

УДК 614+504.05

ББК 20.1

A46

Рецензенты:

академик РАН *В.И. Осипов*;

кафедра «Инженерная защита окружающей среды»

ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет»

(зав. кафедрой д-р техн. наук, проф. *В.И. Беспалов*)

**Александров, А. А.**

A46 Анализ и управление техногенными и природными рисками : учебник / А. А. Александров, В. И. Ларионов, С. П. Сушев. — Москва : Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2019. — 357, [3] с. : ил.

ISBN 978-5-7038-5108-1

Изложены теоретические основы анализа и управления техногенными и природными рисками. Показан единый научно-методический подход к решению задач анализа риска возникновения чрезвычайных ситуаций. Рассмотрены основные характеристики природных и техногенных опасностей, причины отказов технических систем. Приведены методы исследования надежности технических систем и типовые примеры расчетов, методы оценки и анализа рисков в техногенной и природной сферах с применением ГИС-технологий, расчетно-аналитический и статистический подходы к зонированию по риску объектов и территорий. Рассмотрены экономические аспекты управления безопасностью.

Соответствует курсу лекций, читаемому в МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Для студентов высших технических учебных заведений, аспирантов, специализирующихся в области техносферной безопасности, экологии и природообустройства. Может быть полезен специалистам, занимающимся планированием мероприятий по снижению техногенных и природных рисков.

УДК 614+504.05

ББК 20.1

Фото на обложку любезно предоставлено *Вадимом Нанскани*

© Александров А.А., Ларионов В.И.,  
Сушев С.П., 2019

© Оформление. Издательство  
МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2019

ISBN 978-5-7038-5108-1

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ .....	8
ВВЕДЕНИЕ .....	10
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ .....	15
ЧАСТЬ 1. НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ АНАЛИЗА РИСКА .....	17
<b>Глава 1. Общая методология анализа риска аварий и катастроф .....</b>	<b>19</b>
1.1. Модели воздействия .....	21
1.2. Функции уязвимости .....	29
1.2.1. Функции уязвимости зданий .....	29
1.2.2. Функции уязвимости людей .....	34
1.3. Методология прогнозирования последствий аварий и катастроф .....	35
1.3.1. Прогнозирование объемов разрушений на площадных и линейных объектах .....	36
1.3.2. Прогнозирование количества пострадавших людей .....	39
1.4. Общая методология анализа риска .....	41
1.4.1. Базовая терминология .....	41
1.4.2. Оценка показателей риска .....	43
Контрольные вопросы и задания .....	50
Литература .....	50
<b>Глава 2. Методические основы применения ГИС-технологий для анализа риска ...</b>	<b>52</b>
2.1. Общие требования к специализированной ГИС .....	52
2.2. Блок базы данных .....	55
2.2.1. Картографическая информация .....	55
2.2.2. Семантическая информация .....	59
2.2.3. Система управления базой данных .....	62
2.3. Расчетно-аналитический блок .....	63
2.3.1. Структура и содержание .....	63
2.3.2. Уровень детализации математических моделей .....	66
2.3.3. Сопряжение математических моделей и базы данных .....	66
2.4. Пользовательский интерфейс .....	68
2.5. Блок тематического картографирования и документирования .....	69
Контрольные вопросы и задания .....	72
Литература .....	72

<b>ЧАСТЬ 2. МЕТОДЫ АНАЛИЗА РИСКА В ТЕХНОГЕННОЙ СФЕРЕ</b>	<b>73</b>
<b>Глава 3. Модели воздействия при аварийных взрывах и пожарах</b>	<b>75</b>
3.1. Оценка надежности технических систем	75
3.1.1. Основные критерии надежности	76
3.1.2. Основные законы распределения в теории надежности	80
3.1.3. Расчет надежности систем	93
3.2. Интенсивность отказов и частота аварийных событий	94
3.2.1. Дерево отказов	95
3.2.2. Дерево событий	102
3.3. Моделирование поражающих факторов пожара и взрыва	114
3.3.1. Методы расчета поражающих факторов пожара	114
3.3.2. Методы расчета поражающих факторов взрыва	121
Контрольные вопросы и задания	129
Литература	129
<b>Глава 4. Функции уязвимости при аварийных взрывах и пожарах</b>	<b>131</b>
4.1. Законы разрушения зданий при аварийных взрывах	131
4.1.1. Параметрические законы разрушения зданий	131
4.1.2. Определение вероятности разрушения зданий с применением пробит-функций	137
4.2. Законы поражения людей при аварийных взрывах и пожарах	138
4.2.1. Параметрические законы поражения людей при взрывах	138
4.2.2. Определение вероятности поражения людей с применением пробит-функций	140
Контрольные вопросы и задания	142
Литература	142
<b>Глава 5. Методы оценки риска на опасных объектах</b>	<b>143</b>
5.1. Пожаровзрывоопасные объекты	143
5.1.1. Расчетно-аналитический метод количественного анализа риска	143
5.1.2. Метод анализа видов, последствий и критичности отказов	149
5.2. Химически опасные объекты	151
5.2.1. Основные определения и понятия	151
5.2.2. Вероятность токсического поражения	152
5.2.3. Оценка риска на химически опасных объектах	154
5.3. Радиационно опасные объекты	155
5.3.1. Основные определения и понятия	156
5.3.2. Общие положения метода расчета радиоактивного загрязнения	159
5.3.3. Вероятность радиационного поражения	161
5.3.4. Оценка риска на радиационно опасных объектах	163
Контрольные вопросы и задания	165
Литература	165

<b>Глава 6. Анализ риска на магистральных нефтепроводах</b>	167
6.1. Оценка объема аварийного разлива нефти	167
6.1.1. Оценка объема разлива в напорном режиме	169
6.1.2. Оценка объема разлива в безнапорном режиме	172
6.2. Распространение нефтяного загрязнения по земной поверхности	175
6.2.1. Моделирование разлива нефти на суше	175
6.2.2. Применение ГИС-технологий для моделирования аварийных разливов нефти	178
6.3. Распространение нефтяного загрязнения по водной поверхности	185
6.3.1. Распространение нефтяного загрязнения на малых реках	185
6.3.2. Распространение нефтяного загрязнения в акватории	187
6.4. Оценка риска на магистральных нефтепроводах	190
6.4.1. Оценка частоты аварий на трубопроводах	190
6.4.2. Технический риск	193
6.4.3. Оценка риска для населения	194
Контрольные вопросы и задания	195
Литература	195
<b>ЧАСТЬ 3. МЕТОДЫ АНАЛИЗА РИСКА В ПРИРОДНОЙ СФЕРЕ</b>	197
<b>Глава 7. Анализ сейсмического риска</b>	199
7.1. Общая методология анализа сейсмического риска	200
7.2. Моделирование сейсмического воздействия	201
7.3. Функции уязвимости при землетрясениях	204
7.3.1. Характеристика зданий	204
7.3.2. Параметрические законы разрушения зданий	205
7.3.3. Параметрические законы поражения людей	210
7.4. Оценка сейсмического риска	211
7.4.1. Моделирование поражения людей при землетрясениях	211
7.4.2. Показатели сейсмического риска	213
7.5. Оценка масштабов последствий при землетрясениях	214
7.5.1. Завалы при разрушении зданий	214
7.5.2. Прогнозирование объемов разрушений	216
7.5.3. Оценка людских потерь и разрушений по укрупненным показателям	217
7.5.4. Повреждение коммунально-энергетических сетей	219
7.5.5. Повреждение дорог	221
7.5.6. Вторичные последствия сейсмических воздействий	222
Контрольные вопросы и задания	226
Литература	226
<b>Глава 8. Анализ риска наводнений</b>	227
8.1. Общие положения	227
8.2. Определение площади водосборного бассейна	228

8.3. Прогнозирование стока воды с водосборного бассейна .....	230
8.3.1. Метод прогнозирования стока воды .....	230
8.3.2. Расчет объема стока .....	232
8.3.3. Определение уровня подъема воды в створе .....	234
8.4. Определение зон затоплений по уровню подъема воды в створах .....	236
8.5. Последствия наводнений .....	239
8.6. Оценка риска наводнений .....	241
Контрольные вопросы и задания .....	243
Литература .....	243
<b>Глава 9. Анализ риска гидродинамических аварий .....</b>	<b>244</b>
9.1. Определения, допущения и исходные данные. ....	245
9.2. Моделирование зон затоплений при гидродинамических авариях ....	247
9.3. Последствия гидродинамических аварий .....	252
9.4. Оценка риска гидродинамических аварий .....	254
Контрольные вопросы и задания .....	256
Литература .....	256
<b>Глава 10. Анализ риска возникновения цунами .....</b>	<b>257</b>
10.1. Возникновение цунами и классификация цунамиопасных территорий ...	258
10.1.1. Возникновение и распространение волн цунами .....	258
10.1.2. Классификация цунамиопасных территорий. ....	260
10.2. Функции уязвимости при воздействии цунами .....	261
10.2.1. Параметрические законы разрушения зданий. ....	261
10.2.2. Параметрические законы поражения людей .....	264
10.3. Прогнозирование последствий цунами. ....	265
10.3.1. Оценка зоны затопления .....	265
10.3.2. Разрушение зданий и сооружений .....	268
10.3.3. Оценка численности пострадавших при воздействии цунами ...	270
10.4. Оценка риска цунами .....	271
Контрольные вопросы и задания .....	272
Литература .....	272
<b>Глава 11. Астероидная уязвимость Земли .....</b>	<b>273</b>
11.1. Воздушный взрыв космического тела .....	274
11.1.1. Огненный шар .....	274
11.1.2. Воздушная ударная волна .....	276
11.1.3. Уязвимость элементов риска при воздействии Челябинского метеорита. ....	276
11.2. Падение космического тела на земную поверхность .....	278
11.2.1. Параметры поражающих факторов .....	278
11.2.2. Уязвимость населения при падении космического тела на земную поверхность. ....	281
11.3. Подводный взрыв космического тела .....	283
11.3.1. Параметры волн подводных взрывов. ....	283

11.3.2. Уязвимость населения при взрыве космического тела в акватории .....	284
Контрольные вопросы и задания .....	285
Литература .....	285
<b>ЧАСТЬ 4. МЕТОДЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОГЕННЫМИ И ПРИРОДНЫМИ РИСКАМИ .....</b>	<b>287</b>
<b>Глава 12. Нормирование рисков .....</b>	<b>289</b>
12.1. Методические подходы к анализу риска .....	289
12.1.1. Расчетно-аналитический подход .....	289
12.1.2. Статистический подход .....	290
12.1.3. Динамический анализ риска .....	292
12.1.4. Эвристический подход .....	298
12.2. Рекомендуемые уровни рисков .....	302
Контрольные вопросы и задания .....	306
Литература .....	306
<b>Глава 13. Управление рисками .....</b>	<b>307</b>
13.1. Концептуальная система управления рисками .....	307
13.2. Методы обоснования мер по снижению рисков .....	310
13.2.1. Критерии оценки эффективности вариантов снижения ущерба .....	311
13.2.2. Уязвимость и риски для оценки эффективности мероприятий ...	313
13.2.3. Многокритериальные задачи .....	315
13.3. Методы оптимизации мероприятий при реагировании на масштаб- ные катастрофы .....	327
13.3.1. Оптимизация дислокации сил и средств спасения .....	327
13.3.2. Оптимизация распределения сил и средств спасения .....	329
Контрольные вопросы и задания .....	332
Литература .....	333
<b>Глава 14. Зонирование по риску .....</b>	<b>334</b>
14.1. Расчетно-аналитический подход .....	334
14.1.1. Зонирование по риску объектов .....	334
14.1.2. Зонирование по риску территорий .....	337
14.2. Статистический подход .....	344
Контрольные вопросы и задания .....	346
Литература .....	346
Заключение .....	347
Основная литература .....	349
Предметный указатель .....	350