкий спектр исходных аварийных событий: катастрофический разрыв корпуса, течь, обрыв трубопровода, работу предохранительных клапанов и мембран.

Программы дают возможность рассмотреть широкий спектр опасных воздействий: взрывы ТВС, BLEVE, пожар-вспышка, огненная струя, пожар пролива, токсическое воздействие.

Ядром программ является универсальная модель распространения примеси в атмосфере (UDM), разработанная DNV, позволяющая учитывать большое число явлений: нестационарный характер истечения и распространения, особенности распространения тяжелого и легкого газа, теплообмен с окружающей средой, в том числе и двухфазной примеси, кинетическую энергию истечения и ряд других существенных процессов.

При моделировании конкретных явлений – взрывов ТВС, огненной струи, пожара вспышки, BLEVE, испарения проливов, истечения и т.д. – широко используются признанные в мире модели, разработанные такими авторитетными организациями, как API, SHELL, BP, TNO. В ряде случаев имеется возможность выбора моделей, например для моделирования взрывов ТВС и огненной струи.

Программа позволяет работать с большим количеством веществ, а также вносить в базу данных новые вещества и смеси.

С помощью программы PHAST можно оценить распределения интенсивности различных поражающих факторов в пространстве для набора фиксированных аварийных сценариев (рис. 8.1).

Программа SAFETI используется для определения основных количественных показателей риска для человека: поля потенциального территориального риска, кривых возможных потерь (F-N кривые), величину коллективного риска с учетом вероятности реализации различных сценариев аварии в зависимости от вида выброса и свойств вещества, распределения скорости ветра и параметров устойчивости атмосферы с учетом направления ветра, распределения населения и источников зажигания.

В программных продуктах PHAST для оценки масштабов последствий аварий использованы широко известные в мире методики для отдельных явлений: взрывов топливно-воздушной смеси, огненных шаров и струй (в основном разработанных фирмами Shell и TNO). Для этих методик накоплено большое количество материалов по теоретической базе и верификации с экспериментальными данными.

Результаты, полученные при использовании PHAST и SAFETI, могут быть использованы для различных целей:

– при составлении программ сокращения расходов, обусловленных убытками и страхованием;

– при планировании деятельности по обеспечению промышленной безопасности и охране окружающей среды;

– при составлении планов ликвидации и реагирования при аварии;

– при планировании использования земельных участков (размещение технологического и аварийного спасательного оборудования, товарно-сырьевой базы);

– при управлении жизненным циклом предприятия.

8.2. ТОКСИ+

Программный комплекс ТОКСИ+ (и его версия ТОКСИ+ Risk для оценки риска), разработанный специалистами ЗАО «НТЦ ПБ» успешно используют более 250 крупных российских и зарубежных организаций нефтегазового профиля и организаций, специализирующихся в области анализа риска. Интерфейс программного комплекса ТОКСИ+ Risk представлен на рис. 8.2. В ТОКСИ+ запрограммированы действующие российские методики Ростехнадзора и МЧС России для расчета последствий аварий и оценки показателей риска, в том числе и пожарного, с возможностью расчета времени эвакуации.

Список модулей, реализованных в программном комплексе ТОКСИ:

1. РД-03-26–2007. Методические указания по оценке последствий аварийных выбросов опасных веществ (утв. Приказом Ростехнадзора № 859 от 14.12.07 г.). Алгоритм оценки последствий аварий, приведенный в методических указаниях, основан на модели «тяжелого газа» и позволяет рассчитывать:

– количество поступивших в атмосферу ОВ при различных сценариях аварии;

– пространственно-временное поле концентраций ОВ в атмосфере;

– размеры зон химического заражения, соответствующие различной степени поражения людей, определяемой по ингаляционной токсодозе, в том числе с учетом времени накопления токсодозы (с учетом пробит-функции);

– размеры зон дрейфа пожаровзрывоопасных облаков, в пределах которых сохраняется способность к воспламенению, и размеры зон

распространения пламени (пожара-вспышки) или детонации, появления горячих продуктов;

– количество ОВ в облаке, ограниченном концентрационными пределами воспламенения.

2. Методика оценки последствий химических аварий (ТОКСИ. Редакция 2.2, 2001 год). Данная методика предназначена для расчета последствий выброса «легких газов» и позволяет определить количество ОВ, поступившего в атмосферу в результате аварии, пространственно-временное распределение ОВ в атмосфере и зоны поражения людей при аварийных выбросах опасных химических веществ.

3. РД 03-409–01. Методика оценки последствий аварийных взрывов топливно-воздушных смесей (с изменениями и дополнениями). Утверждена постановлением Госгортехнадзора России № 25 от 26.06.2001 г. Данная методика позволяет провести оценку различных параметров воздушных ударных волн и определить степени поражения людей и повреждения зданий при авариях со взрывами топливно-воздушных смесей (ТВС).

4. ГОСТ Р 12.3.047–98. Пожарная безопасность технологических процессов. Утвержден Госстандартом России от 01.01.1998 г. Данная методика позволяет провести оценку зон действия опасных факторов с использованием методик, входящих в состав ГОСТ Р-12.3.047–98.

5. ПБ 03-591–03. Правила устройства и безопасной эксплуатации факельных систем.

6. ОНД–86. Методику расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий.

7. Методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах (утв. приказом МЧС 10.07.09 г. №404).

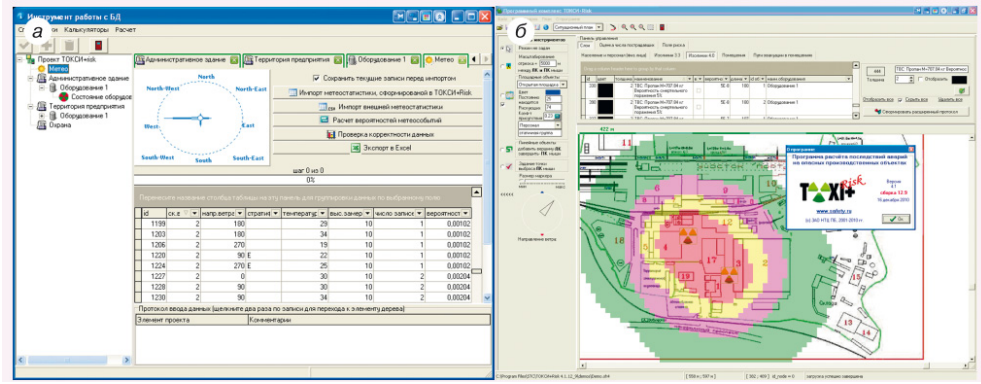
8. Методика определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различного класса функциональной пожарной опасности (утв. Приказом МЧС 30.06.09 г. № 382).

Программа позволяет определить:

– количество поступивших в атмосферу ОХВ при различных сценариях аварии;

– пространственно-временное поле концентраций ОХВ в атмосфере;

– размеры зон химического заражения, соответствующие различной степени поражения людей, определяемой по ингаляционной токсодозе.



а *б*

Рис. 8.2. Интерфейс ТОКСИ+ Risk:
а – работа с массивами метеостатистики;
б – управляющая оболочка в режиме построения поля риска

Таблица 8.1

Основные возможности программных продуктов ТОКСИ и PHAST

Основные возможности	ТОКСИ +Risk	ТОКСИ+	PHAST RISK	PHAST
Расчет последствий отдельных сценариев аварий				
Оценка последствий аварийных выбросов токсичных веществ с учетом дрейфа облака	+	+	+	+
Оценка последствий аварийных выбросов горючих веществ с учетом дрейфа облака	+	+	+	+
Расчеты для опасных веществ в жидкой и газовой фазе	+	+	+	+
Расчеты для частичного и полного разрушения оборудования	+	+	+	+
Расчеты для газов как легче, так и тяжелее воздуха	+	+	+	+
Расчет последствий пожара-вспышки	+	+	+	+
Расчет интенсивности теплового излучения от факельного горения	+	+	+	+
Расчет факторов поражения ударной волной от физических взрывов	–	–	+	+
Оценка термического воздействия при пожарах пролива легковоспламеняющейся жидкости	+	+	+	+

Продолжение табл. 8.1

Основные возможности	ТОКСИ +Risk	ТОКСИ+	PHAST RISK	PHAST
Оценка последствий взрывов топливно-воздушных смесей	+	+	+	+
Расчет интенсивности теплового излучения и времени существования огненного шара	+	+	+	+
Расчет факторов поражения ударной волной от огненного шара	–	–	+	+
Оценка максимального количества опасного вещества в облаке, ограниченном концентрационными пределами воспламенения	+	+	+	+
Нанесение зон поражения на план местности	+	+	+	+
Использование в качестве подложки ситуационного плана растровых и векторных форматов графики (bmp, jpg, wmf, AutoCAD)	+	+	+	+
Нанесение большого количества векторных слоев реципиентов с привязкой к местности	+	+	+	+
Расчет числа пострадавших	+	+	+	+
Программный подбор наиболее опасного направления ветра (с наибольшим числом пострадавших)	+	+	–	–
Построение графиков изменения значений физических величин в ходе процесса	+	+	+	+
Задание виртуальных датчиков концентраций в пространстве	+	+	+	+
Анимация процесса распределения облака газа	+	+	+	+
Экспорт результатов в формате MS Word по пользовательским шаблонам (в виде, максимально приближенном к российским требованиям)	+	+	–	–
Расчет показателей риска				
Построение поля потенциального риска (контуров риска)	+	–	+	–
Оценка индивидуального риска гибели людей в производственных зданиях при пожаре (расчет вероятности эвакуации)	+	–	–	–

Окончание табл. 8.1

Основные возможности	ТОКСИ +^{Risk}	ТОКСИ+	PHAST RISK	PHAST
Оценка показателей риска для наружных установок	+	–	+	–
Построение *F*/*N*-кривой	+	–	+	–
Учет реальных массивов метеоданных	+	–	+	–

На рис. 8.3 представлены рассчитанные по PHAST и ТОКСИ+ зоны с нижним концентрационным пределом воспламенения (НКПВ) 1 и 0,5 НКПВ 2. Распределения концентраций приведены для максимальных размеров облаков. Как видно, распределение концентраций по PHAST имеет более плавный вид, но максимальные размеры облаков в границах НКПВ и 0,5 НКПВ, рассчитанные по обеим программам, находятся в удовлетворительном согласии. Стоит отметить, что форма облака, схожая с приведенной на рис. 8.3, *б*, также получается по модели рассеяния Shell [14] и хорошо согласуется с экспериментальными данными по рассеянию пропана Health and Safety Laboratory (HLS) [15]. При скорости ветра 2 м/с дальность дрейфа, рассчитанная по ТОКСИ+, на 20–43 % больше, чем рассчитанная по PHAST, а при скорости ветра 5 м/с, наоборот, дальность дрейфа, рассчитанная по ТОКСИ+, на 24 % меньше.

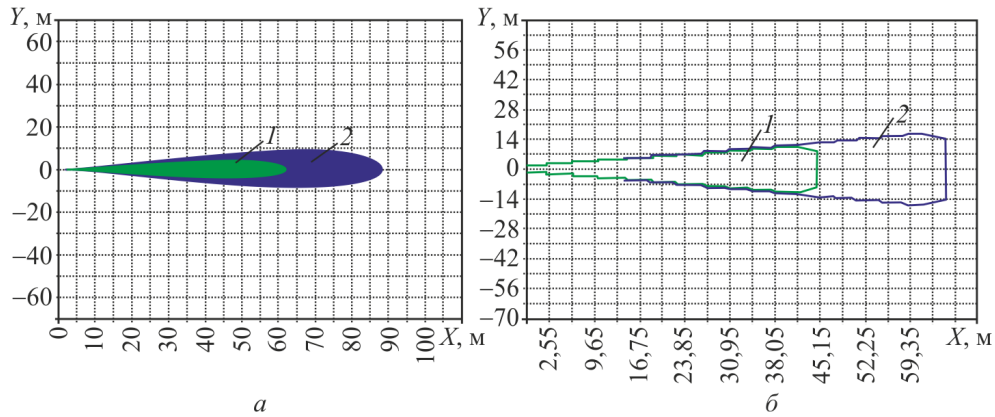


Рис. 8.3. Расчетные зоны концентраций для класса устойчивости атмосферы 5D: *а* – PHAST; *б* – ТОКСИ+

1. Программные комплексы ТОКСИ+ и PHAST предназначены для решения задач по количественному анализу риска аварийных выбросов опасных веществ и имеют схожие возможности для расчета основных

физических эффектов и показателей риска, связанных с тепловым, барическим и токсическим поражением людей при авариях.

2. Результаты расчета размеров зон вероятности поражения при выбросах горючих и токсичных веществ, в том числе при сравнении с данными реальной аварии с хлором, по этим двум программным комплексам имеют удовлетворительное согласие.

Возможности программного комплекса ТОКСИ+ Risk

Методика включает методы оценки опасных факторов пожара, в том числе по стадиям расчета: истечение жидкости и газа; количественная оценка массы горючих веществ, поступающих в окружающее пространство в результате возникновения пожароопасных ситуаций; определение максимальных размеров взрывопожароопасных зон; параметров волны давления при сгорании газо-, паро- или пылевоздушного облака; параметров волны давления при взрыве резервуара с перегретой жидкостью или сжиженным газом при воздействии на него очага пожара; интенсивности теплового излучения от пожара пролива, огненного шара и в случае пожара-вспышки, а также факела при струйном горении.

В качестве недостатка методики следует отметить, что при рассмотрении стадий аварии с выбросом опасных веществ (ОВ) полностью исключены стадии расчета рассеяния облака топливно-воздушной смеси и его перемещения в потоке воздуха от источника выброса. Одно из следствий этого – невозможность оценки массы взрывоопасного вещества в пределах взрывоопасной зоны. Предложенная рекомендация принимать в качестве этой массы 10 % от общей массы горючего вещества, содержащегося в облаке, представляется очень грубым приближением. Другим следствием является исключение из рассмотрения стадии расчета, связанной с токсическим поражением персонала при авариях с выбросом ОВ, для наружных установок в процессе или в связи с возникновением взрыва или пожара.

В методике приведены детерминированные и вероятностные критерии оценки поражающего действия волны давления и теплового излучения на людей, а также сведения по частотам реализации инициирующих пожароопасных ситуаций событий для некоторых типов оборудования объектов и условные вероятности исходов, необходимые для оценки риска. Наконец, завершая обзор методики [6], отметим, что согласно ей при оценке риска не подлежат рассмотрению ситуации, в ре-

зультате которых не возникает опасность для жизни и здоровья людей. В этом состоит еще одно отличие расчетов для оценки пожарного риска от расчетов, выполняемых при декларировании промышленной безопасности ОПО, где, кроме ущерба здоровью людей, также учитывается ущерб от потери или повреждения материальных ценностей.

Программный комплекс ТОКСИ+ Risk разработан в соответствии с требованиями и положениями действующих руководящих и методических документов и предназначен для использования:

– при разработке деклараций промышленной и пожарной безопасности;

– проектировании производственных объектов, на которых получаются, используются, перерабатываются, образуются, хранятся, транспортируются, уничтожаются ОВ;

– разработке планов локализации и ликвидации аварийных ситуаций;

– разработке инженерно-технических мероприятий гражданской обороны;

– разработке паспортов безопасности;

– разработке мероприятий по защите персонала и населения от возможных аварий;

– оценке воздействия аварийных выбросов ОВ на окружающую среду;

– количественном анализе опасностей и оценке риска аварий на ОПО;

– обосновании условий страхования и проведении иных процедур, связанных с оценкой последствий выбросов ОВ на ОПО.

Программный комплекс ТОКСИ+ Risk включает визуальную оболочку, осуществляющую общий графический интерфейс, единую для всех подключенных к комплексу модулей базу данных со свойствами ОВ, базу данных параметров проекта, а также программные модули, реализующие сами методики как для проведения отдельных расчетов, так и для комплексного решения задачи оценки риска.

Другое назначение оболочки – ее использование в качестве общего контейнера для накопления результатов расчетов, полученных по различным методикам, а также для визуализации на ситуационном плане результатов (фактически – зон возможного поражения и полей потенциального риска гибели людей).

В общем случае решение задачи оценки риска с использованием комплекса ТОКСИ+ Risk включает следующие основные стадии:

– настройка ситуационного плана;

– задание исходных данных для проведения риск-анализа, включая метеостатистику;

– определение совокупности сценариев для расчета («дерево событий»);

– расчет и нанесение на ситуационный план зон действия ОФ аварии;

– оценка числа пострадавших;

– построение поля потенциального риска на сиуационном плане и расчет коллективного, индивидуального и социального рисков гибели людей.

Аварийная ситуация задается совокупностью объектов на графической подложке (в качестве подложки для ситуационного плана может быть использован графический файл в растровом формате *.bmp либо в векторном формате *.dwg). Условно вся совокупность объектов, наносимых на ситуационный план, подразделяется на статические и динамические. Статическое подмножество представляет собой набор площадных объектов (слоев), характеризующих размещение людей на плане (открытые площадки и производственные помещения), множество единиц аварийного оборудования и трубопроводов. Динамическое подмножество составляют рассчитанные зоны действия опасных факторов.

Для нанесения границ зон возможного нахождения людей на территории производственного объекта и в селитебной зоне (цеха, производственные участки, административные здания, жилые постройки, парки, дороги и т.д.) в программе предусмотрен специальный режим задания площадных объектов. Ситуационный план с площадными объектами показан на рис. 8.4.

Важно отметить, что каждый площадной объект (среди прочего) характеризуется такими показателями, как количество людей, постоянно находящихся в его границах, коэффициент времени присутствия, число рискующих. Эти показатели определяют вероятность нахождения человека в пределах площадного объекта и используются при расчете коллективного и индивидуального рисков. Принимается допущение о равномерном характере распределения людей по площадному объекту. Таким образом, для любого *m*-го сотрудника вероятность присутствия его в *i*-й области территории объекта составляет

$$q_{im} = \frac{N_{\text{риск}} i}{N_{\text{пост}} i} \cdot k_{\text{прис}} i,$$

где $N_{пост}i$ – число постоянно и одновременно находящихся на объекте людей (например, число человек в одной смене); $N_{риск}i$ – число рискующих (общее число людей, которые могут находиться когда-либо на объекте; например, суммарное их число во всех сменах); $k_{прис}i$ – коэффициент присутствия (средний относительный показатель времени нахождения человека на объекте).

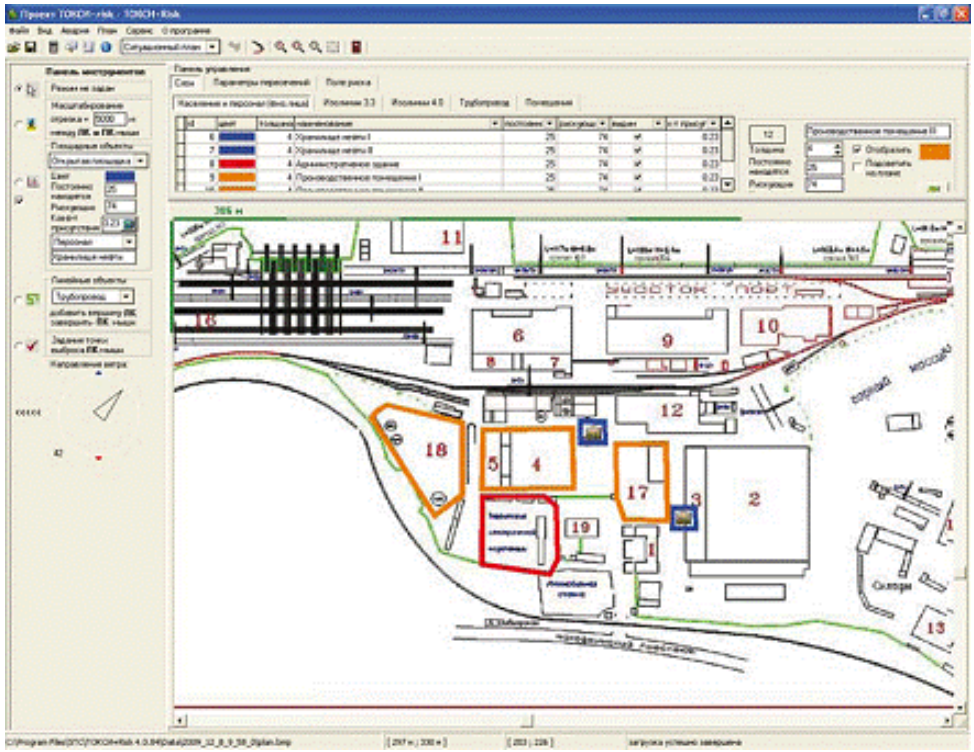


Рис. 8.4. Ситуационный план с площадными объектами

Для задания характеристики возможных источников выброса ОВ (емкостное оборудование, технологические трубопроводы), а также «дерева событий» используется специальный модуль программы – «Инструмент для работы с проектом» (рис. 8.5).

В этом модуле задаются критерии поражения людей для каждого из ОФ возможной аварийной ситуации. Критерии поражения могут быть как детерминированными, так и вероятностными (используются соответствующие пробит-функции). Для расчетов ударно-волнового воздействия при взрыве топливно-воздушной смеси и термического воздействия при сгорании легковоспламеняющихся жидкостей и горючих газов использу-

ются методика [8] и методики из [9], вошедшие составными частями в методику [6]. Для оценки последствий рассеяния ОВ в атмосфере и определения зон поражения от пожара вспышки, расчета последствий токсического воздействия ОВ на персонал и население в комплексе ТОКСИ+ Risk применяется математическая модель, приведенная в [10].

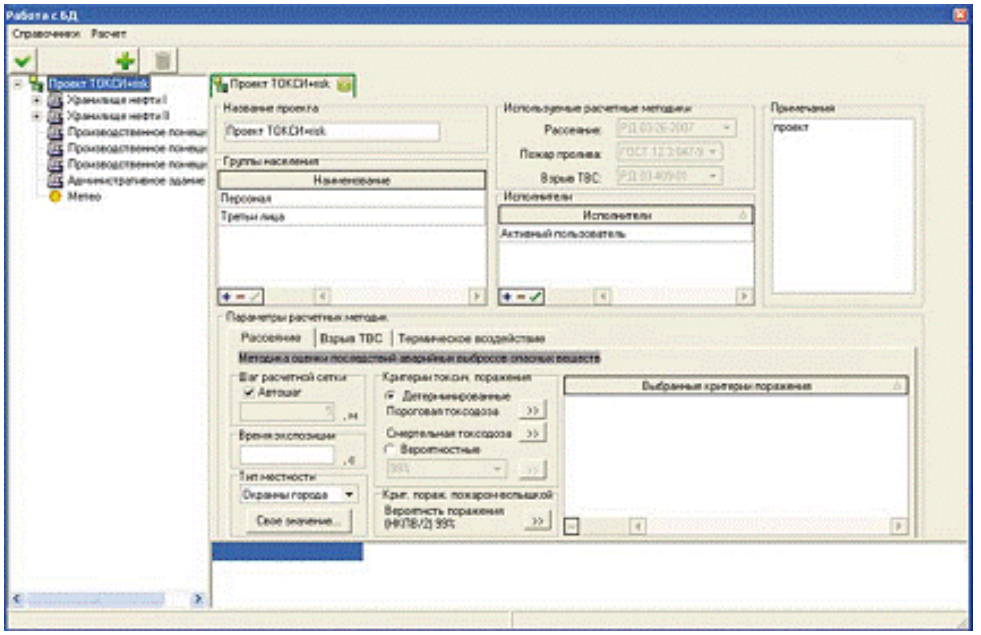


Рис. 8.5. Главное окно модуля «Инструмент для работы с проектом»

Отметим, что совместное использование в программном комплексе ТОКСИ+ Risk перечисленных методик позволяет автоматизировать расчет массы ОВ во взрывоопасных пределах путем моделирования рассеяния ОВ и получить исходные данные для анализа поражения от взрыва топливно-воздушной смеси (ТВС).

При моделировании рассеяния ОВ в атмосфере существенное значение имеет учет метеорологической обстановки на момент аварии. В комплексе ТОКСИ+ Risk предусмотрены возможность работы с базой данных метеостатистики местности, а также задания метеоданных в ручном режиме. Интерфейс для задания метеостатистики показан на рис. 8.6.

При оценке показателей риска необходимо указать для каждой единицы оборудования возможные инициирующие события и их исходы с соответствующими вероятностями, или, другими словами, сформировать «дерево событий» аварийной ситуации. В программе преду-

смотрена возможность задания для каждой единицы оборудования множества возможных его состояний, характеризующихся ОВ, его количеством и условиями хранения в емкости. Каждому такому состоянию оборудования могут соответствовать несколько вариантов развития аварии в зависимости от инициирующего события: полного разрушения или разгерметизации емкости (в последнем случае пользователю необходимо определить множество аварийных отверстий истечения ОВ и вероятности их возникновения).



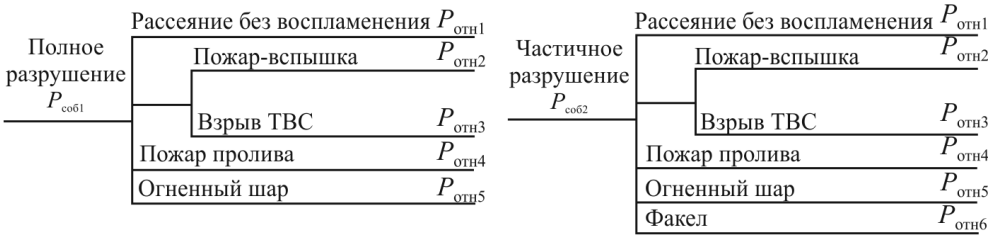
Рис. 8.6. Интерфейс для задания метеостатистики

Вследствие разнообразия статистических данных, используемых для определения вероятностей возникновения событий, приводящих к аварийным ситуациям, и их исходов, а также различия подходов к описанию развития аварийной ситуации, в программном комплексе реализован способ задания событий, исходов и их вероятностей с помощью ветвей эквивалентного «дерева событий» (рис. 8.7). Инициирующее событие характеризуется значением частоты, год$^{-1}$, а возможность возникновения соответствующих исходов определяется с помощью условных вероятностей (их сумма должна быть меньше либо равна 1).

Таким образом, частота реализации j-го сценария Q_j в течение года будет определяться:

$$Q_j = P_{\text{соб}}\, nP_{\text{отн}}\, lP_{\text{метео}} k,$$

где $P_{\text{соб}}n$, $P_{\text{метео}}k$ – частота возникновения соответственно n-го инициирующего события и k-го погодного условия, год$^{-1}$; $P_{\text{отн}}\ l$ – частота реализации l-го исхода, относительно вызвавшего его события.



а *б*

Рис. 8.7. Ветви эквивалентного «дерева событий»:
а – ветвь «Полное разрушение»; *б* – ветвь «Частичное разрушение»

В качестве возможных исходов рассматриваются следующие:
– рассеяние без воспламенения (токсическое поражение);
– пожар-вспышка;
– взрыв ТВС;
– пожар пролива;
– факельное горение;
– огненный шар.

Для формирования по каждой ветви «дерева событий», с учетом актуальной метеостатистики, списка заданий для расчета соответствующим блоком методики, разработан блок генерации сценариев, обеспечивающий построение множества комбинаций расчетов, необходимых для решения задачи оценки риска. Отметим, что в зависимости от конкретного проекта список заданий может включать в себя сотни, а иногда и тысячи сценариев. Результатом расчетов поражающих факторов аварий для заданного множества сценариев является семейство зон поражения, ограничивающих области ситуационного плана и характеризующихся показателем, соответствующим вероятности реализации того или иного поражающего фактора и вносящим вклад в общий потенциальный риск.

Суперпозиция областей, ограниченных этими зонами поражения, позволяет сформировать поле потенциального риска (рис. 8.8) для рассматриваемого производственного объекта.

При нахождении точек пересечения зон действия поражающих факторов аварии с ранее заданными площадными объектами можно рассчитать возможное число пострадавших для каждого площадного объекта и социальный риск. Математическое «наложение» площадных

объектов на поле потенциального риска позволяет рассчитать коллективный и индивидуальный риск возможной гибели людей для рассматриваемого производственного объекта.

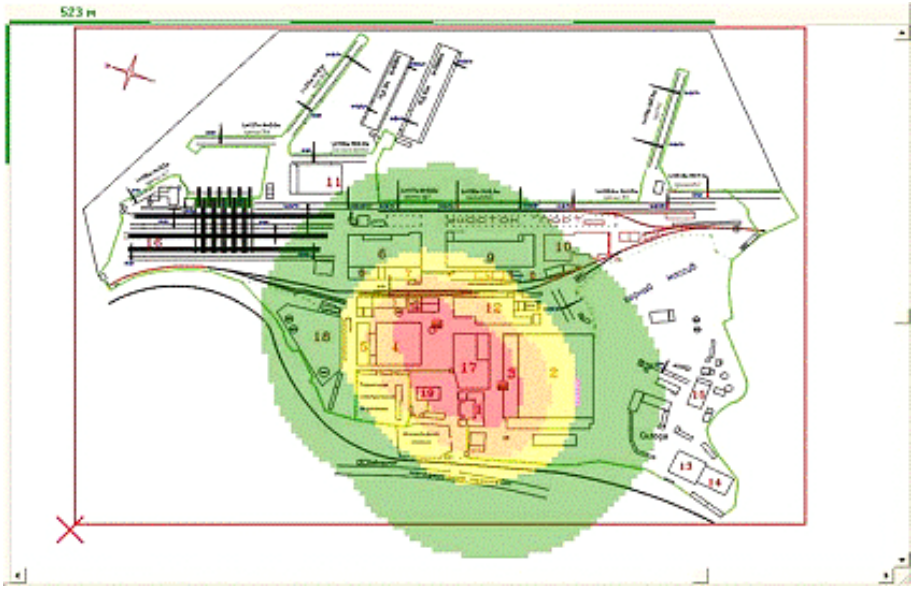


Рис. 8.8. Поле потенциального риска для рассматриваемого производственного объекта

В случае автоматизации расчетов показателей пожарного риска в зданиях объекта в комплексе ТОКСИ+ Risk также реализованы специальный калькулятор для определения времени блокировки путей эвакуации людей из производственных помещений и генератор протоколов расчетов в формате Microsoft Word.

Программный продукт ТОКСИ+ Risk разработан в соответствии с утвержденной нормативной базой и позволяет решить следующие основные задачи:

- задание параметров аварийной ситуации, включающих индивидуальные характеристики региона, размещение и условия нахождения людей, промышленных площадок и производственных помещений, а также множество единиц оборудования с заданными инициирующими событиями;
- определение множества зон по детерминированным и вероятностным критериям поражения;
- расчет пересечений множества зон поражения и слоев, характеризующих размещение людей на ситуационном плане, для определения тяжести последствий аварии на ОПО;

- построение поля потенциального риска по множеству зон поражения, полученных в соответствии с заданными «деревьями событий» для каждого аварийного оборудования, а также метеостатистическими данными;
- оценка показателей риска, включающая определение вероятного числа пострадавших, коллективного и индивидуального рисков как для каждого слоя, так и для аварийной ситуации в целом, расчет социального риска и его графическое представление в виде *F–N*-диаграммы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ К ГЛАВАМ 7, 8

1. Декларирование пожарной безопасности и оценка пожарного риска: сб. документов. – Сер. 19. – Вып. 2: Ч. 1. Декларирование пожарной безопасности. Нормативные правовые акты / колл. авт. – М.: ЗАО «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности», 2009. – 220 с.

2. Декларирование пожарной безопасности и оценка пожарного риска: сб. документов. – Сер. 19. – Вып. 2: Ч. 2. Нормативные документы по пожарной безопасности. Своды правил / колл. авт. – М.: ЗАО «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности», 2009. – 328 с.

3. Декларирование пожарной безопасности и оценка пожарного риска: сб. документов. – Сер. 19. – Вып. 2: Ч. 3. Нормативные документы по пожарной безопасности. Своды правил / колл. авт. – М.: ЗАО «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности», 2009. – 452 с.

4. Декларирование пожарной безопасности и оценка пожарного риска: сб. документов. – Сер. 19. – Вып. 2: Ч. 4. Нормативные правовые документы по оценке пожарного риска, методики и примеры / колл. авт. – М.: ЗАО «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности», 2009. – 288 с.

5. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности: Федер. закон от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ // Собрание законодательства Российской Федерации. – 2008. – № 30 (ч. 1), ст. 3579.

6. Методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах: утв. Приказом Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий 10.07.09 № 404.

7. Методика определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности: утв. приказом Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий 30.06.09 г. № 382.

8. РД 03-409–01. Методика оценки последствий аварийных взрывов топливно-воздушных смесей: утв. постановлением Госгортехнадзора России 26.06.01 г. № 25.

9. ГОСТ Р 12.3.047–98. Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля.

10. РД 03-26–2007. Методические указания по оценке последствий аварийных выбросов опасных веществ / Колл. авт. – Сер. 27. – Вып. 6 – М.: Научно-технический центр по безопасности в промышленности, 2008. – 124 с.

11. Использование Европейского опыта с целью предупреждения и ликвидации ЧС техногенного характера в России: по материалам Проекта Finrus 9806. – М.: Минпромнаука России, РАН, 2002. – 242 с.

12. Верификация методик для расчета рассеяния токсических выбросов / С.А. Губин [и др.] // Химическая промышленность. – 1999. – № 10. – С. 58(662)–66(670).

13. Верификация методик оценки последствий аварийных выбросов газа от источников продолжительного действия / А.В. Пчельников [и др.] // Безопасность труда в промышленности. – 2005. – № 8. – С. 28–35.

14. Сравнение результатов моделирования аварийных выбросов опасных веществ с фактами аварий / С.И. Сумской [и др.] // Безопасность труда в промышленности. – 2008. – №10. – С. 42–50.

15. СТО Газпром 2-2.3-351–2009. Методические указания по проведению анализа риска для опасных производственных объектов газотранспортных предприятий ОАО «Газпром».

16. Пантелеев В.А., Сумской С.И., Пчельников А.В. Об опыте применения программного обеспечения Det Norske Veritas (DNV) PHAST-SAFETI для оценки риска промышленных объектов в России // Об опыте декларирования промышленной безопасности и страхования ответственности. Развитие методов оценки риска на опасных производственных объектах: тез. докл. тематического семинара, 14–15 октября 2003 г. – М.: ГУП НТЦ «Пром. безоп.», 2003. – С. 87–92.

Учебное издание

СЛЮСАРЬ Наталья Николаевна,
НОВИКОВА Ирина Викторовна,
СУРКОВ Александр Анатольевич,
ЦЫБИНА Анна Валерьевна

УПРАВЛЕНИЕ РИСКАМИ, СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И МОДЕЛИРОВАНИЕ

Конспект лекций

Редактор и корректор *Е.И. Хазанжи*

Подписано в печать 31.10.2012. Формат 70×100/16.
Усл. печ. л. 21,12. Тираж 100 экз. Заказ № 219/2012.

Издательство
Пермского национального
исследовательского политехнического университета.
Адрес: 614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, к. 113.
Тел. (342) 219-80-33.