

УДК 502/504
Ф93

Автор:

Фрумин Григорий Тевелевич – доктор химических наук, профессор кафедры экологии Российского государственного гидрометеорологического университета

Рецензент:

В. А. Шелутко – доктор географических наук, профессор, заведующий кафедрой прикладной экологии Российского государственного гидрометеорологического университета

Фрумин Г. Т.

Ф93 **Техногенные системы и экологический риск / Г. Т. Фрумин. – Санкт-Петербург : СпецЛит, 2016. – 136 с.**

В учебном пособии изложены общие представления о риске, рассмотрены виды рисков и критерии их приемлемости, даны представления о техногенных системах и создаваемых ими опасностях и угрозах для населения и экологических систем.

Учебное пособие предназначено для студентов и аспирантов высших учебных заведений, обучающихся по экологическим и смежным специальностям, а также может быть полезным для широкого круга специалистов в области экологии, гидрометеорологии, рационального природопользования и охраны окружающей среды.

УДК 502/504

Редактор *Тимагева П. А.*

Компьютерная верстка *Габерган Е. С.*

Подписано в печать 30.11.2015. Формат 60 × 88 ¹/₁₆.

Печ. л. 8,5. Тираж 500 экз. Заказ №

ООО «Издательство „СпецЛит“».

190103, Санкт-Петербург, 10-я Красноармейская ул., 15

Тел.: (812) 495-36-09, 495-36-12

<http://www.speclit.spb.ru>.

Отпечатано в типографии «L-PRINT»,

192007, Санкт-Петербург, Лиговский пр., 201, лит. А, пом. 3Н

ISBN 978-5-299-00726-8



9 785299 007268

ISBN 978-5-299-00726-8

© ООО «Издательство „СпецЛит“», 2016

ОГЛАВЛЕНИЕ

| | |
|---|-----------|
| УСЛОВНЫЕ СОКРАЩЕНИЯ | 5 |
| ВВЕДЕНИЕ | 6 |
| Глава 1. РИСК И УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ ОБЩЕСТВА..... | 10 |
| 1.1. Понятие риска | 10 |
| 1.2. Риск и проблема устойчивого развития | 11 |
| 1.3. Математическое определение риска | 13 |
| Глава 2. КЛАССИФИКАЦИЯ РИСКОВ | 16 |
| 2.1. Общая характеристика рисков | 16 |
| 2.2. Индивидуальный и коллективный риски | 27 |
| 2.3. Потенциальный территориальный и социальный риски | 32 |
| Глава 3. СТРУКТУРА ТЕХНОГЕННОГО РИСКА..... | 35 |
| 3.1. Проблемы техногенной безопасности | 35 |
| 3.2. Структура полного ущерба как последствий аварий на технических объектах | 46 |
| 3.3. Общая структура анализа техногенного риска | 49 |
| Глава 4. МЕТОДЫ АНАЛИЗА ТЕХНОГЕННОГО РИСКА | 51 |
| 4.1. Основные определения и понятия теории надежности, безопасности и риска | 51 |
| 4.2. Метод построения блок-схем | 57 |
| Глава 5. ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ РИСК | 61 |
| 5.1. Риск поражения населения при авариях на химически опасных объектах | 62 |
| 5.2. Риск для здоровья населения и загрязнение окружающей среды | 79 |
| 5.3. Оценка риска, связанного с воздействием ионизирующего излучения | 87 |
| Глава 6. ВОСПРИЯТИЕ РИСКА | 92 |
| 6.1. Психологические аспекты восприятия риска. Факторы восприятия риска | 92 |

| | |
|--|------------|
| 6.2. Механизмы восприятия риска | 101 |
| Глава 7. УПРАВЛЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИМИ РИСКАМИ | 105 |
| 7.1. Допустимые и пренебрежимые риски угрозы здоровью. . . | 105 |
| 7.2. Роль человеческого фактора в оценках риска и в управлении им | 110 |
| 7.3. Цена риска и принцип оптимизации вариантов его снижения | 118 |
| 7.4. Экологическое законодательство и стандарты – инструменты управления экологическими рисками | 124 |
| ЗАКЛЮЧЕНИЕ | 127 |
| ТЕСТЫ К ДИСЦИПЛИНЕ | 128 |
| ЛИТЕРАТУРА | 135 |

УСЛОВНЫЕ СОКРАЩЕНИЯ

| | |
|------|--|
| АДО | – анализ «деревьев отказа» |
| АДС | – анализ «деревьев событий» |
| АХОВ | – аварийно химические опасные вещества |
| АЭС | – атомная электростанция |
| БЖД | – безопасность жизнедеятельности |
| БСТС | – большая сложная техническая система |
| ВВП | – валовой внутренний продукт |
| ЛИ | – летальный исход |
| МОТ | – Международная организация труда |
| МТ | – магистральный трубопровод |
| МЧС | – Министерство по чрезвычайным ситуациям |
| ОХВ | – опасное химическое вещество |
| ПДК | – предельно допустимая концентрация |
| РВ | – радиоактивные вещества |
| РОО | – радиационно опасный объект |
| СДЯВ | – сильнодействующие ядовитые вещества |
| ССЖ | – среднестатистическая жизнь |
| СТС | – сложные технические системы |
| ХО | – химическая опасность |
| ХОВ | – химически опасное вещество |
| ХОО | – химически опасный объект |
| ЧС | – чрезвычайная ситуация |

ВВЕДЕНИЕ

Развитие техногенной сферы на планете привело к двум диаметрально противоположным последствиям [2, 3, 23]:

– с одной стороны, достигнуты выдающиеся результаты в электронной, атомной, космической, авиационной, энергетической и химической отраслях промышленности, а также в биологии, геномной инженерии, предоставившие человечеству возможность продвинуться на принципиально новые уровни во всех сферах жизни и деятельности;

– с другой стороны, появились невиданные ранее потенциальные и реальные опасности и угрозы человеку, созданным им объектам, среде обитания не только в военное, но и в мирное время.

Перечень катастроф, аварий, пожаров и взрывов с выбросами токсичных веществ весьма обширен, а ущерб и последствия вряд ли можно оценить в полной мере. Следует учесть также, что только в России насчитывается около 100 тыс. опасных производств и объектов. Из них около 2300 ядерных и 3000 химических обладают повышенной опасностью. При этом в ядерном комплексе сосредоточено около 10^{13} , а в химическом около 10^{12} смертельных токсических доз (токсодоз). Количество потенциально опасных объектов по регионам России приведено в таблице.

Количество потенциально опасных объектов по регионам России

| Регион | Радиационно опасные объекты | Химически опасные объекты | Взрывопожароопасные объекты |
|--------------------|-----------------------------|---------------------------|-----------------------------|
| Северо-Западный | 13 | 150 | 2350 |
| Центральный | 35 | 800 | 990 |
| Северо-Кавказский | 6 | 700 | 1400 |
| Приволжский | 11 | 500 | 500 |
| Уральский | 19 | 350 | 800 |
| Западно-Сибирский | 4 | 284 | 400 |
| Восточно-Сибирский | 5 | 100 | 186 |
| Забайкальский | 9 | 76 | 200 |
| Дальневосточный | 7 | 320 | 270 |
| В целом | 109 | 3280 | 7096 |

В Российской Федерации 45 тыс. опасных объектов различного типа и разной формы собственности. Из них только в промышленности более 8000 взрыво- и пожароопасных объектов. На территории Российской Федерации эксплуатируются более 30 тыс. водохранилищ и несколько сотен накопителей промышленных стоков и отходов. Имеется около 60 крупных водохранилищ емкостью 1 млрд м³.

Остро стоит проблема обеспечения безопасности гидротехнических сооружений. Эти сооружения на 200 водохранилищах и 56 накопителях отходов эксплуатируются без ремонта более 50 лет и находятся в аварийном состоянии.

В России эксплуатируется около 150 тыс. км магистральных газопроводов, 62 тыс. км нефтепроводов и 25 тыс. км продуктопроводов. Общая протяженность трубопроводов составляет более 220 тыс. км. Ежегодно на них происходит 40–50 тыс. аварий.

К настоящему времени в мире зафиксировано более 150 аварий на атомных электростанциях (АЭС) с утечкой радиоактивности. Кроме того, на дне Мирового океана находится шесть затонувших атомных подлодок, девять атомных реакторов, 50 ядерных боеприпасов и одна водородная бомба ВМФ США.

По данным Министерства по чрезвычайным ситуациям (МЧС) РФ, ежегодно происходит около 1000–1500 аварий и катастроф (кроме аварий на автомобильном транспорте и производственного травматизма), в которых погибают или получают увечья десятки тысяч человек. Материальный ущерб вследствие аварий и катастроф постоянно растет. Разливы нефти при авариях супертанкеров наносят такой ущерб природе, что катастрофы с этими гигантскими судами ставятся в один ряд с такими бедствиями, как ураганы, извержения вулканов или землетрясения.

От аварий на опасных объектах ежегодно в России получают вред 200 тыс. человек, а погибают в результате аварий и катастроф, включая дорожно-транспортные происшествия, более 50 тыс. человек. Общий экономический ущерб от ЧС в год достигает 6–7 % валового внутреннего продукта (ВВП) страны.

Ситуация усугубляется тем, что для многих потенциально опасных объектов и производств характерна выработка проектных ресурсов и сроков службы. Дальнейшая эксплуатация приводит к резкому возрастанию числа отказов.

Современные тенденции развития техносферы усиливают риски техногенных катастроф, количество и размер последствий реализации которых постоянно растут. В России в зонах возможного воздействия поражающих факторов при авариях на потенциально опасных производственных объектах проживают свыше 60 млн человек.

Многие современные потенциально опасные производства спроектированы так, что вероятность крупной аварии на них оценивается величиной порядка 10^{-4} . Это означает, что из-за неблагоприятного стечения обстоятельств с учетом реальной надежности механизмов, приборов, материалов и человека возможно одно разрушение объекта за 10 тыс. объекто-лет. Но если число подобных объектов близко к 10 тыс., то ежегодно один из них статистически может быть источником аварии.

Существенное обстоятельство, увеличивающее риск промышленной деятельности, связано с повышением плотности размещения разнородных объектов и производств, их взаимодействием в аварийных ситуациях. Стремление к наибольшей экономичности, к максимальному использованию сделанных ранее вложений в энергетику, транспортные коммуникации, социально-бытовую сферу какого-либо региона приводит к насыщению его различными предприятиями без должного изучения их взаимодействия. И может случиться так, что авария на одном из них и не была бы столь значительной по последствиям, если бы не ее воздействие на соседний объект с возможным многократным усилением поражающих факторов.

Во многих странах с конца 1970-х гг. появились центры по безопасности и риску, интегрирующие мировой опыт в области безопасности, исследующие роль ранее неизвестных факторов, обучающие людей и выявляющие наиболее опасные области. В нашей стране эта деятельность нуждается в существенном улучшении, несмотря на то что последние несколько лет научное направление, включающее исследование проблем безопасности во всех сферах жизнедеятельности, проблемы оценки, анализа, прогнозирования и управление риском, активно и стремительно развивается. Происходит становление научных школ по анализу и управлению рисками с учетом специфики и особенностей риска, возникают специализированные кафедры в высших учебных заведениях, на которых профессиональную подготовку получают будущие специалисты по анализу и управлению риском, исследованию проблем безопасности, создаются профессиональные объединения специалистов по риску – Российское научное общество анализа риска, Русское общество управления рисками, Академия наук риска и др.; издаются специализированные журналы по риску – «Проблемы анализа риска», «Управление риском» и др.; выпускается научная, учебная, научно-популярная литература по проблематике анализа и управления риском, испытывающая в некотором смысле бум [7].

Государственная политика в области экологической и промышленной безопасности и новые концепции обеспечения безопасности и безаварийности производственных процессов на объектах эконо-

мики, диктуемые Федеральным законом «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» от 21.07.97 № 116-ФЗ, Федеральным законом «О радиационной безопасности населения» от 09.01.96 № 3-ФЗ, Федеральным законом «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» от 30.03.99 № 52-ФЗ, Федеральным законом «Об использовании атомной энергии» от 21.11.95 № 170-ФЗ, Законом РСФСР «Об охране окружающей природной среды» от 19.12.91 № 2060-1, предусматривают в первую очередь объективную оценку опасностей и позволяют наметить пути борьбы с ними [10].

Глава 1

РИСК И УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ ОБЩЕСТВА

1.1. Понятие риска

Термин «риск» появился на рубеже Средних веков и Нового времени. Конечно, люди и раньше сталкивались с опасностями и неуверенностью в будущем. Однако опасности, которым они подвергались, связывались с воздействием высших сил. Слово «риск» стало востребовано тогда, когда у людей появилось осознание ответственности за принятые решения.

Слово «риск» пришло в русский язык из европейских языков, скорее всего из испанского, на котором *risco* означает скалу, да не просто скалу, а отвесную. Поэтому, видимо, мореплаватели обозначают этим словом опасность, угрожающую их кораблям [1].

Понятие «риск» в современной литературе не является установленным и однозначным. Относительно его происхождения существует ряд версий. По одной из них, термин «риск» – испано-португальского происхождения и означает «подводная отвесная скала, утес». По другой версии, происходит от староитальянского *risicare* – «ларировать между». Третья версия предписывает происхождение термина «риск» к греческим словам *ridsicon*, *ridsa* – «утес», «скала».

Термин «риск» имеет свои этимологические особенности и в других языках. Так, в иврите понятие «риск» связано не только с такими родственными явлениями, как «нож», «хулиганство», «бандит», «опасность», но и с понятиями из несколько иной области: «быть полезным», «осмеливаться», «дерзкий», «наглость», «черт».

В китайском иероглифе, обозначающем понятие «риск» и графически включающем изображение двух человек, двух камней над ними и еще одного человека, стоящего выше, содержится буквальный смысл. В Словаре русского языка С. И. Ожегова под риском понимается «возможная опасность», «действие наудачу, в надежде на счастливый исход», а в Словаре Н. Уэбстера (Webster) риск определяется как «опасность, возможность убытка или ущерба», в Словаре Д. Н. Ушакова также содержится определение риска как вероятной опасности.

Ряд исследователей считает, что достоверно установить происхождение слова «риск» не представляется возможным. Некоторые исследования свидетельствуют, что оно арабского происхождения.

1.2. Риск и проблема устойчивого развития

Наиболее завершенная концепция общества риска принадлежит У. Беку. Согласно Беку, риск – это не исключительный случай, не «последствие» и не «побочный продукт» общественной жизни. Риски постоянно производятся обществом, причем это производство легитимное, осуществляемое во всех сферах жизнедеятельности общества – экономической, политической, социальной. Риски – неизбежные продукты той машины, которая называется принятием решений. Риск, полагает Бек, может быть определен как «систематическое взаимодействие общества с угрозами и опасностями, индуцируемыми и производимыми модернизацией как таковой».

Риски, в отличие от опасностей прошлых эпох, – «следствия угрожающей мощи модернизации и порождаемых ею неуверенности и страха» [4]. «Общество риска» – это фактически новая парадигма общественного развития. Ее суть состоит в том, что господствовавшая в индустриальном обществе «позитивная» логика общественного производства, заключающаяся в накоплении и распределении богатства, все более перекрывается (вытесняется) «негативной» логикой производства и распространения рисков.

Согласно этой теории, в последней трети XX в. человечество вступило в новую фазу своего развития, которую можно назвать обществом риска. Общество риска – это постиндустриальная формация, которая коренным образом отличается от индустриального общества. Главное отличие состоит в том, что если для индустриального общества характерно распределение благ, то для общества риска – распределение опасностей и обусловленных ими рисков.

Иными словами, в индустриальном обществе производились и распределялись главным образом положительные достижения, а в обществе риска, которое вращается в индустриальное, накапливаются и распределяются между членами негативные следствия развития последнего [8].

Впервые определение устойчивого развития дано в докладе «Наше общее будущее» [25], опубликованном Комиссией ООН по окружающей среде и развитию (иногда по имени ее председателя называемой комиссией Х. Брундтланд): «Человечество способно придать развитию устойчивый и долговременный характер, с тем чтобы оно отвечало потребностям ныне живущих людей, не лишая будущие поколения возможности удовлетворять свои потребности».

Термин был окончательно введен в международный обиход на Конференции ООН по окружающей среде и развитию (Рио-де-Жанейро, 1992). Итоговый документ конференции «Повестка дня на XXI век» обращает внимание на тот факт, что «комплексный подход

к проблемам окружающей среды и развития и уделение им большего внимания будут способствовать удовлетворению основных потребностей, повышению уровня жизни всего населения, способствовать более эффективной охране и рациональному использованию экосистем и обеспечению более безопасного и благополучного будущего» (<http://www.ratical.org>). При этом обеспечение безопасности должно включать, прежде всего, анализ последствий тех мероприятий нынешнего поколения, которые подвергают риску способность окружающей среды обеспечить безопасность человека будущего поколения. Устойчивое развитие общества и безопасность – два взаимосвязанных понятия, имеющих важное значение при выборе целей и путей достижения высокого материального и духовного уровня людей.

В Экологической доктрине Российской Федерации приведен такой текст: «Современный экологический кризис ставит под угрозу возможность устойчивого развития человеческой цивилизации. Дальнейшая деградация природных систем ведет к дестабилизации биосферы, утрате ее целостности и способности поддерживать качества окружающей среды, необходимые для жизни. Преодоление кризиса возможно только на основе формирования нового типа взаимоотношений человека и природы, исключающих возможность разрушения и деградации природной среды. Устойчивое развитие Российской Федерации, высокое качество жизни и здоровья ее населения, а также национальная безопасность могут быть обеспечены только при условии сохранения природных систем и поддержания соответствующего качества окружающей среды. Для этого необходимо формировать и последовательно реализовывать единую государственную политику в области экологии, направленную на охрану окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов. Сохранение и восстановление природных систем должно быть одним из приоритетных направлений деятельности государства и общества».

В Экологической доктрине Российской Федерации от 31 августа 2002 г. № 1225-р подчеркивается, что переход на стратегию устойчивого развития должен быть сопряжен с обеспечением безопасности в любой сфере деятельности общества и государства.

Под экологической опасностью понимается разрушение среды обитания человека, а также природных экосистем и сообществ живых организмов из-за неконтролируемого развития экономики, отставания техники и естественных, техногенных и антропогенных чрезвычайных ситуаций (ЧС). В приведенном определении понятие экоопасности относится не только к человеку, а также ко всем представителям флоры и фауны, что соответствует основному требованию экологии – отказу от только антропоцентрического подхода в решении экологических проблем.

Система экологической безопасности включает совокупность законодательных, технических, медицинских и биологических мероприятий и средств, направленных на поддержание равновесия между биосферой и экологической нагрузкой.

Общими принципами обеспечения экологически безопасного устойчивого развития экосистем являются сохранение их биологического (и прежде всего генетического) разнообразия, обеспечение баланса поступления и экспорта вещества и энергии, строгое выполнение требований в части предельно допустимой экологической нагрузки.

Применительно к анализу уровня безопасности разработаны несколько концепций безопасности, опирающихся на следующие принципы (или их сочетания):

- принцип безусловного приоритета безопасности и сохранения здоровья над любыми другими элементами условий и качества жизни членов общества;

- принцип приемлемых опасности и риска, в соответствии с которым устанавливаются нижний (допустимый) и верхний (желаемый) уровни безопасности и в этом интервале – приемлемый уровень безопасности и риска с учетом социально-экономических факторов;

- принцип минимальной опасности, в соответствии с которым уровень риска устанавливается настолько низким, насколько это реально достижимо;

- принцип последовательного приближения к абсолютной безопасности.

Концепция устойчивого развития предполагает систему мер по обеспечению экологической безопасности. Экологическая безопасность – состояние защищенности биосферы и человеческого общества, а на государственном уровне – государства от угроз, возникающих в результате антропогенных и природных воздействий на окружающую среду. В понятие экологической безопасности входит система регулирования и управления, позволяющая прогнозировать, не допускать, а в случае возникновения – ликвидировать развитие чрезвычайных ситуаций. Экологическая безопасность реализуется на глобальном, региональном и локальном уровнях.

1.3. Математическое определение риска

В большинстве научных исследований в понятие «риск» наряду с вероятностью наступления неблагоприятного события вкладывается и другая, связанная с этим событием характеристика, – *размер наносимого ущерба*. Это приводит к трактовке количественной меры

риска как математического ожидания ущерба, определяемого на множестве возможных неблагоприятных событий (величины среднего риска).

Вождение автомобиля – это опасность, ее можно выразить с помощью той доли, которую составляет гибель людей в автомобильных авариях в общем количестве смертей, фиксируемых ежегодно в определенной стране. Так, в США шанс среднего американца погибнуть за рулем составляет примерно 3 % от числа всевозможных случающихся там смертей. Следовательно, американец, садясь за руль своей машины, подвергается опасности, а риск здесь – не только в том, что он может попасть в те самые три процента, которые статистическое ведомство США подсчитает к концу текущего года. Надо еще учесть ущерб, связанный с аварийным состоянием автомобиля, потери страховой компании, расходы на похороны, моральный ущерб родственников и т. д. Риск выступает здесь количественной мерой, учитывающей не только вероятность опасности, но и конкретизированные последствия ее проявления [8].

Такой подход к трактовке риска широко применяется в теории информации и кибернетике, где риск распознавания информации определен как математическое ожидание потерь от ошибок распознавания. Математическая статистика при разработке процедур принятия решений в качестве меры риска также рассматривает аналогичный показатель – среднеожидаемую величину потерь в случае неправильного решения.

При равенстве ущерба нулю при наступлении неблагоприятного события объект не подвергается риску. Аналогичная ситуация имеет место и при нулевой вероятности наступления события, хотя возможный ущерб от него был бы огромен. Ситуация воспринимается как опасная, рискованная только в тех случаях, когда вероятность неблагоприятного события и возможный ущерб от его проявления отличны от нуля или реальны в житейском понимании. Подобное двухмерное толкование риска предопределило в некотором смысле общие для большинства отраслей знаний принципы и этапы его анализа и исследования, а также подходы к разработке и принятию управленческих решений, направленных на снижение, предотвращение риска неблагоприятных событий, а следовательно, и возможного ущерба от них [31].

В соответствии с таким толкованием в качестве количественной меры риска целесообразно использовать показатель, одновременно учитывающий две характеристики неблагоприятного события – вероятность его наступления и величину причиняемого им ущерба. Наиболее распространенной мерой риска является *показатель среднего риска*, рассчитываемый согласно следующей формуле:

$$R = \sum_{i=1}^n p_{ji} x_i, \quad (1.1)$$

где p_{ji} – вероятность получения ущерба размера x_i в результате наступления какого-либо неблагоприятного события (группы событий);

x_i – величина ущерба в соответствующих показателях (в экономике, как правило, в стоимостном выражении);

R – количественная мера риска (средний риск), выражаемая в тех же показателях, что и ущерб;

n – число возможных вариантов ущербов, которые могут быть при наступлении неблагоприятного события, включая и нулевой ущерб.

Таким образом, риск, в отличие от опасности, нельзя рассматривать в отрыве от возможных последствий проявления данной опасности. Риск – количественная мера опасности с учетом ее последствий. Последствия проявления опасности всегда приносят ущерб, который может быть экономическим, социальным, экологическим и т. д. Следовательно, оценка риска должна быть связана с оценкой ущерба. Чем больше ожидаемый ущерб, тем значительнее риск. Кроме того, риск будет тем больше, чем больше вероятность проявления соответствующей опасности. Поэтому риск R может быть определен как произведение вероятности опасности рассматриваемого события или процесса P на магнитуду ожидаемых последствий (ущерба) Q :

$$R = P \cdot Q. \quad (1.2)$$

Ущерб, наносимый в результате реализации какой-либо опасности, может измеряться в различных единицах. Материальный ущерб принято оценивать в натуральных и денежных единицах. В экономике ущерб принято оценивать в денежных или относительных единицах, например в долях ВВП. В БЖД ущерб жизни людей принято оценивать в летальных исходах (ЛИ). В медицине принято оценивать ущерб здоровью людей числом раненых, травмированных, заболевших определенными заболеваниями. В экотоксикологии ущерб экосистемам принято оценивать в массе биологического вещества, в долях сокращения популяции, в долях заболевших особей по отношению к общему количеству особей в популяции и т. п. [14].