

**Л.Л. КАУФМАН, Н.И. КУЛДЫРКАЕВ,
Б.А. ЛЫСИКОВ**

УПРАВЛЕНИЕ ПОДЗЕМНЫМ СТРОИТЕЛЬСТВОМ

Управление рисками
(обзор зарубежного опыта)

*Под общей редакцией
Л.Л. Кауфмана*

УДК 622.035.4
ББК 33.1
К 30

*Рекомендовано к печати Ученым советом
Донецкого национального технического университета
(протокол №9 от 27 ноября 2009 г.)*

Рецензенты:

Шашенко А.Н. – докт. техн. наук, профессор, зав. каф. «Строительство и геомеханика» Национального горного университета, г. Днепропетровск.

Усаченко Б.М. – докт. техн. наук, профессор, зав. отделом механики горных пород ИГТМ им. М.С. Полякова НАН Украины, г. Днепропетровск

Петренко В.Д. – докт. техн. наук, профессор, зав. каф. «Тоннели, основания и фундаменты» Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта им. акад. В. Лазаряна.

Кауфман Л.Л., Кулдыркаев Н.И., Лысиков Б.А.

К30 Управление подземным строительством. Управление рисками: [монография] Под общ. ред. Л.Л. Кауфмана — Донецк: Норд-Пресс, 2010. — 380 с.
ISBN 978-966-380-428-6

В книге рассмотрены основные принципы и практика зарубежного опыта управления подземным строительством. В I-ой части описаны общие для отрасли подходы к планированию и организации управления, дизайну и строительному производству, определению стоимости и продолжительности работ. Особое внимание уделено контрактной практике и разрешению споров и разногласий, возникающих при потенциальных изменениях контрактных условий.

Во II-ой части приведены особенности управления подземным строительством, связанные с геотехнической обстановкой производства работ. Даны примеры управления особо сложными проектами, включающими многочисленные объекты различного назначения и параметров.

Строительная область является одной из наиболее подверженных рискам с разным происхождением и последствиями, в том числе, катастрофическими. В III-ей части описаны методология управления строительными рисками, их качественная и количественная оценки, подчеркнуты особенности минимизации рисков для подземных проектов, иллюстрированные конкретными примерами.

Книга может быть полезна инженерно-техническим работникам, студентам горно-строительных специальностей, другим читателям, интересующимся вопросами современного подхода к подземному строительному производству.

**УДК 622.035.4
ББК 33.1**

Kaufman L.L., Kuldyrkaev N.I., Lisikov B.A.

Management for underground construction. Management of risks / – Donetsk: Nord-Press, 2010. – 380 p.

ISBN 978-966-380-428-6

© Л. Л. Кауфман, Н. И. Кулдыркаев,
Б. А. Лысиков, 2010
© Норд-Пресс, 2010

Main principles and practice of foreign construction are considered in this book. In the part I there are descriptions of the general approaches to management planning and organization, design, construction works, calculations of their cost and duration. The special attention is paid to contract practice and the resolution of disputes and the disagreements, arising from potential changes of contract conditions.

In the part II there are features of underground construction management, connected with geotechnical conditions. Management examples are given by especially difficult projects including numerous objects of different function and parameters.

The construction branch of industry is one of the most subject to risks of different origin and consequences. In part III their qualitative and quantitative assessments, risk management methodology, minimization of underground risks, examples of underground projects are described.

This book will be useful for experts, practical managers and students who are interesting in modern foreign underground construction management.

О Г Л А В Л Е Н И Е

	Стр.
ВВЕДЕНИЕ	10
ЧАСТЬ III УПРАВЛЕНИЕ РИСКАМИ.....	14
Глава 1 Основные фактические данные о влиянии рисков на строительный проект.....	14
1.1. Общие сведения.....	14
1.2. Базы данных влияния рисков на основные показатели проекта.....	15
1.2.1. База данных PERIL.....	15
1.2.2. База данных строительной практики Австралии..	23
Глава 2 Принципы управления строительными рисками.....	35
2.1. Общие сведения.....	35
2.2. Общий подход к управлению рисками.....	36
2.3. Идентификация строительных рисков.....	48
2.4. Классификация строительных рисков.....	52
2.5. Анализ и оценка рисков.....	53
2.6. Ответственность за риски.....	56
2.7. Связанные риски.....	59
2.8. Краткие сведения о страховании рисков.....	63
Глава 3 Управление рисками на разных стадиях строительства.....	69
3.1. Общие сведения.....	69
3.2. Управление рисками на стадии дизайна.....	72
3.3. Управление рисками в контрактных соглашениях.....	77
3.3.1. Общие требования к управлению рисками.....	77
3.3.2. Принципы распределения рисков.....	78
3.4. Управление рисками на стадии строительства....	79
3.4.1. Роль и ответственность участников строительства.....	79

3.4.2.	Управление рисками в различных организационных моделях строительства.....	82
3.4.3.	Мониторинг рисков.....	86
Глава 4	Качественный и количественный анализ рисков.....	89
4.1.	Общие сведения.....	89
4.2.	Качественный анализ рисков.....	90
4.3.	Количественный анализ рисков.....	98
4.3.1.	Детерминистские способы.....	98
а)	сценарный анализ.....	98
б)	анализ чувствительности.....	101
4.3.2.	Вероятностные способы.....	105
а)	общие понятия о вероятностных способах.....	105
б)	элементарные сведения о распределении вероятностей событий.....	108
в)	система PERT вероятностного анализа рисков.....	125
4.3.3.	Вероятностный анализ рисков методом Монте-Карло.....	142
4.3.4.	Количественная оценка строительных рисков уровнем травматизма.....	160
Глава 5	Принятие решений в условиях неопределенности.....	168
5.1.	Общие сведения.....	168
5.2.	Примеры применения дерева решений.....	170
5.3.	Применение дерева решений с критерием полезности.....	190
5.4.	Пример управления рисками в условиях неопределенности.....	196
Глава 6	Примеры аварий при строительстве наземных зданий.....	205
6.1.	Общие сведения.....	205
6.2.	Фундаментные работы.....	206
6.3.	Наземные здания.....	207
Глава 7	Особенности управления рисками подземного строительства.....	224

7.1.	Общие сведения.....	224
7.2.	Принципы управления рисками подземного строительства.....	226
7.3.	Качественная и количественная оценка рисков.....	235
Глава 8	Примеры управления рисками подземного строительства.....	247
8.1.	Общие сведения.....	247
8.2.	Строительство туннеля метро в Copenhagen.....	248
8.3.	Строительство гидроэлектрического комплекса Nyadi Hydropower.....	252
8.4.	Строительство канализационного туннеля Fall Creek/White River.....	256
8.5.	Расширение транспортной сети Toronto.....	264
8.6.	Оптимизация технологии строительства туннеля Brenner Base.....	271
8.7.	Строительство туннеля Yong Dong.....	289
8.8.	Строительство туннеля Gotthard Base Tunnel.....	301
8.9.	Экологические риски строительства туннелей Hallandsas и Komeriksporten.....	307
8.10.	Геологические риски при строительстве туннелей в горных районах Японии.....	313
8.11.	Риск воздействия подземного строительства на историческую застройку города.....	326
8.12.	Вероятностный подход к оптимизации параметров гидротранспортного желоба.....	336
8.13.	Оценка риска воздействия сейсмических событий на водоупорные перемычки шахт Южной Африки.....	348
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	366
	БИБЛИОГРАФИЯ.....	370

C O N T E N T S

	Page
INTRODUCTION.....	10
PART III MANAGEMENT OF RISKS.	14
Chapter 1 The basic fact sheet of risks influence on construction projects.....	14
1.1. Overview.....	14
1.2. Databases of risks influence on the main project indicators	15
1.2.1. PERIL database.....	15
1.2.2. Database of Australian construction experience.....	23
Chapter 2 Management principles of construction risks.....	35
2.1. Overview.....	35
2.2. Common approach to risk management.....	36
2.3. Identifying of construction risks.....	48
2.4. Classification of construction risks.....	52
2.5. Analysis and assessment of risks.....	53
2.6. Risk responsibilities.....	56
2.7. Correlation of risks.....	59
2.8. Short description of risk insurance.....	63
Chapter 3 Management of risks at different stages of construction.....	69
3.1. Overview.....	69
3.2. Risks management at design.....	72
3.3. Risks management in contract documents.....	77
3.3.1. Common requirements of risk management.....	77
3.3.2. Principles of risk allocation.....	78
3.4. Risks management at construction stage.....	79
3.4.1. Role and responsibility of construction participants..	79
3.4.2. Risks management in various organizational construction models.....	82
3.4.3. Monitoring of risks.....	86

Chapter 4	Qualitative and quantitative analysis of risks	89
4.1.	Overview	89
4.2.	Qualitative analysis of risks	90
4.3.	Quantitative analysis of risks	98
4.3.1.	Deterministic ways	98
a)	scenario analysis	98
b)	sensitivity analysis	101
4.3.2.	Probability ways	105
a)	general approaches to probability methods	105
b)	elementary information about probability distributions	108
c)	method PERT of risk probability analysis	125
4.3.3.	The probability risk analysis by Monte Carlo method	142
4.3.4.	Quantitative assessment of construction risks traumatism method	160
Chapter 5	Decision-making in uncertainty conditions	168
5.1.	Overview	168
5.2.	Examples of a tree decision application	170
5.3.	Application of a tree decision with utility criterion	190
5.4.	Example of risks management in uncertainty conditions	196
Chapter 6	Examples of fundamentals and surface buildings failures	205
6.1.	Overview	205
6.2.	Fundamental works	206
6.3.	Surface buildings	207
Chapter 7	Features of risk management for underground construction	224
7.1.	Overview	224
7.2.	Principles of risk management in underground construction	226
7.3.	Qualitative and quantitative assessment of risks	235

Chapter 8	The examples of risk management in underground construction.....	247
8.1.	Overview.....	247
8.2.	Subway tunnel construction in Copenhagen.....	248
8.3.	Construction of hydropower station Nyadi.....	252
8.4.	Construction of sewer tunnel Fall Creek/White River.....	256
8.5.	Extension of Toronto's railway system.....	264
8.6.	Optimization of construction technology of Brenner Base Tunnel.....	271
8.7.	Construction of Yong Dong Tunnel.....	289
8.8.	Construction of Gotthard Base Tunnel.....	301
8.9.	Environmental risks of Hallandsas and Komeriksporten tunnels construction.....	307
8.10.	Geological risks of tunnel construction in Japan mountain areas.....	313
8.11.	Impact of underground subway station construction under old city.....	326
8.12.	Risk-based probabilistic design for slurry launders...	336
8.13.	Assessment of the risk of plug or water barrier failure due to seismicity at South African gold mines.....	348
	CONCLUSION.....	366
	BIBLIOGRAPHY.....	370

ВВЕДЕНИЕ

В общую систему управления строительством составной частью входят анализ и управление рисками, что позволяет избежать или ограничить опасности строительного проекта.

Существует много принципов классификации строительных рисков. Они могут быть, например, сгруппированы в следующие широкие категории:

Технические риски:

- несовершенный дизайн;
- недостаточное изучение условий строительства;
- адекватность принимаемых решений.

Логистические риски:

- возможности использования ресурсов, особенно, строительного оборудования, запасных частей, труда;
- неопределенность снабжения и использования материалов;

- возможности транспортных средств.

Строительные риски:

- неопределенность продуктивности ресурсов;
- адекватность управленческих решений;
- погодные и сезонные ограничения;
- взаимоотношения с окружающей средой;
- проблемы промышленных связей.

Финансовые риски:

- инфляция;
- колебания курсов валют;
- задержка платежей;
- окупаемость затрат;
- местные налоги.

Политические риски:

- трудовые отношения с профсоюзами;
- таможенные ограничения и процедуры;
- трудности в размещении строящегося объекта;
- требования о привлечении местных фирм и агентов.

Многие участники строительного процесса не осознают возможные опасности потенциального воздействия рисков на бизнес, правильная стратегия управления которыми позволяет уменьшить или предотвратить эти опасности, угрожающие строительству.

Создание культуры управления рисками должно стать жизненной частью реализации проекта. Эта культура требует стратегического и оперативного планирования, включает все уровни персонала подрядчика и даже заказчика, который также несет свою долю ответственности в строительном проекте.

Стратегическое планирование управления рисками включает рассмотрение таких вопросов, как наем персонала, его обучение, выбор подрядчика и организационной модели строительства, программа обеспечения качества. В мероприятия плана управления входят информационные потоки, коммуникационные пути, контрактные переговоры, определение состава и объемов работ. Для того, чтобы стать эффективным, план должен быть простым, работоспособным и легко понимаемым. Мониторинг его выполнения позволяет увидеть и оценить эффективность предпринимаемых шагов.

Правильное оперативное планирование позволяет обеспечить хорошее взаимодействие участников строительства, а также смягчить или устранить разногласия и споры. Выработанные совместные решения, а также особые мнения участников, должны документироваться с тем, чтобы быть основой для рассмотрения возможных претензий.

Заказчики, обычно плохо знакомые со специфическими вопросами дизайна и строительства, должны иметь необходимый уровень подготовки, чтобы правильно относиться к ожидаемым результатам профессиональной работы подрядчиков и участвовать в распределении рисков.

Важную роль играет правильно определенный и описанный состав работ. Во-первых, он помогает избежать недоразумений при выполнении участниками строительства своих

задач. Во-вторых, он устанавливает основу для переговоров о стоимости проекта и порядке оплаты произведенных работ. Наконец, он формирует основу для четкого определения необходимости дополнительных работ, не предусмотренных контрактом, но вызванных появлением непрогнозируемых рисков. Если такие работы начинают выполняться без ясно выраженного согласия заказчика на оплату, бывает очень трудно после этого объяснить ему, что они не были учтены начальным составом проекта.

Порядок оплаты заказчиком работ должен быть четко установлен и обсужден, а дополнительные работы следует понятно заказчику мотивировать, непредвиденные расходы прозрачно рассчитать, возможные задержки строительства убедительно объяснить.

Вместе с тем, во время тендерных переговоров подрядчик должен иметь ввиду ту минимальную стоимость контракта, ниже которой он не может согласиться принять проект в работу. Подрядчику следует избегать проектов, оплата которых не адекватна уровню возможных рисков, возникающих в ходе строительства.

В справедливом контракте возможные риски распределяются между участниками таким образом, что каждый из них несет свою долю ответственности за небрежности, ошибки или упущения, но не за погрешности других участников.

Большое значение в выполнении плана управления рисками имеет также уровень подготовки инженеров и менеджеров. Создание системы обучения помогает менее квалифицированному персоналу в его карьерном росте.

В основе оперативного планирования лежит регистр рисков, составляемый на ранних стадиях проекта, корректируемый и пополняемый в ходе строительных работ. Раннее планирование может идентифицировать потенциальные источники рисков, а своевременное вмешательство – уменьшить тяжесть их последствий. Когда риск идентифицирован, разрабатываются меры по его профилактике, позволяющие изме-

нить опасные условия или полностью их избежать. Конечно, некоторые события случаются без предупреждающих признаков, что требует незамедлительной реакции на них. Хотя невозможно разработать всеобъемлющий план для каждого конкретного случая, идентификация возможных рисков позволяет установить приоритеты и правильные рамки действий с непредвиденными событиями. Наличие плана, предусматривающего быстрые действия, позволяет минимизировать ущерб, вызванный этими событиями.

Чем более сложен проект, тем чаще случаются риски даже учтенные дизайном и другой документацией. Привлечение для такого учета компьютерной технологии улучшает производительность и качество графической и текстовой частей дизайна, спецификаций, расчетов качественной и количественной оценки рисков, оптимизации непредвиденных расходов в бюджете строительства.

В ходе выполнения самой уязвимой с точки зрения рисков стадии проекта – собственно строительства – каждая задача управления рисками должна выполняться своевременно и эффективно так, чтобы предотвратить возможные тяжелые последствия и задержки. Здесь для подрядчика важно показать, что причины задержек объективны и не являются его виной. Поэтому текущие документы должны выполняться с достаточной тщательностью, а взаимоотношения между участниками формироваться партнерскими, что позволяет совместно работать для достижения общей цели.

ЧАСТЬ III. УПРАВЛЕНИЕ РИСКАМИ

Глава 1. Основные фактические данные о влиянии рисков на строительный проект

1.1 Общие сведения

Строительство – рискованный бизнес для всех его участников. Опрос основных строительных компаний, проведенный в Великобритании показал, что:

- у более чем 40% респондентов половина проектов превышала первоначальную смету или установленный график строительства;
- у почти 55% последний проект превышал смету и график более чем на 100%;
- у более чем 66% последний проект был либо прекращен до полного завершения, либо претерпел значительные неудачи в достижении поставленных целей;
- более 60% опрошенных считают слабым управление рисками в своих организациях.

Начиная с поздних 1990-х гг. составной частью большинства проектов подземного строительства стали вопросы управления рисками, которые рассматриваются на разных стадиях работ: дизайн, контрактные соглашения, собственно строительство. Управление рисками требует от участников последнего большого опыта, практических и теоретических знаний, которые должны основываться на базе данных, анализирующей причины рисков и их воздействие на основные цели проекта.

В недавние годы разными авторами были проведены исследования влияния рисков на строительный процесс, описанные в следующих разделах.

1.2 Базы данных влияния рисков на основные показатели проекта

1.2.1 База данных PERIL

До последнего времени у специалистов, занимающихся проблемами воздействия рисков на основные показатели проекта (объем, сроки, ресурсы) отсутствовала полноценная база фактических данных, позволяющая сделать какие-либо обобщающие выводы. Далее описаны материалы книги Т. Kendrick, «Identifying and Managing Project Risk: essential tools for failure - proofing your project», 2-nd ed., «American Management Association», New York, 2009. Ее автором собраны и классифицированы данные о более 600 проектах и рискованных ситуациях, в которых они оказывались (программа PERIL - Project Experience Risk Information Library – информационная библиотека опыта проектных рисков). Более 70% этих проектов относятся к американскому опыту, около 20% - к азиатскому, остальные проекты осуществлялись в Европе и на Ближнем Востоке.

При реализации проектов обычно возникают проблемы воздействия рисков на:

- объем (содержание) работ;
- своевременное завершение проекта;
- ресурсы или стоимость работ.

В табл. 1.1 показано общее число рассмотренных проектов, объекты воздействия рисков, а также общая и средняя продолжительность задержек реализации проектов (в неделях) при этом воздействии.

В табл. 1.2 приведена детализация воздействия рисков. Источники рисков, воздействующих на объем работ, показаны в табл. 1.3.

Таблица 1.1 – Воздействие рисков

Объект воздействия риска	Общее число случаев	Общее воздействие (задержки), нед.	Среднее воздействие (задержки), нед.
Объем (содержание) работ	2709	2114	7,8
Продолжительность работ	192	1141	5,9
Ресурсы	187	1250	6,7
Всего	649	4505	6,9

Таблица 1.2 – Детализация воздействия рисков

Объект воздействия риска	Детализация воздействия	Общее число случаев	Общее воздействие, нед.	Среднее воздействие, нед.
Объем (содержание)	Пересмотр решений в ходе работ	177	1460	8,2
	Ошибки работ при выполнении внешних требований	93	654	7,0
Продолжительность работ	Задержки из-за внутренних факторов (контролируемых)	102	509	5,0
	Неадекватная продолжительность операций	49	370	7,6
	Задержки из-за внешних факторов	41	262	6,4
Ресурсы	Работа внутреннего персонала	123	706	5,7
	Работа внешнего персонала	47	316	6,7
	Недостатки финансирования	17	228	13,4

Таблица 1.3 – Источники рисков, воздействующих на объем работ

Источник риска	Определение	Общее число случаев	Общее воздействие, нед.	Среднее воздействие, нед.
Изменения				
Текущие	Любые непредвиденные изменения объема	77	678	8,8
Существенные	Нормативные требования к объему, внесенные в ходе строительства	87	731	8,4
Зависимые	Вызванные внешними факторами	13	53	4,1
Дефекты				
Программное обеспечение	Неощутимые проблемы, которые нужно решать	42	306	7,3
Технические средства	Ощутимые проблемы, которые нужно решать	38	261	6,9
Системные проблемы	Дефекты, требующие изменения объема проекта	13	87	6,7

«Расползание» объема (содержания) проекта – наиболее серьезная категория, представляющая большинство рисков изменений. Почти все эти случаи являются непредвиденными дополнительными инвестициями денег и времени, которые часто можно было предвидеть при более тщательной оценке объема. Среднее увеличение продолжительности проекта составляет при этом более двух месяцев. Некоторые из измене-

ний вызваны модификацией существующих спецификаций. Другие важные изменения проекта, отмеченные в базе данных PERIL, были результатом обнаружения в ходе работ объемов, упущенных на стадии дизайна. Большинство соответствующих рисков возникает из-за пересмотра требований к проекту и неадекватного первичного анализа его целей и путей реализации.

Третья причина изменений относится к неожиданно появившимся зависимостям объема от факторов, которые не являются полными сюрпризами, но обнаруживаются, например, при использовании новых систем программного обеспечения или современного оборудования. В частности, некоторые проекты, внесенные в базу данных, пострадали из-за незапланированных задержек в доступе к новым версиям компьютерных программ.

Технические проекты полагаются на много сложных вещей, которые не всегда работают, как ожидалось. Выход из строя оборудования – наиболее общий риск в базе данных PERIL. В некоторых случаях основной причиной ущерба из-за дефектов было применение новых, неиспытанных технологий, показавших свою непригодность.

Другим примером риска дефектов является некачественная работа оборудования и программного обеспечения. В некоторых проектах работа компонентов не отвечает действующим критериям и стандартам, например, оборудование не соответствует нужной производительности, нормам потребления энергии, ограничением уровня проникающего электромагнитного излучения.

Третьим видом риска дефектов является обычное для больших проектов расчленение технических программ на меньшие субпроекты, работающие параллельно (для строительных проектов – одновременная работа нескольких субподрядчиков). Последующее объединение результатов каждого из субпроектов в окончательную систему требует не только их соответствия собственным спецификациям, но также

комбинации всех частей в единый работающий проект. Интеграция рисков в этих случаях особенно проблематична, поскольку они трудно прогнозируются и управляются.

В табл. 1.4 и 1.5 показаны источники рисков, воздействующих на продолжительность и ресурсы проекта.

Таблица 1.4 – Источники рисков, воздействующих на продолжительность работ

Источник риска	Определение	Общее число случаев	Общее воздействие, нед.	Среднее воздействие, нед.
Оценки	Предположения, что новые работы будут легче, чем оказалось	21	207	9,9
	Нереалистические назначенные сроки окончания	9	64	7,1
	Неправильные оценки или неадекватный анализ процесса	19	99	5,2
Зависимость	Изменения законов, нормативов, стандартов	7	53	7,6
	Зависимость работ друг от друга в общей программе	17	119	7,0
	Неготовность инфраструктуры принять потребности проекта	17	90	5,3
Задержки	Получение документации	26	176	6,8
	Доставка необходимых компонентов	38	189	5,0
	Поставка оборудования	23	98	4,3
	Несвоевременное принятие решений	15	46	3,1

Таблица 1.5 – Источники рисков, воздействующих на ресурсы проекта

Источники риска	Определение	Общее число случаев	Общее воздействие, нед.	Среднее воздействие, нед.
1	2	3	4	5
Средства	Ограниченность фондов	17	228	13,4
Персонал	Потеря взаимодействия и интереса команды (в длительных проектах)	8	69	8,6
	Позднее формирование персонала	15	115	7,7
	Потеря постоянного персонала из-за выдвижения, ухода на пенсию, здоровья	40	277	6,9
	Задержки из-за нехватки персонала	27	117	4,3
	Временная потеря персонала из-за болезней и других	33	128	3,9
Привлечение сторонних ресурсов	Позднее привлечение недостаточное материально-техническое снабжение	34	260	7,6
	Задержки, связанные с субподрядными контрактами	13	56	4,3

Риски, связанные с продолжительностью работ, составляют более трети общих случаев базы данных PERIL. Они распределяются на три категории – оценки, зависимости и задержки, из которых наиболее очевидны риски предварительных оценок продолжительности реализации проекта. Люди, работающие над такими проектами, обычно хорошо знают и

признают, насколько неадекватны их оценки и прогнозы. Качество оценок часто связано с надеждами на применение новых технологий и с внешним влиянием на проект. Иногда экстремально сжатые сроки устанавливаются еще до получения всех необходимых исходных данных и сохраняются, даже когда становится очевидным, что их выполнение невозможно.

Риски зависимости от других проектов являются обычными, поскольку последние, кроме необходимости обмена информацией, должны быть синхронизированы при исполнении. Управление связями с ними затруднено, а последствия рисков увеличиваются со временем. Многие из этих рисков, занесенных в базу данных PERIL, были замечены только на поздних стадиях проекта. Даже, если взаимодействия с другими проектами хорошо определены заранее, задержки могут произойти с большой вероятностью.

Еще одним видом зависимости является потеря рабочего времени компьютерных систем при неадекватном доступе к ресурсам, таким, как служба технического обслуживания или системное обеспечение. Несколько проектов были задержаны из-за перебоев в их работе, не зависящих от персонала исполнителей.

Риски задержек составляют почти половину общих рисков продолжительности работ из базы данных PERIL и вызваны вполне ощутимыми причинами, например, несвоевременной поставкой оборудования, материалов и т.д. Задержки вызываются также несвоевременным принятием решений менеджерами или акционерами, всевозможными дебатами, дискуссиями и спорами.

Риски ресурсов (табл. 1.5) представляют менее 1/3 базы данных, но их воздействие в среднем продолжается около 7 недель. Существует три главных категории ресурсов: средства, привлечение посторонних ресурсов (outsourcing) и персонал.

Недостаток средств – не очень распространенный случай в базе данных PERIL, но последствия этих рисков весьма тя-

желы. Несколько важных проектов были завершены на год позднее установленных сроков из-за денежных ограничений.

Риски, относящиеся к персоналу, наиболее распространены и составляют почти 2/3 от общего числа случаев. Потери персонала, его позднее подключение к проекту, нехватка персонала – наиболее частые проблемы, относящиеся к возможностям рисков в этом виде ресурсов. Причины потери персонала различны, но всегда рискованны для хода работ. Хотя их общее воздействие сравнительно невелико, имеется ряд проектов, где средняя задержка графика по этой причине составила более 5 недель.

Несвоевременное формирование персонала имеет несколько причин, но наиболее общая из них – позднее окончание предыдущей работы. Даже, когда нужная команда уже может приступить к проекту, возможны дополнительные задержки из-за усталости рабочих, вынужденных нагонять пропущенные сроки сверхурочными работами. Позднее привлечение персонала особенно характерно для квалифицированных специалистов, расходы на которых велики, из-за чего бизнесы стараются их минимизировать.

Приведенный анализ статистических данных показывает, что наибольшее число рисков, воздействующих на проект, связано с его объемом (содержанием).

Примерно 20% рисков каждой категории идентифицируются, как серьезные, заслуживающие детального внимания, например, те из них, которые вызывают более, чем трехмесячную задержку работ. Половина из них относится к изменениям объемов, связанных с:

- малым участием заказчика и неправильным его пониманием параметров объекта;
- существенным усложнением дизайна по сравнению с ожидаемым;
- поздним введением в проект новых технологий и изменением объемов или оборудования;
- плохим управлением изменениями.

Новые возможности, интересные идеи, незамеченные альтернативы могут обнаруживаться в ходе реализации проекта, создавая желание его обновить и улучшить. Однако, такие изменения часто либо недостаточно анализируются прежде, чем вносятся в проект, либо их авторы надеются на нереалистически завышаемые будущие выгоды.

1.2.2 База данных строительной практики Австралии

Еще одна попытка создать реальную базу данных, необходимую для выбора стратегии и способов управления строительными рисками, была предпринята группой ученых Австралии и Китая, которыми на основе анализа литературы был проведен письменный опрос практиков строительства и обобщение полученных от них данных.

Опросник состоял из двух разделов. Первый содержал общую информацию о респондентах. Второй рассматривал 88 рисков, связанных со строительными проектами и просил респондентов оценить возможность возникновения этих рисков, как весьма вероятную, вероятную или мало вероятную, а уровень воздействия рисков – как высокий, средний или низкий. Перечень возможных рисков был принят по данным наиболее известных литературных источников и разделялся на 9 категорий, в которых 8 рисков относились к заказчикам, 8 – к дизайнерам, 40 – к подрядчикам, 6 – к субподрядчикам/поставщикам, 5 – к нормативам и стандартам, 5 – к надзору, 16 – к внешним воздействиям (таким, как экономические обстоятельства, физическая окружающая среда и социальная обстановка).

Опросник рассылался 60 строительным практикам в Австралии, с которыми заранее была достигнута договоренность об их степени знакомства со строительными проектами и готовности к сотрудничеству в проводимом опросе. Были получены 22 ответа, из которых 2 оказались недействительными из-за неполноты или безвариантности ответов. Таким обра-

зом, оставшиеся составляли 33%, что соответствует статистическим нормативам репрезентативности.

Сравнительно небольшое число респондентов, принимавших участие в опросе, объяснялось трудоемкостью ответов на поставленные вопросы и их широким кругом, который мог выходить за пределы знаний некоторых практиков.

Средний опыт участников опроса в строительных проектах составлял 22 года, 90% из них работали в строительной индустрии более 10 лет. Все эксперты имели высшее образование и занимали высокие позиции.

В опросниках применялись трехточечные шкалы для оценки вероятности и воздействия рисков (табл. 1.6). Их произведение показывало общую оценку риска.

Таблица 1.6 – Матрица расчета индекса оценки риска

Воздействие Вероятность	Высокий уровень - 1,0	Средний уровень - 0,5	Низкий уровень - 0,1
Высокая (1,0)	1,00	0,50	0,10
Вероятная (0,5)	0,50	0,25	0,05
Маловероятная (0,1)	0,10	0,05	0,01

В соответствии со значениями индекса оценки рисков, приведенными в табл. 1.6, экспертами ранжировалось влияние рисков на основные цели проекта, разделенные на 5 категорий (табл. 1.7).

После исключения повторяющихся или взаимозависимых видов риска были выделены 20 из них, ключевых – наиболее сильно влияющих на цели проекта (табл. 1.8).

Сравнение оценок влияния различных рисков на основные цели проекта, приведенных в табл. 1.7, показано на рис.1.1.

Таблица 1.7 – Значения оценки влияния рисков на основные цели проекта

Основные 10 рисков	Оценка риска
1	2
Риски, относящиеся к стоимости	
Сжатый график проекта	0,67
Изменения дизайна	0,49
Изменения, внесенные заказчиком	0,46
Неудовлетворительное планирование	0,42
Возникновение разногласий	0,42
Инфляция стоимости строительных материалов	0,41
Излишние процедуры согласований в административных инстанциях	0,40
Некомплектные одобряющие и другие документы	0,39
Недостаточная или неправильная сметная оценка	0,38
Неадекватная программа графика работ	0,38
Риски, относящиеся ко времени	
Сжатый график проекта	0,57
Изменения дизайна	0,48
Излишние процедуры согласований в административных инстанциях	0,48
Изменения, внесенные заказчиком	0,47
Некомплектные одобряющие и другие документы	0,45
Неудовлетворительное планирование	0,45
Неадекватная программа графика работ	0,42
Государственная бюрократия	0,39
Высокие ожидания производительности или качества	0,38
Изменения строительных программ	0,38
Риски, относящиеся к качеству	
Сжатый график проекта	0,56
Неадекватная программа графика работ	0,41
Неудовлетворительное планирование	0,38
Недостаточная или неправильная сметная оценка	0,38
Низкий уровень компетентности субподрядчиков	0,36
Высокие ожидания производительности или качества	0,35
Изменения строительных программ	0,35

Продолжение таблицы 1.7

1	2
Нехватка достаточного количества квалифицированного труда	0,31
Изменения дизайна	0,30
Недостаток координации между участниками проекта	0,29
Риски, относящиеся к окружающей среде	
Сжатый график проекта	0,39
Изменения строительных программ	0,28
Отсутствие достаточного числа профессионалов и менеджеров	0,27
Излишние процедуры согласований в административных инстанциях	0,27
Изменения, внесенные заказчиком	0,25
Неадекватная или недостаточная информация о строительной площадке (например, геотехническая)	0,25
Низкий уровень компетентности субподрядчиков	0,24
Высокие ожидания производительности или качества	0,24
Неадекватная программа графика работ	0,23
Высокий уровень шума, вызываемый строительством	0,23
Риски, относящиеся к безопасности	
Сжатый график проекта	0,45
Низкий уровень компетентности субподрядчиков	0,37
Неудовлетворительное планирование	0,33
Изменение строительных программ	0,30
Случай нарушения общей безопасности	0,30
Высокие ожидания производительности или качества	0,27
Изменение дизайна	0,26
Недостаток координации между участниками проекта	0,26
Излишние процедуры согласований в административных инстанциях	0,25
Нехватка достаточного количества квалифицированного труда	0,24
Отсутствие достаточного числа профессионалов и менеджеров	0,24

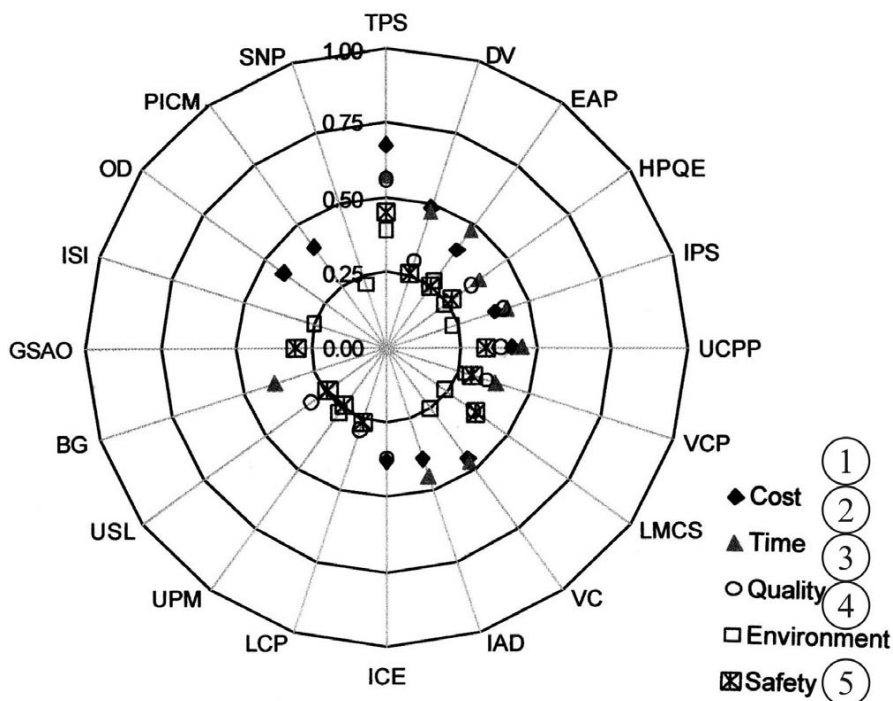


Рис. 1.1. Графическая интерпретация оценок влияния строительных рисков

1 – стоимость; 2 – время; 3 – качество; 4 – окружающая среда; 5 – безопасность.

Значение среднего индекса оценки риска (табл. 1.6) равное 0,25 (произведение средней вероятности возникновения риска 0,5 и среднего уровня воздействия риска 0,5) может считаться достаточно высоким. Большинство индексов основных 10 рисков (табл. 1.7) распределены между значениями 0,25 и 0,75. Только 6 оценок расположены внутри круга 0,25 (рис. 1.1) и лишь оценка риска основного фактора «сжатый график» расположена между значениями 0,5 и 0,75 (значения от 0,56 до 0,67).

Анализ полученной базы данных проводился дифференцировано для участников строительства.

Таблица 1.8 – Ключевые риски, наиболее сильно влияющие на цели проекта

№ п/п	Ключевые риски	Аббревиатура
1	2	3
1	Сжатый график проекта (tight project schedule)	TPS
2	Изменения дизайна (design variations)	DV
3	Излишние процедуры согласований в административных инстанциях (excessive approval procedures in administrative governments departments)	EAP
4	Высокие ожидания производительности или качества (high performance or quality expectations)	HPQE
5	Неадекватная программа графика работ (inadequate program scheduling)	IPS
6	Неудовлетворительное планирование (unsuitable construction program planning)	UCPP
7	Изменения строительных программ (variations of construction programs)	VCP
8	Низкий уровень компетенции субподрядчиков (low management competency of subcontractors)	LMCS
9	Изменения, внесенные заказчиком (variations by the client)	VC
10	Некомплектные одобряющие и другие документы (incomplete approval and other documents)	IAD
11	Недостаточная или неправильная сметная оценка (incomplete or inaccurate cost estimate)	ICE
12	Недостаток координации между участниками проекта (lack of coordination between project participants)	LCP
13	Отсутствие достаточного числа профессионалов и менеджеров (unavailability of sufficient professionals and managers)	UPM
14	Нехватка достаточного количества квалифицированного труда (unavailability of sufficient amount of skilled labor)	USL
15	Государственная бюрократия (bureaucracy of governments)	BG

Продолжение таблицы 1.8

1	2	3
16	Случаи нарушения общей безопасности (general safety accident occurrence)	GSAO
17	Неадекватная или недостаточная информация о строительной площадке (например, геотехническая) (inadequate or insufficient site information, soil test and survey report)	ISI
18	Возникновение разногласий (occurrence of dispute)	OD
19	Инфляция стоимости строительных материалов (price inflation of construction materials)	PICM
20	Высокий уровень шума, вызываемый строительством (serious noise pollution caused by construction)	SNP

Из рисков, относящихся к заказчику, наиболее значительным является «сжатый график». Заказчик должен реально оценить продолжительность строительства с учетом всех операций дизайна и производства. Поскольку время и стоимость всегда тесно коррелируют, растянутый график разрушит преимущества проекта. На его результат также напрямую влияет фактор «изменения, внесенные заказчиком», которые могут быть результатом двух причин: сознательного решения заказчика или недоразумений в понимании реальной строительной обстановки. В первом случае заказчик несет всю полноту ответственности, во втором – к работе над проектом заранее должна быть привлечена квалифицированная команда, точно понимающая его объем и функции.

Еще одним фактором риска, относящимся к заказчику, являются «высокие ожидания производительности и качества», которые могут привести к недооценке необходимых для проекта средств, времени и даже уровня безопасности. Кроме того, результат проекта может превысить потребности рынка или заказчика, что также требует соответствующего внимания последнего.

Риск «некомплектных одобряющих и других документов» обычно возникает из-за слабости менеджмента проекта

или «государственной бюрократии». Заказчику следует определить компетентную программу для получения административных согласований и подготовить соответствующую эффективную документацию.

Из рисков, относящихся к дизайну, «изменения дизайна» могут быть результатом его дефектов или «изменений, внесенных заказчиком». Чтобы избежать этих дефектов, команда дизайнеров должна не только понимать пожелания заказчика, но также устанавливать между участниками строительства эффективную схему коммуникаций. «Неадекватная программа графика работ» часто возникает в проекте со «сжатым графиком», когда некоторые программы в ущерб нормальному подходу должны быть уменьшены, чтобы обеспечить соответствие графика ранее намеченным срокам. Большая часть решений дизайна принимается в условиях неопределенности, что делает нереальной возможность адекватно прогнозировать время, необходимое для реализации различных программ. Опытный дизайнер может минимизировать разницу между предлагаемыми и практически осуществимыми программами, входящими в общий график работ.

«Недостаточная или неправильная сметная оценка» напрямую относится к знаниям и работе дизайнеров и консультантов. Как уже говорилось, строительную деятельность сопровождают многие непредвиденные факторы, заставляя заранее оцениваемую стоимость сильно отличаться от реальной. Ответственные и опытные дизайнеры и, при возможности, подрядчики и субподрядчики могут минимизировать ошибки в определении бюджета проекта.

«Неадекватная или недостаточная информация о строительной площадке (например, геотехническая)» воздействует на ход экскавации, строительство оснований и фундаментов. Поэтому еще до начала дизайна должно быть проведено бурение разведочных скважин, испытания грунтов, обследования соседних зданий и объектов инфраструктуры для оценки условий строительства и снижения неожиданных рисков.

Из рисков, относящихся к подрядчикам, на ход строительства влияют «неудовлетворительное планирование» и «изменения строительных программ». Для того, чтобы уменьшить негативное влияние этих двух рисков, на стадии дизайна должен быть разработан график внедрения в строительство инноваций и определена их строительная технологичность и приемлемость. При выборе подрядчиков ключевым критерием должна стать их способность управлять строительными программами, применяющими инновации – новые технологии и оборудование.

Риск «недостаток координации между участниками проекта» может привести к хаосу в управлении строительным проектом. Для того, чтобы это предотвратить, к проекту следует привлечь генерального подрядчика или менеджера, опытных и умелых в выработке правильных взаимоотношений участников.

«Нехватка достаточного количества квалифицированного труда» и «отсутствие достаточного числа профессионалов и менеджеров» приводят к задержкам в ходе работ. Подрядчики должны планировать свои части общего проекта на всей их продолжительности, чтобы определить необходимую численность персонала и обосновать ее перед акционерами.

«Возникновение разногласий» происходит в большинстве строительных проектов вследствие несоответствий и изменений в дизайне и строительстве. При наличии таких изменений подрядчик должен обсудить их с персоналом и менеджером проекта (представляющим интересы заказчика) и документировать возникающие задержки.

«Высокий уровень шума, вызываемый строительством», может привести к жалобам соседей строительной площадки и далее – к административному вмешательству. В таких случаях подрядчик должен установить подходящее время для соответствующих работ и предусмотреть меры по изоляции строительного шума.

«Случаи нарушения общей безопасности» обычно происходят из-за нехватки менеджмента, небрежности в осуществлении политики безопасности и при конфликте интересов пересекающихся строительных программ. Для снижения опасности таких рисков подрядчик должен установить и выполнять систематическую программу работ по обучению персонала и повышению его настороженности к опасности.

К субподрядчикам относится единственный риск «низкий уровень компетенции субподрядчиков». Отличаясь от генерального подрядчика, постоянно управляющего строительством длительный период времени, субподрядчики обычно распределяют свои людские и другие ресурсы по разным проектам, стараясь достичь максимальной прибыли собственных бизнесов. Умелое управление этими ресурсами при одновременном осуществлении нескольких проектов является ключевым критерием квалификации субподрядчиков для их выбора и привлечения к реализации проекта.

От рисков, относящихся к административным органам – «излишние процедуры согласования в административных инстанциях» и «государственная бюрократия» - нередко страдают и заказчики и подрядчики. Эти риски находятся вне зоны контроля акционеров. Для привлечения инвестируемого капитала к своим административным территориям государственные агентства должны предпринимать значительные усилия по созданию дружественного отношения к бизнесам, при котором процедуры согласований упрощаются и сокращаются, минимизируя бюрократическую волокиту. Со своей стороны команда проекта должна принимать стратегию поддержания добрых взаимоотношений с локальными административными органами.

Один из рисков – «инфляция стоимости строительных материалов» относится к внешним воздействиям. Цена строительных материалов всегда изменяется в соответствии с инфляцией и отношениями между спросом на строительные материалы и их предложением поставщиками. Поскольку такой

риск избежать не удастся, заказчик должен выбрать подходящий вид контракта (например «lump sum» - полная сумма), чтобы передать риски другим участникам строительства (генеральному подрядчику и субподрядчику), тогда как подрядчику следует избегать контрактов с фиксированной ценой, предусматривающих принятие риска на себя. Один из путей компенсировать потенциальное колебание цен – предусмотреть в бюджете проекта соответствующие непредвиденные расходы.

Эффективное управление рисками принимает во внимание их распределение по разным стадиям жизненного цикла проекта. Многие риски могут возникать на более, чем одной стадии строительства. Своевременная идентификация возможных рисков позволяет предусмотреть необходимые действия по управлению ими.

На рис. 1.2 показана так называемая диаграмма «fish bone» («рыбная кость»), из которой видно, что большинство рисков происходит в дооперационных стадиях проекта, т.е. до ввода построенного объекта в эксплуатацию. Это соответствует природе строительных проектов, в которых неопределенность и сложность неизбежны еще до полного завершения строительства. Когда построенный объект введен в эксплуатацию, большинство неопределенностей переходит в реальность и возможные риски могут возникать только в связи с работой реализованных составных частей проекта, требованиями действующих нормативных актов и взаимоотношениями с окружающей средой.

Диаграмма рис. 1.2 показывает также распределение рисков между заказчиками, дизайнерами, подрядчиками, а также взаимоотношения между ними и административными инстанциями.

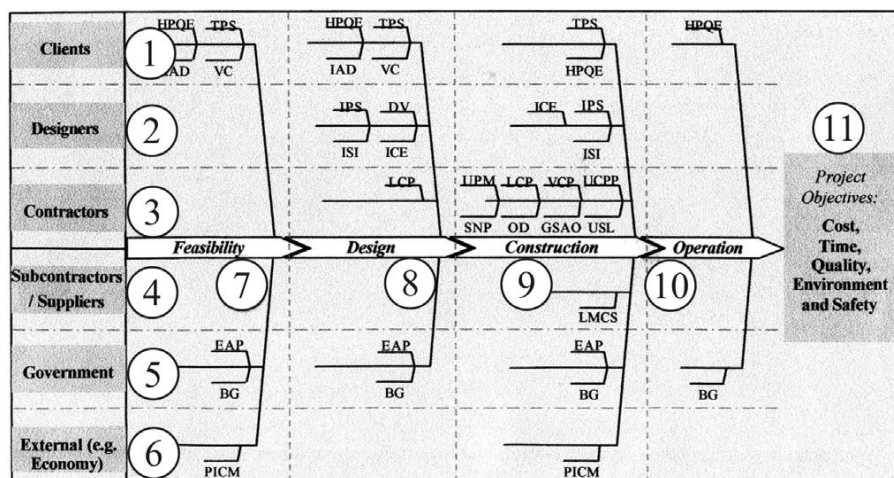


Рис. 1.2. Диаграмма «Fish bone» распределения рисков по участникам и стадиям строительства

1 – заказчики; 2 – дизайнеры; 3 – подрядчики; 4 – субподрядчики; 5 – власти; 6 – внешние условия (например, экономика); 7 – предварительное обоснование; 8 – дизайн; 9 – строительство; 10 – работа построенного объекта; 11 – параметры проекта.

Глава 2. Принципы управления строительными рисками

2.1 Общие сведения

Управление рисками в строительстве – важная составная часть общего процесса управления производством. Риски, с которыми встречается любой вид строительной индустрии, можно разделить на три основные группы – финансовые, коммерческие и производственные.

Финансовые риски связаны с инфляцией, изменениями учетной ставки национальной банковской системы, банковского интереса (процента по кредитам и депозитам), соотношениями курсов валют, другими макроэкономическими факторами.

Коммерческие риски связаны с нестабильностью рыночной ситуации, т.е. действиями поставщиков и потребителей, а также конкурентной борьбой. В строительстве важную роль играют взаимоотношения генерального подрядчика и субподрядчиков.

Производственные риски связаны с технологией строительства и могут сопровождаться авариями с различными последствиями вплоть до катастрофических. Сюда же можно отнести и экономические риски, вызванные воздействием на окружающую природную среду.

Другим общим подходом к классификации рисков является их деление на контролируемые и неконтролируемые. Контролируемый риск – тот, решение по которому принимается ответственным лицом, а последствия риска находятся под прямым контролем. Так, в строительной индустрии исполнитель принимает на себя риск, связанный с внедрением новых технологий и управляет им.

К неконтролируемым рискам относятся те, на которые невозможно повлиять, например, вызываемые внешним окружением, политическими, социальными или экономическими сферами. На риски, связанные с погодными условиями,

инфляцией или изменениями налоговых законов, персонал, принимающий решение, не может воздействовать, хотя обычно имеет возможность уменьшить последствия такого события.

В зарубежной практике управление рисками строительства осуществляется в соответствии с нормативными документами, например, в США – «A Guide to the Project Management Body of Knowledge» («Руководство по основам знания управления проектом»). Его основные положения использованы в последующем тексте.

2.2 Общий подход к управлению рисками

Управление рисками – систематизированный процесс, включающий:

- идентификацию и классификацию опасностей и связанных с ними рисков, которые воздействуют на процесс строительства;
- анализ рисков и их качественную и количественную оценку;
- планирование и распределение ответственности за риски между участниками проекта и контроль этой ответственности (рис. 2.1);
- мониторинг рисков во время всего жизненного цикла проекта.

Для решения этих задач привлекаются эксперты, имеющие достаточную подготовленность и практический опыт, оценивающие осознаваемые опасные события, которые угрожают строительству. Основной метод, применяемый при этом – «мозговой штурм», т.е. «... оперативный метод решения проблемы на основе стимулирования творческой активности, когда участникам обсуждения предлагают высказывать возможно большее количество вариантов решения, в том числе, самых фантастических. Затем из общего числа высказанных

идей отбирают наиболее удачные, которые могут быть использованы на практике («Википедия», <http://ru.wikipedia.org>).

В процессе обсуждения, кроме специфических, рассматриваются также общие причины опасных событий, такие как:

- сложность конструкции и эксплуатации применяемой техники;
- неожиданные геологические и гидрологические условия;
- техническая и управленческая некомпетентность;
- недостаток сотрудничества и координации между внутренними и внешними системами строительства;
- человеческий фактор;
- комбинация нескольких нежелательных событий, которые по отдельности не являются критическими.

«Мозговой штурм» используется исключительно для генерации идей и не включает анализ причин предлагаемых решений.

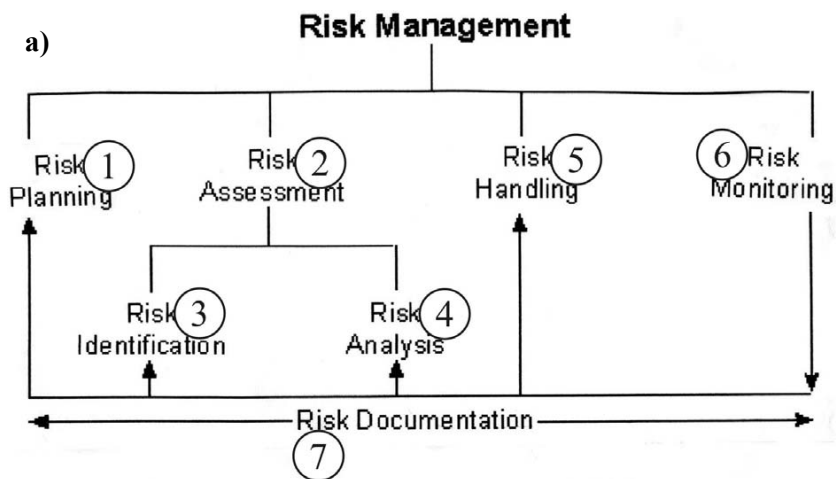


Рис. 2.1. Структура управления рисками

а) общая схема управления рисками

1 – планирование риска; 2 – оценка рисков; 3 – идентификация рисков; 4 – анализ рисков; 5 – управление рисками; 6 – мониторинг рисков; 7 – документация рисков.

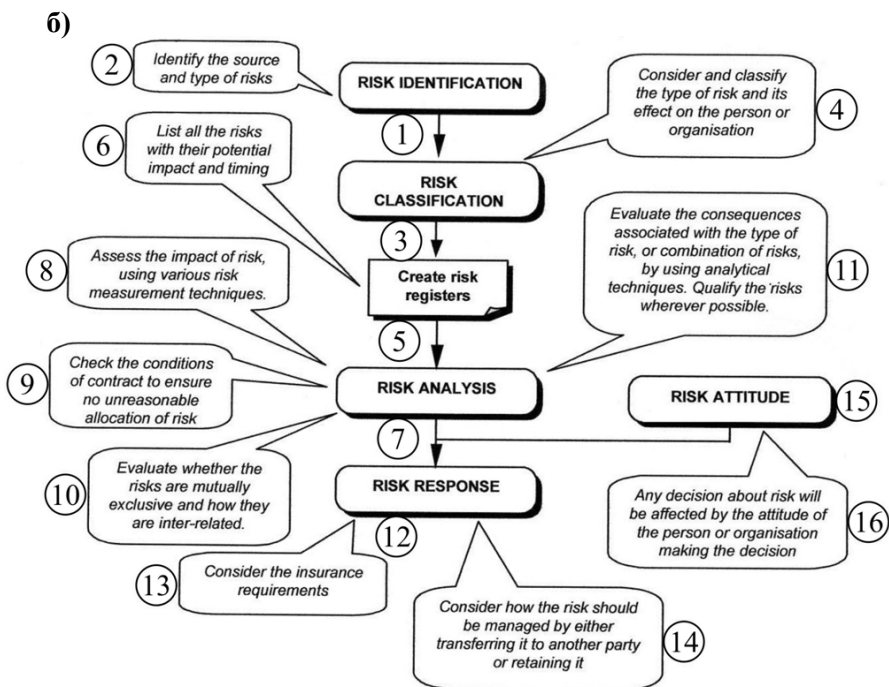


Рис. 2.1. Структура управления рисками (окончание)

б) схема управления строительными рисками

1 – идентификация риска; 2 – идентификация источника и вида риска; 3 – классификация риска; 4 – обсуждение и классификация вида риска и его воздействие на персонал или организацию; 5 – создание регистра риска; 6 – перечень рисков с их потенциальным воздействием; 7 – анализ рисков; 8 – оценка воздействия рисков; 9 – проверка условий контракта по распределению рисков; 10 – оценка взаимодействия рисков; 11 – оценка последствий, связанных с видом риска или их комбинацией; 12 – ответственность за риски; 13 – оценка требований страхования; 14 – оценка управления рисками с точки зрения возможности их передачи другим участникам; 15 – отношение к риску; 16 – любое решение по риску будет зависеть от отношения к нему персонала или организации.

Для генерации идей используется одна из следующих технологий:

а) структурированный «мозговой штурм», когда:

- одна идея высказывается за другой последовательно каждым участником;
- участники, не имеющие идей, могут пропустить свою очередь;
- сессия заканчивается полным кругом (или несколькими кругами) опроса участников.

Достоинство структурированного подхода – в равных шансах всех участников безотносительно к рангу или личности, недостаток – в отсутствии спонтанности и, частично, - в жесткости формы.

б) «мозговой штурм» свободной формы (неструктурированный), когда его участники высказывают идеи по мере их возникновения.

Достоинство подхода – в возможности участников развивать идеи в свободной творческой атмосфере, недостаток – иногда стремление присутствующих низкого ранга избежать участия в выступлениях.

Идеальным решением является комбинация двух форм «мозгового штурма», когда он начинается с нескольких структурированных кругов опроса, а заканчивается обсуждение в свободной форме.

«Мозговой штурм» может быть организован в бесшумном (молчаливом) виде, когда участники записывают свои идеи на отдельных листках бумаги, которые затем собираются координатором и демонстрируются остальным участникам. Такой метод предотвращает комментарии присутствующих, разрушающие предлагаемые идеи, однако, его недостаток – потеря группового взаимодействия, которое характерно для открытой сессии.

При проведении «мозгового штурма» применяются следующие правила:

- никогда не судите идеи во время их генерации. Цель «мозгового штурма» – создать много идей за короткое время.

Анализ этих идей – отдельный процесс, выполняемый позднее;

- не прекращайте работу во время первой же паузы. На всех сессиях «мозгового штурма» случаются затишья, дискомфортные для участников. Исследования показывают, что большинство лучших идей возникает в заключительной части сессии. Во время последних двух-трех пауз группу необходимо ободрить и стимулировать для дальнейшей работы;

- старайтесь записывать все идеи непосредственно при их выдвижении. Когда идея конденсируется в одно или два слова, которые легко записать, начинается ее обдумывание;

- ободряйте, казалось бы, нереальные идеи. Даже будущи непрактичными, они могут инициировать полезные идеи, а также нарушить возникшую нежелательную паузу в работе;

- старайтесь собрать разноплановые группы, включая в процесс заказчика, подрядчика, дизайнера, экспертов, чтобы получить несхожие идеи разных направлений.

В качестве примера «мозгового штурма» рассмотрим процедуру принятия решения о целесообразности строительства химического завода (рис. 2.2). Оно должно начаться менее, чем через год. Для предварительной дискуссии собран персонал управления компании и привлечен к работе координатор, специализирующийся в планировании и организации выполнения строительного проекта.

Целью сессии «мозгового штурма» является обсуждение и оценка возможных рисков, которые могут возникнуть при решении о необходимости строительства. В ходе сессии координатор руководит дискуссией и регистрирует все заметные идеи, для чего перед собравшимися ставится задача оценить следующие вопросы:

- 1) Какова будет годовая продукция завода?
- 2) Каковы планы нашего конкурента?
- 3) Нам необходимо убедить высшее руководство компании в реальной необходимости строительства. Какова возможность это сделать?

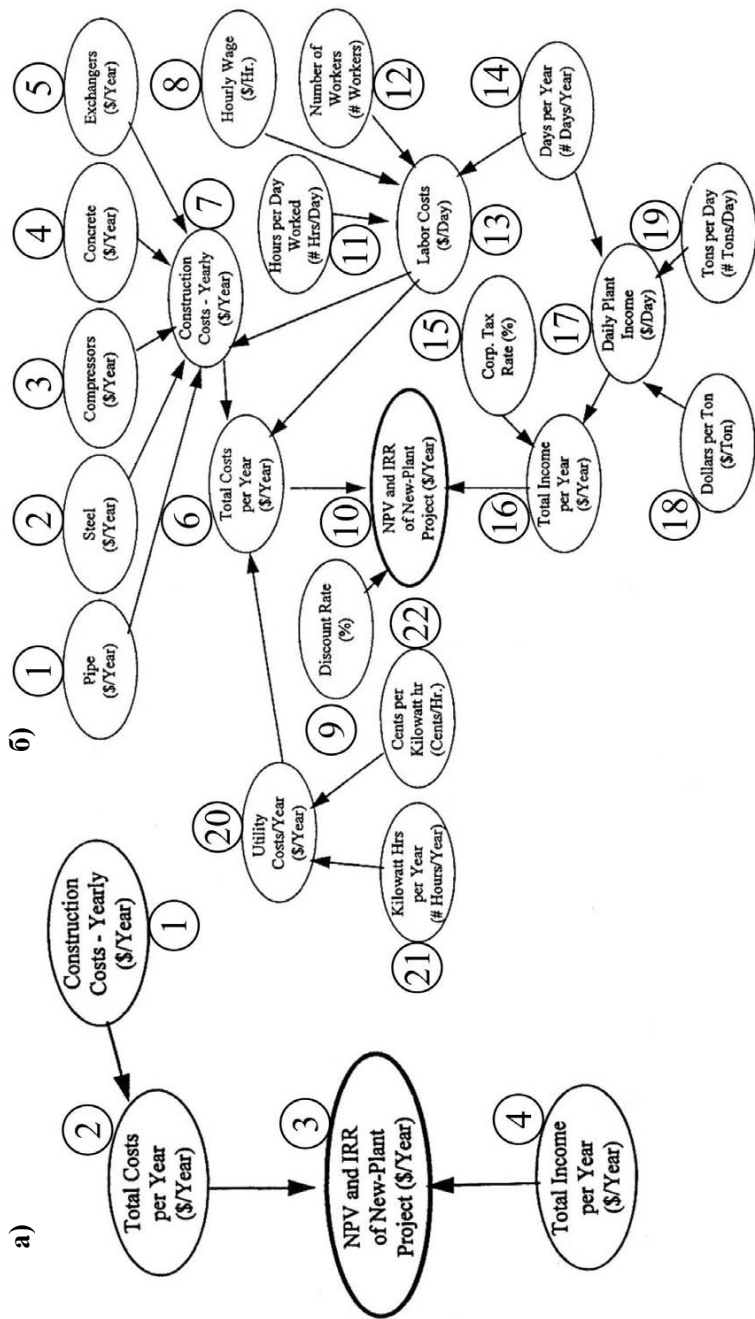


Рис. 2.2. Диаграмма факторов, определяющих целесообразность строительства химического завода

Объяснения к рис. 2.2:

а) обобщенная диаграмма.

1 – строительные затраты (долл./год); 2 – общая стоимость за год; 3 – чистая текущая стоимость продукции и внутренняя норма прибыли нового завода; 4 – общая прибыль за год;

б) развернутая диаграмма.

1 – труба (долл./год); 2 – сталь; 3 – компрессор; 4 – бетон; 5 – теплообменник; 6 – общие затраты за год; 7 – строительная стоимость; 8 – часовая зарплата (долл./час); 9 – ставка дисконта, %; 10 – чистая текущая стоимость продукции и внутренняя норма прибыли нового завода; 11 – число рабочих часов в сутки (часы/сут.); 12 – число рабочих; 13 – стоимость труда (долл./сут.); 14 – число дней в году (дни/год); 15 – корпоративный налог; 16 – общая прибыль за год; 17 – суточная прибыль завода; 18 – доллары за тонну; 19 – тонны в сутки; 20 – стоимость услуг за год; 21 – киловатты в год; 22 – центры за кВт/час (центры/час).

- 4) Каков будет оборот денежных средств нового завода?
- 5) Нам нужно выпускать продукцию по конкурентоспособной цене. Как это сделать?
- 6) Какова будет чистая текущая стоимость продукции и внутренняя норма прибыли нового завода?
- 7) Проект должен быть завершен достаточно быстро, чтобы опередить в этом нашего конкурента. Как это сделать?
- 8) Какие будут иметься природоохранные ограничения в районе завода для выпускаемой продукции?
- 9) Какие предпочтения по сравнению с другими проект будет иметь для финансирования корпорацией?
- 10) Нам необходимо построить завод достаточной эффективности для поддержания нашей доли на рынке. Как мы будем это делать?
- 11) Какова будет стоимость строительства?
- 12) Использовать ли для дизайна собственный персонал или нанять по контракту специалистов?

13) Сможем ли мы транспортировать произведенный химический продукт во все районы страны?

Хотя модель риска может в результате расчетов дать ответы на несколько вопросов из этого перечня, координатор считает, что группа должна сфокусироваться для начала только на одном из них. Затем модель риска должна быть расширена, чтобы включать другие вопросы после того, как наиболее важные аспекты изучения будут положены в ее основу.

Для того, чтобы выбрать преимущественный вопрос для модели риска, координатор использует иерархический процесс. Каждый член группы должен разделить перечисленные вопросы на две основные группы: первоочередные и второстепенные.

Результаты обсуждения сведены в табл. 2.1, из которой видно, что каждое утверждение о важности вопросов получило, по крайней мере, один голос из 20 участников. Это понятно, поскольку каждый член группы, голосующий за какую-то позицию, считает ее первоочередной.

Из полученных ответов следует, что первоочередными проблемами, за важность которых проголосовали 10 и более человек, стали:

№ 3 – нам необходимо убедить высшее руководство компании в реальной необходимости строительства;

№ 4 – каков будет оборот денежных средств нового завода;

№ 6 – какова будет чистая текущая стоимость продукции и внутренняя норма прибыли нового завода;

№ 9 – какие предпочтения по сравнению с другими проект будет иметь для финансирования корпорацией.

При обсуждении группа сделала вывод, что проблема №4 перекрывается проблемой № 6. После дискуссий и дебатов было решено также, что убедить высший менеджмент в необходимости строительства завода (утверждение № 3) можно, только доказав, что на нем будут производиться и продаваться экономически выгодные объемы продукции, с показателя-

ми, соответствующими утверждению № 6. Точно так же участники, предложившие в качестве первоочередного утверждение № 9, после многих дискуссий согласились, что аргументы за него могут быть использованы для подтверждения мнения № 3, которое и осталось в качестве основной идеи результатов обсуждения.

Таблица 2.1 – Результаты обсуждения предпочтительности поставленных вопросов

Поставленный вопрос	Голоса участников	
	первоочередные вопросы	второстепенные вопросы
1	1	19
2	8	12
3	10	10
4	11	9
5	1	19
6	13	7
7	1	19
8	3	17
9	12	8
10	7	13
11	1	19
12	1	19
13	3	17

Однако, не всегда «мозговой штурм» заканчивается выработкой единого решения. В прошлых сессиях с другими группами намного более спорные дискуссии привели к нескольким раундам голосования. В некоторых ситуациях даже после этого для окончательного рассмотрения в группе первоочередных задач остается более, чем одно утверждение. В таком случае координатор должен заставить участников решить, настаивают ли они, в самом деле, на множественном

решении проблемы и должна ли быть построена более, чем одна модель управления рисками.

Одной из разновидностей «мозгового штурма» является «метод Дельфи», который заключается в выборе состава экспертов, имеющих опыт в рассматриваемой отрасли строительства, которые, однако, не знают об участии друг друга и находятся в разных местах. Это предотвращает их взаимное влияние и взаимозависимость.

Сценарий работы заключается в том, что каждый член экспертной группы должен ответить на вопросник по теме обсуждаемой проблемы. Ответы с мнениями и суждениями оцениваются каждым членом группы и принимаются во внимание при следующем круге опросов. Процесс продолжается, пока члены группы не приходят к определенному решению. При расхождении ответов координатор пересматривает формулировки и при необходимости корректирует проблему, поставленную для обсуждения.

Еще одним подходом к управлению рисками, например, в выработке вероятностных значений параметров их оценки, является интервьюирование опытных специалистов – участников строительства, банковских работников, страховщиков, юристов, обычно имеющих опыт работы в отрасли равный 20-50 годам.

Для проведения интервью составляется вопросник со следующими основными разделами:

- общая информация;
- информация об опыте опрашиваемых;
- цели, причины, объемы оценки рисков;
- примеры процедуры оценки рисков.

Интервьюер может также задавать дополнительные вопросы, не входившие в начальный опросник, чтобы выяснить какие-либо детали и сфокусироваться на специфических проблемах и имеющейся у респондента практике.

Полезным инструментом для рассмотрения участниками поставленных вопросов служат перечни типичных рисков, с

которыми может встретиться проект, однако при этом имеется опасность пропуска важных рисков при их идентификации. Вместе с тем, достоинства применения такого перечня перевешивают его недостатки и поэтому для идентификации специфических рисков проекта полезно еще раз обдумать конкретные условия его реализации..

В ходе обсуждения выясняются:

- опасность двойного учета рисков;
- опасность пропуска дизайнером рисков, специфических для данного проекта;
- целесообразность включения редких событий.

Двойной учет рисков является обычной ошибкой анализа. Например, у подрядчика есть риск ошибочной оценки необходимых ресурсов, но также риск наказания за невыполнение контрактных условий. Однако, эти риски не независимы, поскольку, согласно контракту, менеджмент в общем комплексе работ отвечает за обеспечение их необходимыми ресурсами.

Редкие события могут существенно воздействовать на общий уровень риска из-за возможной тяжести последствий, в связи с чем всегда должна быть оценена польза их учета. Например, нефтяная компания может иметь шанс равный 0,3% неудачи в завершении установки нефтепровода во время «погодного окна» (т.е. периода, когда погодные условия приемлемы для выполнения работ). Если такая неудача случится, она приведет к очень большому ущербу от несвоевременного окончания проекта, такому, как 100 млн. долл., хотя вероятностное значение риска составляет относительно небольшую сумму $0,003 \times 100 = 0,3$ млн. долл.

Необходимость включения подобного рода рисков определяется вероятностью их возникновения за время жизненного цикла проекта. Например, при его продолжительности 10 лет риск с вероятностью возникновения один раз за 1000 лет будет несущественен. Однако, если вероятность этого риска составляет 1 раз в 100 лет, он, по-видимому, должен быть

включен в общий анализ. В частности, норвежские нефтяные платформы в Северном море рассчитаны на противостояние волне, возникающей один раз в 100 лет, но не в 1000 лет.

Наконец, некоторые редкие события могут быть покрыты страховкой, т.е. их риск в этом случае передается на страховую компанию и поэтому не включается в анализ конкретного проекта.

С развитием компьютерных технологий в решении проблем выработки решений, в том числе, оценки уровня рисков и их последствий, важное значение начинают приобретать экспертные системы – компьютерные программы, которые содержат экспертные знания об узких проблемах и помогают менее опытному персоналу в решении конкретных задач способами, похожими на участие квалифицированных специалистов.

Наиболее распространенные применения компьютерных систем включают диагноз и рецепты, классификацию, планирование и конфигурацию рассматриваемых проблем. В управлении проектами в этих принципиальных областях решаются задачи оценки стоимости, моделирования строительства, анализа полученных данных, мониторинга процессов.

Существуют два общих пути представления данных в экспертных системах:

- рамки – хранение информации об объектах (фрагментов данных). Каждая рамка представляет собой иерархическую структуру данных, содержащих характеристики объектов и их отношение друг к другу;
- правила – логические условия взаимодействия данных для решения проблемы. Обычно экспертная система содержит 50-500 таких правил.

Более часто экспертная система функционирует только, как консультант, когда пользователь решает принимать или не принимать ее советы. В ходе взаимодействия с программой оператор может дополнить алгоритм новыми правилами.

Механизм логических выводов экспертной системы работает в ее рамках и правилах для:

- разбивки структур на отдельные операции, что позволяет разработать их спецификации и оценки стоимости;
- участия в планировании проекта с учетом ресурсных ограничений, выравнивания нагрузки рабочих групп и сокращения продолжительности работ;
- анализа проектной ситуации и предложения решений;
- мониторинга событий риска и ранних предупреждающих сигналов.

Применение экспертных систем стало особенно популярным в последние два десятилетия. Их программное обеспечение включает, в частности:

- искусственную нейронную сеть (artificial neural network), которая представляет собой вычислительную архитектуру для обработки сложных данных с помощью множества связанных процессов и вычислительных способов. Искусственные нейронные сети, созданные по аналогии с человеческим мозгом, способны обучаться и анализировать большие и сложные наборы данных, которые трудно обработать иными способами;
- нечеткую логику, которая, в отличие от теории вероятностей (имеющей дело только с правильными, либо с неправильными утверждениями), оперирует расплывчатыми понятиями и основана на использовании таких оборотов языка, как «далеко», «близко», «холодно», «горячо» и т.д.

2.3 Идентификация строительных рисков

Идентификация рисков решает, какие опасности могут воздействовать на проект и документирует их характеристики. В состав участников идентификации рисков входят менеджер проекта, члены команды дизайна, эксперты внешних

организаций, представители заказчика, подрядчиков, держателей акций и т.д.

Идентификация рисков – повторяющийся процесс, поскольку в ходе дизайна и реализации проекта становятся известными новые риски и могут исчезнуть установленные ранее. Частота повторений и участников идентификации специфичны для каждого проекта.

При идентификации рисков обсуждаются:

- угрозы, т.е. риски, которые могут негативно воздействовать на реализацию проекта;
- благоприятные возможности, т.е. риски, которые будут иметь позитивное воздействие;
- триггеры – симптомы и предупреждающие признаки, которые показывают, становится ли риск почти определенным событием и должны ли быть применены меры по его предотвращению.

Процесс идентификации рисков полагается на:

- обзор мирового опыта подобных проектов, полученный из документов партнерских компаний;
- изучение специальных руководств, описывающих опасности, связанные с конкретными видами предпринимаемых работ;
- дискуссии с квалифицированным и опытным персоналом.

При этом рассматриваются:

а) общие опасности:

- разногласия при заключении контракта;
- проблемы платежной несостоятельности;
- вмешательство властей;
- другое внешнее вмешательство (например, общественности);
- трудовые споры.

б) специфические опасности:

- несчастные случаи;
- непредвиденные неблагоприятные условия;

- неадекватные решения дизайна, спецификаций и программ;
- аварии основного оборудования;
- работы, не удовлетворяющие стандартам.

Идентифицированные опасности классифицируются в соответствии с величиной риска, который они представляют. Там, где ожидаемые уровни риска превышают принятый критерий приемлемости, необходимо выработать действия, снижающие опасность, и выполнить соответствующую документацию. Уменьшение риска достигается, в частности, изменениями технических решений и возможной очередности работ.

Идентифицируются также:

- остаточные риски, которые сохраняются даже после снижения опасности первичных рисков;
- вторичные риски, которые возникают после или в результате мер, принимаемых для снижения первичных рисков;
- взаимодействие рисков, когда два или более риска происходят одновременно и приводят к последствиям более тяжелым, чем простая сумма воздействия каждого риска в отдельности.

Информацией необходимой для идентификации рисков, служат:

- описание сути проекта, включающее технологию работ, инновации и изобретения, используемые в проекте, а также связанные с ними риски, вызывающие рост стоимости и задержек производства;
- базовый геотехнический доклад, промежуточные данные о геологических и гидрогеологических условиях (при подземном строительстве);
- сведения о квалификации персонала, опыте его работы в схожих условиях, укомплектованность строительства обученными рабочими и сертифицированным надзором;
- исторические данные, из которых особенно полезной для идентификации рисков бывает информация, полученная при реализации предыдущих подобных проектов.

Идентификация рисков осуществляется с помощью следующих инструментов и технологий:

- технологические карты, которые показывают возможные источники риска;
- блок-схемы, описывающие последовательность операций и соотношение элементов производственной системы и помогающие персоналу лучше понимать причины и воздействие рисков;
- интервьюирование опытного персонала, которое может помочь идентифицировать риски, ранее не выявленные в ходе нормальной плановой деятельности.

Результатом идентификации рисков служит их регистр – документ, содержащий следующие основные сведения:

- наименование и причины риска;
- качественное описание риска и возможный сценарий его появления;
- оценка воздействия риска – субъективное предположение, насколько ощутимым оно будет: высоким, средним или низким (при трехточечной оценке). Может оказаться полезным установить границы этих оценок, например, высокое воздействие – более 2% общей стоимости проекта, среднее – 1%-2%, низкое – менее 1%. Эти цифры служат только общим руководством и должны варьироваться для применения в конкретном проекте;
- оценка вероятности риска – субъективное понимание, насколько вероятно возникновение события риска, и классификация вероятности на высокую, среднюю и низкую (при трехточечной оценке). В ходе классификации описывается также опасность остаточных рисков, т.е. тех из них, которые остаются после принятой стратегии управления исходными (первичными) рисками (приемлемости, избежания, смягчения или передачи другому участнику). Если эта стратегия не уменьшила опасности исходного риска, остаточный риск может восприниматься, как исходный, или составлять какую-то его часть. Наличие остаточного риска не означает, что страте-

гия управления рисками была неэффективной, но требует анализа опасной ситуации и четких объяснений персоналу и менеджменту.

После того, как определено, что остаточный риск существует, он передвигается на начальную позицию в регистре рисков, а стратегия по его управлению при необходимости пересматривается и обновляется. Схема идентификации рисков показана на рис. 2.3 а.

2.4 Классификация строительных рисков

Существуют различные системы классификации строительных рисков. Одна из них показана на рис. 2.3 б, другая понятна из табл. 2.2.

Таблица 2.2 – Типичные категории строительных рисков

Технические	Социальные
Производственные	Экономические
Юридические	Финансовые
Природные	Коммерческие
Снабжения	Политические

Риски могут классифицироваться по виду их воздействия на ход работ (табл. 2.3).

Таблица 2.3 – Виды воздействия строительных рисков

Динамические	Статические
Корпоративные	Индивидуальные
Внутренние	Внешние
Позитивные	Негативные
Приемлемые	Не приемлемые
Страхуемые	Не страхуемые
Управляемые	Не управляемые

В подземном строительстве применяется классификация рисков, предложенная «Руководством по управлению рисками при строительстве туннелей» (Guidelines for Tunneling Risk Management, США, 2002) и изложенная в книге авторов «Геотехнические риски подземного строительства», Донецк, «Норд-Пресс», 2009.

В ходе идентификации и классификации рисков устанавливается их иерархия, упрощенно показанная на рис. 2.3 в, где окружающая среда включает погоду и другие факторы. Например, длительный дождь может привести к изменению программ внутренних и наружных работ, сильные ветры влияют на монтаж металлоконструкций, низкие температуры – на последовательность бетонных операций. Сползания склонов или землетрясения могут воздействовать в целом на строительный проект. Такие риски невозможно контролировать, но их последствия могут быть снижены.

Рыночные риски относятся к событиям, которые влияют на работу всей отрасли, например, инфляционные процессы или национальная забастовка строительных рабочих.

Компания, выполняющая рискованный проект, подвергается опасности последствий его рисков. Чтобы этого избежать, для реализации рискованного строительства может быть сформирована дочерняя компания.

Внизу организационной иерархии находятся риски конкретного проекта. Управление им должно учитывать воздействия рисков на смежные процессы и операции.

2.5 Анализ и оценка рисков

Анализ рисков выполняется следующими шагами:

- обсуждаются все возможные варианты производства работ, которые могут привести к рискованной ситуации;
- рассматриваются возможности управления рисками, их вероятные последствия;
- рискам дается качественная и количественная оценки:

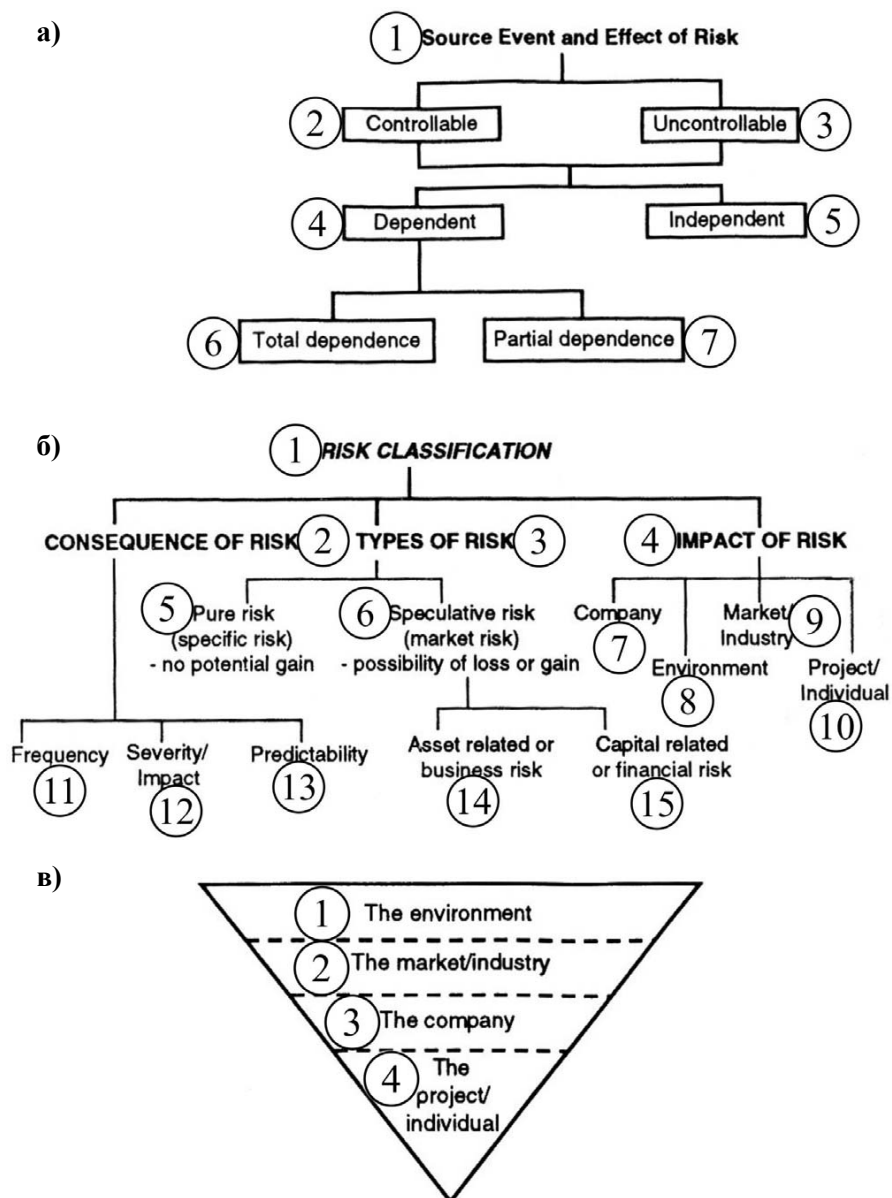


Рис. 2.3. Схема идентификации и классификации рисков

Объяснения к рис. 2.3:

а) идентификация рисков.

1 – источник воздействия риска; 2 – контролируемые; 3 – неконтролируемые; 4 – зависимые; 5 – независимые; 6 – полная зависимость; 7 – частичная зависимость.

б) классификация рисков.

1 – классификация рисков; 2 – последствия риска; 3 – виды рисков; 4 – воздействие риска; 5 – чистый (специфический) риск (потенциальный риск отсутствует); 6 – гипотетический (рыночный) риск (возможность потерь или выигрыша); 7 – компания; 8 – окружающая среда; 9 – рынок, промышленность; 10 – проект, индивидуум; 11 – частота; 12 – тяжесть воздействия; 13 – предсказуемость; 14 – имущество; 15 – финансы.

в) иерархическая схема рисков.

1 – окружающая среда; 2 – рынок, промышленность; 3 – компания; 4 – проект/индивидуум.

- разрабатывается стратегия управления рисками;
- решается распределение рисков между участниками строительства.

Последовательность анализа рисков показана на рис. 2.4.

При анализе рисков следует иметь ввиду, что:

- неожиданно появляющиеся угрозы, например, задержка работ, могут заставить искать новые стратегии, позволяющие сократить общий срок строительства;
- одиночное событие риска может вызвать множественное воздействие, например, задержка работ приводит к перерасходу бюджета, нарушению общего расписания строительства, штрафным платежам и ухудшению качества операций;
- математическая техника, применяемая для оценки риска, может создать искаженное впечатление о точности и надежности оценок.

Уровень риска определяется произведением его вероятности и величины ущерба, вызванного последствиями события. Методы качественной и количественной оценки рисков приводятся в главе 4.

2.6 Ответственность за риски

Ответственность за риски устанавливается с целью управления ими. В дополнение к результатам идентификации и анализа такая стратегия определяет, кто ответственен за конкретные риски, как могут быть установлены непредвиденные расходы и резервы. План управления рисками может быть формальным или неформальным, подробно детализированным или имеющим широкие рамки, но он всегда должен базироваться на потребностях проекта.

Для уменьшения опасности риска служат контрактные соглашения, которые определяют предотвращение или смягчение угроз возникновения рискованных ситуаций каждым участником строительства. Распределение рисков, предусмотренное контрактом, конечно, существенно не уменьшает потенциальных опасностей, но переносит их на тех участников, которые наиболее подготовлены и могут справиться с рискованной ситуацией. При этом контракт дает ответы на следующие вопросы:

- какой участник может осуществлять лучший контроль событий, вызывающих рискованные ситуации?
- какой участник может лучше управлять возникшим риском?
- предпочтительно или нет для заказчика принять на себя риск и управлять им?
- какой участник должен принять на себя неконтролируемый риск?
- будет ли достаточно и приемлемо поощрение за принятый риск?
- будет ли участник в состоянии выдержать последствия риска?

Не все риски могут быть переданы подрядчику и не всегда это становится экономически целесообразным. В таком случае риск остается за заказчиком.

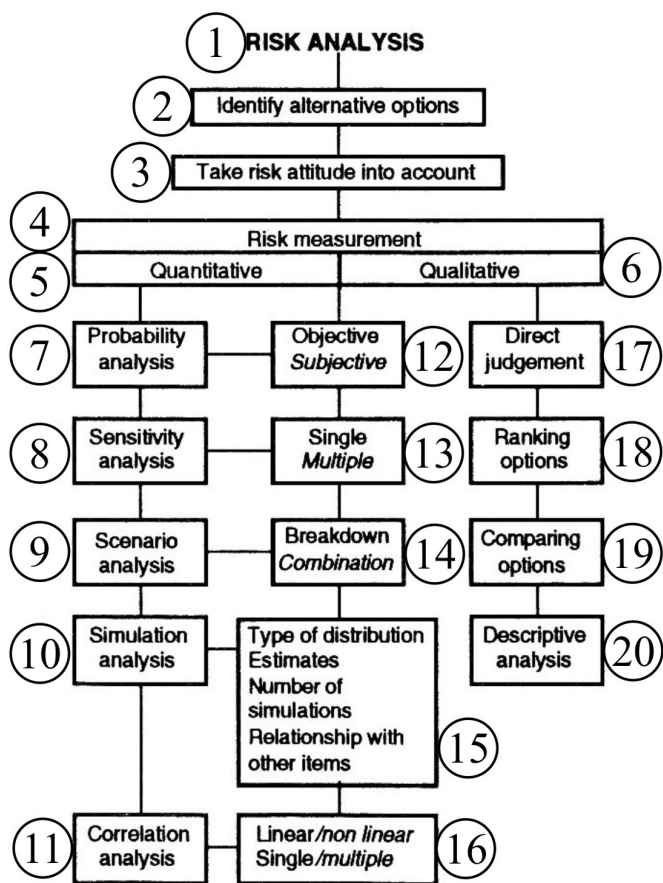


Рис. 2.4. Последовательность анализа рисков

1 – анализ рисков; 2 – идентификация альтернативного выбора;
 3 – отношение к риску; 4 – измерение риска; 5 – качественное;
 6 – количественное; 7 – вероятностный анализ; 8 – анализ чувствительности; 9 – сценарный анализ; 10 – компьютерное моделирование; 11 – корреляционный анализ; 12 – объективный/субъективный;
 13 – одиночный/множественный; 14 – разбивка/комбинация; 15 – вид распределения: оценки, число моделей, отношение с другими единицами; 16 – линейный/нелинейный, одиночный/множественный;
 17 – прямое решение; 18 – ранжирование вариантов; 19 – сравнение вариантов; 20 – описательный анализ.

Выбранные участником строительства, ответственным за риски, способы управления ими обычно попадают в одну из трех категорий:

- возможность избежать угрозы предотвращением ее причины. Менеджмент проекта может никогда не устранить все риски, но события специфического риска часто могут быть предотвращены;
- ослабление, смягчение ожидаемого ущерба;
- компенсация последствий, которая может быть активной – с помощью дополнительных (непредвиденных) расходов, включенных в бюджет проекта, или пассивной – согласием с уменьшением прибыли при возможном перерасходе бюджета.

Контроль ответственности за риски включается в план управления ими на весь срок осуществления проекта. При внесении в него изменений повторяется весь цикл идентификации, оценки рисков и установления за них ответственности. Однако, даже наиболее тщательный и всесторонний анализ не может правильно идентифицировать абсолютно все риски и их вероятность, установить контроль их возникновения и шаги его последовательной реализации. План управления рисками должен регулярно обновляться с учетом появления новых рисков, их предотвращения или смягчения.

Наиболее рискованными являются ситуации, возникающие в подземном строительстве. Аварии, происходящие в этих условиях подробно описаны авторами в книгах «Подземное строительство в нестабильных условиях», Донецк, «Норд-Пресс», 2008 и «Геотехнические риски подземного строительства», Донецк, «Норд-Пресс», 2009.

Объемы распределения рисков в строительных проектах показаны на рис. 2.5.

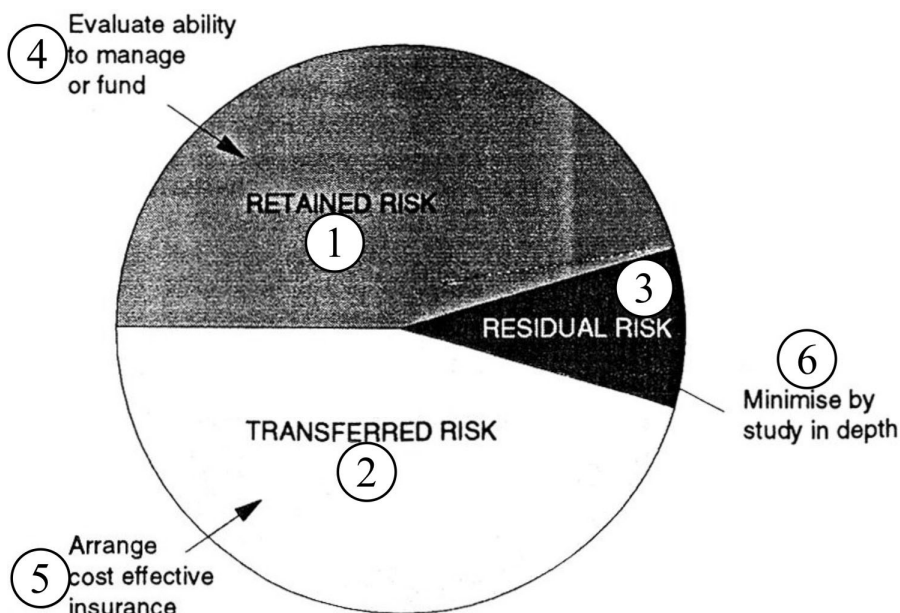


Рис. 2.5. Объемы распределения рисков в строительных проектах

1 – удерживаемый риск; 2 – передаваемый риск; 3 – остаточный риск; 4 – оценка возможности управления; 5 – эффективная страховка; 6 – минимизация изучением.

2.7 Связанные риски

Большинство рисков, встречающихся в проектах, независимы от других рисков. Они легче идентифицируются и управляются, чем связанные риски, которые, например, возникают, как результат действий, предпринимаемых по управлению другими рисками. Когда что-либо в проекте начинает идти плохо, это может повлиять и на многие другие вещи, из-за чего система быстро выходит из строя. Задержки в одном из уровней приводят к остановкам общей цепи последовательных операций. Существуют примеры, когда имеется связь (корреляция) между переменными в модели проекта.

При вероятностном (стохастическом) моделировании, если любые две переменные соотносятся друг с другом (и, следовательно, риски, вызванные ими, взаимозависимы), эти отношения следует отразить в модели. В таком случае «дерево решений» (см. главу 5) служит техникой для определения общего риска, являющегося результатом связанных рисков.

Рассмотрим например, когда вам необходимо разместить большой заказ на оборудование. Вы считаете, что существует 20% риска неспособности поставщика своевременно справиться с такой задачей (риск А). Как часть ответного плана, вы решаете поговорить со вторым поставщиком, чтобы увидеть, сможет ли он выполнить подобный заказ. Обычно этот партнер имеет оборудование на складе. Однако, выясняется, что существует 25% вероятности забастовки на предприятии второго поставщика (риск В).

В этом примере риск А – первичный проектный риск. Если вы можете с ним удачно справиться, нет необходимости работать со вторым поставщиком и риск В никогда не случится. Но, если риск А станет реальностью, вам понадобится работать со вторым риском В.

При таком наиболее неблагоприятном сочетании рисков их общий уровень определяется произведением вероятностей связанных индивидуальных рисков и составляет 5% ($0,2 \times 0,25$).

Если исходные данные доступны, самый легкий путь определить, связаны ли две переменные в пару – построение диаграммы рассеивания (называемой также X-Y диаграммой). Если мы увидим в точках значений систематизированную структуру, значит между ними имеется корреляция.

Обычно понимание системы достаточно, чтобы идентифицировать, зависят ли переменные друг от друга. Рис. 2.6 показывает отношение между числом человеко-часов, необходимых для выполнения проекта и количеством персонала. Из диаграммы видно, что увеличение последнего в общем случае связано с объемом труда, который требуется для про-

изводства работ. Здесь имеется позитивная корреляция, в которой так называемый коэффициент корреляции равен 0,7. Позитивной называется корреляция, когда увеличение одной переменной связано с увеличением другой. В противном случае корреляция считается негативной. Степень корреляции определяется ее коэффициентом, зависящим от угла наклона линии, характеризующей связь между спаренными значениями данных. Коэффициент корреляции (r) может варьироваться от -1 до +1, что означает:

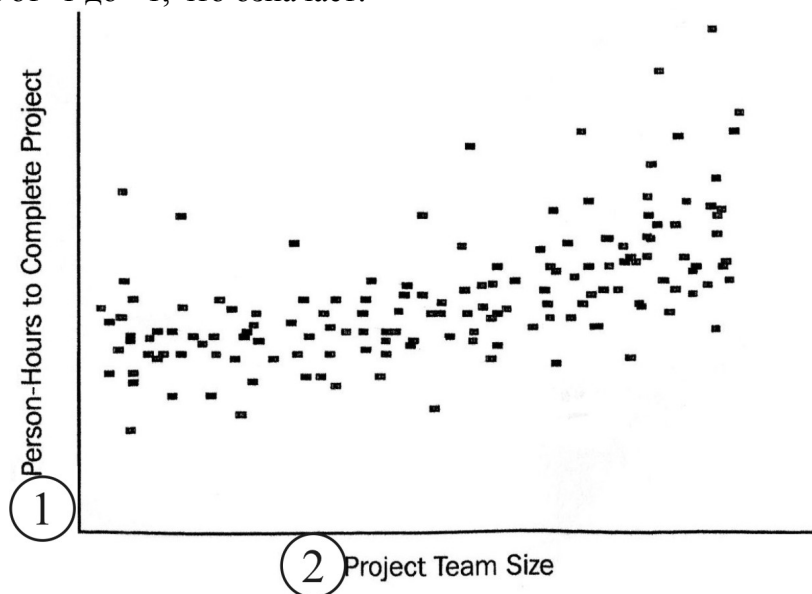


Рис. 2.6. «Разбросанная диаграмма», показывающая корреляцию рисков

1 – чел.-часы для завершения проекта; 2 – численность команды строительного проекта.

- $r = +1$ – две переменные полностью позитивно коррелируют, т.е. всегда двигаются совместно;
- $r = 0$ – две переменные совершенно независимы;
- $r = -1$ – негативная корреляция, когда две переменных двигаются в противоположных направлениях.

Большинство анализов включает, по крайней мере, несколько вероятностей, реализуемых «при условии», т.е. зависящих друг от друга. Обычно одна или более вероятностей частично зависят от результата другого события. Для представления таких вероятностей особенно хорошо подходит «дерево решений».

Примерами взаимосвязанных событий являются:

- прямые причинно-следственные отношения, когда одна переменная частично зависит от другой или других переменных. Например, стоимость перевозки определяется, в частности, расстоянием транспортировки, весом транспортного средства и перевозимого груза;

- общее влияние на две переменные. Число персонала проекта, очевидно, определяет расходы на зарплату. При этом наличие большого числа людей приводит к росту коммуникационных каналов и далее – к более высокой стоимости координационных усилий. Таким образом, зарплата и стоимость координации коррелируют друг с другом.

На практике корреляция часто оценивается, основываясь на мнении экспертов и обычно ее можно оценить только в терминах «высокая», «средняя», «низкая». На рис. 2.7 разные уровни корреляции показаны графически.

Существует важное различие между корреляцией и зависимостью. Примером зависимости служит случай, когда одно событие может произойти только, если происходит другое, что моделируется, как условие «если, то» возникновения зависимого события.

К такого рода событиям можно отнести вторичные риски, которые иногда возникают, как прямой результат стратегии управления исходными рисками. По контрасту с остаточными рисками они не являются остатком от исходных рисков после принятия мер по управлению последними.

Вторичные риски часто могут быть прогнозируемыми. В этих случаях они должны быть вынесены в регистр рисков и оценены.

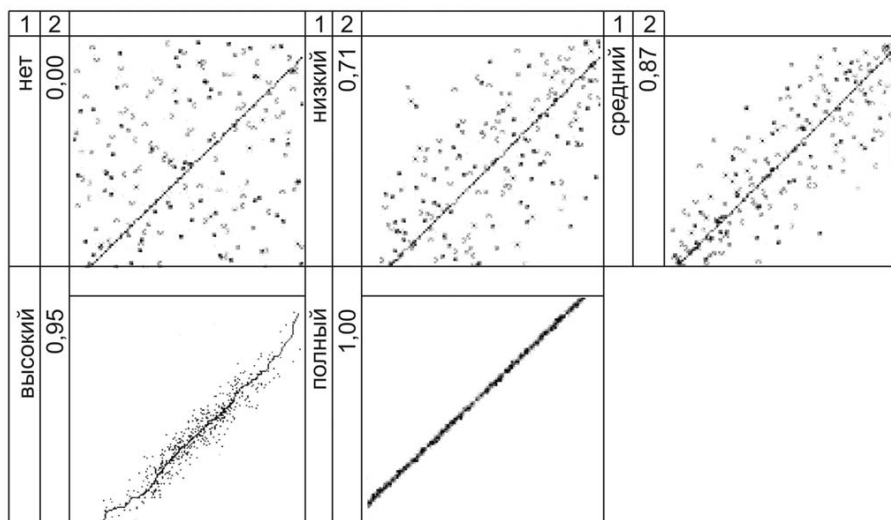


Рис. 2.7. Различные уровни корреляции связанных рисков

1 – уровень корреляции; 2 – коэффициент корреляции.

2.8 Краткие сведения о страховании рисков

Финансовое воздействие многих рисков может быть смягчено их страхованием. Клиент платит за этот сервис страховой компании, которая имеет возможность разделить риск с другой или другими страховыми компаниями. Рис. 2.8 показывает схему принятия решений, возникающих при страховании рисков.

Существует 4 главных класса страховки:

- юридическая ответственность, как результат нормативных, контрактных или профессиональных обязательств, компенсационных выплат, назначенных судом, юридических расходов (но не штрафов, назначенных по суду);
- защита от потерь или ущерба собственности, включая временные работы, собственные и привлекаемые строительные производства (заводы), воздействие на наемный персонал этих производств;

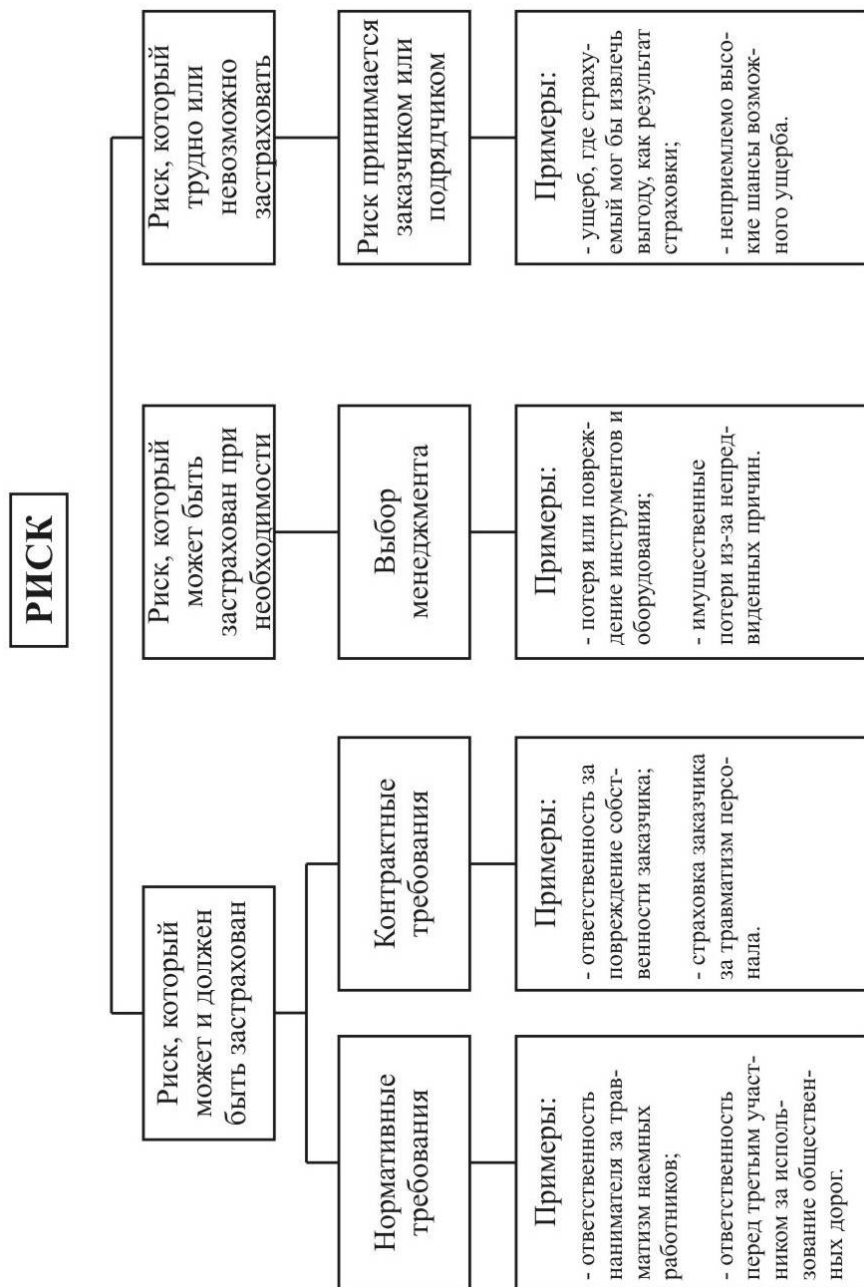


Рис. 2.8. Схема принятия решений, возникших при страховании рисков

- страховое покрытие персонала;
- материальный ущерб.

Юридические требования обязывают строительные компании получить адекватное страховое покрытие некоторых рисков. Эти обстоятельства возникают либо из различных государственных нормативов, либо из условий, содержащихся в подписанном контракте. Страховому покрытию подлежат, в частности, существующие общественные дороги и транспортные средства, как третьего участника строительства. Наниматели обязаны застраховать свой наемный персонал от травматизма и болезней, связанных с его рабочими обязанностями.

Установленное законом регулирование особых интересов менеджера строительных проектов регламентирует периодические инспекции и сертификацию подъемного оборудования, компрессорных и вентиляционных систем. Все проекты, включающие наличие такого оборудования, должны руководствоваться схемами его проверки и иметь инспекторские сертификаты.

Соответствующие инспекции обычно выполняются инженерным надзором, нанятым страховой компанией. Последняя иногда привлекается заказчиком, но более часто – генеральным подрядчиком проекта. Чем крупнее и опытнее такая страховая компания, тем более она способна информировать менеджмент о национальных и локальных особенностях требований по страховке строительных работ.

В соответствии с контрактными соглашениями могут страховаться:

- компенсации персонала за травмы (в том числе находящихся на строительной площадке посетителей и публики);
- ущерб собственности, включая текущие работы;
- финансовые потери;
- несоблюдение прав собственности;
- аварии;
- ответственность за качество;

- профессиональная небрежность;
- вредное воздействие строительных работ;
- ущерб окружающей среде.

Каждая организация или лицо с ответственностью за проект (включая архитекторов, дизайнеров, консультантов, менеджмент, надзор) должны быть уверены, что у них есть адекватное профессиональное страхование, покрывающее любую ответственность, которую они могут нести в ходе работ.

Кроме юридических и контрактных требований, существует ряд других рисков, для которых подрядчик может требовать страховое покрытие, обеспечивающее его защиту на время работ, вплоть до полного окончания проекта и его сдачи в эксплуатацию.

Все политики рисков типично защищают текущие и временные работы от повреждений при пожаре, ураганах, от краж и злонамеренного ущерба. В дополнение к этому страхование может включать ущерб:

- строительных производств и оборудования;
- привлекаемых производств;
- материалов на маршруте к строительной площадке;
- временных зданий и конторы на стройплощадке;
- инструмента персонала.

Стоимость восстановления поврежденных объектов после аварии также покрывается, включая удаление обломков, гонорар дизайнеров, консультантов и надзора. Страховщик может также согласиться оплачивать дополнительные расходы (такие, как сверхурочные работы, срочная доставка грузов), возникающие, как результат восстановительных работ.

Период продолжительностью до 10 лет покрывается страховкой, предназначенной для защиты от ущерба построенных структур, вызванного дефектами дизайна, материалов или строительного процесса. Такая страховка устраняет необходимость для заказчика предпринимать дорогостоящие дей-

ствия против подрядчика, требуя его компенсаций за допущенный брак.

Особого рассмотрения требует страхование персонала от несчастных случаев и болезни, а также соответствующих медицинских расходов на время командировок персонала при его работе за пределами страны. Страховые обязательства в таких случаях распространяются также на семьи персонала.

Финансовое страхование предназначено защитить компанию от финансовых потерь по разным причинам, включая хищения, помехи бизнесу, юридические расходы. Возможно также страхование, создающее покрытие задержек в получении запланированных возвратов за позднее завершение строительства.

Существуют риски, не покрываемые страхованием, где либо страховщик отказывается от страхования, либо требуемое покрытие запрещено. Такие случаи встречаются, например, если:

- шансы ущерба весьма высоки или, другими словами, шансы риска представляются более вероятными, чем его приемлемый уровень;
- страховщик не имеет возможности расширить свои риски сверх значительного числа уже принятых подобных рисков;
- страховщику недоступны достаточные данные прошлого для оценки будущих рисков;
- страхуемый может оказаться в выигрыше в результате претензии.

Принцип страхования – попытка восстановить то положение страхуемого, в котором он состоял до события ущерба. Поэтому страхуемый не может ожидать дополнительного бенефита, например, от претензии за ущерб или потерю собственности, не принадлежащей ему.

Страхование может быть найдено непосредственно через страховщика или брокера, предпочтительно таких, кто имеет хорошую репутацию и опыт страхования подобных проектов.

Страховщика необходимо обеспечить достаточными сведениями для адекватного определения и оценки рисков. ожидается также, что подрядчик будет информировать страховщика о любых изменяющихся обстоятельствах, влияющих на состав страхования. Страховщик имеет право на обследование работ собственными экспертами.

В США два события 2001 г. имели тяжелое воздействие на страховщика и будут иметь длительное влияние на страхование рисков. Одним из этих событий было банкротство крупной страховой компании, которая застраховала большое число подрядчиков за очень низкие страховые платежи. Это заставило каждую страховую компанию и брокеров провести внутренний аудит, критически пересматривая риски своих собственных компаний. Другим событием года была, конечно, террористическая атака 11 сентября, которая показала страховым компаниям возможность предъявления в будущем подобных огромных претензий. Страховщики поэтому решили ограничить страхование таких рисков и установить режим его строгого контроля и порога приемлемости.

Страховая ответственность с течением времени становится более дорогой. Некоторые компании должны были закрыться из-за неспособности покрыть ответственность страхуемого. Поэтому для менеджмента проекта сегодня более, чем когда-либо, важно привлекать страхового специалиста на самых ранних стадиях планирования.

Глава 3. Управление рисками на разных стадиях строительства

3.1 Общие сведения

Управление рисками – систематизированный процесс, основные этапы которого описаны в главе 2, где оценка риска определяется как произведение оценок вероятности опасного события и тяжести его последствий. Событие опасности имеет потенциал воздействия на:

- здоровье и безопасность работающих;
- окружающую природную среду;
- основные технические решения;
- стоимость и продолжительность строительства;
- так называемого третьего участника строительства – владельцев существующих зданий, мостов, туннелей, железнодорожных путей, тротуаров, инженерных коммуникаций, водных объектов, других структур, которые могут быть повреждены строительными работами.

Участники строительства рассматривают вероятности и последствия рисков с точки зрения возможности управления ими. Так, приемлемость риска не означает, что он игнорируется, а избежание рисков или их смягчение учитывается планированием проекта, в частности, разработкой мер по устранению потенциальных угроз. Однако, при этом следует сопоставлять последствия риска и затраты на его предотвращение. В критическом случае возможен отказ от выполнения некоторого объема работ, если связанный с ними риск не может быть уменьшен до приемлемого уровня.

Другим решением системы управления рисками служит, как уже говорилось, распределение ответственности за них тем участникам, которые лучшим образом могут предотвратить возникновение и последствия опасных событий. Распределение рисков между участниками проекта происходит при

подписании контракта, вид которого часто зависит от такого распределения.

Здесь важно убедиться, что передача рисков не создает опасности возникновения других рисков, для чего необходим анализ взаимоотношений между участниками строительства, а также мониторинг, подтверждающий отсутствие воздействия принятого риска на цели проекта.

Примерный подход к распределению рисков показан в табл. 3.1.

Таблица 3.1 - Примерный подход к распределению рисков

Вид риска	Участник		
	подрядчик	заказчик	дизайнер
Условия строительной площадки		х	
Погода	х		
Финансирование проекта		х	
Ошибки субподрядчика	х		
Безопасность на рабочем месте	х		
Материальные поставки	х		
Качество работ	х		х
Задержки работы	х	х	
Ошибки дизайна			х
Дефектная работа	х		
Соответствие нормам и правилам	х		
Ошибки в оценке стоимости работ	х		х
Забастовки	х		

В литературе, посвященной вопросам финансирования и страхования, управление рисками описывается как процесс сбора и анализа статистических данных выборочного обследования, расчетов вероятности событий риска и ущерба от его последствий, оценки приемлемости риска и затрат на его предотвращение или уменьшение. Даже, если индивидуальные случаи в базе данных широко варьируются, средняя для них вероятность денежного ущерба или потери времени может

быть предсказуема и стабильна. Когда собрано большое число данных с различными уровнями ущерба, они могут характеризоваться статистическими распределениями, подобными изображенными на рис. 3.1.

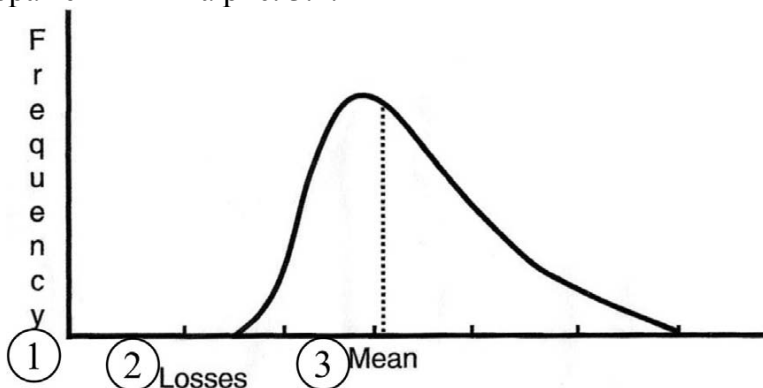


Рис. 3.1. Статистическое распределение вероятности события риска и ущерба от него

1 – вероятность (частота); 2 – ущерб; 3 – среднее значение.

Здесь средняя величина ущерба (потерь времени) рассчитывается как сумма всех потерь, разделенная на число рассмотренных случаев. Неопределенность характеризуется числом данных, распределенных по обе стороны от среднего значения.

Предположим, что два схожих проекта А и В имеют одинаковую среднюю продолжительность, но при вариантной проработке их возможных решений были получены разные распределения результатов (рис. 3.2). Это означает, что проект В, обладающий более суженным диапазоном изменений (стандартных отклонений) имеет большую вероятность, что его фактическая продолжительность будет близка к ожидаемой. Наоборот, риск невыполнения установленного (среднего) срока строительства в варианте А превышает риск варианта В.

Благодаря обзору базы данных ранее выполненных проектов или моделирования вариантов отдельно взятого проекта

строительный менеджер может установить план, заслуживающий доверия.

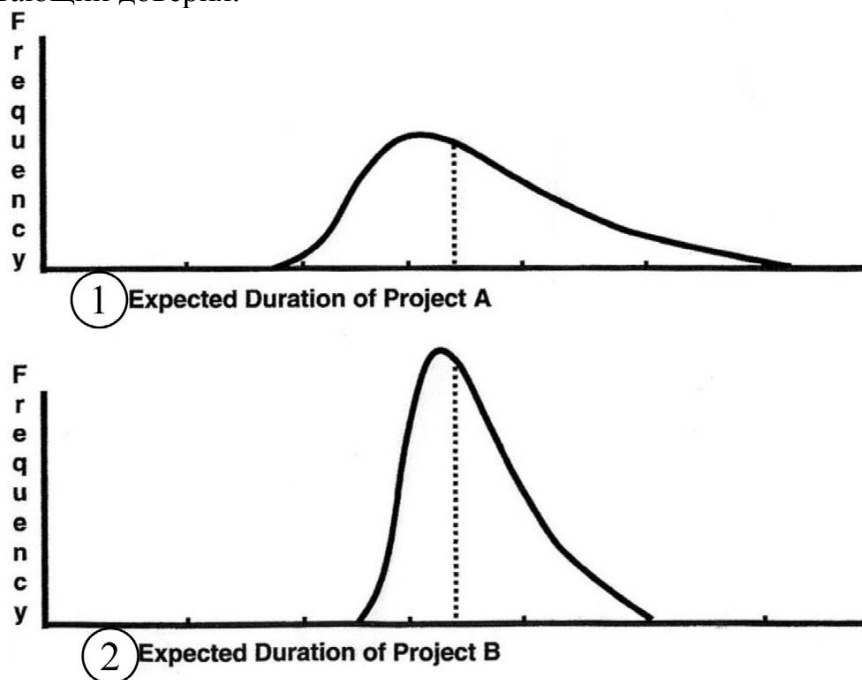


Рис. 3.2. Распределение вероятностей продолжительности проектов А и В

1 – для проекта А; 2 – для проекта В.

Уровень риска проекта зависит от степени проработанности его решений. Чем с большей достоверностью определен объем и состав работ, тем более высока вероятность правильного определения их стоимости. Соответственно выбирается вид строительного контракта (рис. 3.3).

3.2 Управление рисками на стадии дизайна

Основные принципы управления рисками определяются на стадии дизайна проекта, когда принимаются главные решения по выбору параметров будущего объекта и методов его

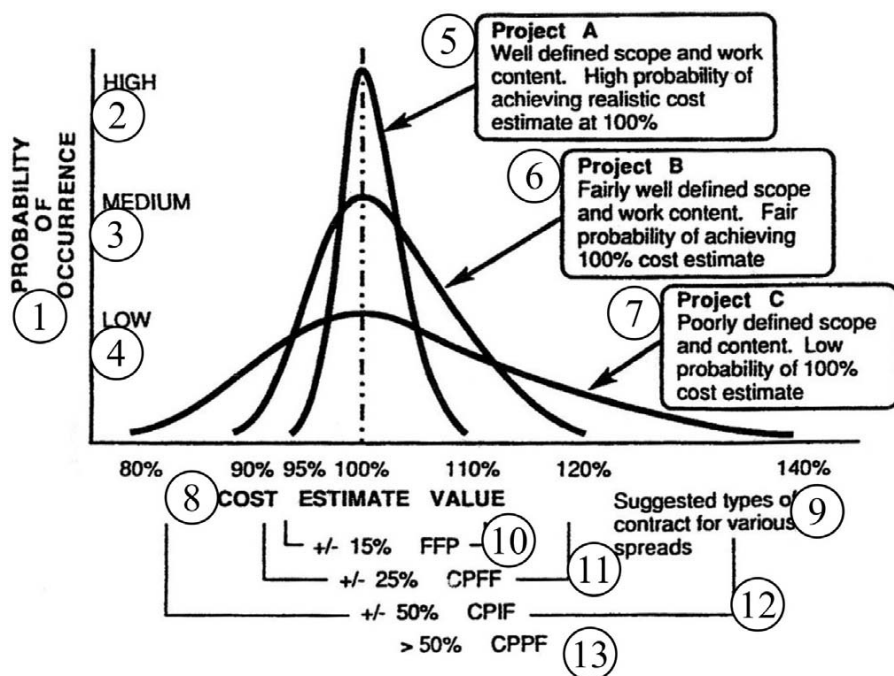


Рис. 3.3. Вероятность определения реальной стоимости проекта в зависимости от степени достоверности объема работ

1 – вероятность реальной стоимости; 2 – высокая; 3 – средняя; 4 – низкая; 5 – проект А. Хорошо определенный объем работ, высокая вероятность определения реальной стоимости проекта; 6 – проект В. Удовлетворительно определенный объем работ. Средняя вероятность определения реальной стоимости проекта; 7 – проект С. Плохо определенный объем работ, малая вероятность определения реальной стоимости работ; 8 – степень достоверности (полноты) определения объема работ; 9 – виды контракта для разной степени достоверности определения объема работ; 10 – контракт «полной суммы»; 11 – контракт «стоимость, плюс установленный размер вознаграждения»; 12 – контракт «стоимость, плюс вознаграждение»; 13 – контракт «стоимость, плюс процент от суммы расходов».

строительства. Одновременно осуществляется идентификация возможных рисков, которая решает, какие опасности могут

воздействовать на проект и документирует их характеристики. В состав участников идентификации рисков входят менеджер дизайна, члены его команды, эксперты внешних организаций, представители заказчика, подрядчиков, акционеров и др.

В процессе идентификации рисков рассматриваются общие причины опасных событий, такие как:

- сложность и развитость применяемой техники;
- неожиданные неблагоприятные геотехнические условия;
- техническая и управленческая некомпетентность;
- человеческий фактор;
- недостаток координации между внутренними и внешними системами строительства;
- комбинация нескольких нежелательных событий, которые по отдельности не являются критическими.

В каждой части дизайна отражаются также специфические опасности, имеющие разный уровень последствий, результаты которых должны стать предметом одинаковой озабоченности участников строительства.

Идентифицированные опасности классифицируются в соответствии с величиной риска, который они представляют. Там, где ожидаемые уровни риска превышают принятый критерий приемлемости, вырабатываются действия, снижающие опасность, и выполняется соответствующая документация. Уменьшение риска на этой стадии проекта достигается изменениями технических решений и возможной очередности работ.

Примером идентификации рисков на стадии дизайна инженерного проекта служат возможные сценарии сооружения в Австрии двухпутевого железнодорожного туннеля сечением 115 м², показанные в табл. 3.2.

Таблица 3.2 – Пример идентификации рисков строительства туннеля

Область идентификации рисков	Идентифицированные риски	Сценарий события риска
1	2	3
Стабильность участка строительства	Локально ограниченная авария – перебор породы в контуре сечения, малые обрушения забоя	- перебор породы до 5 м ³ ; - перебор породы до 20 м ³ ; - малое обрушение забоя (до 20 м ³); - местные деформации передового туннеля на длине 20 м.
	Обширные вывалы породы от 500 м ³ до полостей, простирающихся до поверхности	- вывал 500 м ³ ; - расширенное обрушение забоя (более 20 м ³); - образование полости до поверхности.
	Явления, вызванные геологической или человеческой деятельностью	- внезапные выбросы породы; - внезапная разгрузка горного давления.
Экскавация и крепление	Ухудшение условий экскавации, увеличение продолжительности проходческого цикла	- изменение класса трудности экскавации; - неполадки экскавационного оборудования; - дефекты оборудования.
	Изменение требований к крепи, например замена выбранного вида	- напряжения и деформации при встрече разбухающих или сжимающихся пород; - давление воды на крепь; - неконтролируемые нагрузки.
	Общая концепция экскавации и крепления	- несостоятельность метода экскавации; - неадекватность конструкции крепи.

Продолжение таблицы 3.2

1	2	3
Не-предви-денные про-блемы	Выделение воды или газа	- приток воды более 10 л/сек.; - приток воды 3-10 л/сек.; - выделение газа.
	Обнаружение препятствий: появление валунов, антропогенных включений (металл, старые фундаменты, колодцы и т.д.)	- валуны диаметром до 1,5 м; - валуны более 1,5 м; - стволы деревьев длиной более 20м; - антропогенные чужеродные тела.
	Высокий уровень подземных вод, встреча нарушенной или ослабленной породной зоны	Применение специальных мероприятий, снижающих опасность риска: - понижение уровня подземных вод до глубины 100м; - замораживание грунтов; - вертикальные тампонажные колонны глубиной 50м; - опережающая крепь длиной до 30м; - тампонирующее скважины длиной до 30м; - снижение давления воды на туннель дренажными мероприятиями.
Воздей-ствие на окру-жающую среду	Ожидаемое воздействие на окружающую среду: шум, вибрации, пыль и др.	- шум во время экскавации; - вибрации на расстоянии более 200м; - качество воздуха в туннеле и на прилегающей территории; - сброс туннельной воды; - оседания поверхности.
	Неожиданное воздействие: утечки нефти, потеря уровня воды в водоносных породах и др.	- загрязнение подземных вод; - нарушение режима водоснабжения наземных объектов.

3.3 Управление рисками в контрактных соглашениях

3.3.1 Общие требования к управлению рисками

Для решения общих задач управления рисками в контрактных документах должны быть представлены:

- результаты опыта управления рисками в проектах, подобных рассматриваемому;
- перечень персонала, ответственного за управление рисками, и организаций, вовлеченных в планируемое строительство;
- общее описание намерений участников строительства по отношению к управлению рисками;
- обзор и описание главных рисков проекта, предполагаемых участниками строительства;
- предложения участников строительства по стратегии управления главными рисками.

Контрактные документы должны показать, способен ли подрядчик выполнять необходимый анализ рисков и управлять ими, совместимы ли системы управления рисками заказчика и подрядчика, что позволит обоим участникам уменьшить риски и контролировать их друг у друга.

Требования, касающиеся управления подрядчиком строительными рисками, должны включать:

- организацию и квалификацию персонала, отвечающего за управление рисками;
- перечень и оценку видов риска, которые должны соотноситься со строительной документацией;
- систематизировать идентификацию рисков, их квалификацию по частоте и последствиям, определение мер по управлению и устранению рисков;
- график управления рисками, включая требования о сроках выполнения их оценок, чем обеспечивается своевременность мер по снижению опасности;

- координацию с системами управления рисками заказчика и субподрядчиков;
- специфические требования, касающиеся управления рисками в ясно ограниченных зонах особой озабоченности (например, для третьего участника).

В контрактных документах должны быть приведены данные о политике, критериях и классификационной системе рисков заказчика. Здесь же содержатся требования о включении заказчика в управление рисками во время строительства и создании команды управления с участием представителей заказчика и подрядчика.

В дальнейшем на тендерных переговорах о выборе подрядчика строительства учитываются его способности идентифицировать и контролировать риски применением соответствующих технических решений.

3.3.2 Принципы распределения рисков

Кроме установления стоимости проекта, контрактом предусматривается распределение рисков между участниками строительства и, соответственно, покрытие расходов на возможный ущерб от этих рисков (подробно об этом см. книгу авторов «Управление подземным строительством», ч. I и II. «Норд-Пресс», Донецк, 2010).

В строительном проекте важны, как контролируемые, так и неконтролируемые риски. Первые отражают участие менеджмента в оперативном управлении ими, вторые включают ухудшение погодных условий, инфляцию, геотехническую обстановку и т.д. У подрядчиков нет проблем в принятии на себя рисков контролируемых событий, но часто в контрактные документы заказчиком включаются обременительные для подрядчика ситуации, которые невозможно контролировать. Например, если на подрядчика возлагается ответственность за прогнозирование геологических условий, он за время тендерного периода способен пробурить на участке строительства

только несколько пробных скважин. На основании такой предварительной разведки подрядчик назначает цену, учитывая худшие условия. Для заказчика такое решение окажется недальновидным, так как, если геологические условия на самом деле будут удовлетворительными, цена, которую он вынужден заплатить по контракту, окажется завышенной. Этой ситуации можно было бы избежать, если проводить детальную разведку участка строительства на стадии дизайна и не возлагать соответствующие риски на подрядчика.

Существует три возможности распределения рисков между подрядчиком и заказчиком:

а) Подрядчик принимает на себя высокую степень риска. Это очень обременительный вид условий для подрядчика, поскольку делает его ответственным практически за каждый случай и вид ущерба, исключая претензии за неосторожность или небрежность заказчика. Лучшее, что подрядчик может сделать в такой ситуации – это получить как можно более полное и широкое страховое покрытие. Такая страховка будет весьма дорогой, так что подрядчик должен назначить высокую контрактную цену, чтобы покрыть эти расходы.

б) Подрядчик принимает на себя среднюю степень риска. Такой вид контракта существенно облегчает ответственность подрядчика. Он, как и первом случае, отвечает, например, за ущерб, нанесенный персоналу и собственности третьего участника, но только в случае собственных ошибок.

в) Подрядчик принимает на себя минимальный риск, ограниченный суммой, которая может быть получена от страховой компании. Схема распределения рисков и выбора вида контракта показана на рис. 3.4.

3.4 Управление рисками на стадии строительства

3.4.1 Роль и ответственность участников строительства

На стадии строительства выполняются:

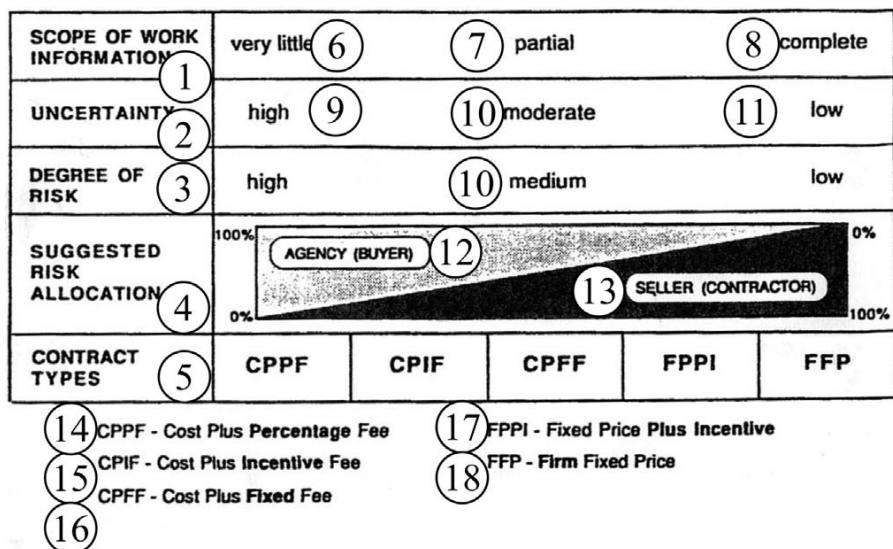


Рис. 3.4. Распределение рисков и выбор вида контракта в зависимости от степени достоверности объема работ

1 – оценка информации о составе работ; 2 – неопределенность; 3 – степень риска; 4 – распределение рисков; 5 – виды контракта; 6 – очень малая; 7 – частичная; 8 – полная; 9 – высокая; 10 – средняя; 11 – низкая; 12 – заказчик; 13 – подрядчик; 14 – контракт «стоимость, плюс процент от суммы расходов»; 15 – контракт «стоимость, плюс вознаграждение»; 16 – контракт «стоимость, плюс установленный размер вознаграждения»; 17 – контракт «полная сумма, плюс вознаграждение»; 18 – контракт «полная сумма».

- управление рисками заказчиком;
- управление рисками подрядчиком;
- совместное управление рисками объединенной командой обоих участников строительства.

Если на стадиях дизайна и контрактных переговоров ответственность за прогнозируемые риски может быть передана тому или иному участнику, то при собственно строительстве возможность передачи ответственности минимальна, и преимущественней стратегией для заказчика и подрядчика является уменьшение тяжести последствий большинства рисков.

Во время строительства заказчик продолжает оценивать риски, за которые он несет ответственность, и за которые не отвечает подрядчик. Здесь преимущественное внимание уделяется рискам, относящимся к экономическим потерям или задержкам строительства. Заказчиком определяются и принимаются действия, снижающие риск, но часть из них может быть для выполнения передана подрядчику.

Одной из основных групп ответственности заказчика являются внешние риски, связанные с общественным мнением о проекте. Любой проект, который не удовлетворяет требованиям охраны природной среды, может не быть одобрен, особенно, в развитых странах. Даже в странах третьего мира люди становятся все более озабоченными состоянием окружающей среды, в связи с чем в смете проекта должны быть учтены соответствующие затраты. Другим примером внешнего риска может стать, например, изменение трассы туннеля по политическим соображениям, геологическим условиям и т.д., что приведет к дополнительным расходам на исследовательские и строительные работы. К внешним рискам относятся также природные чрезвычайные события, такие, как землетрясения или наводнения, которые могут иметь катастрофические последствия для подземного объекта. Высокий риск затопления во время строительства имеют подводные туннели.

Кроме понимания собственной ответственности, заказчик должен одобрить управление рисками подрядчиком и затем проводить постоянный мониторинг его работы. Такая деятельность позволит заказчику получить информацию о рисках, управляемых подрядчиком и гарантировать, что принятые последние меры правильны и функционируют эффективно.

Стратегия управления рисками подрядчиком во время строительства должна применяться всем его персоналом, независимо от производственных функций состава участников, которые обеспечиваются необходимой информацией и обу-

чением за время реализации проекта. Подрядчик приглашается заказчиком участвовать в рабочих совещаниях по управлению рисками, презентациях и учебных сессиях. Процессы идентификации опасностей, классификации рисков, принятия решений и действий по снижению рисков должны быть хорошо поняты, а подрядчики способны их применить.

Рекомендуется, чтобы подрядчик вел регистр ожидаемых рисков, содержащий детали идентифицированных опасностей. Все аварии, несчастные случаи, опасные ситуации и другие подобные события должны быть зарегистрированы и расследованы. С результатами расследований своевременно знакомится персонал, как для предотвращения подобных случаев, так и для постоянного совершенствования системы управления рисками.

В ходе всех работ разрабатываются меры по обеспечению связи и сотрудничества всех участников проекта, а также гражданских аварийных служб. На протяжении периода строительства подрядчик также ответственен за внедрение инициатив, предлагаемых заказчиком для снижения рисков.

3.4.2 Управление рисками в различных организационных моделях строительства

Основными организационными моделями, применяемыми в строительстве служат:

- дизайн/тендер/строительство;
- дизайн/строительство;
- сотрудничество (партнерство).

Особенности управления рисками в этих моделях описаны далее на некоторых примерах строительной практики Швеции.

Модель «дизайн/тендер/строительство» предполагает ответственность заказчика за планирование, дизайн и контроль строительства, подрядчика – за выполнение работ. В пределах

этой модели управления возможны две главные организационные альтернативы: разделенные контракты и генеральный контракт. Первая альтернатива предполагает, что заказчик подписывает отдельные контракты с каждым подрядчиком. Эта форма позволяет заказчику выбрать лучшего и выгодного подрядчика для каждой части работы. С другой стороны, в этом случае высоки затраты на координацию работ между подрядчиками и трудно определить, какой из них ответствен за риск конкретной ошибки. Генеральный контракт предполагает, что заказчик подписывает только один контракт с главным (генеральным) подрядчиком, который, в свою очередь, для выполнения специфических работ выбирает субподрядчиков и координирует их деятельность. Этот вид организации строительства более распространен, чем разделение контрактов.

Примером модели «дизайн/тендер/строительство» служит проект 1, который заключается в перестройке, модернизации и дополнительном строительстве университетских помещений, расположенных в северной части Швеции. Контрактная сумма составляла 18 млн. шведских крон (1 крона = 0,135 доллара США). Окончательная стоимость проекта составила 20 млн. крон. Технические характеристики и функциональность построенного объекта были оценены всеми участниками, как очень высокие. Однако, расходы подрядчика увеличились значительно по сравнению с ожидаемыми из-за неудовлетворительного качества дизайна, хотя проект был закончен раньше планируемого срока. Заказчик вовлекался во все четыре стадии проекта: программу, дизайн, строительство, сдачу в эксплуатацию. Архитектор разрабатывал программу и дизайн, однако не участвовал в сдаче объекта.

С точки зрения управления рисками принятая организационная модель строительства создала проблемы и вызвала конфликты, поскольку на стадии сдачи объекта в эксплуатацию потребовались изменения дизайна. Подрядчика присоединили к проекту на стадии строительства, что было тради-

ционным для модели «дизайн/тендер/строительство». Идентификация рисков и процессы ответственности за них реализовывались подрядчиком систематически в ходе всего проекта с использованием программного обеспечения управления качеством.

В процессе идентификации рисков заказчик участвовал только на стадии дизайна и не сотрудничал с подрядчиком на стадии строительства, что приводило к конфликтам и разногласиям. Финансовое воздействие идентифицированных рисков было довольно высоким. Произошли также непредвиденные риски, которые, однако, оказали меньшее воздействие на финансовое положение.

В большинстве проектов, выполняемых по модели «дизайн/тендер/строительство» подрядчик считал, что традиционная форма не создает возможности для открытого диалога и сотрудничества с заказчиком в управлении рисками. В этой модели каждый участник сфокусирован на собственной части проекта и пытается управлять соответствующими рисками. Часто происходят конфликты, например, по техническим решениям и связанным с ними затратам. Общие условия контракта обычно хорошо документированы с установлением ответственности и обязанностей каждого участника, однако, заказчик часто отклоняется от этих условий, пытаясь передать больше рисков подрядчику. Заказчики считают, что в контракте модели «дизайн/тендер/строительство» совместное управление рисками невозможно, поскольку подрядчик должен следовать инструкциям заказчика и выполнять его требования. С другой стороны, дизайнер считает, что имеет в этой модели строительства больше гибкости и связей с заказчиком, чем в модели «дизайн/строительство».

Модель «дизайн/строительство» предполагает ответственность подрядчика как за дизайн, так и за собственно строительство. Заказчик подписывает только один контракт, что является для него более привлекательным с точки зрения управления рисками, поскольку распределяет подрядчику

риски и за строительство, и за дизайн. С другой стороны, такая организационная модель может оказаться более дорогой по сравнению с предыдущей. Кроме того, качество финального результата (построенного объекта) может быть хуже, если подрядчик использует более дешевые решения, пытаясь уменьшить собственные расходы. Эта проблема особенно присуща контрактам полной суммы «lump sum». Модель «дизайн/строительство» выбирается заказчиком более часто, когда сроки строительства и возможности ресурсов играют решающую роль. С точки зрения подрядчика эта модель может быть весьма рискованной, если у него нет опыта ее применения.

Примером модели «дизайн/строительство» служит проект 2, который предусматривал строительство нового здания собраний в университетском корпусе в северной части Швеции стоимостью 41,1 млн. крон с окончательной стоимостью 43,5 млн. крон. График проекта и его качество соответствовали предусмотренным показателям. Воздействие идентифицированных рисков было незначительным, но непредвиденные риски привели к увеличению стоимости проекта. Заказчик участвовал во всех стадиях проекта, однако управление рисками не выполнял систематически, поскольку он идентифицировал риски, но не оценивал их. Сотрудничество между участниками проекта и управление рисками оценивалось, как хорошее, но подрядчик считал, что решения заказчика задерживают дизайн.

С точки зрения управления рисками раннее вовлечение подрядчика в проекты с моделью «дизайн/строительство» имеет значительные преимущества. Управление рисками подрядчиком в этом случае более исчерпывающе из-за принятия ответственности за дизайн. Участники строительства считают, что контракт с моделью «дизайн/строительство» может привести к ухудшению качества из-за невозможности для заказчика контролировать технические решения дизайна, выбранные подрядчиком. Чтобы избежать такой ситуации,

требуется постоянное обсуждение решений участниками строительства, что позволяет улучшить управление рисками.

В последние десятилетия в строительной индустрии становится более популярной партнерская форма сотрудничества участников строительства, когда общие цели и совместное решение проблем создают обстановку доверия, снижают разногласия и споры, приводят в конце концов к уменьшению стоимости строительства и улучшению его качества.

Проект 3, выполненный в форме партнерства с контрактом «возмещение расходов» (reimbursable contract), предусматривал реконструкцию жилого дома в Стокгольме. Совместная работа заказчика и подрядчика позволила снизить стоимость работ. Поскольку имелись серьезные ограничения времени, строительство началось еще до завершения дизайна. Это привело к низкой степени идентификации рисков и переделке дизайна некоторых частей проекта. Во время его реализации риски систематически идентифицировались, оценивались и распределялись. В начале работ заказчик организовал для этого рабочие группы, где подрядчик и архитектор имели равное влияние на управление рисками в отличие от других организационных моделей строительства. Несмотря на большое финансовое воздействие идентифицированных рисков, участники совместно находили наилучшие решения.

Преимуществом партнерства было управление рисками, начиная с самых ранних стадий проекта. Партнерство позволяет распределить риски более ответственно, чем традиционная модель «дизайн/тендер/строительство», где подрядчик работает по готовой документации дизайна. Возможность открытого диалога влияет на уровень управления рисками.

3.4.3 Мониторинг рисков

Мониторинг рисков включает систематическое непрерывное прослеживание и оценку эффективности стратегии управления рисками, ее технологии и запланированных дей-

ствий. Процесс мониторинга должен обеспечить как качественную, так и количественную информацию, относящуюся к эффективности проведенных мероприятий. Он также может дать информацию по идентификации новых рисков или изменениям в предположениях о них.

Мониторинг включает контроль и подтверждение того, что:

- участник, ответственный за риск, своевременно выполняет свои задачи;
- риск идентифицировался адекватно, а параметры проекта, подвергаемые воздействию риска, сохраняют свои значения;
- риски, включая приемлемые и низкие, не изменились со времени их первой идентификации;
- стратегия избежания рисков применяется в соответствии с графиком работ;
- мероприятия, предусмотренные стратегией управления рисками, соответствуют ожидаемой опасности;
- непредвиденные расходы, связанные с ликвидацией последствий рисков, пересматриваются в соответствии с создавшейся обстановкой;
- регистр рисков своевременно обновляется и пополняется.

В комплекс мониторинга входят регулярные доклады менеджмента проекта заказчику о результатах управления рисками. Обычно такие доклады составляются ежемесячно и включают:

- статус ключевых рисков проекта и объяснения любых существенных изменений;
- статус остаточной сметной стоимости (включая непредвиденные расходы), а также графика строительства;
- идентификацию любых вновь возникших опасностей, возможных в ближайшие 90 дней;
- анализ эффективности стратегии управления рисками, применявшейся на протяжении предыдущего месяца;

- рассмотрение возможной стратегии управления рисками в следующие 90 дней, включая обязанности участников проекта;

- рассмотрение возможностей возникновения вторичных рисков при предпринимаемых мерах по управлению идентифицированными рисками.

Обсуждение статуса риска должно включать такие вопросы, как признаки возникновения рисков, их существенные изменения и возможности входа работ в новый риск, модификация стратегии управления рисками или информация о полученных уроках.

Любые новые риски, которые идентифицируются в ходе составления докладов, должны быть включены в регистр.

Глава 4. Качественный и количественный анализ рисков

4.1 Общие сведения

Обычно люди, принимающие решения по выбору целесообразного, как им представляется, варианта проекта из нескольких возможных, предпочитают сосредоточиться на одном, отдельно взятом критерии, например, таком, как прибыль. Однако, при отсутствии оценки опасности рисков такой подход представляется неадекватным, поскольку выбор варианта оказывается не оптимальным. Современный менеджер, отвечающий за соответствие строительства контрактным параметрам, всегда должен быть способен качественно и количественно оценивать риск.

Качественный анализ ранжирует риски, оценивая вероятность их событий и связанные с этим опасности воздействия на цели проекта. Такой анализ ведется в течение всего срока строительства.

Количественный анализ имеет два способа осуществления - детерминистский и вероятностный или стохастический. Детерминистский предполагает полную определенность условий оценки рассматриваемых решений, что в строительной индустрии встречается редко, а в подземном строительстве – никогда. Существует несколько детерминистских способов оценки рисков (см. книгу авторов «Геотехнические риски подземного строительства», Донецк, «Норд-Пресс», 2009).

Вероятностный способ имеет дело с факторами, которые не могут быть оценены с полной определенностью и для его применения используются стохастические модели, реализуемые компьютерными программами.

4.2 Качественный анализ рисков

Один из возможных общих подходов к качественной оценке рисков строительства, применяемых в США, заключается в выполнении следующих шагов:

1-ый шаг. Строится матрица класса вероятности возможных рисков. На практике часто используется форма табл. 4.1, но для конкретного проекта матрица может иметь и другой вид.

Таблица 4.1 – Классы вероятности рисков

Класс вероятности риска	Вероятность риска	Значение вероятности риска, %
5	весьма вероятный	60-99
4	вероятный	40-59
3	случайный	20-39
2	маловероятный	10-19
1	весьма маловероятный	1-9

2-ой шаг. Строится матрица тяжести последствий рисков для целей проекта – объема (содержания), продолжительности работ (сроков строительства), стоимости (табл. 4.2.).

3-ий шаг. Каждый идентифицированный риск оценивается, основываясь на его вероятности, ранжируемой по табл. 4.1.

4-ый шаг. Для увеличения значимости более высоких степеней тяжести последствий риска им присваиваются оценки в нелинейной (усиленной) системе, в других случаях – в линейной (умеренной) системе (табл. 4.3).

5-ый шаг. Строится матрица уровня опасности риска (табл. 4.4) - произведение класса вероятности риска (из табл. 4.1) и оценки тяжести последствий риска (из табл. 4.3).

6-ой шаг. Количественные оценки уровня опасности рисков (табл. 4.4) переводятся в интегрированную качественную оценку риска (табл. 4.5).

После качественной оценки риска принимается решение об управлении им.

Оценки вероятности рисков и тяжести их последствий разрабатываются согласно мнениям экспертов и поэтому субъективны. Существуют и другие, близкие к описанным критерии. Они, например, могут иметь вид, представленный в табл. 4.6 (вариант А) и табл. 4.7 (вариант В).

Таблица 4.2 – Тяжесть последствий рисков для главных целей проекта

Цели проек-та	Тяжесть последствий рисков				
	незначи-тельная	сущест-венная	серьезная	тяжелая	катастро-фическая
Объем проек-та	Измене-ние объе-ма едва заметно	Изменения увеличива-ют стои-мость про-екта на < 5%	Измене-ния уве-личивают стоимость проекта на 5-10%	Заказчик не согла-сен с из-менения-ми в про-екте	Содержание проекта не отвечает поставлен-ным целям
Про-должи-тельность работ	Незначи-тельное нарушение гра-фика	Сдача промежуто-чного этапа с за-держкой менее квартала	Задержка промежу-точного этапа – один квартал	Задержка промежу-точного этапа – более од-ного квартала	Задержка промежу-точного этапа – бо-лее финан-сового года
Стои-мость	Незначи-тельное увеличе-ние стои-мости	Увеличе-ние стои-мости < 5%	Увеличе-ние стои-мости на 5-10%	Увеличе-ние стои-мости на 10-20%	Увеличение стоимости > 20%

Таблица 4.3 – Системы оценки тяжести последствий рисков

Тяжесть последствий рисков	Системы оценки тяжести последствий	
	нелинейная	линейная
Катастрофическая	16	5
Тяжелая	8	4
Серьезная	4	3
Существенная	2	2
Незначительная	1	1

Таблица 4.4 – Оценка уровня опасности риска

Класс вероятности риска	Уровень опасности риска									
	нелинейная система					линейная система				
5	5	10	20	40	80	5	10	15	20	25
4	4	8	16	32	64	4	8	12	16	20
3	3	6	12	24	48	3	6	9	12	15
2	2	4	8	16	32	2	4	6	8	10
1	1	2	4	8	16	1	2	3	4	5
	1	2	4	8	16	1	2	3	4	5
	Оценка тяжести последствий									

Таблица 4.5 – Переход к интегрированной качественной оценке риска

Уровень опасностей риска	Качественная оценка риска
1-6	низкая
7-14	средняя
15 и более	высокая

Таблица 4.6 – Вариант А оценки вероятности рисков

Класс вероятности риска	Вероятность риска	Значение вероятности риска, %
1	весьма маловероятный	0-10
2	маловероятный	11-40
3	случайный	41-60
4	вероятный	61-90
5	весьма вероятный	91-100

Таблица 4.7 – Вариант В оценки вероятности рисков

Класс вероятности риска	Вероятность риска	Значение вероятности риска, доли единицы
низкая	полная уверенность в отсутствии риска	$>0 - <= 0,05$
низкая	почти уверенность в отсутствии риска	$>0,05 - <= 0,15$
низкая	маловероятный риск	$>0,15 - <= 0,25$
низкая	случайный риск	$>0,25 - <= 0,35$
средняя	менее, чем вероятный риск	$>0,35 - <= 0,45$
средняя	вероятный риск	$>0,45 - <= 0,55$
средняя	более, чем вероятный риск	$>0,55 - <= 0,65$
высокая	весьма вероятный риск	$>0,65 - <= 0,75$
высокая	чрезвычайно вероятный риск	$>0,75 - <= 0,85$
высокая	почти уверенность в опасности	$>0,85 - <= 0,95$
высокая	полная уверенность в опасности	$>0,95 - < 1$

В департаменте энергетики США принята шкала вероятности и последствий рисков, показанная в табл. 4.8. Критерии для каждой категории варьируются в зависимости от стоимости и продолжительности проекта. Например, 6-месячная поддержка для проекта с продолжительностью 10 лет будет средней, но очень высокой – для 2-летнего проекта. Подобно этому, ущерб 1 млн. долл. может оказаться очень высоким для некоторых проектов средней стоимости, тогда, как проекты

стоимостью более 1 млрд. долл. могут позволить себе иметь такие риски.

Еще один вариант матрицы качественной оценки рисков показан в табл. 4.9.

После интегральной оценки уровня риска (табл. 4.5) принимается решение по снижению его опасности (табл. 4.10).

Как уже говорилось, приведенные оценки вероятности и тяжести последствий рисков являются субъективными и зависят от мнения экспертов.

Таблица 4.8 – Шкала вероятности рисков строительных проектов энергетики (США)

Общая оценка		Дифференцированная оценка	
описание	оценка	описание	оценка
Очень высокая	>90%		
Высокая	75-90%	} средняя/высокая средняя/средняя средняя/низкая	60-75%
Средняя	26-74%		40-60%
Низкая	10-25%		25-40%
Очень низкая	<10%		
Влияние риска на продолжительность проекта, мес.			
Очень высокое	12-24		
Высокое	12-18	} среднее/высокое среднее/высокое среднее/низкое	9-12
Среднее	3-12		6-9
Низкое	0,5-3		3-6
Очень низкое	0-0,5		
Влияние риска на стоимость проекта, долл.			
Очень высокое	10-100 млн.		
Высокое	1-10 млн.	} среднее/высокое среднее/среднее среднее/низкое	0,5-1 млн.
Среднее	100 тыс.-1 млн.		250-750 тыс.
Низкое	10-100 тыс.		100-250 тыс.
Очень низкое	<10 тыс.		

Таблица 4.9 – Пример качественной оценки рисков

Риски Факторы	Пренебре- режи- мый	Незначи- тельный	Сущест- венный	Тяжелый	Критиче- ский
Стоимость	Мини- мальное или без послед- ствий воздей- ствие на стои- мость проекта	Небольшое увеличение рисков при встрече препятст- вий, не- значитель- ное увели- чение стоимости	Сущест- венные проблемы при встре- че препят- ствий. Сущест- венное увеличение стоимости	Цели не достижимы, препятствия непреодо- лимы. Мо- жет потре- боваться дополни- тельное фи- нансирова- ние	Проект останов- лен, фи- нансиро- вание отозвано. Объем работ ну- ждается в пере- смотре
График проекта	То же по отношению к графику				
Вероят- ность рис- ка	Тяжесть последствий рисков				
Очень вы- сокая >90%	Низкая	Средняя	Высокая	Высокая	Высокая
Высокая 75-90%	Низкая	Средняя	Средняя	Высокая	Высокая
Средняя 26-74%	Низкая	Низкая	Средняя	Средняя	Высокая
Низкая 10- 25%	Низкая	Низкая	Низкая	Средняя	Средняя
Очень вы- сокая <10%	Низкая	Низкая	Низкая	Низкая	Средняя

Национальным институтом стандартов и технологии США (National Institute of Standards and Technology) рекомендо-
 дуется оценка рисков, состоящая из шагов определения их ве-

роятности, воздействия, общего уровня и корректирующих действий, зависящих от этого уровня (табл. 4.11-4.14).

Таблица 4.10 – Действия по снижению опасности риска

Интегральная качественная оценка риска	Действия по снижению опасности риска
Критический	Работы должны быть прекращены до пересмотра состава проекта
Тяжелый	Риск должен быть уменьшен, по крайней мере, до существенного, безотносительно к стоимости работ
Существенный	Должны быть приняты меры для снижения риска до тех пор, пока их стоимость не превышает ущерба от риска
Незначительный	Особые меры по снижению риска не требуются
Пренебрежимый	Опасность не рассматривается

Таблица 4.11 – Определение вероятности риска

Уровень вероятности	Определение вероятности риска
Высокий	Источник угрозы высоко мотивирован и весьма опасен, меры по предотвращению уязвимости объекта неэффективны
Средний	Источник угрозы мотивирован и опасен, но могут быть приняты меры по предотвращению уязвимости объекта
Низкий	Источник угрозы слабо мотивирован и мало опасен или принимаемые меры, могут предотвратить опасность, либо, по крайней мере, существенно уменьшить уязвимость объекта

Таблица 4.12 – Определение воздействия риска

Уровень воздействия	Определение воздействия риска
Высокое	Уязвимость объекта может привести к: - высоким стоимостным потерям, либо заметному воздействию на капитал или ресурсы; - существенному ущербу миссии организации, ее репутации или интересу; - серьезному травматизму или смерти персонала.
Среднее	Уязвимость объекта может привести к: - к стоимостным потерям, либо воздействию на капитал или ресурсы; - заметному ущербу миссии организации, ее репутации или интересу; - травматизму персонала.
Низкое	Уязвимость объекта может привести к: - некоторым стоимостным потерям, либо к некоторому воздействию на капитал или ресурсы; - ущербу миссии организации, ее репутации или интересу.

Таблица 4.13 – Общий уровень риска

Вероятность риска	Воздействие риска		
	Низкое (10)	Среднее (50)	Высокое (100)
Высокая (1,0)	низкий $10 \times 1,0 = 10$	средний $50 \times 1,0 = 50$	высокий $100 \times 1,0 = 100$
Средняя (0,5)	низкий $10 \times 0,5 = 5$	средний $50 \times 0,5 = 25$	средний $100 \times 0,5 = 50$
Низкая (0,1)	низкий $10 \times 0,1 = 1$	низкий $50 \times 0,1 = 5$	низкий $100 \times 0,1 = 10$

Уровень риска: высокий ($> 50-100$), средний ($> 10-50$), низкий ($> 1-10$).

Таблица 4.14 – Шкала риска и необходимые действия

Уровень риска	Необходимые действия
Высокий	Имеется серьезная необходимость для корректирующих действий. Существующая система может продолжать функционировать, но корректирующие действия должны быть введены, как можно скорее.
Средний	Необходимы корректирующие действия, проводимые в приемлемые сроки
Низкий	Необходимо определить, требуются корректирующие действия или приемлем риск

4.3 Количественный анализ рисков

4.3.1 Детерминистские способы

а) сценарный анализ

Принцип сценарного анализа может быть понятен из примера строительства офисного здания, для которого при разработке конструктивной схемы устанавливаются оптимальные соотношения между полезной площадью, определяемой заказчиком проекта, и площадью вспомогательных помещений, таких, как туалеты, коридоры, лифтовые шахты, места прокладки труб, которая часто регламентируется локальными административными актами.

Здесь имеется ввиду, что на стадии дизайна детальные требования местных властей могут быть неизвестны заранее и будут уточняться только в ходе дальнейших работ. При этом возникает риск, что принятые решения не соответствуют новым техническим условиям. Возможен также риск колебаний в прогнозе строительных цен 1 м² полезной площади. Сценарным анализом могут быть учтены внешние экономические риски. Например, повышение инфляции.

С точки зрения оценки потенциального риска изменения нормативной базы рассматриваются также вопросы строительства парковочной площадки автомобилей и реконструкции примыкающих существующих дорог.

Сценарии базируются на наиболее вероятном, оптимистическом и пессимистическом вариантах развития событий. В табл. 4.15 приведены результаты расчета стоимости по этим сценариям. При этом принималось, что, поскольку конкретизация решений будет производиться при дальнейшей разработке проекта, ожидаемая стоимость строительства 1 м² полезной площади будет находиться в интервале 950-1100 фунтов стерлингов (рис. 4.1).

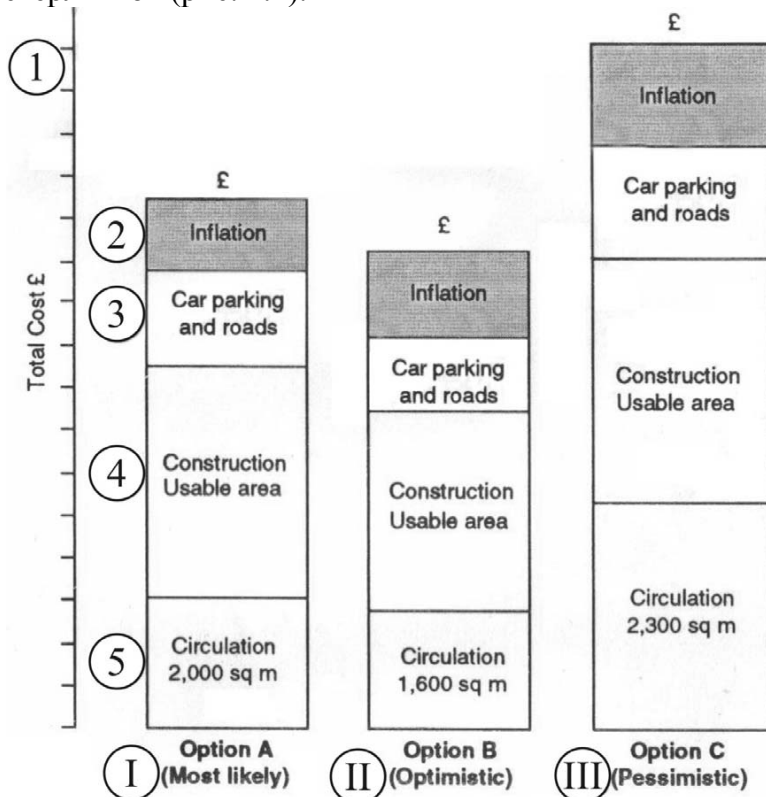


Рис. 4.1. Сценарный анализ оценки рисков при строительстве офисного здания

Объяснения к рис. 4.1:

I – вариант А, наиболее вероятный;

II – вариант В, оптимистический;

III – вариант С, пессимистический.

1 – общая стоимость; *2* – инфляция; *3* – стоимость автостоянки и дорог; *4* – стоимость полезной площади; *5* – стоимость площади вспомогательных помещений.

Результаты анализа показывают возможные последствия рассматриваемых сценариев. Количественная оценка вероятности каждого из них отсутствует и заказчик проекта получает лишь общее представление об изменениях параметров проекта в результате риска изменения нормативной базы строительства.

Таблица 4.15 – Сценарный анализ параметров проекта строительства офисного здания

Параметры проекта	Вариант А наиболее вероятный	Вариант В оптими- стический	Вариант С пессими- стический
Площадь подсобных помещений, требуемая нормативной базой	2000 м ²	1600 м ²	2300 м ²
Полезная площадь здания, требуемая заказчиком	5000 м ²	5000 м ²	5000 м ²
Полная площадь здания	7000 м ²	6600 м ²	7300 м ²
Прогноз строительных цен 1 м ² полезной площади	1000 ф	950 ф	1100 ф
Процент инфляции за 12 месяцев проектирования	5%	4%	8%
12 месяцев строительства	годовых	годовых	годовых
Стоимость строительства автостоянки и реконструкции подъездных дорог	500000 ф	400000 ф	800000 ф

б) анализ чувствительности

Анализ чувствительности – способ детерминистского моделирования, который используется, чтобы определить воздействия изменений независимой переменной (аргумента) на изменение зависимой переменной (функции). Этот способ не имеет целью количественно оценить риск, но позволяет определить факторы, к которым риск чувствителен. Анализ чувствительности позволяет ответить на круг вопросов: «а что, если...». Например, что случится со стоимостью строительства, если прогноз будущей инфляции будет неверен на 1%, 2% или 3%, что случится со стоимостью строительства, если общая продолжительность работ сократится на 3, 4 или 5 месяцев.

Анализ чувствительности позволяет выяснить, какой компонент проекта наибольшим образом воздействует на его результаты. Этот способ широко используется из-за его простоты и возможности сосредоточиться на частных оценках, хотя он и не определяет реальной вероятности события.

Примером анализа чувствительности может служить рассмотрение величины так называемых затрат жизненного цикла, т.е. суммы капитальных и эксплуатационных расходов на сооружение и дальнейшее обслуживание объекта. Эти затраты характеризуют будущее проекта, хотя это будущее известно недостоверно. Оцениваемые при этом эксплуатационные повторяющиеся расходы, такие, как текущий ремонт, разного рода замены оборудования и инвентаря, уборка помещений имеют ориентировочный характер, независимо от надежности данных, на которых она основана. Подобно этому не могут быть оценены с определенностью такие существенные компоненты затрат жизненного цикла объекта, как скорость изменения макроэкономических параметров, например, уровня учетной банковской ставки.

Наглядное графическое представление об анализе чувствительности может дать, так называемая, «паутинная» диаграмма (рис. 4.2), которая строится следующим образом:

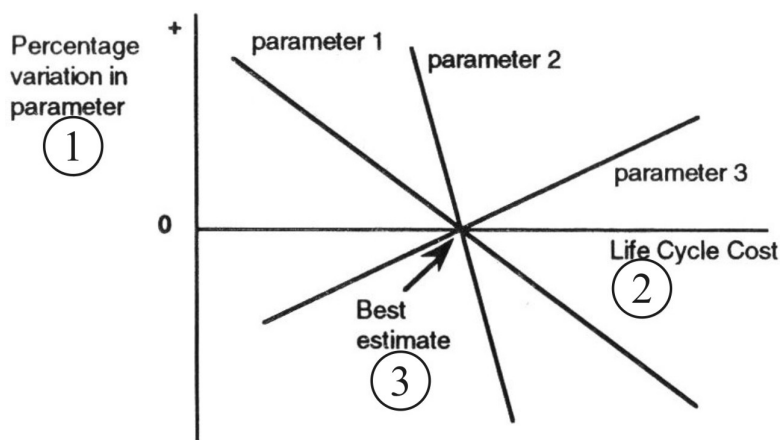


Рис. 4.2. «Паутинная» диаграмма анализа чувствительности
 1 – вариации параметров, %; 2 – затраты жизненного цикла;
 3 – лучшая оценка.

1 – рассчитываются затраты жизненного цикла по исходным данным, принятым в дизайне;

2 – идентифицируются параметры, подверженные риску и неопределенности;

3 – выбирается один рискованный параметр и пересчитываются затраты жизненного цикла, предполагая, что колебания расходов, связанные с этим параметром, находятся в каком-то определенном интервале $X\%$. Расчеты выполняются пошагово в пределах этого интервала, т.е. затраты жизненного цикла пересчитываются, предполагая, что выбранный параметр, например, банковская учетная ставка изменяется на $+1\%$, $+2\% \dots +5\%$ и -1% , $-2\% \dots -5\%$;

4 – результаты расчетов наносятся в виде линии на «паутинную» диаграмму, интерполируя их между каждым рассчитанным значением;

5 – шаги 3 и 4 повторяются для оставшихся параметров, которые ранее были идентифицированы, как рискованные.

Каждая линия «паутинной» диаграммы показывает воздействие на затраты жизненного цикла варьируемого рискованного параметра. Чем больше к горизонтали расположена линия, тем более чувствительны затраты жизненного цикла к варьируемости этого параметра. Так, на рис. 4.2 изменения параметра 3 гораздо сильнее воздействует на затраты жизненного цикла, чем изменения параметра 2.

Приведенная на рис. 4.2 диаграмма не показывает наиболее вероятного интервала изменений каждого рискованного параметра. Эта задача решается вводом в «паутинную» диаграмму контуров уровней вероятности, которые строятся субъективно (по мнению экспертов) для варьируемых значений рассматриваемых параметров. Так, например, может быть оценено, что имеется 70% вероятности того, что банковская учетная ставка будет находиться в интервале между +8% и -6% от принятой при проектировании объекта, а 90% вероятности, что этот интервал находится между +10% и -8%. На рис. 4.3 показаны контуры вероятности 70% и 90%.

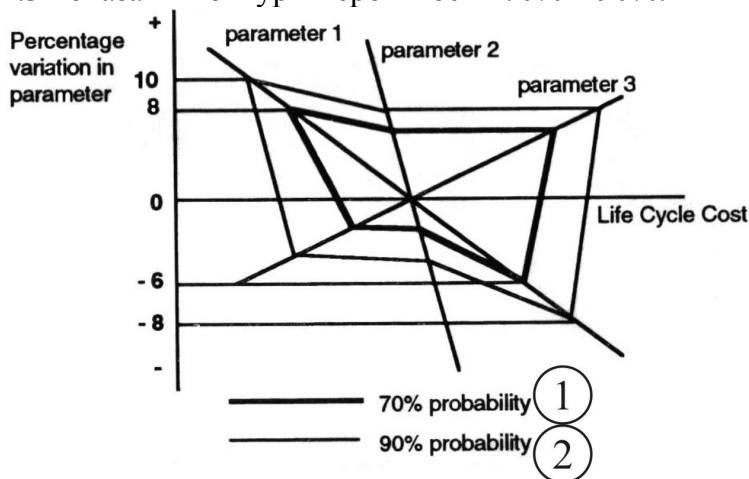


Рис. 4.3. Контуры вероятности на «паутинной» диаграмме
 1 – вероятность 70%; 2 – вероятность 90%

Контуры вероятности являются результатами субъективных оценок возможности варьирования рассматриваемых параметров. Поэтому их надежность часто вызывает сомнения. Тем не менее, такой подход может быть инструментом выработки решений в условиях неопределенности экономических прогнозов.

Анализ чувствительности может быть использован, как в целом для проекта, так и для решения конкретных вопросов. Например, в случае строительства уже упомянутого офисного здания такой анализ будет полезен для выбора отделки пола основных помещений (рис. 4.4).

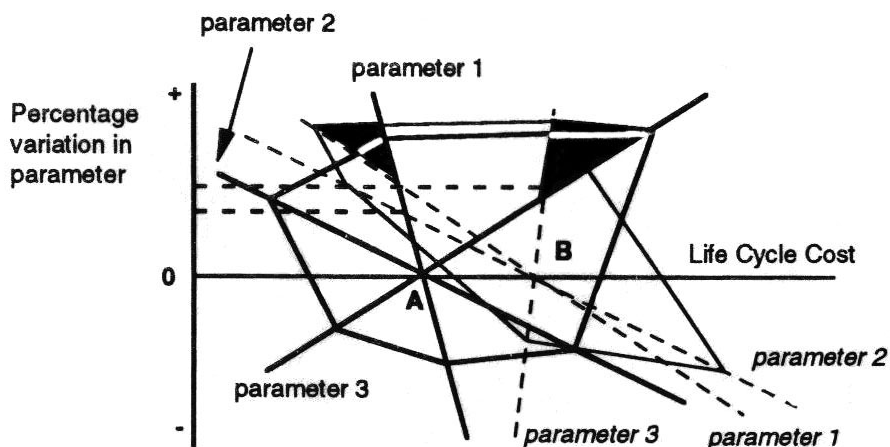


Рис. 4.4. Сравнение вариантов при анализе чувствительности
обозначения аналогичны рис. 4.2 и 4.3.

Проектные оценки показали, что более предпочтительным выбором отделки пола является вариант А, который требует меньших затрат жизненного цикла, чем вариант В. Однако, закрашенные зоны пересечений линий параметров 1 и 3 вариантов А и В в контуре вероятности 70% показывают, что вариант А в этом контуре намного более чувствителен по рассматриваемым параметрам, т.е. при изменении параметров на один и тот же процент, изменения затрат жизненного цикла варианта А существенно выше, чем варианта В. Если главная

цель человека, принимающего решение, - избежать сюрпризов, тогда следует предпочесть вариант В потому, что он предлагает намного большую определенность затрат.

Результаты анализа чувствительности могут быть представлены в виде диаграммы «торнадо» - графического изображения значимости затрат, определяющего какие из работ или рисков имеют наибольшее влияние на затраты (рис. 4.5).

Как видно из сказанного, анализ чувствительности не является определяющим способом выбора одного из сравниваемых вариантов, однако, он может служить вспомогательным средством принятия решений.

4.3.2 Вероятностные способы

а) общие понятия о вероятностных способах

Дальнейшим развитием технологии учета неопределенности при выборе варианта строительства является вероятностный анализ, предполагающий, что все параметры и связанные с ними риски могут варьироваться одновременно. Наиболее легко используемым для этого математическим методом служит так называемая модель Монте-Карло, которая предполагает, что параметры, подверженные риску и неопределенности, могут быть описаны распределениями вероятностей.

В качестве простейшего примера вероятностного подхода к решению дизайна строительной задачи можно привести фрагмент проекта газовой магистрали, когда существующая на участке строительства линия не была обнаружена до начала работ.

Вероятностная оценка решений, возникающих в этих обстоятельствах составит:

- необходимость некоторых модификаций дизайна новой линии – 0,5 (50%);

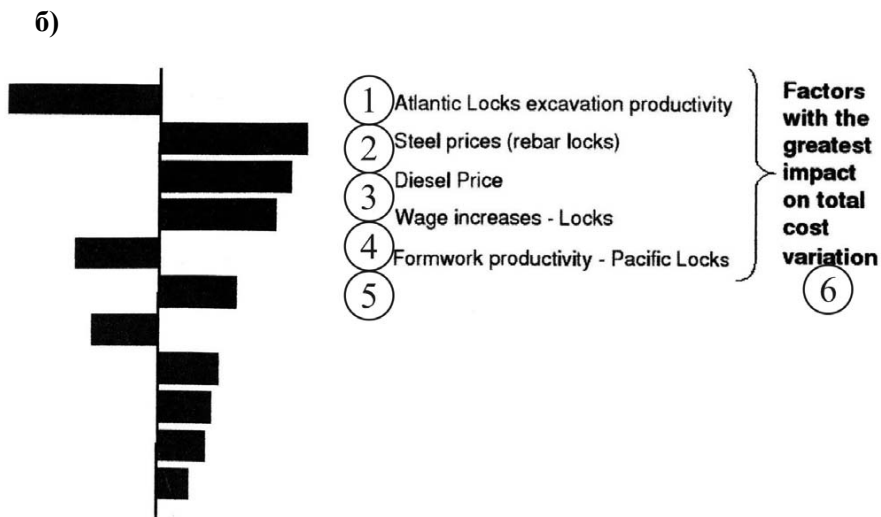
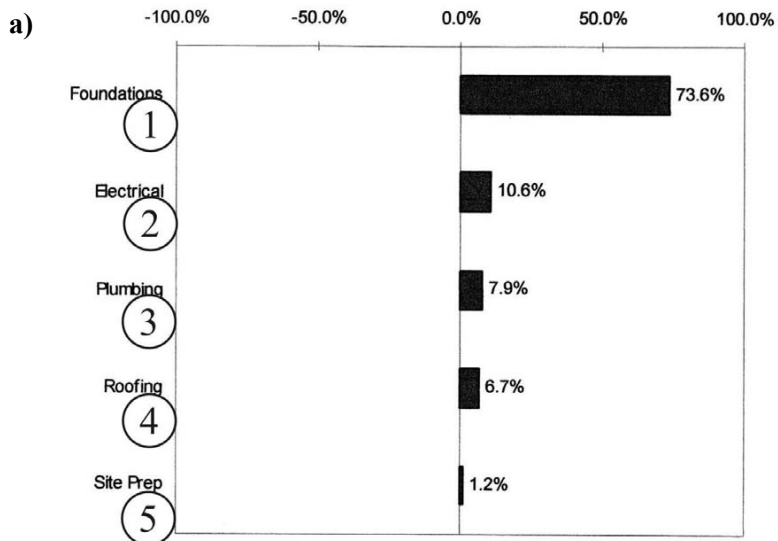


Рис. 4.5. Диаграмма «торнадо» чувствительности строительного проекта к рискам

Объяснения к рис. 4.5:

а) односторонняя диаграмма чувствительности проекта к рискам его структурных частей.

1 – фундамент; 2 – электрическая часть; 3 – водопроводно-канализационная часть; 4 – кровельные работы; 5 – подготовка места строительства.

б) двухсторонняя диаграмма факторов, влияющих на изменение общей стоимости работ.

1 – производительность экскавации; 2 – цены на металл; 3 – цены на горючее; 4 – рост зарплаты; 5 – стоимость опалубки; 6 – факторы наибольшего воздействия на изменение общей стоимости.

- отсутствие необходимости дополнительных работ – 0,3 (30%);

- необходимость дополнительных строительных работ – 0,2 (20%);

Указанные оценки вероятности определились суждениями и интуицией экспертов. В описываемой ситуации заказчик оценивает возможность дополнительных затрат согласно табл. 4.16.

Таблица 4.16 – Бюджет работ, связанных с наличием старой газовой линии

Состав работ	Стоимость, долл.	Вероятность	Расходы, долл.
Некоторые модификации дизайна новой линии	5000	0,5	2500
Необходимость дополнительных работ отсутствует (кроме изысканий)	2000	0,3	600
Дополнительные строительные работы	15000	0,2	3000
Итого			6100

б) элементарные сведения о распределении вероятностей
событий

Распределение вероятностей – средство выражения неопределенности проблемы, количественной оценки этой неопределенности и использования таких оценок в процессе выработки решений.

В качестве простейшего подхода к пониманию распределения вероятностей представим себе ситуацию с инженером-строителем, которому поручено заказать 2000 дверей и дверных рам для последующего использования при строительстве жилых зданий. Известно при этом, что лесоматериалы, получаемые от поставщика, могут быть нарезаны с шагом 1 фут (1 фут = 0,3048 м). Это означает, что доски могут поставляться длиной 5,6 или 7 футов и т.д. Поэтому задача инженера – определить наиболее приемлемые габариты дверей, для чего необходимо измерить рост нескольких сотен взрослых людей в районе будущего строительства.

Результаты измерений изображены в виде графика – так называемой гистограммы на рис. 4.6, 4.7. Затем в целях наглядности результаты измерений были разделены на группы с интервалом высоты 6 дюймов (1 дюйм – 2,54 см), изображенные на рис. 4.8 в виде столбцов, где их ширина соответствует этому интервалу.

Новая задача, порученная инженеру, составляла в анализе некоторых финансовых данных. Так, ему следовало определить, насколько вероятно получить прибыль примерно 5 млн. долл. (экономический минимум целесообразности) в первый год строительных работ.

На рис. 4.9 показаны три вида гистограмм, отвечающих на этот вопрос: пяти-, десяти- и сорока-столбцовая. Чем больше число столбцов, тем более подробно они изображают характер распределения частоты рассмотренных случаев. Так, согласно пяти-столбцовой гистограмме, вероятность получения прибыли 5 млн. долл. равна около 50%, согласно десяти-

столбцовой гистограмме – около 30%, сорока-столбцовой – не более 9%.

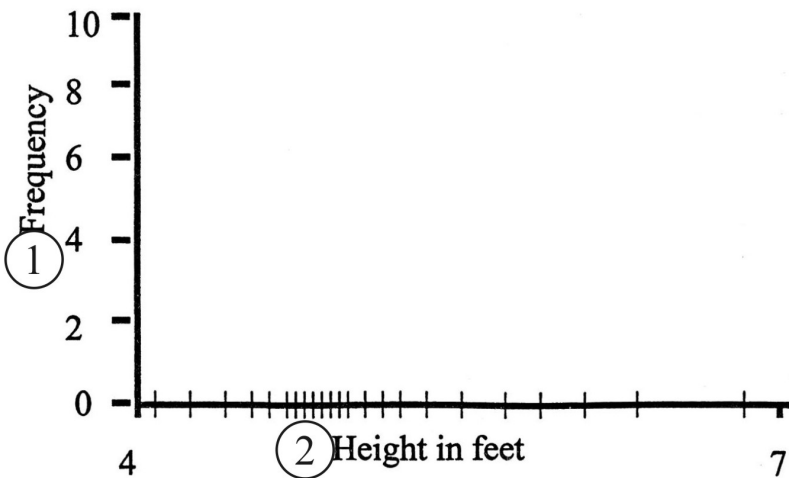


Рис. 4.6. Измеренные значения, расположенные на X-оси
1 – частота; 2 – высота в футах (1 фут = 0,3048 м).

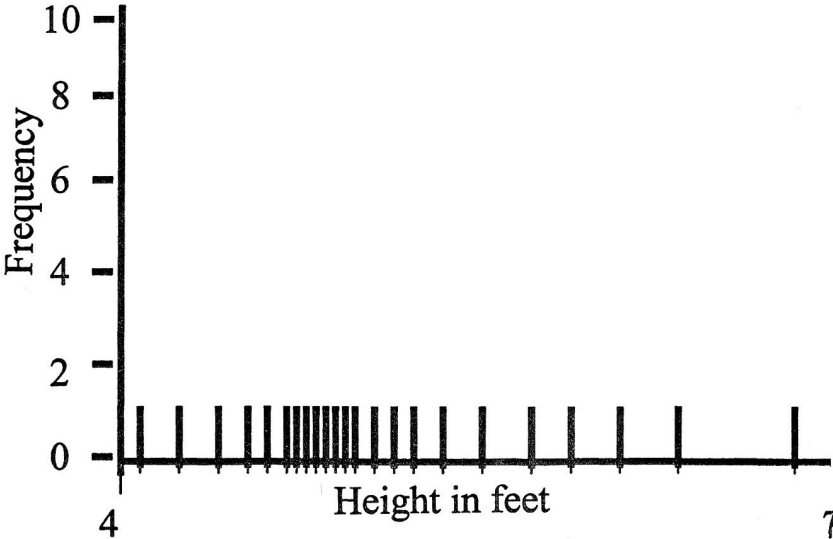


Рис. 4.7. Измеренные значения с высотой столбца (частотой) равной 1, распределенные на X-оси
Обозначения, как на рис. 4.6.

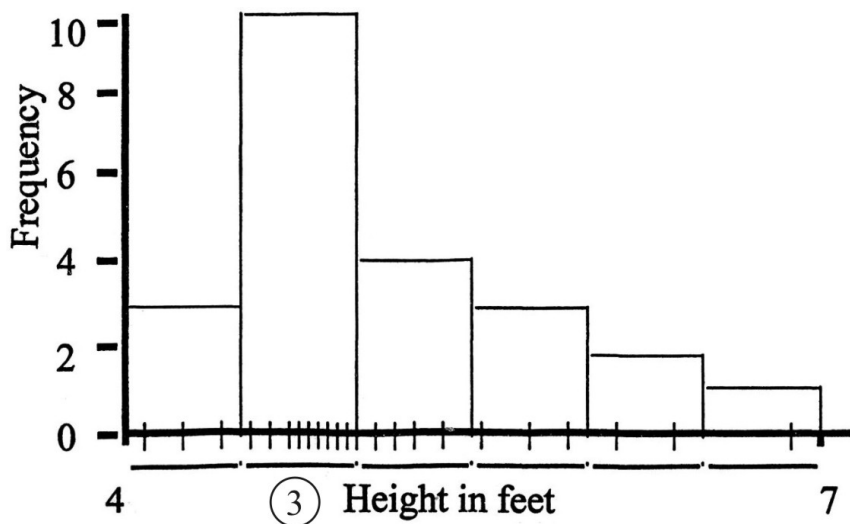


Рис. 4.8. Измеренные значения, распределенные на группы с интервалом высоты заготовок 6 дюймов

Обозначения, как на рис. 4.6. и 4.7., 3 – интервал 6 дюймов

Отсюда следует, что поставленная задача по расчету вероятности получения 5 млн. долл. должна быть более ясно определена. Если, имеется ввиду шанс получения ровно 5 млн. долл., т.е. величины, которой соответствует одна определенная точка на X-оси, то вероятность получения этой прибыли равна единице, разделенной на общее число значений набора данных. Строго говоря, если бы оказалось, что значение точно 5 млн. долл. вообще отсутствует на X-оси, то шансов получить такую прибыль не было бы вообще. Однако, фактически перед инженером ставилась задача определения вероятности получения прибыли не менее 5 млн. долл. без конкретизации уровня точности. Из рис. 4.9 видно, что точность оценки зависит от принятой ширины столбца (интервала) гистограммы.

Возвращаясь к формулировке распределения вероятностей можно сказать, что распределение – разброс данных (точек) вдоль X-оси, как это показано на рис. 4.6. Гистограмма с

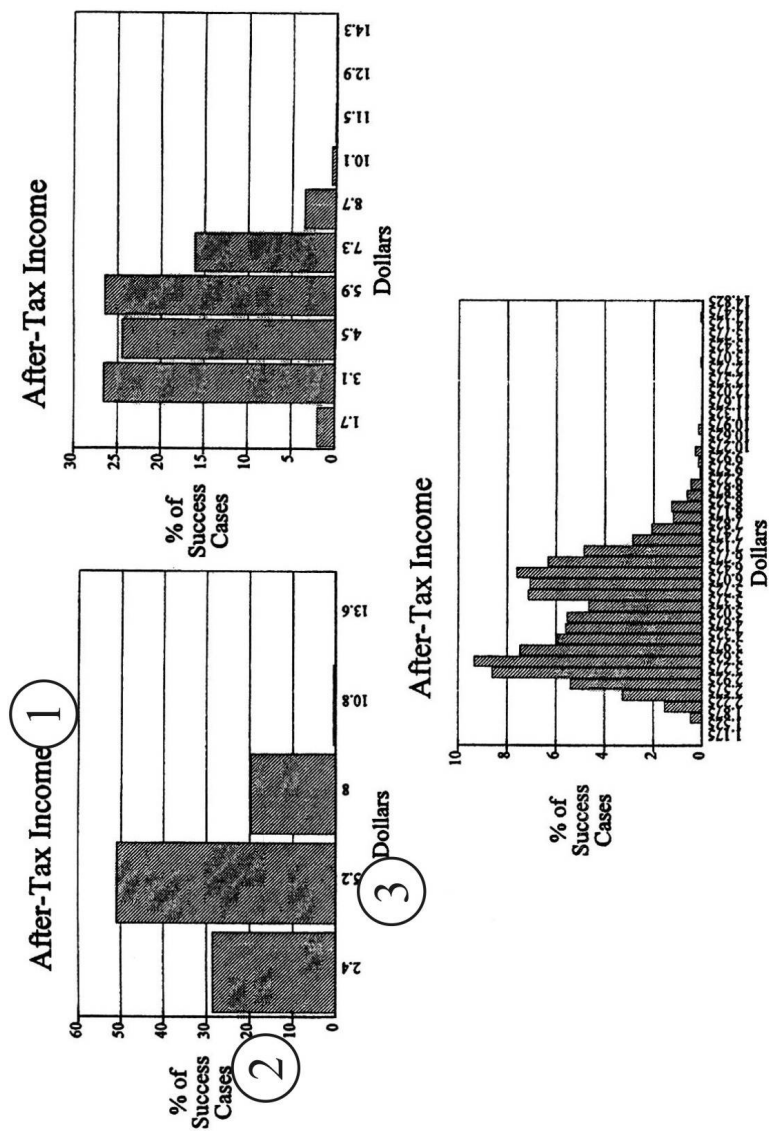


Рис. 4.9. Гистограмма с разным числом столбцов частоты событий получения дохода
 а) 5-столбцовая гистограмма; б) 10-столбцовая гистограмма; в) 40-столбцовая гистограмма.
 1 – доход после вычета налогов; 2 – процент успешных случаев; 3 – доллары.

изображениями столбцов дает представление о вероятности событий, но имеющиеся данные должны быть сопоставимы с пониманием уровня точности.

Например, в случае с изготовлением дверей, где лесоматериалы режутся с 1-футовым интервалом, для руководства предприятия не имеет значения, равна ли средняя высота роста 5 фунтам и 5 дюймам или 5 футам и 7 дюймам. Оно делает простой вывод, что высота дверей должна быть равна, по крайней мере 6 футам. Однако, если бы инженер вместо высоты дверей определял размеры костюма для космонавта, такая точность данных была бы нетерпима.

Столбцы на гистограмме представляют характер распределения вероятностей. Заданная на X-оси ширина столбцов показывает интервал значений переменной, т.е. уровень требуемой точности, высота столбцов на Y-оси – вероятность заданной ширины столбца, т.е. заданного интервала значений.

Далее приводятся некоторые минимальные сведения о видах распределения вероятностей, наиболее часто применяемых при количественной стохастической оценке рисков строительства: прямоугольном, треугольном, нормальном и бета (β)-распределении.

Прямоугольное распределение показано на рис. 4.10. В отличие от нормального (или логнормального – см. далее) распределения, прямоугольное распределение не имеет концентраций по X-оси. Таким образом, значения этой оси распределены равномерно, определяя равную высоту столбцов гистограммы и отсутствие наиболее вероятного значения.

В прямоугольном распределении все значения параметра между минимумом и максимумом имеют одинаковую вероятность появления. Например, если отсутствует информация о существующей инфраструктуре на строительной площадке, то имеется равная вероятность любых связей строящихся объектов с имеющимися инженерными сетями.

Польза прямоугольного распределения очевидна, когда аналитик не знает, какая из возможностей наиболее вероятна.

Например, в данном географическом регионе продаж, районный менеджер хочет открыть новый магазин, зная, что этот товар продается здесь по условиям рынка минимум по 5 долл. за единицу в экономически депрессивной части региона и максимум по 9 долл. в благополучной части, в аэропортах и отелях. Для нового магазина в развивающейся части региона нет исторических данных, которые позволяют установить реальную цену, но менеджер понимает, что она будет находиться в интервале 5-9 долл. Поскольку неизвестно, какова будет наиболее вероятная цена, в модели оценки риска она может быть представлена прямоугольным распределением.

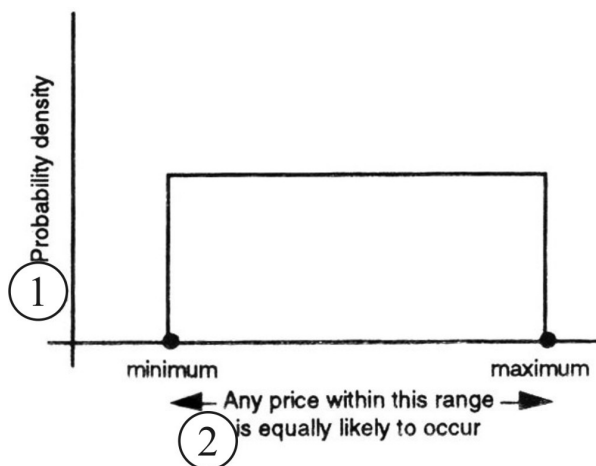


Рис. 4.10. Диаграмма прямоугольного распределения вероятностей

1 – плотность распределения; 2 – любая цена в пределах этого интервала имеет равную вероятность появления.

Треугольное распределение (рис. 4.11) весьма распространено в моделях оценки риска не потому, что оно лучше представляет оцениваемые данные, а потому, что оно легко встраивается в большинство пакетов программного обеспечения, например, в моделях Монте-Карло (см. подробнее раздел

4.3.3), для чего достаточно знание только минимального, наиболее вероятного и максимального значений переменной величины.

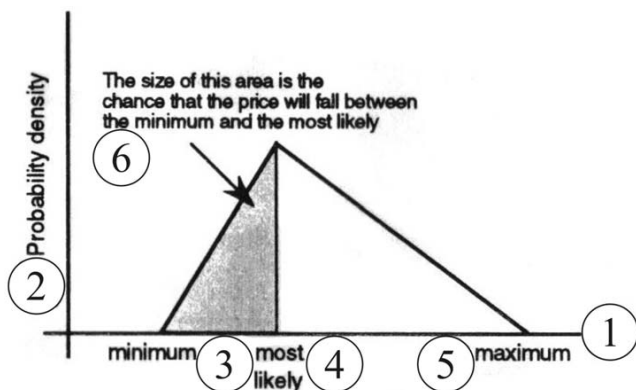


Рис. 4.11. Диаграмма треугольного распределения вероятностей

1 – стоимость; 2 – вероятность; 3 – минимальная стоимость; 4 – наиболее вероятная стоимость; 5 – максимальная стоимость; 6 – размер этой площадки – шанс, что стоимость будет располагаться между минимальным и наиболее вероятным значениями.

Нормальное распределение – наиболее важный вид распределения в теории вероятности. Оно имеет форму колокола, который расширяется вниз и в стороны, но никогда не касается горизонтальной шкалы (рис. 4.12). Это распределение может использоваться, когда имеется хороший уровень уверенности в наиболее вероятном значении переменной. Распределение использует два параметра – среднее значение μ и стандартное отклонение σ . Значения здесь распределяются симметрично по отношению к среднему и дают представление о варьировемости данных.

Рис. 4.12 показывает нормальное распределение с одним и тем же средним значением, но различными стандартными отклонениями. Более заостренное распределение имеет меньшее стандартное отклонение, что говорит о большей

плотности результатов в районе среднего значения, т.е. их близости к среднему значению.

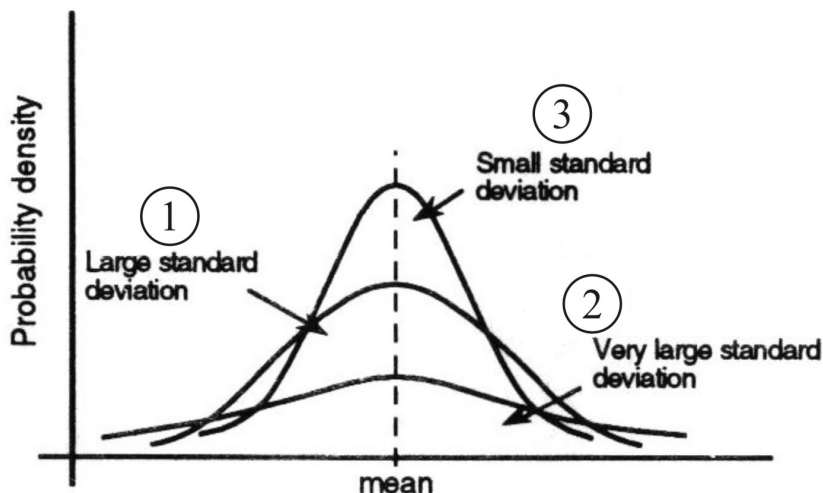


Рис. 4.12. Диаграмма нормального распределения вероятностей
1 – большое стандартное отклонение; 2 – очень большое стандартное отклонение; 3 – малое стандартное отклонение.

Таблицы параметров нормальных распределений легко доступны и из них можно определить так называемые доверительные интервалы, например, интервал $\mu \pm \sigma$ представляет доверительный интервал 68%. Это означает, что 68% всех измеренных единиц отклоняется от среднего значения μ не более, чем на величину стандартного отклонения σ .

На рис. 4.12 показаны разные виды кривой нормального распределения, общей особенностью которых является симметричность формы. Такую же форму имеет гистограмма рис.4.13. Однако, превалирующим в практике применения является несимметричное распределение. Оно определяется, как имеющее концентрацию значений не в центре гистограммы, но смещенную вправо или влево (рис. 4.14, 4.15) и описывается так называемой логарифмической (логнормальной)

функцией, т.е. такой, в которой случайные значения X -оси заменяются значениями $\ln x$.

Бета (β)-распределение – математическая функция, предполагающая разнообразие форм, зависящее от параметров p и q (рис. 4.16). Варьируя эти параметры, эксперты получают множество различных симметричных и асимметричных кривых. Бета-распределение, в частности, широко используется в моделях PERT (см. далее).

Кроме гистограмм и графиков функций, важным наглядным представлением вероятностного анализа служит так называемая кумулятивная (накопительная) кривая (кривая сумм) – ломаная, составленная по последовательно суммированным, т.е. накопленным частотам. При построении кумулятивной кривой дискретного признака на X -ось наносятся значения признака, на Y -ось – нарастающие итоги частот.

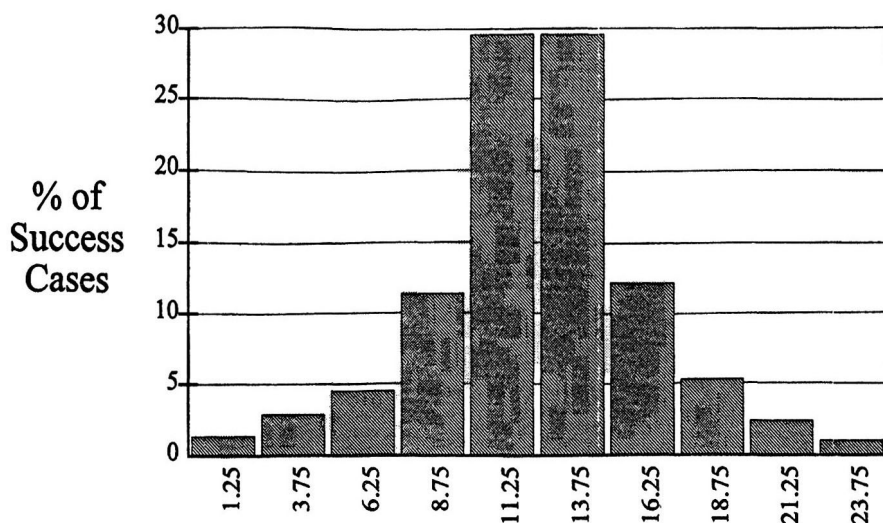


Рис. 4.13. Гистограмма нормального (симметричного) распределения

Преобразование в кумулятивную кривую данных гистограммы, характеризующей, к примеру, прибыль предприятия,

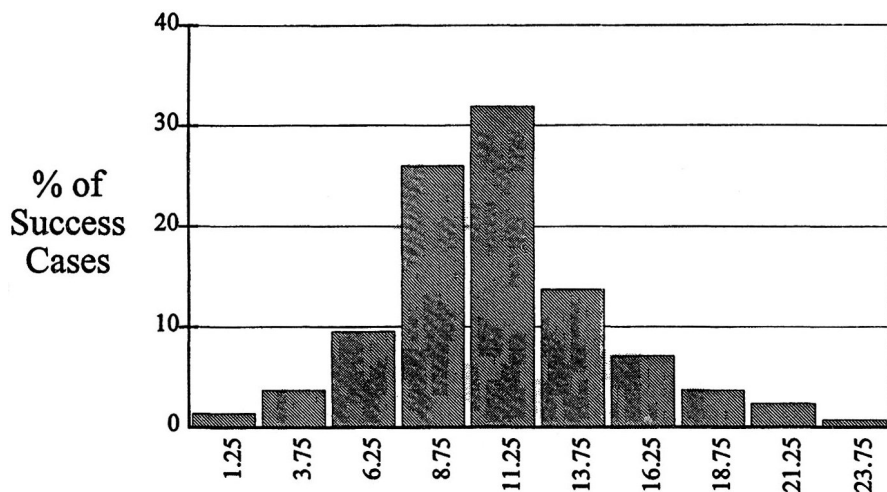


Рис. 4.14. Смещенная вправо гистограмма распределения

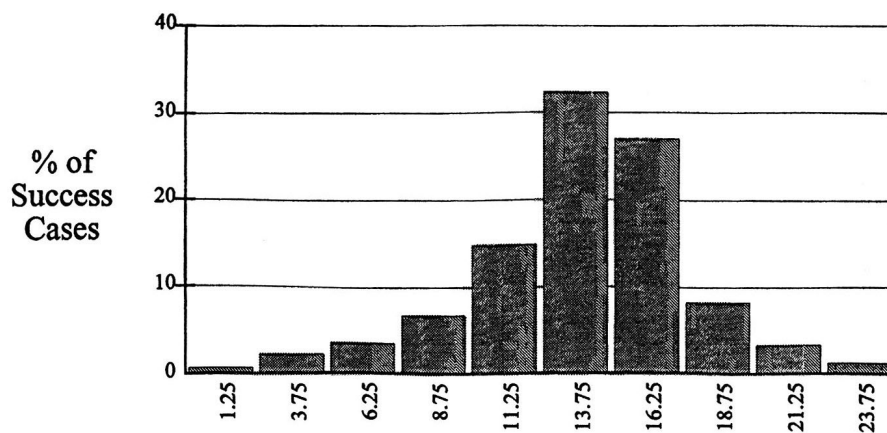


Рис. 4.15. Смещенная влево гистограмма распределения

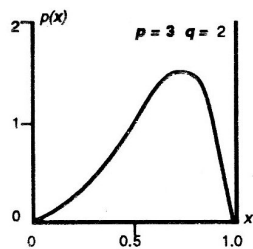
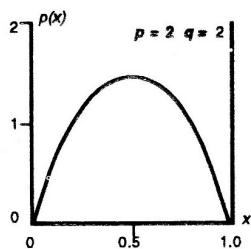
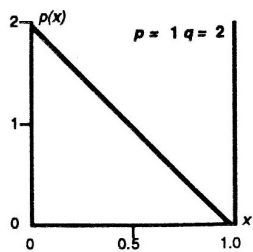
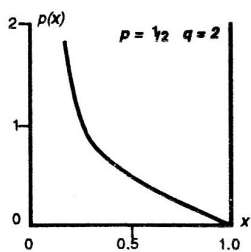
может быть концептуально показано, как «складирование» столбцов гистограммы. Рис. 4.17 изображает четырех-столбцовую гистограмму частоты. На рис. 4.18 те же четыре столбца «сложены» справа налево. На рис. 4.19 в вершину

каждого столбца включены точки, соединенные в линию. На рис. 4.20 столбцы удалены, оставлена только кумулятивная кривая частоты. В компьютере, конечно, не строятся гистограммы столбцов, а программное обеспечение осуществляет построение кумулятивных кривых непосредственно при анализе задач, в которых участвуют эти кривые.

На рис. 4.21 показана гистограмма для 8 значений прибыли, полученных при моделировании и рассортированных, начиная от наименьшего значения слева до наибольшего значения справа. При преобразовании этих данных в кумулятивную кривую на Y-оси откладываются равные интервалы вероятности. Затем справа отмечается наибольшее значение прибыли с ее вероятностью. Следующая точка кривой справа является суммарной вероятностью двух наибольших значений прибыли, а третья справа точка кривой – суммарной вероятностью трех наибольших значений прибыли. Затем процесс построения кривой продолжается таким же образом, результатом чего является построение кумулятивной (накопительной) кривой (рис. 4.22, 4.23). Из рис. 4.24 видно, что имеется около 45% шансов получения прибыли «по крайней мере» около 570 долл. или больше.

На рис. 4.24 частоты кумулятивной кривой собраны к ее правой стороне, образуя Z-образную кривую. Если они собраны к левой стороне как на рис. 4.25, образуется S-образная кривая, давая схожую информацию. Существует, однако, небольшая разница в интерпретации этих двух кривых. Пунктирная линия на каждой гистограмме рис. 4.24 и 4.25 соединяет значения прибыли с вероятностью. Такая линия на рис. 4.24 означает, что существует 45% вероятности получения прибыли около 570 долл. или больше. Иначе говоря, имеется 45% шансов получения по крайней мере прибыли 570 долл. На рис. 4.25 пунктирная линия показывает, что существует 65% шансов получения прибыли до примерно 400 долларов (включая 0). Иначе говоря, имеется 65% шансов получения 400 долларов или меньше.

а)



б)

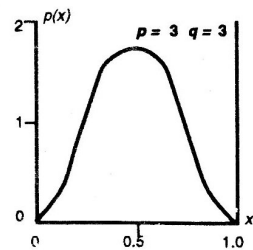
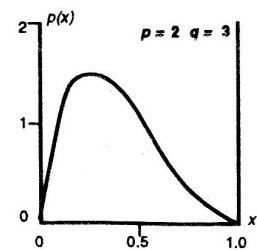
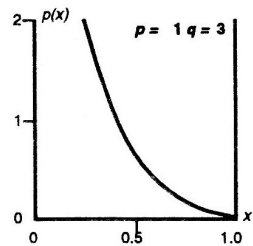
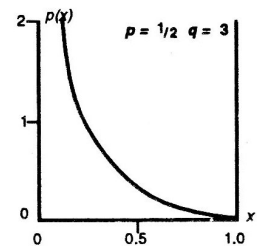
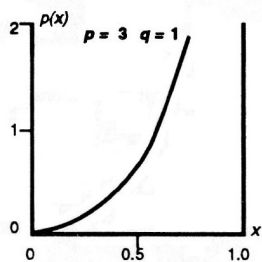
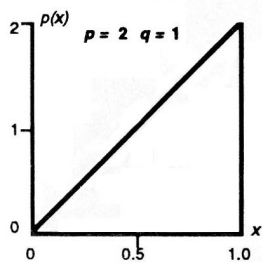
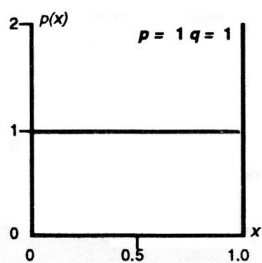
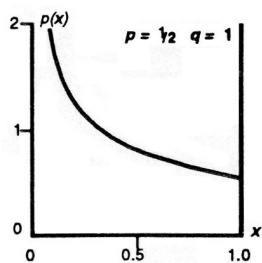


Рис. 4.16. Диаграмма бета (β) распределения

В)



Г)

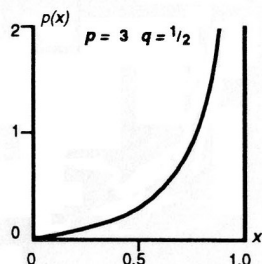
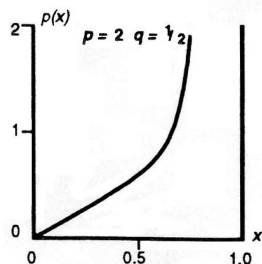
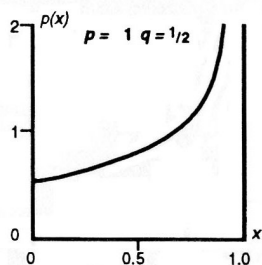
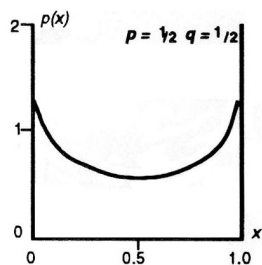


Рис. 4.16. Диаграмма бета (β) распределения (окончание)

Объяснения к рис. 4.16:

- а) при значениях P = от 1/2 до 3, $q = 2$;
- б) при значениях P = от 1/2 до 3, $q = 3$;
- в) при значениях P = от 1/2 до 3, $q = 1$;
- г) при значениях P = от 1/2 до 3, $q = 1/2$.

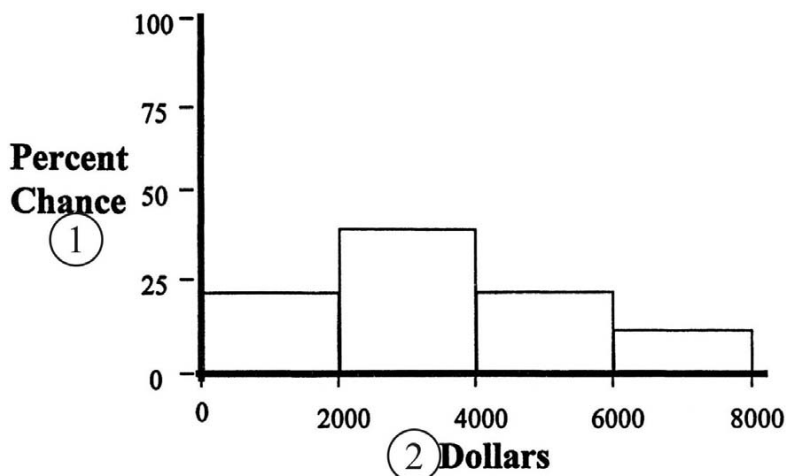


Рис. 4.17. Четырехстолбцовая гистограмма частоты
1 – процент шансов; 2 – доллары.

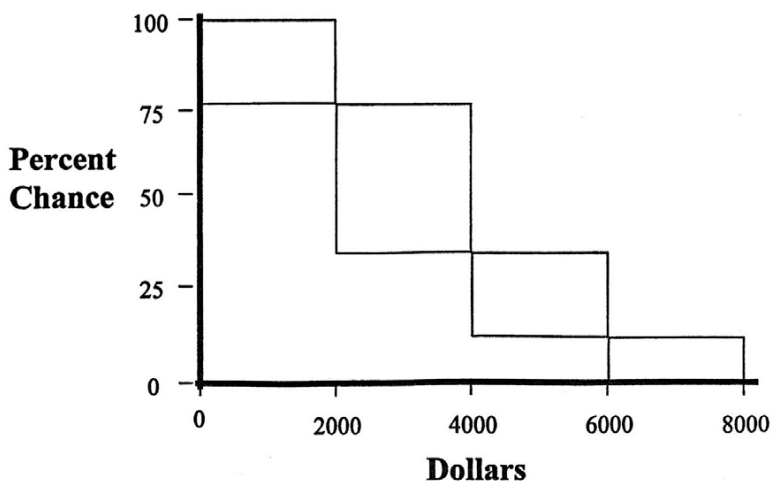


Рис. 4.18. «Сложенные» столбцы четырехстолбцовой гистограммы

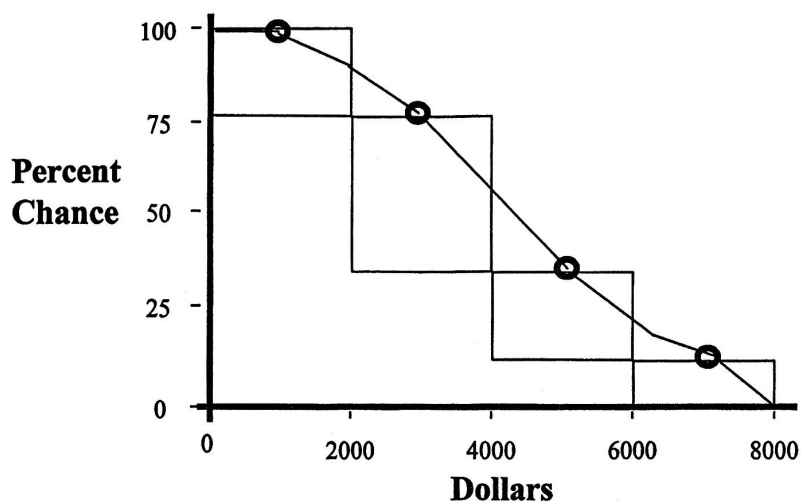


Рис. 4.19. Преобразование четырехстолбцовой гистограммы в кумулятивную кривую распределения

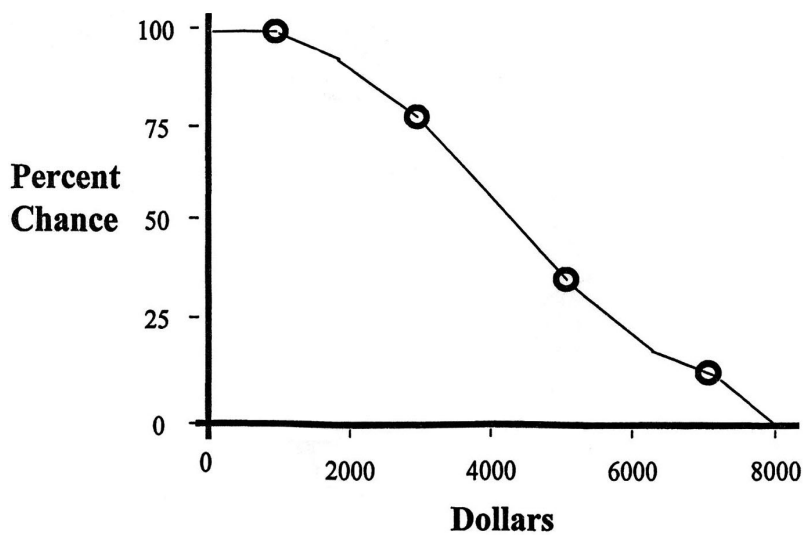


Рис. 4.20. Кумулятивная кривая распределения вероятностей

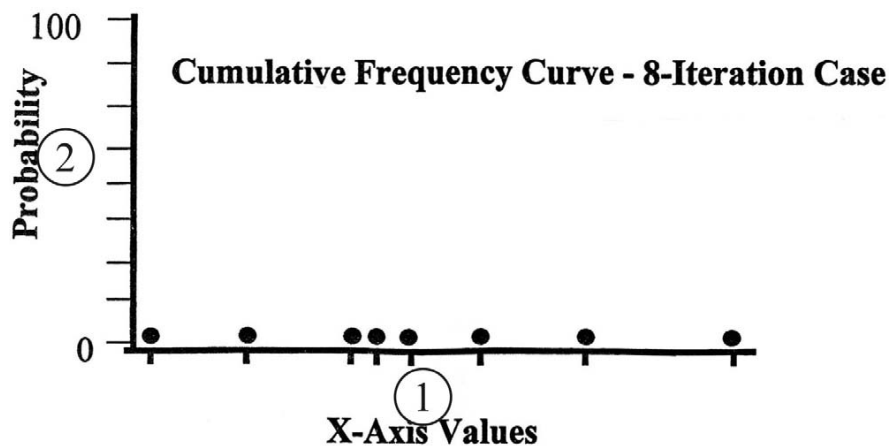


Рис. 4.21. Результаты 1-го этапа 8-итерационного анализа Монте-Карло (построение кумулятивной кривой)
 1 – значения на X-оси; 2 – вероятности.

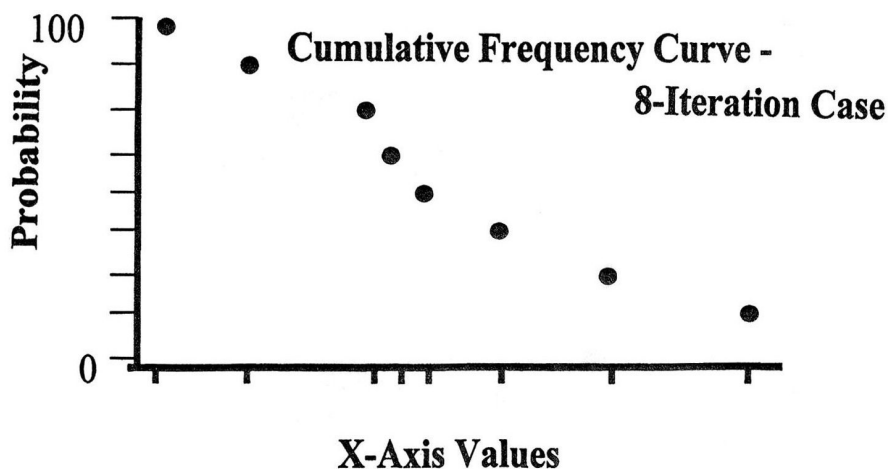


Рис. 4.22. Результаты 2-го этапа 8-итерационного анализа Монте-Карло (построение кумулятивной кривой)
 Обозначения, как на рис. 4.21.

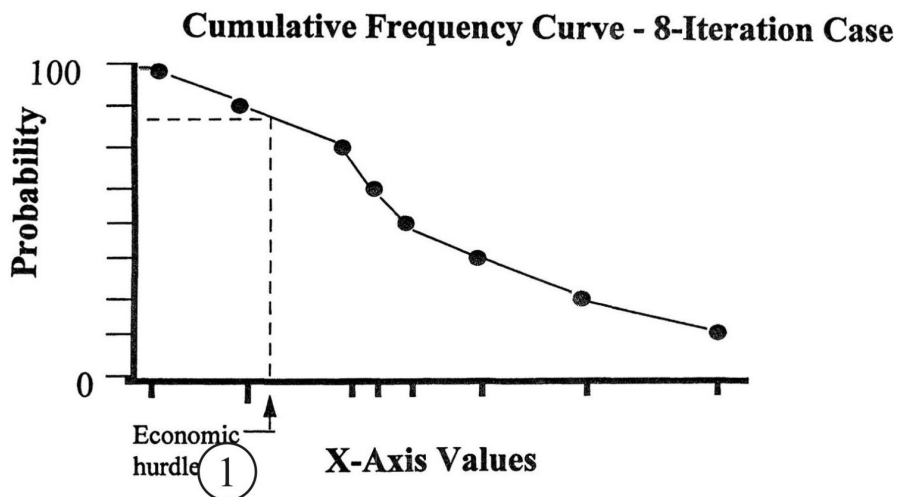


Рис. 4.23. Результаты 3-го этапа 8-итерационного анализа Монте-Карло (построение кумулятивной кривой)
1 – экономический барьер.

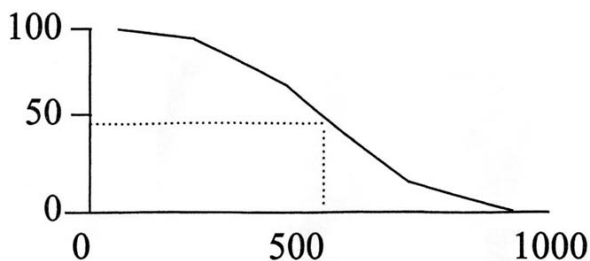


Рис. 4.24. Z-образная кумулятивная кривая вероятности

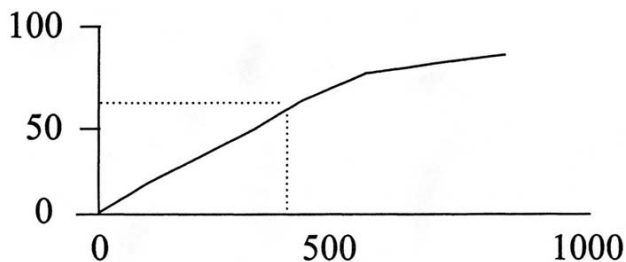


Рис. 4.25. S-образная кумулятивная кривая вероятности

Персонал, работающий в ситуациях, где лучше то, что больше, предпочитает Z-образную гистограмму. Например, инженер-нефтяник, ответственный за добычу нефти из скважины, хочет знать, может ли она дать X тонн нефти или больше (т.е., по крайней мере, X тонн) и предпочитает Z-образную кумулятивную кривую. С другой стороны, сметчику важно знать, что проект имеет шанс Y% стоимости до X долларов и поэтому использует S-образную кумулятивную кривую.

В большинстве случаев, однако, в вероятностных расчетах рисков предпочтительной является Z-образная форма кривой.

в) система PERT вероятностного анализа рисков

Одним из наиболее распространенных способов количественного вероятностного анализа рисков является разработанная в армии США в конце 1950-х гг. методология PERT – «Program Evaluation and Review Technique» («Программа оценки и технология анализа»).

Принципиальной причиной для появления PERT была необходимость количественной оценки рисков больших проектов, в частности ракет Polaris и проектов космического агентства NASA, включая лунную программу Apollo и другие правительственные заказы. Мотивацией применения специальной программы оценки рисков был рост нарушений графиков исполнения проектов и перерасходов их стоимости с увеличением объемов и сложности работ.

Ранние формы PERT использовали трехточечные оценки каждой операции: оптимистическую, наиболее вероятную и пессимистическую. Три оценки используются для того, чтобы определить ожидаемое значение рассматриваемого критерия проекта (например, продолжительности его реализации):

$$t_e = \frac{t_o + 40 \cdot t_m + t_p}{6},$$

где t_e – ожидаемое значение;

t_o – оптимистическая оценка (лучший случай);

t_m – наиболее вероятная оценка (пиковое значение распределения);

t_p – пессимистическая оценка (худший случай).

В дополнение к ожидаемой оценке рассматриваемого критерия в PERT используется также значение уровня риска достижения этой оценки, которое представляется в виде стандартного отклонения определяемого параметра:

$$S_d = \frac{(t_p + t_o)}{6},$$

Система PERT имеет принципиальное методическое значение, но на практике не всегда может быть использована, поскольку требует большого времени, усилий и качественных исходных данных, из-за чего стоимость анализа может превышать ценность результатов.

Далее приводятся методические примеры применения системы PERT к количественной оценке вероятности выполнения проекта, т.е. рисков, воздействующих на его основные цели.

Предположим, что вариантная проработка проекта привела к некоторому набору статистических данных. Казалось бы, для оценки этого набора удобно использовать лишь одно его значение (такое, как среднее), однако, этот подход может легко привести к неправильным выводам, поскольку одна величина не отражает разброса значений данных. Например, в наборе данных

1, 1, 1, 1, 9, 9, 9, 9

среднее значение равно 5, но в самом наборе нет ни одного элемента со значением 5. Зная степень близости каждого элемента набора к его среднему значению, или так называемую дисперсию значений, можно лучше интерпретировать среднее

значение. Степень изменения значений набора данных определяется путем вычисления их дисперсии и стандартного отклонения, которое рассчитывается, как квадратный корень из дисперсии. Эти два параметра характеризуют среднее отклонение от среднего значения набора данных. Наиболее важное значение из них имеет стандартное отклонение, которое можно представить, как среднее расстояние элементов от среднего элемента набора.

Порядок определения дисперсии и стандартного отклонения понятен из следующего примера.

Для набора статистических данных:

11, 20, 40, 30, 99, 30, 50

рассчитаны следующие значения (табл. 4.17).

Таблица 4.17 – Расчет характеристик набора статистических данных

	Данные	Отклонение от среднего значения	Квадрат отклонения
	11	-29	841
	20	-20	400
	40	0	0
	30	-10	100
	99	59	3481
	30	-10	100
	50	10	100
Сумма	280		
Среднее	40	0	717,43

Здесь среднее значение квадратов разностей (отклонений) равно 717,43. Квадратный корень из этого числа равный 26,78 является стандартным отклонением.

Рассмотрим простейший случай проекта, состоящего из 5 событий и 6 операций, последовательно выполняемых согласно сети, изображенной на рис. 4.26. Цифрами показана

продолжительность операций в неделях. Структурная схема проекта показана на рис. 4.27.

В табл. 4.18 приведены данные о параметрах рассматриваемого проекта, а также ожидаемая продолжительность выполнения операций и соответствующие стандартные отклонения.

В сети рис. 4.26 показано самое раннее и самое позднее время начала операций. Самое раннее – время, раньше которого операция не может начаться и ожидает, пока не закончится предыдущая операция.

В сети рис. 4.26 событие 4 может произойти, когда операции A(1-2), B(1-3), C(2-3-4), и D(3-4) завершены или пути (1-2-3-4) и (1-3-4) пройдены. Время необходимое для осуществления этих двух путей равно соответственно 23 и 20 неделям. В сети рис. 4.26 путь (1-2-3-4) имеет самую большую продолжительность (23 недели). Это время является самым ранним для операции F, т.е. для того, чтобы эту операцию начать, нужно ожидать 23 недели. Самое раннее время показано в левой нижней части кружочков рисунка.

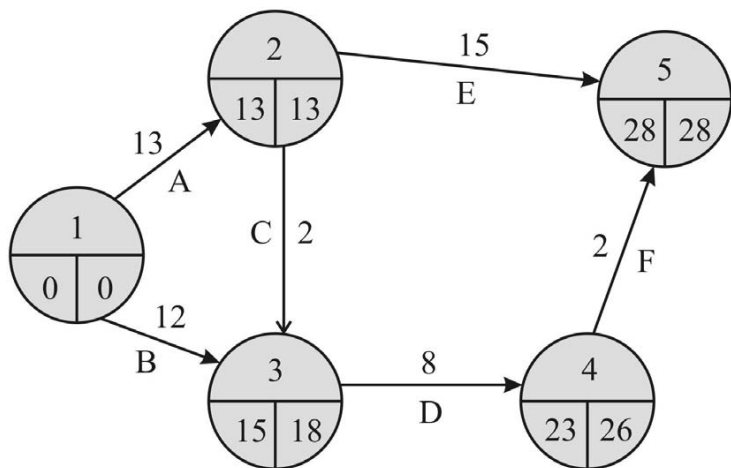


Рис. 4.26. Пример сетевого планирования строительного проекта

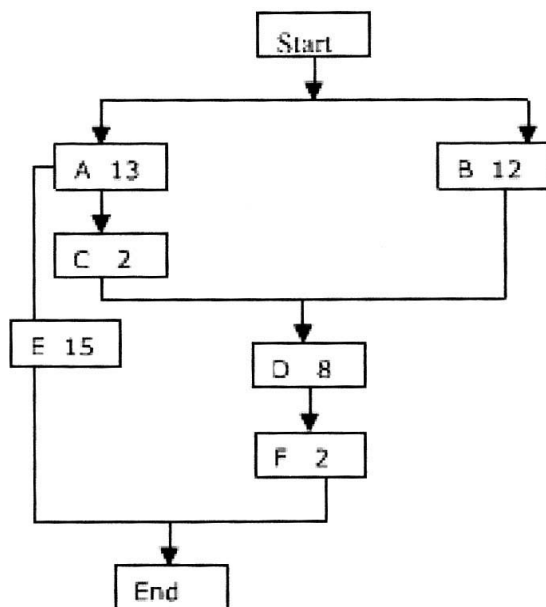


Рис. 4.27. Структурная схема планирования строительного проекта сетевого плана рис. 4.26

Таблица 4.18 – Параметры рассматриваемого проекта

События	Предшествующие события	Параметры проекта				
		t_o	t_m	t_p	t_e	S_d
A		9	12	21	13	2
B		6	12	18	12	2
C	A	2	4	6	2	0,67
D	B, C	4	8,5	10	8	1
E	A	6	8	10	15	0,67
F	D	1	2	3	2	0,33

Самое позднее – время, позднее которого операция не может быть отложена. Для последнего события самое раннее и самое позднее время равны. Самое позднее время рассчитывается для событий от конца к началу проекта и оно показано в правой нижней части кружочков рис. 4.26.

Разница между самым поздним и самым ранним началом работ называется «плаванием» (float) (резервом времени) и для событий 2, 3, 4 показана в табл. 4.19.

Таблица 4.19 – «Плавание» (резерв времени) событий 2, 3, 4

Событие	Самое позднее время, нед.	Самое раннее время, нед.	Резерв времени, нед.
4	26	23	3
3	18	15	3
2	13	13	0

Рис. 4.26 показывает, что операция Е должна начаться сразу после завершения события 2, поскольку, даже, если начало операций D и F будет отложено (например, из-за нехватки ресурсов), именно длительность операции Е определяет общую продолжительность проекта.

Путь с наибольшей суммарной длительностью операций называется критическим. Например, на рис. 4.26 возможные пути осуществления проекта составляют:

- 1-2-5 – 28 недель,
- 1-2-3-4-5 – 25 недель,
- 1-3-4-5 – 22 недели.

Таким образом, путь 1-2-5 имеет наибольшую суммарную продолжительность и является критическим, жизненно важным для успешного контроля проекта. На этом пути нет резерва времени ни в одном событии и поэтому любая задержка приводит к изменению продолжительности проекта, если она не компенсируется ускорением какой-либо другой операции критического пути.

Методика PERT позволяет рассчитать вероятность успешного завершения проекта, используя стандартные отклонения продолжительности каждой операции критического пути, показанного на рис. 4.26, 4.27 и в табл. 4.18. На этом пути находятся операции А и Е, имеющие общую продолжитель-

ность 28 недель. Их стандартные отклонения составляют соответственно 2 и 0,67, квадратный корень из суммы их квадратов – 2,1.

Теперь можно определить вероятность успешного выполнения проекта (Z) при его разных назначенных сроках. Для этого вначале определяется значение:

$$Z = \frac{(d - m)}{S_d},$$

где d – назначенный срок;

m – продолжительность критического пути;

S_d – суммарное стандартное отклонение от среднего значения продолжительности критического пути, которое определяется, как квадратный корень из суммы квадратов стандартных отклонений продолжительности операций А и Е:

$$S_d(A + E) = \sqrt{S_d^2(A) + S_d^2(E)}.$$

Значение соответствующих вероятностей определяется по рис. 4.28 и 4.29. Результаты расчетов сведены в табл. 4.20.

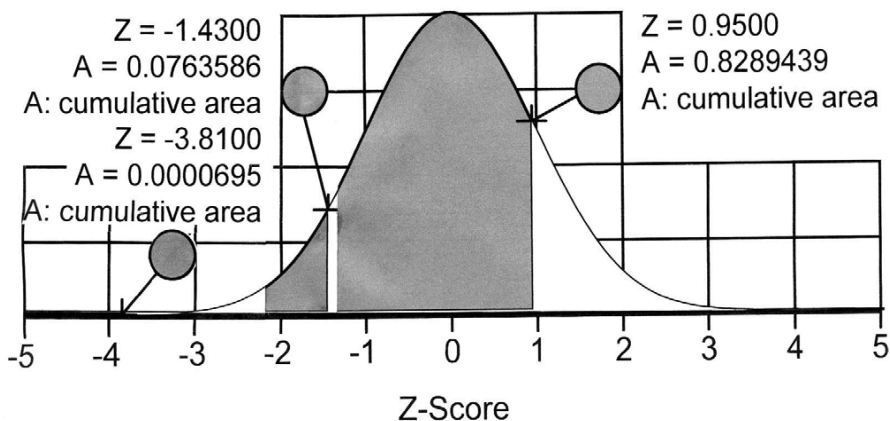


Рис. 4.28. График и значения функции нормального распределения

Таблица 4.20 – Вероятность выполнения проекта в разные назначенные сроки

Назначенные сроки, нед.	Расчет значения Z	Вероятность выполнения проекта
20	$\frac{(20 - 28)}{2,1} = -3,81$	0,00007
25	$\frac{(25 - 28)}{2,1} = -1,43$	0,076
30	$\frac{(30 - 28)}{2,1} = -0,95$	0,83

Как видно из табл. 4.20 проект может быть завершен за 30 дней с высокой степенью вероятности 0,83. С другой стороны, закончить работы за 20 дней практически невозможно.

Z	P _R	Z	P _R	Z	P _R	Z	P _R
-3	.0013	-1.5	.0668	.0	.5000	1.5	.9332
-2.9	.0019	-1.4	.0808	.1	.5398	1.6	.9452
-2.8	.0026	-1.3	.0968	.2	.5793	1.7	.9554
-2.7	.0035	-1.2	.1151	.3	.6179	1.8	.9641
-2.6	.0047	-1.1	.1357	.4	.6554	1.9	.9713
-2.5	.0062	-1.0	.1587	.5	.6915	2.0	.9772
-2.4	.0082	- .9	.1841	.6	.7257	2.1	.9821
-2.3	.0107	- .8	.2119	.7	.7580	2.2	.9861
-2.2	.0139	- .7	.2420	.8	.7881	2.3	.9893
-2.1	.0179	- .6	.2743	.9	.8159	2.4	.9918
-2.0	.0228	- .5	.3085	1.0	.8413	2.5	.9938
-1.9	.0287	- .4	.3446	1.1	.8643	2.6	.9953
-1.8	.0359	- .3	.3821	1.2	.8849	2.7	.9965
-1.7	.0446	- .2	.4207	1.3	.9032	2.8	.9974
-1.6	.0548	- .1	.4606	1.4	.9192	2.9	.9981

Рис. 4.29. Таблица значений функции нормального распределения

Еще один, более сложный, пример применения вероятностной оценки продолжительности проекта рассмотрен далее для случая строительства региональной сельскохозяйственной станции.

В табл. 4.21 приведены параметры операций, выполняемых в ходе строительства. На рис. 4.30 показана сеть последовательности этих операций, а на рис. 4.31 – структурная схема.

Критический путь проекта состоит из операций А-В-С-D-E-F-L и равен 73 неделям. Сумма квадратов стандартных отклонений продолжительности этих операций составит:

$$0,83^2 + 1,0^2 + 1,5^2 + 1,2^2 + 1,0^2 + 1,7^2 + 1,0^2 = 10,27.$$

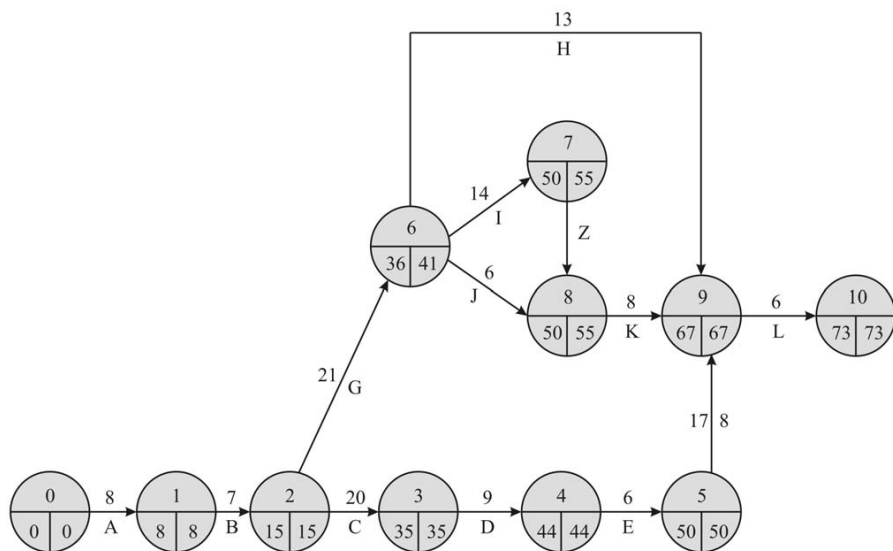


Рис. 4.30. Сетевой график строительства региональной сельскохозяйственной станции

Квадратный корень из этой суммы равен 3,2.

В табл. 4.22 приведен расчет вероятности выполнения проекта при разных назначенных сроках. Из таблицы видно,

что с большей вероятностью проект может быть завершен за 75 дней, тогда как срок 60 дней является нереальным.

Таблица 4.21 – Параметры рассматриваемого проекта

№№ п/п	Названия операций	Сим- вол опе- рации	Пред- шест- вующие опера- ции	Параметры проекта				
				t_0	t_m	t_p	t_e	S_d
1	Изучение площадки	A		6	8	11	8	0,23
2	Подготовка плана	B	A	4	7	10	7	1,0
3	Взрывание пород	C	B	15	20	24	20	1,5
4	Планировка площадки	D	C	5	9	12	9	1,2
5	Экспкация дренажно- го канала	E	D	4	6	10	6	1,0
6	Крепление дренажного канала	F	E	12	16	22	17	1,7
7	Экспкация колодцев	G	B	15	20	30	21	2,5
8	Укладка ирригацион- ных линий	H	G	10	12	18	13	1,33
9	Строительство насос- ной	I	G	8	14	21	14	2,16
10	Поставка насосов	J	G	4	6	8	6	0,67
11	Установка насосов	K	I, J	5	7	12	18	1,16
12	Окончание работы	L	F, H, K	4	6	10	6	1,0

Дополнительный риск выполнения проекта в назначенный срок возникает, когда график составляется из весьма значительного числа последовательно выполняемых работ. Эффективным средством для минимизации такого риска становится разбивка длинного сложного проекта на серии гораздо более коротких комплексов – очереди строительства.

Рассмотрим еще один пример вероятностного подхода к планированию строительного проекта. На рис. 4.32 его продолжительность определена единичной оценкой, а критический путь, состоящий из операции B-E-G, составляет 30 дней. При

трех оценках продолжительности операций, основанных на системе PERT – оптимистической, наиболее вероятной и пессимистической – сетевой график строительства показан на рис. 4.33. Здесь критический путь также состоит из операций В-Е-Г, но их ожидаемая продолжительность оценена тремя возможными оценками, что говорит о неопределенности поставленных условий.

Таблица 4.22 – Вероятность выполнения проекта в разные назначенные сроки

Назначенные сроки, нед.	Расчет значения Z	Вероятность выполнения проекта
60	$\frac{(60 - 73)}{3,2} = -4,06$	0,000025
65	$\frac{(65 - 73)}{3,2} = -2,5$	0,0062
70	$\frac{(70 - 73)}{3,2} = -0,94$	0,074
75	$\frac{(75 - 73)}{3,2} = 0,625$	0,73
80	$\frac{(80 - 73)}{3,2} = 2,19$	0,986

Стандартные отклонения продолжительности каждой операции можно рассчитать по методике, изложенной ранее.

Так, для операций В-Е-Г они равны:

$$\frac{t_p - t_n}{6} = \frac{11 - 9}{6} = 0,33.$$

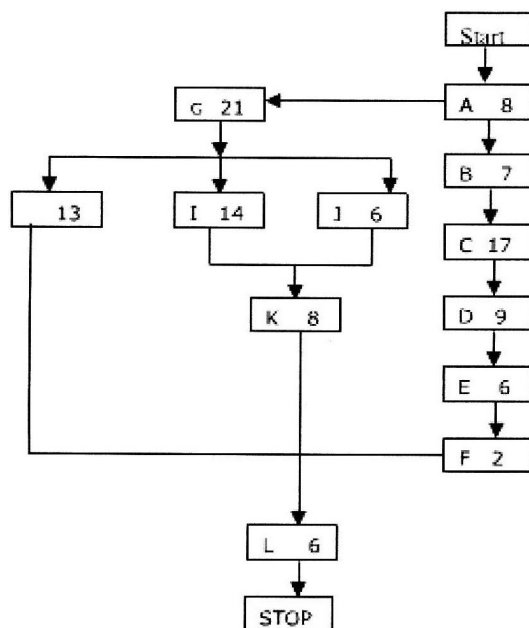


Рис. 4.31. Структурная схема планирования строительного проекта сетевого плана рис. 4.30

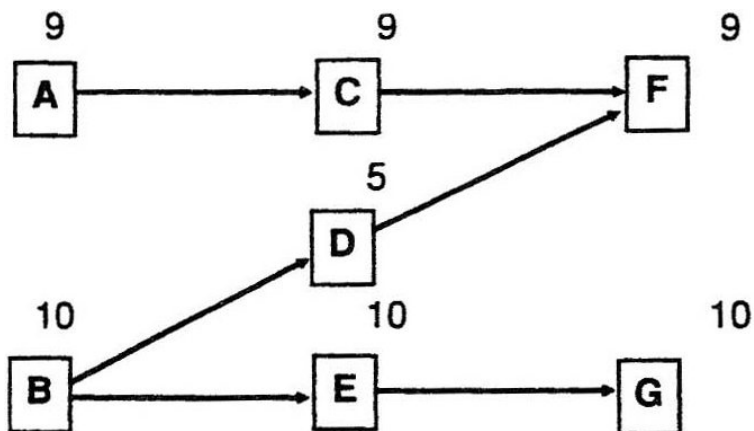


Рис. 4.32. Пример планирования строительного проекта с единичными оценками продолжительности операций

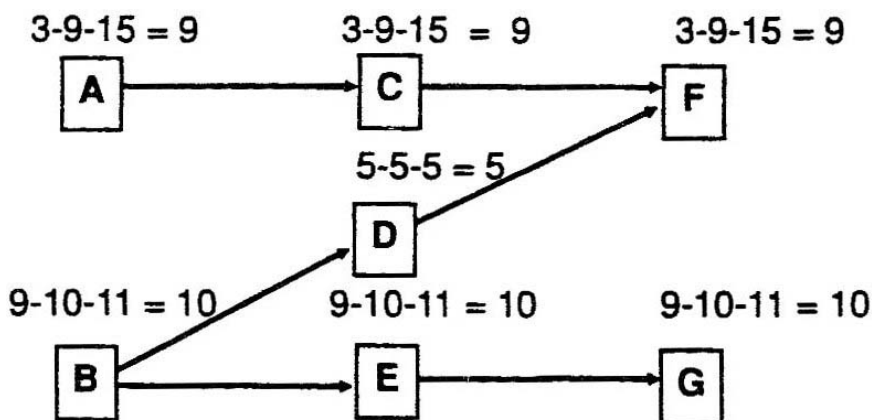


Рис. 4.33. Планирование проекта рис. 4.32 с вероятностными оценками продолжительности операций

Суммарное стандартное отклонение критического пути будет равно квадратному корню из суммы квадратов отклонений продолжительности составляющих его операций ($0,33^2 = 0,111$):

$$0,111 + 0,111 + 0,111 = 0,333.$$

Квадратный корень из этой суммы равен 0,577 дней, что и является суммарным стандартным отклонением критического пути.

Согласно теории математической статистики, 95% точек нормального распределения находится в интервале $\pm 1,96$ стандартного отклонения. Это означает, что с вероятностью 95% проект будет выполнен с отклонением:

$$1,96 \times 0,577 = 1,13 \text{ дня},$$

т.е. в интервале между $(30 - 1,13) = 28,87$ дня и $(30 + 1,13) = 31,13$ дня.

Если поставлена цель завершить проект за 31 день, определим вероятность осуществления такого решения. Как уже говорилось ранее, для этого необходимо определить значение:

$$Z = \frac{31 - 30}{0,577} = 1,733.$$

Из рис. 4.29 видно, что этому значению соответствуют величина вероятности 96%.

Второй по продолжительности путь А-С-Е составляет 27 дней. Однако, он состоит из операций, имеющих большую неопределенность, чем путь В-Е-Г. Здесь каждая из них имеет стандартное отклонение:

$$\frac{15 - 3}{6} = 2.$$

Тогда суммарное стандартное отклонение пути составит:

$$\sqrt{2^2 + 2^2 + 2^2} = 3,46 \text{ дней.}$$

Таким образом, с вероятностью 95% этот путь будет выполнен с отклонением:

$$1,96 \times 3,46 = 6,78 \text{ дней,}$$

т.е. в интервале между $(27 - 6,78) = 20,22$ дня и $(27 + 6,78) = 33,78$ дня. Определим значение:

$$Z = \frac{31 - 27}{3,46} = 1,156.$$

Этому числу соответствует вероятность завершения проекта за 31 день равная 88%. Таким образом путь В-Е-Г может вызвать задержки общего установленного срока с большей потенциальной опасностью, чем критический путь и поэтому обладает большей степенью риска.

Вероятностные методы могут быть применены и к решению других задач строительных проектов.

Предположим, что стоимость проекта, пример которого описан выше, со сроком строительства 31 день составляет 90000 долларов. За нарушение этого срока заказчик установил наказание равное 50000 долл. Определим, значителен ли риск такого нарушения.

Проведенные ранее расчеты показали, что наиболее рискованный путь проекта имеет 88% вероятности завершить проект за 31 день или меньше. Поэтому имеется вероятность 12%, что проект не будет закончен за установленный срок.

Тогда стоимость работ составит (табл. 4.23).

Таблица 4.23 – Ожидаемая стоимость выполнения проекта

Сроки работ	Стоимость, долл.	Вероятность	Результат
Проект завершается за 31 день или ранее	90000	0,88	$90000 \times 0,88 = 79200$
Проект завершается более, чем за 31 день	$90000 + 50000 = 140000$	0,12	$14000 \times 0,12 = 16800$
Итого ожидаемая стоимость			96000

Результаты расчетов служат основой для принятия решения о контрактном соглашении.

Подобный подход помогает также в проведении расчетов степени риска задержки проекта.

Предположим, что согласно предыдущему опыту имеется вероятность 50/50 внесения изменений в дизайн проекта по требованию заказчика, которые в 70% случаев могут привести к задержке проекта. Необходимо выяснить, какова при этом вероятность этой задержки (рис. 4.34).

Из рисунка видно, что общая вероятность задержек (по вине заказчика и по вине подрядчика) составит:

$$(0,5 \times 0,7) + (0,5 \times 0,12) = 0,35 + 0,06 = 0,41.$$

Тогда вероятность ответственности заказчика и подрядчика будут равны соответственно:

$$\frac{0,35}{0,41} = 0,85 \text{ и } \frac{0,06}{0,41} = 0,15$$

Расчеты ожидаемой стоимости видны из рис. 4.35.

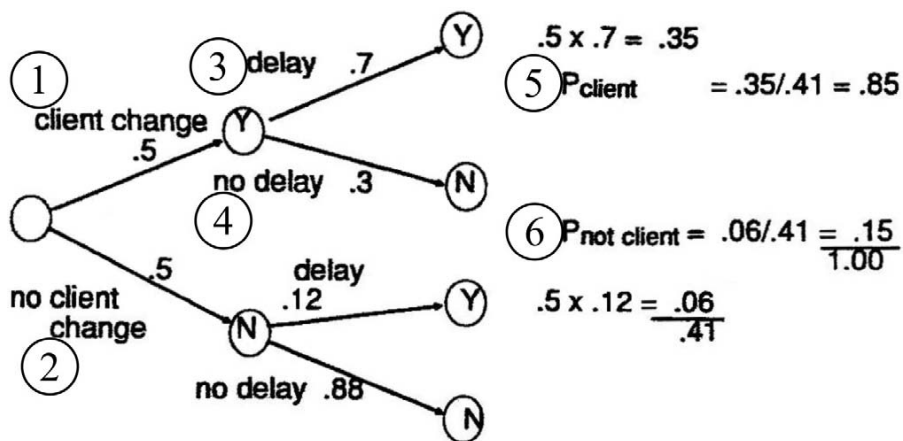


Рис. 4.34. Определение вероятности различных причин задержки проекта

1 – изменения заказчика; 2 – изменения заказчика не ожидаются; 3 – задержка; 4 – нет задержки; 5 – вероятность задержки по вине заказчика; 6 – вероятность задержки не по вине заказчика.

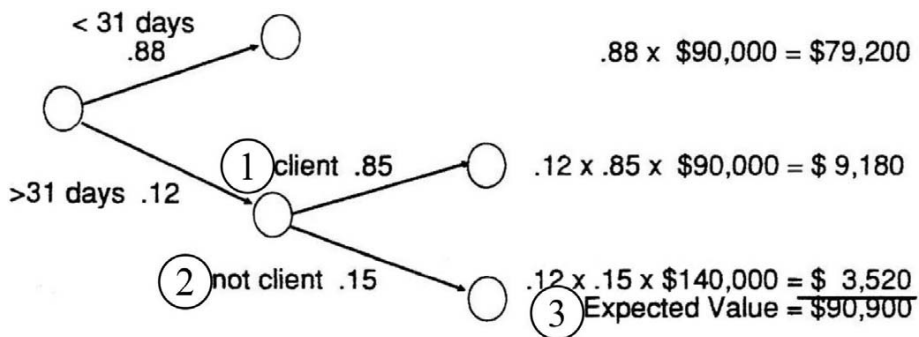


Рис. 4.35. Расчет ожидаемой стоимости проекта

1 – заказчик; 2 – подрядчик; 3 – ожидаемая стоимость.

Принимая во внимание, что имеется только 12% вероятности превышения подрядчиком срока 31 день и только 15% вероятности наказания за это, общая вероятность последнего для подрядчика составит:

$$0,12 \times 0,15 = 0,018 \text{ (около 2\%).}$$

Тогда ожидаемая стоимость проекта при назначенной прибыли подрядчика 10000 долл. может быть видна из табл. 4.24.

Если подрядчик в качестве компенсации риска наказания за задержку проекта установит, например, цену 115000 долл., он получит прибыль:

$$115000 - 91000 = 24000 \text{ долл.}$$

Таблица 4.24 – Ожидаемая стоимость проекта при назначенной прибыли

Условия контракта	Вероятность	Ожидаемая стоимость работ, долл.	Прибыль подрядчика
При отсутствии в контракте статьи о наказании и стоимости контракта 100000 долл.	1	1×90000	$100000 - 90000 = 10000$
При наличии в контракте статьи о наказании 50000 долл. и стоимости контракта 101000 долл.	0,98	$0,98 \times 90000 = 88200$ $\frac{0,02 \times 140000 = 2800}{\text{Итого } 91000}$	$101000 - 91000 = 10000$

Другими словами имеется 98% вероятности, что подрядчик может получить прибыль (рис. 4.36).

$$115000 - 90000 = 25000 \text{ долл.}$$

и только 2% вероятности, что он сможет проиграть

$$(90000 + 50000) - 115000 = 25000 \text{ долл.}$$

Нужно, однако заметить, что теория ожидаемой стоимости предполагает большое число попыток (числа выполняемых проектов) с предложенными условиями и в какой-то одной из них исполнитель может позволить себе проигрыш, если он случится.

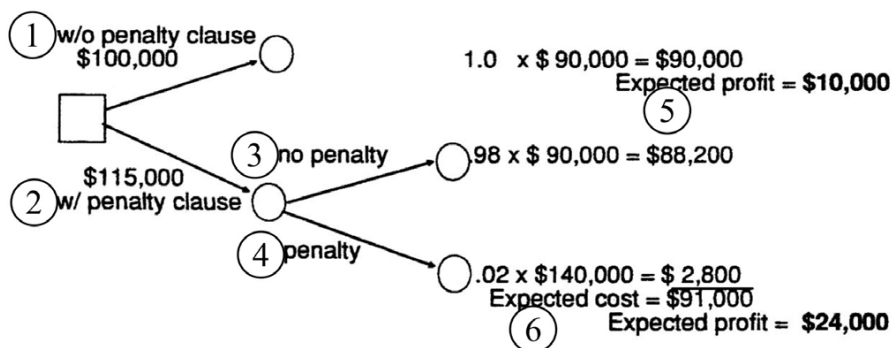


Рис. 4.36. Расчет прибыли подрядчика при реализации проекта
 1 – без статьи в контракте о наказаниях подрядчика за задержку;
 2 – со статьей о наказании; 3 – нет наказания; 4 – наказание;
 5 – ожидаемая прибыль; 6 – ожидаемая стоимость.

4.3.3 Вероятностный анализ рисков методом Монте-Карло

Вероятностный анализ рисков выполняется, как правило, с помощью модели Монте-Карло, в которой входные данные представляются в виде распределения вероятностей переменных, после чего многочисленными повторяющимися расчетами получают результирующие распределения моделируемых параметров.

Главной проблемой в этом методе является выбор распределения вероятностей данных, вводимых в модель. Существует два основных метода такого выбора, один из которых базируется на исторических данных о значениях переменных, когда предполагается, что наблюдаемая картина будет продолжаться в будущем. Если эти данные недоступны или неприемлемы, вид распределения определяется мнением экспертов, оценки которых основаны на собственном опыте инженерных расчетов или изучении взаимоотношений с окру-

жающей средой (в зависимости от характера решаемой задачи).

Исторические данные о переменных очень полезны и их использование представляется более надежным, чем интервьюирование экспертов. Однако, при этом может оказаться неверным подразумеваемое предположение, что тенденция исторических данных может быть продолжена в будущее таким образом, каким они наблюдались в прошлом. Поэтому подобный подход должен быть согласован с заказчиком проекта.

В тех частых случаях, когда исторических данных недостаточно, мнение экспертов – единственно доступное средство. Однако, здесь можно встретиться с:

- нежеланием экспертов предложить распределительную функцию;

- факторами, искажающими мнение экспертов;

- групповой динамикой предлагаемых показателей.

Эксперты часто неохотно предлагают форму распределения вероятностей, поскольку они чувствуют, что это более трудно и сложно, чем обычный подход, когда каждый результат определяется единственной (точечной) оценкой. На самом деле предложение распределения результата вместо одного значения не требует большего знания о переменных, чем единственный пункт оценки, но, наоборот, дает возможность эксперту количественно выразить недостаток знаний об обсуждаемом предмете.

При опросе эксперта полезно также выяснить, выражает ли неопределенность оценки рискованной ситуации реальную ее неопределенность или она является недостатком знаний. В подобном случае следует опросить экспертов, обладают ли они достаточной доступной информацией, и обсудить с ними значимость этой информации. Факторы, искажающие мнение экспертов, показаны в табл. 4.25.

Существуют также иные факторы, такие, как тенденция людей помнить значительные события более четко, чем дру-

гие, систематические стремления людей к переоценке условия неопределенности. Не существует конкретной технологии предотвратить эти проблемы, но искусный организатор опроса будет постоянно побуждать участников к правильной основе суждений и оценок.

Групповая динамика количественной оценки рисков является результатом психологических взаимоотношений между людьми, что приводит к ошибкам в оценке неопределенности и рисков (табл. 4.26). По причинам, указанным в таблице, решения целесообразно принимать на малочисленных совещаниях, часто на основе бесед «tet-a-tet» с каждым экспертом.

Простейшее применение метода Монте-Карло для оценки риска может быть показано на примере, исходные данные которого – переменные А и В – показаны в табл. 4.27.

Данные табл. 4.27 получены на основе случайной выборки, которая необходима, чтобы исключить взаимное влияние переменных. Модель риска использует эту случайную выборку для получения результата $C = A + B$. Наименьшее значение, которое может достигнуть С равно 4 ($A = 2$ и $B = 2$). Имея по 20 значений распределений А и В и по одному минимальному значению равному 2 в каждом из них, мы получаем 1 шанс из 400 (20×20), что минимальное значение $C = A + B$ будет равно 4. При этом вероятность получения этой величины составляет 100% (рис. 4.37), поскольку остальные результаты будут превышать эту минимальную сумму.

Распределения А и В в табл. 4.27 содержат только по 20 значений. При 400 итерациях методом Монте-Карло будут получены минимум и максимум результатов сложения А и В. Чем больше число итераций, тем выше шанс получения минимального и максимального значений. Распределения в обычно применяемых моделях риска содержат от 100 до 500 значений переменных. Типично также иметь более, чем два распределения в модели. Представим модель, состоящую из двух распределений, содержащих по 200 значений. Необхо-

димы десятки тысяч прогонов (итераций) такой модели, чтобы получить какой-либо приемлемый шанс построить кумулятивную кривую, имеющую концевые точки, соответствующие наибольшей и наименьшей величинам комбинации двух распределений.

Таблица 4.25 – Факторы, искажающие мнение экспертов

Термин	Описание	Уменьшение влияния фактора
Фиксирование	Большинство людей начинает с начальной оценки и затем она служит базой для оценки минимальной и максимальной точек распределения. Движение от начальной точки может оказаться недостаточным, а распределение узким.	При опросе людей о трех точках оценки (минимальной, наиболее вероятной и максимальной) не следует начинать с наиболее вероятной оценки, но вместо этого начинать с обеих экстремальных оценок.
Лингвистическая неточность	Недостаточно четкое определение качественной оценки может привести к путанице и ошибкам.	Применять однозначное описание событий или количественные оценки, например, словосочетание «цена бананов» не может правильно классифицироваться, но необходимо запросить «среднюю цену бананов на уличном рынке юго-восточного Лондона 1/1/09».
Проводимая тенденция	Организатор опроса демонстрирует эксперту свое понимание структуры рисков.	Позвольте эксперту объяснить, как он видит в обсуждаемом вопросе долю неопределенности перед переходом к качественной оценке риска.

Таблица 4.26 – Групповая динамика количественной оценки рисков

Термин	Описание
Согласованность	На оценку рисков индивидуальными экспертами влияет мнение других участников группы.
Предвзятость	Старшие члены группы влияют на других просто своим присутствием, что сближает оценки экспертов.
Персональные качества	Доминирует самоуверенность и громкий голос, что подавляет более скромную индивидуальность.

Таблица 4.27 – Значения переменных А и В

А	3	5	6	2	12	4	8	13	10	9	7	11	4	9	12	5	8	10	9	11
В	7	2	13	4	5	10	9	11	6	12	8	10	3	10	9	11	4	7	3	5

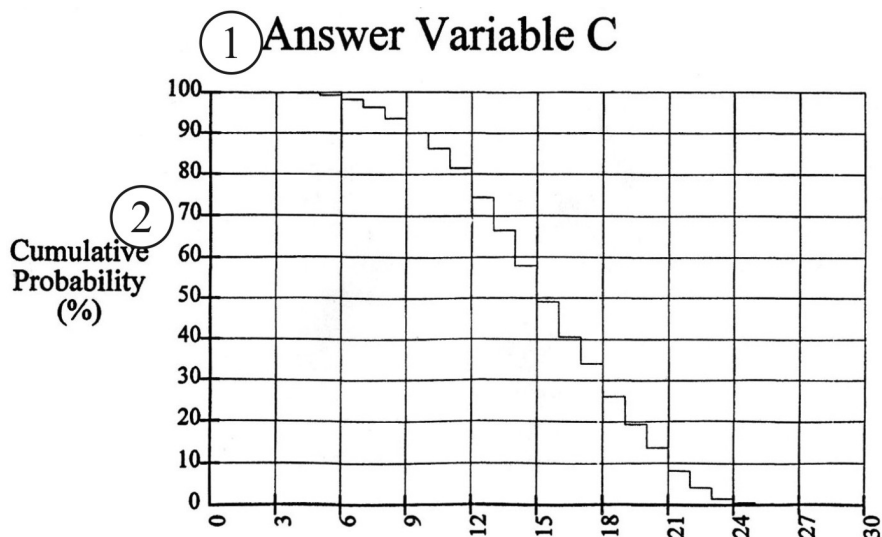


Рис. 4.37. Кумулятивная кривая частоты с минимальным значением 4 и максимальным 26 (кривая получена суммированием переменных А и В из табл. 4.23)

1 – ответ – переменная С; 2 – кумулятивная вероятность, %.

Учитывая общую сложность моделей, оценивающих риски, скорость работы компьютера и другие факторы, большинство полного объема итераций при использовании метода Монте-Карло составляет обычно от 1000 до 10000. Поэтому «концевые точки» большинства кумулятивных кривых не представляют максимальных и минимальных значений из всех возможных итераций, но лишь из числа итераций, принятых исполнителем.

Для практических целей получение абсолютных максимальных и минимальных значений не является необходимым. Предположим, рассчитывается прибыль из распределений, представляющих число проданных единиц продукции, цену за единицу, численность персонала продавцов, их зарплату, капитальные затраты и текущие расходы. Если каждое из этих распределений правильно отражает интервалы возможных объемов (т.е. хвостовые части их распределений состоят из значений экстремальных и поэтому маловероятных), существует очень малый шанс, что в реальной действительности произойдет одновременное совпадение максимального числа проданных единиц продукции, максимальной цены за единицу, минимального числа персонала, его минимальной зарплаты, минимальных капитальных затрат и минимальных текущих расходов, чтобы обеспечить максимально возможную прибыль.

В качестве еще одного простейшего методического примера рассмотрим проект, состоящий из трех задач с ожидаемой продолжительностью:

- задача 1-5 месяцев;
- задача 2-4 месяца;
- задача 3-5 месяцев,

и, следовательно, с общей продолжительностью проекта $5 + 4 + 5 = 14$ месяцев.

Для того, чтобы применить модель Монте-Карло, вначале с использованием исторических данных и опыта экспертов устанавливаются минимальные, максимальные и наиболее

вероятные продолжительности поставленных задач (табл. 4.28), т.е. предполагается треугольное распределение вероятностей данных, вводимых в модель Монте-Карло.

Таблица 4.28 – Три оценки продолжительности выполнения задач

Номер задачи	Продолжительность, мес.		
	минимальная	наиболее вероятная	максимальная
1	4	5	7
2	3	4	6
3	4	5	6
Всего	11	14	19

При моделировании методом Монте-Карло значения основных варьируемых переменных выбираются случайным образом на основе генерирования случайных чисел в интервале от 0 до 1. Далее в качестве примера приводится малый набор случайных чисел, полученный программой Microsoft Exell:

0,618595	0,086213	0,557670	0,836101	0,278854
0,952061	0,402596	0,103519	0,867901	0,864697
0,397245	0,553257	0,751100	0,762059	0,395509
0,502290	0,201482	0,965725	0,597421	0,484371
0,214474	0,564187	0,088393	0,319485	0,868656

Эти случайные числа рассматриваются, как значения функции распределения соответствующей переменной. Затем значение каждой независимой переменной восстанавливается, как аргумент функции распределения вероятностей данной переменной (эта зависимость считается известной и в рассматриваемом случае представлена треугольным распределе-

нием). Значения переменных величин подставляются в модель, после чего рассчитывается ее интегральный показатель. Описанный алгоритм повторяется n раз. Каждый имитационный эксперимент – это случайный сценарий. Точность подбираемого закона распределения результата модели зависит от числа итерационных расчетов. При этом вероятность каждого сценария равна $P_i = 1/n$. Построив график кумулятивного распределения частот появления результатов (или соответствующие таблицы, например, табл. 4.29), можно рассчитать вероятность того, что искомый результат будет выше или ниже заданного значения.

Таблица 4.29 – Результаты вероятностного моделирования рассматриваемого проекта

Продолжительность, мес.	Число итераций (из 500)	Суммарный (кумулятивный процент)
12	1	0
13	31	6
14	171	34
15	394	79
16	482	96
17	499	100
18	500	100

Статистика таких имитационных экспериментов (итераций) накапливается и обобщается с получением наиболее вероятных сроков и вероятных отклонений от ожидаемого значения.

При вероятностном моделировании рассматриваемого проекта методом Монте-Карло проводилось 500 итераций, результаты которых представлены в табл. 4.29. При предварительно установленной ожидаемой наиболее вероятной оценке 14 мес. (табл. 4.28), результаты моделирования показали, что фактическая вероятность этой продолжительности (или меньше ее) составляет всего 34% рассмотренных случаев. С

другой стороны имеется 79% шансов завершения проекта в пределах 15 месяцев (рис. 4.38).

Метод Монте-Карло может быть описан, как пошаговый процесс, выполняемый в следующем порядке (например, в строительном проекте).

Шаг 1. Для любой конкретной элементной категории (такой, как конструктивная схема здания, фундамент и т.д.) идентифицируется распределение вероятностей цены единицы работ, например, 1 м² площади пола. Это критическая и наиболее трудная часть анализа, поскольку, как уже говорилось, выбор вида распределения вероятности производится субъективно на основе исторических данных или мнений экспертов. Полученные таким образом сведения позволяют установить среднее значение распределения и его дисперсию (разброс).

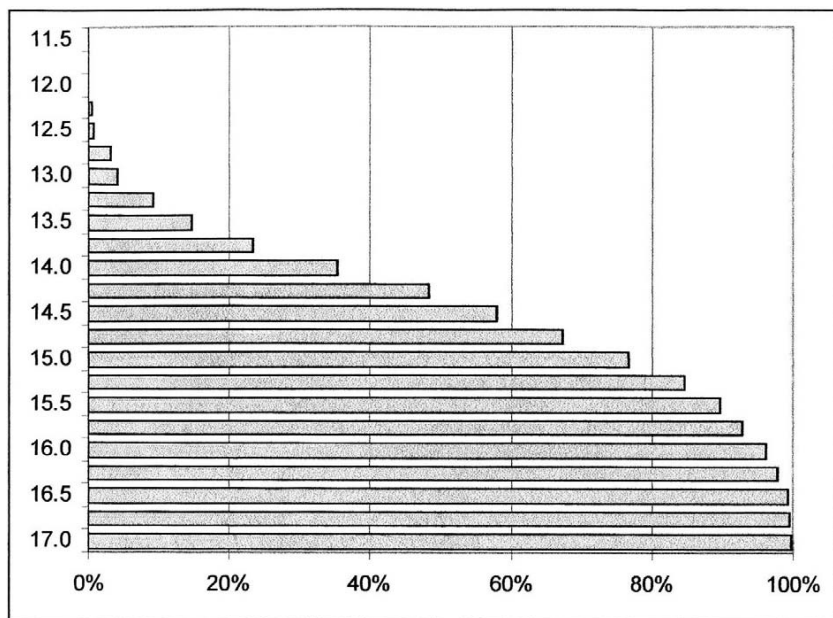


Рис. 4.38. Вероятность завершения проекта в пределах заданного времени

Форма кривой распределения может быть смещенной (несимметричной). Обычно следует ожидать, что распределение единичных расценок (стоимости единицы работ) смещено вправо (рис. 4.39 а), т.е. в сторону высоких значений, поскольку граница низких затрат обычно определена более четко, чем высоких. Например, если 1 м² виниловой плитки стоит 15 долларов, то более вероятна цена 30 долларов, чем нулевая.

Тем не менее, не исключено, что форма кривой может иметь вид, показанный на рис. 4.39 б.

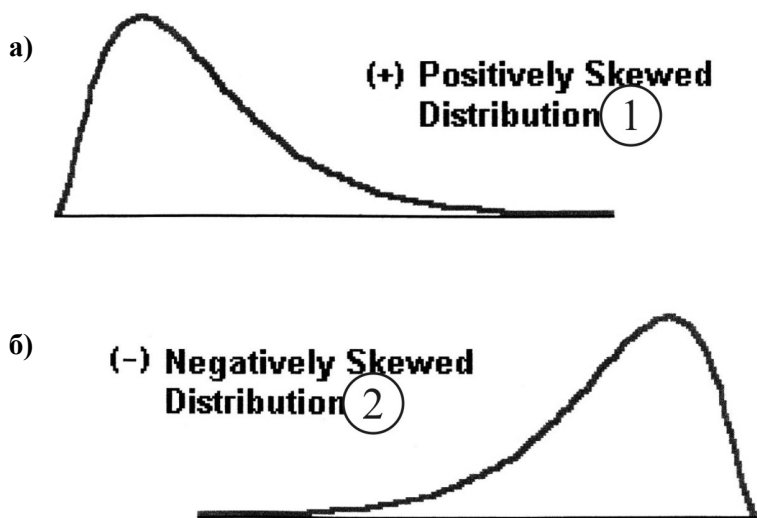


Рис. 4.39. Смещенные кривые распределения
 а) смещение вправо. 1 – позитивное распределение;
 б) смещение влево. 2 – негативное распределение.

Важно, чтобы распределение вероятностей имело граничные точки, которые могут быть назначены индивидуально. Так, понятно, что единичная расценка не может быть отрицательной. С другой стороны, следует ожидать, что экономические показатели, основанные на величине единичных расценок – ресурсы, решения дизайна, размер прибыли – оп-

ределяют верхние и нижние границы этих расценок для каждой элементной категории. Распределение вероятностей должно выбираться с учетом этих соображений.

Описанные особенности вероятностных расчетов строительных рисков адекватно отражает бета (β)-распределение, которое часто используется в моделях Монте-Карло. Бета-распределение (см. раздел 4.3.2) описывается значениями a и b – минимальной и максимальной величинами (например, цена), а также специфическими параметрами p и q , которые рассчитываются в зависимости от среднего значения и дисперсии, и определяющими форму кривой распределения (рис. 4.16).

Действия, предпринимаемые на шаге 1 показаны на рис. 4.40.

Шаг 2. После выбора видов распределение в каждой элементной категории для них с использованием специального компьютерного генератора, выбираются случайные значения вероятности, находящиеся на Y-оси кумулятивной кривой распределения. В соответствии с последними на X-оси определяются значения моделируемого параметра (например, затраты или продолжительности операции).

Значение вероятности, выбранное генератором случайных чисел, не имеет связи ни с предыдущим, ни с последующим выбором. Механизм выбора случайных значений параметра управляется только формой распределения вероятностей. Вычисляемые параметры находятся в пределах между исходными значениями a и b .

Шаг 3. Полученное случайное значение параметра, например, единичной расценки, умножается на объем работ данной элементной категории рассматриваемого здания. Таким образом определяется первое значение общих расходов на эти работы.

Шаг 4. Результаты шага 3 каждой элементной категории суммируются и сохраняются в памяти компьютера. Затем процесс расчетов возвращается к шагу 2 и повторяется n раз.

Шаг 5. Полученные результаты изображаются в виде гистограммы и кумулятивной кривой частоты. Чем больше число повторяющихся расчетов (итераций), тем более гладкой получаются гистограмма и кумулятивная кривая. С другой стороны, дополнительные итерации требуют увеличения компьютерного времени и расходов.

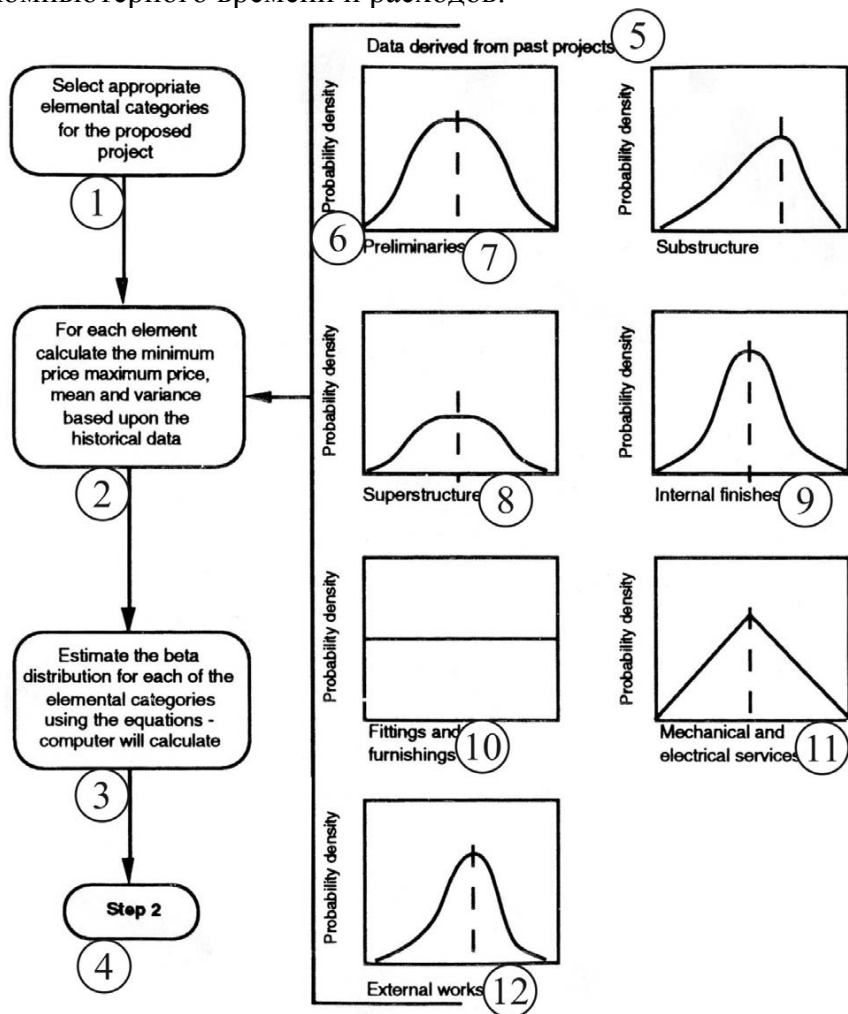


Рис. 4.40. Шаг 1 пошагового процесса моделирования строительных рисков методом Монте-Карло

Объяснения к рис. 4.40:

1 – выбор элементных категорий для предлагаемого проекта; 2 – для каждого элемента расчет минимальной цены, максимальной цены, среднего значения и отклонений, основанный на исторических данных; 3 – оценка бета-распределения для каждой элементной категории; 4 – шаг 2; 5 – данные, принятые по прошлым проектам; 6 – плотность вероятности; 7 - предварительные работы; 8 – суперструктура; 9 – внутренняя отделка; 10 – инвентарь и мебель; 11 – механические и электрические службы; 12 – наружные работы.

Шаг 2-5 показаны на рис. 4.41.

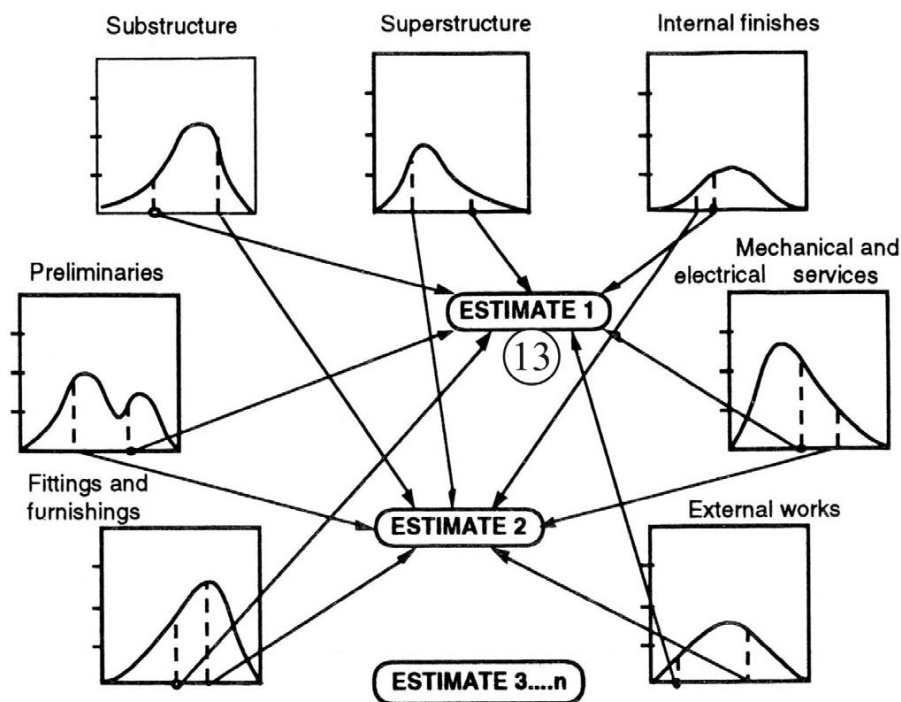


Рис. 4.41. Шаги 2-5 пошагового процесса моделирования строительных рисков методом Монте-Карло
Обозначения, как на рис. 4.40, 13 – оценка.

Примером применения метода Монте-Карло служит строительство склада, расположенного в черте города. В его проекте использованы данные строительства шести подобных зданий. Кумулятивная кривая частоты показывает, что проведены 500 итераций. Кривая используется для получения вероятности стоимости предлагаемого здания (рис. 4.42). Например, результаты 250 итераций показывают, что имеется вероятность 50% (250/500), что стоимость строительства будет меньше, чем 481 тыс. фунтов стерлингов, а результаты 400 итераций из 500 – 80% вероятности (400/500), что стоимость строительства составит менее 531 тыс. фунтов.

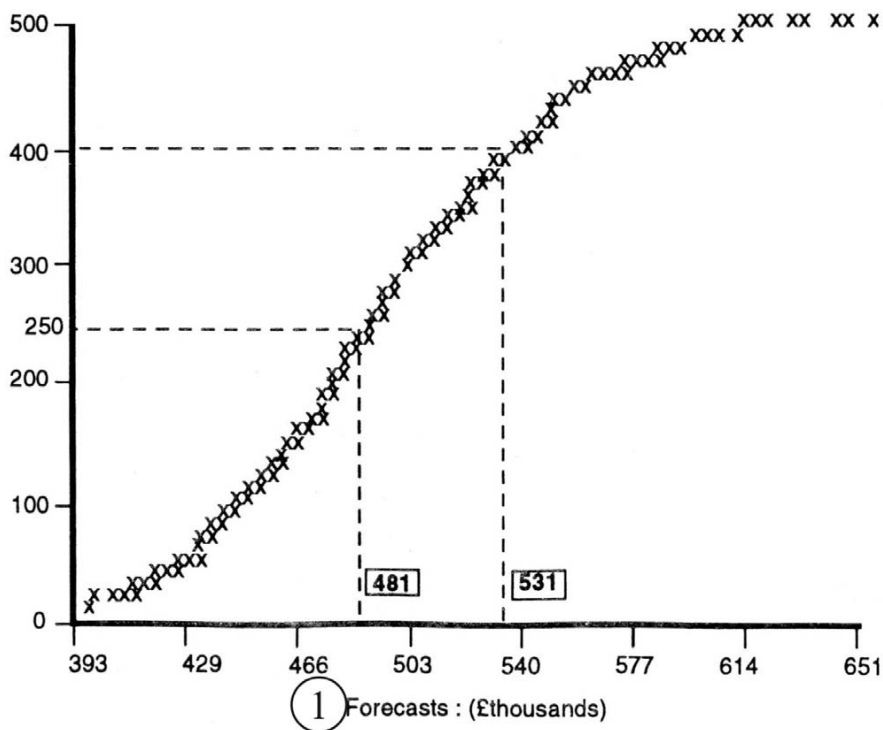


Рис. 4.42. Кумулятивная кривая прогнозирования стоимости здания

1 – прогноз, тыс. фунтов стерлингов.

Гистограмма на рис. 4.43 используется, чтобы дополнить кумулятивную кривую, показывая интервал наиболее вероятной стоимости между 470 и 496 тыс. фунтов.

Практическим примером использования метода Монте-Карло в строительстве может служить опыт компании KonTraG (Corporate Sector Supervision and Transparency Act, Германия) моделирования накладных расходов, непредвиденных затрат и прибыли в условиях регламентированной тендерной цены.

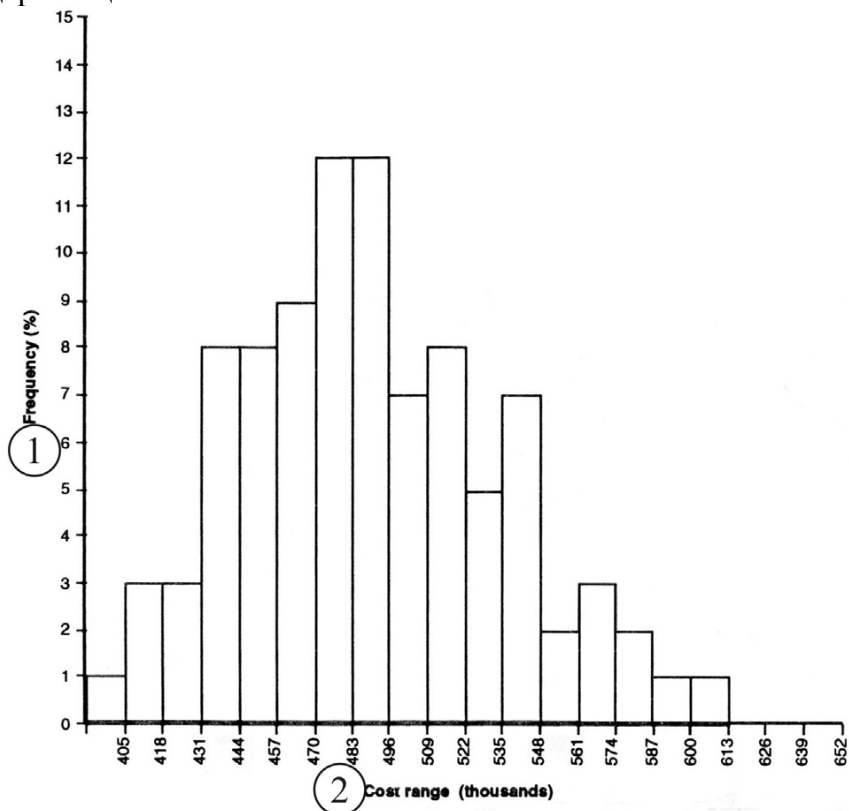


Рис. 4.43. Гистограмма интервалов наиболее вероятной стоимости здания

1 – частота %; 2 – интервал стоимости, тыс.

В табл. 4.30 показаны позиции, составляющие сводную смету строительства. Не вдаваясь в специфические финансовые подробности, скажем лишь, что термин «рисковая стоимость» (обозначаемая в документах, как VaR-value at risk) означает для финансистов суммарную меру риска, способную производить его сравнение по различным портфелям (например, по портфелям из акций и облигаций) и по различным финансовым инструментам (например, форвардам и опционам).

Таблица 4.30 – Позиции сводной сметы строительства

Прямые расходы на стройплощадке	Базовая оценка	Результаты расчетов модели Монте-Карло			
		для субподрядчиков			общие
1	2	3	4	5	6
Зарплата персонала	2000000	минимальное значение	среднее (базовое) значение	максимальное значение	2000000
Материалы	500000				500000
Прочие материалы	50000				50000
Субподрядчики	13500000	12860000	13500000	14925000	13761667
1-ый	1200000	1000000	1200000	1500000	1233333
2-ой	800000	780000	800000	825000	801667
3-ий	5000000	4950000	5000000	5500000	5150000
4-ый	4000000	3800000	4000000	4300000	4033333
5-ый	1000000	950000	1000000	1100000	1016667
6-ой	500000	400000	500000	650000	516667
7-ой	1000000	980000	1000000	1050000	1010000
Оборудование	50000				50000
Перевозка	350000				350000
Таможня	250000				250000
Итого прямые расходы	16700000				16961667

Продолжение таблицы 4.30

1	2	3	4	5	6
Непрямые расходы (складские площадки)	1500000				1500000
Прямые и непрямые расходы	18200000				18461667
Накладные расходы и рисковая стоимость	1583400				1321733
Общие расходы	19783400				19783400
Процент накладных расходов и рисковой стоимости	8,7%				7,2%

После оценки стоимости, приведенной в столбце 2 табл.4.30 командой менеджмента строительства возможные риски были детально обсуждены, для каждого из них устанавливались пороговые минимальные, средние и максимальные значения, а также был выбран треугольный вид распределения переменных.

Во второй части табл. 4.30 (столбцы 3-6) показаны результаты моделирования Монте-Карло с применением 10000 итераций. На рис. 4.44 изображена гистограмма, а на рис. 4.45 – кумулятивная кривая вероятности. Интервал 5-95% показывает нижнюю и верхнюю так называемые доверительные границы (доверительный интервал). Из результатов расчетов варьируемых затрат получены следующие основные выводы:

- среднее значение накладных расходов и рисковой стоимости составляет 7,2%. Полученный результат на 1,5% ниже полученного первоначально при базовой оценке (8,7%);

- минимальное значение накладных расходов и рисковой стоимости равно 2,63%, но это число в условиях регламентированной тендерной цены может быть получено только при сочетании всех возможных негативных обстоятельств;
- максимальное значение накладных расходов и рисковой стоимости составляет 9,8%, но это число будет достигнуто только при сочетании наиболее благоприятных обстоятельств.

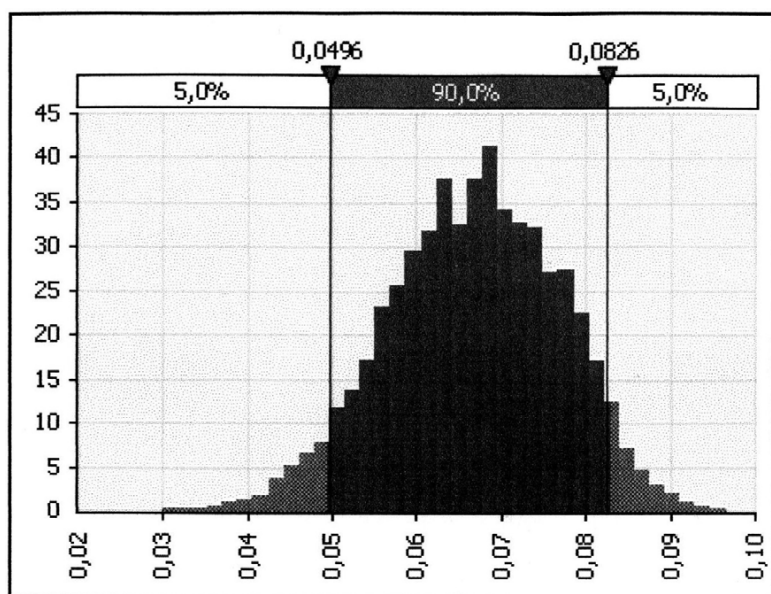


Рис. 4.44. Гистограмма плотности вероятности стоимости строительства

С целью выявления главного влияния на накладные расходы и рисковую стоимость использовались коэффициенты регрессии, которые показывают, как в среднем изменяется результативный признак Y , если факторный признак X увеличивается на единицу своего измерения (рис. 4.46). Такой вид анализа чувствительности показал, что субподрядчики 3, 1 и 4 наиболее сильно влияют на рассматриваемые стоимостные

показатели и поэтому нуждаются в тщательном мониторинге выполняемых строительных работ.

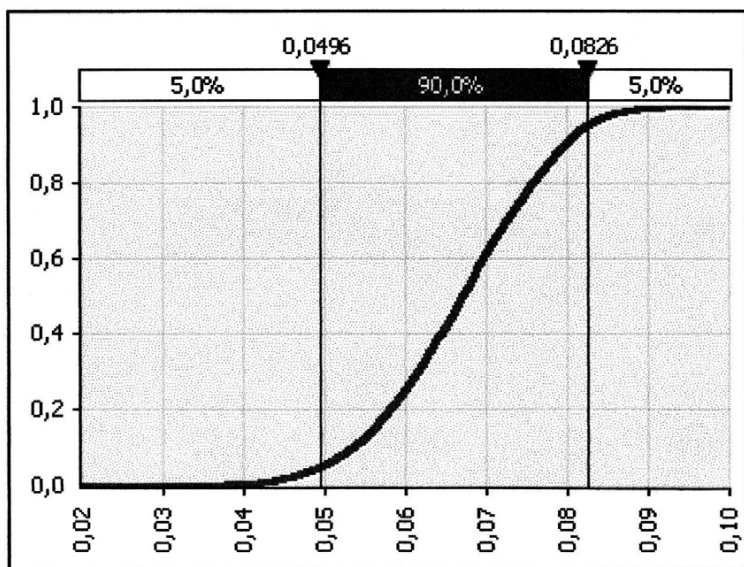


Рис. 4.45. Кумулятивная кривая вероятности стоимости строительства

4.3.4 Количественная оценка строительных рисков уровнем травматизма

Еще одним способом количественной оценки рисков служит определение и сравнение уровней травматизма, возникающего при выполнении различных строительных работ. Далее описана методика такой оценки, предложенная в США.

Строительная индустрия США – наибольшая однородная отрасль промышленности, которая имеет постоянный персонал, составляющий около 5% общей рабочей силы страны. В то же время число смертельных случаев в строительстве насчитывает примерно 12% от общей статистики. Так, в 2003 г. почти 10 из 100000 рабочих на строительной площадке получили смертельные травмы. Проведенные исследования пока-

зали также, что один из шести строительных рабочих США получает каждый год серьезные травмы. В Великобритании строительные рабочие имеют в 5 раз большую вероятность погибнуть и в 2 раза большую вероятность пострадать от серьезных травм, чем в среднем по промышленности. Здесь смертельные случаи составляют 5,6 из 100000 рабочих (в 2006 г.), а в целом в Европейском Союзе более 13 смертей на 100000 рабочих.

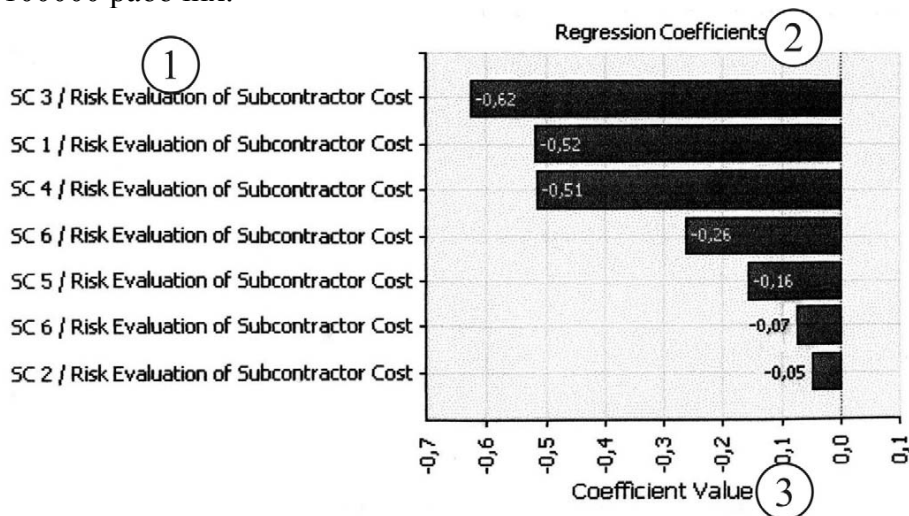


Рис. 4.46. Оценка коэффициентами регрессии чувствительности проекта к рискам субподрядчика

1 – перечень субподрядчиков; 2 – коэффициенты регрессии; 3 – шкала значений коэффициентов.

В последние годы в строительстве все более осознается значение выполнения правил безопасности, поскольку стало ясно, что опасная рабочая окружающая среда, как фактор риска, может существенно воздействовать на продолжительность и бюджет строительства. Значительное увеличение страховых выплат объясняется ростом медицинских расходов и затрат на реабилитацию. Так, в 2004 г. в строительной индустрии США уровень травматизма достиг 460000 случаев, а

их стоимость была оценена в 15,64 млрд. долл. Опасность высокого травматизма заключается также в непрямом воздействии на строительный процесс из-за замедления операций и пониженной производительности.

Один из методов количественной оценки рисков строительства предполагает использование статистики несчастных случаев и связанных с ними потерь рабочего времени. Так, в США в 2005 г. в строительстве произошло 1186 смертельных случаев и 414000 случаев, вызвавших потерю рабочего времени (не включая смертельных). В этом году в отрасли были заняты 7336000 рабочих со средней продолжительностью рабочей недели 38,6 часа, что определяет общее рабочее время 14,7 млрд. рабочих часов в год. Таким образом, среднее число рабочих часов на смертельный случай составляет примерно 12,5 млн. и 35,5 тыс. на несчастный случай, вызвавший потерю рабочего времени.

Эти значения определили шкалу вероятности несчастных случаев (табл. 4.31), используемую при оценке строительных рисков.

Таблица 4.31 – Шкала вероятности несчастных случаев в строительстве

Один несчастный случай на число рабочих часов (показатель аварийности)	Оценка вероятности
Отсутствует	0
Пренебрежимое значение	1
10-100 млн.	2
1-10 млн.	3
100 тыс.-1 млн.	4
10 тыс.-100 тыс.	5
1,0 тыс.-10 тыс.	6
100-1,0 тыс.	7
10-100	8
1-10	9
менее 0,1-1	10

Другим параметром, необходимым для оценки уровня риска является тяжесть его последствий. Опубликованные исследования (например, в Канаде) описывают шкалу возможных последствий несчастных случаев:

- смертельные. Рабочая травма или болезнь приводят к смерти;

- потеря рабочего времени. Травма или болезнь препятствуют рабочему вернуться на работу на следующий день; ограниченный случай. Травма или болезнь препятствуют рабочему выполнять операции с нормальной производительностью, но не приводят к потере рабочих дней;

- только медицинское лечение. Травма или болезнь требуют медицинского лечения при продолжении нормальной работы. В этой категории рабочий должен быть способен вернуться к регулярной работе с обычной производительностью;

- первая помощь. Лечение малых царапин, порезов, ожогов и т.д. В этой категории рабочий способен вернуться к работе сразу после оказания первой помощи.

В табл. 4.32 приведена предлагаемая шкала тяжести последствий рисков строительства (результатов несчастных случаев), построенная на основе их описанной классификации.

В США разработаны также стоимостные оценки несчастных случаев в строительной индустрии. Так, смертельное последствие в 2007 г. оценивалось в 1190000 долл., а травма с потерей трудоспособности на полный день после дня несчастного случая – 38000 долл. Эти цифры включают заработную плату, медицинские расходы, административные затраты и расходы нанимателя, но в них не включен возможный ущерб собственности. Если принять округленно отношение стоимостного ущерба при смертельном случае к ущербу при травматизме равным 32 ($1190000 : 38000 = 31,3$), то оценку тяжести смертельного случая можно рассчитать, как произведение оценки 8 при травматизме (с потерей трудоспособности

на полный рабочий день) из табл. 4.32 и рассчитанного отношения стоимостей равного 32, а именно $8 \times 32 = 256$.

Ожидаемый уровень риска может оцениваться, как произведение оценки вероятности несчастного случая (табл. 4.31) на соответствующую оценку тяжести его последствий (табл. 4.32) и находиться в пределах от 0 до 2560.

Таблица 4.32 – Шкала тяжести последствий строительных рисков

Тяжесть	Описание	Оценка
1	2	3
Почти незаметна	Случай, когда травмы рабочего не происходят	0+
Незначительная. Временный дискомфорт	Чрезвычайно малая (почти незаметная) травма.	1
	Дискомфорт длительностью 1 рабочий день или менее, который препятствует рабочему нормально выполнять операции.	2
Стойкий дискомфорт	Дискомфорт длительностью более 1 рабочего дня, который не препятствует рабочему нормально выполнять операции.	3
Временная боль	Боль длительностью 1 рабочий день или менее, которая не препятствует рабочему нормально выполнять операции.	4
Стойкая боль	Боль длительностью более 1 рабочего дня, которая не препятствует рабочему нормально выполнять операции.	5
Малая первая помощь	Малая первая помощь и лечение, которые заставляют рабочего прекратить работу в день несчастного случая, но позволяют вернуться к ней в течение 1 дня.	6

Продолжение таблицы 4.32

1	2	3
Крупная первая помощь	Рабочий возвращается в регулярной работе в течение 1 дня после травмы.	7
Потеря рабочего времени	Рабочий не может вернуться к регулярной работе в течение 1 дня после травмы.	8
Медицинский случай	Существенное медицинское лечение и потеря рабочего времени из-за временной инвалидности. Рабочий не может вернуться к работе в течение более 1 дня после травмы.	9
Постоянная инвалидность	Травматизм, приводящий к постоянной инвалидности.	10
Смертельный случай	Смерть рабочего	256

Для субъективной интерпретации уровня риска и объяснения рабочим опасности конкретных операций может быть использована табл. 4.33.

Таблица 4.33 – Субъективная интерпретация уровня риска

Уровень риска	0-510	510-1020	1020-1530	1530-2040	2040-2560
Процент	0-20	20-40	40-60	60-80	80-100
Субъективная интерпретация	очень низкий	низкий	средний	высокий	очень высокий
Цветовой код	зеленый	желтый		красный	

Субъективная интерпретация опасности рисков может приниматься индивидуально для различных компаний, а опасность – быть приемлемой для одной и недопустимой для другой. Эта разница восприятия риска определяется различными факторами, такими, как вид выполняемой работы, квалификация рабочей силы, степень общей безопасности работ, программа здоровья.

Оценка строительных рисков уровнем травматизма может быть также полуколичественной. В этом типе анализа показателями качественной оценки рисков назначаются номера ранжирования, что позволяет более детально выяснить приоритеты рисков. Один из таких методов включает назначение численных значений последствиям рисков, частоте с которой риск идентифицируется в ходе инспекций и вероятностям ущерба, нанесенного риском. Затем уровень риска рассчитывается по формуле:

$$\text{Риск} = \text{частота} \times (\text{максимально возможный ущерб} + \text{вероятность}).$$

Максимально возможный ущерб ранжируется по шкале, состоящей из 50 пунктов с результатами, показанными в следующем порядке важности:

- множественные смертельные случаи	50
- единичные смертельные случаи	45
- общая потеря трудоспособности	40
- потеря зрения	35
- ампутация конечностей	30
- ампутация ладоней/ступней	25
- потеря слуха	20
- поломанная конечность	15
- глубокие раны	10
- синяки	5
- царапины	1

Вероятность также варьируется по шкале, составляющей 50 пунктов:

- неминуемая опасность	50
- ежечасная опасность	35
- ежедневная опасность	25
- опасность 1 раз в неделю	15
- опасность 1 раз в месяц	10
- опасность 1 раз за 5 и более лет	1

Так, для случившейся при резке металла потери зрения, идентифицированной во время инспекции, вероятность оценивается, как для события, происходящего 1 раз в день. Тогда уровень риска рассчитывается следующим образом: $\text{риск} = 1 \times (35 + 25) = 60$. Значение риска затем сравнивается с предыдущими случаями управления рисками, чтобы определить необходимую степень усилий для снижения опасности.

Глава 5. Принятие решений в условиях неопределенности

5.1 Общие сведения

Основным инструментом принятия решений в условиях неопределенности служит «дерево решений» - графическое изображение альтернативных вариантов, оценка соответствующих им вероятностей и любых комбинаций альтернатив, а также связанных с ними рисков.

Дерево решений структурируется, как серия простых вопросов, ответы на которые создают путь к его «корню». Каждый возможный результат оценивается количественно, а также устанавливается вероятность его получения.

Дерево решений позволяет аналитику разбить сложный комплекс на серию меньших и более простых проблем. Любое решение вне зависимости от сложности может анализироваться деревом решений, что особенно полезно для текущих проблем, когда необходимо выбрать лучшую альтернативу и двигаться далее.

Дерево решений в общем случае состоит из узлов и ветвей.

Существует три вида узлов:

- узлы решений, показанные прямоугольниками и представляющие действия, которые контролирует лицо, принимающее решения;
- узлы шансов событий, показанные окружностями и представляющие события, которые не могут контролировать лица, принимающие решения;
- конечные узлы «терминалы», показанные несвязанными ветвями и конечными пунктами с присоединенными к ним значениями результатов.

Ветви – прямые линии, исходящие из узлов.

На дереве решений имеются значения:

- вероятностей каждой результирующей ветви, исходящей из узла шанса;

- денежных потоков;
- ожидаемых значений узлов, рассчитанных в ходе реализации дерева. Здесь могут быть показаны чистая приведенная стоимость (NVPnet present value) – разница между притоком капитала и его расходами, ожидаемая денежная стоимость (EMV – expected monetary value) – ожидаемая средняя выгода от принятия решения, ожидаемая полезность (EU – expected utility) и коэффициент определенности (CE – certainty coefficient), принимаемый, как эквивалент понятия вероятности.

Наиболее распространенным критерием целесообразности принятия решений считается EMV – ожидаемая денежная стоимость. Понятие о способе ее применения можно объяснить простым примером, когда менеджер строительства стоит перед выбором, исходные данные которого оцениваются трехточечным прогнозом и приведены в табл. 5.1.

Таблица 5.1 – Расчет ожидаемой денежной стоимости

Вероятный прогноз	I вариант			II вариант		
	прибыль (ущерб), тыс. долл.	вероятность, %	результат, тыс. долл.	прибыль (ущерб), тыс. долл.	вероятность, %	результат, тыс. долл.
Наилучший случай	180	20	36	200	15	30
Наихудший случай	-20	15	-30	15	25	3,75
Наиболее ожидаемый случай	75	65	48,75	45	60	27
Итого			81,75			60,75

Сравнение вариантов показывает, что следует выбрать 1 вариант, имеющий наибольшую EMV.

Дерево решений строится хронологически слева направо с лежащими исходящими ветвями. Стартующий узел называется «корнем», конечные узлы иногда называются «листьями». Реализация дерева решений – процесс, выполняемый в порядке, обратном его построению. Значения для каждого узла определяются справа налево, начиная от конечных узлов.

5.2 Примеры применения дерева решений

Большинство проектов и процессов имеют конечный результат, который становится очевидным после их завершения. Однако, начиная работать над проектом, его исполнители не могут однозначно оценить возможность ожидаемого успеха и вынуждены применять вероятностный подход, чтобы иметь возможность прогнозировать экономическую эффективность реализации проекта.

Примером может служить рекультивация площадки бурения нефтяной (или газовой) скважины. Имеется разное понимание того, что должно выполняться в рамках этой задачи. Некоторые работы включаются в общий состав, согласно регулирующим природоохранным стандартам, другие определяются после сбора и анализа образцов грунтов, загрязненных и зараженных при бурении.

Для каждой операции при рекультивации площадки может быть заранее оценена вероятность ее результата («prior probability» - предварительная вероятность). Предположим, что по коммерческим причинам компания, ответственная за рекультивацию интересуется вероятностью превышения суммы 250 тыс. долл. за выполнение работ. Известно, что стоимость проекта без учета расходов на анализ образцов грунта составляет 200 тыс. долл. При этом имеется шанс 60% (вероятность 0,6), что местными властями не будет дано разрешение на работы по рекультивации без такого анализа. В этом случае потребуется дополнительно 25 тыс. долл., чтобы модифицировать и заново представить для согласований про-

грамму работ по рекультивации, а также затратить 40 тыс.долл. с вероятностью 0,8 (по данным подрядчика) или 30 тыс.долл. с вероятностью 0,2 на выполнение анализов. Процесс оценки принимаемых решений может быть изображен в виде наглядной схемы (рис. 5.1).

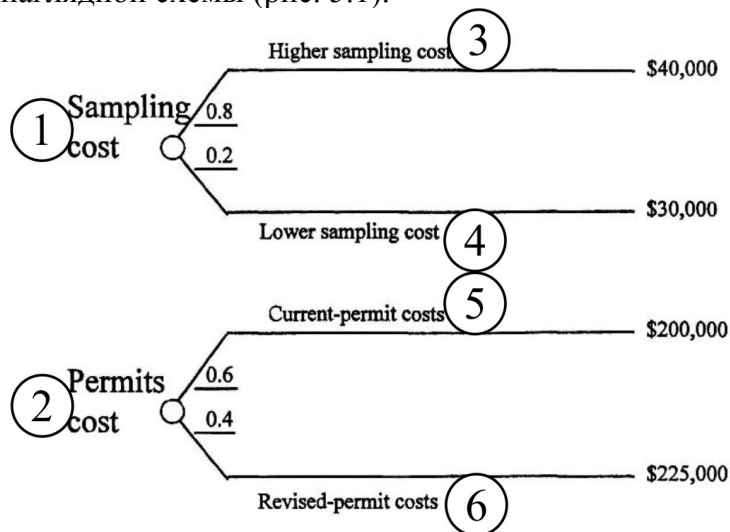


Рис. 5.1. Процесс оценки принимаемых решений проекта рекультивации площадки бурения скважины

1 – стоимость сбора и анализа образцов грунта; 2 – стоимость рекультивации площадки скважины; 3 – вероятная высокая стоимость анализа образцов; 4 – вероятная низкая стоимость анализа образцов; 5 – стоимость проекта без учета программы работ по анализу образцов; 6 – стоимость проекта с учетом программы работ по анализу образцов.

Таким образом, в худшем случае общая стоимость работ по рекультивации будет равна:

$$\begin{aligned} \text{Общая стоимость} &= \text{стоимость анализа образцов} + \text{стоимость} \\ &\text{собственно рекультивации} = [(0,8 \times 40000) + (0,2 \times 30000)] + \\ &+ [(0,6 \times 200000) + (0,4 \times 225000)] = 248000 \end{aligned}$$

Эти расчеты показывают, что общая сумма работ по рекультивации площадки даже в худшем случае не превысит 250 тыс. долл.

Описанный пример служит первым приближением к построению дерева решений и вероятностного подхода к техническим и инвестиционным задачам. Примером более сложного дерева решений является анализ работы комплекса пяти существующих отстойников шлама от бурения нефтяных или газовых скважин, для чего рассматривается размер площади отстойников, значения показателя кислотности pH в отстаиваемой жидкости, процент глины в материале, подстилающем дно отстойников. В двух из пяти из них были обнаружены утечки, в связи с чем была поставлена задача рассчитать вероятность конечного состояния существующих отстойников и вероятность утечек в планируемом шестом (рис. 5.2).

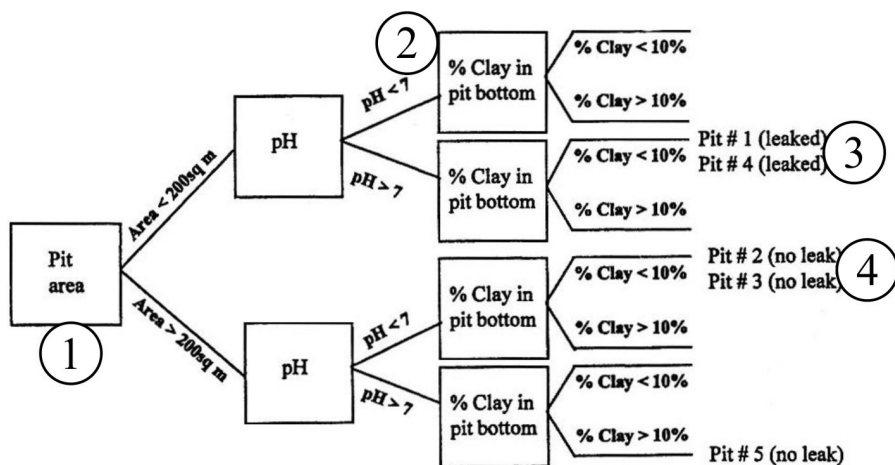


Рис. 5.2. Дерево решений для выявления различий отстойников с утечками и без них

1 – площадь отстойника; 2 – % глины в материале дна; 3 – отстойники с утечками; 4 – отстойники без утечек.

Дерево решений с расчетами вероятности рисков инвестирования может быть использовано и для решения общей задачи целесообразности строительства, например завода для производства какого-либо потребительского продукта. Первоначальная попытка придти к такому решению принималась традиционным способом и была связана с рассмотрением трех факторов:

- потребительская база (часть населения, которая может потреблять продукцию завода);
- часть потребительской базы, которой необходима продукция;
- стоимость произведенной продукции.

Первых два фактора, принимаемых во внимание при определении целесообразности строительства учитывали, будет ли достаточна потребительская база для достижения экономической эффективности работы завода. Демографические исследования показали, что существует шанс 90% наличия такой базы и шанс, что ее 80% будет потреблять продукцию завода.

Третьим фактором, определяющим успех проекта, служит стоимость произведенной продукции (т.е. текущие расходы завода), зависящая от применяемой технологии. Запросы потребителей продукции завода и объявленные планы конкурентов заставили заказчика строить завод раньше, чем он бы хотел, что привело к необходимости применения относительно устаревшей технологии. Вместе с тем исследовательский департамент информировал заказчика о наличии испытываемой новой более дешевой и производительной технологии, которая, однако, не будет готова к началу строительства. По мнению экспертов, применение старой технологии имеет шанс 60%, что стоимость продукции завода будет недопустимо высока для ее конкурентоспособности на рынке, следовательно, остается 40% вероятности успешных продаж продукции завода.

Объективное рассмотрение целесообразности строительства в этих условиях может быть проведено с помощью двух видов дерева решений: концептуального и аналитического. На рис. 5.3 показано первое из них. Расположенные с правой стороны рисунка вершины ветвей дерева показывают достигнутые результаты сравниваемых решений. В частности, допустим, что фирма рассчитывает на годовой доход максимум 40 млн. долл. при успешной работе завода, хотя для экономически эффективного функционирования он должен иметь годовой доход, по крайней мере, 10 млн. долл.

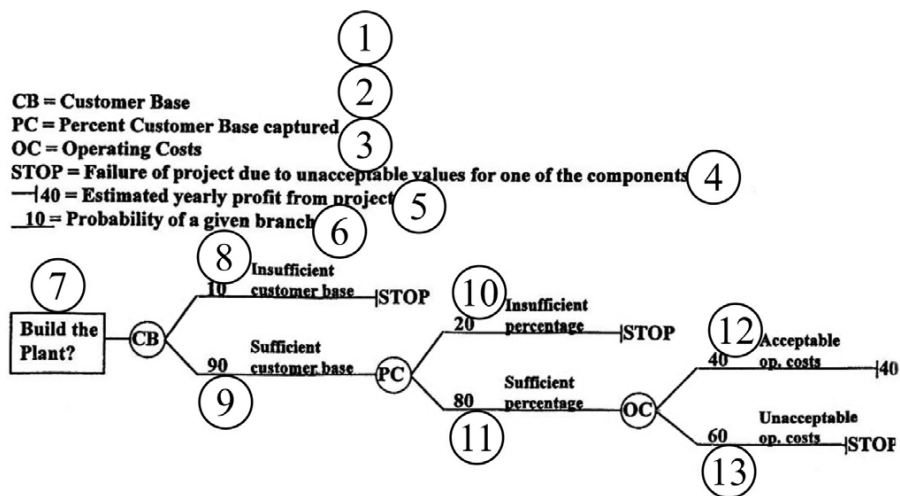


Рис. 5.3. Пример концептуального дерева решений

1 – потребительская база; 2 – часть потребительской базы, которой необходима продукция завода; 3 – стоимость произведенной продукции (текущие расходы); 4 – остановка проекта из-за неприемлемости результата; 5 – ожидаемый максимальный годовой доход проекта; 6 – вероятность данной ветви; 7 – построить ли завод? 8 – недостаточная потребительская база; 9 – достаточная потребительская база; 10 – недостаточный процент; 11 – достаточный процент; 12 – приемлемые текущие расходы; 13 – неприемлемые текущие расходы.

Будет ли назначенная сумма 40 млн. долл. достаточна, чтобы перекрыть последствия рисков, выраженных вероятностью неудач, видно из уравнения:

Вероятный доход = $0,9 \times 0,8 \times 0,4 \times 40 = 11,52$ млн. долл.

Таким образом, даже при учете всех возможных рисков, прогнозируемый доход будет превышать установленный минимальный уровень 10 млн. долл. и, значит, построенный завод будет экономически успешным.

Более детальное вероятностное решение той же задачи может быть достигнуто построением аналитического дерева, когда команды экспертов оценивают вероятности трех уровней риска: максимального, среднего и минимального для каждого из трех описанных факторов, а также прогнозируют годовой доход по каждой ветви дерева решений, изображенного на рис. 5.4. Из рисунка видно, что даже всего при трех рассмотренных факторах, влияющих на целесообразность строительства, дерево имеет 27 возможных результатов реализации проекта. Дополнительное рассмотрение хотя бы еще одного фактора увеличит число результатов до 81, что говорит о необходимости решения подобных сложных задач с использованием компьютерной технологии.

Расчеты ожидаемого годового дохода завода с учетом возможных рисков показали, что он составит 12,001 млн. долл. и, следовательно, превысит критерий 10 млн. долл., установленный компанией, что подтверждает целесообразность реализации проекта (табл. 5.2).

Дальнейшим развитием технологии учета неопределенности при выборе варианта строительства является вероятностный анализ, предполагающий, что все параметры и связанные с ними риски могут варьироваться одновременно. При этом обычно используется метод Монте-Карло, оценивающий величины, о которых известна лишь форма распределения их

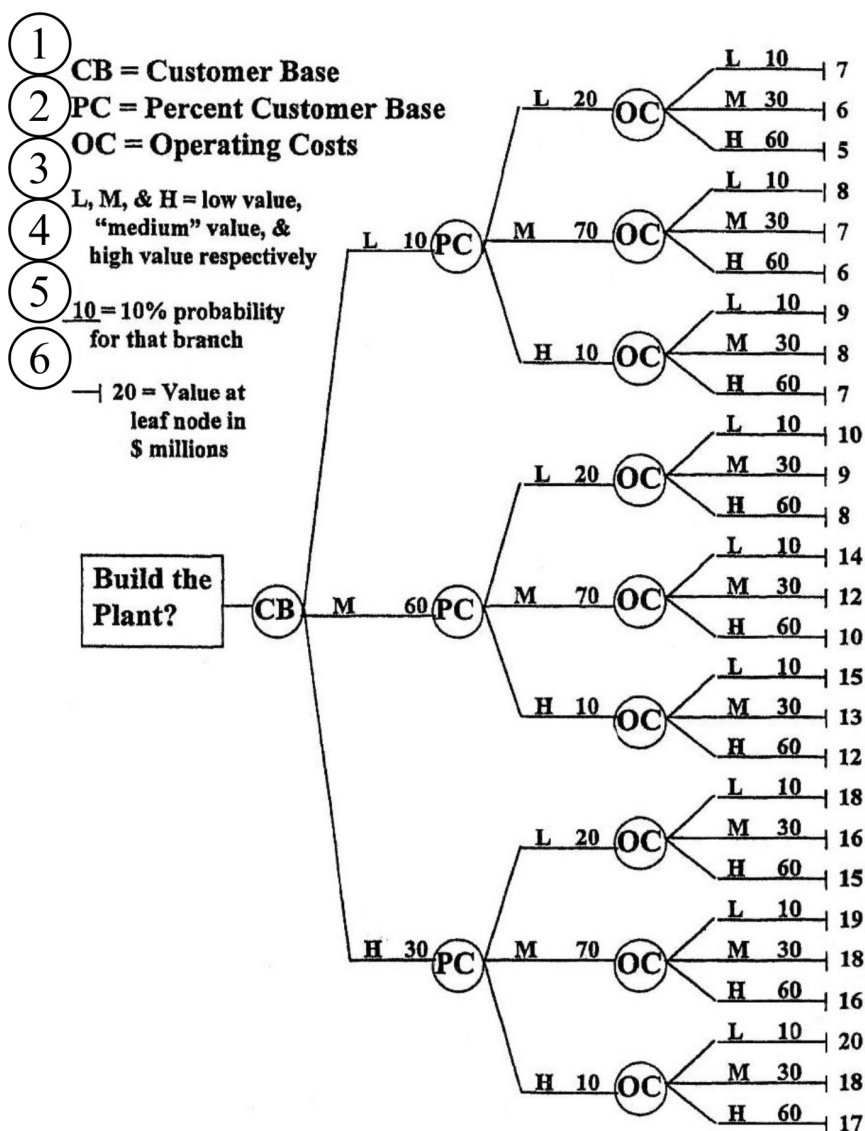


Рис. 5.4. Трехфакторное аналитическое дерево решений

1 – потребительская база; 2 – часть потребительской базы, которой необходима продукция завода; 3 – стоимость произведенной продукции (текущие расходы); 4 – низкая, средняя, высокая оценки; 5 – вероятность для ветви; 6 – прогнозируемый годовой доход по каждой ветви дерева решений.

вероятности, и позволяющий получить результаты, соответствующие этим распределительным функциям.

Таблица 5.2 – Вероятностные результаты расчета прибыли завода по разным ветвям дерева решений, млн. долл.

$0,1 \times 0,2 \times 0,1 \times 7 = 0,014$	$0,6 \times 0,1 \times 0,1 \times 15 = 0,09$
$0,1 \times 0,2 \times 0,3 \times 6 = 0,036$	$0,6 \times 0,1 \times 0,3 \times 13 = 0,234$
$0,1 \times 0,2 \times 0,6 \times 5 = 0,012$	$0,6 \times 0,1 \times 0,6 \times 12 = 0,432$
$0,1 \times 0,7 \times 0,1 \times 8 = 0,056$	$0,3 \times 0,2 \times 0,1 \times 18 = 0,108$
$0,1 \times 0,7 \times 0,3 \times 7 = 0,147$	$0,3 \times 0,2 \times 0,3 \times 16 = 0,288$
$0,1 \times 0,7 \times 0,6 \times 6 = 0,252$	$0,3 \times 0,2 \times 0,6 \times 15 = 0,54$
$0,1 \times 0,1 \times 0,1 \times 9 = 0,009$	$0,3 \times 0,7 \times 0,1 \times 19 = 0,399$
$0,1 \times 0,1 \times 0,3 \times 8 = 0,024$	$0,3 \times 0,7 \times 0,3 \times 18 = 1,134$
$0,1 \times 0,1 \times 0,6 \times 7 = 0,042$	$0,3 \times 0,7 \times 0,6 \times 16 = 2,016$
$0,6 \times 0,2 \times 0,1 \times 10 = 0,12$	$0,3 \times 0,1 \times 0,1 \times 20 = 0,06$
$0,6 \times 0,2 \times 0,3 \times 9 = 0,324$	$0,3 \times 0,1 \times 0,3 \times 18 = 0,162$
$0,6 \times 0,2 \times 0,6 \times 8 = 0,576$	$0,3 \times 0,1 \times 0,6 \times 17 = 0,306$
$0,6 \times 0,7 \times 0,1 \times 14 = 0,588$	Итого 12,001
$0,6 \times 0,7 \times 0,3 \times 12 = 1,512$	
$0,6 \times 0,7 \times 0,6 \times 10 = 0,09$	

Рассмотрим еще один методический пример применения дерева решений.

Менеджер проекта планирует для выполнения одной из строительных операций применение подъемного крана. Табл. 5.3 показывает альтернативы размера кранов и их возможной производительности, выражающейся в днях выполнения операций.

Менеджер должен решить, какой из кранов он должен взять в аренду. Известно при этом, что намеченная операция не находится на критическом пути и не задерживает общий срок работ. Традиционный анализ показывает, что в этих условиях нет преимуществ применения большого крана для ускорения работ. Кроме того, большой кран имеет более высокую стоимость аренды.

Таблица 5.3 – Характеристика работы кранов

Продолжительность работ	Средний кран		Большой кран	
	вероятность	дни	вероятность	дни
Малая	0,3	16	0,3	12
Средняя	0,5	18	0,5	14
Большая	0,2	23	0,2	18

Однако, вероятностная модель обнаруживает возможность для запланированной операции оказаться на критическом пути общего графика строительства. Предположим, что вероятность этого составляет 0,3 (30%), тогда вероятность того, что операция останется не на критическом пути будет равна 0,7 (70%). Табл. 5.3 показывает продолжительность работы крана безотносительно к тому, на каком пути графика находится рассматриваемая операция.

Начальная стоимость доставки крана на строительную площадку равна 10,0 тыс. долл. для среднего крана и 15 тыс. долл. для большого крана. Дневная зарплата бригады составляет 1,5 тыс. долл. и 2 тыс. долл. соответственно.

В типичной модели проекта можно сделать следующие допущения:

- если операция находится на критическом пути, она задерживает проект на полное время, необходимое для ее выполнения;

- если операция не находится на критическом пути, она никак не воздействует на своевременное выполнение проекта.

Следует также учитывать, что раннее завершение проекта добавляет 17 тыс. долл. в день к стоимости активов компании. Симметрично каждый день задержки уменьшает их на эту сумму, что имеет смысл только в том случае, когда операция находится на критическом пути.

В оценке альтернатив размеров крана общие затраты могут быть представлены, как сумма:

общие затраты = начальная стоимость крана + (дневное обслуживание крана + стоимость дневной задержки) x число дней операции.

В табл. 5.4 показана оплата работы кранов, продолжительность их использования и вероятность выполнения операции, принятые в соответствии с деревом решений (рис. 5.5).

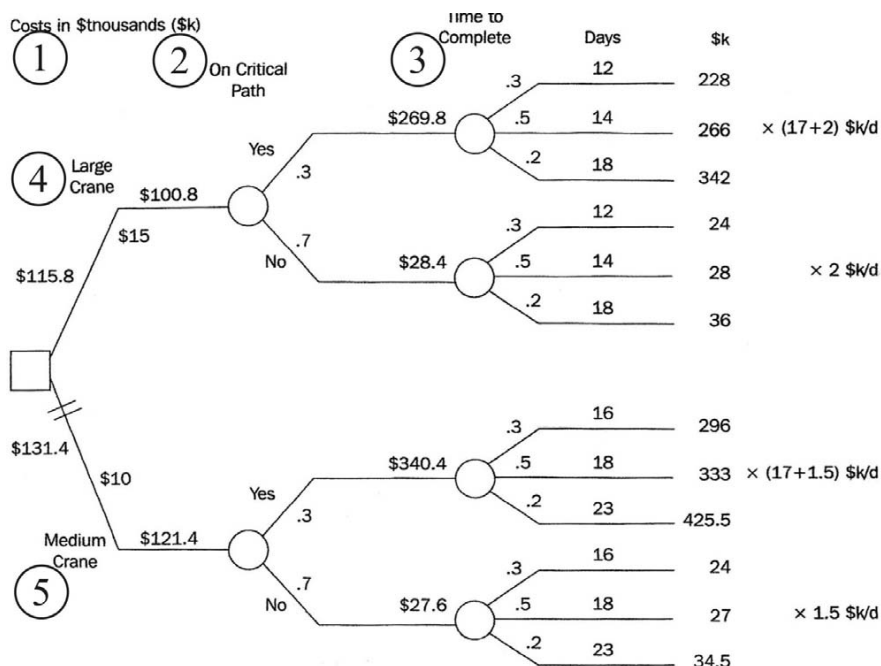


Рис. 5.5. Дерево решений выбора крана

1 – стоимость, тыс. долл.; 2 – на критическом пути; 3 – продолжительность; 4 – большой кран; 5 – средний кран.

Некоторые объяснения к табл. 5.4 и рис. 5.5:

- текущие затраты, связанные с работой крана, определяются произведением продолжительности его работы и ежедневными расходами. Например, при малой продолжительности работ для большого крана они равны $12 \times (17 + 2) = 228$ тыс. долл., для среднего крана $16 \times (17 + 1,5) = 296$ тыс. долл.;

- значения общей стоимости в табл. 5.4 получены, как сумма текущих затрат и стоимости доставки крана на площадку. Например, для большого крана она равна $228 + 15 = 243$ тыс. долл., для среднего крана $296 + 10 = 306$ тыс. долл.

Остальные значения определяются стоимостью и вероятностью событий.

Таблица 5.4 – Оплата работы кранов продолжительности их использования и вероятность завершения операции

Продолжительность работ	Вероятность	Большой кран		Средний кран	
		общая стоимость, тыс. долл.	вероятность х стоимость	общая стоимость, тыс. долл.	вероятность х стоимость
Критический путь					
Малая	0,3 х 0,3	243,0	21,87	306,0	27,54
Средняя	0,3 х 0,5	281,0	42,15	343,0	78,99
Большая	0,3 х 0,2	357,0	21,42	435,5	26,13
Не критический путь					
Малая	0,7 х 0,3	39,0	8,19	34,0	7,14
Средняя	0,7 х 0,5	43,0	15,05	37,0	12,95
Большая	0,7 х 0,2	51,0	7,14	44,5	6,23
Ожидаемая стоимость			115,82		131,44

Рассмотрим еще один пример, когда частью строительства золотодобывающей шахты является установка очистки подземной воды и фактические данные показывают превышение над прогнозируемым уровнем ее загрязнения тяжелыми металлами. Монтаж дополнительного модуля очистной установки потребует увеличения капитальных и эксплуатационных затрат, а также может привести к задержке сдачи шахты в работу.

При выборе решения о расширении очистной установки рассматриваются следующие варианты (рис. 5.6):

- приобретение использовавшегося ранее модуля передвижной установки;
- приобретение нового передвижного модуля;
- приобретение нового стационарного модуля.

Анализ показал, что приобретение и монтаж модуля очистной установки связаны со следующими параметрами (табл. 5.5 и 5.6).

Таблица 5.5 – Стоимость приобретения и монтажа разных видов модуля, тыс. долл.

Расходы	Модули		
	использовавшийся передвижной	новый передвижной	новый стационарный
Приобретение и монтаж	650	1480	1150
Остаточная стоимость	0	600	200
Эксплуатационные расходы	8,0	6,3	5,0

Таблица 5.6 – Продолжительность и ее вероятность приобретения и монтажа модуля

Вид модуля	Вероятность события	Продолжительность, мес.
Использовавшийся передвижной	0,3	3
	0,35	4
	0,35	12
Новый передвижной	0,2	4
	0,6	5
	0,2	6
Новый стационарный	0,2	5
	0,5	6
	0,3	8

Следует также иметь ввиду, что задержка с началом работы шахты из-за неготовности установки очистки подземной воды приводят к ущербу 150000 долл. в месяц. Наоборот, раннее завершение работ имеет противоположный эффект. Предполагается также, что шахта будет работать 6 лет.

В прогнозируемой экспертами модели денежных потоков учитывается инфляция, стоимость капитала (с приведением его размера к текущему моменту), амортизационные отчисления, налоги. При этом используются:

- результаты изучения рынка, проведенные ранее аналогичные исследования и расчеты, исторические данные подобных объектов;
- интервьюирование экспертов, «мозговые штурмы», другие методы интеллектуальных усилий;
- моделирование отдельных задач, входящих в общую систему.

Как видно из представленных данных, использовавшийся ранее передвижной модуль имеет наименьшую начальную стоимость, новый передвижной модуль имеет наименьшую продолжительность приобретения и монтажа, средние эксплуатационные расходы, наибольшую остаточную стоимость. Стационарный модуль имеет наименьшие эксплуатационные расходы и средние капитальные затраты.

Из этого анализа следует, что ни один из вариантов не имеет доминирующей альтернативы.

На рис. 5.6 показано дерево начального выбора решения, а также следующие соотношения (в тыс. долл.):

$$EV(5) = 0,3(785) - 0,4(875) + 0,3(965) = 875$$

$$EV(6) = 0,3(875) - 0,4(875) + 0,3(965) = 901$$

$$EV(7) = 0,3(1594) - 0,4(1594) + 0,3(1594) = 1594$$

$$EV(8) = 0,3(1023) - 0,4(1023) + 0,3(1115) = 1050$$

$$EV(9) = 0,3(1115) - 0,4(1115) + 0,3(1115) = 1115$$

$$EV(10) = 0,3(1207) - 0,4(1207) + 0,3(1207) = 1207$$

$$EV(11) = 0,3(1007) - 0,4(1007) + 0,3(1007) = 1007$$

$$EV(12) = 0,3(1098) - 0,4(1098) + 0,3(1098) = 1098$$

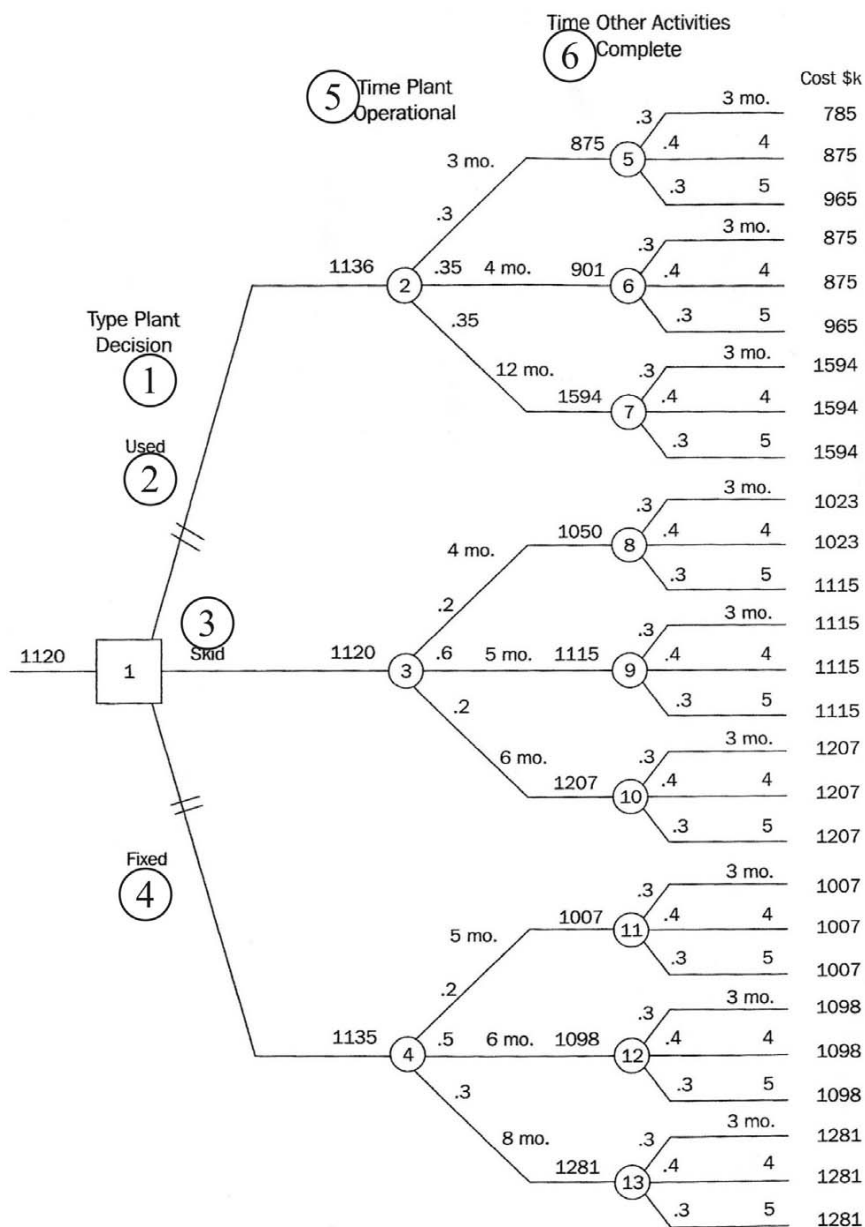


Рис. 5.6. Дерево решений выбора вида установки очистки шахтной воды

Объяснения к рис. 5.6:

1 – решения выбора вида установки; 2 – использовавшийся ранее модуль; 3 – новый передвижной модуль; 4 – новый стационарный модуль; 5 – продолжительность работы установки; 6 – продолжительность других операций.

$$EV(13) = 0,3(1281) - 0,4(1281) + 0,3(1281) = 1281$$

Отсюда следует:

$$EV(2) = 0,3 EV(5) + 0,35 EV(6) + 0,35 EV(7) = \\ = 0,3(875) + 0,35(901) + 0,35(1594) = 1136 \text{ тыс. долл.}$$

$$EV(3) = 0,2 EV(8) + 0,6 EV(9) + 0,2 EV(10) = \\ = 0,2(1050) + 0,6(1115) + 0,2(1207) = 1120 \text{ тыс. долл.}$$

$$EV(4) = 0,2 EV(11) + 0,5 EV(12) + 0,3 EV(13) = \\ = 0,2(1007) + 0,5(1098) + 0,3(1281) = 1135 \text{ тыс. долл.}$$

Ожидаемые минимальные затраты составят:

$$EV(1) = \text{Minimum} [EV(2), EV(3), EV(4)] = \\ = \text{Minimum} (1136, 1120, 1135) = 1120 \text{ тыс. долл.}$$

Из анализа дерева решений видно, что лучшим вариантом является приобретение нового передвижного модуля станции очистки подземной воды, хотя его преимущество над двумя другими вариантами невелико.

Развитием дерева решений, связанного со строительством очистной станции, является учет дополнительных испытаний использовавшегося ранее передвижного модуля (рис. 5.7). Предполагается, что эти испытания потребуют 30 тыс.долл. При том, что число альтернатив дерева решений, показанного на рис. 5.6 составляет 27, дополнительные варианты, связанные с оценкой имеющегося модуля, приводят к необходимости рассмотрения $27 \times 2 = 54$ альтернатив, поскольку результаты испытаний могут быть позитивными или негативными.

Далее приводятся еще два примера применения дерева решений, заимствованные из сайта интернета «Дерево решений – графическое изображение процесса принятия решений»

(http://www.rusconsult.ru/cms-news.php? mode=view_news&id=449).

Каждая альтернатива в этих примерах оценивается значением ожидаемой денежной стоимости EMV.

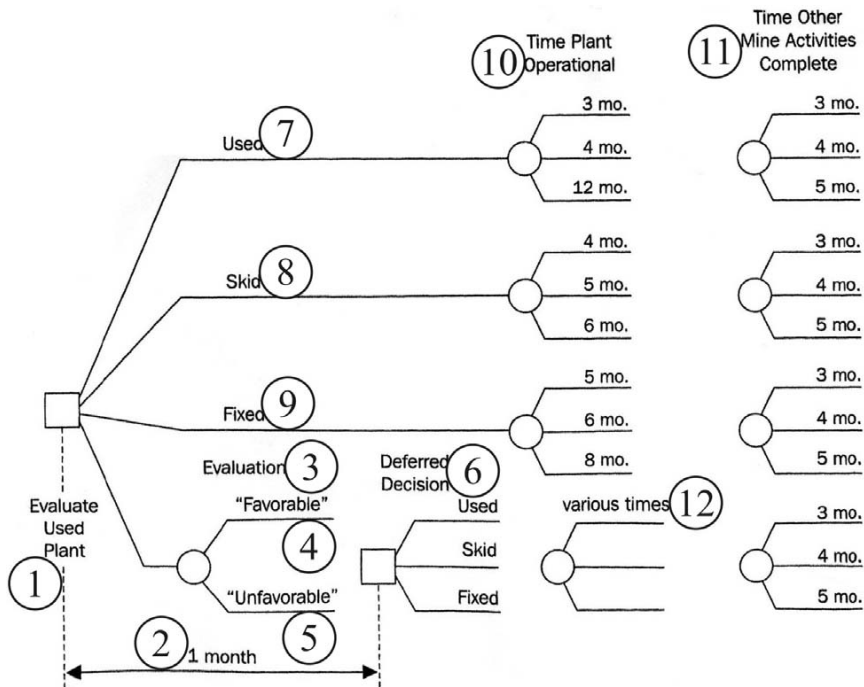


Рис. 5.7. Дерево решений выбора вида установки очистки шахтной воды с дополнительными испытаниями использовавшегося ранее модуля

1 – оценка использовавшегося модуля; 2 – 1 месяц; 3 – оценка результата; 4 – благоприятный; 5 – неблагоприятный; 6 – отличающиеся решения; 7 – использовавшийся ранее модуль; 8 – новый передвижной модуль; 9 – новый стационарный модуль; 10 – продолжительность работы установки; 11 – продолжительность других операций; 12 – различная продолжительность.

Пример 1. В компании рассматривается вопрос целесообразности монтажа производственной линии, использующей

новейшую технологию. При ее безотказной работе компания получит прибыль 200 млн. долл. В случае отказа убыток составит 150 млн. долл. Вероятность отказа по оценкам экспертов ожидается равной 60%.

Учитывая такую высокую вероятность отказа, необходимо рассмотреть целесообразность строительства экспериментальной установки стоимостью 10 млн. долл. При ее успешной работе вероятность безотказной работы производственной линии составит 90%. При отрицательном результате испытаний экспериментальной установки существует только 20% успеха производственной линии.

С помощью дерева решений (рис. 5.8) менеджмент пытается ответить на вопросы:

- следует ли строить экспериментальную установку?
- следует ли монтировать производственную линию?
- какова ожидаемая стоимостная оценка наилучшего решения?

Для ответа на эти вопросы проводится следующий анализ дерева решений.

В узле F возможны исходы «линия работает» с вероятностью 0,4 (что приносит прибыль 200) и «линия не работает» с вероятностью 0,6 (что приносит убыток -150). Оценка $EMV(F)$ составляет:

$$EMV(F) = 0,4 \times 200 + 0,6 \times (-150) = -10.$$

Это число записывается над узлом F:

$$EMV(G) = 0.$$

В узле 4 проводится выбор между решением «монтируем линию» (оценка этого решения $EMV(F) = -10$) и решением «не монтируем линию» (оценка этого решения $EMV(G) = 0$):

$$\max [EMV(F), EMV(G)] = \max [-10, 0] = 0 = EMV(4).$$

Эта оценка записывается над узлом 4, а решение «монтируем линию» отбрасывается.

Аналогично:

$$EMV(B) = 0,9 \times 200 + 0,1 \times (-150) = 180 - 15 = 165,$$

$$EMV(C) = 0,$$

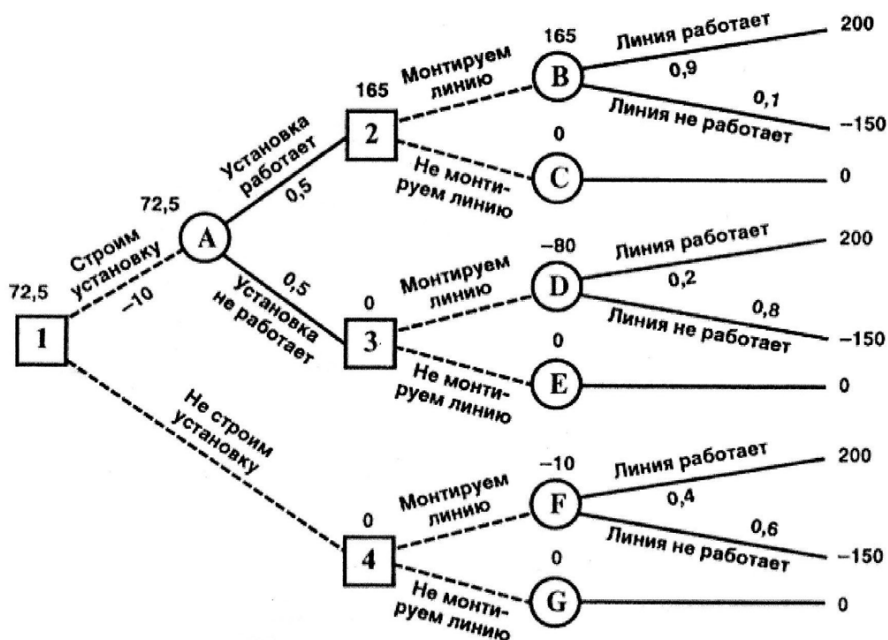


Рис. 5.8. Дерево решений целесообразности монтажа производственной линии

$$EMV(2) = \max [EMV(B), EMV(C)] = \max (165, 0) = 165 = EMV(2).$$

В узле 2 отбрасывается возможное решение «не монтируем линию».

$$EMV(D) = 0,2 \times 200 + 0,8 \times (-150) = 40 - 120 = -80.$$

$$EMV(E) = 0.$$

$$EMV(3) = \max [EMV(D), EMV(E)] = \max (-80, 0) = 0 = EMV(3).$$

В узле 3 отбрасывается возможное решение «монтируем линию».

$$EMV(A) = 0,5 \times 165 + 0,5 \times 0 - 10 = 72,5.$$

$$EMV(1) = \max [EMV(A), EMV(4)] = \max (72,5, 0) = 72,5 = EMV(1).$$

В узле 1 отбрасывается возможное решение «не строим установку».

Результаты анализа дерева решений показывают, что ожидаемая оценка наилучшего решения равна 72,5 млн. долл. Принимается решение о строительстве экспериментальной установки и, в случае ее успешной работы, - о монтаже производственной линии.

Пример 2. Компания рассматривает 3 варианта строительства завода.

Вариант А. Строительство большого завода стоимостью $M_1 = 700$ тыс. долл. При этом варианте возможны высокий спрос на продукцию завода (годовой доход в размере $R_1 = 280$ тыс. долл. в течение следующих 5 лет) с вероятностью $P_1 = 0,8$ и низкий спрос (ежегодные убытки $R_2 = 80$ тыс. долл.) с вероятностью $P_2 = 0,2$.

Вариант В. Строительство малого завода стоимостью $M_2 = 300$ тыс. долл. При этом варианте возможны высокий спрос (годовой доход $R_3 = 180$ тыс. долл. в течение следующих 5 лет) с вероятностью $P_3 = 0,8$ и низкий спрос (ежегодные убытки $R_4 = 55$ тыс. долл.) с вероятностью $P_4 = 0,2$.

Вариант С. Задержка строительства завода на один год для сбора дополнительной информации, которая может быть позитивной с вероятностью $P_5 = 0,7$ или негативной с вероятностью $P_6 = 0,3$. В случае позитивной информации можно построить завод по указанной выше стоимости, а вероятности высокого и низкого спроса оценить как $P_7 = 0,9$ и $P_8 = 0,1$ соответственно. Доходы на последующие 4 года остаются прежними. В случае негативной информации завод строиться не будет.

Рассмотрим дерево решений рис. 5.9.

Ожидаемая стоимостная оценка узла А равна:

$$EMV(A) = 0,8 \times 1400 + 0,2 \times (-400) - 700 = 340.$$

Далее

$$EMV(B) = 0,8 \times 900 + 0,2 \times (-275) - 300 = 365.$$

$$EMV(D) = 0,9 \times 1120 + 0,1 \times (-320) - 700 = 276.$$

$$EMV(E) = 0,9 \times 720 + 0,1 \times (-220) - 300 = 326.$$

$$EMV(2) = \max [EMV(D), EMV(E)] =$$

$$= \max [276, 326] = 326 = EMV(E).$$

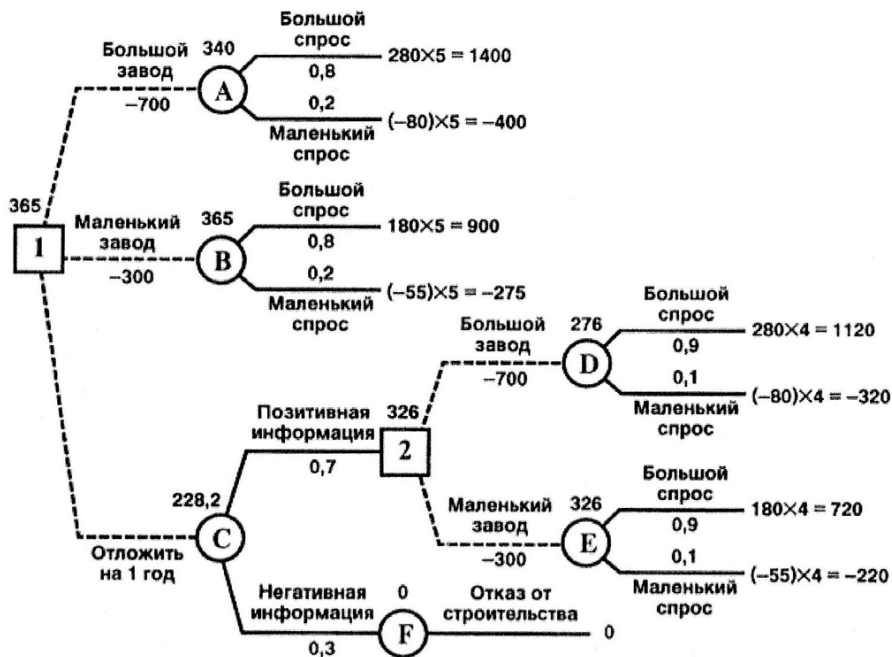


Рис. 5.9. Дерево решений целесообразности строительства завода

В узле 2 отбрасывается возможное решение «большой завод».

$$EMV(C) = 0,7 \times 326 + 0,3 \times 0 = 228,2.$$

$$EMV(1) = \max [EMV(A), EMV(B), EMV(C)] =$$

$$= \max [340, 365, 228,2] = 365 = EMV(B).$$

В узле 1 выбирается решение «малый завод». Ожидаемая стоимостная оценка этого лучшего решения – 365 тыс. долл.

5.3 Применение дерева решений с критерием полезности

Как видно из приведенных примеров, при анализе дерева решений используется, как правило, стоимостной критерий (обычно EMV - ожидаемая денежная стоимость). Однако, этот критерий не может быть единственным для каждой организации, принимающей решение. Большинство из них понимает, что вероятностная стоимостная оценка имеет смысл только в том случае, если организацией постоянно выполняются однотипные проекты, создающие достаточный для стохастического подхода объем «множества». Какой-то конкретный проект может случиться только однажды и поэтому организация имеет всего один шанс выполнить его правильно. Зная это, она осознает, что, опираясь на средний (ожидаемый) стоимостной критерий, например EMV:

- нет уверенности, что специфический проект будет иметь средний результат;
- появляется озабоченность в возможности неудачи или значительных потерь при выборе неблагоприятного решения.

В связи с этим необходимо понять, что методология дерева решений не требует применения только такого инструмента, как EMV. Решение о выборе целесообразного варианта проекта может базироваться на «ожидаемой полезности» (EU – expected utility) возможных результатов реализации решения. Здесь, однако, возникает трудность оценки полезности, которая не равна экономической оценке результата.

Для описания подхода к решению этой проблемы, представим, что мы – генеральный подрядчик, в контракте которого установлено наказание за каждый день задержки работ. Необходимо решить, какого субподрядчика следует привлечь для выполнения работы, находящейся на критическом пути графика при условии минимизации ожидаемых затрат. С этой целью рассматривается две возможности:

- привлечь субподрядчика с меньшей стоимостью субконтракта, однако, с менее надежной репутацией;

- привлечь субподрядчика с более высокой стоимостью работ, но с большей надежностью исполнения их сроков.

Анализ этих возможностей показан далее.

Допустим, что в первом случае стоимость работ субподрядчика равна 110 тыс. долл. Он может задержать работы на 90 суток с вероятностью 50% при штрафе, установленном заказчиком за задержку – 1000 долл/сут. Во втором случае стоимость работ субподрядчика равна 140 тыс. долл., но он может задержать работы только на 30 суток с вероятностью 10% и тем же штрафом 1000 долл/сут.

Мы хотим знать, существует ли какое-нибудь преимущество привлечения дорогого субподрядчика, и предполагаем, что это преимущество заключается в его большей надежности. Формальный анализ с использованием дерева решений позволит нам удостовериться в этом и документировать результаты для представления заказчику.

Из рис. 5.10 видно, что описанные обстоятельства, базисные на вероятностях и стоимостях неопределенных событий, могут привести к привлечению субподрядчика с большей стоимостью работ. В самом деле, в противном случае ущерб составит:

$$110 \times 0,5 + (110 + 90 \times 1)0,5 = 155 \text{ тыс. долл.}$$

Ущерб от привлечения более дорогого субподрядчика будет равен:

$$140 \times 0,9 + (140 + 30 \times 1)0,1 = 143 \text{ тыс. долл.}$$

Пример показывает, что при подобном подходе поведение организации, которая хочет выбрать минимально ожидаемые расходы (или максимально ожидаемую прибыль) может быть названа «нейтральной к риску». Такой подход свойственен компаниям, выполняющим большое число схожих проектов и понимающим, что при этом потери в одном из них будут компенсироваться успехами других проектов.

Однако, многие, если не все, организации относятся с осторожностью к ситуациям, где они будут уязвимы к большим потерям даже, если принятые решения могут также привести к значительным выгодам. Такое поведение

к значительным выгодам. Такое поведение называется «неприятием риска» и максимизирует «ожидаемую полезность» EU скорее, чем EMV.

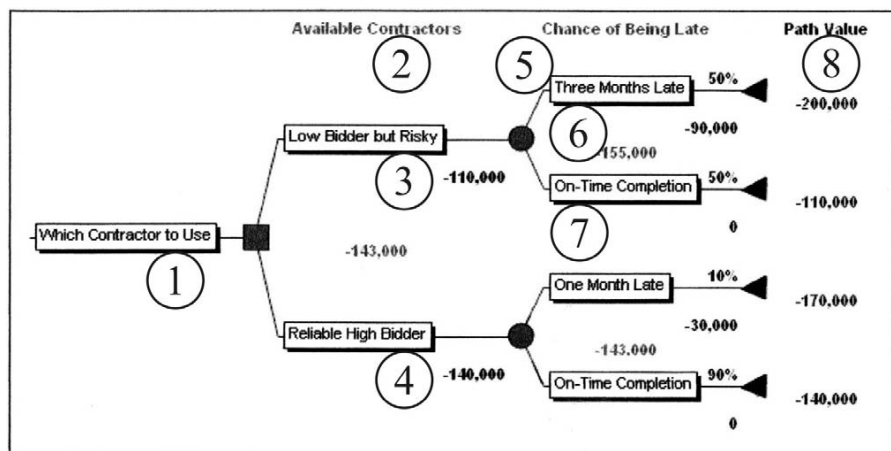


Рис. 5.10. Дерево решений выбора подрядчика

1 – решение о выборе подрядчика; 2 – возможные подрядчики;
3 – подрядчик с низкой стоимостью работ, но рискованный; 4 – подрядчик дорогой, но более надежный; 5 – шансы задержки проекта;
5 – задержка 3 мес.; 7 – своевременное завершение; 8 – затраты пути дерева решений.

Согласно экономико-математической терминологии, полезность (utility) – категория, применяемая для характеристики результатов эффективности экономических решений или деятельности организации. Принятая в таких случаях единицы полезности называется «ютиль» (util). Этому термину придается различный смысл в экономике, социологии, теории игр и др. В экономике широко распространены теории, которые строятся на базе «субъективной полезности», т.е. оценки тех или иных благ и ресурсов с точки зрения отдельного потребителя или производителя. Здесь «полезность» выступает синонимом таких понятий, как благополучие, удовлетворение, благосостояние.

Термин «полезность» служит удобным способом для количественного описания сопоставлений затрат и усилий с одной стороны и результатов – с другой. Такое сопоставление принято выражать в виде функции, для которой аргументом являются затраты и усилия. Дерево решений позволяет аналитику разработать функцию полезности, которая отражает степень неприятия организацией риска больших потерь.

Подобная организация часто испытывает большее опасение потерь при неудаче проекта, чем ожидание такой же по размеру выгоды при успешной реализации решений. В этой ситуации страх потери 1 млн. долл. существенно превышает надежду получить такую же сумму. Операция с «неприятием риска» не будет выполнять проект с шансами на успех 50%, поскольку гораздо сильнее предпочитает избежать потерь, чем выиграть такую же или большую сумму.

Сравнение «нейтрального к риску» поведения с «неприятием риска» показано на рис. 5.11. Здесь прямая линия (функция полезности) представляет «нейтральную к риску» стратегию организации, имеющей при реализации проекта прибыль или ущерб. Эта прямая линия ассоциирует полезность 100 ютилей на У-оси с прибылью 100 долл. Х-оси. Наоборот ущерб 100 долл. связан с показателем 100 ютилей. Для рассматриваемой организации принятие решения или отказ от него определяется суммой прибыли или ущерба.

Функция полезности для стратегии организации с «неприятием риска» имеет нелинейную (искривленную) форму и показывает прибыль 100 долл. при +100 ютилях, но потерю 100 долл. при – 369 ютилях, что подчеркивает опасность отрицательных последствий принимаемых решений.

Следует при этом отметить, что имеется много разных функций полезности, но на рис. 5.11 изображена только одна из них. Такие функции обычно показывают уменьшающиеся выгоды и увеличивающиеся негативные исходы и имеют нелинейный характер.

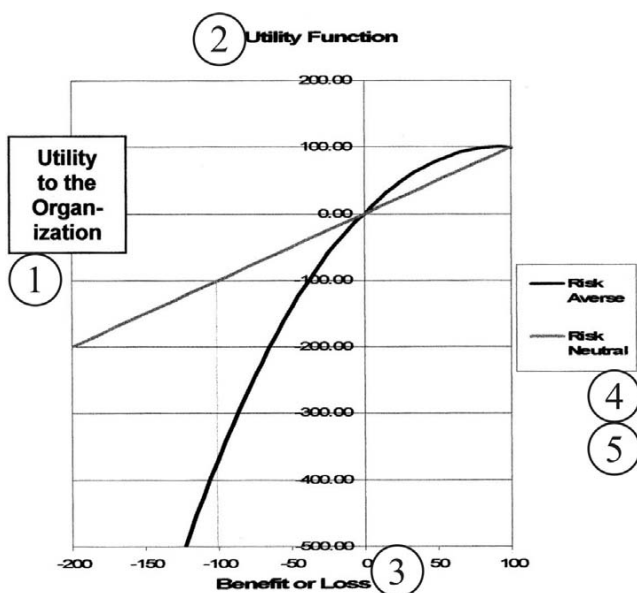


Рис. 5.11. Функция полезности при оценке рисков

1 – полезность для организации; 2 – функция полезности; 3 – прибыль или потери; 4 – неприятие риска; 5 – нейтральность к риску.

Рис. 5.12 может быть использован, чтобы рассчитать риск или благоприятный шанс узла дерева решений, когда известны возможные результаты и их вероятности. Разница между организациями, «нейтральными к риску» и с «неприятием риска» видна из табл. 5.7, где их возможности выиграть или проиграть 100 долл. имеют равную вероятность.

Таблица 5.7 – Сравнение функций линейной «нейтральной к риску» и нелинейной с «неприятием риска»

Альтернативные результаты		Оценка	
стоимость, долл.	вероятность, %	EMV, долл.	EU, ютилей
100	50	100	100
-100	50	-100	-369
Итого		0	-135

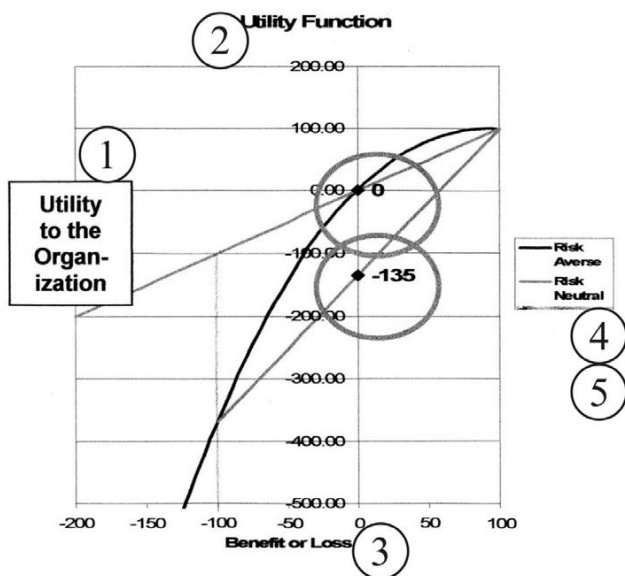


Рис. 5.12. Результаты сравнения оценки рисков для организаций «нейтральной к риску» и с «неприятием риска»
Обозначения, как на рис. 5.11.

Эта таблица показывает, что «нейтральная к риску» организация, оценивающая результаты проекта по критерию EMV, индифферентна к риску, результатом воздействия которого являются симметричные возможные показатели +100 долл. и -100 долл. Организация с «неприятием риска» в таких условиях категорически отвергает подобное решение, поскольку негативная «полезность» возможной потери 100 долл. равная -369 ютилей намного выше возможности выигрыша 100 долл. (всего 100 ютилей) (рис. 5.12).

Решение о выборе варианта проекта аналитик принимает на основе собственного отношения к приемлемости или неприятию риска. Первой задачей для выбора такого решения является построение кривой функции полезности, индивидуальной для каждого отдельного проекта. Лучшим путем для

этого служит рассмотрение альтернативных вариантов (числом, например от 6 до 10) стоимости и вероятности возможных сценариев.

5.4 Пример управления рисками в условиях неопределенности

Далее приводится пример управления рисками при модификации норвежских нефтяных платформ в Северном море.

В нефтяном поле Ekofisk, где добывается 300000 баррелей в сутки, расположенном в норвежском секторе Северного моря (рис. 5.13) в начале 1980-х гг. было обнаружено оседание центральной группы платформ и к 1985-86 гг. стало ясно, что его полное проседание может составить около 6 м и, следовательно, для сохранения платформ требуется их фундаментальная модификация. Уже в ближайшие два года при плохой погоде добыча нефти могла прекратиться (рис. 5.14, 5.15).

Решение об одновременном подъеме стальных опорных конструкций шести центральных платформ на 6,0 м позволило, во-первых, избежать аварийных перерывов в работе при сильном волнении, обычном для Северного моря, во-вторых, оставить нетронутыми нефтепроводы, мосты между платформами и бетонное нефтехранилище, которое не нуждалось в модификации.

Полный период остановки нефтедобычи не должен был превышать 28 суток, совпадая с регулярным двухнедельным перерывом на обслуживание и текущие ремонты. Общий срок работ, начиная от дизайна до возобновления добычи был чрезвычайно мал и составлял 16 месяцев. За этот период было необходимо создать компьютерную систему управления 120 домкратами, установить их, модифицировать и усилить опорные стальные структуры металлическими конструкциями ве-

сом 2500 т, разработать, изготовить и установить специальную монорельсовую систему (рис. 5.16, 5.17).

Объем этих работ был огромен, а временные рамки весьма ограничены. Все работы проводились в зоне морского волнения и брызг при плохой погоде.

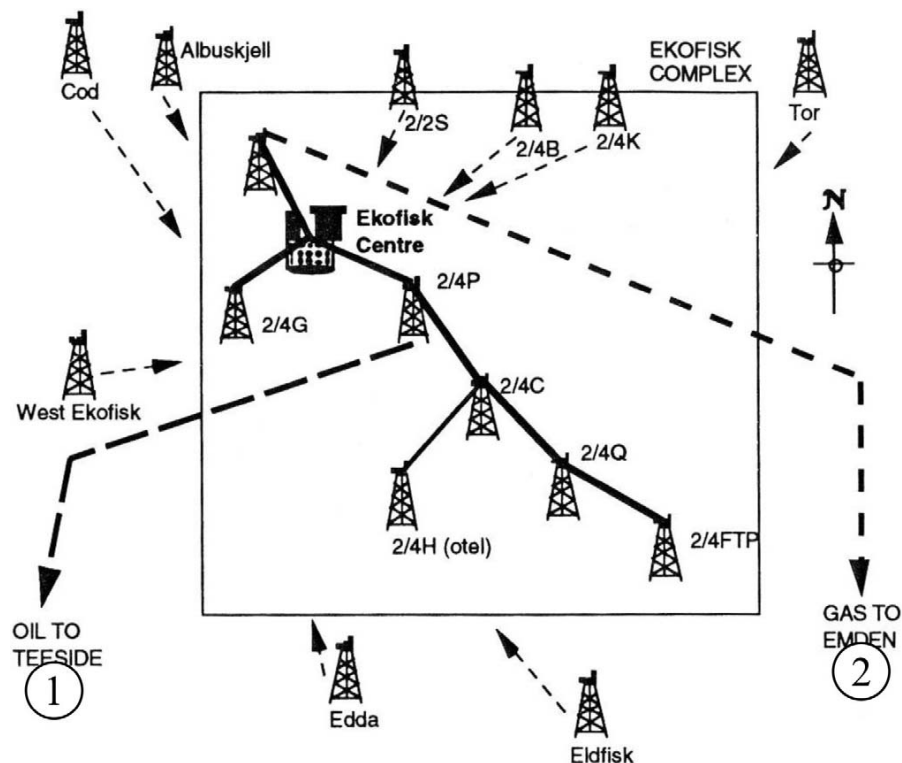


Рис. 5.13. Схема расположения буровых платформ в нефтяном поле Северного моря

Общепринятое детерминистское планирование, даже предпринятое в широком объеме, не могло обеспечить надежного прогнозирования вероятности успеха подъема платформ за лето 1987 г. В связи с этим применялся вероятностный метод, учитывающий риски необходимых производственных операций.

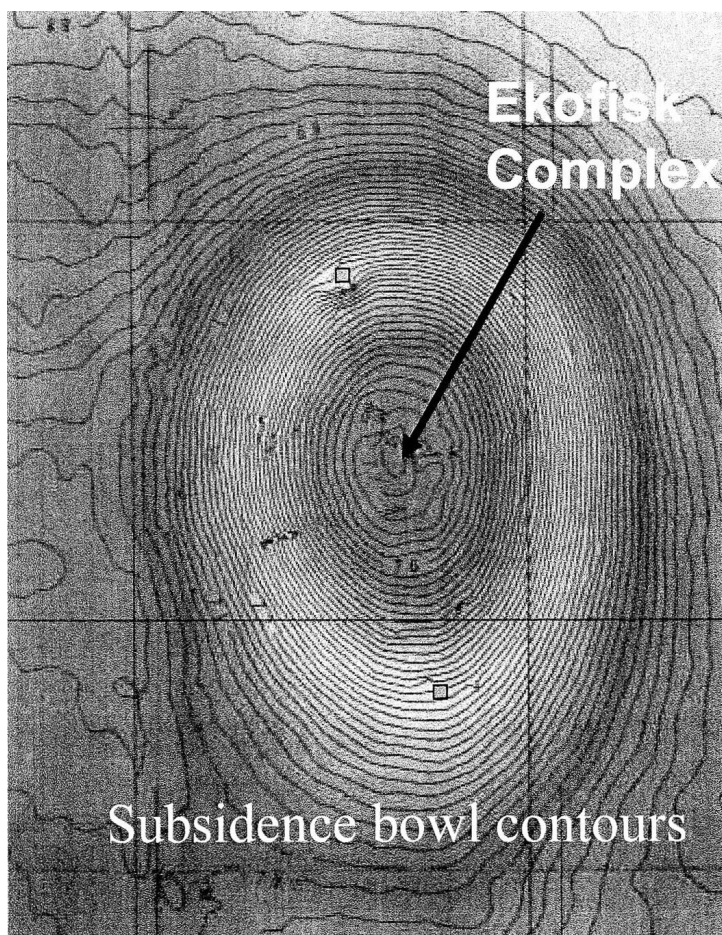


Рис. 5.14. Контуры мульды оседания морского дна

Был проведен анализ, целью которого были ответы на следующие вопросы:

- достижима ли дата, назначенная для окончания работ?
- какова вероятность ее достижения?
- каково возможное превышение срока работ?

Еще одной целью анализа была идентификация способов, которыми координируется и управляется проект, для чего ставились следующие вопросы:

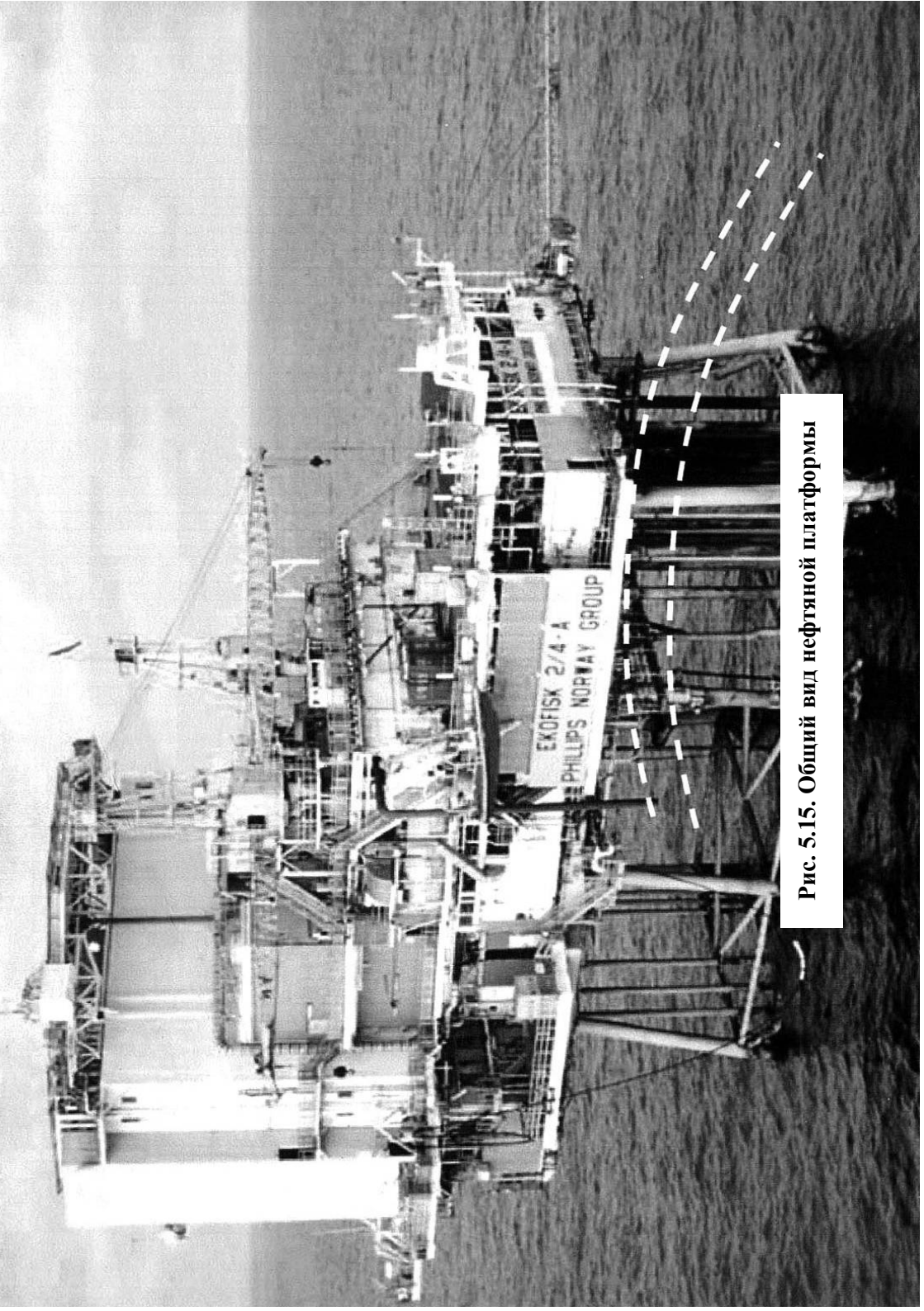


Рис. 5.15. Общий вид нефтяной платформы

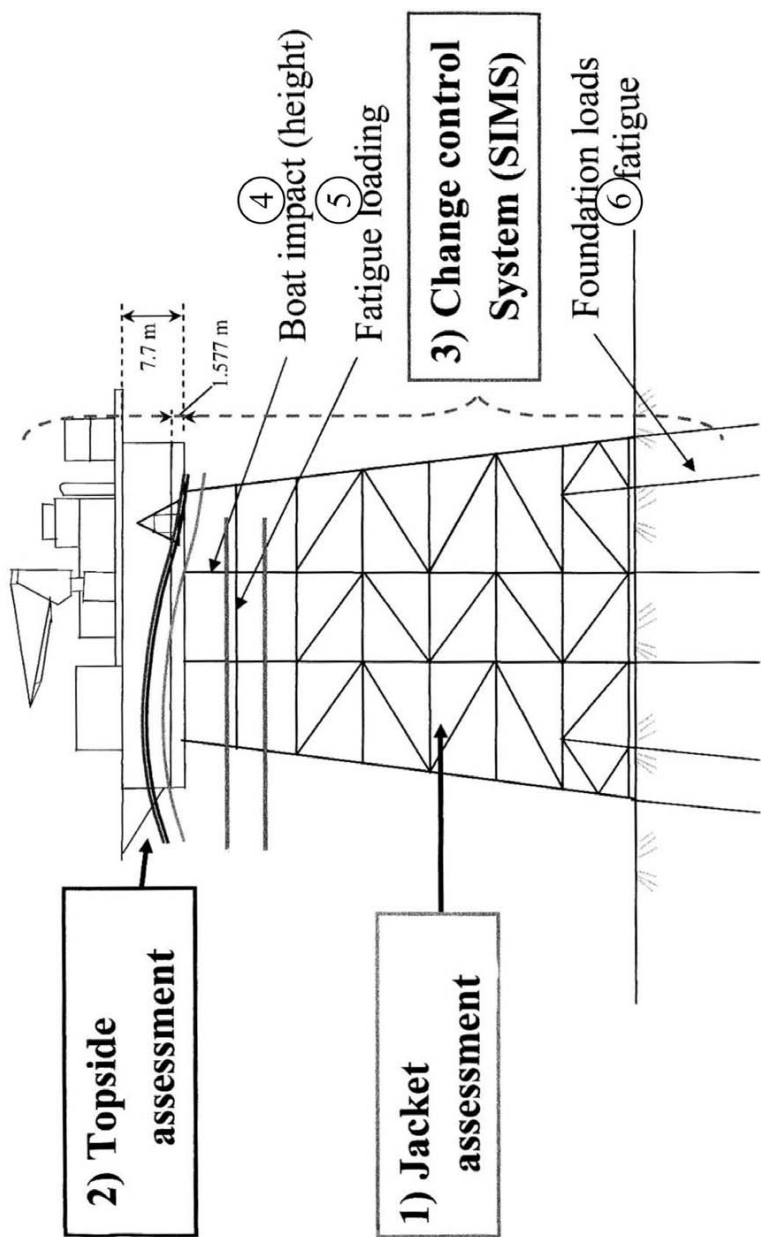


Рис. 5.16. Общая схема причин и объемов проведения работ по усилению нефтяной платформы
 1 – оценка опорного основания платформы; 2 – оценка верхнего строения платформы; 3 – контрольная система изменений; 4 – высота воздействия морской динамической нагрузки; 5 – усталостная нагрузка; 6 – усталостная нагрузка фундаментов.

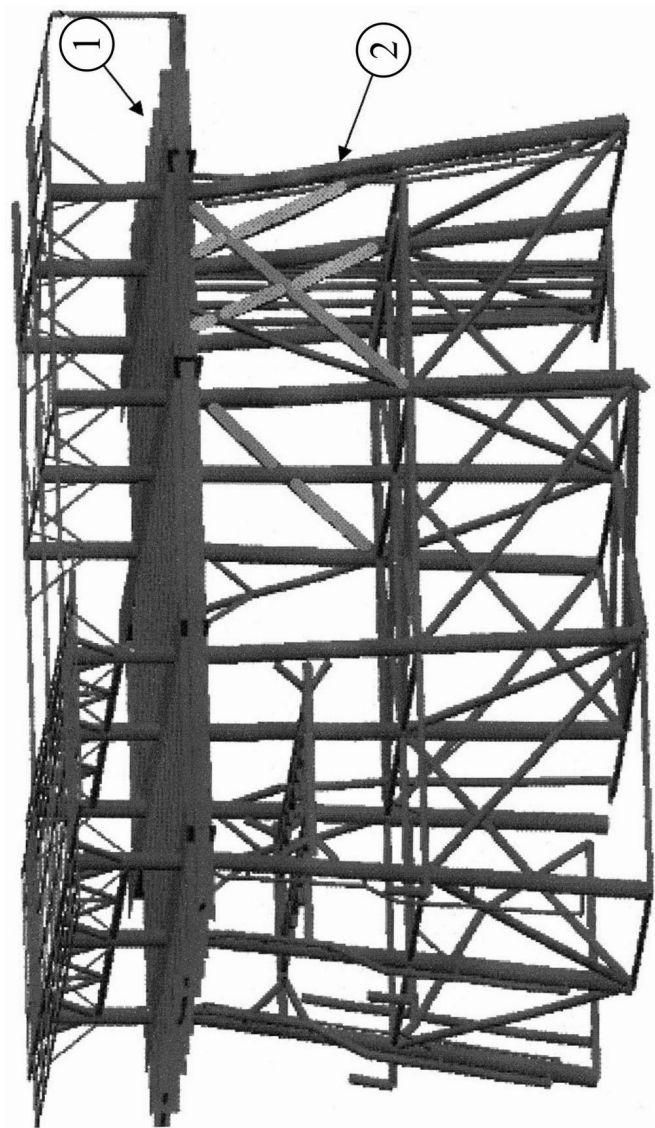


Рис. 5.17. Усиление металлических конструкций нефтяной платформы
1 – палуба платформ; 2 – опорная конструкция.

- где, учитывая неопределенность, имеются критические зоны, влияющие на успех работы?
- что может явиться критическими причинами?
- что должно быть сделано, чтобы увеличить вероятность своевременного завершения работ?

Для ответа на эти вопросы была разработана компьютерная модель, в состав которой входили 1200 операций, определяющих объем и продолжительность работ. Поставленные в задаче ограничения включали:

- количественный состав персонала в целом и на одной платформе;
- количество необходимых чел.-смен в сутки;
- наличие и продолжительность огнеопасных работ;
- необходимость и продолжительность работ на подвесных конструкциях;
- перерывы для получения разрешений на выполнение операций;
- состояние погоды – ветра и моря.

Погодные условия требовали наибольшего внимания. Рабочие зоны ограничивались высотой конструкций над уровнем моря. Соответственно, операции в этих зонах прерывались при условиях, превышающих установленный предел высоты волн и возобновлялись только после приемлемой продолжительности хорошей погоды.

Разрабатывались семь моделей погоды, отражающих фактические условия работы платформы, три модели высоты волн и одна модель скорости ветра. Источником данных были наблюдения за 6 лет работы на месторождении Ekofisk. В моделях индивидуально отражались также периоды хорошей и плохой погоды за пределами этого шестилетнего периода.

Имеющаяся информация использовалась в полном объеме. Ни один ее элемент не был исключен из состава данных. Каждый аспект модели, например, продолжительность работ, отражалась в виде распределения вероятностей. Учитывались

неопределенность стоимости работ и потенциальные технические проблемы.

Неопределенность в оценке стоимости была наиболее значительной. Оценки, прогнозируемые разными специалистами относились, как 2:1 для одних и тех же работ. Варьируемость данных определялась с использованием различных источников, мнений специалистов, опыта, полученного на конкретном месте строительства, исторических аналогий.

Потенциальные технические проблемы отражались информацией, полученной при эксплуатации платформ, например, прогнозировался возможный выход из строя домкратов во время морских работ. Эта информация моделировалась, как ответы на следующие вопросы:

- имеются ли шансы аварий?
- где это может случиться?
- какие конструкции и работы могут быть вовлечены в замену гидравлических домкратов весом 24 т, длиной 9 м?
- как много людей, как много дней может потребоваться?

Формы кривых распределения вероятностей зависели от имеющейся информации. Модель подготовительных работ содержала примерно 950 операций и 22 ресурса с их возможными ограничениями. Моделировалось 400 операций, на который могли воздействовать 7 интерактивных погодных модели.

При выполнении расчетов ставились две цели:

- подготовка к модификации платформ должна быть завершена к дате остановки добычи – 15 июля 1987 г.;
- остановка работ не должна превышать 28 дней.

Ожидаемые результаты оптимизации графика работ показаны на рис. 5.18 и суммированы в табл. 5.8.

Полученные результаты позволили убедить заказчика в малой вероятности завершения работ к 15 июля 1987 г. На самом деле они были окончены 10 августа 1987 г. Продолжительность остановки добычи составила 25 дней, благодаря

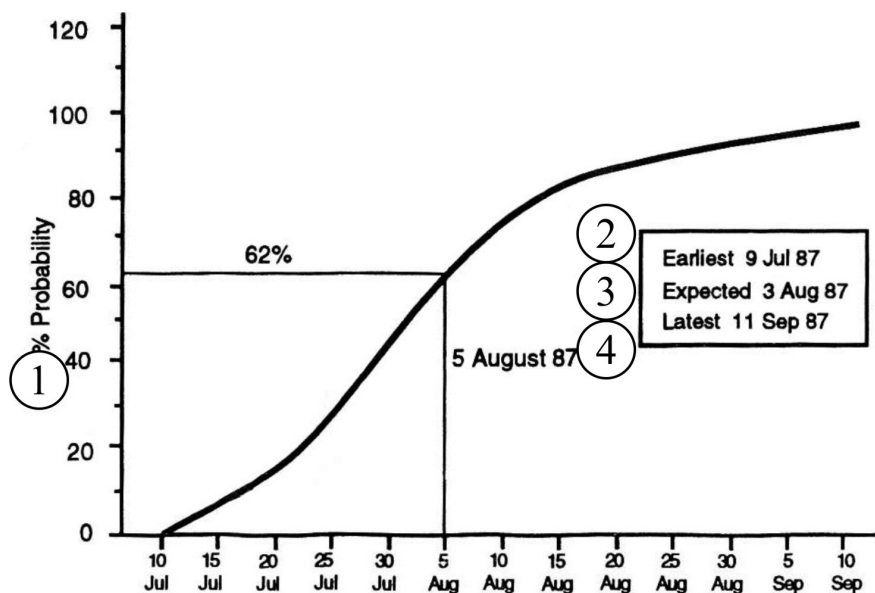


Рис. 5.18. Результаты оптимизации графика работ по усилению нефтяных платформ

*1 – вероятность; 2 – самый ранний срок; 3 – ожидаемый срок;
4 – самый поздний срок*

уменьшению объема работ, интенсивным инвестициям и планированию.

Таблица 5.8 - Ожидаемые результаты оптимизации графика работ

1. Остановка эксплуатации платформ	Вероятность достижения, %			
	1	60	80	99
Даты 1987 г.	09.07	15.08	10.08	11.09
Продолжительность, сут.	25	30	32	48
2. Желательный срок	Вероятность достижения			
15.07.87	2%			
28 суток	15%			

Глава 6. Примеры аварий при строительстве подземных зданий

6.1 Общие сведения

Основные решения управления рисками вырабатываются на основе анализа причин и последствий аварий, происходящих при строительстве подземных и наземных объектов.

Аварии в строящихся туннелях и других подземных сооружениях подробно рассмотрены авторами в книгах «Строительство туннелей», Донецк, «Норд-Пресс», 2006 и «Экологические аспекты подземного строительства», Донецк, «Норд-Пресс», 2009.

Поэтому далее описываются только примеры аварий при строительстве наземных зданий и сооружений.

Любое подземное строительство сопровождается сооружением временных и постоянных наземных и заглубленных объектов, расположенных в грунте и требующих поэтому решения геотехнических проблем и связанных с ними рисков. Эти же вопросы возникают при строительстве открытым способом или ремонте неглубоких подземных объектов, например туннелей. Антисейсмическая защита строений, предотвращение их подрботки подземным строительством также требуют анализа и учета геотехнических рисков.

Примером практических забот, возникающих в условиях риска при реализации строительных проектов, служат фундаментные и другие операции, зависящие от таких внешних обстоятельств, как погодные факторы, геологические и гидрогеологические проблемы, наличие существующей инфраструктуры. В рискованных ситуациях, связанных с этими факторами, от строителей требуется тщательное внимание, мастерство и усилия, позволяющие не отклоняться от запланированной последовательности работ.

Хотя имеется точка зрения, что прогнозируемый риск во временных работах допустим, разного рода защитные обшив-

ки, опалубки, подпорки и подкосы котлованов для заглубленного строительства подвержены серьезным авариям и повреждениям.

Часто временные нагрузки на структурные элементы здания, например, транспортные и монтажные, превышают предусмотренные дизайном, особенно, в предварительно изготовленных конструкциях. Дизайнер должен правильно определить такие нагрузки и описать в спецификациях последовательность монтажа доступно и понятно для строительного персонала.

6.2 Фундаментные работы

Иллюстрацией аварий при фундаментных работах может служить обрушение поддерживающей системы котлована в США в ноябре 1990 г. при экскавации фундамента глубиной 14,3 м. В условиях плотной городской застройки земляные работы представляли собой особую проблему из-за ограничения доступа, стесненности площадки, наличия прилегающих строений и инфраструктуры.

Наиболее общими причинами подобных аварий служат неадекватные или неустановленные элементы крепежных конструкций, их дефектные материалы, неспособность правильно оценить геотехническую обстановку, учесть изменяющиеся погодные условия, ошибки в локализации нагрузок вне зоны экскавации котлована или траншеи, необученность персонала.

Малые незапланированные события могут стать спусковым механизмом катастрофического обрушения даже при хорошем дизайне поддерживающей системы, такой, например, какая была установлена в трехярусном подземном гараже в Вашингтоне, в США в ранних 1960-х гг. Когда основная экскавация завершилась, последние порции разрыхленного грунта удалялись очень маленьким экскаватором «обратная лопата» со стоек ограждения. При попытке освободить ковш, за-

цепившийся за кромку стойки, она была втянута в котлован, что вначале вызвало небольшое локальное обрушение. Однако, затем возникшими дополнительными силами были повреждены два нижних комплекта поперечных раскосов, воздействуя на оставшуюся верхнюю раму (рис. 6.1). Авария привела к закрытию прилегающей автотрассы и необходимости установки новой линии временных стоек.

Одной из многих технических проблем, возникающих в ходе строительства фундаментов, является повреждение прилегающих строений и инфраструктуры. Эскавация нарушает уровень подземных вод и перераспределяет давление грунта, что особенно опасно для исторических структур, построенных на деревянных сваях в насыпных грунтах. Некоторые из этих структур являются памятниками архитектуры, как например, отель Copley Plaza и церковь Trinity в Boston, Массачусетс, США (рис. 6.2). Здесь поддерживающие стены котлована строящегося офисного здания сдвинулись на 840 мм, вызвав оседание уровня улицы на 460 мм и перемещение фундамента церкви, из-за чего ее центральная башня наклонилась на 125 мм, а в структурных арках появились трещины. Компенсационные выплаты строителей после судебного процесса, продолжавшегося 17 лет, составили 11,6 млн. долл., которые потребовались для полного сноса и последующего нового строительства исторического кирпичного здания.

6.3 Наземные здания

Некоторые временные нагрузки не прогнозируются дизайном и должны тщательно отслеживаться менеджментом строительства (рис. 6.3). Штабелирование тяжелых материалов таких, как металл или кирпич, было причиной многочисленных катастрофических аварий.

Трое рабочих погибло в декабре 1985 г. в Los Angeles. Калифорния, США, когда структурные стальные конструкции весом 80 т складировались на одном пролете пятого этажа 21-

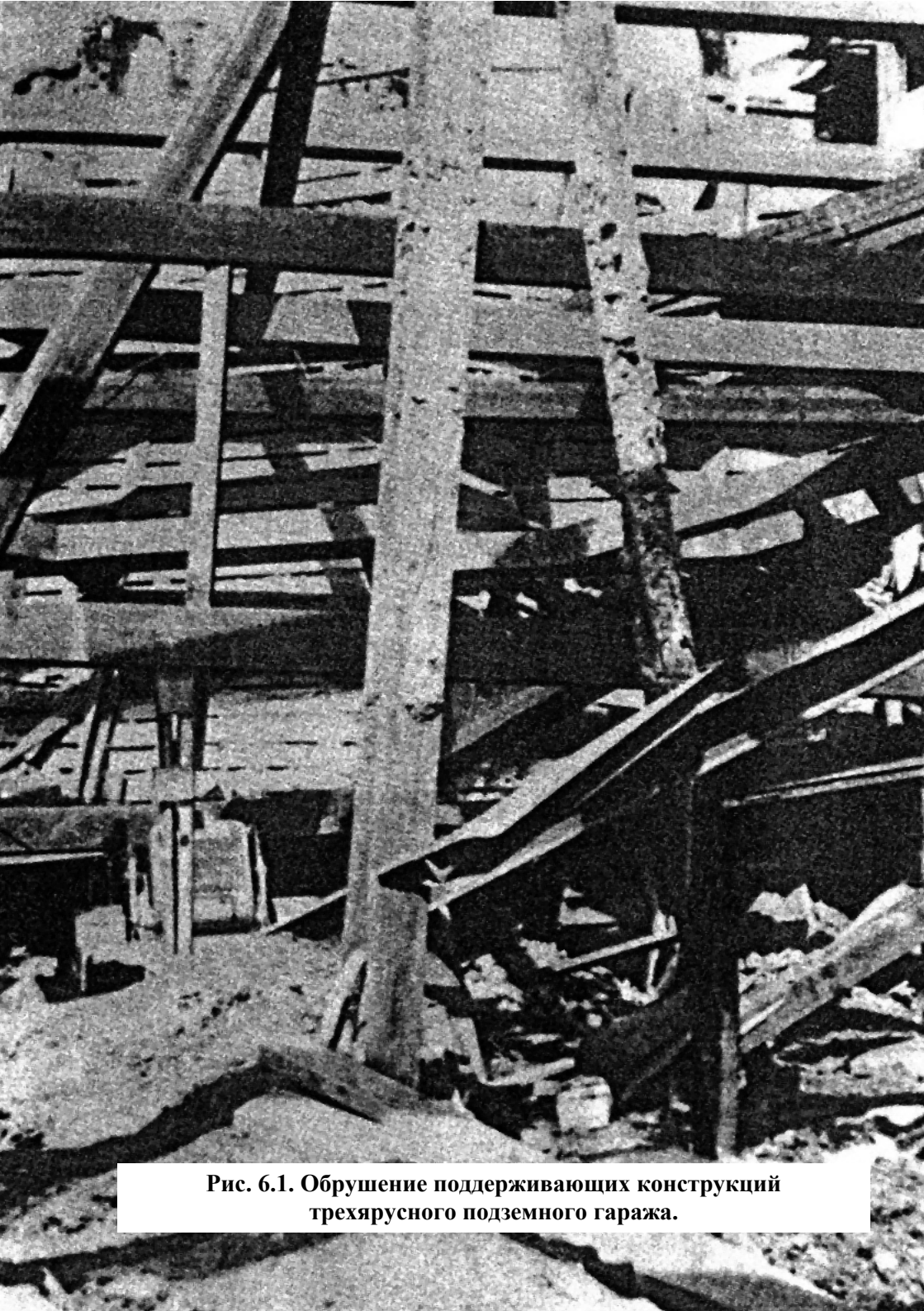


Рис. 6.1. Обрушение поддерживающих конструкций
трехярусного подземного гаража.

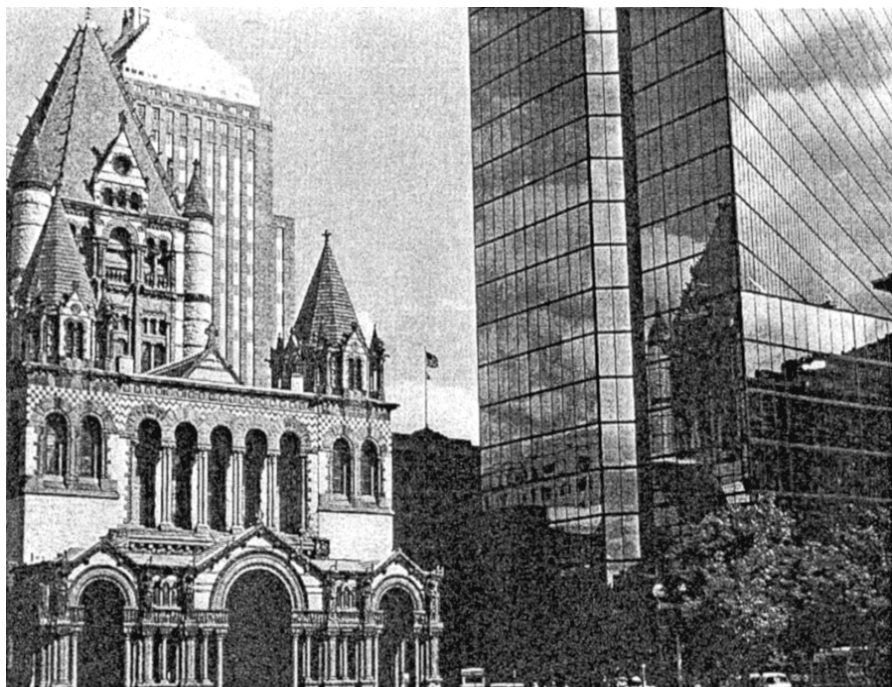


Рис. 6.2. Историческое здание церкви Trinity Church, поврежденное при земляных работах прилегающего котлована высотного здания Boston's John Hancock

этажного здания. Пролет был нагружен с более, чем двойным превышением его возможности, что привело к разрыву болтовых соединений и обрушению трех несущих балок.

Другой общей причиной структурных аварий во время строительства является наличие материалов и конструкций, которые имеют прочность меньшую, чем прогнозировалось. Для многих видов строительства, особенно, в случаях применения монолитного железобетона, это может быть главным источником строительных аварий.

За многие травмы и смертельные случаи ответственно преждевременное удаление опалубки или системы подкосов, как и приложение строительных нагрузок к недостаточно вы-

держанному бетону, еще не достигшему необходимой несущей способности.

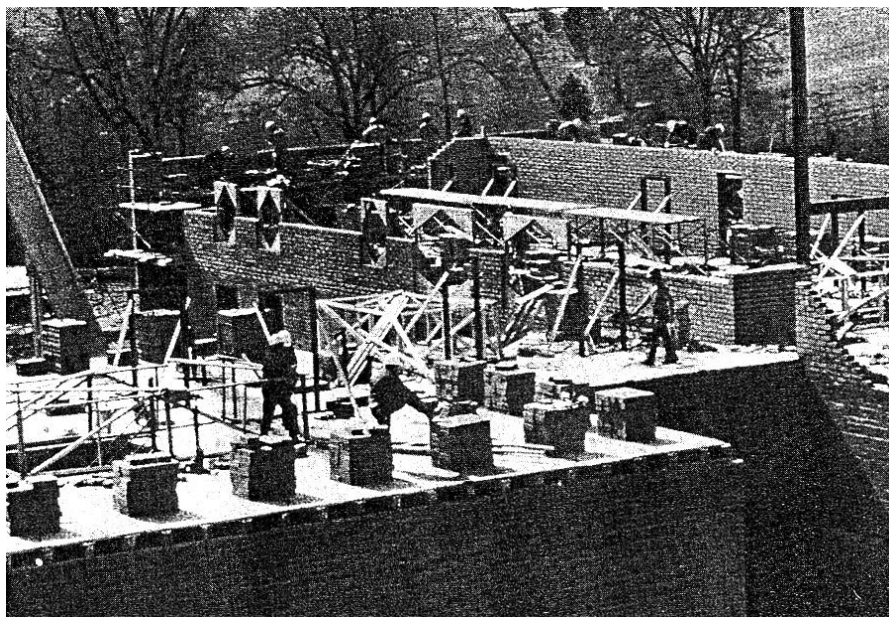


Рис. 6.3. Тщательное распределение складироваемых материалов (кирпичей) на перекрытиях строящегося здания для предотвращения их перегрузки

Так, в январе 1970 г. в ходе строительства обрушилось 17-этажное здание на улице Common Wealth Avenue в Boston, США. Обрушениехватило 11000 м² монолитного железобетона пола. В аварию было вовлечено около 8000 т строительного материала. Погибло четверо рабочих, 20 других были ранены. При расследовании вскрылись многочисленные нарушения строительных норм, но спусковым механизмом явилось преждевременное снятие опалубки и вызванный этим срез железобетонной плиты, недостаточно прочной из-за низких температур во время строительства.

Наиболее тяжелая в США авария произошла в апреле 1978 г. в Willow Island, Западная Вирджиния при строитель-

стве железобетонной гиперболической башни градирни электростанции. Верхние 1,5 м наружной оболочки по окружности башни упали вовнутрь, увлекая за собой четырехэтажную смонтированную каркасную систему, рабочие платформы и сетки безопасности. Работавшие на платформе 51 человек погибли, упав с 50-метровой высоты.

Система, предназначенная поддерживать башню при строительстве, использовалась ранее во многих успешных проектах (рис. 6.4). Однако, причиной аварии в данном случае явилась неадекватная выдержанность бетона и нехватка нескольких болтов в связях опалубки башни. Строительные нагрузки прикладывались к верху оболочки до того, как бетон, залитый в предыдущие сутки, набрал нужную прочность.

При строительстве подобной градирни в штате Вашингтон также произошло местное обрушение поддерживающей системы, вызванное отсутствием связей между элементами опалубки, что привело к гибели 2 человек.

Несчастные случаи, связанные с опалубкой и другими временными элементами, происходят издавна и повсеместно с тяжелыми последствиями тем большими, чем крупнее проект. Так, в апреле 1982 г. при обрушении транспортного пересечения автотрассы Riley Road в East Chicago, Индиана, США погибли 12 строительных рабочих и прораб. Еще 18 рабочих были травмированы, когда в аварию был вовлечен, кроме одного пролета длиной 55 м, еще и второй пролет такой же длины (кроме участка 6 м) и 41 м частично завершенного пролета (рис. 6.5). Авария произошла до выполнения последующего натяжения арматуры монолитной структуры, когда все строительные нагрузки приходились на систему опалубки. Согласно проведенному расследованию, она была неправильно рассчитана, в ней устанавливались ранее использованные изношенные элементы, верхние связи башенных подпорных конструкций были неадекватны нагрузкам. Авария была инициирована трещинами в бетоне. Ранее рабочие докладывали о

трещинах в бетоне с размерами 1500х1500х30 мм, который был усилен только одной арматурной сеткой.

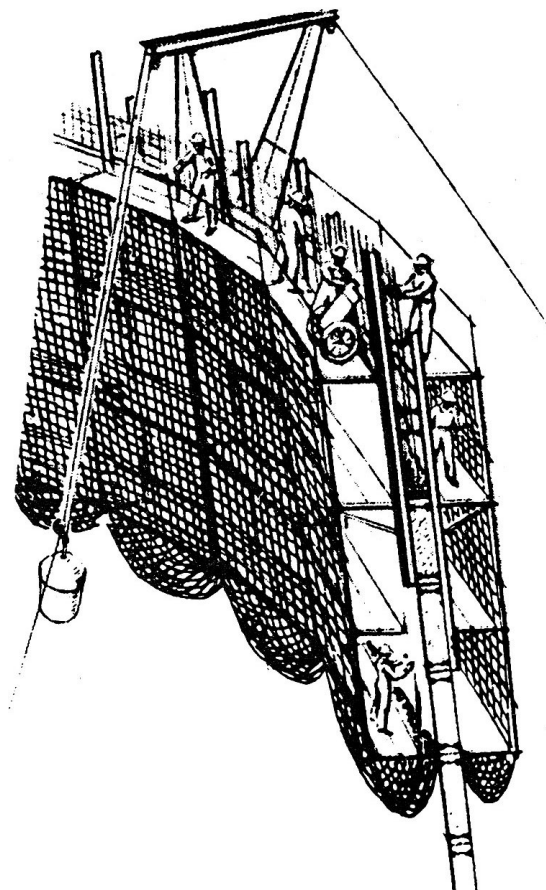


Рис. 6.4. Строительные леса и рабочая платформа, обрушившиеся из-за перегрузки недостаточно выдержанного бетона в Willow Island, Западная Вирджиния

Возможно, наиболее драматические структурные аварии происходят во время строительства из-за недостатка стабильности каркаса здания, которая зависит от наличия структурных элементов и связей, включая диафрагмы межэтажных пе-

рекрытий. Отсутствие последних уменьшает сопротивление системы боковым нагрузкам, а в случае работы элементов конструкции на сжатие – даже вертикальным нагрузкам.

Анализ стабильности конструктивных систем в нерегулярных незаконченных и постепенно меняющихся условиях строительных работ показывает, что временные связи и опоры, поддерживающие устойчивость незавершенных структур, нуждаются в постоянном внимании (рис. 6.6).

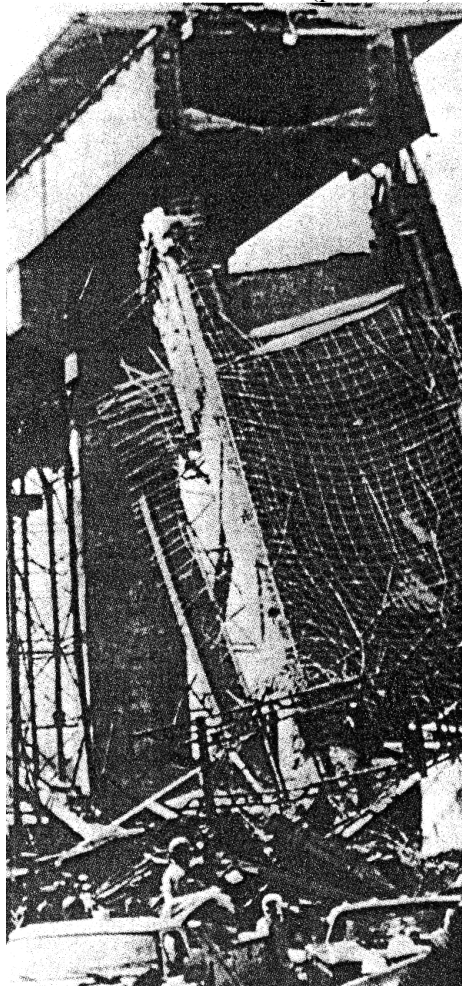


Рис. 6.5. Обрушение ramпы автотрассы в East Chicago, Индиана

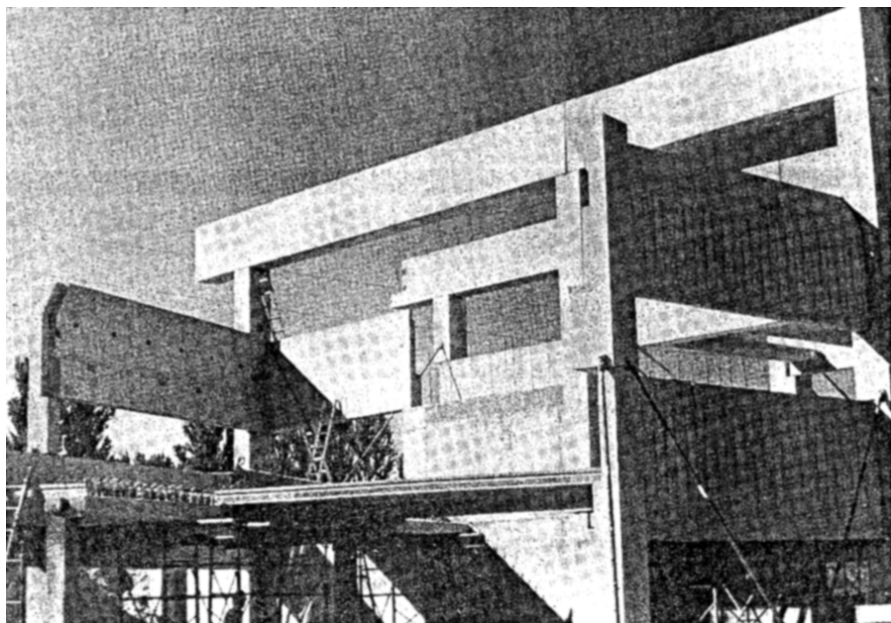


Рис. 6.6. Возведение железобетонных изделий требует постоянно-го внимания к временным поддерживающим конструкциям, обеспечивающим стабильность незаконченной структуры

Такие проблемы возникают даже при строительстве одноэтажных зданий, например, в кирпичных стенах, когда рабочие платформы поддерживаются с одной стороны стеной без наличия внешних подпоров. В Вашингтоне подобная схема обрушилась в 1984 г.

Рис. 6.7 показывает аварию, связанную со стабильностью сводчатой структуры при строительстве в Alexandria, Луизиана в 1964 г. Пролет купола 73 м был обрамлен склеенными слоистыми деревянными арками, которые поддерживались напряженным железобетонным кольцом диаметром 3 м, установленным на колоннах высотой 9 м по его периметру. При разрыве двух из четырех канатов, удерживающих железобетонное кольцо, оно повернулось и вся кровля упала во внутрь структуры, поскольку за час до этого была удалена

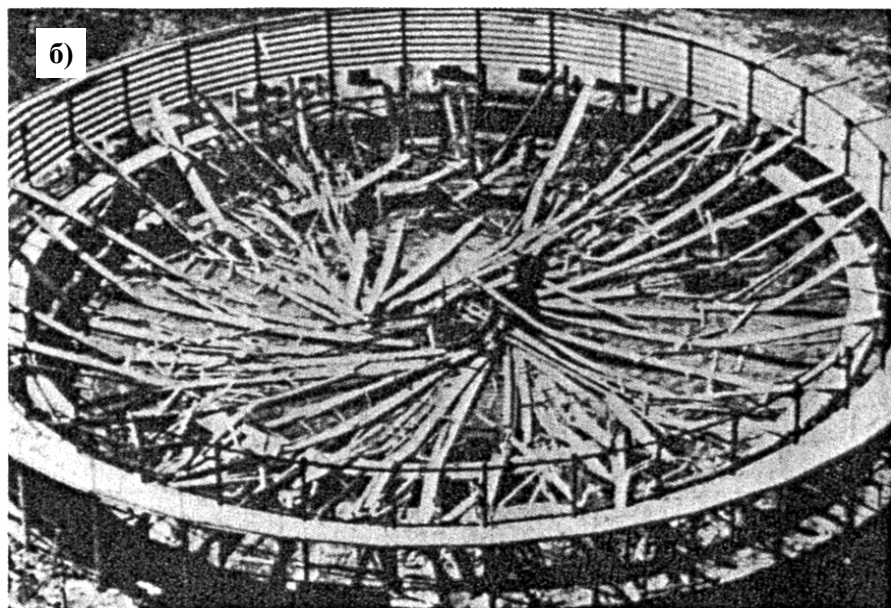
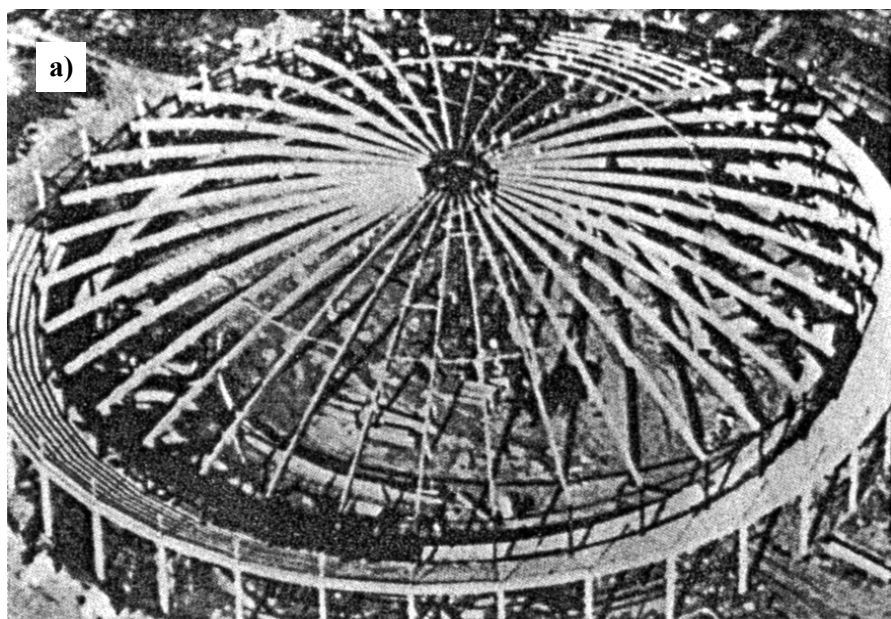


Рис. 6.7. Обрушение сводчатой структуры до установки кровельной диафрагмы
а) до обрушения; б) после обрушения.

временная опорная колонна кольца.

В 1958 г. 11-этажная сварная стальная рама в Toronto, Канада обрушилась из-за неадекватных связей. Здание длиной 66 м шириной 20 м обрамлялось колоннами, установленными на расстоянии 6 м друг от друга и балками с пролетами на полную ширину здания. Связи сваривались через 9-ый этаж и вся рама весом 1850 т была возведена с временными канатными растяжками. Ветровые связи поперек здания обеспечивались соединением балок с колоннами, рассчитанными на восприятие изгибающего момента. Устойчивость в продольном направлении должна была обеспечиваться мощными продольными бетонными несущими стенами и межэтажными конструкциями, но их строительство еще не было начато. В отсутствие кого-либо из персонала на площадке из-за действия ветра верхние два этажа в одном углу здания упали, и затем обрушилась вся рама в продольном направлении (рис. 6.8). Ни одного стального элемента спасти не удалось, хотя полностью разрушился всего один из нескольких сот. Без бетонных несущих стен очень легкие продольные связывающие балки на уровне каждого этажа, несмотря на поперечные стены, не создавали достаточной жесткости для связи 11-этажных колонн.

В 1987 г. в ходе строительства обрушилась северная пристройка к футбольному стадиону университета Вашингтона в Seattle, штат Вашингтон, США. Пристройка выполнялась из стальной рамной структуры, обеспечивающей 20000 зрительских мест. Структура имела высоту более 52 м и включала девять изгибов стальной рамы, каждый из которых поддерживался четырьмя стальными трубными колоннами диаметром 711 мм, которые должны были заполняться бетоном, установленными на монолитных бетонных сваях. Боковым нагрузкам в оконченной структуре, кроме того, противостояли бы жесткая рама, поперечные связи, диафрагмы плит сидений и металлический настил покрытия. Однако, во время обрушения трубные колонны еще не были заполнены бетоном.

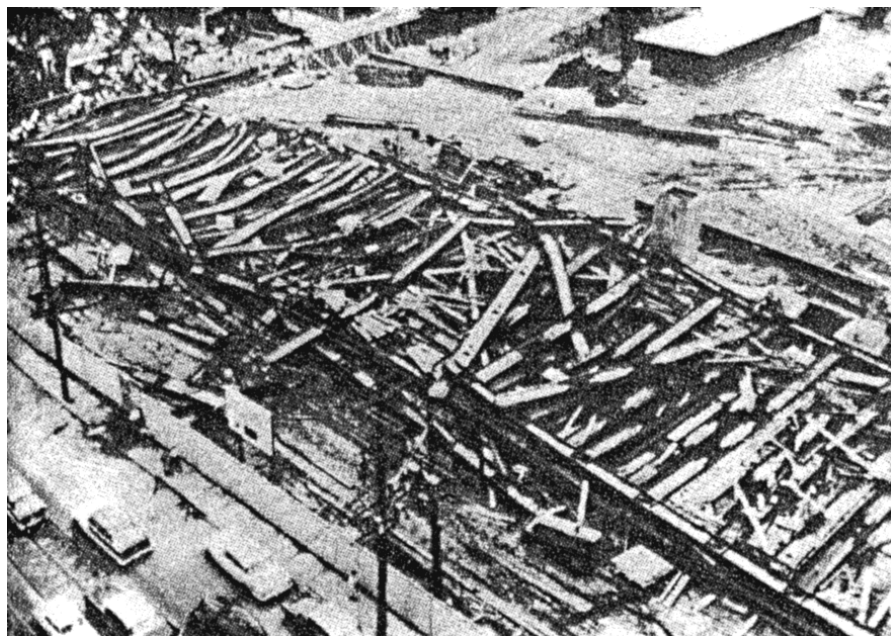


Рис. 6.8. Обрушение неадекватно закрепленной стальной рамы в Toronto, Канада

Последовательность обрушения структуры показана на рис. 6.9. При расследовании аварии обнаружилось, что ни боковые нагрузки, ни ветер или землетрясение не были ее причинами. Был также найден адекватным дизайн запланированной структуры. Наиболее вероятной причиной ее обрушения признана незавершенная система временных растяжек, часть которых была удалена непосредственно перед аварией для того, чтобы ускорить монтажные работы. Без жестких распорок и дополнительных связей консольная структура оказалась нестабильной только под гравитационными нагрузками. К счастью, наблюдались некоторые предупредительные признаки обрушения, что позволило избежать несчастных случаев.

Малые структурные аварии при строительстве наземных зданий имеют место каждый день из-за недостаточности или

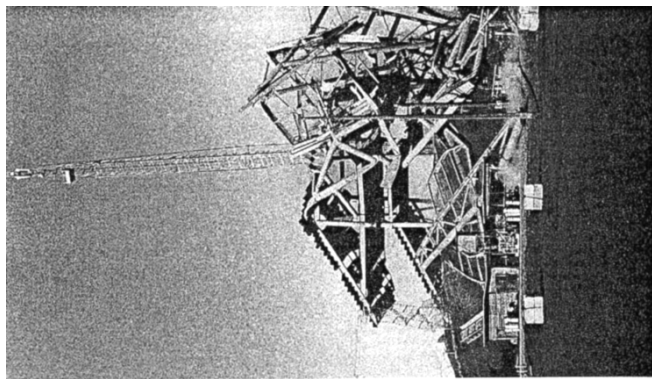
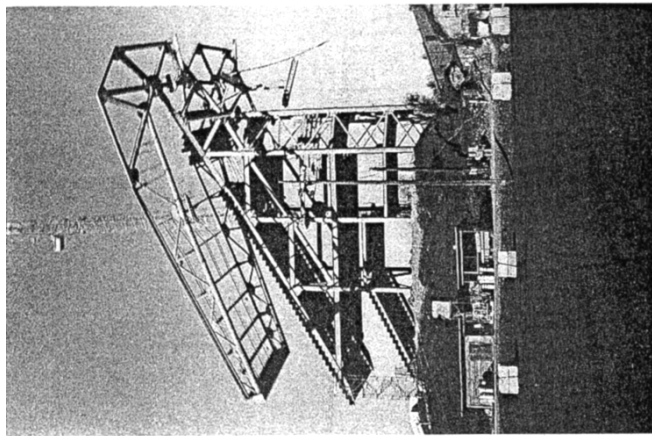
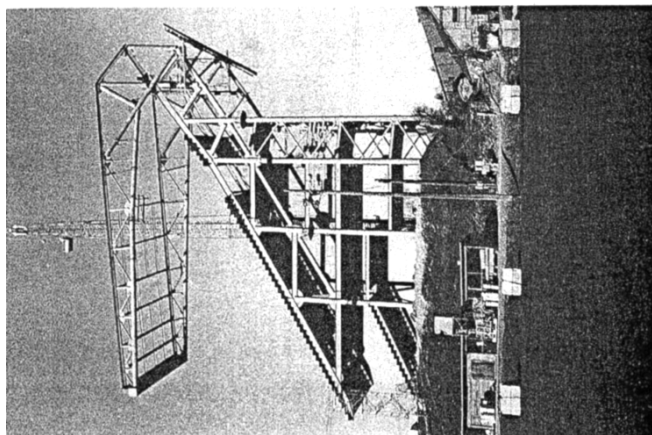


Рис. 6.9. Последовательность обрушения стальной структуры из-за неадекватной временной поддерживающей структуры в Seattle, Вашингтон

отсутствия временных связей. Небольшое здание показано на рис. 6.10 сразу после обрушения. Здание было церковью, построенной из пожертвованных материалов трудом добровольцев. Кровельные стропила скреплялись гвоздями с верхним поясом несущих стен. Авария произошла из-за того, что рабочие ушли на выходные, оставив неустановленными боковые связи.

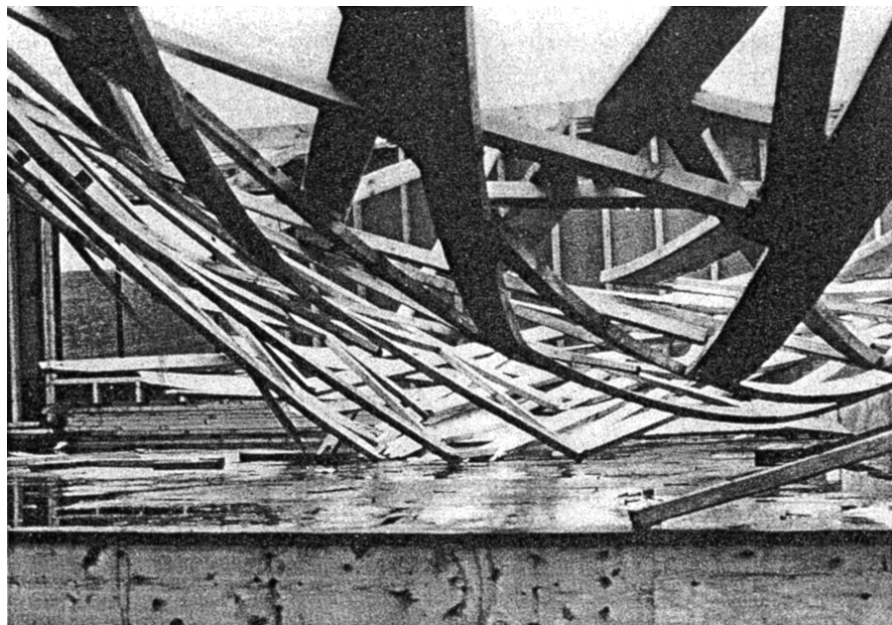


Рис. 6.10. Обрушение незакрепленных кровельных стропил

Если обрушение происходит в момент присутствия рабочих, даже незначительная авария может привести к тяжелым последствиям. В январе 1993 г. трое строителей погибли при работах по расширению малого отеля в Post Falls, Айдахо, США (рис. 6.11). Двухэтажное дополнение с легкой рамной конструкцией располагалось на ураганно-опасном участке. Когда поднялся ветер, рабочие ушли на крышу, пытаясь ее закрепить. В это время участок крыши площадью 185 м^2 с

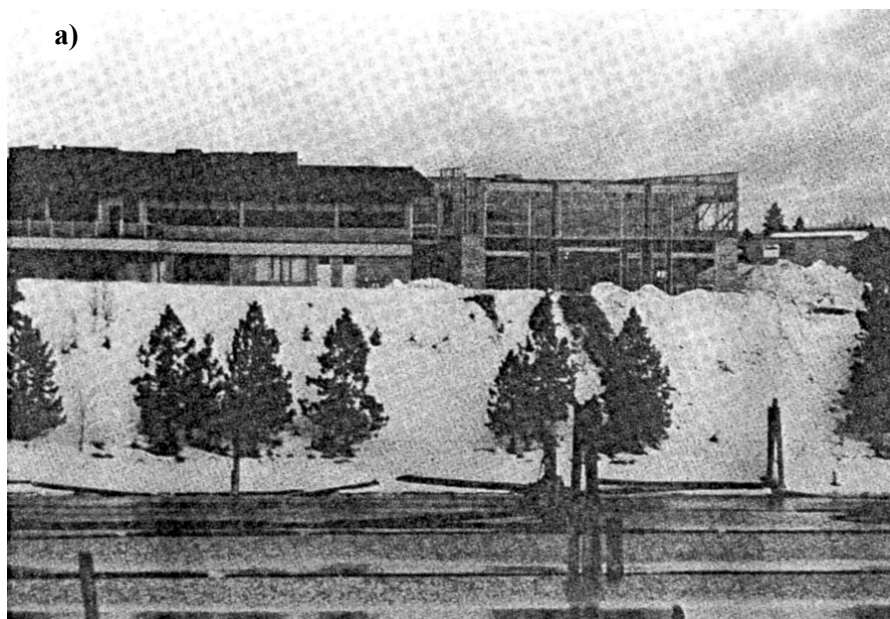


Рис. 6.11. Обрушение кровельных конструкций из-за ураганного ветра в Post Falls, Айдахо
а) до обрушения; б) после обрушения.

балками и кровельными листами оторвался от стены вместе с рабочими и полетел по воздуху на расстояние более 60 м. При его падении рабочие разбились. Дополнительным фактором аварии могло оказаться отсутствие внутренней обшивки стен, так, что внутреннее давление ветра, направленное вверх, могло соединиться с ветром наружной поверхности крыши, преодолевая ее вес.

Нестабильность рамы была определяющим фактором обрушения блочной структуры в L'Ambiana Plaza, Bridgeport, Коннектикут, США (рис. 6.12). Строительство жестких перегородок отставало от возведения колонн и подъема межэтажных плит. При обрушении погибло 28 рабочих.

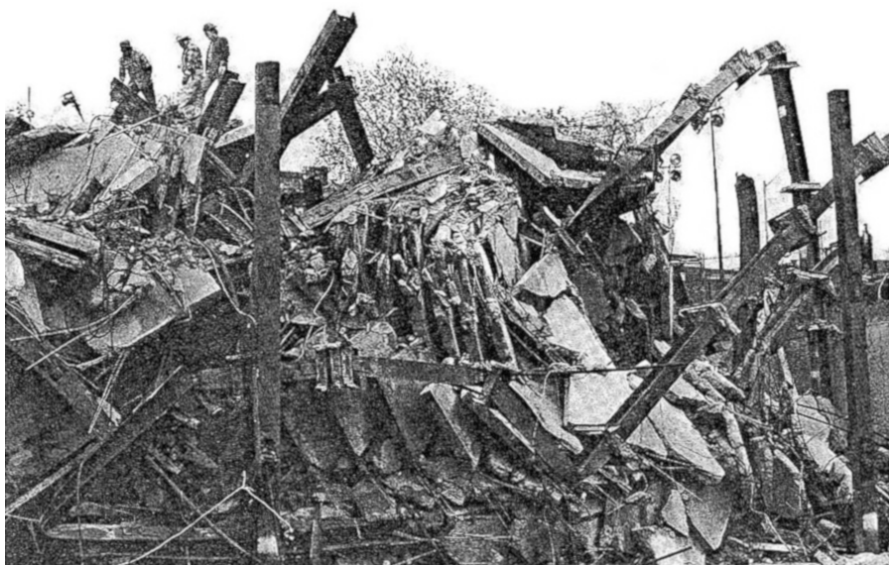


Рис. 6.12. Обрушение блочной структуры из-за нестабильности рамы при строительстве в L'Ambiana Plaza, Bridgeport, Коннектикут

Проблема стабильности часто возникает при реконструкции зданий. Существующая структура становится нестабильной, когда удаляется ее часть, что особенно характерно для

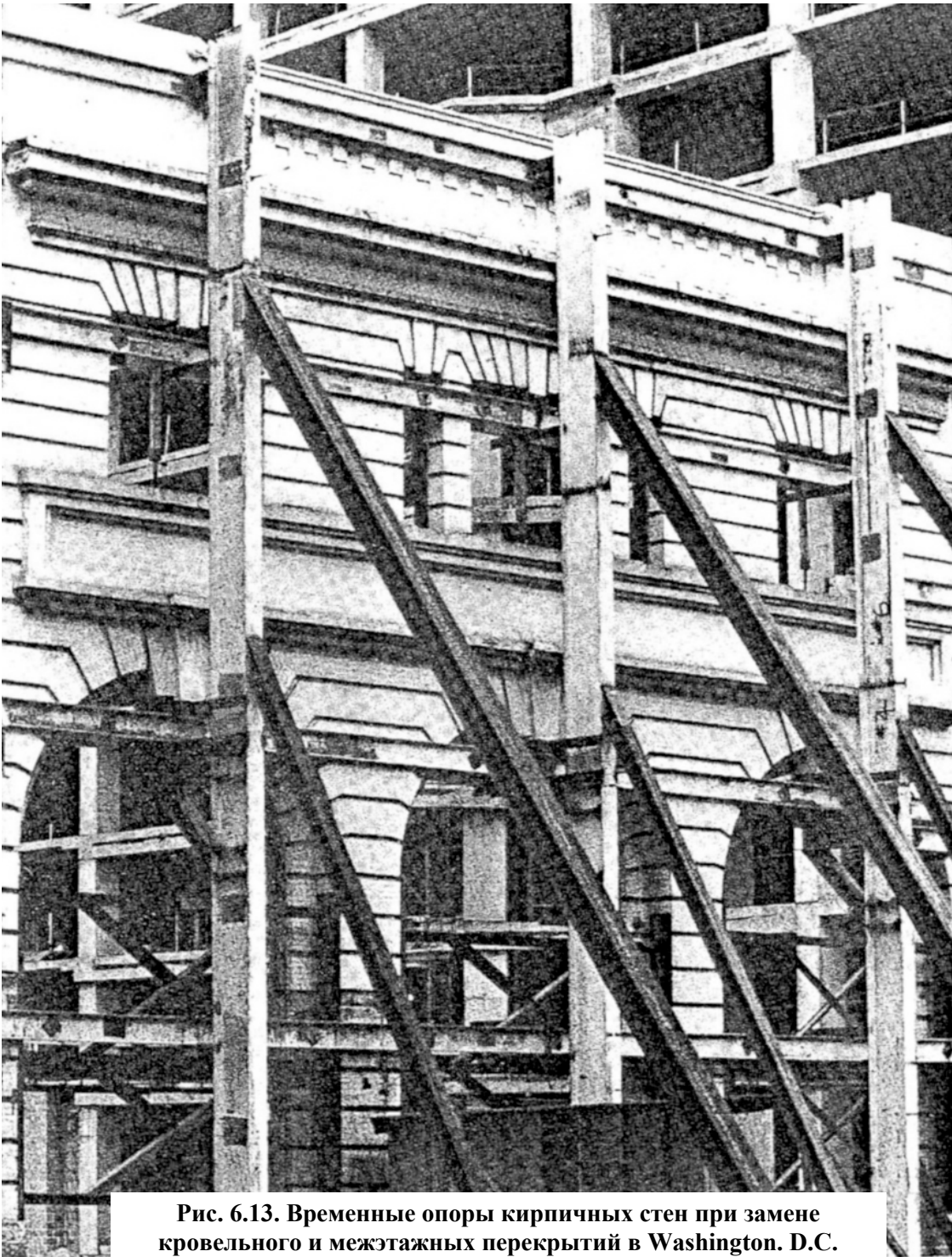


Рис. 6.13. Временные опоры кирпичных стен при замене кровельного и межэтажных перекрытий в Washington, D.C.

диафрагм, полов и кровельных перекрытий. Некоторые исторические объекты при реконструкции сохраняют только фасады (рис. 6.13). Этот вид проектов требует большого профессионального опыта. В существующих старых зданиях, пока работы не начались, трудно предсказать фактическое распределение нагрузок из-за неравномерного многолетнего оседания фундамента.

Кроме описанных, характерными для строительства являются аварии, связанные с неполадками оборудования, работой кранов и др.

Глава 7. Особенности управления рисками подземного строительства

7.1 Общие сведения

Вопрос управления рисками стоит особенно остро для подземных проектов, где кроме общих угроз, присущих строительству, специфические стесненные условия работ и неопределенность геотехнической обстановки создают опасность травматизма персонала, больших материальных потерь и задержек графика работ. Здесь главными источниками рискованных ситуаций становятся:

- геологический аспект: расположение «границ» по горизонтали и вертикали между грунтами и породами с различными свойствами и характеристиками;
- инженерные и химические особенности грунтовых и породных слоев, их водопроницаемость;
- гидрогеологические условия: притоки воды, гидростатическое давление, химический состав, возможность подавления притоков тампонажем и замораживанием;
- наличие и природа естественных препятствий (валунов, торфяных зон и т.д.), искусственных сооружений (каменная засыпка, старые сваи и фундаменты, набережные структуры и др.), нарушенных зон в породных слоях;
- наличие и природа подземных опасных материалов или зараженных зон, которые требуют специальных мер при экскавации и последующем строительстве;
- параметры временной крепи при экскавации;
- воздействие планируемой экскавации и последовательности строительства на экологические аспекты строительной площадки: дорожное движение, шум, пыль, вибрации и, наоборот, влияние климатических условий на строительство;

- совместимость строительных решений с прилегающими структурами (превышение допустимых норм их прогнозируемыми деформациями).

Система управления рисками подземного строительства аналогична описанной в предыдущих главах для сооружения наземных объектов. Идентификация опасностей и управление рисками обеспечивают их снижение до приемлемого уровня и должны учитываться при планировании, дизайне, материально-техническом снабжении и производственных операциях строительства. Риск уменьшается решениями дизайна и строительными действиями. Ответственность за управление рисками должна быть четко распределена в контракте между участниками строительства.

Основные принципы управления рисками подземного строительства изложены в следующих нормативных документах (строительных нормах и правилах) США и Великобритании:

- «A Code of Practice for Risk Management of Tunnell works», США, 2006;

- «The Joint Code of Practice for Risk Management of Tunnell works in the UK», Великобритания, 2003.

Оба документа регламентируют идентификацию и управление рисками в специфическом контексте туннельных, других подземных проектов и требуют оценивать риски на каждой стадии проекта, суммируя эти оценки в регистре рисков, который включает:

- описания риска;
- сведения от участнике строительства, на которого возлагается ответственность за риск;
- вероятность события риска;
- меры по уменьшению вероятности события риска и его воздействия.

7.2 Принципы управления рисками подземного строительства

В подземных проектах особое значение для идентификации рисков и управления ими имеет геотехническое изучение места строительства. Это изучение выполняется заказчиком или по его поручению специализированной организацией, включает характеристики физической и геологической окружающей среды и должно производиться, чтобы:

- идентифицировать искусственно созданные и естественные опасности (включая газы, такие, как метан или радон) и оценить риски, влияющие на дизайн и строительство, а также на третьего участника;
- обеспечить снижающую риски информацию о грунтах, породах, подземных водах, достаточную для выбора надежной технологии строительства – экскавации, крепления, безопасности работ;
- иметь возможность оценить в опасных подземных условиях финансовую и техническую жизнеспособность проекта, которая затем подтверждается предварительным дизайном;
- сравнить варианты решений по стоимости и срокам строительства.

Геотехнические исследования, включающие полевые и лабораторные испытания, проводятся компетентной организацией и контролируются заказчиком или его представителями.

На основе полученных материалов с учетом минимизации потенциальных рисков выбираются основные решения или их варианты, например, направление туннеля, оценка которых включает:

- геотехнические параметры;
- технологию подземных работ (в том числе строительство полостей, пилотных туннелей, стволов доступа и т.д.), условия работы буровых туннельных машин, проходческих

машин, проходческих комбайнов и экскаваторов, буровзрывной технологии;

- выбор временной и постоянной крепи (анкерных болтов, набрызгбетона, железобетонных сегментов, монолитного бетона);

- укрепление пород и предотвращение притоков воды (например, применение тампонажа, осушения, замораживания водоносных пород), а также описание работ, влияющих на состояние окружающей природной среды (например, понижение уровня подземных вод, ведущее к оседанию поверхности и повреждениям наземных объектов);

- природоохранные соображения, предотвращающие выделение пыли, шум, вибрацию, воздействие на растительный и животный мир;

- сдвигание и оседание поверхности над подземными полостями, воздействующее на существующую подземную инфраструктуру;

- соображения по безопасности и охране труда, в том числе, по наличию опасных материалов, газов, химикалий, углеводородов, других загрязнителей естественного или искусственного происхождения;

- соображения по целесообразной форме контракта.

Оценка возможных вариантов решений проекта должна включать идентификацию связанных с ними опасностей и определение вероятностей рисков. По мере уточнения геологических условий разведочными или строительными работами оценка потенциальных рисков пересматривается и уточняется.

Для выбранного варианта строительства составляется регистр рисков с их перечнем и смягчающими мерами, затем представляемый в качестве одного из тендерных материалов.

Подготовка контрактных документов проводится в соответствии с выбранной формой контракта и распределением рисков между участниками. Контракт должен ясно и недву-

смысленно устанавливать ответственность и обязанности участников строительства.

Далее приводятся несколько общих принципов распределения неизбежных рисков подземного строительства:

- подрядчик должен принять на себя все риски, над которыми он может выполнять адекватный контроль. Сюда входит выбор строительных методов, оборудования и последовательности выполнения операций;

- непредсказуемые риски (природные катастрофы, форс-мажорные обстоятельства) распределяются страховщикам. Заказчик в некоторых случаях может быть само-страховщиком (self-insurer), откладывая средства для компенсации возможных потерь от рисков;

- условия строительства, определенные базовым геотехническим докладом являются основой для контракта. Подрядчик может принять на себя прогнозируемые риски, но заказчику распределяются риски, связанные с изменением контрактных условий;

- в зоне взаимодействия строительства с третьим участником риски распределяются либо заказчику, либо подрядчику в зависимости от того, кто в лучшей степени может сотрудничать с этим участником. Риски, относящиеся к государственному регулированию и соглашениям с владельцами прилегающих объектов, принимает на себя заказчик. Риски, связанные с непосредственным выполнением работ и субподрядными соглашениями, передаются подрядчику;

- распределение рисков общих экономических факторов (эскалация стоимости материалов и труда, курс валют, национальные забастовки) зависит от продолжительности и расположения работ. Для отечественных проектов, ожидаемая продолжительность которых составляет менее 2 лет, учет этих рисков проводится непосредственно при тендерных переговорах. Для проектов, осуществляемых за рубежом или в местах с труднодоступным расположением и имеющих большую

продолжительность, в контракт включаются соответствующие статьи, учитывающие эти риски.

Для того, чтобы решить, какие действия необходимо предпринять, чтобы предотвратить, смягчить риски или передать их другому участнику, назначаются следующие критерии:

- пороговый лимит, выше которого риск считается неприемлемым и должен быть снижен независимо от стоимости;

- предел, ниже которого дальнейшее снижение риска нецелесообразно;

- область между этими двумя пределами, в которой смягчение риска целесообразно, а применяемые меры соответствуют обстоятельствам.

После определения критериев команда управления рисками принимает одно из следующих решений:

- предотвращение риска. Изменение хода работы так, чтобы устранить риск или защитить основные цели проекта от негативного воздействия;

- смягчение риска. Применение действий, уменьшающих вероятность и тяжесть последствий события. Отношение ожидаемых затрат, вызванных последствиями риска к затратам, предотвращающим возникновение опасности должно быть более 1,0, т.е. затраты по ликвидации последствий риска должны превышать стоимость действий, смягчающих его опасность;

- передача риска другому участнику. Разработка контрактных условий, согласно которым риск передается тому участнику строительства, у которого предотвращение или устранение последствий потребует меньших затрат.

Распределение рисков является типичной причиной строительных споров.

При выборе технологии подземных работ и видов применяемого оборудования подрядчик полагается на правильность прогнозирования геологических условий, надежную

интерпретацию геотехнических сведений и на другую информацию, выданную заказчиком в качестве исходных данных. Однако, при неадекватности этих сведений реальной обстановке или при их неправильной оценке возникает риск ошибок, связанных с:

- выбором способа экскавации, не соответствующего встреченным геологическим условиям;
- перебором проектного сечения и необходимостью по этой причине дополнительного расхода бетона, не предусмотренного начальным бюджетом;
- большими внутренними деформациями (конвергенцией) контура полости, изменяющими ее форму и требующими ремонтно-восстановительных работ;
- задержками в подвигании забоя при переоценке возможностей оборудования, предусмотренного контрактом;
- застреваниями буровой туннельной машины в слабых сжимающихся породах.

Эти факторы влияют на распределение рисков между подрядчиком и заказчиком. Передача всего риска подрядчику вызывает максимальную цену контракта и наибольшее число споров и претензий. Подрядчик при этом вынужден предусмотреть большие непредвиденные расходы, чтобы компенсировать неожиданные обстоятельства строительства. С другой стороны, считается нецелесообразной ситуация, когда подрядчик не принимает на себя риск даже собственных ошибок в управлении или при неэффективной работе.

В США считается, что риски изменения условий в зоне работ, колебаний цен и других отклонений от контракта целесообразно распределить между заказчиком и подрядчиком. Рекомендуется справедливый подход для уменьшения риска подрядчика, когда ему нет необходимости включать дополнительные суммы в сметную стоимость проекта. Так, ответственность за приемлемость дизайна должна возлагаться на заказчика и его дизайнера. Аналогично, заказчик должен взять

на себя ответственность за предложенные им изменения решений дизайна или графика строительства.

К категориям риска, возлагаемого на заказчика, относятся также «действия Бога», включающие суровые погодные условия или стихийные бедствия. В контрактной практике США при этих событиях, результаты которых выражаются в задержках строительства или денежных потерях, подрядчику традиционно разрешается только увеличение срока работ, но без дополнительных компенсаций. Здесь важно знать, действительно ли задержки строительства вызваны естественными причинами.

Но даже, когда ответственность за риски теоретически легко распределяются между участниками проекта, не всегда практически очевидные меры могут быть предприняты, чтобы избежать последствий риска. Наличие на участке подземного строительства изменяющихся (по сравнению с контрактными) условий, вызывает риски, служащие предметом стоимостных диспутов. Считается предпочтительным, чтобы ответственность за изменение условий строительства возлагалась на заказчика.

Одним из путей уменьшения споров по этому поводу служит отражение в контракте возможных изменений количественных характеристик грунтов и пород, которые могут быть встречены в ходе строительства. Так, при строительстве метро в штате Вашингтон, США в некоторых контрактах вероятностные колебания геологических параметров оценивались в процентах, соответственно варьировалась стоимость работ.

На заказчика возлагается риск изменения экономических условий, например, инфляция, особенно, при продолжительности работ, превышающей 2 года. Однако, часть этого риска можно отнести и к подрядчику. Одним из примеров такого подхода служит туннель Mount Baker Ridge, являющийся частью упомянутого проекта строительства метро в штате Вашингтон. Здесь в трехлетнем контракте подрядчик был за-

щищен от колебаний стоимости труда, энергии, топлива и выбранных материалов. Доля риска этих колебаний в размере 80% была отнесена к заказчику (правительству штата) и только 20% - к подрядчику. В результате штат сэкономил по сравнению с контрактным бюджетом более 5 млн. долларов.

Другие риски, распределяемые заказчику, включают:

- взаимодействие с другими подрядчиками;
- поставляемое заказчиком оборудование и материалы;
- длительные задержки, связанные с потенциальными судебными действиями, возникающими в ходе строительства;
- координация и управление командой проектировщиков;
- отмена или уменьшение возможного финансирования.

К ответственности подрядчика относится подбор квалифицированного надзорного и руководящего персонала, выбор необходимого оборудования и материалов, взаимоотношения с субподрядчиками и снабжающими контрагентами, координация их усилий и гарантия, что проект выполняется в соответствии с контрактными условиями. Подрядчик должен иметь финансовые возможности производить работы, основываясь на контрактной цене и установленном расписании оплат. Риск его недееспособности покрывается страховой компанией.

Если ответственность за общие для проекта согласования и разрешения лежит на заказчике, то их получение для временных специфических работ (например, подъездных дорог и других коммуникаций, хранения извлеченного при экскавации материала, сброс откачиваемой воды) возлагается на подрядчика.

В табл. 7.1 приведено типичное распределение ответственности за риски подземного строительства в ходе работ (первичные) и после их окончания (вторичные).

Таблица 7.1 – Распределение ответственности за различные аспекты строительства туннеля

Составные части строительства	Участники строительства	
	заказчик	подрядчик
Геотехнические данные	X	-
Интерпретация геотехнических данных	S	(S)
Экспериментальные методы:		
а) для ожидаемых геологических условий;	-	X
б) для неожиданных геологических условий.	S	(S)
Структурный дизайн	(S)	S
Первичная крепь:		
а) как часть окончательной крепи;	(S)	S
б) не как часть окончательной крепи.	-	X
Окончательная крепь	(S)	S
Качество работ и материалов	-	X

X – полная ответственность;

S – разделяемая ответственность (первичные риски);

(S) – разделяемая ответственность (вторичные риски).

Способы экскавации и установки крепи определяются подрядчиком, а сложные случаи рассматриваются совместно командой экспертов, в которую входят представители обоих участников и геотехнические консультанты.

Далее приводятся примеры распределения рисков в контрактах строительства подземных объектов в США и Великобритании.

При сооружении туннеля в США длиной 5,02 км диаметром 3,5 м с бетонной крепью и мощностью покрывающих пород 80-200 м были встречены породы с различными показателями качества, включая карстовые пустоты и нарушенные зоны.

Распределение рисков, предусмотренное контрактом показано в табл. 7.2.

Таблица 7.2 – Пример распределения рисков в контракте на подземное строительство

Качество породных масс вдоль маршрута	Поскольку главный риск связан с большими карстовыми полостями, а среднее качество пересекаемых туннелем пород ранжируется от удовлетворительного до хорошего, отклонения от его предполагаемого распределения включены в риск подрядчика.
Наличие воды	Притоки в туннель находятся в области рисков подрядчика, если они не превышают следующих пределов: - 20 л/сек. в забое туннеля; - 50 л/сек. в портале туннеля; - гидростатический напор – не более 490 кПа.
Карстовые полости	Пределы риска подрядчика: - размер полости не превышает пролета туннеля (например, 4 м); - притоки воды не превышают 20 л/сек., уменьшающиеся в течение 3 дней до 20 л/мин.; - полость не содержит слабых заполняющих грунтов, которые могут высыпаться при отсутствии удерживающих конструкций; - задержки, вызванные полостями, не превышают 30 суток.
Наличие газа	Возможность наличия воспламеняющихся или токсичных газов относится к рискам подрядчика.

При сооружении туннеля John Pier на северо-западе Великобритании длиной 2 км, диаметром 2,9 м были встречены стволы старых шахт, илы, подверженные разжижению, и ледниковые отложения с включениями очень крепких валунов (крепостью до 350 МПа). Прогноз этих условий был получен после выполнения нескольких фаз разведочных работ и учтен в контракте при определении направления туннеля. Риски, относящиеся к геологическим условиям, идентифицирова-

лись, классифицировались и распределялись между заказчиком и подрядчиком. В ходе строительства фактические условия сравнивались с контрактными. В результате снижения рисков была получена экономия сметы, составившая 10%, разделенная по соглашению между обоими участниками, а туннель был завершен на 20% быстрее, чем по утвержденному графику.

7.3 Качественная и количественная оценки рисков

Для технических рисков подземного строительства часто используется способ качественной оценки, предложенный Международной туннельной ассоциацией ITA-AITES, который базируется на классификации вероятности (частоты) рисков и тяжести их последствий, определяя таким образом действия, которые должны быть предприняты.

Как пример, далее приводятся 5-уровневые классификационные системы, разработанные на основе опубликованной статистики, суждений экспертов, персонала сотрудничающих организаций. При этом учитываются события, испытанные их участниками, ошибки, которые они совершали, или ошибки и промахи, о которых они слышали.

Классификация вероятности рисков может быть основана на числе событий (встреченных опасностей) за год или на 1 км туннеля. Однако, предполагается, как наиболее пригодная, классификация, которая основывается на потенциальном числе событий в течение всего строительного периода (табл. 7.3).

Пример, приведенный далее, предполагает, что в его основу положен проект стоимостью примерно 1 млрд. евро продолжительностью примерно 5-7 лет.

В табл. 7.4 показана классификация тяжести последствий рисков в зависимости от уровня травматизма, вызванного событием риска.

**Таблица 7.3 – Классификация вероятности рисков
(за период строительства)**

Класс вероятности риска	Характеристика вероятности риска	Интервал вероятности	Центральное значение *
5	весьма вероятный	$< 0,3$	1
4	вероятный	0,03-0,3	0,1
3	случайный	0,003-0,03	0,01
2	маловероятный	0,0003-0,003	0,001
1	весьма маловероятный	$> 0,0003$	0,0001

* Центральное значение представляет логарифмическое среднее значение данного интервала.

**Таблица 7.4 – Классификация тяжести последствий
рисков травматизма рабочих и аварийной бригады**

Тяжесть последствий рисков	Катастрофическая	Тяжелая	Серьезная	Существенная	Незначительная
Число смертей/травматизма	$F > 10$	$1 < F \leq 10$ $SI > 10$	1F $1 < SI \leq 10$	1SI $1 < MI \leq 10$	1MI

F – смертельные;

SI – серьезные травмы;

MI – малые травмы.

В табл. 7.5 показана классификация тяжести последствий рисков третьего участника (объектов на поверхности) в зависимости от уровня его травматизма, где шкала тяжести строже по сравнению с травматизмом подземного персонала.

В табл. 7.6 приведена классификация тяжести последствий рисков экономических потерь третьего участника.

В табл. 7.7 приведена классификация тяжести последствий рисков ущерба окружающей среде.

Таблица 7.5 – Классификация тяжести последствий рисков третьего участника

Тяжесть последствий рисков	Катастрофическая	Тяжелая	Серьезная	Существенная	Незначительная
Число смертей/травматизма	$F < 10$ $SI > 10$	$1F$ $1 < SI \leq 10$	$1SI$ $1 < MI \leq 10$	$1MI$	-

Таблица 7.6 – Классификация тяжести последствий рисков экономических потерь третьего участника

Тяжесть последствий рисков	Катастрофическая	Тяжелая	Серьезная	Существенная	Незначительная
Экономические потери, млн. евро	> 3	0,3-3	0,03-0,3	0,003-0,03	$< 0,003$

Таблица 7.7 – Классификация тяжести последствий рисков ущерба окружающей среде

Тяжесть последствий рисков	Катастрофическая	Тяжелая	Серьезная	Существенная	Незначительная
Оценка ущерба	постоянный, тяжелый	постоянно малый	долгосрочные последствия	временный, тяжелый	временный малый

В табл. 7.8 приведена классификация тяжести последствий рисков задержки строительства.

Таблица 7.8 – Классификация тяжести последствий рисков задержки строительства

Тяжесть последствий рисков	Катастрофическая	Тяжелая	Серьезная	Существенная	Незначительная
Продолжительность задержек, мес.	> 24	6-24	2-6	1/2-2	<1/2

В табл. 7.9 приведена классификация тяжести последствий рисков экономических потерь заказчика.

Таблица 7.9 – Классификация тяжести последствий рисков экономических потерь заказчика

Тяжесть последствий рисков	Катастрофическая	Тяжелая	Серьезная	Существенная	Незначительная
Потери заказчика, млн. евро	> 30	3-30	0,3-3	0,03-0,3	<0,03

Для проектов, которые чувствительны политически, экономически или экологически, а также проектов, в которых ожидается негативное воздействие на третьего участника или окружающую среду, существенное значение имеют также, так называемые нематериальные потери, например, стоимость деловой репутации.

Пример матрицы оценки интегрального уровня риска приведен в табл. 7.10.

Таблица 7.10 – Оценка интегрального уровня риска

Вероятность рисков	Тяжесть последствий рисков				
	катастрофическая	тяжелая	серьезная	существенная	незначительная
Весьма вероятный	неприемлемая	неприемлемая	неприемлемая	нежелательная	нежелательная
вероятный	неприемлемая	неприемлемая	нежелательная	нежелательная	приемлемая
случайный	неприемлемая	нежелательная	нежелательная	приемлемая	приемлемая
маловероятный	нежелательная	нежелательная	приемлемая	приемлемая	пренебрежимая
весьма маловероятный	нежелательная	приемлемая	приемлемая	пренебрежимая	пренебрежимая

В зависимости от этой оценки предпринимаются действия по снижению опасности риска (табл. 7.11).

Таблица 7.11 – Действия по снижению опасности риска

Интегральный уровень риска	Действия по снижению опасности риска
неприемлемый	риск должен быть уменьшен, по крайней мере, до нежелательного, безотносительно к стоимости работ
нежелательный	должны быть приняты меры для снижения риска до тех пор, пока их стоимость не превышает ущерба от риска
приемлемый	меры по снижению риска не требуются
пренебрежимый	опасность не рассматривается

Еще один из подходов к качественной оценке рисков подземного строительства приводится далее.

После идентификации рисков определяется класс их вероятности (Р) (табл. 7.12) и уровень тяжести последствий (С) (табл. 7.13). Выясняются зависимости и корреляции между

рисками. Производство РС показывает оценку уровня опасности риска (табл. 7.14).

Таблица 7.12 – Классы вероятности рисков

Класс вероятности риска	Вероятность риска (P)	Значение вероятности риска, %
1	весьма маловероятный	< 5
2	маловероятный	5-20
3	случайный	21-50
4	вероятный	51-75
5	весьма вероятный	76-100

Матрица качественной оценки рисков может также иметь вид, представленный в табл. 7.15.

Количественные параметры табл. 7.12-7.15 устанавливаются «мозговым штурмом» экспертной группы специалистов.

Таблица 7.13 – Тяжесть последствий рисков

Уровень	Тяжесть последствий рисков	Последствия риска для параметров проекта (C)	
		финансовый ущерб, млн. долл.	увеличение срока строительства
1	Незначительная	<10	<1 нед.
2	Существенная	11-25	1 нед. – 1 мес.
3	Серьезная	26-50	1-2 мес.
4	Тяжелая	51-100	3-6 мес.
5	Катастрофическая	>100	>6 мес.

Таблица 7.14 – Оценка уровня опасности риска

Уровень опасности риска (РС)	Качественная оценка риска
1-4	Низкий
5-8	Существенный
9-12	Средний
13-16	Серьезный
17-25	Высокий

Таблица 7.15 – Матрица качественной оценки рисков (РС)

Вероятность риска (Р) Тяжесть последствий (С)	1. Весьма маловероятный	2. Маловероятный	3. Случайный	4. Вероятный	5. Весьма вероятный
1. Незначительная	1. Низкая	2. Низкая	3. Низкая	4. Низкая	5. Существенная
2. Существенная	2. Низкая	4. Низкая	6. Существенная	8. Существенная	10. Средняя
3. Серьезная	3. Низкая	6. Существенная	9. Средняя	12. Средняя	15. Серьезная
4. Тяжелая	4. Низкая	8. Существенная	12. Средняя	16. Серьезная	20. Высокая
5. Катастрофическая	5. Существенная	10. Средняя	15. Серьезная	20. Высокая	25. Высокая

В табл. 7.16-7.19 и 7.20-7.22 приведены еще два варианта качественной оценки рисков, применяемые в промышленности добычи полезных ископаемых Австралии.

Когда вероятности риска и его последствий (табл. 7.17) определены, сравнительный риск может быть идентифицирован из табл. 7.18.

Ч – чрезвычайный риск;

В – высокий риск;

С – средний риск;

Н – низкий риск.

В табл. 7.19 приведены меры управления рисками в зависимости от их уровня.

Еще один подход к ранжированию рисков понятен из табл. 7.20-7.22

После качественной оценки уровня рисков проводится анализ возможности предотвращения или смягчения риска сравнением затрат на эти мероприятия с ущербом от его последствий. Далее описан пример применения такого анализа.

Таблица 7.16 – Определение и классификация рисков

Вероятность	Описание	Численное описание	
		безопасность	здоровье
Весьма вероятный	Последствия ожидаются в большинстве случаев	Событие происходит чаще 1 раза в год	1 случай на 100 чел.-лет
Вероятный	Последствия вероятно произойдут в большинстве обстоятельств	Событие происходит 1 раз каждые 1-10 лет	1 случай на 1000 чел.-лет
Случайный	Последствия иногда происходят	Событие происходит каждые 10-100 лет	1 случай на 10000 чел.-лет
Маловероятный	Последствия могут иногда происходить	Событие происходит каждые 100-1000 лет	1 случай на 100000 чел.-лет
Весьма маловероятно	Последствия возможны в исключительных обстоятельствах	Событие происходит каждые 1000-10000 лет	1 случай на 1 млн. чел.-лет

Таблица 7.18 – Ранжирование уровней рисков

Вероятность	Тяжесть последствий				
	низкая	малая	средняя	большая	критическая
Очень высокая	В	В	Ч	Ч	Ч
Высокая	С	В	В	Ч	Ч
Средняя	Н	С	В	Ч	Ч
Низкая	Н	Н	С	В	Ч
Очень низкая	Н	Н	С	В	В

Таблица 7.17 – Тяжесть последствий рисков

Уровень компании (3-7)						
Уровень бизнеса (2-6)						
Уровень площадки (1-5)						
низкий	малый	сред- ний	боль- шой	крити- ческий		
Уровень 1	Уровень 2	Уро- вень 3	Уро- вень 4	Уро- вень 5	Уровень 6	Уровень 7
Травмы и здоровье						
Медицин- ское ле- чение не требуется. Низкий уровень и короткий срок не- удобств или сим- птомов. Нет изме- ряемых физиче- ских эф- фектов	Реально сущест- вующее, но обра- тимое ухудше- ние здо- ровья или не- трудоспо- собность. Меди- цинское лечение повреж- дений, требую- щее гос- питали- зации	Сред- нее необ- рати- мое ухуд- шение или нетру- доспо- соб- ность одно- го или более постра- давших	Един- ствен- ный смертел- ьный случай, серьез- ная не- обра- тимая нетру- доспосо- бность или ин- валид- ность одного или бо- лее лиц	Мно- жест- венные смертел- ьные случаи или значи- тельное необрат- имое воздейс- твие на здо- ровье более 50 лиц	Смертель- ные слу- чаи для более 50 лиц или очень серьезное необрати- мое воз- действие на здоро- вье более 500 лиц	Смертель- ные слу- чаи для более, чем 500 чело- век или очень серьезное необрати- мое воз- действие на здоро- вье более 5000 лиц
Стои- мость, тыс. долл.	10-100	100- 1000	1000- 10000	>10000	>100000	>1000000

Направление туннеля, проводимого буровой машиной, проходит вблизи наземной лаборатории с прецизионными чувствительными приборами и под озером. Хотя машина имеет специальный подшипник коренного вала, уменьшающий вибрации, этот подшипник склонен к износу и не может быть заменен вблизи лаборатории из-за ее уязвимости к вибрациям или под озером из-за отсутствия доступа к туннелю.

Таблица 7.19 – Управление рисками

Обозначение	Уровень риска	Меры управления рисками
Ч	Чрезвычайный	- требуются немедленные действия, рабочие операции не должны начинаться, начавшиеся операции должны быть остановлены; - идентифицируются и применяются мероприятия по снижению риска до низкого перед началом операции; - должен быть привлечен наивысший уровень менеджмента.
В	Высокий	- требуются немедленные действия, рабочие операции не должны начинаться, начавшиеся операции должны быть остановлены; - идентифицируются и применяются мероприятия по снижению риска до низкого перед началом операции; - должен быть привлечен высокий уровень менеджмента.
С	Средний	- проводится полная оценка риска; - идентифицируются и применяются мероприятия по снижению риска до низкого перед началом операции; - определяется ответственность менеджмента.
Н	Низкий	- идентифицируются и применяются мероприятия необходимого контроля; - осуществляются рутинные процессы менеджмента.

Вероятность, что авария этого подшипника произойдет под озером, оценивается в 15%. Последствия такого риска будут тяжелыми и включают стоимость дополнительных работ равную 12 млн. долл. и общую задержку строительства 8 месяцев. Оценка уровня риска равная произведению его вероятности на тяжесть последствий составит в этом случае $12 \times 0,15 = 1,8$ млн. долл. С другой стороны, досрочная замена подшипника потребует затрат 1,2 млн. долл. и отношение ожидаемых аварийных затрат к реальным составит $1,8 : 1,2 = 1,5$, что показывает необходимость принятия предотвращающих мер по уменьшению опасности риска аварии подшипника.

Количественная оценка подземных рисков может проводиться вероятностными методами, описанными в гл. 4.

Таблица 7.20 – Оценка вероятности события риска

Показатель	Описание
A	Обычное событие или событие, которое, вероятно, случиться ($>0,1$)
B	Вероятно, может случиться или «вероятно, случилось» ($0,1-0,01$)
C	Может случиться или «слышали, что случилось» ($0,01-0,001$)
D	Невероятно, что может случиться или «никогда не слышали об этом» ($0,001-0,000001$)
E	Практически невозможно ($<0,000001$)

Таблица 7.21 – Оценка тяжести последствий

Показатель	Описание
I	Смерть или постоянная потеря трудоспособности
II	Критически серьезная потеря времени из-за травмы/болезни
III	Средняя потеря времени из-за травмы/болезни
IV	Малая потеря времени из-за травмы/болезни

Таблица 7.22 – Ранжирование рисков

Показатель	Вероятность события риска				
	A	B	C	D	E
I	1	1	2	3	4
II	1	2	3	4	5
III	2	3	4	5	6
IV	3	4	5	6	7

Глава 8. Примеры управления рисками подземного строительства

8.1 Общие сведения

Далее приводятся примеры управления рисками подземного строительства.

Особое внимание, ввиду уникальности проблем и сложности их решения, уделено применению количественных вероятностных оценок рисков при строительстве туннелей и других подземных объектов. Показано, что подобный подход может быть использован для выбора оптимального варианта не только при решении общих вопросов проекта в целом или его структурных частей, но также при рассмотрении частных задач, которые, однако, могут стать источником рисков в период строительства или полного жизненного цикла проекта.

Следует отметить, что в практике дизайна детерминистские и вероятностные расчеты, связанные с влиянием рисков на стоимость строительства (или его продолжительность), могут комбинироваться следующим образом:

- если базовая стоимость и стоимость рисков определяются детерминистскими способами, общая стоимость также будет иметь детерминистскую величину с отклонениями в процентах, которые в большинстве случаев основываются на опыте;
- комбинация вероятностного определения базовой стоимости и детерминистской оценки рисков не имеет смысла;
- детерминистское определение базовой стоимости и вероятностные оценки стоимости риска могут использоваться для строительных проектов;
- если базовая стоимость и стоимость рисков определяются на вероятностной основе, упрощение методологии может быть допущено вероятностным увеличением базовой

стоимости на фиксированную величину (5%, 25%, 50%) в соответствии с инженерным суждением.

Правильная оценка рисков - детерминистская или вероятностная позволяет не превышать утвержденный бюджет проекта. Инвесторы и дизайнеры могут создать прочную и хорошо определенную базу данных будущего проекта и предотвратить превышение сметы.

8.2 Строительство туннеля метро в Copenhagen

Метро в Copenhagen, Дания связывает центральную часть города с новым районом. Фазы 1 и 2 комплекса содержат 17км двойного пути с 17 станциями, из которых 8 км и 9 станций – подземные. Фаза 3 прибавляет к системе 4 км линии и 5 станций, главным образом, на уровне поверхности.

Туннель проходит под центральной частью города, где строительство могло воздействовать на многие существующие здания либо перемещениями грунтов, либо понижением уровня подземных вод. Здания имеют большие размеры и построены, начиная со средних веков. Многие из них располагаются на деревянных сваях, верхушки которых подвержены гниению и плесени, если они выходят из защитного покрытия водой. Другие старые здания опираются на каменный слой, уложенный прямо на наносы. Этот вид фундаментов чувствителен к оседанию поверхности и к изменениям гидрологических условий.

В ходе дизайна сравнивались варианты сооружения туннелей открытым способом, буровзрывными работами, буровой туннельной машиной. Для большей части трассы туннеля были выбраны буровые туннельные машины из-за их минимального воздействия на окружающую природную и антропогенную среду, высокой степени безопасности работ и экономической эффективности.

Буровзрывные работы ограничивались участками, где сооружались структуры некруглого сечения, стволы доступа

и аварийного выхода, поперечные переходы, камеры монтажа и запуска буровых туннельных машин, другие подземные полости.

Применение открытого способа было ограничено из-за опасности обрушения наземных объектов и допускалось только, когда покрывающий туннель слой пород был недостаточен для подземного строительства.

Дизайнерами рассматривались:

- риск для здоровья и безопасности строительного персонала, а также третьего участника;
- риск для собственности третьего участника – зданий на поверхности, исторических памятников и инфраструктуры;
- риск для окружающей природной среды, вред флоре и фауне;
- риск для заказчика из-за задержек окончания строительства и финансовых потерь.

Задачей управления рисками было их уменьшение практически приемлемыми мерами. Особое внимание было уделено минимизации рисков с тяжелыми последствиями. Кроме этих общих требований, для каждого вида риска был определен специфический минимум. Например, для обычной публики дополнительный риск, связанный со строительством, должен был оставаться весьма незначительным по сравнению с риском, которому она подвергается, как пользователь зданий, автомобилей, велосипедов, общественного транспорта, или, как участник пешеходного движения по улицам.

Процесс качественной оценки рисков основывался на мировом опыте подобных проектов, данные о которых были получены из литературных источников, документов, материалов партнерских компаний и дискуссий квалифицированного и опытного персонала.

Около 40 индивидуальных опасностей были идентифицированы и сгруппированы по следующим направлениям:

- проблемы финансовой несостоятельности и банкротства;

- вмешательство властей;
- вмешательство третьего участника;
- трудовые споры;
- контрактные разногласия;
- несчастные случаи;
- непредвиденные неблагоприятные условия;
- неадекватные проектные решения, спецификации, программы;
- аварии основного оборудования;
- неудовлетворяющие стандартам, медлительные или недопустимые работы;
- возможный ущерб третьего участника – повреждения наземных зданий.

С использованием метода Монте-Карло была проведена количественная оценка рисков возможного превышения базовой сметной стоимости и графика строительства. Результаты оценок были показаны в виде таблиц и диаграмм и представлены на контрактных переговорах. Пример такой наглядной иллюстрации показан на рис. 8.1.

В контрактные документы были включены:

- требования к строительным методам, относящимся к рискам третьего участника и выделением зон, требующих особого внимания;
- создание основы для управления рисками подрядчиком;
- требования к информационной базе оценки строительных рисков и мер по их снижению.

Наиболее важными темами контрактных переговоров были:

- работа буровой туннельной машины;
- процедуры и меры по предотвращению ущерба собственности третьего участника;
- процедуры, применяемые подрядчиком для управления рисками.

В текст контракта были включены позиции, которые более четко очерчивали и детализировали обязательства под-

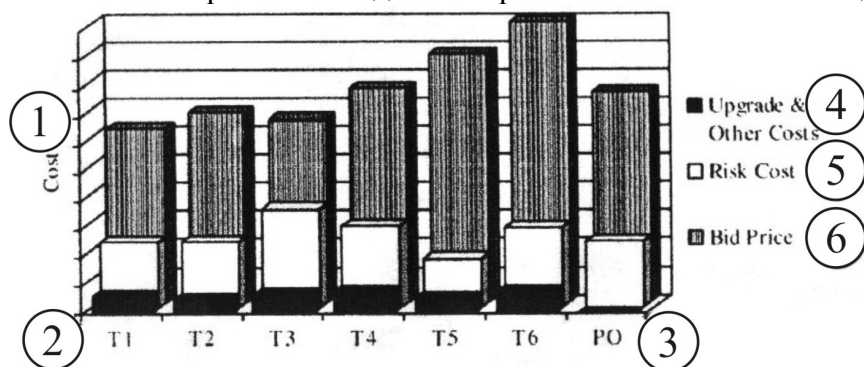


Рис. 8.1. Иллюстрация контрактной оценки влияния риска на предпочитаемую стоимость объекта

1 – стоимость; 2 – оцениваемые варианты; 3 – предлагаемая стоимость и другие расходы; 4 – уточненная стоимость и другие расходы; 5 – стоимость риска; 6 – предлагаемая цена.

рядчика:

- положение, определившее, что подрядчик ответственен за предотвращение ущерба строениям и другой собственности третьего участника. Уточнялись границы этого ущерба, в результате чего из контракта была исключена ответственность подрядчика за малую порчу декоративной отделки строений;

- статья о необходимости общего предварительного исследования всех строений в зоне шириной 100 м вдоль направления туннеля;

- пункт, по которому заказчик до начала строительства обеспечивал подрядчика детализированной информацией о чувствительных зданиях, фотографиями и регистрацией существующих в них трещин;

- требование, по которому подрядчик согласовывал с заказчиком применяемые методы строительства, не причиняющие зданиям ущерба, вызванного оседанием поверхности;

- условия мониторинга подрядчиком сдвижения поверхности земли и зданий, превышающего прогнозируемые пределы, для принятия дополнительных мер, уменьшающих риски;

- констатация недопустимости понижения уровня подземных вод, что должно обеспечиваться комбинацией предотвращения притока воды в строящиеся объекты и подпитки подземных вод.

Контракт давал общую оценку рискам работ, выполняемых подрядчиком, которые определялись дискуссиями экспертов и в дальнейшем конкретизировались.

8.3 Строительство гидроэлектрического комплекса Nyadi Hydropower

Строительство гидроэлектрических станций, в частности, включающих подземные структуры, происходит обычно с превышением запланированных стоимости и срока строительства. Данные Мирового банка показывают постепенное ухудшение этих показателей, в частности, потому, что проекты становятся более рискованными, их фактическая стоимость достигает 560% от запланированной, а срок строительства превышает установленный на 61%.

Строительство подземных структур электростанций включает много геотехнических рисков, из-за чего участники проекта, финансирующие строительство, требуют их качественного и количественного анализа и учета при определении ожидаемого бюджета.

Примером такого строительства служит станция Nyadi Hydropower, Непал мощностью 20 MW. Проектом, выполненным в 2000 г. предусматривалась базовая стоимость равная 32,25 млн. долларов со сроком строительства 5 лет. В состав проекта входили бетонная плотина через реку Nyadi, подземный резервуар, а также головной туннель, подводящий воду к

турбинам по стальной напорной трубе длиной примерно 3,7км.

К сожалению, хотя в Непале ранее были построены подобные электростанции, участники проекта не располагали данными о фактических рисках подземного строительства и связанных с ними затратами. Поэтому единственной альтернативой для получения сведений о возможных опасностях был опрос людей, вовлеченных ранее в гидротехнические работы.

Приглашенный для оценки риска персонал имел значительный опыт и состоял из независимых консультантов. При обсуждении ими совместно с представителями подрядчика поставленных вопросов было принято решение о классификации рисков и их относительной важности (табл. 8.1).

В зависимости от предыдущей изученности факторов риска и имеющегося опыта было проведено ранжирование влияния этих факторов на стоимость строительства. Для случая гидростанции Nyadi шкала ранжирования приведена в табл. 8.2.

Таблица 8.1 – Классификация и относительная важность рисков

Вид риска	Факторы риска	Относительная важность, %
1	2	3
Риск общего характера	Подземные геологические условия	9,6
	Условия площадки строительства и другие изменяющиеся условия	5,4
	Ошибки проектирования	5,4
	Избыточная экскавация	11,2
	Всего:	31,6
Риск единицы работ	Инфляция	2,5
	Колебания курса валют	4,6
	Дефектные работы	4,0
	Производительность труда	3,8
	Производительность оборудования	4,5

Продолжение таблицы 8.1

1	2	3
Риск нарушения графика строительства	Трудовые споры, забастовки	3,2
	Несчастные случаи, повреждения людей и собственности	4,4
	Запаздывание проектной документации	4,2
	Аварии оборудования	6,9
	Возможности ресурсов, своевременная поставка оборудования	6,6
	Изменения порядка переговоров и решения споров	3,4
	Неблагоприятные погодные условия	2,1
	Всего:	30,8
Другие риски	Публичные беспорядки, терроризм	9,4
	Требования согласований и их получение	5,8
	Стандарты и правила	3,0
	Всего:	18,2

Таблица 8.2 – Ранжирование влияния изученности факторов риска на стоимость строительства

Изученность факторов риска	Класс изученности риска	Краевые значения ранжирования	
		нижняя	верхняя
Хорошая	A	- 5%	+ 20%
Приемлемая	B	- 10%	+ 30%
Недостаточная	C	- 15%	+ 50%
Плохая	D	- 20%	+ 100%

Далее применительно к головному туннелю станции Nyadi рассматривается методика расчета влияния рисков на определение стоимости строительства.

На 1-ом шаге расчета в зависимости от сметной (базовой) стоимости объектов, входящих в комплекс головного туннеля и важности (веса) каждого фактора риска, были определены взвешенные базовые значения стоимости видов работ (табл. 8.3).

Таблица 8.3 – Взвешенные базовые значения стоимости работ, входящих в комплекс головного туннеля

Вид работ	Базовая стоимость, тыс. долл.	Взвешенные базовые значения стоимости, тыс. долл.			
		риск общего характера (вес 0,316)	риск единицы работ (вес 0,194)	риск нарушения графика (вес 0,308)	другие риски (вес 0,182)
Обустройство площадки строительства	191,20	60,42	37,09	58,89	34,80
Портал	23,67	7,48	4,58	7,29	4,3
Экспкавация туннеля	721,68	228,05	140,0	222,28	531,35
Железобетонная крепь	773,28	224,36	150,0	238,17	140,74
Анкерная крепь	215,59	68,13	41,82	66,4	39,24
Опережающая крепь	99,37	31,4	19,28	30,6	18,08
Разведочные скважины	19,37	6,12	3,76	9,97	3,53
Тампонажные работы	162,28	51,28	31,48	50,0	29,53
Бетонная крепь	251,20	79,38	48,73	77,37	45,72
Итого	2457,67	776,6	476,77	756,94	447,28
Прочие	451,28				
Всего	2908,95				

На 2-ом шаге в зависимости от влияния изученности факторов риска были определены краевые значения взвешенной стоимости каждого вида работ (табл. 8.4). Краевые значения определяют диапазон варьирования стоимости работ, а суммы этих значений – границы варьирования общих затрат на строительство головного туннеля.

Однако, вместо простого сложения краевых значений, для объективной оценки факторов риска был применен метод статистических испытаний Монте-Карло. С этой целью для каждого вида работ были построены треугольные распределения вероятностей (рис. 8.2), где в основаниях треугольни-

ков находятся базовые и краевые значения взвешенной стоимости работ из табл. 8.4, а высотой является их вероятность. Предполагалось, что сложение таких треугольников, соответствующих видам работ, позволит получить результирующую функцию нормального распределения, для которой могут быть определены среднее значение, дисперсия (мера разброса), нормальное отклонение.

С помощью специальных программ были получены четыре кривых распределения для каждого фактора риска. После их соединения определилась результирующая функция нормального распределения, которая представила риск общего состава работ и позволила с достаточной степенью уверенности определить непредвиденные затраты, необходимые для успешного завершения строительства. Для головного туннеля электростанции Nyadi эти затраты составили 15% от базовой стоимости (436,34 тыс. долл.).

Подобным же образом были определены непредвиденные расходы и для других объектов проекта (рис. 8.3). Их общая величина равнялась 20,2% от базовой стоимости, что было на 7% выше первоначально (без учета рисков) запланированных расходов.

8.4 Строительство канализационного туннеля Fall Creek/White River

В проекте строительства канализационного туннеля Fall Creek/White River, Indianapolis, Индиана, США применялся регистр рисков, позволивший четко ограничить и идентифицировать опасности, возникающие при проходческих работах, их причины и возможные последствия. Так, в частности, на стадии предварительного выбора направления трассы туннеля оценивался риск притока подземных вод в трех вариантах маршрута и длины туннеля, которая колебалась от 12 до 17 км.

При строительстве использовались буровые туннельные машины, а в качестве постоянной крепи – монолитный бетон.

Таблица 8.4 – Краевые значения взвешенной стоимости работ, входящих в комплекс

ГОЛОВНОГО ТУННЕЛЯ

№ п/п	Виды работ	Полная базовая стой- мость, тыс. долл.	Знак диапазона	Риск общего характера				Риск единицы работ			
				взвешенные базовые значения стоимости	класс риска	границы диапазона	краевые значения стоимости	взвешен- ные базо- вые зна- чения стоимости	класс риска	границы диапазона	краевые значения стоимости
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1.	Обустройство площадки строительства	191,2	- +	60,42	B	0,9 1,3	54,38 78,55	37,09	A	0,95 1,2	35,24 44,51
2.	Портал	23,67	- +	7,48	A	0,95 1,2	7,10 8,98	4,58	A	0,95 1,2	4,35 5,50
3.	Экскавация туннеля	721,68	- +	228,05	D	0,8 2	182,44 456,1	140,0	D	0,8 2	112,0 28,0
4.	Железобетон- ная крепь	773,28	- +	224,36	C	0,85 1,5	190,71 336,54	150,0	A	0,95 1,2	142,5 180,0
5.	Анкерная крепь	215,59	- +	68,13	B	0,9 1,3	61,32 88,57	41,82	A	0,95 1,2	39,73 50,18
6.	Опережающая крепь	99,37	- +	31,4	B	0,9 1,3	28,26 40,82	19,28	B	0,9 1,3	17,25 25,06
7.	Разведочные скважины	19,37	- +	6,12	B	0,9 1,3	5,51 7,96	3,76	B	0,9 1,3	3,38 4,89
8.	Тампонажные работы	162,28	- +	51,28	D	0,8 2	41,02 102,56	31,48	A	0,95 1,2	29,91 37,78
9.	Бетонная крепь	251,20	- +	79,38	D	0,8 2	63,50 158,76	48,73	B	0,9 1,3	43,86 63,35

Продолжение таблицы 8.4

№ п/п	Риск нарушения графика				Другие риски			
	взвешенные базовые значения стоимости	класс риска	границы диап- зона	краевые значения стоимости	взвешенные базовые значения стоимости	класс риска	границы диап- зона	краевые значения стоимости
1	13	14	15	16	17	18	19	20
1.	58,89	D	0,8 2	47,11 117,78	34,80	C	0,8 1,5	29,58 55,2
2.	7,29	B	0,9 1,3	6,56 9,48	4,3	B	0,9 1,3	3,87 5,59
3.	222,28	D	0,8 2	177,82 444,56	131,55	D	0,8 2	105,24 263,1
4.	238,17	C	0,85 1,5	202,44 357,26	170,74	B	0,9 1,3	153,67 221,96
5.	66,4	B	0,9 1,3	59,76 86,32	39,24	B	0,9 1,3	35,32 51,01
6.	30,6	B	0,9 1,3	27,54 39,78	18,08	B	0,9 1,3	16,27 23,50
7.	5,97	B	0,9 1,3	5,37 7,76	3,53	B	0,9 1,3	3,18 4,59
8.	50,0	B	0,9 1,3	45,0 65	29,53	B	0,9 1,3	26,58 38,39
9.	77,37	B	0,9 1,3	69,63 100,58	45,72	B	0,9 1,3	41,15 59,44

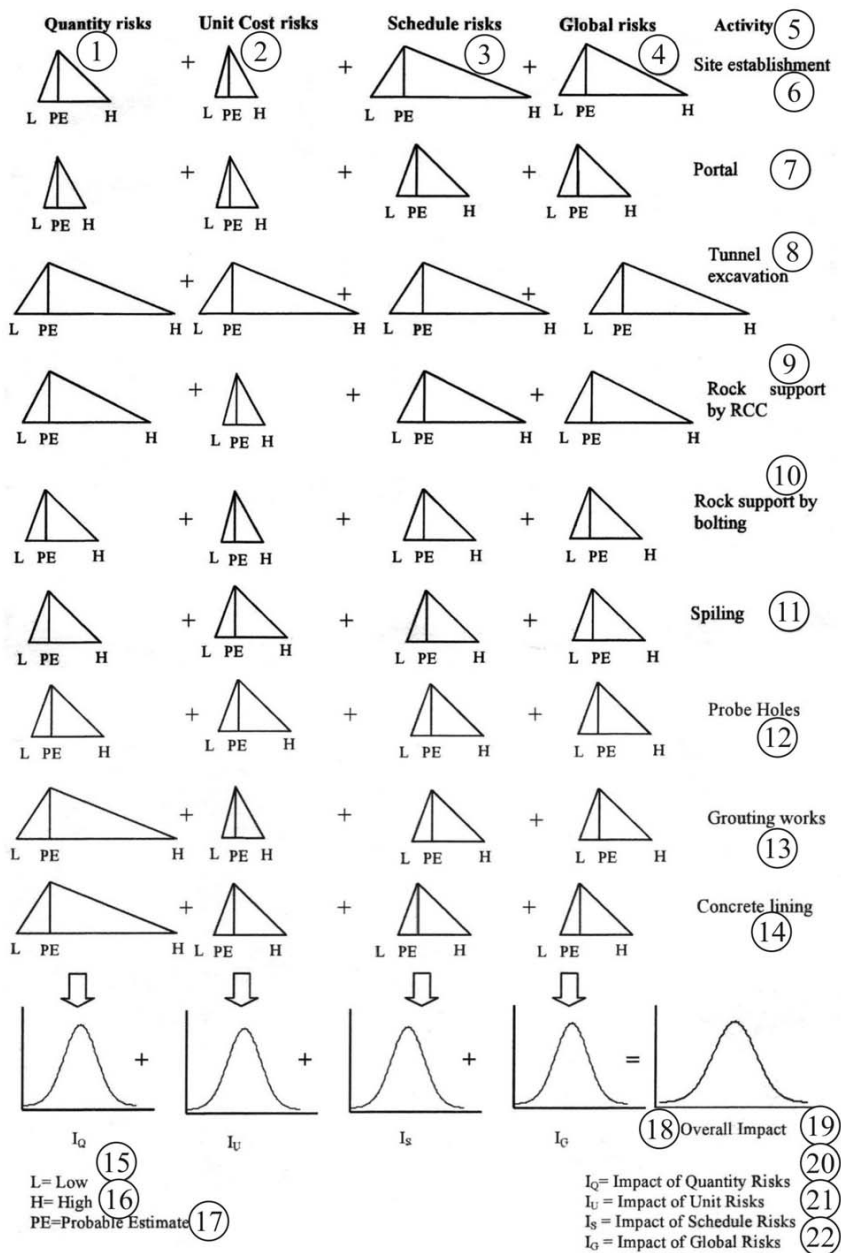


Рис. 8.2. Треугольное распределение вероятностей стоимости работ по строительству головного туннеля

Объяснения к рис. 8.2:

1 – риск общего характера; 2 – риск единицы работ; 3 – риск нарушения графика строительства; 4 – другие риски; 5 – виды работ; 6 – обустройство площадки строительства; 7 – портал; 8 – экскавация туннеля; 9 – железобетонная крепь; 10 – анкерная крепь; 11 – передовая крепь; 12 – разведочные скважины; 13 – тампонажные работы; 14 – бетонная крепь; 15 – низкая стоимость; 16 – высокая стоимость; 17 – наиболее вероятная стоимость; 18 – общее воздействие; 19 – воздействие рисков общего характера; 20 – воздействие риска единицы работ; 21 – воздействие риска нарушения графика строительства; 22 – общее воздействие рисков.

Основные риски строительства включали:

- потенциальное воздействие на ближайшие существующие общественные и частные скважины водоснабжения;
- повышенное просачивание подземных вод в строящийся туннель и расходы на усиление системы водоотлива;
- истощение ресурсов водоснабжения района – природных подземных резервуаров.

Регистр рисков идентифицировал опасность притоков подземных вод с точки зрения их соответствия регулирующим нормативам, контрактным документам, озабоченности акционеров, технологии и безопасности строительства.

По шкале от 5 баллов до 1 было произведено ранжирование вероятности рисков (табл. 8.5), а по шкале от 1 до 5 классифицировались их последствия (табл. 8.6).

Затем результаты этих оценок вводились в регистр рисков (табл. 8.7). Эта таблица представляет собой учебный фрагмент с тремя видами рисков из общего состава работ, представленного в регистре. Наконец, проводилась оценка опасности риска умножением класса вероятности риска из табл. 8.5 на наивысшую оценку его возможных последствий из табл. 8.6. Результаты этих расчетов показаны на рис. 8.4, где произведено зонирование опасностей рисков по категориям – низкие, средние или высокие.

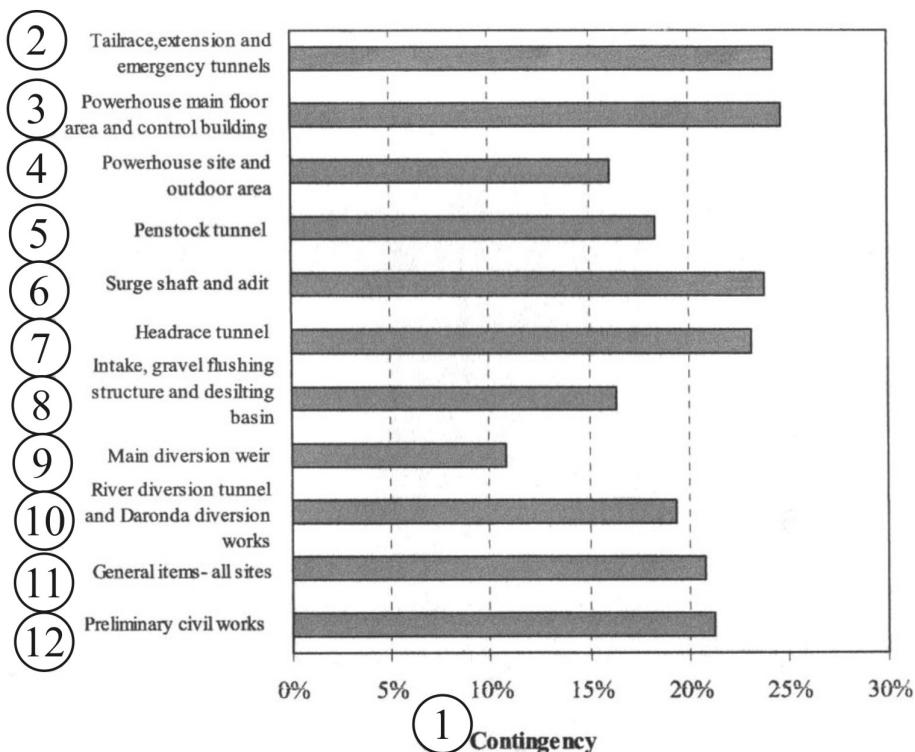


Рис. 8.3. Непредвиденные расходы при строительстве различных объектов гидроэлектрического комплекса Nyadi Hydropwer

1 – непредвиденные расходы; 2 – туннели; 3 – главный (силовой) зал и здание управления; 4 – строительная площадка главного зала и внешняя территория; 5 – туннель напорной воды; 6 – буферная емкость (ствол) и туннель доступа; 7 – подводящий туннель; 8 – очистные сооружения; 9 – плотина водосбора; 10 – отводящий туннель; 11 – все строительные площадки; 12 – предварительные гражданские работы.

Завершило оценку рисков применение метода Монте-Карло, который дал распределение общей вероятности вызванного рисками увеличения стоимости или срока строительства, что позволяет учесть в бюджете проекта дополнительные затраты на непредвиденные обстоятельства.



Рис. 8.4. Результаты оценки рисков при строительстве канализационного туннеля Fall Creek/White River
белые поля – низкий риск; серые поля – средний риск; темные поля – высокий риск

Таблица 8.5 – Классификация вероятности рисков

Класс вероятности рисков	Характеристика вероятности рисков
5	весьма вероятный
4	вероятный
3	случайный
2	маловероятный
1	весьма маловероятный

Таблица 8.6 – Тяжесть последствий рисков

Последствия риска	Тяжесть последствий рисков				
	незначительная	существенная	серьезная	тяжелая	катастрофическая
1	2	3	4	5	6
Финансовые потери. Воздействие на график строительства	менее 100 тыс. долл. 1-7 дней	100-700 тыс. долл. 7-21 дней	750 тыс.-2 млн. долл. 21-90 дней	2-10 млн. долл. 3-9 мес.	более 10 млн. долл. 9 мес. – 1 год и более
Социальная окружающая среда	Жалобы общест-венности	Запросы местных властей/ политиков	Жалобы местных властей/ политиков	Большое местное воздействие или малое национальное воздействие	Национальное или международное воздействие
Нормативные материалы, законы	Частичное несоблюдение	Несоблюдение с возможными претензиями третьего участника	Систематические несоблюдения с возможными штрафами или претензиями третьего участника на сумму 100 тыс. долл.	То же с претензиями на сумму более 100 тыс. долл.	Значительные последствия для старшего персонала, потенциально большой ущерб

Продолжение таблицы 8.6

1	2	3	4	5	6
Здоровье и безопасность	Малый травматизм или его опасность	Малый травматизм	Серьезная травма или множественные малые травмы	Множественные серьезные травмы или травмы третьего участника	Серьезная травма или смертность третьего участника
Окружающая природная среда	Малое кратковременное местное воздействие	Серьезное кратковременное местное воздействие	Краткосрочное региональное воздействие	Долгосрочное местное воздействие	Долгосрочное региональное воздействие

8.5 Расширение транспортной сети Toronto

Программа расширения транспортной сети Toronto (Toronto's Rapid Transit Expansion Program) планировала строительство двух новых линий метро (Sheppard и Eglinton) и другие работы. В этот объем входили 25 км новых транспортных линий, в составе которых было 9,6 км двойного туннеля и 19 станций. Туннели проходились буровым способом в ледниковых отложениях, типичных для юга провинции Ontario.

Условия строительства требовали, чтобы управление рисками и меры по их контролю были интегрированы в планируемую программу.

Риск подземных работ возрастает с изменчивостью геологических и гидрологических условий. Поэтому предварительной разведкой до начала строительства устанавливались пределы варьировемости таких параметров, как мощность и

Таблица 8.7 – Регистр рисков при строительстве туннеля

Вид рисков	Причина опасности	Возможные последствия	Вероятность риска (А)	Последствия риска (В)						Оценка риска $C = A \times B$
				финансовые	график строительства	социальная среда	нормативная база	здоровье и безопасность	природная среда	
Проблемы с предельным тампоном	Тампоном воздействует на производительность скважин водоснабжения	Скважины водоснабжения перекрываются тампоном	3	3	3	4	4			12
Проблемы с установкой крепи	Подрядчик не обеспечивает нужной производительности	Задержки графика строительства, приток воды в туннель	2	3	2					6
Обрушения туннеля	Недостаточная квалификация подрядчика	Падения породных масс или крепи	2	4	5	4	3	4		10

протяженность отложений, крепость и проницаемость пород. Оказалось, например, что проницаемость отложений, встречаемых на одной из строительных площадок, варьировалась десятикратно. Такая неопределенность природных условий усложнялась искусственно созданными опасностями зараженных грунтов, ожидаемыми в большинстве городских районов.

Программа разведочных работ выполнялась этапами, соответствующими стадиям дизайна, в зависимости от которых определялось расстояние между керновыми скважинами: на первом этапе оно равнялось 450 м, на втором – 150 м, на третьем – 75 м в туннелях и 50 м на станциях.

Кроме этого регулярного бурения, потребовались дополнительные скважины, связанные со вспомогательными структурами (подземными автобусными терминалами, парковочными стоянками, заглубленными железнодорожными путями), а также требующиеся для пересечений туннельными структурами участков, чувствительных к строительным работам или загрязненным.

Необходимый уровень геологоразведочных усилий обычно бывает трудно оценить. На рис. 8.5 а показан случай наличия их оптимального объема, а на рис. 8.5 б случай, когда не существует четкого оптимального значения стоимости разведочных работ, но имеется точка (вблизи отношения длины скважин к длине туннеля, примерно равного 1,5), за которой нет смысла увеличивать затраты на разведку. При значении этого отношения 0,75 стоимость претензий об оплате непредвиденных строительных работ, связанных с недостаточным уровнем разведанности, составит около 10% общего бюджета проекта.

Этими соображениями, а также другими, более детальными экономическими исследованиями определялся оптимальный объем разведки для рассматриваемого строительства туннеля. На их основании был составлен базовый геотехнический доклад, явившийся основой для контрактных докумен-

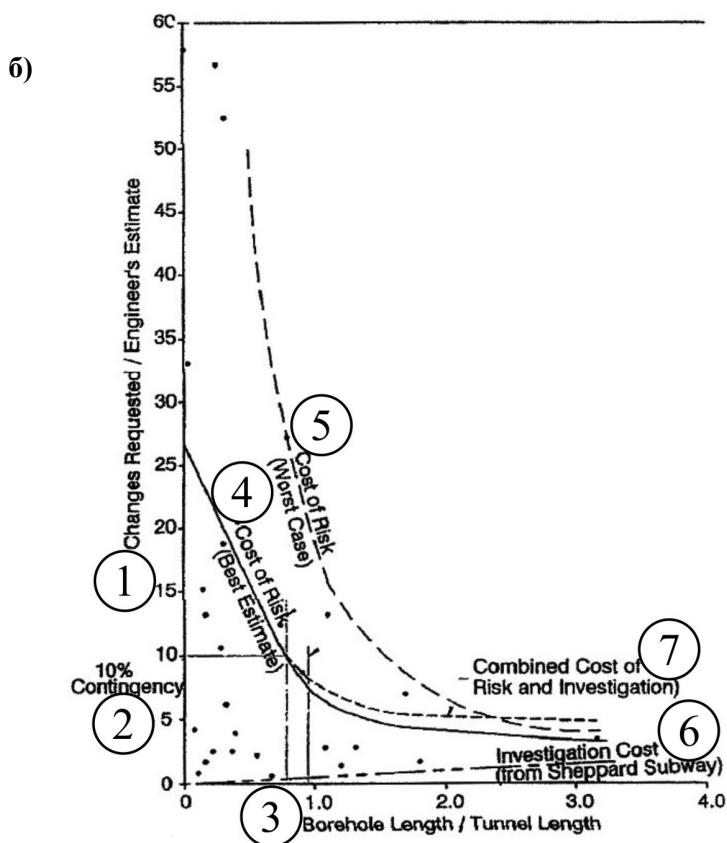
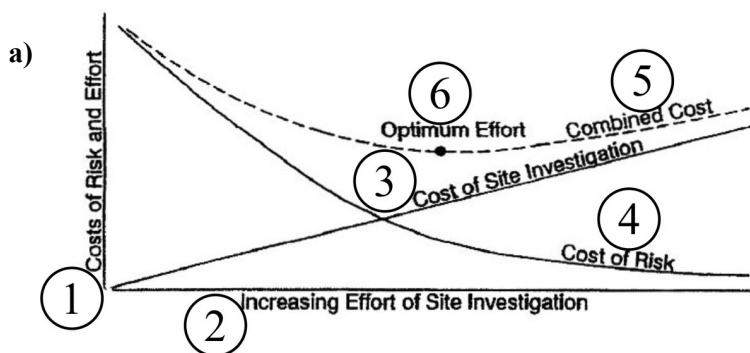


Рис. 8.5. Оптимизация объема геологоразведочных работ

Объяснения к рис. 8.5:

а) принцип оптимизации объема разведочных работ.

1 – стоимость рисков и ликвидации их последствий; 2 – увеличение объема геологоразведочных работ; 3 – стоимость разведочных работ; 4 – стоимость риска; 5 – суммарная стоимость; 6 – оптимальный объем разведки.

б) определение оптимального объема разведочных работ для участка туннеля линии метро Sheppard.

1 – непредвиденные расходы, вызванные изменениями геологических условий; 2 – принятые проектом непредвиденные расходы, определившие необходимый объем разведочных работ; 3 – отношение длины скважин к длине туннеля; 4 – стоимость риска (лучшие оценки); 5 – стоимость риска (худшие оценки); 6 – стоимость разведки на линии Sheppard; 7 – общая стоимость риска и разведки.

тов. В докладе прогнозировались ожидаемые условия строительства и приводились соображения о разделении ответственности за риски в условиях неопределенности. Это позволило подрядчику компенсировать затраты на смягчение рисков при встрече участков, где подземные условия или поведение породного массива ожидалось хуже прогнозируемых геотехническим докладом.

Например, известно, что ледниковые отложения содержат валуны, но вертикальные скважины редко их встречают. Поэтому, наряду с такими скважинами, возможная частота встречи препятствий забоем туннеля оценивалась также по данным двух туннелей, ранее строившихся открытым способом. На основании этих данных в каждом контракте подземных работ строящейся линии Sheppard было учтено наличие валунов и предусматривалась дополнительная оплата работ,

если их количество превышало ожидаемое.

В проектах больших городских инфраструктур необходимо прогнозирование возможных загрязнений грунтов и подземных вод. Усилия, затраченные на определение загряз-

ненных зон на стадии дизайна, минимизируют затраты и задержки строительства при их неожиданной встрече.

Для выбора направлений новых линий метро были собраны исторические сведения о прежнем использовании земли. Источниками информации были фотографии, карты страховки от пожаров, регистрационные записи, сведения о расположении мусорных свалок и хранилищ жидкого топлива. Проводились пешеходные инспекции. Обращалось внимание на места возможных выбросов химических веществ такие, как заправочные станции, химчистки, промышленные объекты и т.д. Разведочные скважины в местах возможных загрязнений располагались как можно ближе к трассе будущего туннеля.

Проводились полевые и лабораторные исследования полученных образцов грунтов и, при необходимости, определялись места продолжения разведочных работ, выполнялись количественные прогнозы ожидаемых загрязнений. Определялись и согласовывались также места складирования отходов экскавационных работ строящихся туннелей и сброса подземных вод, контрактные документы учитывали расходы на создание нормативных условий в этих местах, что позволило избежать риска, связанного с нарушениями природоохранных стандартов.

Еще одной проблемой был риск оседания поверхности, вызванный подземными строительными работами и глубокой экскавацией котлованов под фундаменты наземных зданий. Для каждого подрабатываемого объекта, включая инфраструктуру, была определена зона влияния строительства, зависящая от геометрии работ (глубина туннеля или котлована, уровень фундаментов зданий, их расстояния от туннеля и др.) и от качества грунтов (рис. 8.6). Моделирование строительного процесса и его влияния на наземные структуры, а также оценка возможности их переноса с учетом затрат на приобретение земельных участков, позволили выработать стратегию уменьшения риска повреждения существующих структур и определить оптимальные затраты для их защиты. Эти реше-

ния были отражены в контрактных документах, как минимальные требования дизайна, которые учитывались во временных работах подрядчика.

Для подрабатываемых наземных зданий риски оседания поверхности, превышающие нормативные, покрывались страховкой. Общая страховая сумма для линии Sheppard составила 100 млн. канадских долларов (из расчета 5000 долл. за случай) при общей стоимости строительства 557 млн. долл. (канадский доллар = 0,8 доллара США).

Работа строителей в обстановке неопределенности обычно требует применения специфических методов и оборудования, что приводит к задержкам работ и появлению трудно разрешаемых претензий. Кроме споров между участниками подземных работ, влияние строительства на окружающую природную среду (включая наземные здания) может привести к потере общественной поддержки проекта, что подтверждается опытом Лондона, Лос-Анжелеса, Сан-Пауло, Сеула. Этот фактор также учитывался при реализации рассматриваемого проекта в Toronto.

Ключевыми пунктами программы управления рисками строительства метро были их оценки и распределения в контрактных документах. В канадских строительных контрактах прошлых лет ответственность за все подземные риски поручалась подрядчику. При строительстве метро в Toronto заказчик – городские власти – принял на себя риски геотехнической обстановки.

С целью эффективного разрешения споров из-за вероятного внесения изменений в ход строительства использовалась технология хранения документов у третьего лица (Escrow Bid Documents), а споры и претензии рассматривались на Совете их разрешения (Dispute Review Board). Совет формировался из одного члена, назначенного заказчиком, другого – назначенного подрядчиком и третьего – председателя, совместно выбранным первыми двумя.

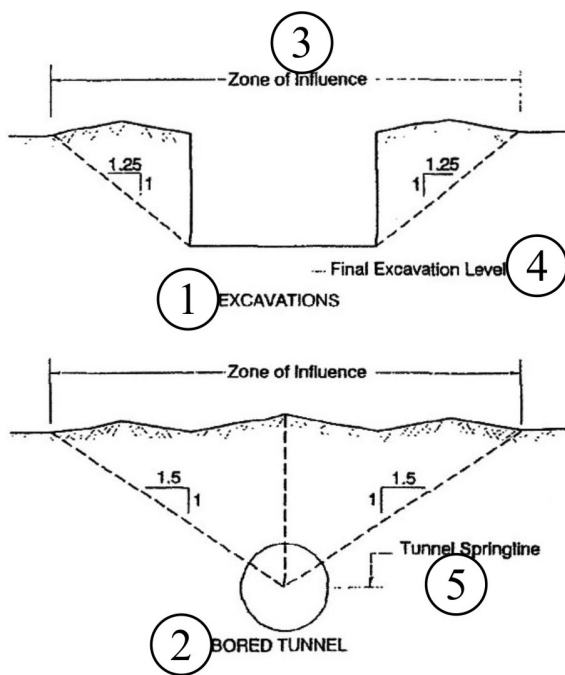


Рис. 8.6. Зоны влияния открытой экскавации и туннельных работ

1 – открытая экскавация; 2 – туннельные работы; 3 – зона влияния;
4 – уровень финальной экскавации; 5 – линия максимальной ширины сечения туннеля.

Менеджмент строительства осуществлялся представителем заказчика, который вместе с другими консультантами был интегрирован в команду управления. Это позволило, в частности, предотвратить разное понимание участниками строительства результатов базового геотехнического доклада.

8.6 Оптимизация технологии строительства туннеля Brenner Base

Туннель Brenner Base, для которого в настоящее время проходится разведочный туннель, будет иметь длину 57 км,

пролет сечения 9,6 м и служить средней частью рельсовой магистрали между Munich (Германия) и Verona (Италия). Туннель строится под Альпами. Максимальная толщина покрывающих его пород составляет 1600 м, средняя – 900 м (рис. 8.7).

Комплекс проекта будет состоять из двух однопутевых железнодорожных туннелей с расстоянием между ними в районе порталов 40 м и в остальной части – 70 м (рис. 8.8). Каждые 333 м туннели связываются между собой поперечными переходами. Разведочный туннель, расположенный между главными и на 10 м ниже их, будет использоваться также, как дренажный.

На расстоянии примерно 20 км друг от друга будут построены три многофункциональных станции (Innsbruck, Steinach и Prati), предназначенные для экстренных остановок поездов, сбора поврежденных вагонов и спасения пассажиров при аварии.

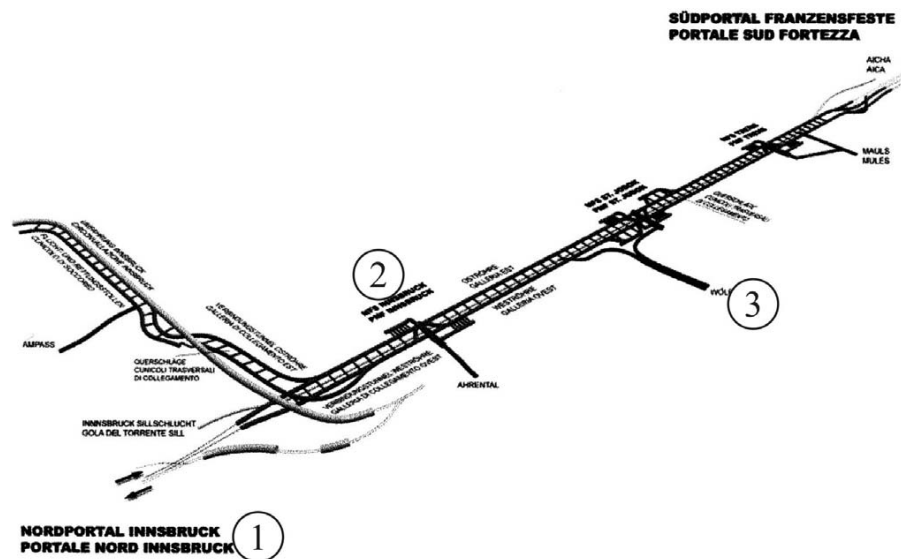


Рис. 8.7. Общая схема строительства туннеля Brenner Base
1 – портал; 2 – многофункциональная станция; 3 – туннель доступа.

Из-за большой длины туннель Brenner пересекает геологические массы с разными характеристиками (рис. 8.9). Качество пород – в основном хорошее, но оно существенно ухудшается в зонах нарушенности и растягивающих напряжений с высокими нагрузками.

Главные породные слои, пересекаемые туннелем, состоят из:

- кварцевых филлитов – на длине 13 км;
- карбонизированных известковых сланцев – на длине 9 км;
- гранитов и гранодиоритов – на длине 7 км;
- гнейсов – на длине 6 км;
- карбонизированных филлитов – на длине 6 км;
- перемежающихся слоев тех же пород – на остальной длине.

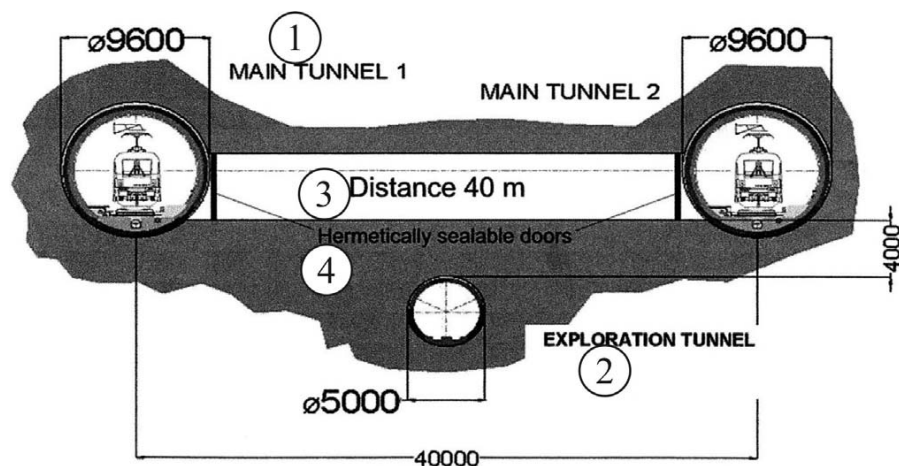


Рис. 8.8. Сечение по комплексу туннеля Brenner Base

1 – главный туннель; 2 – разведочный туннель; 3 – расстояние между главными туннелями; 4 – герметичные двери.

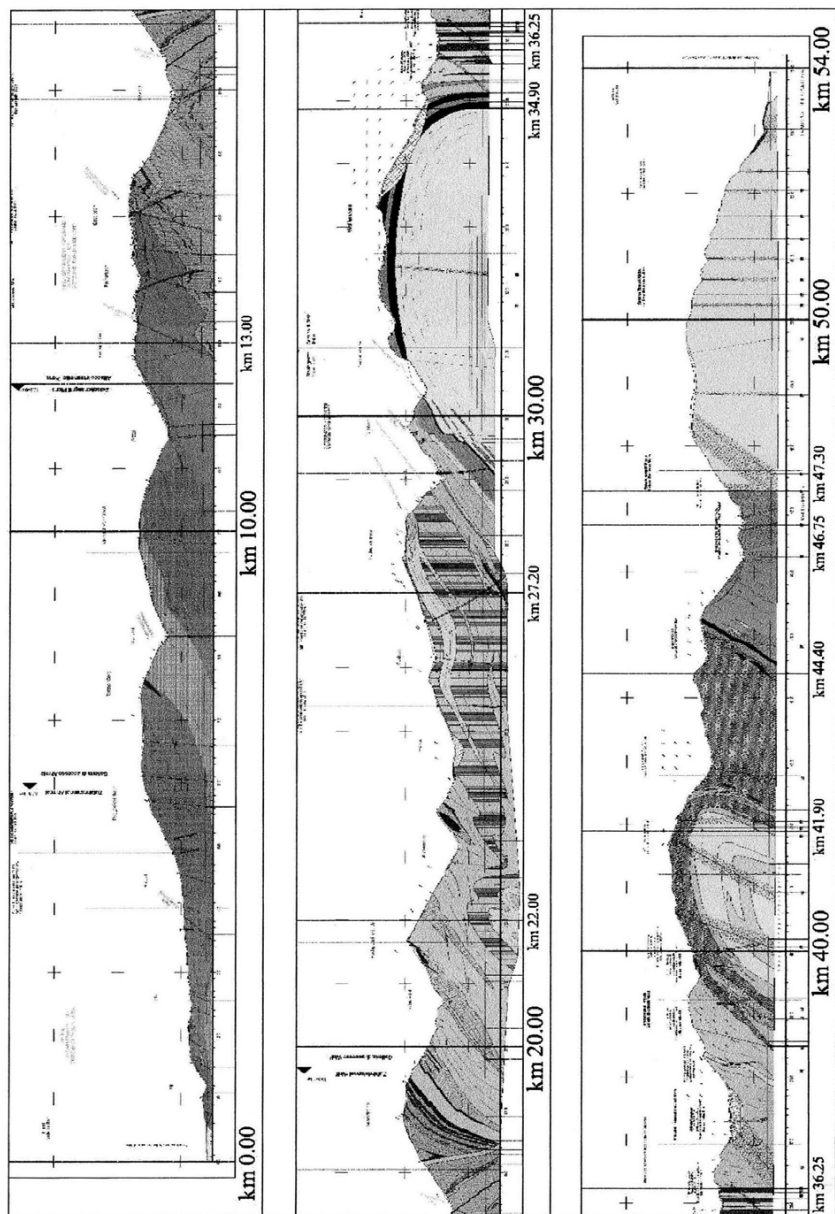


Рис. 8.9. Геологический разрез по трассе туннеля Brenner Base

Предшествующее строительство на большой глубине туннелей в Альпах показало, что поведение породных масс бывает в этих условиях либо упругим, либо упругопластичным. Первый случай может сопровождаться внезапным выделением энергии в виде выброса пород, во втором случае ожидается сжимающий эффект пород и конвергенция контура туннеля.

Риск внезапных выбросов породы принимался в расчет при разработке дизайна проекта с учетом опыта, полученного при экскавации туннелей Lotschberg (см. книги авторов «Строительство туннелей», ч. 1, «Норд-Пресс», Донецк, 2006 и «Подземное строительство в нестабильных условиях» «Норд-Пресс», Донецк, 2008) и Monte Bianco. Согласно этому опыту, риск внезапных выбросов может быть разделен на 4 класса, показанных на рис. 8.10, где в отношении σ_{ci} / σ_V числитель σ_{ci} означает крепость пород при осевом сжатии массива, а знаменатель σ_V - вертикальное напряжение в нем.

Сжимающий эффект проявляется, когда напряжения пород, образующиеся при экскавации, намного превышают их крепость, чем генерируется больше пластическая зона вокруг туннелей, создающая значительную конвергенцию.

Первым прогнозом для сжимающихся пород в туннеле Brenner было сравнение рассчитанных деформаций с результатами исторических данных, относящихся к нескольким, ранее построенным туннелям (рис. 8.11). Участок сжимающихся пород, окончательно определенный в дизайне туннеля, расположен между 19-ым и 54-ым километрами его длины (рис. 8.12).

В ходе оптимизации технологии экскавации и установки крепи принимаемые решения рассматривались с точки зрения минимизации стоимости, времени и риска. Способ экскавации (буровзрывной или с помощью буровой туннельной машины) определяется дифференцированно для каждого участка туннеля с однородными свойствами пород.

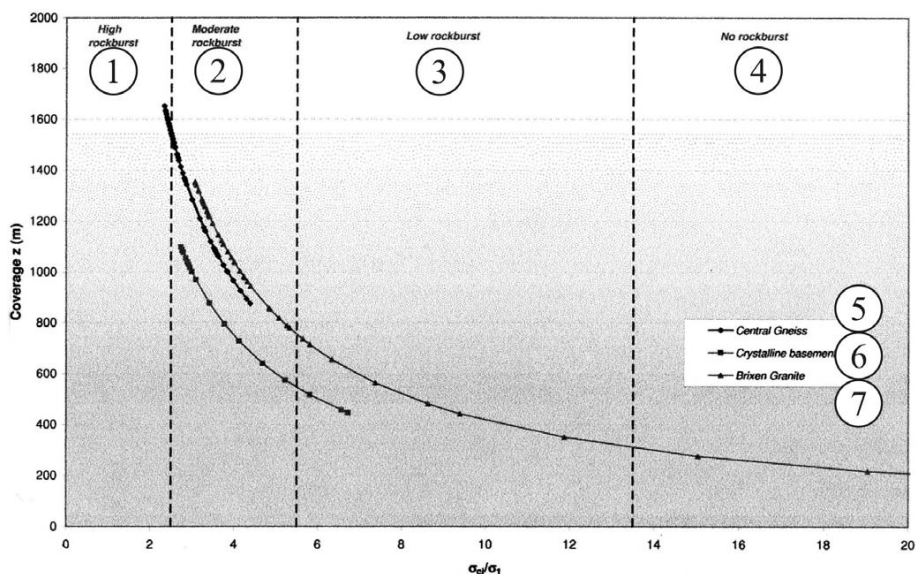


Рис. 8.10. Потенциал рисков внезапных выбросов породы
 1 – высокая опасность; 2 – средняя опасность; 3 – низкая опасность;
 4 – отсутствие выбросов; 5 – гнейсы; 6 – кристаллическое основание; 7 – гранит.

На участках крепких пород, опасных по внезапным выбросам, предусматривается интегрированная система крепи, включающая анкерные болты специальной конструкции, металлическую сетку и набрызгбетон.

Анкерная система Swellex (рис. 8.13) представляет собой стержень длиной до 12 м, состоящий из трубы диаметром 42 мм с продольной складкой, созданной при изготовлении. Складка снижает диаметр стержня до 25-28 мм, что позволяет вставить его без усилий в скважину диаметром 32-39 мм. Высокое давление воды, нагнетаемой в стержень (примерно 30 МПа), заставляет складку трубы расправиться, создавая таким образом давление стержня анкера на стенки скважины.

Другим вариантом анкерной крепи, применяемой в описанных условиях, служит конструкция «Split Set» (рис. 8.14). Здесь в трубе стержня, изготовленной из высокопрочной ста-

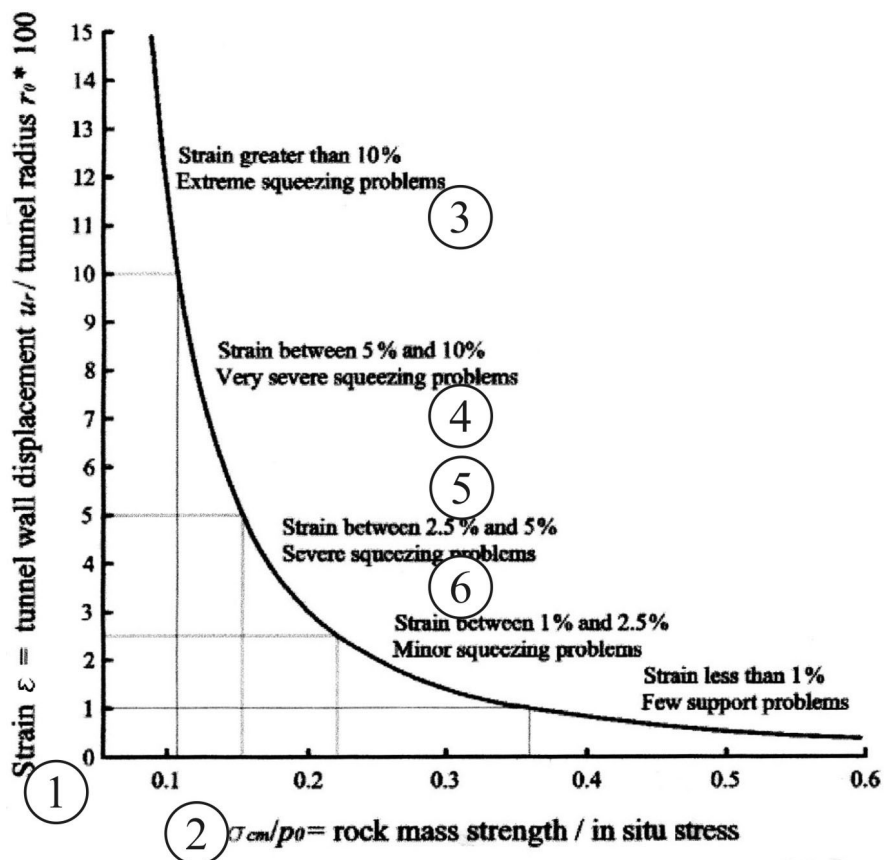


Рис. 8.11. Диапазон потенциала опасности сжимающихся пород
 1 – коэффициент конвергенции, % (сжимающий потенциал), равный произведению перемещения стен туннеля и величины, обратной радиусу туннеля; 2 – отношение крепости пород к напряжениям в массиве; 3 – коэффициент конвергенции более 10% - чрезвычайные сжимающие проблемы; 4 – коэффициент конвергенции между 5% и 10% - очень тяжелые сжимающие проблемы; 5 – коэффициент конвергенции между 2,5% и 5% - тяжелые сжимающие проблемы; 6 – коэффициент конвергенции между 1% и 2,5% - небольшие сжимающие проблемы; 7 – коэффициент конвергенции менее 1% - некоторые проблемы крепления туннеля.

Объяснения к рис. 8.12:

1 – коэффициент конвергенции, %; 2 – покрывающая толща пород; 3 – коэффициент конвергенции, %, (сжимающий потенциал); 4 – коэффициент конвергенции, 1%, (некоторые проблемы крепления туннеля); 5 – то же до 2,5% (небольшие сжимающие породы); 6 – то же до 5% (тяжелые сжимающие проблемы); 7 – то же до 10% (очень тяжелые сжимающие проблемы); 8 – традиционная экскавация (буровзрывные работы); 9 – механизированная экскавация (буровая туннельная машина); 10 – многофункциональная станция.

ли, оставляется продольная щель, создавая С-образную конструкцию. Труба продавливается в скважину диаметром немного меньше диаметра трубы, чем генерируются радиальные пружинные усилия и обеспечивается фрикционное анкерование вдоль всей длины скважины.

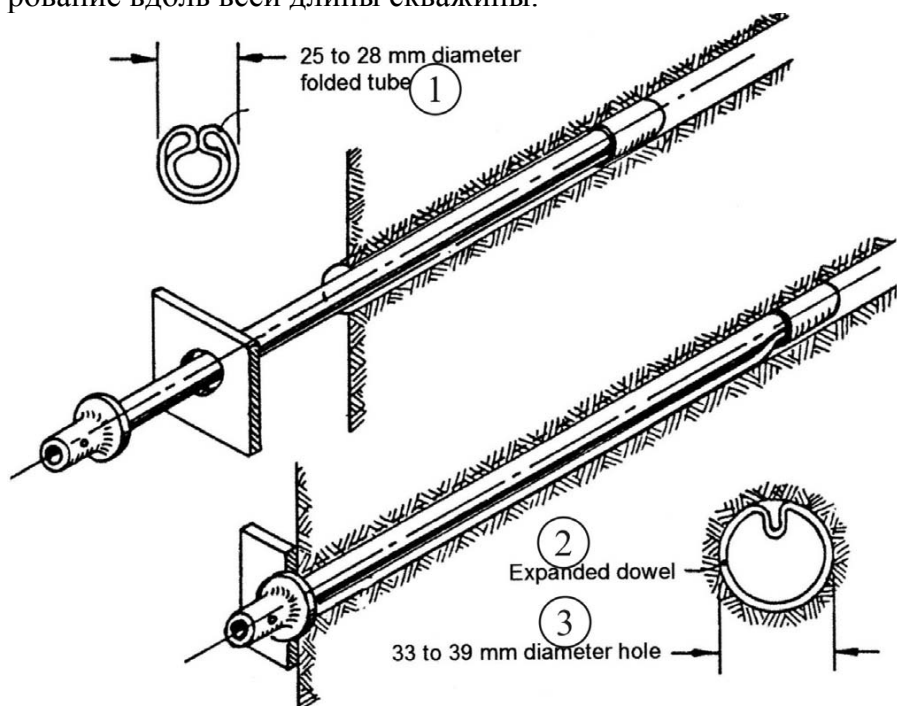


Рис. 8.13. Конструкция анкера Swellex

1 – диаметр анкерной трубы; 2 – расширяющийся стержень;
3 – диаметр скважины.

Анкерная крепь описанных конструкций применяется совместно с металлической сеткой и набрызгбетоном, создавая интегрированную крепежную систему туннеля на выбороопасных участках.

Оптимальным решением технологии экскавации и крепления туннеля на участках со сжимающимися породами служит норвежский опыт (рис. 8.15, 8.16). Здесь критерием выбора решений служит коэффициент конвергенции ε , определяемый, как общее перемещение стен туннеля, умноженное на величину, обратную его радиусу:

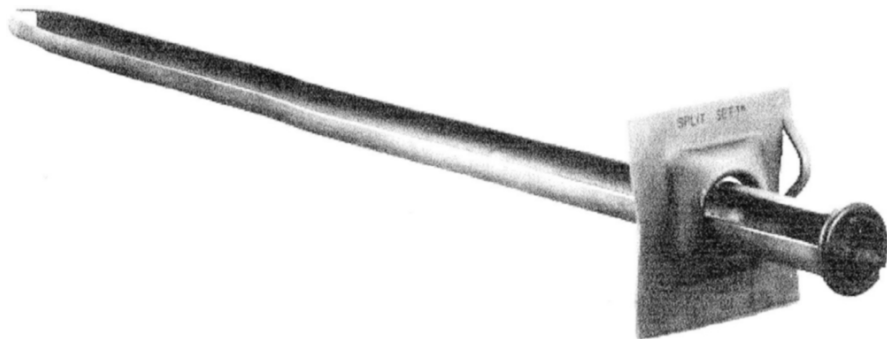


Рис. 8.14. Конструкция анкера системы «Split Set»

$\varepsilon < 0,5\%$ (общее радиальное перемещение стен туннеля – около 2,5 см);

$\varepsilon < 1\%$ (перемещение – 5 см);

$\varepsilon < 1,5\%$ (перемещение – 7,5 см);

$\varepsilon < 2\%$ (перемещение – 10 см);

$\varepsilon < 2,5\%$ (перемещение – 12,5 см);

$\varepsilon < 5\%$ (перемещение – 25 см);

$\varepsilon > 5\%$ (перемещение – более 25 см).

При расчетах конвергенции вначале предполагалось использовать метод конечных элементов. Однако, в случае туннеля Brenner получение до начала экскавации необходимых

для этого метода керновых образцов пород и данных об их состоянии в массиве было весьма затруднено при большой толще пород, перекрывающих туннель.

В подобных условиях степень надежности геотехнических параметров иногда неопределенна. Это препятствие преодолевается статистическим подходом, оценивающим варьирующиеся условия в некоторых пределах, лучше всего описываемых треугольным распределением вероятностей (рис. 8.17).

В связи с таким подходом, вместо метода конечных элементов в оптимизационном процессе дизайна использовался метод характеристических кривых («Method of characteristics curves»), примененный для прогнозирования конвергенции, который имеет меньшую точность, чем метод конечных элементов, но достаточно хорош, чтобы соответствовать цели расчетов.

Метод Монте-Карло, используемый для выбора вида характеристических кривых, позволяет в ходе расчетов охватить все элементы статистической базы данных. На рис. 8.18 показана рискованная зона максимальной конвергенции для выбранного способа экскавации, а на рис. 8.19 - протяженность участков туннеля с разной оценкой уровня рисков.

Оптимизация решений такого сложного строительного комплекса, как туннель Brenner, проводилась с оценкой критериев стоимости, времени (продолжительности работ) и риска. При противоречивости оценок этих критериев для интегрального анализа вариантов может быть использована так называемая «граница Парето» (Pareto's frontier), принцип применения которой может быть понят из следующего примера.

Рассмотрим 6 вариантов дизайна туннеля, которые характеризуются разными значениями стоимости и продолжительности строительства (табл. 8.8).

В этом примере граница Парето (рис. 8.20) проходит через три возможных варианта:

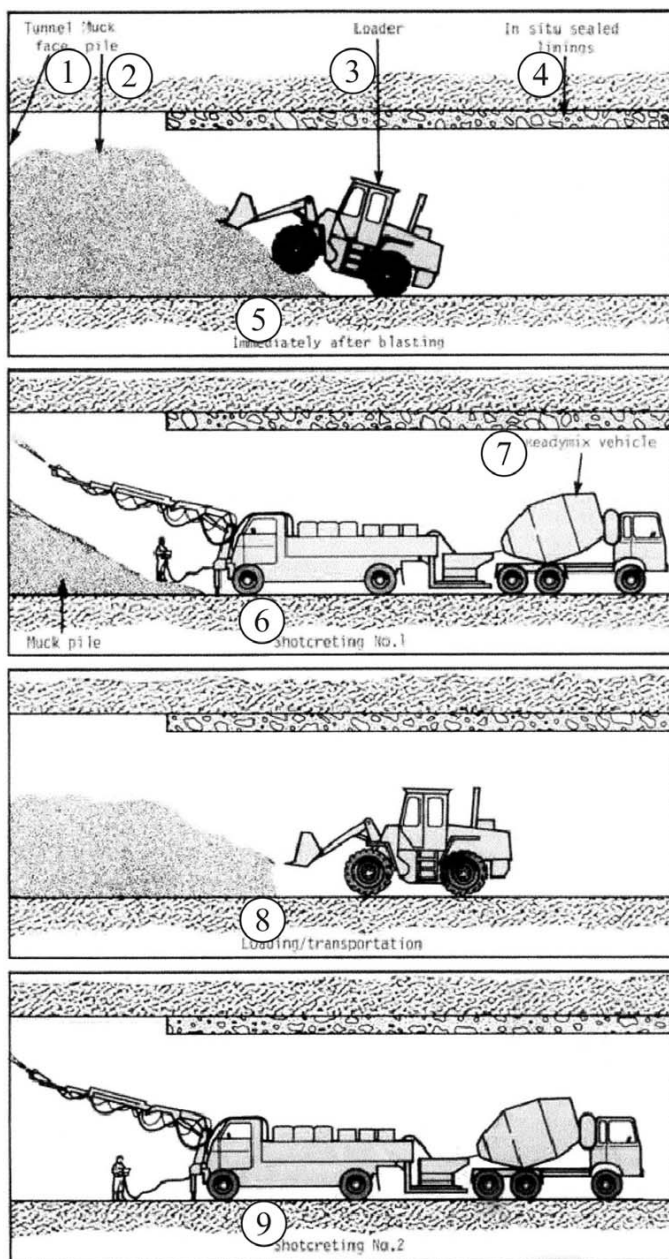


Рис. 8.15. Технология экскавации и крепления туннеля (норвежский опыт)

Объяснения к рис. 8.15:

1 – забой туннеля; 2 – отбитая породы; 3 – погрузчик; 4 – крепь туннеля; 5 – непосредственно после взрывных работ; 6 – нанесение набрызгбетона; 7 – бетономешалка; 8 – погрузка/транспортировка; 9 – повторное набрызгбетонирование.

- дизайн 3, который минимизирует стоимость, но требует наибольшей продолжительности строительства;
- дизайн 6, который минимизирует продолжительность строительства, но требует наибольших затрат;
- дизайн 4, имеющий промежуточные значения стоимости и продолжительности, но комбинация этих значений лучше, чем в вариантах 1, 2 и 5.

В условиях взаимодействия двух определяющих значений (стоимости и времени) использование «границы Парето» позволяет найти оптимальное решение (так называемый «оптимум Парето»).

Инструментом для поиска целесообразного решения в рассматриваемых условиях туннеля Brenner служила модель modeFRONTIER – программное обеспечение, определяющее оптимум Парето. Фрагмент схемы модели показан на рис. 8.21 (modeFRONTIER – среда для решения задач критериальной и многокритериальной оптимизации, работающая с различными программными комплексами).

Результаты оптимизационного процесса показаны на рис. 8.22 и 8.23. Рис. 8.22 изображает, так называемую «пузырьковую диаграмму», где оценены 69 конфигураций дизайна. Следует отметить, что на X-оси показана «нормализованная» стоимость дизайна, т.е. отнесенная к его начальной конфигурации. Каждый вариант дизайна оценивается «пузырьком», диаметр которого линейно зависит от значения риска.

В первоначальном дизайне туннеля не предусматривалось применение буровой туннельной машины из-за большой неопределенности геологической информации. Собранные за последние годы данные о состоянии массива увеличили сте-

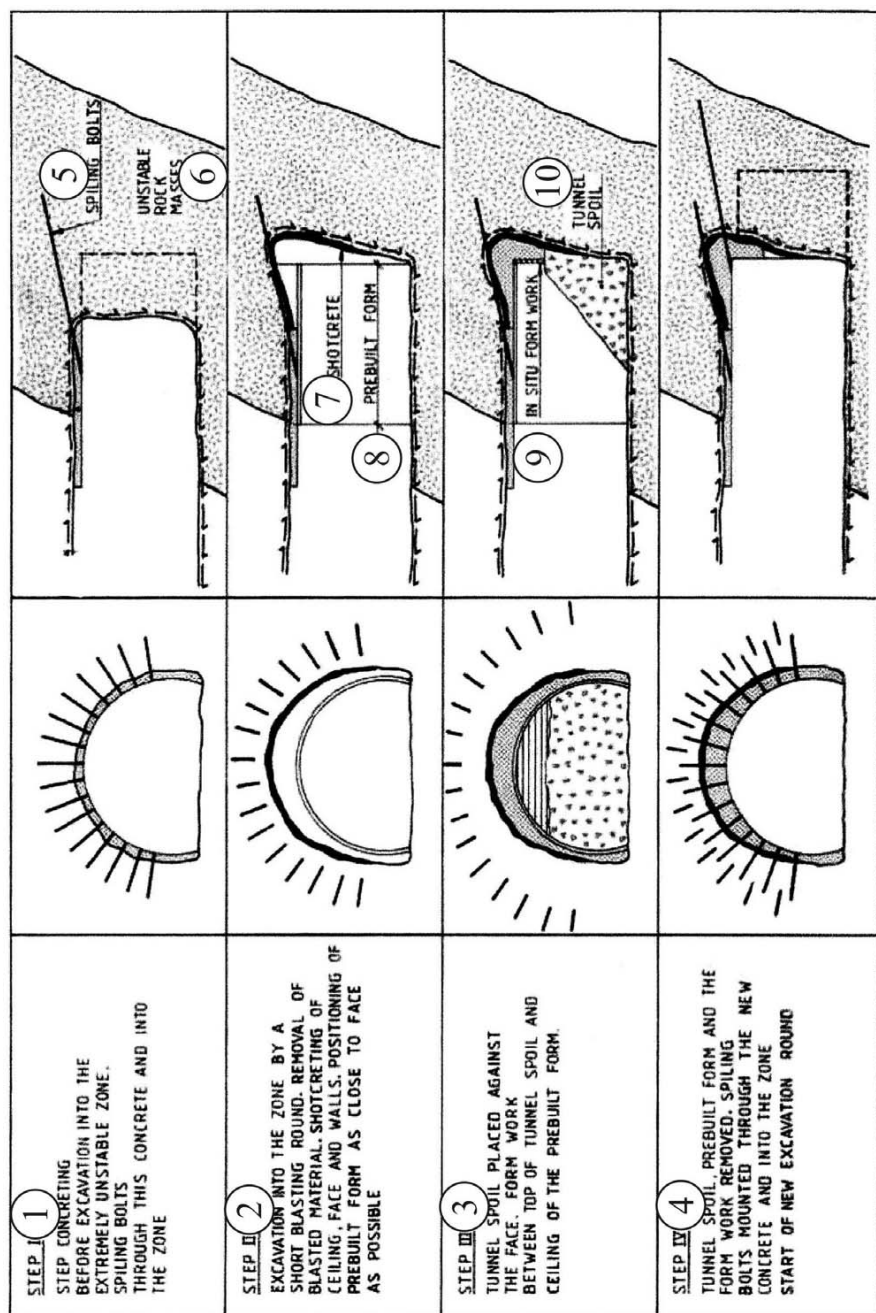


Рис. 8.16. Технология крепления туннеля в сжимающихся породах

Объяснения к рис. 8.16:

- 1 – шаг 1. Бетонирование перед экскавацией в чрезвычайно нестабильной зоне. Анкерные болты через этот бетон;
- 2 – шаг 2. Экскавация в нестабильной зоне коротким взрывным циклом, удаление взорванного материала, набрызгбетонирование кровли, забоя и стен, установка опалубки по возможности близко к забою;
- 3 – шаг 3. Отбитая порода располагается у забоя. Опалубка устанавливается между отбитой породой и кровлей;
- 4 – шаг 4. Отбитая порода и опалубка удаляются, устанавливаются анкера через новый бетон в нестабильную зону. Начало нового цикла экскавации;
- 5 – анкерные болты; 6 – нестабильные породные массы; 7 – набрызгбетон; 8 – предварительная опалубка; 9 – опалубка в массиве; 10 – отбитая порода.

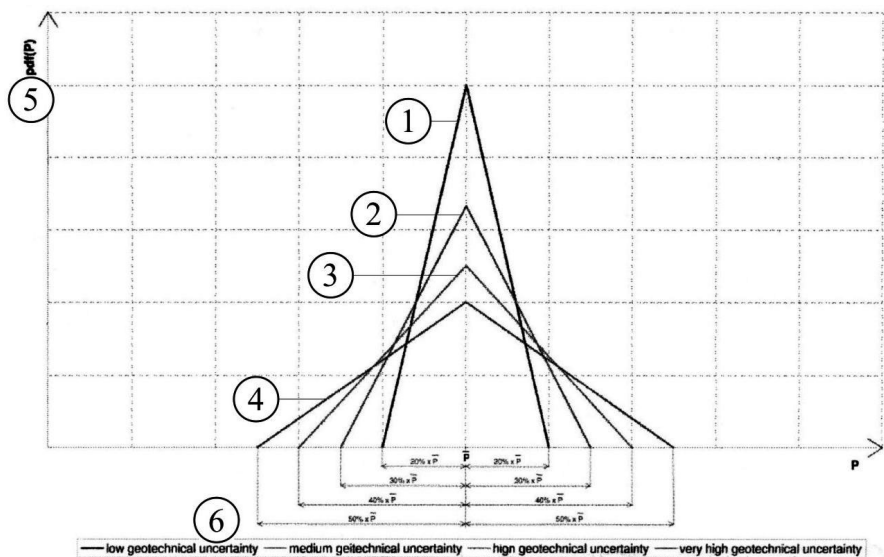


Рис. 8.17. Треугольное распределение вероятностей геотехнического параметра p для четырех уровней геотехнической неопределенности

- 1 – низкая геотехническая неопределенность; 2 – средняя геотехническая неопределенность; 3 – высокая геотехническая неопределенность; 4 – очень высокая геотехническая неопределенность;
- 5 – плотность вероятности; 6 – степень неопределенности

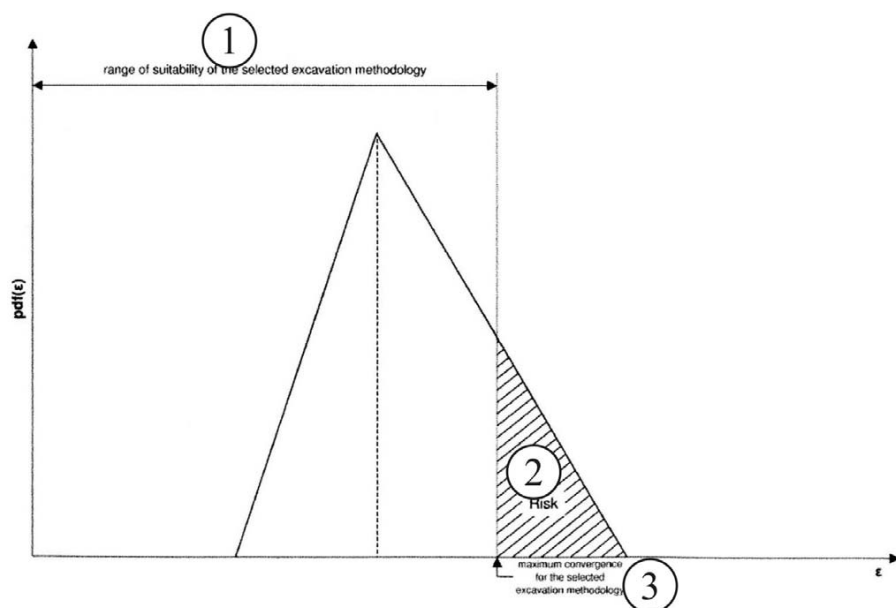


Рис. 8.18. Рискованная зона максимальной конвергенции
*1 – интервал стабильности выбранного способа экскавации;
 2 – риск; 3 – максимальная конвергенция выбранного способа экскавации.*

Таблица 8.8 – Стоимость и продолжительности строительства по разным вариантам дизайна

Варианты дизайна	Стоимость, тыс. евро	Продолжительность, дней
1	10000	1200
2	12000	1100
3	8000	1500
4	10000	1050
5	14000	950
6	15000	850

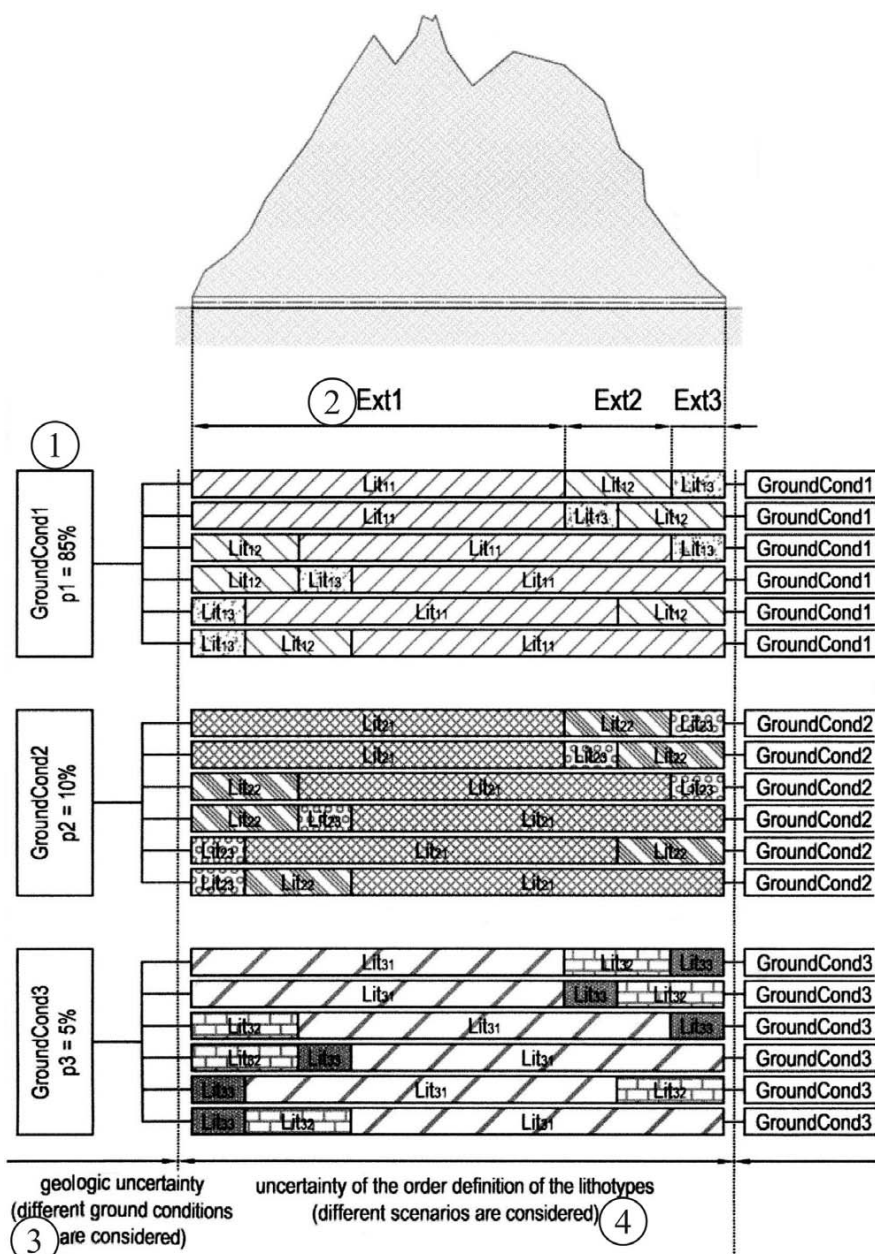


Рис. 8.19. Протяженность участков туннеля с разной оценкой уровня рисков

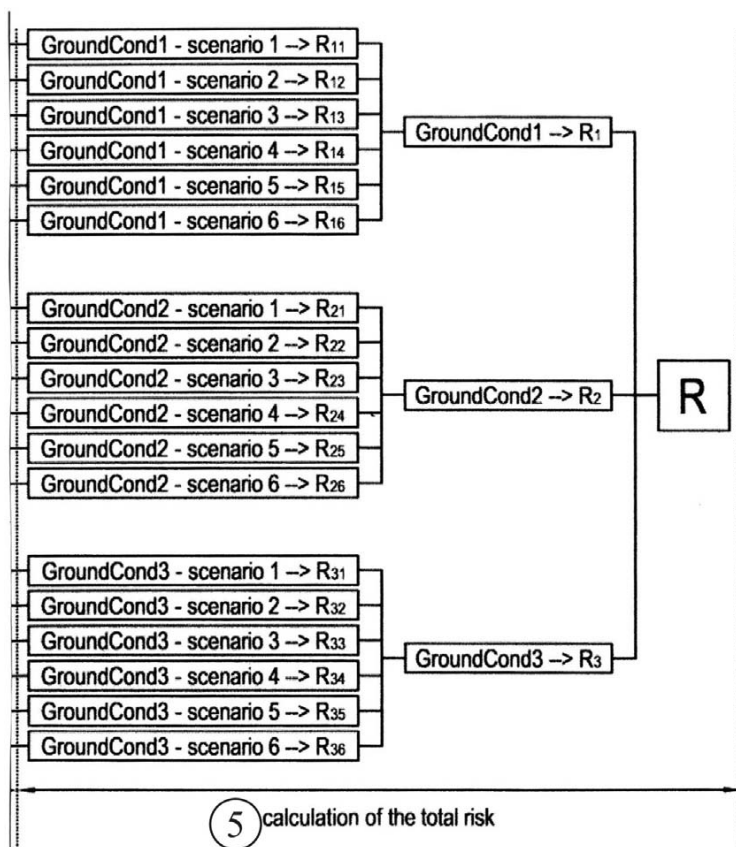


Рис. 8.19. Протяженность участков туннеля с разной оценкой уровня рисков (окончание)

1 – породные условия; 2 – длина участка; 3 – геологическая неопределенность (обсуждаются различные породные условия); 4 – неопределенность литологических типов пород (обсуждаются различные сценарии); 5 – расчет общего риска.

пень надежности информации. Это позволило после комплексной оценки стоимости, продолжительности и уровня риска строительства рекомендовать применение буровой туннельной машины на участке между 42-ым и 48-ым километрами туннеля. Остальную часть целесообразно сооружать буровзрывным способом (рис. 8.23).

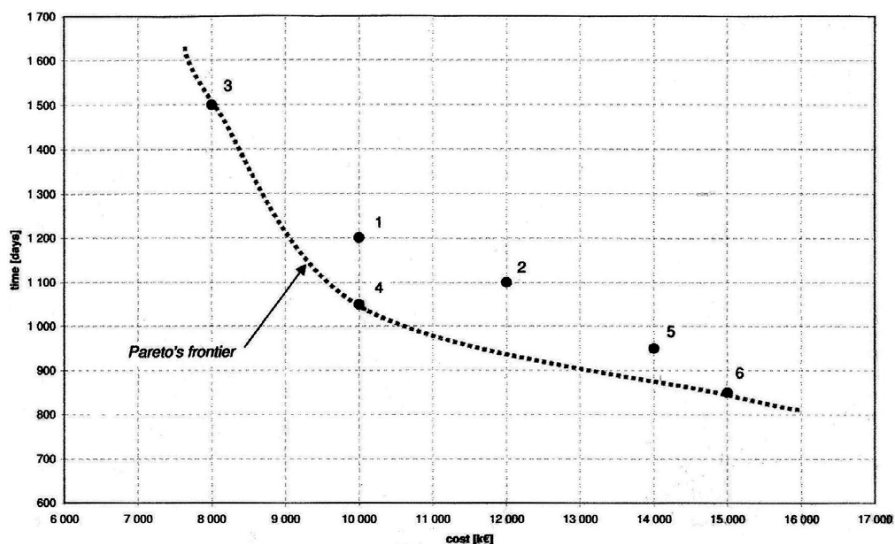


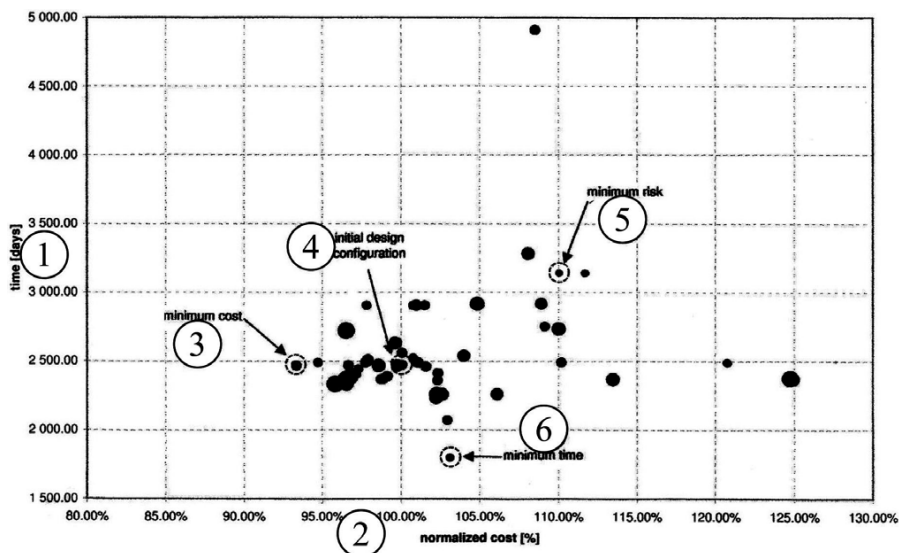
Рис. 8.20. Граница Парето для разных вариантов дизайна

8.7 Строительство туннеля Yong Dong

Главной частью проекта перемещения железной дороги Yong Dong, Корея является строительство под горным районом на востоке страны туннеля длиной примерно 16,3 км с пролетом сечения около 8 м, в котором будет располагаться однопутевой железнодорожный путь. Максимальная толщина пород, покрывающих туннель – 400 м, большая часть его трассы покрыта толщиной, превышающей 100 м.

Туннель пересекает горные породы, состоящие из конгломератов, кварцитов, песчаников, сланцев, известняка и угольных отложений. Основными геологическими факторами, влияющими на выбор строительных методов, служат:

- потенциально высокое давление подземных вод (4,0МПа);
- нарушенные зоны, связанные со значительными притоками воды;
- сильно расчлененные и трещиноватые породы;



**Рис. 8.22. «Пузырьковая» диаграмма результатов оценки
69 конфигураций дизайна**

1 – продолжительность; 2 – нормализованная стоимость (% к начальной конфигурации дизайна); 3 – минимальная стоимость; 4 – начальный дизайн; 5 – минимальный риск; 6 – минимальная продолжительность.

- некоторые породы с высокой крепостью и абразивностью;
- возможные обводненные карстовые полости в известняках;
- угольные отложения и старые горные работы.

Вероятность опасностей при строительстве туннеля оценивалась одним из трех уровней: вероятный, случайный, отдаленный. Тяжесть последствий каждой опасности определялась одним из пяти уровней: катастрофический, критический, серьезный, допустимый, пренебрежимый (табл. 8.9).

Уровень риска рассчитывался, как произведение оценок вероятности и тяжести последствий (табл. 8.10).

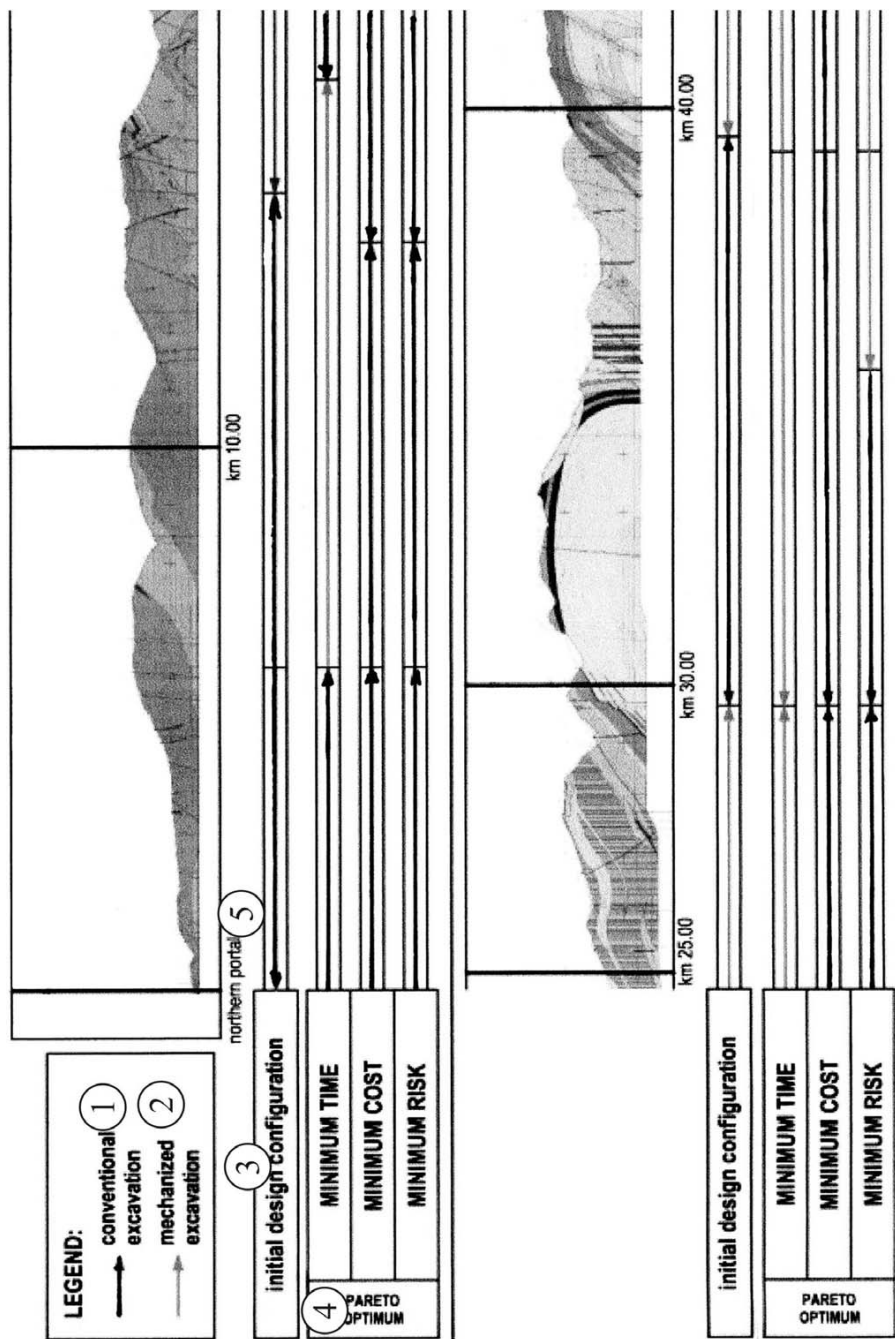


Рис. 8.23. Схема области применения разных способов экскавации

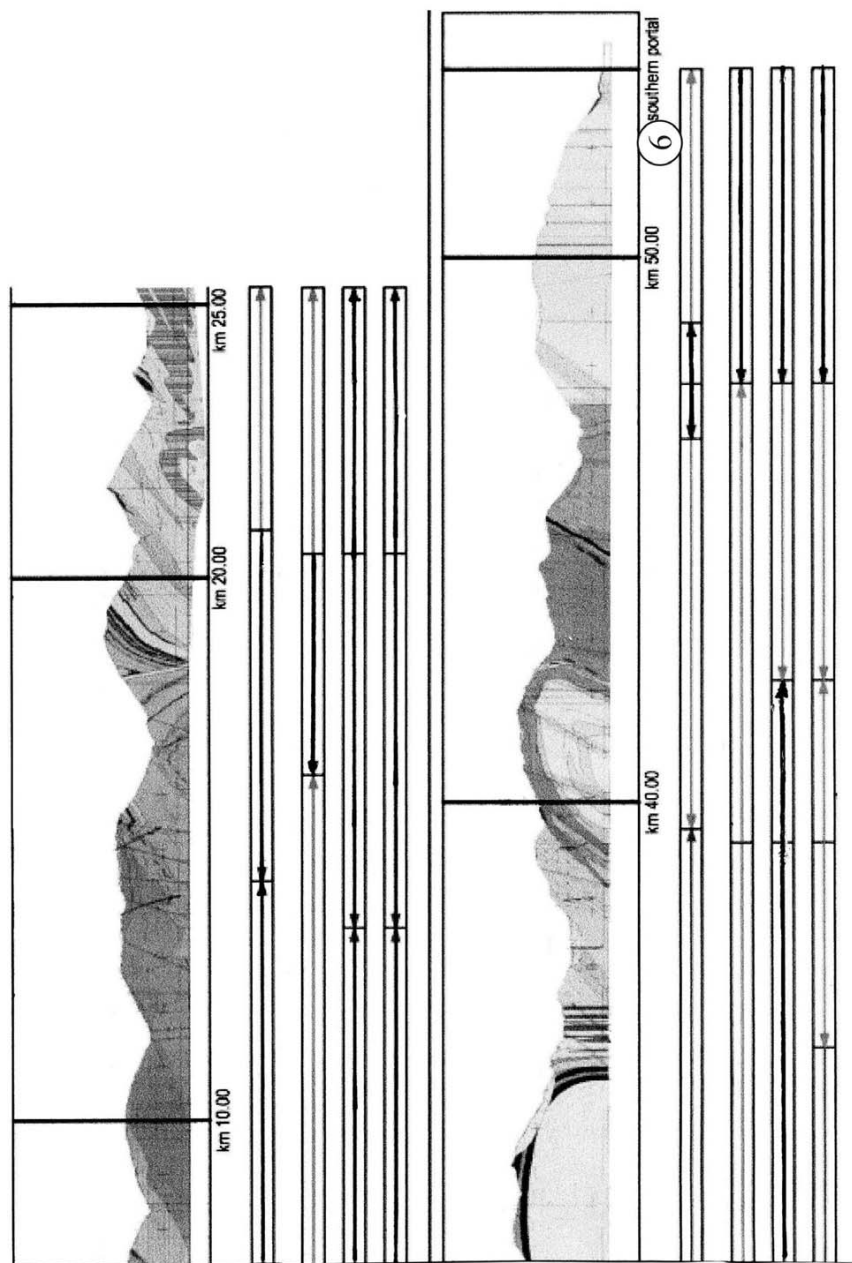


Рис. 8.23. Схема области применения разных способов экскавации (окончание)

Объяснения к рис. 8.23:

1 – буровзрывные работы; 2 – буровая туннельная машина; 3 – конфигурация начального дизайна; 4 – оптимум Парето: минимальное время, минимальная стоимость, минимальный риск; 5 – северный портал; 6 – южный портал.

Таблица 8.9 – Описание и шкала вероятностей и последствий опасностей

Вероятность			Последствия		
уровень	описание	шка- ла	уро- вень	описание	шка- ла
Вероят- ный	Может про- изойти во время строи- тельства ча- ще, чем слу- чайно	3	Ката- стро- фиче- ский	Полная потеря части туннеля	5
			Крити- ческий	Большие поврежде- ния или задержки, сильное воздействие на окружающую среду	4
Слу- чайный	Может про- изойти, по крайней ме- ре, однажды	2	Серь- езный	Некоторые повреж- дения или задержки, некоторое воздейст- вие на окружающую среду	3
Отда- ленный	Малая веро- ятность, что произойдет во время строительст- ва	1	Допус- тимый	Рутинный ремонт или малые затруднения	2
			Пре- небре- жимый	незначительные по- следствия	1

Остаточный риск (оставшийся после принятия мер по снижению первичного риска) оценивался таким же образом, как и первичный.

Для выбора способа строительства туннеля производилась отдельная оценка рисков разных технологий экскавации

– использования буровой туннельной машины и буровзрывных работ.

В табл. 8.11 сведены оценки первичных рисков, меры, снижающие их опасность и оценка остаточных рисков строительства туннеля буровой туннельной машиной. В табл. 8.12 сведены оценки первичных и остаточных рисков, меры, снижающие их последствия для буровзрывных работ.

Таблица 8.10 – Уровень риска

Последствия \ Вероятность	Катастрофические	Критические	Серьезные	Допустимые	Пренебрежимые
Вероятный	15	12	9	6	3
Случайный	10	8	6	4	2
Отдаленный	5	4	3	2	1
Уровень риска					
10-15	Очень высокий, неприемлемый риск. Необходимы меры по предотвращению или снижению риска.				
6-9	Высокий риск. Необходимы меры по предотвращению или снижению риска. Остаточный риск такого уровня показывает необходимость активного управления, требующего квалифицированного персонала, материалов и затрат.				
1-5	Низкий риск. Может быть принят при условии мер по его снижению.				

Из табл. 8.11 и 8.12 видно, что число возможных аварий при использовании буровой туннельной машины намного больше, чем при буровзрывном способе. Недостатками буровой туннельной машины являются также:

- сложность конструкции машины, требующая высокого уровня технической подготовки персонала для успешного управления и поддержания оборудования в рабочем состоянии;
- относительная негибкость технологии экскавации и установки крепи при изменяющихся геологических условиях;
- зависимость производительности и надежности работ в туннеле от состояния какой-либо единственной детали механического оборудования.

Таблица 8.11 – Оценка рисков при использовании буровой туннельной машины

№ п/п	Опасность	Риск	Уровень первичного риска			Меры по снижению риска	Уровень остаточного риска		
			L	C	R		L	C	R
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Трещиноватые породы	Выпадение обломков, обрушение кровли	3	4	12	1. Применение щитовых машин 2. Предварительный тампонаж	2	2	4
2	Нарушенные зоны	Слабые породы с возможным обрушением кровли	3	4	12	1. Шарошечная режущая головка 2. Применение щитовых машин	3	3	9
3	Сжимающиеся породы	Проникновение пород в буровую туннельную машину	3	4	12	1. Увеличенная режущая головка 2. Создание адекватного осевого усилия	3	3	9

Продолжение таблицы 8.11

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
4	Полости в породах	Нестабильность забоя, обрушение кровли	3	4	12	1. Геофизическая разведка 2. Опережающее разведочное бурение	2	3	6
5	Породы большой крепости	Высокое осевое давление породных масс	3	3	9	1. Режущая головка малой глубины 2. Двойная щитовая машина с боковыми домкратами	3	2	6
6	Абразивные породы	Увеличенный износ резцов	3	3	9	1. Режущая головка малой глубины 2. Резцы большого диаметра, способные противостоять большим нагрузкам	3	2	6
7	Варируемость качества породных масс	Смешанные условия забоя, вызывающие трудности отбойки и транспортировки породы	3	4	12	1. Шарошечная режущая головка 2. Двойная щитовая машина с боковыми домкратами	3	3	9

Окончание таблицы 8.11

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
8	Механические повреждения	Аварии механических комплексов	3	4	12	1. Режущая головка малой глубины 2. Варьируемая скорость передвижения машины 3. Реверсируемая режущая головка	2	3	6
9	Возможный прорыв воды	Вода в полостях, проникающая в забой при экскавации	3	4	12	1. Болтовые сегменты крепи со сжимающимися прокладками 2. Предварительный тампонаж	2	3	6
10	Пожар в туннельной машине	Пожар в буровой туннельной машине	1	5	5	1. Система подавления огня 2. Несгораемые гидравлические смазки	1	4	4
11	Установка сегментной крепи	Падение сегментов	3	5	15	1. Безопасная конструкция подъемника 2. Безопасная система управления	1	5	5
12	Вентиляция туннеля	Возможный взрыв газа	3	5	15	1. Подача свежего воздуха 2. Мониторинг воздуха	1	4	4
13	Авария режущей головки	Повреждение режущей головки	2	4	8	Восстановление оборудования	1	4	4

L – вероятность, С – тяжесть последствий, R – уровень риска.

Таблица 8.12 – Оценка рисков при буровзрывных работах

№ п п	Опасность	Риск	Уро- вень первич- ного риска			Меры по сни- жению риска	Уровень остаточ- ного риска		
			L	С	R		L	С	R
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Трещино- ватые по- роды	Выпадение обломков, об- рушение кров- ли, нестабиль- ность забоя	3	4	12	1. Уменьшение подвигания забоя 2. Уменьшение расхода взрыв- чатого вещества	2	2	4
2	Нарушен- ные зоны	Слабые поро- ды или сме- шанные усло- вия забоя	3	4	12	1. Усиление креп 2. Опережающее разведочное бу- рение	3	2	6
3	Прорывы воды	Вода из по- лостей прони- кает в зону экскавации	3	4	12	1. Предвари- тельный тампонаж 2. Усиление водоотлива	2	2	4
4	Полости в породных массах	Нестабиль- ность забоя и стен, обруше- ние кровли	3	4	12	1. Геофизиче- ская разведка 2. Опережающее разведочное бурение	2	3	6
5	Вентиляция туннеля	Возможный взрыв газа	3	5	15	1. Подача све- жего воздуха 2. Мониторинг воздуха	1	4	4

Продолжение таблицы 8.12

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
6	Механические повреждения	Аварии ключевых механизмов и устройств	3	3	9	1. Планирование стратегии обслуживания 2. Установка запасных частей	3	1	3
7	Использование взрывчатого вещества	Преждевременная детонация	2	5	10	1. Использование неэлектрических детонаторов 2. Следование правилам безопасности	1	5	5

Средний уровень риска всех опасностей после их снижения в случае применения буровой туннельной машины составит 6,0 (табл. 8.13), при взрывных работах – 4,6 (табл. 8.14).

Таблица 8.13 – Число и оценка опасностей в туннеле при буровой туннельной машине

Уровень риска	Число опасностей	
	до снижения	после снижения
Весьма высокий (10-15)	9	0
Высокий (6-9)	3	8 (среднее значение 7,1)
Низкий (1-5)	1	5
Средний уровень всех рисков – 6		

После сравнительного анализа в условиях туннеля Yong Dong уровня рисков разных вариантов технологии строительства был принят буровзрывной способ экскавации.

Таблица 8.14 – Число и оценка опасностей при буровзрывных работах

Уровень риска	Число опасностей	
	до снижения	после снижения
Весьма высокий (10-15)	7	0
Высокий (6-9)	0	2 (среднее значение 6,0)
Низкий (1-5)	0	5
Средний уровень всех рисков – 4,6		

8.8 Строительство туннеля *Gotthard Base Tunnel*

Новый железнодорожный туннель под Швейцарскими Альпами *Gotthard Base Tunnel* будет иметь длину 57 км и представлять собой наиболее значительную часть новой железнодорожной сети (рис. 8.24). Туннельный комплекс расположен на высоте 500 м над уровнем моря и по условиям безопасности эксплуатации состоит из двух однопутевых туннелей, соединяемых каждые 325 м (см. книгу авторов «Строительство туннелей», «Норд-Пресс», Донецк, 2006).

При строительстве применяется интегральная система, объединяющая управление качеством, охрану природы и безопасность работ. В нее входит оценка угроз и благоприятных возможностей, влияющих на планирование и строительство транспортных связей.

Управление рисками применяется на всех стадиях проекта от дизайна до реализации (рис. 8.25). Высшей инстанцией менеджмента два раза в год публикуется и направляется совету директоров доклад, фрагмент примера которого по состоянию на конец 2002 г. показан на рис. 8.26.

В частности, доклад идентифицирует две «мега-угрозы» и «мега-возможности», каждая из которых показывает высокую вероятность возникновения и большую степень воздействия:

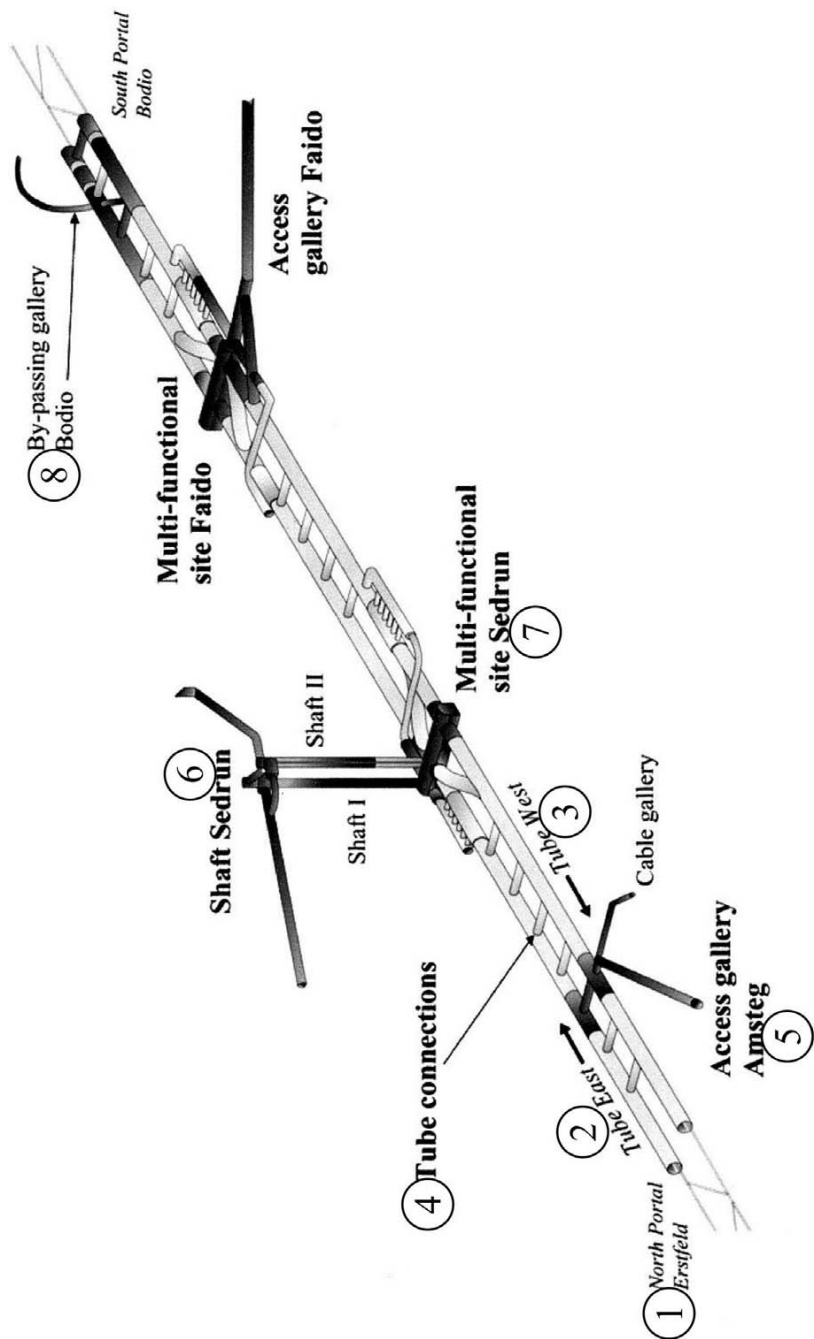


Рис. 8.24. Схема железнодорожного туннеля Gotthard Base

1 – порталы; 2 – восточный туннель; 3 – западный туннель; 4 – соединения туннелей; 5 – туннели доступа; 6 – стволы доступа; 7 – многофункциональная станция; 8 – обходная галерея.

- угроза T1. Финансовые резервы используются правительством для оплаты изменений таких, как увеличение безопасности комплекса (например, строительство двух отдельных однопутевых туннелей) или новых решений по техническому качеству. Подобное перераспределение резервов может создать финансовую брешь в общем бюджете, что вызовет проблемы с финансированием уже строящихся туннелей на участках Zimmerberg и Ceneri;

- угроза T5. Если разрешение на строительство самой северной секции туннеля, включающей портал Erstfeld, не будет получено к концу следующего года, конечный срок пуска в эксплуатацию туннеля не может быть обеспечен;

- возможность 05. Железнодорожные линии, примыкающие к туннелям Zimmerberg и Ceneri и входящие в общую транспортную систему, юридически все еще не оформлены, что создает сильную политическую оппозицию в районах, на которые строительство оказывает влияние. Заказчик имеет благоприятную возможность юридически разрешить этот конфликт, обозначенный как NEAT II.

Для того, чтобы предотвратить появление идентифицированных угроз и осознанных возможностей, предложены соответствующие меры, главным образом на высшем уровне управления.

На уровне оперативного управления рисками идентифицированы следующие решающие направления:

- функциональность (безопасность несущих структур, их практические возможности), расходы (минимизация стоимости работ, дополнительные затраты подрядчиков и т.д.), график строительства, воздействие на окружающую среду, безопасность труда, организация работ всех участников (управление персоналом, выполнение контрактных соглашений, контроль качества);

- угрозы и возможности, включая их влияние на требования к проекту его будущего владельца. Разработан мастер-

план качества с участием подрядчиков и строительного надзора.

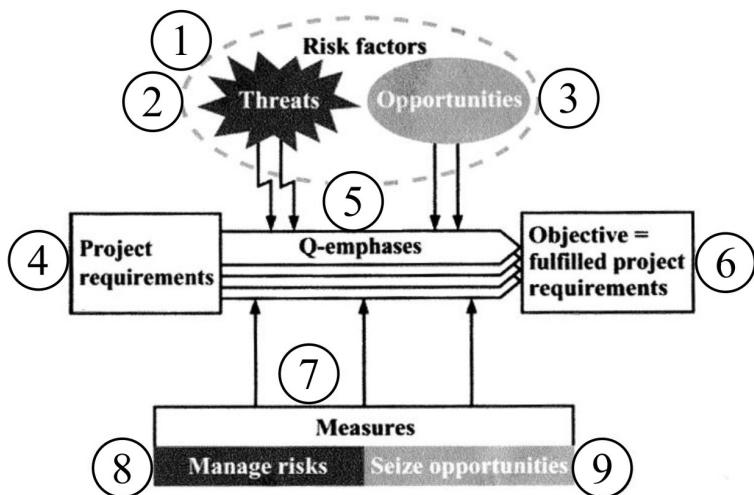


Рис. 8.25. Основные принципы управления рисками при строительстве туннеля Gotthard Base

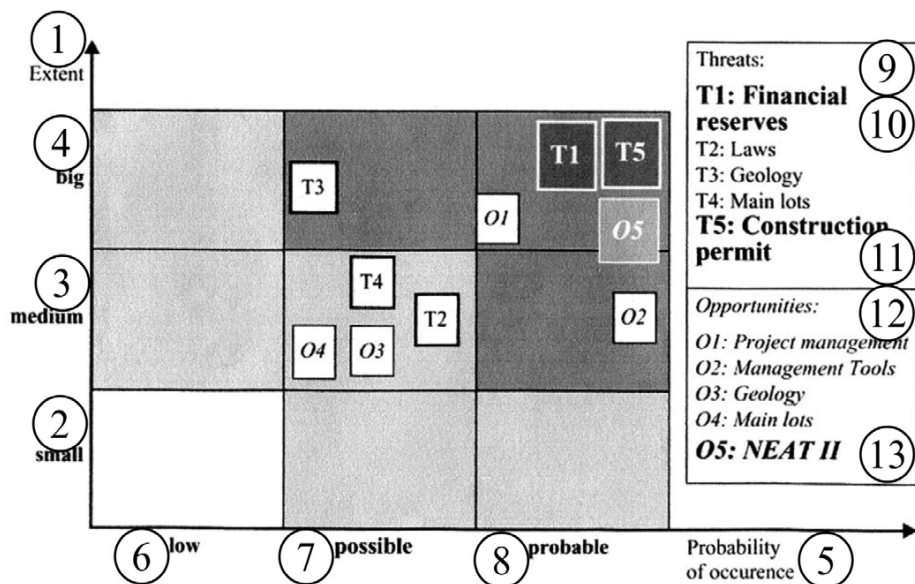
1 – факторы риска; 2 – угрозы; 3 – возможности; 4 – требования проекта; 5 – строительство; 6 – цель – выполнение проектных требований; 7 – меры; 8 – управление рисками; 9 – использование возможностей.

В соответствии с этими направлениями заказчик (компания AlpTransit Gotthard) детально обсудил анализ рисков и разработал с участием подрядчиков скоординированный систематический план действий по смягчающим мерам. В применяемой методологии риски оценены количественно, как результат вероятности возникновения и объема ущерба. Разработана матрица трехстадийной оценки рисков, показанная в табл. 8.15.

Поскольку риск представляет собой не только угрозу ущерба, но и возможность прибыли, оценка последствий производилась в обоих этих направлениях.

Оценка уровня риска (R) определялась, как произведение вероятности (P) и тяжести последствий (C), т.е. $R = PC$. В

табл. 8.16 показан фрагмент анализа риска и планирования мер по их смягчению.



**Рис. 8.26. Ситуация с рисками строительства туннеля
Gotthard Base по состоянию на 31.12.02**

1 – увеличение величины риска; 2 – малый; 3 – средний; 4 – большой;
5 – вероятность события; 6 – низкая; 7 – возможная; 8 – вероятная;
9 – угрозы; 10 – финансовые резервы; 11 – строительные разрешения;
12 – возможности: управления проектом, инструменты управления,
геология, главные участки, 13 – проблемы NEAT II.

На рис. 8.27 в обоих направлениях – возможностей и угроз показана стратегия действий, основанная на следующих принципах:

- если возможности или угрозы достигают значения риска >6 , принимаются незамедлительные меры по смягчению угроз;
- для всех угроз с малой вероятностью возникновения, но высоким уровнем ущерба ($P = 1$, $C = 3$, $R = 3$), принима-

ются незамедлительные меры;

- возможности и угрозы с оценкой уровня риска 1 не требуют планирования каких-либо мер;

- во всех других случаях меры обсуждаются и при необходимости применяются.

Таблица 8.15 – Матрица оценки рисков

Вероятность риска (Р)	1	2	3
	малая (не ожидаемый риск)	возможная (риск не исключается)	вероятная (возникновение риска предполагается)
Стоимость	менее 1 млн. швейц. фр. (655 тыс. евро)	1-10 млн. швейц. фр.	более 10 млн. швейц. фр.
Сроки	менее 2 мес.	2-6 мес.	более 6 мес.
Оценка тяжести последствий (С)	малая	средняя	высокая
	1	2	3

Таблица 8.16 – Фрагмент анализа рисков и планирования смягчающих мер

Коды угроз (классификация)	Угрозы	Параметры риска			Планируемые меры	Параметры остаточного риска после принятия мер		
		Р	С	Р		Р	С	Р
1	2	3	4	5	6	7	8	9
100	Подземные условия							
110	Геология							

Продолжение таблицы 8.16

1	2	3	4	5	6	7	8	9
112	Использование материала экскавации хуже, чем предполагалось	2	2	4	экскавация гравия	2	2	4
113	Содержание слюды в материале экскавации выше, чем предполагалось	3	1	3	применение обогащения	3	1	3
115	Подземная температура больше, чем предполагалось	1	3	3		1	2	3
120	Нарушенные зоны							
122	Характерные нарушенные зоны	2	3	6		2	2	4

8.9 Экологические риски строительства туннелей *Hallandsas u Komeriksporten*

Строительство туннелей Hallandsas, Швеция и Komeriksporten, Норвегия иллюстрирует примеры риска воздействия строительных работ на окружающую среду. Подробно эта проблема описана авторами в книге «Экологические аспекты подземного строительства», часть 1, 2, 3, «Норд-Пресс», Донецк, 2007-2008. Далее приводится еще два примера природоохранных рисков подземного строительства.

Железнодорожный туннель Hallandsas длиной 8,5 км и с диаметром буровой туннельной машины 10,56 м строился с 1992 г. (рис. 8.28, 8.29). Первоначальным сроком окончания работ был определен 1995 г. Однако строительство испытывало значительные трудности, вызванные большими непредвиденными притоками воды из окружающих пород. Эти притоки привели, в свою очередь, к падению уровня подземных

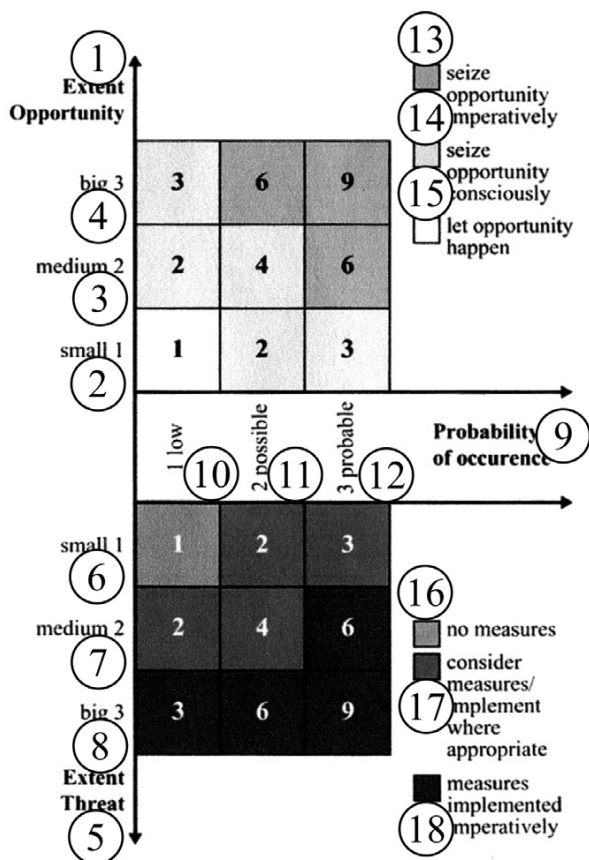


Рис. 8.27. Стратегия действий по управлению рисками

1 – увеличение возможности; 2 – малая; 3 – средняя; 4 – большая; 5 – увеличение угрозы; 6 – малая; 7 – средняя; 8 – большая; 9 – вероятность события; 10 – низкая; 11 – возможная; 12 – вероятная; 13 – обязательное использование возможностей; 14 – обдуманное использование возможностей; 15 – позволить возможности осуществиться; 16 – меры не принимаются; 17 – обдуманное применение мер (применяются, где приемлемы); 18 – обязательно применяемые меры.

вод, превышающему разрешенное специальным природоохранным судом (Water Rights Court).

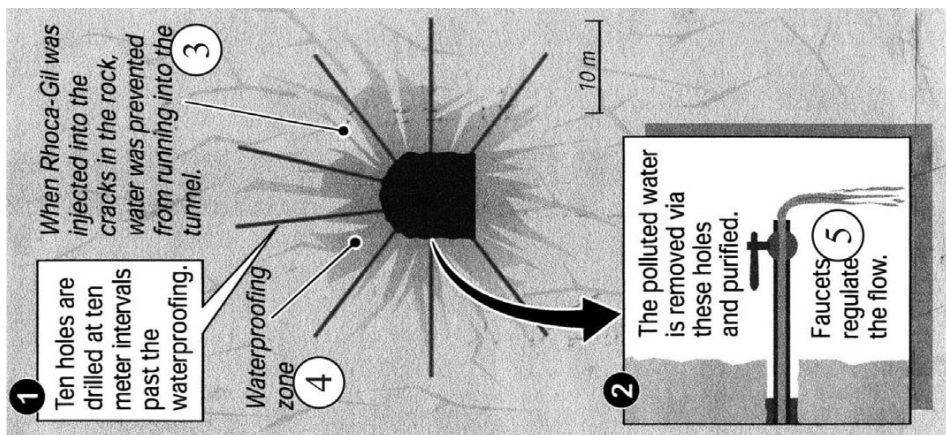
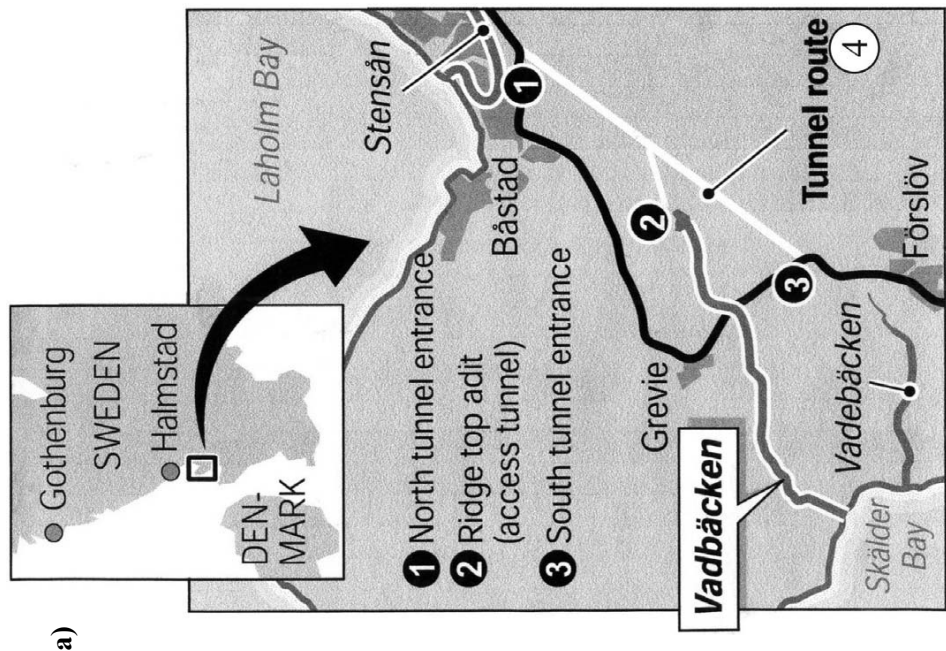


Рис. 8.28. Трасса канала Hallandsas и основные мероприятия по водоподдавлению

Объяснения к рис. 8.28:

а) направление трассы канала. 1 – северный портал; 2 – туннель доступа; 3 – южный туннель; 4 – маршрут туннеля.

б) основные мероприятия по водоподавлению.

1 – 10 скважин, пробуренных с интервалом 10 м; 2 – загрязненная вода, удаляемая через скважины и очищаемая; 3 – предотвращение притока нагнетанием тампонажного раствора; 4 – зона подавления притока воды; 5 – вентили регулирования потока



Рис. 8.29. Туннель Hallandsas

Проведенный тампонаж пород цементным раствором не дал нужных результатов из-за структуры трещиноватой системы породного массива.

После рассмотрения различных альтернативных методов предотвращения притоков воды был выбран вариант применения химического агента Rhoca-Gil, который использовался ранее в течение почти 30 лет в более, чем 25 инженерных проектах всего мира. Один из двух компонентов этого агента содержал токсическую часть, состоявшую из акриламида (acrilamide) и метилакриламида (n-methylolacrilamide). При смешивании химических веществ образовывался полимер, подобный нетоксическому силиконовому гелю. Тампонаж пород таким составом проводился на длине туннеля 700 м.

Применение агента Rhoca-Gil, однако, оказалось неудачным из-за следующих причин:

- приток воды в породном массиве был настолько велик, что приводил к разбавлению компонентов тампонажного раствора, из-за чего полимеризация замедлялась или не происходила вообще;
- температура в туннеле (до 9⁰С) была слишком низкой и находилась вне области применения раствора;
- неполимеризованные токсичные части тампонажного раствора попадали в поток подземных вод, откачиваемых из туннеля.

Неполимеризованный раствор составил примерно 5-15% общего объема тампонажа, что привело к заражению растительности и гибели коров, которые пили зараженную воду. Было проведено медицинское обследование 223 людей, участвующих в строительстве туннеля, обнаружившее 36 человек с симптомами неврологического воздействия, из них 7 имели корреляционную связь между симптомами и химическим отравлением. Подобное обследование проводилось также для 197 местных жителей, но оно не обнаружило опасных признаков воздействия химических реагентов.

Анализ подземной воды вокруг туннеля показал высокий уровень ее зараженности. Из-за гидростатического давления вода входила в туннель через трещины и требовала очистки для сброса после откачки.

Строительство туннеля было завершено после решения об установке на опасном участке монолитной бетонной крепи для предотвращения падения уровня подземных вод и применения в качестве тампонажного раствора альтернативных агентов в комбинации с микроцементами. Крупные трещины в породах, вызывавшие обратный поток в туннель тампонажного раствора, заполнялись полиуретановой пеной.

С подобными проблемами встретились также строители железнодорожного туннеля Romeriksporten длиной 14,58 км, сечением 110 м² между городами Oslo и Lillestrom, сооружение которого было задержано почти на год (рис. 8.30).

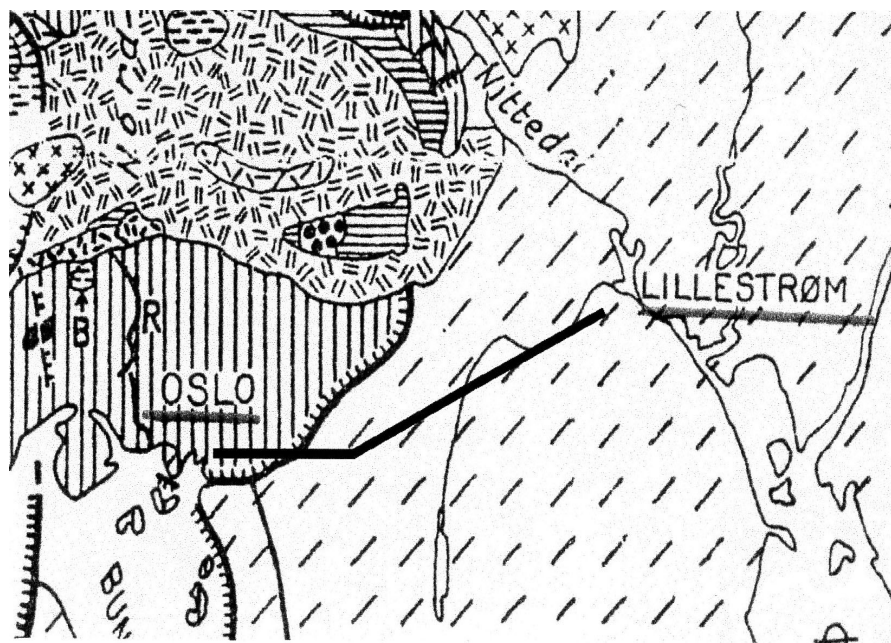


Рис. 8.30. Трасса туннеля Komeriksporten

8.10 Геологические риски при строительстве туннелей в горных районах Японии

Примером управления рисками в туннелях большой длины, проводимых в горных районах, т.е. перекрытых большой толщей горных пород, служит опыт полученный строителями в Японии. Здесь на подготовительной стадии работ определялись:

- общая геологическая структура, распределение геологических неоднородностей и характеристик различных участков туннеля;
- классификация пород с учетом общих технологических соображений их экскавации;
- топография и геология мест расположения и конфигурация порталов;
- основные данные для оценки стабильности забоя туннеля, дизайна крепи, выбора метода экскавации.

Японские острова имеют очень сложную геологическую структуру и весьма неравномерное распределение неоднородностей массива. Строительство туннелей связано с высокой степенью геологического риска из-за гетерогенности пород и неопределенности геологической информации.

Один из туннелей планировался в горной местности с толщей перекрывающих пород 1200-1400 м и несколькими горными ручьями, пересекающими его направление под прямым или близким к нему углами (рис. 8.31).

В районе расположения туннеля методом сейсмической рефракции геофизической разведки, основанном на измерении скорости отраженных сейсмических волн, был обнаружен спекшийся туф (риолит) и вторгшийся в него магматический гранитный порфирит. На начальной стадии работ выяснилось, что:

- обнажения пород на земной поверхности не дают ясно-го представления о деталях их геологической структуры;

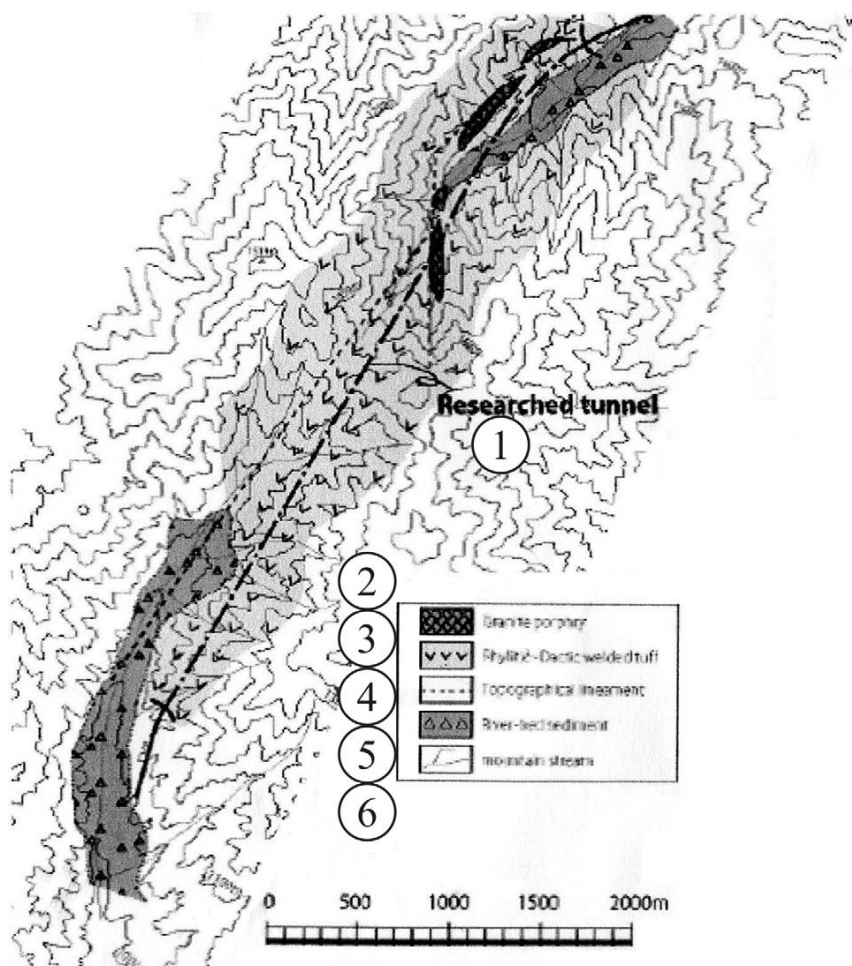


Рис.8.31. Трасса туннеля в горном районе Японии

1 – разведочный туннель; 2 – гранитный порфирит; 3 – спекшийся туф; 4 – топографическое направление горного хребта; 5 – речное русло; 6 – горный ручей.

- предположительно, спекшийся туф занимает 96,6% общей длины туннеля, а гранитный порфирит – 3,4%, однако, последний имеет трещиноватую структуру, неоднородности

(аномалии) различного вида, сведения о которых недостаточны из-за большой глубины туннеля;

- граница между туфом и порфиритом представлена изменяющейся зоной со многими глинистыми слоями высокой степени разрушенности.

Во многих случаях в зонах пересечения трассы туннеля ручьями геофизическая разведка показала низкую скорость сейсмических волн, что свидетельствует о нарушенности или несвязанности зон горного массива. Здесь прогнозировались обрушения забоя и большие притоки воды в ходе работ, т.е. высокая степень геологического риска.

Эти прогнозы подтвердились, когда, несмотря на опережающее разведочное бурение, применявшееся в северной секции туннеля, в пункте А (рис. 8.32) произошло обрушение забоя в объеме около 200 м^3 породы, а приток воды составлял $0,85 \text{ м}^3/\text{мин}$. Покрывающая толща пород в этом месте равнялась 65 м и точка обрушения совпадала с устьем горного ручья. Здесь в зоне В, где туннель проходил непосредственно под ручьем, наблюдалось просачивание в него воды, а в зоне С – низкая скорость сейсмических волн, что говорило об ослабленности массива.

В другом случае геологические условия забоя, изображенные на рис. 8.33 свидетельствовали об опасности прорыва воды из водоносного слоя, наличие которого подтвердили измерения электрического сопротивления массива.

Сочетание этих условий привело к обрушению пород в забое и притоку воды, несмотря на бурение дренажных скважин в водоносный слой, хотя они в дальнейшем постепенно снизили неуправляемый поток воды и обеспечили успешную экскавацию туннеля.

В южной секции туннеля также проводилось опережающее бурение для обнаружении трещиноватых сжимающихся зон, наличие которых привело к увеличению конвергенции туннеля. Здесь в одном из пунктов наблюдений перемещения стен достигли 500 мм, из-за чего экскавация была остановле-

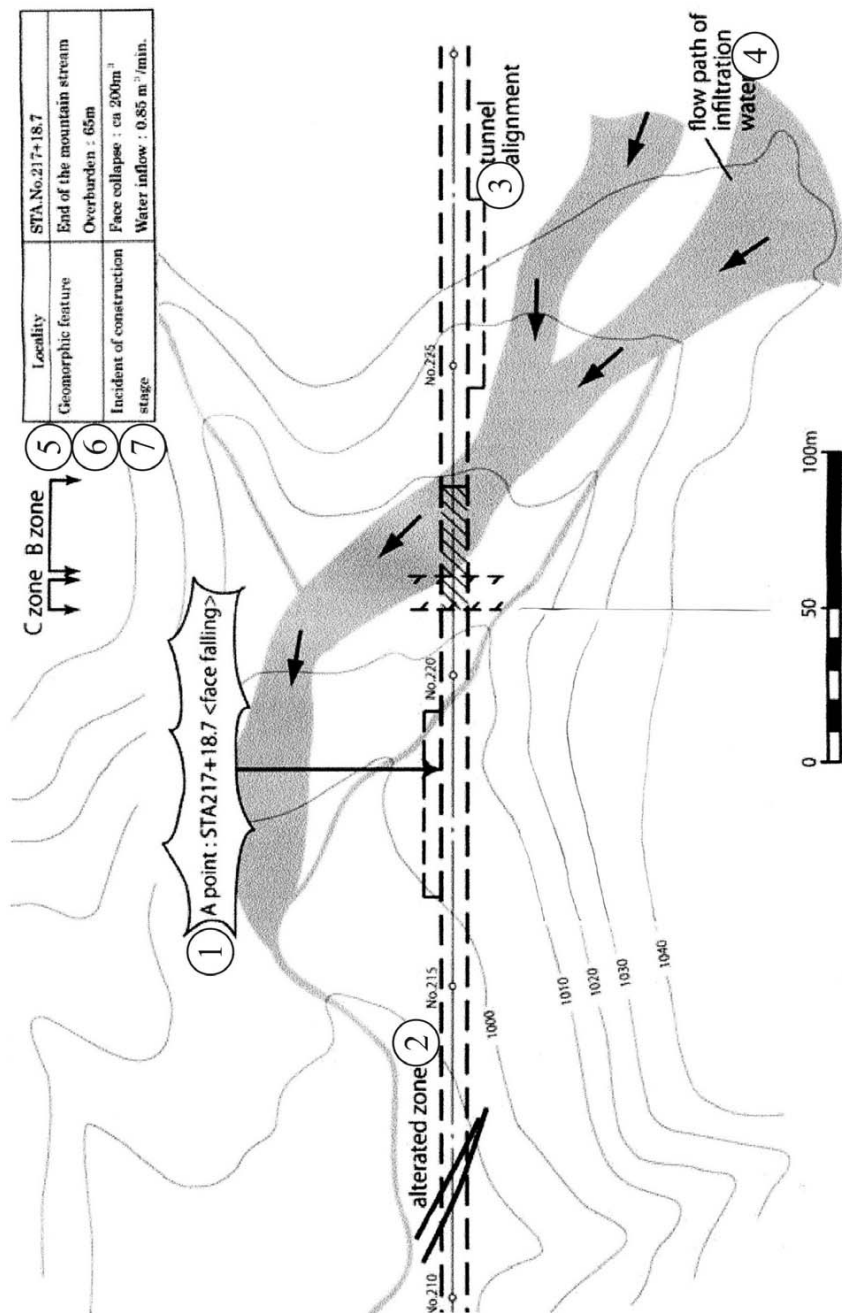


Рис. 8.32. Место обрушения забоя в туннеле

Объяснения к рис. 8.32:

1 – место обрушения; 2 – зона изменяющихся геологических условий; 3 – направление туннеля; 4 – направление потока просачивания воды; 5 – топографическое место привязки обрушения; 6 – геоморфическая особенность: устье горного ручья, покрывающая толща пород 65м; 7 – авария при строительстве туннеля – обрушение забоя около 200м³, приток воды – 0,85 м³/мин.

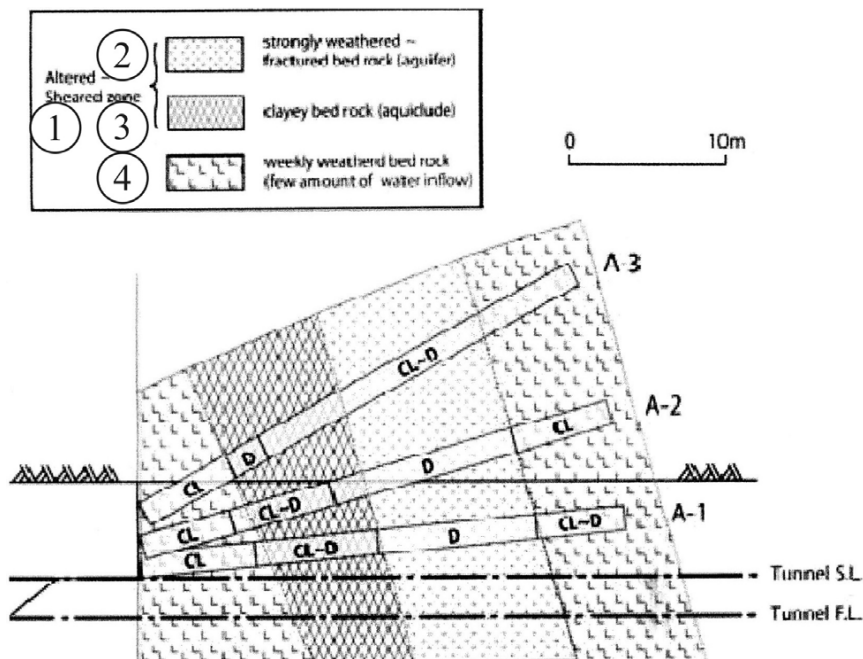


Рис. 8.33. Геологические условия забоя туннеля

1 – изменяющиеся геологические условия; 2 – сильно выветренные и трещиноватые породы (водоносный слой); 3 – глинистые породы (водоупорный слой); 4 – слабо выветренные породы (наибольший приток воды).

на. В верхней части забоя образовалась полость с размерами 3х4 м, а приток воды увеличился до 1,3 м³/мин. Горизонтальные разведочные скважины обнаружили водоносный слой. После анализа возникших геологических рисков было принято решение об установке в кровле туннеля опережающей кре-

пи в виде зонта из свай для предотвращения обрушений и увеличении числа анкерных болтов в стенах туннеля для снижения бокового давления. Уменьшение притока воды в туннель обеспечивалось бурением дренажных скважин, однако, приток из-за высокого давления воды 1.7 МПа не снизился, в связи с чем было принято решение о проходке к водоносному слою дренажного туннеля (рис. 8.34).

Однако, на 16-ом метре этого туннеля, где наблюдалось сосредоточение неоднородностей породного массива, произошло обрушение неустойчивой кровли из глины и песка в объеме 80 м³ и прорыв воды в объеме 2,5 м³/мин. Для снижения притока бурились 5 дополнительных дренажных скважин, благодаря эффекту которых экскавация туннеля была продолжена.

На рис. 8.35 показана общая схема предотвращения геологических рисков и снижения их последствий при строительстве туннеля в описанных условиях. Из рисунка видно, что одним из факторов этих рисков явились притоки воды. Несмотря на прогнозируемую малую частоту событий прорывов воды, при экскавационных работах наблюдались большие объемы этих притоков. Их специфической особенностью было высокое качество воды, характерное для конкретных условий строительства. Горные ручьи, протекающие в порталных частях туннеля, содержали чистую воду и служили обиталищем форели. Более того, близкие к южному portalу источники (в нижней части течения) создавали инфильтрацию в туннель речной воды и также имели питьевое качество, что было важным для социальной окружающей среды.

Другим фактором геологических рисков была конвергенция стен туннеля, фактические последствия которой находились в интервале, предсказанном в предварительном геологическом обзоре. Во время строительства велось наблюдение за трещинами на поверхности временной набрызгбетонной крепи. В соответствии с выводами этого наблюдения возводилась окончательная монолитная бетонная крепь.

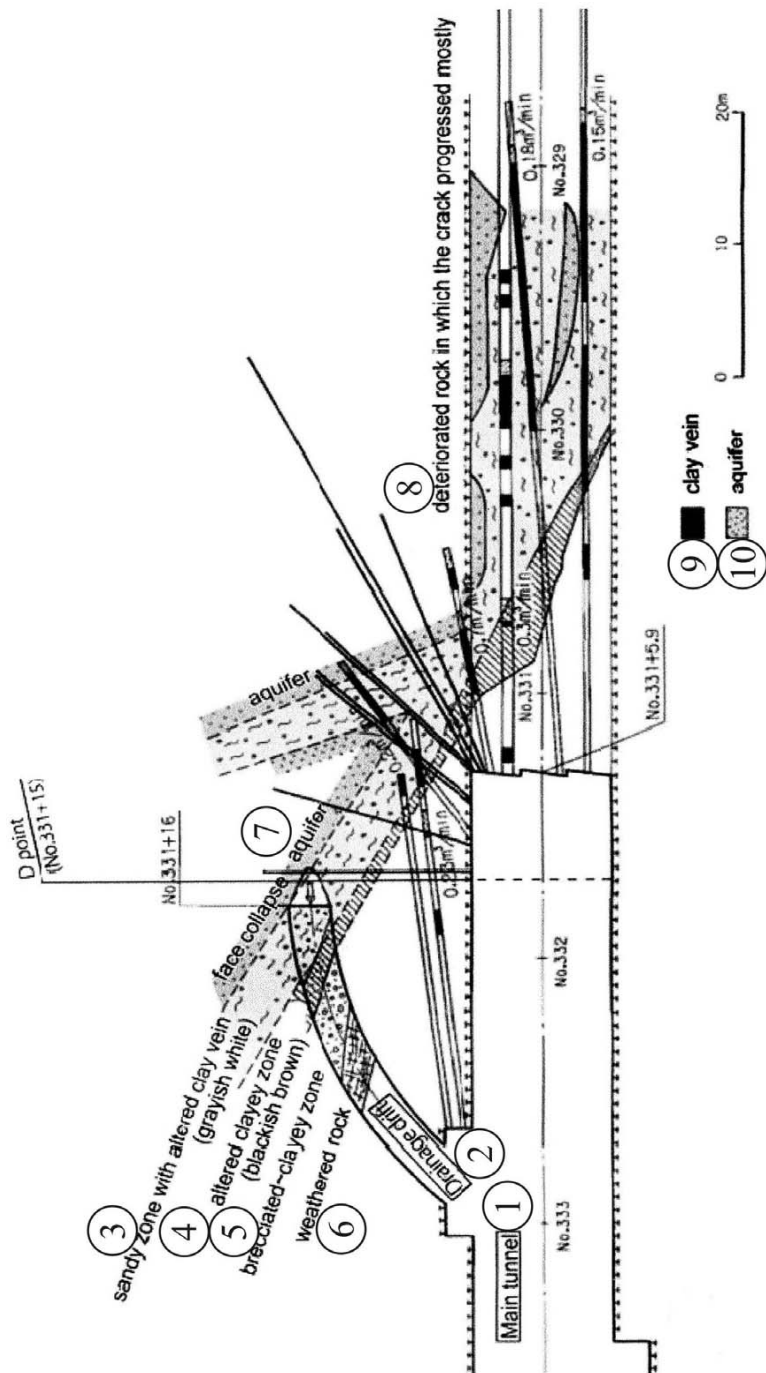


Рис. 8.34. Мероприятия по снижению притока воды при приближении забоя туннеля к породным водоносным слоям

Объяснения к рис. 8.34:

1 – главный туннель; 2 – дренажный туннель; 3 – песчаная зона с изменяющимися глинистыми жилами; 4 – изменяющаяся глинистая зона; 5 – зона брекчи – глин; 6 – выветренные породы; 7 – обрушение забоя в водоносном слое; 8 – разложившиеся породы с расширяющимися трещинами; 9 – глинистая жила; 10 – водоносный слой.

Риски, связанные с внезапными притоками воды и конвергенцией стен, показаны на рис. 8.36. Здесь, кроме угроз, связанных с рисками, показаны также возможные благоприятные последствия, вызываемые ими.

В целях количественной оценки геологических рисков применялся так называемый «индекс изменений», который показывал результаты сравнения прогнозируемых на стадии дизайна геологических параметров с их фактическими значениями, обнаруженными при экскавации. Этот индекс определялся дифференцированно для северной и южной секций туннеля, как отношение характеристик прогнозируемого на стадии дизайна класса пород каждого гомогенного участка их залегания к фактическим характеристикам, встреченным при проходке. Затем рассчитывалось общее значение индекса изменений, как взвешенное по длине каждого гомогенного участка в общей длине секции туннеля (рис. 8.37).

Нормативным (максимально допустимым) значением индекса считалась величина 1.1, означающая, что на стадии дизайна были приняты реалистические прогнозы качества пород. Индекс изменений определялся также, как отношение результатов разведки скважинами из забоя туннеля к фактическим показателям, полученным в ходе экскавации. Для северной секции этот индекс оказался равным 0,8, для южной – 0,59.

Классификация пород, проведенная на стадии дизайна и после экскавационных работ приведена в табл. 8.17.

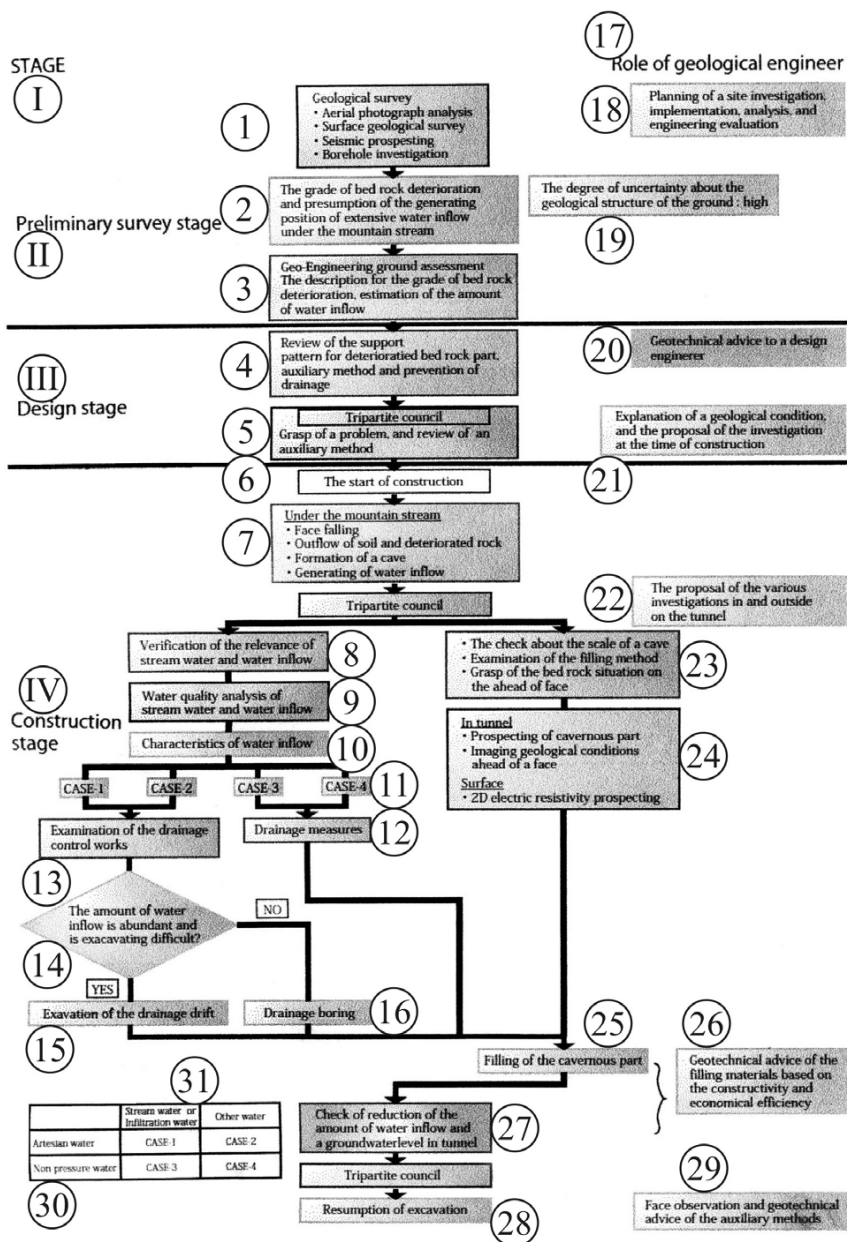


Рис. 8.35. Общая схема предотвращения геологических рисков в горном туннеле Японии

Объяснения к рис. 8.35:

I-II – стадии предварительного рассмотрения.

III – стадия дизайна.

IV – стадия строительства.

1 – геологический обзор: анализ аэрофотосъемок, геологический обзор поверхности, сейсмические изыскания, разведочное бурение; 2 – степень разложения пород и предположение о местах интенсивного притока воды из горных ручьев; 3 – геоинженерная оценка пород, описание степени разложения пород, оценка притока воды; 4 – обзор вариантов крепи участка разложившихся пород, предотвращающих мер дренажа; 5 – тройственный совет, понимание проблемы, обзор применяемых методов; 6 – начало строительства; 7 – условия под горным ручьем: обрушение забоя, падение грунтов и разложившихся пород, формирование полости, прорыв воды; 8 – исследование значения притока воды из ручья; 9 – анализ качества воды ручья и притока воды; 10 – характеристика притока воды; 11 – случаи 1-4; 12 дренажные мероприятия; 13 – проверка работ по управлению дренажем; 14 – объем притока воды велик и экскавация затруднена; 15 – экскавация дренажного туннеля; 16 – дренирующее бурение; 17 – роль инженера-геолога; 18 – планирование исследования, места строительства, анализ и инженерные оценки; 19 – степень неопределенности геологической структуры пород: высокая; 20 – геотехнические рекомендации для дизайна туннеля; 21 – объяснение геологических условий и предложения о разведке во время строительства; 22 – предложения о различных исследованиях внутри и снаружи туннеля; 23 – проверка размеров образовавшейся полости, выбор методов заполнения полости, обзор условий забоя; 24 – в туннеле: изыскания образовавшейся полости, выработка представлений о геологических условиях проходки туннеля, на поверхности – определение электрического сопротивления пород; 25 – заполнение образовавшейся полости; 26 – геотехнические рекомендации выбора материалов для заполнения полости; 27 – проверка уменьшения притока воды и уровня подземной воды; 28 – возобновление экскавации; 29 – наблюдения забоя и геотехнические рекомендации; 30 – артезианская вода, вода не под давлением; 31 – вода ручья или просачивающаяся вода, другие источники воды.

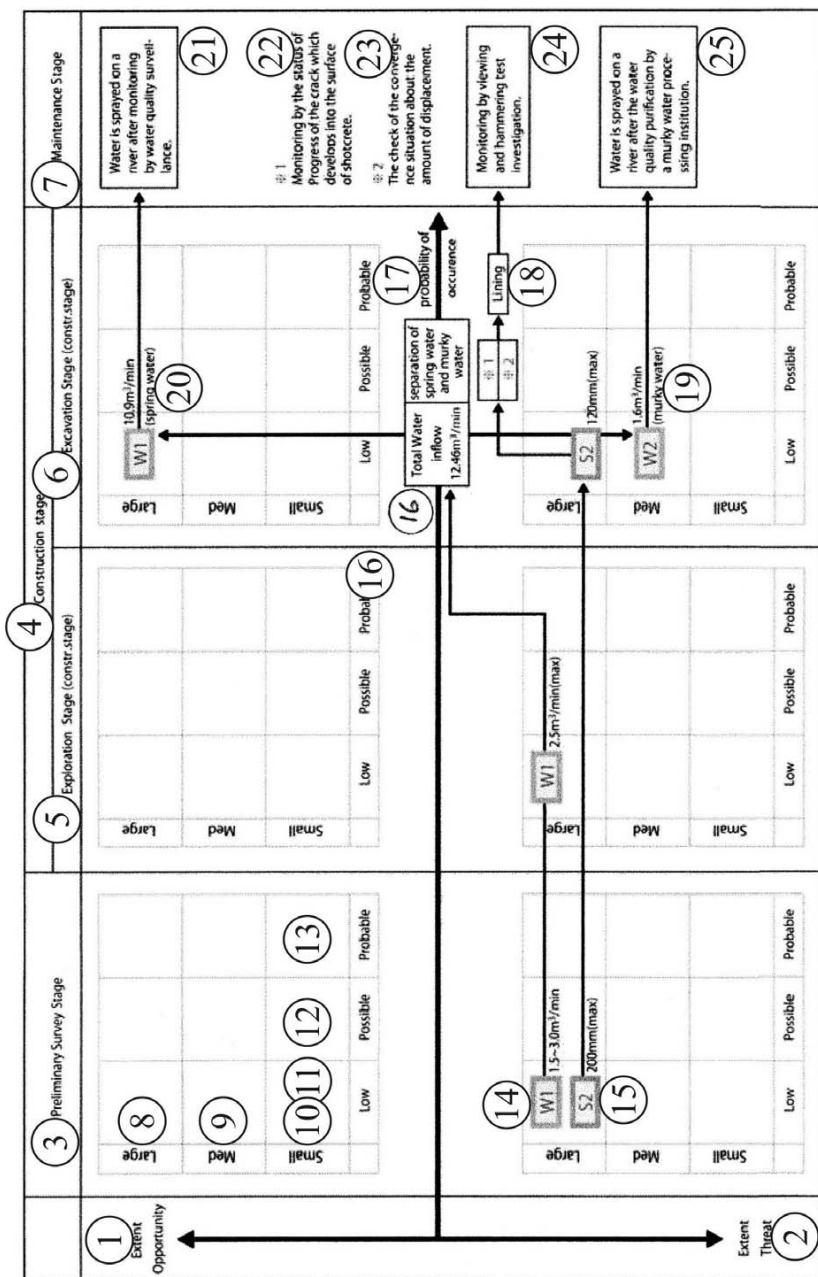


Рис. 8.36. Риски, связанные с внезапными притоками воды и конвергенцией стен туннеля

Объяснения к рис.8.36:

1 – благоприятные последствия (возможности); 2 – угрозы, связанные с рисками; 3 – стадия предварительного рассмотрения; 4 – стадия строительства; 5 – разведочная стадия; 6 – стадии экскавации; 7 – стадия эксплуатации туннеля; 8 – большой риск; 9 – средний; 10 – малый; 11 – низкая вероятность; 12 – возможная вероятность; 13 – высокая вероятность; 14 – притоки воды; 15 – конвергенция пород; 16 – общий приток воды, разделение чистой воды и пульпы; 17 – вероятность события; 18 – крепь; 19 – вероятность события; 20 – объем чистой воды; 21 – сброс чистой воды в реку; 22 – мониторинг состояния трещиноватости, развивающейся на поверхности набрызгбетона; 23 – проверка конвергенции – перемещения стен; 24 – мониторинг и исследовательские тесты; 25 – сброс очищенной воды в реку.

4		5				6	
Stage		Ground classification				Modification index (i)	
1	Initial design stage	D I C I				1 → 3 1.20	
2	Ahead of face investigation stage	D II	D I	D II	C II		
3	Excavation stage	D II	D I	C II	D I C II	2 → 3 0.80	
STA.		No 324	No 330	No 340	No 350	No 357+10	

Stage		Ground classification				Modification index (i)	
1	Initial design stage	C I C II				1 → 3 1.10	
2	Ahead of face investigation stage	D I	D II	D I	C II		
3	Excavation stage	D I	D II	D I	C II D I C II	2 → 3 0.59	
STA.		No 216	No 220	No 230	No 240	No 242	

Рис. 8.37. Сравнение фактических геологических условий с прогнозируемыми при дизайне и разведке из забоя

а) северная секция.

б) южная секция.

1 – на стадии дизайна; 2 – разведка из забоя; 3 – стадия экскавации;
4 – стадия; 5 – классификация пород; 6 – индекс изменений.

Таблица 8.17 – Классификация пород пересекаемых туннелем

Стадия дизайна		Стадия экскавации			
класс пород	скорость сейсмических волн, км/сек.	класс пород	электрическое сопротивление, Ом	конвергенция, мм	геологические условия во время экскавации
CI CII	3,7-4,4	CI	более 1000	до 10	Свежие трещины поверхности, породный массив монолитен, состояние забоя хорошее
		CII	1000-500	10-40	Измененные глины заполняют трещины. Малые породные массы могут выпасть вдоль трещин поверхности. Необходима стальная крепь
DI	2,5-2,6	DI	500-200	10-50	Трещины заметно прогрессируют. Появляются слабые породы. Выпавшие фрагменты пород имеют зернистую структуру
DII	до 2,5	DII	до 200	20-60 (max 130)	Породные массы представлены зернистыми глинами, состояние забоя плохое, существует значительная нарушенность породных масс

8.11 Риск воздействия подземного строительства на историческую застройку города

В Delhi, столице Индии строится железнодорожная сеть общей длиной 245 км со сроком окончания – 2021 г. Центральная часть этой сети будет подземной. В настоящее время по отдельному контракту проходится туннель с длиной примерно 6,5 км в центре города. Строительство ведется в условиях чрезвычайной плотности населения и застройки, хаотичного дорожного движения, ограничений возможности доставки материалов и удаления отходов, а также чрезвычайных климатических условий, плохой подготовленности персонала, устаревшего оборудования и технологии. Строительство современных сооружений консорциумом компаний Германии, Южной Кореи, Японии и Индии в соответствии с совместными западными стандартами ведется с темпами, полностью противоречащими ритму индийской жизни.

Контракт стоимостью 380 млн. долл. содержит 6 подземных железнодорожных станций, из которых 5 строится открытым способом. Станция Chawgi Bazaar, расположенная в центре исторического старого города, строится подземным способом, поскольку местные условия не позволяют разместить открытый котлован, а снос существующих зданий недопустим.

Риски, которые необходимо учитывать в ходе подземного строительства, связаны в основном с экстремально плотной и бессистемной городской застройкой. Ее наличие определило размер строительной площадки, конфигурацию и параметры подземных полостей (например, ствола доступа) необходимость усиления наземных зданий, примыкающих к зоне строительства.

Строительные работы с 2001 г. по 2006 г. проводились щитовыми туннельными машинами в грунтах, состоящих из илистых мелких песков и тонких уплотненных глин с хорошей несущей способностью, в которых построены много-

этажные дома с неглубокими фундаментами. Качество пород позволяет применить для крепления туннелей набрызгбетонную крепь.

Ниже этих грунтов залегают интенсивно метаморфизованные тектонически деформированные кристаллические кварциты с включениями мощных разложившихся слюдистых сланцев. Они имеют варьлируемые границы и выходят на поверхность в южной части железнодорожной линии, опускаясь к северу на глубину более 50 м, а затем снова поднимаясь под старым городом до глубины нескольких метров.

Станция *Chawgi Bazaar*, длиной примерно 250м состоит из двух параллельных платформ диаметром 9,6-11,2м, которые соединены каждые 5,0 м туннелями диаметром 5,0-6,2м. Эскавация станции проводилась через два вертикальных ствола доступа, которые затем будут служить входами на станцию. Один из стволов – *Amar Cinema* – имеет круглое сечение, другой ствол – *Hauz Qazi* – приспособлен к геометрии существующей хаотичной застройки старого города (рис. 8.38).

Все туннельные работы выполнялись от ствола *Amar Cinema*. Внутренняя структура ствола состоит из 5 подземных и 7 наземных этажей, причем она сооружалась одновременно с проходкой туннелей. По этой причине сечение ствола перекрывалось на 80% рабочими платформами, на которых располагались мобильные краны, места хранения строительных материалов и отходов эскавации пород, поскольку доставка материалов и транспортировка отходов разрешалась только в промежутке суток от 23.00 до 6.00.

Старый город *Delhi* процветал 200 лет назад. Его территория заполнена колодцами, построенными в эти годы, имеющими диаметр в несколько метров и соединенными между собой туннелями. Тогда же строились подземные дворцы высотой до 7 подземных этажей с площадью пола 100х30м (рис. 8.39). Позднее они были перестроены с тем, чтобы создать дополнительное пространство проживания постоянно

растущего населения. Сегодня их состояние, в основном, неизвестно и они представляли существенную опасность для строительства станции, поскольку были засыпаны грунтом и мусором, а их разведка и картографирование затруднены из-за существующей застройки.

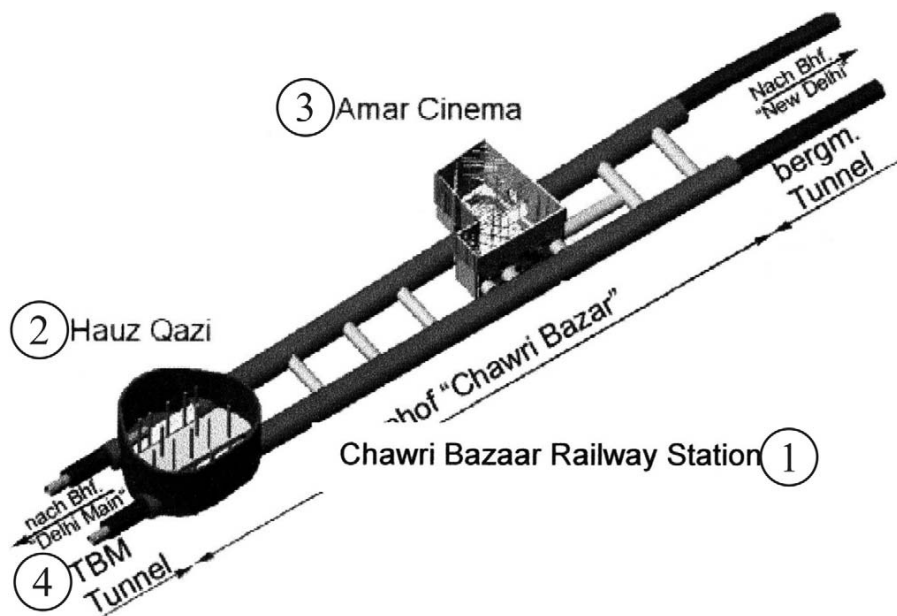


Рис. 8.38. Схема железнодорожной станции Chawri Bazaar
 1 – станция Chawri Bazaar; 2 – ствол доступа Hauz Qazi; 3 – ствол доступа Amar Cinema; 4 – буровая туннельная машина.

Такой дворец примыкает к стволу доступа Amar Cinema, строительство которого по этой причине было существенно усложнено (рис. 8.40). Другой подземный дворец, неизвестный ранее, был встречен туннельной машиной на глубине 15м и при экскавации заполняющего его насыпного грунта на поверхности образовалась полость. Строители успели перекрыть ее кирпичной аркой, благодаря чему повреждения рас-

пространились только на одноэтажные магазины, которые не использовались в это время.

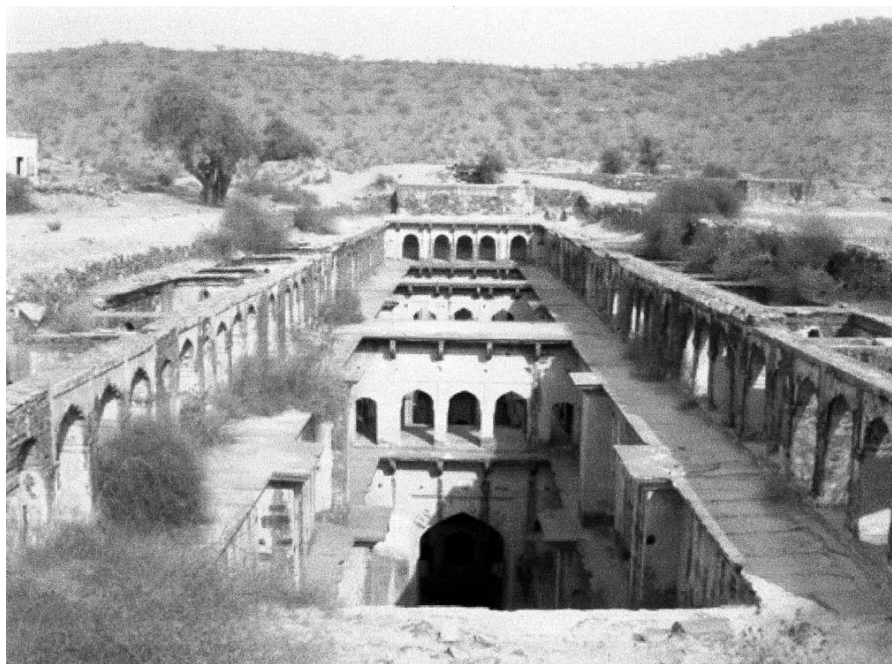


Рис. 8.39. Археологические раскопки старого подземного дворца

Ствол Amar Cinema имеет размеры в плане 25х40м и глубину 26 м. Насыпной грунт с мощностью, изменяющейся по периметру ствола от 7 до 16 м, поддерживался временной диафрагмовой стеной («стеной в грунте») и стеной перекрывающихся пробуренных свай. В зоне коренных пород под насыпным грунтом ствол крепился анкерами и набрызгбетоном.

Специфическую особенность конструкции имеет западная стена ствола. В 2,5 м от нее проходит западный туннель платформы. Оставшийся породный целик, который мог разрушиться при строительстве туннеля, состоял из слоистых кварцитов и выветренного слюдистого сланца, не способных

нести нагрузки. Поэтому щиток постепенно по мере проходки ствола заменялся железобетонной диафрагмой.

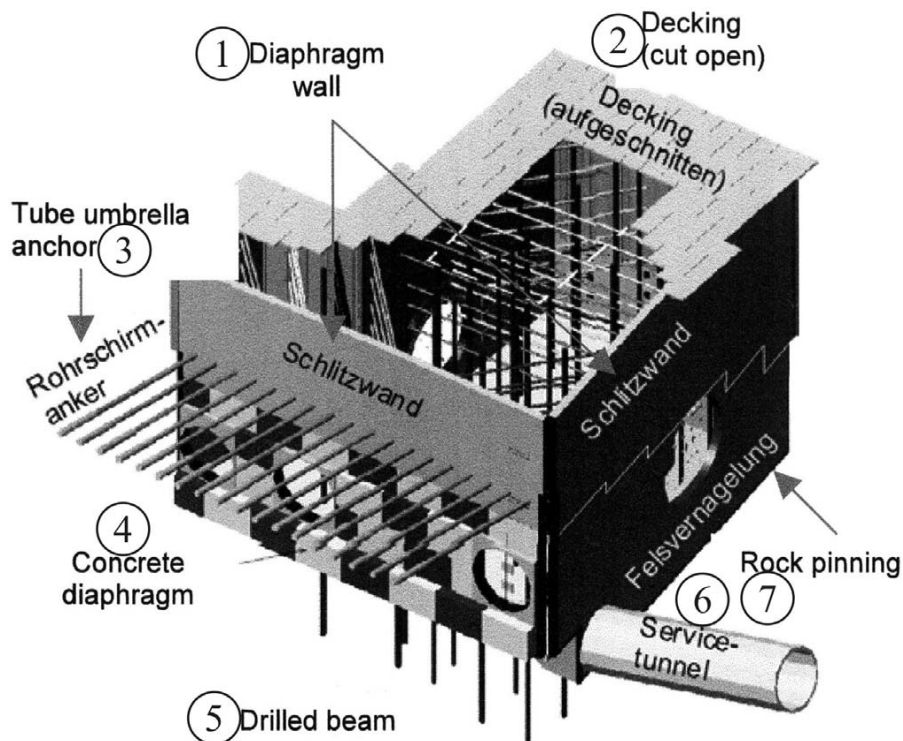


Рис. 8.40. Ствол доступа Amar Cinema

1 – диафрагмовая стена; 2 – проезжая часть (открытые работы); 3 – анкерный защитный зонт; 4 – бетонная диафрагма; 5 – пробуренные сваи; 6 – вспомогательный туннель; 7 – закрепление пород.

В целях безопасности последующей экскавации туннеля при проходке ствола в его стене были установлены 45 анкеров длиной 27 м, создавшие защитный зонт над туннелем (рис. 8.41).

Ствол Nauz Qazi имел 4 главных уровня внутренней структуры (рис. 8.42). Наружные стены ствола на глубину примерно 10 м (в интервале залегания насыпных грунтов)

были пройдены, как диафрагмовые. В коренных породах стены крепились анкерами и набрызгбетоном. Форма ствола в плане определилась пересечениями улиц. Расстояние диафрагмовых стен от существующих зданий не превышало 2 м. Для предотвращения оседания этих зданий под их фундаментные колонны гидравлическими домкратами продавливались железобетонные балки длиной более 3,5 м.

Минимальные размеры строительной площадки определялись необходимостью не нарушать транспортные потоки, в связи с чем они были разделены на 11 последовательных фаз различных направлений и интенсивности. С этой целью ствол перекрывался платформой, опирающейся на диафрагмовую стену и 16 железобетонных колонн размерами 1,2х1,2 м глубиной 35м, проходящих через зону насыпного грунта глубиной 10м и проникающих на 25 м в зону твердого кварцита. Колонны устанавливались в колодцах, пройденных вручную диаметром 2,5м, закрепленных металлическими сегментами (рис. 8.43). Эскавация пород в зависимости от их крепости велась пневматическими молотками, гидравлическим расщеплением и буровзрывными работами. После сооружения колонн колодцы были заполнены песком.

Статический уровень подземных вод в районе строительства располагается на глубине около 2 м. Породы, залегающие ниже этой глубины, должны были дренироваться до глубины почвы туннеля с тем, чтобы обеспечить его безопасную эскавацию и набрызгбетонное крепление. Для решения проблемы была создана трехмерная гидрологическая модель района, изучение которой показало неизбежность интенсивного дренажа породных слоев, что могло привести к их неравномерному оседанию.

Опасения за состояние существующих примыкающих к строительству зданий вызывались не только этой причиной, но и наличием многочисленных неизвестных нарушений целостности грунта под фундаментами, например, старыми ко-

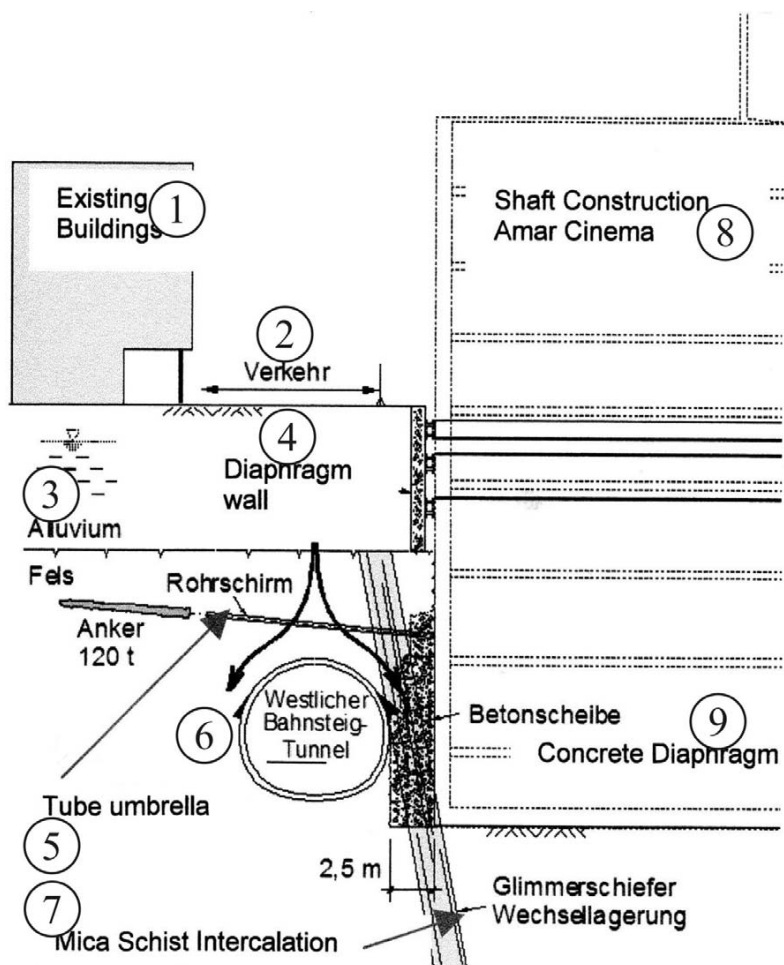


Рис. 8.41. Схема строительства ствола Amar Cinema

1 – существующее здание; 2 – проезжая часть; 3 – аллювий; 4 – диафрагмовая стена; 5 – анкерный защитный зонт; 6 – туннель; 7 – нераслаивающиеся слюдистые сланцы; 8 – ствол Amar Cinema; 9 – бетонная диафрагма.

лодцами и туннелями, различными подземными помещениями, глубокими дренажными канавами. В этих условиях суще-

ствующие здания были уязвимы к изменениям уровня подземных вод и поэтому усиливались (рис. 8.44).

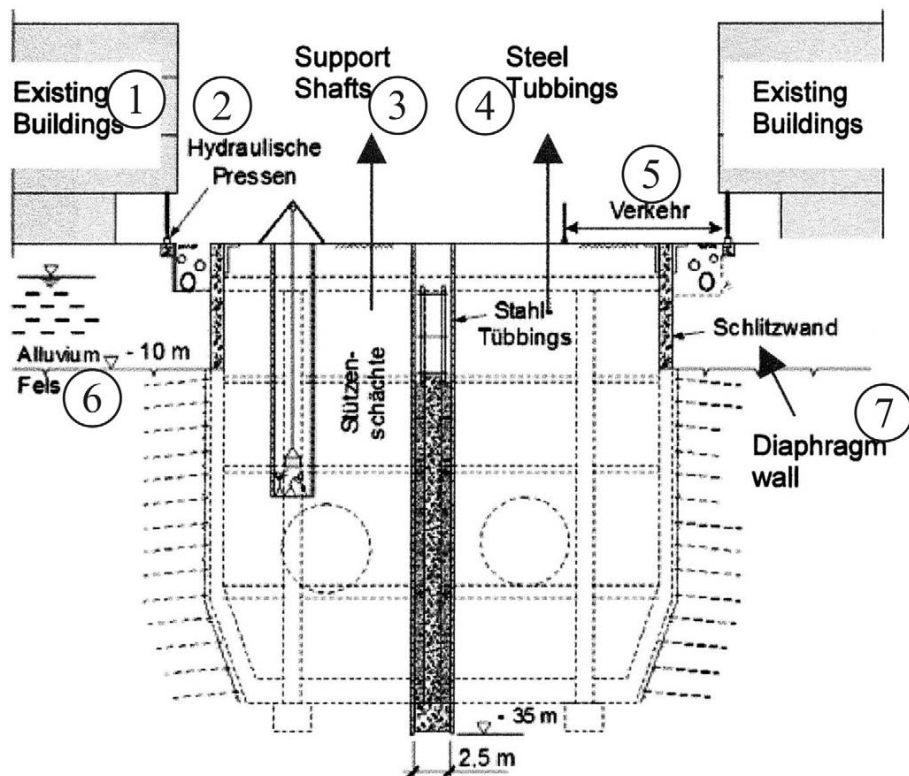


Рис. 8.42. Схема строительства ствола Nauz Qazi

1 – существующее здание; 2 – гидродомкрат; 3 – крепь ствола;
4 – металлические сегменты; 5 – проезжая часть; 6 – аллювий;
7 – диафрагмовая стена.

Первичный дренаж осуществлялся с помощью глубоких колодцев внутри стволов доступа и колодцев поддерживающих колонны, в которые перед засыпкой устанавливались перфорированные трубы. Позднее стволы функционировали, как большие колодцы, собирая притоки воды с последующей откачкой.



Рис. 8.43. Металлическая сегментная крепь ствола Hauz Qazi

В стволе Amag Cinema к планируемому туннелю бурились горизонтальные дренажные скважины длиной 80м. Кроме того, вдоль будущего туннеля восточной платформы был пройден пилотный туннель диаметром 2 м, длиной примерно 100 м, которым осуществлялся дренаж водоносных слоев. Этот туннель также дал информацию о грунтах и облегчил экскавацию станции.

Общий поток дренируемых вод в районе строительства составил 70 л/сек. На период дождей с июня по август для предотвращения их попадания в стволы, последние перекрывались почти полностью за исключением малых отверстий.

В осушенной зоне радиусом примерно 300м вокруг станции находилось около 2000 строений, состояние которых оценивалось с точки зрения устойчивости и способности воспринять возможность оседания без существенных поврежде-

ний. Для этой задачи привлекались местные инженерные офисы, знакомые со сложившимися условиями и имеющие собственный опыт. Национальный научно-исследовательский институт по заказу строительного консорциума подтверждал оценки, данные этими офисами, а при необходимости, дополнял их.



Рис. 8.44. Усиленное существующее здание в районе строительства станции метро

Наблюдаемые строения разделялись на три категории:

- 1) не требующие действий по их охране;
- 2) не остро требующие действий, но для которых необходимы наблюдения измерительной техникой;
- 3) требующие реконструкции.

В ходе проекта строения могли переходить из одной категории в другую. По категории 2 были классифицированы

1000 строений, по категории 3 – 200 строений. Обитатели строений категории 3 были хорошо знакомы с условиями своих жилищ и поэтому не возражали против их усиления балками и колоннами, устанавливаемыми посреди жилых помещений. Более того, менеджеры этих работ были вынуждены отклонять просьбы соседей аварийных зданий об усилении их жилищ, попавших при оценке состояния в категории 1 и 2.

Особые проблемы возникли для зданий, которые требовали немедленного усиления, но находились в процессе судебных рассмотрений споров о собственности. Поэтому для них не проводились какие-либо работы до решения этих споров, на что потребовались многие месяцы, в течение которых жители находились в условиях риска обрушений.

Во время строительства станции проводилась широкая программа мониторинга, включавшая замеры оседания поверхности, состояния набрызгбетонной крепи подземных структур, напряжений в породном массиве.

8.12 Вероятностный подход к оптимизации параметров гидротранспортного желоба

Вероятностная оценка рисков применяется не только для рассмотрения общих проблем дизайна подземных объектов, но также и для решения частных задач их строительства и эксплуатации. Далее описан подобный опыт применения в Австралии количественного анализа рисков для выбора конструктивных параметров одного из элементов комплекса обогащения добытой руды, транспортировка которой от шахты в виде пульпы обычно осуществляется в открытом желобе. Конфигурация и размеры последнего определяются в зависимости от таких условий работы, как пропускная способность, концентрация твердого материала в пульпе и размер его частиц, топография местности, где будет проходить желоб.

Подобные желоба обычно строятся, как открытые каналы с применением критериев потока и минимальных транспортных скоростей, поддерживающих движение твердых компонентов пульпы. Неадекватность этих показателей может вызвать комбинацию неблагоприятных эффектов: оседание твердого содержимого, нестабильность потока – пульсацию, стоячую волну или гидравлический удар. Такие причины приводят к перехлестыванию потоком бортов желоба и, в конечном счете, к отказу его работы.

Типичный подход к инженерному дизайну заключается в установлении реальных значений входных параметров, основанных на ожидаемых условиях работы, предыдущем опыте, физических нормативах и строительных правилах. Результатом подобного традиционного дизайна является единичное конкретное значение определяемого параметра. Такой детерминистский подход имеет главный недостаток, который заключается в том, что он не отвечает потенциальной варьированности результатов расчетов из-за изменений входных параметров. Если дизайн анализируемой гидротранспортной структуры не учитывает этого, при ее работе может возникнуть риск аварии, вызванный отклонением реальных характеристик работы желоба от расчетных.

Учитывая специфику проблемы, в оценке рисков дизайнер, кроме обычного критерия – произведения вероятности на тяжесть последствий – должен учитывать возможность выявления условий, приводящих к аварии.

$$\begin{aligned} & \text{Уровень риска} = \\ & = \text{Вероятность} \times \text{Тяжесть последствий} \times \text{Выявляемость}. \end{aligned}$$

Последний из трех аспектов – выявляемость – позволяет идентифицировать потенциальные проблемы перед тем, как они практически реализуются.

При подобном подходе к дизайну желоба:

- вероятность риска оценивается с использованием метода Монте-Карло и варьированием входных данных дизайна;
- тяжесть последствий события риска оценивается на основе мнения специалистов с участием акционеров;
- выявляемость (возможность обнаружения потенциального события риска) оценивается с использованием анализа чувствительности результатов дизайна к варьированности входных данных.

Для описания варьированности используются разные виды статистических распределений. Одно из них – треугольное – отражает историческую базу данных и опыт специалистов, занимающихся оценкой рисков. На рис. 8.45 показаны ожидаемый минимум (точка А), средняя оценка (точка В) и ожидаемый максимум (точка С) входного параметра, а также кумулятивная кривая распределения вероятностей.

Желоб для транспортировки пульпы может иметь различную форму, включая круглую, U-образную, трапециевидную и прямоугольную. В базовом случае описываемого исследования рассматривалась прямоугольная форма. Круглая форма желоба (труба) принималась, как альтернативная. Рис. 8.46 иллюстрирует измерения и переменные значения исходных данных для базового случая (табл. 8.18).

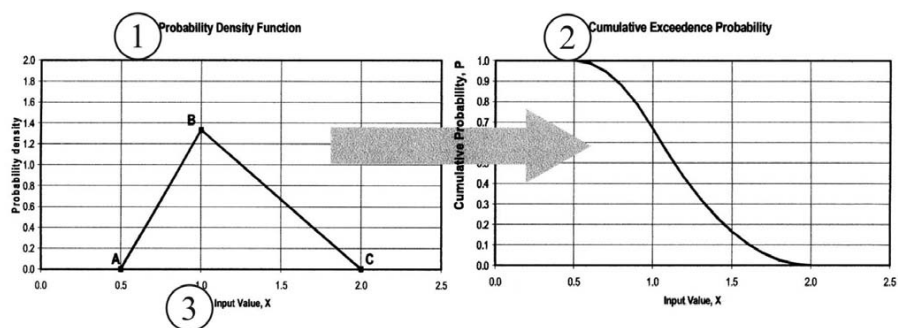


Рис. 8.45. Треугольное распределение – функция и кумулятивная кривая

*1 – функция треугольного распределения; 2 – кумулятивная кривая;
3 – входные значения.*

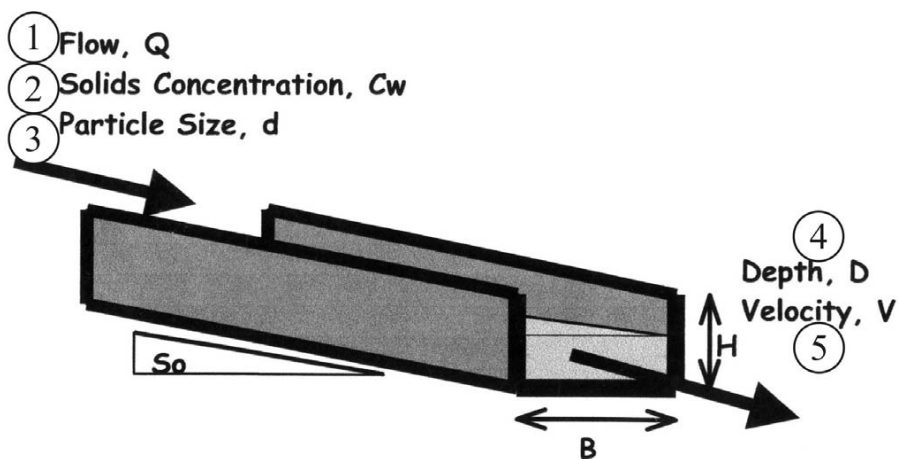


Рис. 8.46. Измерения и переменные значения параметров гидротранспортного лотка

1 – поток; 2 – концентрация твердого; 3 – размер частиц; 4 – глубина; 5 – скорость.

Таблица 8.18 – Исходные условия дизайна

Условия процесса	Параметры дизайна
Поток пульпы, $Q \leftarrow 2628 \text{ м}^3/\text{час.}$	Шероховатость желоба, $K_s, 1,5 \text{ мм}$
Концентрация, $C_w \leftarrow 50\%$ по весу	Плотность твердого, $\rho_s, 2780 \text{ кг/м}^3$
Вязкость пульпы, $\mu \leftarrow 100 \text{ сР}$ (санти Пуаз)	Плотность жидкого, $\rho_l, 1000 \text{ кг/м}^3$
Размер частиц, $d \text{ } 600 \text{ }\mu\text{м}$	

Как уже говорилось, целью дизайна желоба является обеспечение постоянных равномерных условий потока и предотвращение оседания твердых составляющих пульпы на дно, что может привести к блокированию потока и его перехлестыванию через борта желоба. Рассчитанные критерии базового варианта функционирования потока показаны в табл. 8.19.

Таблица 8.19 – Критерии функционирования желоба

Критерии	Описание
$H - D > 0,5 \text{ м}$	Высота борта для предотвращения перехлеста
$\frac{V}{V_t} > 1,2 \text{ м. (рис. 8.46) (отношение скорости потока к скорости транспортировки твердого)}$	Минимальная скорость, необходимая для предотвращения оседания твердого
$F_r > 1,4$ (число Фруда (Froude) - безразмерная величина, выражающая отношение инерционных сил к силе тяжести)	Минимальное число Фруда
$\frac{D}{B} > 0,3$ (рис. 8.46)	Минимальное отношение глубины потока к ширине

Первым шагом дизайна желоба был детерминистский подход к выбору его размеров, соответствующих критериям табл. 8.19 при условиях, проведенных в табл. 8.18.

Результаты расчетов оказались следующими:

- уклон дна $\delta_0 - 1,2\%$ (основано на условиях топографии трассы);
- ширина $B - 0,95 \text{ м}$;
- высота, $H - 1,0 \text{ м}$.

Гидравлические параметры условий дизайна приведены в табл. 8.20.

Таблица 8.20 – Гидравлические параметры условий дизайна

Глубина потока	Гидравлический радиус	Скорость потока	Скорость транспортировки	Высота борта	Число Фруда	Отношение глубины к ширине	Относительная скорость
$D, \text{ (м)}$	$R, \text{ (м)}$	$V, \text{ (м/с)}$	$V_t, \text{ (м/с)}$	$H-D, \text{ (м)}$	F_r	$\frac{D}{B}$	$\frac{V}{V_t}$
0,296	0,182	2,594	1,621	0,70	1.52	0,31	1,60

Детерминистский подход к дизайну показывает, что полученные параметры обеспечивают необходимые критерии функционирования желоба, однако, не позволяет определить насколько чувствительны гидравлические параметры к риску изменений входных данных. С целью решения этой задачи был проведен вероятностный анализ дизайна, основанный на оценках уровня этого риска. Выбранные размеры желоба проверялись при изменении входных данных с использованием треугольного распределения вероятности их значений. При этом оценивались следующие параметры:

Фиксированные размеры желоба	B, H, S_0 (рис. 8.46)
Входные переменные	Q, d, C_w (и связанное с ними μ)
Параметры результатов	$H-B, \frac{D}{B}, \frac{V}{V_t}, F_r$

Основываясь на предыдущем опыте подобных комплексов обогащения руды, параметры треугольного распределения колебаний условий работы желоба принимались согласно табл. 8.21.

Таблица 8.21 – Параметры треугольного распределения колебаний условий работы желоба

Параметры	Минимальное значение	Среднее значение (дизайна)	Максимальное значение
Поток $Q, \text{м}^3/\text{час}$	1800	2628	3000
Концентрация, $C_w, \%$	40	50	55
Вязкость, $\mu, \text{сР}$	10	100	200
Максимальный размер частиц, $d, \text{мм}$	400	600	1000
Показатель DOE	-1	0	+1

Далее для изучения влияния варьировемости входных данных на результаты расчета дизайна был применен метод

DOE «Design of Experiment» - структурированный организованный метод, используемый для определения взаимоотношений между различными факторами, воздействующими на процесс и результаты этого процесса.

Метод DOE предусматривает исследование комбинированного влияния одновременных колебаний нескольких входных данных на конечный результат, т.е. анализ его чувствительности к этим колебаниям. В рассматриваемом примере проводилась оценка полученных гидравлических параметров для всех комбинаций ожидаемых экстремальных значений входных данных (условий эксплуатации). В дизайне желоба варьировались значения Q , C_w (и связанные с ним μ) и d с назначенными показателями DOE: минимальным -1 , максимальным $+1$. Это привело к восьми возможным комбинациям минимального и максимального значений входных данных, плюс одно значение – дизайна (базовое), определенное детерминистским способом. Результаты ($H-D$, D/B , V/V_t) рассчитывались для каждой этой комбинации (табл. 8.22). Здесь число DOE $+1$ относится к максимальному ожидаемому значению входного показателя, число -1 – к минимальному значению, 0 – к дизайну, определенному детерминистским способом, как к наиболее ожидаемому значению.

Данные табл. 8.22 графически интерпретированы на рис. 8.47. Круто-наклонные линии показывают сильное влияние, горизонтальные линии - отсутствие влияния колебаний входных данных на параметры дизайна. Анализ DOE проводился отдельно для каждого из четырех результирующих параметров.

Рис. 8.47 а иллюстрирует, что F_r варьируется с изменением C_w и Q , но независимо от d . Однако, для всех комбинаций минимальных и максимальных значений входных данных значение F_r варьируется между 1,46 и 1,60. Этот интервал превышает нормативное значение 1,4 (табл. 8.19) и поэтому будет приемлем для работы желоба. Рис. 7,47 б показывает,

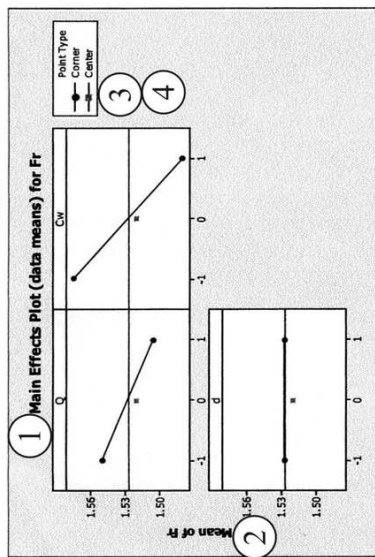
что значения d и C_w имеют малое влияние на D/B . Однако D/B может быть ниже, чем требуемое значение 0,3 и оно определяется скоростью потока Q . Поэтому для того, чтобы уменьшить вероятность несоответствия системы нормативному критерию функционирования: $D/B > 0,3$, варьируемость Q заслуживает дальнейшего исследования.

Таблица 8.22 – Входные данные для анализа дизайна методом DOE

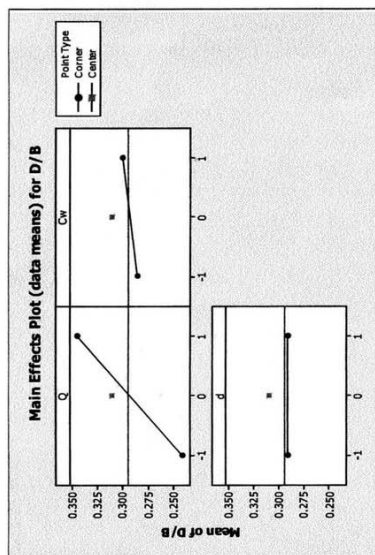
Входные данные			Результирующие гидравлические параметры			
Поток	Концентрация	Размер частиц	Высота борта	Число Фруда	Отношение глубины к ширине	Относительная скорость
Q	C_w	d	$H-D$, м	F_r	$\frac{D}{B}$	$\frac{V}{V_t}$
+1	+1	+1	0,67	1,46	0,35	1,28
+1	+1	-1	0,67	1,46	0,35	2,03
+1	-1	+1	0,68	1,55	0,34	1,27
+1	-1	-1	0,68	1,55	0,34	2,01
-1	+1	+1	0,77	1,50	0,25	1,25
-1	+1	-1	0,77	1,50	0,25	1,81
-1	-1	+1	0,78	1,60	0,23	1,23
-1	-1	-1	0,78	1,60	0,23	1,79
0	0	0	0,70	1,52	0,32	1,60

Рис. 8.47 с и 8,47 d показывает, что соотношения $H-D$ и V/V_t не падают ниже требуемых критериев функционирования. Величина $H-D$ зависит от Q , но ни от C_w , ни d , тогда как V/V_t , в основном зависит от d .

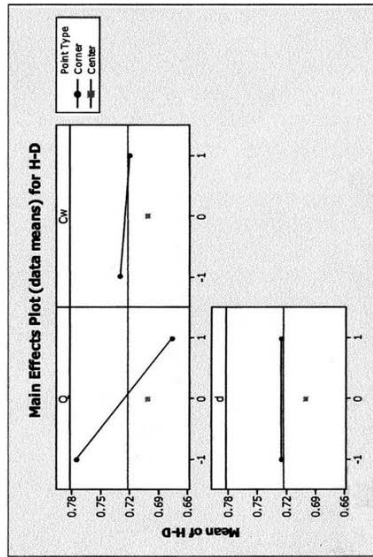
Метод DOE оценил чувствительность результирующих параметров дизайна к риску варьируемости данных на входе и определил, что базовый дизайн может не обеспечить крите-



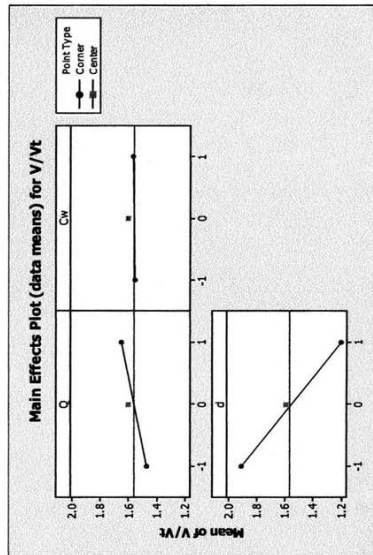
a) Froude number, Fr (5)



b) Depth-to-width, D/B (6)



c) Freeboard, H-D (7)



d) Relative velocity, V/Vt (8)

Рис. 8.47. Результаты анализа параметров дизайна желоба методом DOE

Объяснения к рис. 8.47:

1 – главные эффекты; 2 – значение F_r ; 3 – угол; 4 – центр; 5 – число F_r ; 6 – отношение глубины к ширине желоба; 7 – запас высоты борта желоба; 8 – относительная скорость.

рия минимального отношения глубины желоба к ширине (D/B) при потенциально низкой скорости потока пульпы Q .

Далее с помощью метода Монте-Карло были выполнены повторяющиеся расчеты (итерации), основанные на уравнениях, определяющих такие физические параметры, как плотность пульпы, число Рейнольдса (Reynolds), гидравлический градиент, критическую скорость транспортирования, число Шилдса (Shields). Для каждой итерации три независимых исходных условия (Q , C_w и d), варьировались наугад с помощью генератора случайных чисел, согласно треугольному распределению (табл. 8.21). Результаты 500 итераций использовались для расчета вероятности риска несоответствия результирующих гидравлических параметров критериям функционирования желоба.

Рис. 8.48 показывает кумулятивные (накопительные) кривые распределения вероятностей результирующих параметров что F_r и D/B (рис. 8.48 а), усиливающие результаты анализа DOE, изображенные на рис. 8.47. Здесь видно. Что число F_r падает ниже критерия 1,4. Однако рис. 8.48 в показывает, что отношение D/B может упасть ниже минимального критерия 0,3 и вероятность этого – примерно 50%. Такие результаты обнаружили высокую вероятность неспособности базового дизайна желоба обеспечить критерии его эффективного функционирования. Следующим шагом анализа ситуации было применение метода «Виды аварий и анализ повреждений» (FMEA – «Failure Modes and Effect Analysis»).

С этой целью значениям вероятности, тяжести последствий и выявляемости рисков были назначены оценки от 1 до 10 согласно стандартам метода «Шесть сигм» (Six Sigma). (Статистическая стратегия «Шести сигм» применяется для управ

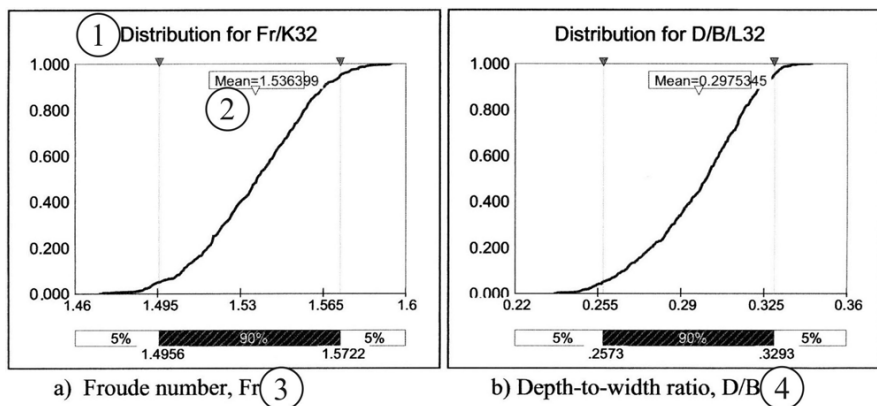


Рис. 8.48. Результаты анализа параметров дизайна желоба методом Монте-Карло

1 – кривая распределения; 2 – средние значения; 3 – число F_r ;
4 – отношение глубины к ширине желоба.

ления деятельностью предприятия, в частности, для определения необходимости устранения дефектов и несоответствий в бизнес-процессах и на производстве). Более подробно о методе «Шесть сигм» см. книгу авторов «Управление подземным строительством. Основные принципы», «Норд-Пресс», Донецк, 2010. Так, основываясь на результатах моделирования методом Монте-Карло, значению вероятности рисков в базовом случае была дана оценка 8, тяжесть последствий перехлестывания потока пульпы через борт желоба имела оценку 7, поскольку могла привести к прекращению обогащательных операций. Оценка 9 была назначена для выявляемости опасного риска в базовом случае (детерминистского дизайна) из-за отсутствия в транспортной системе возможности выявления ослабления потока.

Табл. 8.23 показывает фрагмент полученных результатов, иллюстрирующих сравнение базового дизайна и трех альтернативных вариантов.

Для варианта 2 а рассматривалась установка сверху по течению измерителя потока с возможностью обхода послед-

него по параллельному желобу. Такое решение может существенно увеличить возможность выявления и избежания перехлеста потока и поэтому уменьшает оценку выявляемости с 9 до 3. Вариант 2 б включает уменьшение опасности ослабления потока установкой буферной емкости вверху по течению. Анализ этого варианта методом Монте-Карло показал возможность обеспечения нормативных критериев функционирования желоба и поэтому снизил рейтинг вероятности риска с 8 до 4.

Таблица 8.23 – Результаты характеристики рисков

Варианты	Вероятность риска	Тяжесть последствий	Выявляемость	Уровень риска
1. Базовый дизайн	8	7	9	504
2а. Устройство обходного потока к параллельному желобу	8	7	3	168
2б. Устройство буферной емкости вверху по течению потока	4	7	9	252
3. Применение трубы вместо желоба	2	4	9	72

Наконец, вариант 3 предусматривает использование трубы вместо прямоугольного желоба. Тяжесть последствий здесь уменьшается за счет снижения опасности перехлестывания потока. Анализ варианта методом Монте-Карло показал, что вероятность несоответствия трубы критерием движения потока существенно ниже, чем желоба, поскольку отношение D/B для трубы не имеет значения. Оценка выявляемости оставлена такой же, как для базового варианта. Табл. 8.20 показывает преимущества варианта 3 по критерию общего

уровня риска. Этот вариант однако, требует высоких капитальных затрат.

В результате анализа для транспортировки пульпы был выбран желоб, показанный на рис. 8.49.

8.13 Оценка риска воздействия сейсмических событий на водоупорные перемычки шахт Южной Африки

В Южно-Африканской республике было проведено исследование, направленное на определение рисков, связанных с устойчивостью водоупорных перемычек, установленных для управления потоком воды из выработанного пространства части шахтного поля, расположенной по восстанию золотодобывающей шахты South Deerp. Этот анализ определил сейсмическую активность района, как потенциальную угрозу пяти таким перемычкам, установленным в зоне, граничащей с барьерным целиком, разделяющим закрытую и работающую часть шахты.



Рис. 8.49. Общий вид гидротранспортного желоба

При обсуждении стратегии управления рисками принимались во внимание следующие сведения:

- в регионе (Kaapvaal Craton) произошли исторически не ожидавшиеся крупные землетрясения;
- из-за расширения горных работ в бассейне Witwatersrand произошли несколько землетрясений среднего масштаба (возможно, их лучше назвать «шахтотрясениями»);
- сейсмические события с магнитудой по шкале Рихтера между 4,4 и 5,2 за последние 32 года происходили примерно 40 раз на месторождениях Orange Free State и Klerksdorf. В течение этого периода случились два очень больших события в районе Carletonville с магнитудой 4,4 и 4,9, которые явились результатом скольжения породного массива вдоль нарушенной зоны, имеющей простирание на многие километры и по «сбросам» с длиной равной многим сотням метров, с обеих сторон которых велись горные работы;
- такое сейсмическое скольжение породного массива, равное примерно 200-400 мм приводило к незначительным повреждениям туннелей, пересекаемых нарушениями.

В связи с этими фактами были проведены исследования, показавшие степень риска разрушения водоупорных перемычек, расположенных в туннелях и предотвращающих прорывы воды из затопленного резервуара старых горных работ во время тектонической активности породного массива.

Предполагалось, что оценка рисков даст ответы на следующие вопросы:

- насколько большим может быть сейсмическое событие?
- каковы шансы, что такое событие может произойти вблизи границы барьерного целика?
- какие виды аварий могут случиться с перемычками и целиком?
- как может быть оценена вероятность такой аварии?

- какими могут быть последствия каждого такого случая?

Для ответа на эти вопросы был проведен статистический обзор естественной сейсмической истории предыдущих 25 лет в регионе, определенном радиусом 50 км с центром в барьерном целике. Расчеты, основанные на известном в сейсмологии законе Gutenberg-Richter, отражающем зависимость общего числа землетрясений от магнитуды, показали, что вероятная магнитуда землетрясения в рассматриваемом районе составляет $M_{\max} = 4,87$ со стандартным отклонением 0,25. Соответственно оценка будущих рисков базировалась на значении $M_{\max} = 5,1(4,87 + 0,25)$, что отражало возможность возникновения таких землетрясений в специфические периоды времени.

Этот анализ основывался на статистических данных, полученных за период с 1971 г. по 1985 г., когда произошли 429 сейсмических событий с магнитудой, превышающей $M_L = 3,5$. Затем сеть наблюдений была усовершенствована и позволила с 1985 г. регистрировать события с магнитудой, превышающей $M_L = 2,7$, доведя за период до 1995 г. их общее число до 2184.

Полученные данные позволили оценить вероятность возникновения сейсмических событий (табл. 8.24) в рассматриваемом районе. Так, например, с большой вероятностью (96%) ожидается, что землетрясение с магнитудой $M_L = 4,0$ будет здесь происходить в среднем три раза каждый год.

Потребуется намного больший период, например 75 лет, чтобы убедиться, что может произойти событие с магнитудой 5,0. За период такой же продолжительности имеется около 1 из 3 шансов, что в радиусе 50 км от перемычки произойдет максимальное землетрясение с $M_{\max} = 5,1$.

Особое внимание при анализе статистических данных было уделено влиянию на сейсмическую активность затопленного водой резервуара выработанного пространства старого участка шахты. В мировой практике имеются примеры та-

кого влияния. Два самых больших события с $M_L = 6,5$ и $M_L = 6,3$ были отмечены в регионах, предрасположенных к землетрясениям в Индии и Греции. Третье с магнитудой 6,2 произошло в Kariba (Замбия) в 1963 г. в районе, не считавшимся опасным.

Таблица 8.24 – Ожидаемые сейсмические события в районе

Магнитуда	Годы			
	Вероятность события (число событий)			
	1	5	10	75
3,5	1,000 (17)	1,000 (83)	1,000 (166)	1,000 (1244)
4,0	0,0964 (3)	1,000 (17)	1,000 (33)	1,000 (250)
4,5	0,446 (-)	0,948 (2-3)	0,997 (5)	1,000 (37)
4,8	0,155	0,568	0,814 (0-1)	0,999 (7)
5,0	0,043	0,197	0,356	0,963 (1)
5,1	0,006	0,031	0,060	0,373

Исследования показали, что даже в таких районах находятся скрытые нарушенные зоны, которые окажутся нестабильными после заполнения водой потенциального резервуара. В рассматриваемых условиях, когда образовавшийся резервуар находится на глубине 1500 м за барьерным целиком, изолирующим этот резервуар, давление воды может составить до 15 МПа. Это активизирует нарушения, которые в противном случае могли бы остаться стабильными, но в создавшихся условиях становятся триггером (спусковым механизмом) землетрясения.

Поэтому были проведены дополнительные исследования, позволившие определить, какое число сейсмических событий в рассмотренный период было связано с естественными причинами и не вызывались горными работами. Выяснилось, что к таким событиям за период 50 лет может быть отнесено примерно 20 землетрясений, имеющих магнитуду более 3,5 и происшедших на площади 31400 км² (в радиусе 100 км от

барьерного целика), четыре из которых имели магнитуду более $M_L = 4,0$ и одно превышало $M_L = 4,5$.

Исследователями определялось, каким должно быть расстояние источника сейсмического события от перемычки для того, чтобы повредить ее. Следует при этом отметить, что наиболее часто под сейсмическим источником понимается дугообразная плоскость нарушенной части породного массива с величиной его сдвига наибольшей в центре нарушения и уменьшающейся к границам этой дуги. Магнитуда сейсмического события зависит от радиуса последней, вида пород и падения напряжений в них при реализации события. При величине такого падения на величину 10 МПа, что считается в кварцитах типичным значением для большого события, радиус влияния последнего от источника при $M_L = 4,5$ может составлять до 500 м, при $M_L = 5,1$ – 1100м, при $M_L = 5,5$ – 1700м.

Таким образом, если событие с $M_L = 4,5$ произошло более, чем в 500 м от водоупорной перемычки, фронт его активности ее не достигнет, не причинит какого-либо неравномерного разрушающего перемещения и не даст водопроницаемой системы трещин в окружающем массиве, даже, если через место установки перемычки происходит существующее нарушение. Подобно этому, событие с $M_L = 5$, которое может произойти за пределами круга радиусом 1100 м от перемычки, не причинит вреда ей или окружающим породам.

Площадь, соответствующая радиусу 500м (событие с $M_L = 4,5$) равна $0,785\text{км}^2$. Согласно табл. 8.24 такое событие на площади 31400км^2 (при радиусе вокруг целика 100км) может произойти менее 1 раза в год. За период 10 лет может ожидать 5 подобных события, распределенных на этой территории случайным образом. Шанс, что одно из них произойдет за это время в пределах радиуса 500 м от целика, составит:

$$\frac{0,785}{31400} \cdot 5 = 0,000125.$$

Площадь, соответствующая радиусу 1100 м для максимально возможного землетрясения с $M_L = 5,1$ равна $4,23 \text{ км}^2$. Из табл. 8.24 видно, что вероятность подобного события на территории 31400 км^2 за 75 лет равна всего 0,373. Ожидание, что это может случиться вблизи перемычки и повредить ее, составит:

$$\frac{4,23}{31400} \cdot 0,373 = 0,00005.$$

Оба рассчитанных значения так малы, что может быть сделан вывод о пренебрежимости для практических целей шансов повреждения перемычки (или барьерного целика) естественным землетрясением.

Проведенные расчеты, однако, не решают вопроса, останется ли тектонически стабильным соседнее с перемычкой нарушение, имеющее гидравлическую связь с резервуаром, образовавшимся в старых горных работах, и не произойдет ли сдвига массива из-за воздействия воды с давлением 15 МПа и относительно больших напряжений, вызванных горными работами.

Недостаточная определенность и сложность зависимости друг от друга давления массива и воды в резервуаре привели к необходимости при дальнейших исследованиях принять максимальную оценку магнитуды ожидаемого землетрясения равной $M_L = 5,5$ вместо $M_L = 5,1$, обеспечивая, таким образом, «запас прочности» расчетов при сохранении вероятности события 0,373 (табл. 8.24).

Площадь, в пределах которой проявилась сейсмичность, вызванная наличием затопленного выработанного пространства, оценивается в 1840 км^2 . Если принятое максимальное значение магнитуды события равно $M_L = 5,5$ с радиусом воздействия на какую-либо перемычку 1700 м, то площадь этого воздействия будет равна $9,1 \text{ км}^2$. Тогда так называемая «гео-

графическая вероятность» повреждения перемычки (приведена в столбце 3 табл. 8.25) составит

$$\frac{9,1}{1840} = 0,005 ,$$

а шанс возникновения сейсмического события, вызванного воздействием резервуара, будет равен согласно табл. 8.25:

$$0,373 \times 0,005 = 0,0019.$$

Площадь воздействия быстро уменьшается с уменьшением магнитуды события, которое поэтому должно располагаться намного ближе к перемычке, чтобы повредить ее. Радиус влияния скольжения пород при $M_L = 3,5$ равен 160 м (площадь $0,08 \text{ км}^2$) и поэтому его гипоцентр для заметного влияния на перемычку должен располагаться от нее в пределах 160 м. Тогда географическая вероятность события составит:

$$\frac{0,08}{1840} = 0,00004 .$$

Однако, частота таких малых событий намного выше, чем больших. Согласно табл. 8.24 она будет равна 1244 за 75 лет. Тогда шанс появления в этот период такого близкого к перемычкам события составит:

$$0,00004 \times 1244 = 0,05,$$

что более, чем в 25 раз выше вероятности наибольшего события, возможного на расстоянии 1700 м от перемычки.

Более важен, однако, фактор, названный «геометрической вероятностью» (кинетической свободой) (табл. 8.25, столбец 3). Он отражает влияние различных геометрических и физических ограничений, существующих в конкретной под-

земной ситуации (рис. 8.50), например, учитывает, будет ли в зоне радиуса влияния скольжения массива вдоль нарушения располагаться добычной уступ, приведет ли интенсивность напряжений к разрыву барьерного целика (рис. 8.51), (что определяется преимущественно его геометрией) и т.д. Большая площадь отработанной части месторождения, расположения по обе стороны нарушений, дает возможность массиву (кинетическую свободу) скользить по поверхности нарушения. Это происходило, в частности, на шахте Dagbreek, где в течение 30 лет случились 3 сейсмических события с магнитудой более $M_L = 5$. Для условий горных работ и барьерного целика рассматриваемой шахты South Deer вероятность такого события оценивается, как чрезвычайно малая и поэтому в столбце 4 табл. 8.25 она принята равной 0,0001 согласно данных табл. 8.26. Если в особо редком случае гипотетическое нарушение пересекает барьерный целик, то вероятность события оценивается, как $1/2$ от вероятности предыдущего случая и ей дано значение 0,00005.

Отдельное внимание в исследовании было уделено состоянию водоупорных перемычек. Возможные схемы их разрушения обозначены позициями 3.1-3.3 табл. 8.25 и иллюстрированы рис. 8.52. Степень разрушения горных масс или бетонной структуры перемычки, которая является интегрированной частью этих масс, в значительной степени определяется частотой и длиной сейсмических волн, а также длиной пути волны вдоль анализируемой структуры. Очень крупные сейсмические события, случившиеся в шахтах месторождений Orange Free State и Klerksdorf вызывали проскальзывание массива равное 400-500 мм. Доминантная частота сотрясений находилась в пределах от 1 Нг до 10 Нг с длиной волны от многих сотен до нескольких тысяч метров.

Эти факторы вызывают в горном массиве формирование новых трещин и рост старых – их удлинение и соединение, что приводит к структурным повреждениям пород и соединений с ними конструкций перемычек.

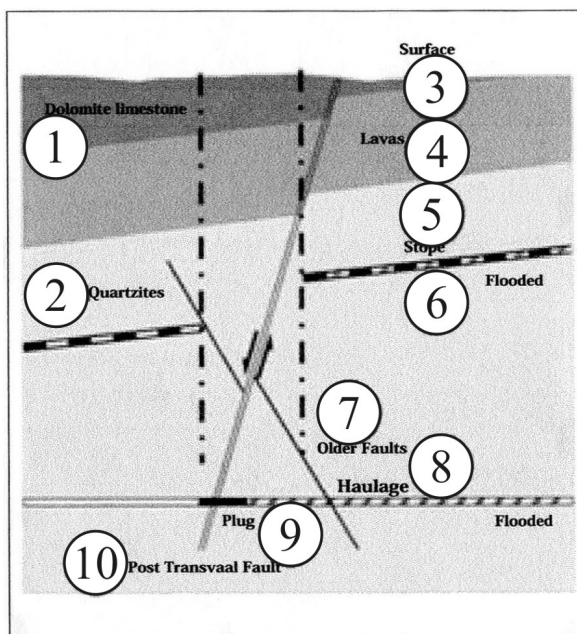
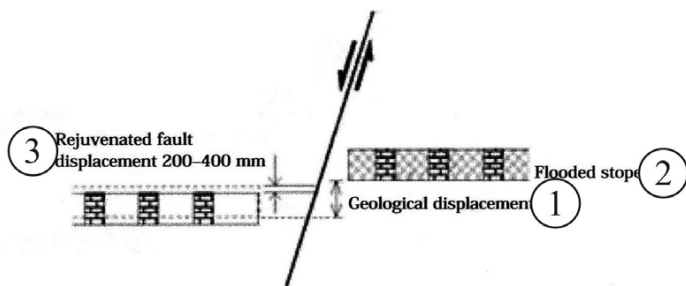


Рис. 8.50. Общая схема взаимного расположения горных работ, нарушения, барьерного целика, перемычки

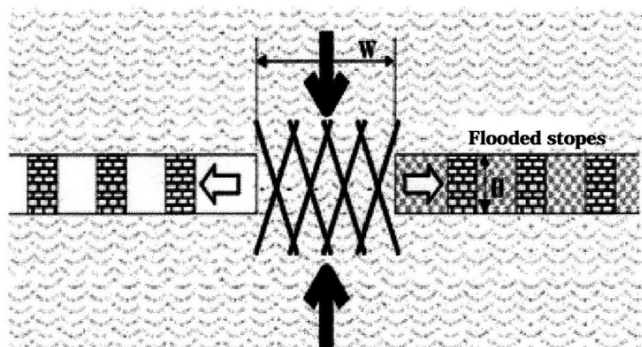
1 – доломитовый известняк; 2 – кварциты; 3 – поверхность; 4 – изверженные породы; 5 – добычной уступ; 6 – затопленные старые горные работы; 7 – нарушения; 8 – транспортная выработка; 9 – перемычка; 10 – нарушение Post Transvaal Fault.

Главный эффект, смягчающий воздействие сейсмических событий на туннель, в котором установлена перемычка, заключается в том, что он имеет размеры существенно меньшие, чем длина сейсмической волны. Обычно диаметр туннеля в месте установки перемычки равен 4,5, а ее длина составляет 30 м. Когда направление распространения волны пересекает ось туннеля, можно увидеть, как породный массив вместе с туннелем двигается вверх и вниз с амплитудой 2-3мм, одинаковой для кровли или почвы (рис. 8.52). Из-за разницы прочностных характеристик пород и бетона перемычки последняя испытывает значительно меньшее сжимающее на-

a)



б)



в)

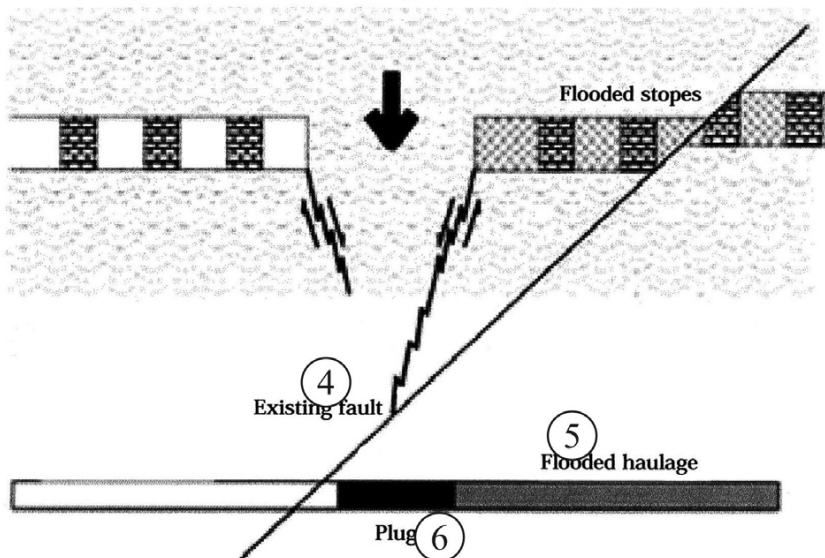


Рис. 8.51. Виды разрушения барьерного целика

Объяснения к рис. 8.51:

а) сдвиг целика вдоль нарушения; б) разрушение целика; в) разрушение почвы целика.

1 – исходное геологическое смещение; 2 – затопленный отработанный уступ; 3 – перемещения, вызванные сейсмическим событием; 4 – существующее нарушение; 5 – затопленная транспортная выработка; 6 – перемычка.

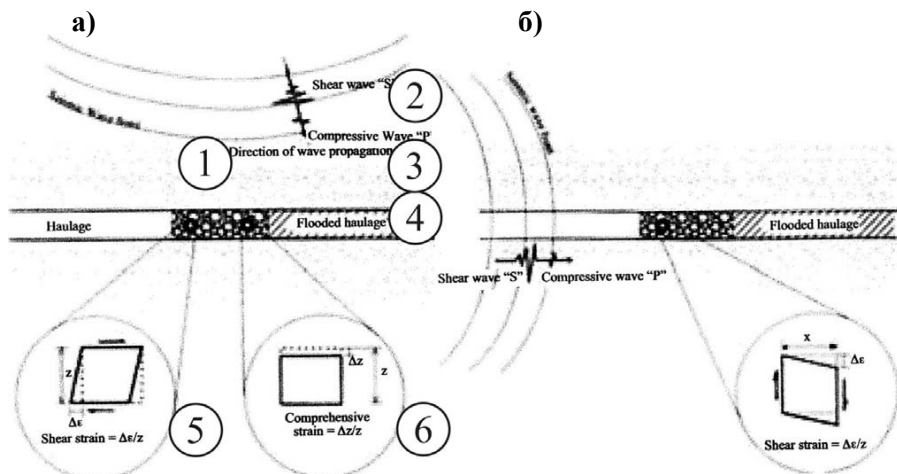


Рис. 8.52. Схематическое представление о влиянии сейсмического события на перемычку

а) направление волны пересекает ось туннеля;

б) направление волны параллельно оси туннеля.

1 – направление распространения сейсмической волны; 2 – волна среза; 3 – волна сжатия; 4 – затопленная транспортная выработка;

5 – срезающее напряжение; 6 – общее напряжение.

пряжение, вызванное сейсмическим событием, чем оно ощущается окружающими крепкими породами. Поэтому из-за такого напряжения разрушение тела перемычки представляется невозможным (позиция 3.2 табл. 8.25).

Если направление сейсмической волны параллельно оси туннеля (рис. 8.52), ситуация может оказаться более сложной и воздействовать на поверхность туннеля. Однако, и в этом случае из-за разницы площади поверхности туннеля и площа-

Таблица 8.25 – Риски, вероятности и последствия сейсмических событий

№ п/п	Идентифицированная опасность	Статистическая вероятность сейсмического события («географическая вероятность»)	Геометрическая вероятность	Общая вероятность	Возможность увеличения риска просачивания (табл. 8.26)		Тяжесть последствий (табл. 8.27)	Общий уровень риска
					быстрый поток	медленный поток		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1.	Скольжение по на- рушению: $M_L = 5,5$, г = 1700 м							
1.1	Нарушение в преде- лах одного измерения	$0,0019 =$ ($0,373 \times$ $0,005$)	0,0001	$1,9 \times 10^{-7}$	(см. поз. 3.3 и 4)			
1.2	Нарушение пересека- ет барьерный целик поперек длины		0,00005	9×10^{-8}	неве- роятно	веро- ятно	незна- читель- ные - 3	$2,7 \times 10^{-7}$
1.3	Нарушение пересека- ет барьерный целик вдоль длины		0,00005	9×10^{-8}	неве- роятно	веро- ятно	пренеб- режи- мые - 1	9×10^{-8}
1.4	Нарушение пересека- ет перемычку		0,00001	$1,9 \times 10^{-8}$	веро- ятно	весьма веро-	тяжелые - 100	$1,9 \times 10^{-6}$

Продолжение таблицы 8.25

1	2	3	4	5	6	7	8	9
2.	Разрушение целика: $M_L = 3,5$, г = 160 м							
2.1	Разрушение целика из-за критического отношения ширина : высота	$0,05 = (1250 \times 0,00004)$	0,00001	5×10^{-7}	вероятно	весьма вероятно	существенные - 20	$1,0 \times 10^{-5}$
2.2	Разрушение почвы целика из-за высоких напряжений		0,00001	5×10^{-7}	невероятно	вероятно	незначительные - 3	$1,5 \times 10^{-6}$
3.	Разрушение перемычки: $M_L = 5,5$, г = 1700 м							
3.1	Выдавливание перемычки из-за среза соприкасающихся пород и перемычки	$0,0019 = (0,373 \times 0,005)$	0,0001	$1,9 \times 10^{-7}$	весьма вероятно	-	критические - 1000	$1,9 \times 10^{-4}$
3.2	Полное разрушение		0,00001	$1,9 \times 10^{-8}$	весьма вероятно	-	катастрофические - 10000	$1,9 \times 10^{-4}$

Окончание таблицы 8.25

1	2	3	4	5	6	7	8	9
3.3	Проникающие срезающие усилия, вызванные волной параллельной оси туннеля		0,00001	$1,9 \times 10^{-8}$	весьма вероятно	весьма вероятно	критические - 1000	$1,9 \times 10^{-5}$
4.	Повреждения перемычки: $M_L = 4,0$, $r = 270$ м Перемычка срезана/перемычка перемещена пересекающим нарушением							
4.1	Вдоль горизонтальной осевой плоскости	$0,031 = (250 \times 0,00012)$	0,0001	$3,1 \times 10^{-6}$	вероятно	весьма вероятно	тяжелые - 100	$3,1 \times 10^{-4}$
4.2	Вдоль круто-наклонной поверхности нарушения		0,0001	$3,1 \times 10^{-6}$	вероятно	весьма вероятно	тяжелые - 100	$3,1 \times 10^{-4}$
4.3	Вдоль круто-наклонной структуры параллельной границе целика		0,001	$3,1 \times 10^{-5}$	возможно	вероятно	существенные - 20	$6,2 \times 10^{-4}$

Примечания к табл. 8.25:

- столбец 3 – произведение вероятности события за 75 лет работы шахты (табл. 8.24) и значения географической вероятности;
- столбец 5 – произведение данных столбцов 3 и 4;
- столбцы 6, 7 основаны на табл. 8.26;
- столбец 8 основан на табл. 8.27;
- столбец 9 – произведение данных столбцов 5 и 8.

Таблица 8.26 – Оценка вероятности рисков

Описание	Сценарий	Вероятность	Оценка
Весьма вероятный	весьма частое возникновение	более 85%	16
Вероятный	более, чем равные шансы	50-85%	12
Довольно вероятный	довольно частое возникновение	21-49%	8
Невероятный	вероятность малая, но может произойти	1-20%	4
Весьма вероятный	возникновение не ожидается	0,01-1%	2
Чрезвычайно невероятный	хотя и возможно, но весьма удивительно	менее 0,01%	1

Таблица 8.27 – Оценка тяжести последствий

Описание	Сценарий	Оценки
Критические	Инвестмент в строительстве не может быть продолжен (из-за смертей, банкротства и т.д.)	1000
Тяжелые	Серьезная угроза бизнесу или инвестменту	100
Существенные	Существенное уменьшение прибыли (из-за травм, повреждений оборудования и т.д.)	20
Незначительные	Малое воздействие на прибыль (например, малый ущерб для оборудования)	3
Пренебрежимые	Обыденное воздействие на прибыль (приведение в порядок, очистка и т.д.)	1

ди породных масс, пересекаемых волной, опасность для туннеля представляется пренебрежимо малой (позиция 3.3 табл. 8.25).

Отсюда следует, что разрушающие или срезающие деформации породного массива, вызванные сейсмическим событием, не приведут к разрушению перемычки. По тем же причинам, несмотря на разницу в сжимаемости породы материала перемычки, представляется физически невозможным, что при воздействии сейсмической волны напряжения вдоль соприкасающихся поверхностей пород и перемычки будут ослаблены в степени, достаточной для выдавливания перемычки с места ее установки. Значение усилий среза при расчетах связи этих поверхностей принималось равным 800 кПа, тогда как лабораторные испытания показали, что фактическое значение усилий достигает 8000 кПа. Кроме того, реальная поверхность соприкосновения не идеально цилиндрическая и гладкая, как это предполагается теорией. Подобными соображениями определяется вероятность 0,0001 выдавливания перемычки (позиция 3.1 табл. 8.25).

Частичные повреждения перемычки, вызванные меньшими, хотя и более частыми скольжениями массива вдоль нарушения, также имеют пренебрежимо малый шанс. Однако, если перемычка непосредственно пересекается нарушением, она подвергается такому же воздействию, как и окружающие породы (рис. 8.53). Варианты последствий этого воздействия показаны в позициях 4.1-4.3 табл. 8.25. Первые два из них относятся к случаю, когда разрушение перемычки не происходит, но воздействие на нее может привести к серьезному просачиванию воды, объем которой зависит от величины перемещения массива, толщины перемычки и материалов соприкасающихся с поверхностью перемычки и окружающих пород. Позиция 4.3 табл. 8.25 показывает вероятность частичного разрушения перемычки нарушением, параллельным границе целика.

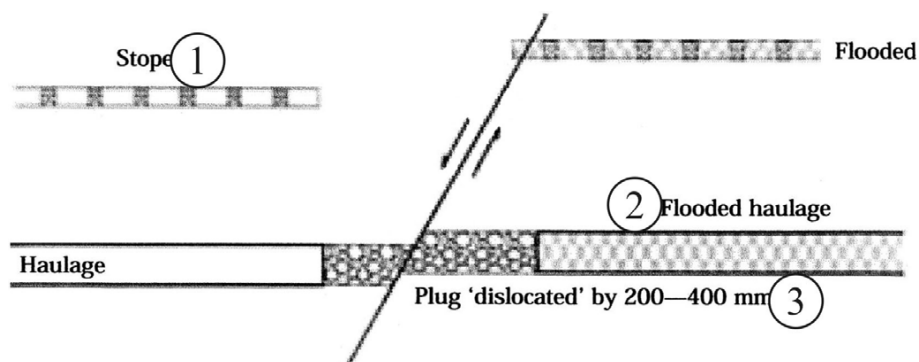


Рис. 8.53. Перемычка, пересекаемая нарушением

*1 – добычной уступ; 2 – затопленная транспортная выработка;
3 – перемычка, перемещенная на 200-400 мм.*

В табл. 8.25 сделана попытка систематизировать результаты определения степени риска и его последствий для состояния водоупорной перемычки. Левая половина таблицы (столбцы 1-5) посвящена описанию различных потенциальных опасностей и оценкам вероятностей, с которыми они на самом деле могут реализоваться. Столбцы 6 и 7 приблизительно указывают природу и потенциальную тяжесть последствий, к которым могут привести конкретные виды аварий.

Следует попутно отметить, что в общих случаях оценки рисков в Южно-Африканской республике применяется «метод анализа рисков и управления проектами» (RAMP – Risk Analysis and Management for Projects, 2010). В нем, кроме табл. 8.26 и 8.27, данные которых использовались в описанном примере, применяются также табл. 8.28 и 8.29, на основании которых разрабатываются мероприятия по управлению рисками.

Таблица 8.28 – Оценка уровня приемлемости риска

Вероятность риска	Последствия				
	критические (1000)	тяжелые (100)	существенные (20)	незначительные (3)	пренебрежимые (1)
Весьма вероятный	16000	1600	320	48	16
Вероятный	12000	1200	240	36	12
Довольно вероятный	8000	800	160	24	8
Невероятный	4000	400	80	12	4
Весьма невероятный	2000	200	40	6	2
Чрезвычайно невероятный	1000	100	20	3	1

Таблица 8.29 – Критерий приемлемости риска

Оценка уровня риска	Категория приемлемости	Требуемые действия
Свыше 1000	Нетерпимый	Устранить или передать риск
101-1000	Нежелательный	Попытаться избежать или передать
21-100	Приемлемый	Принять риск и управлять им
до 20	Пренебрежимый	Игнорировать

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Управление строительными рисками позволяет оптимизировать расходы, улучшить качество строительства, создать безопасные условия работ. В предлагаемой книге с этой точки зрения рассмотрен зарубежный опыт строительства, приведены методы оценки уровня риска, позволяющие предусмотреть в бюджете проекта оптимальные непредвиденные расходы, описан вероятностный подход к принятию решений в условиях неопределенности.

Применяемые при практическом решении этих творческих задач формализованные методы их расчленения на составные элементы, детальный пошаговый процесс перехода от одного элемента к другому, способы наглядного представления этого процесса позволяют не только понять логическую последовательность реализации стратегии управления рисками, но и обеспечить применение компьютерных программ для оптимизации результатов расчетов.

В главе 1 систематизированы основные фактические данные о влиянии рисков на строительный проект. Исследования, проведенные в США и Австралии позволили оценить влияние рисков на основные показатели проекта – его объем (содержание), продолжительность работ и ресурсы, а также ранжировать оценки наиболее частых рисков.

Общему подходу к управлению строительными рисками посвящена глава 2. Здесь описаны систематизированный процесс идентификации и классификации рисков и их последствий, анализ рисков, планирование и распределение ответственности за них между участниками строительства, необходимость мониторинга опасностей во время всего жизненного цикла проекта, механизм принятия решений экспертами на основных шагах управления рисками.

В главе 3 рассмотрено управление рисками на разных стадиях строительства: дизайна, контрактных переговорах, собственно строительства.

Показано, что основные усилия по идентификации рисков, разработке мер по предотвращению или смягчению опасностей ликвидации их последствий необходимо прилагать, начиная еще со стадии дизайна, когда определяются технологические и строительные решения, а затем – в контрактных документах, распределяя меры ответственности каждого участника строительства за специфические риски.

Решающей стадией системы управления рисками является, конечно, собственно строительный процесс, когда производится постоянный контроль выполнения принятых решений, осуществляются намеченные меры по снижению потенциальных опасностей, проводятся работы по ликвидации последствий непредвиденных рисков.

В главе 4 сделана попытка обзора существующих методов качественной и количественной оценок строительных рисков. Описаны детерминистский и вероятностный подходы к количественной оценке, приводится большое число методических примеров, показаны общие принципы системы PERT, разработанной в США для оценки рисков крупных военных и космических проектов.

С целью понимания неподготовленным читателем сути вероятностного подхода к моделированию процесса управления рисками специальный раздел дает элементарные сведения о распределении вероятностей анализируемых событий. На простейших примерах описаны принципы оценки рисков методом Монте-Карло, который моделирует влияние на результаты расчетов одновременных изменений нескольких основных исходных параметров.

Следует при этом заметить, что в главе дается только общее представление о математических методах количественной оценки рисков. Их практическое применение в мировой практике осуществляется с помощью специальных программ компьютерного моделирования, описание которых выходит за рамки данной книги.

Глава 5 посвящена механизму принятия решений в условиях неопределенности. Здесь приведены основные понятия о принципах построения и примеры применения «дерева решений», которые позволяют наглядно использовать вероятностный подход к поиску оптимального варианта проекта. Показано, что анализ «дерева решений», кроме стоимостного критерия, может также проводиться по критерию полезности, часто предпочитаемому компаниями, у которых строительный проект является единичным событием и поэтому возможный стоимостной ущерб не перекрывается выигрышами других подобных проектов.

Основные решения управления рисками вырабатываются на основе анализа причин и последствий аварий, происходящих при строительных работах. В главе 6 приведены примеры таких аварий во время строительства наземных зданий и сооружений.

Особенности управления рисками подземного строительства рассмотрены в главе 7. Здесь даны основные положения нормативных документов США и Великобритании, регламентирующих управление рисками в специфических контекстах туннельных и других подземных проектов. Приводятся также общие подходы к распределению рисков между участниками контракта на подземное строительство.

В заключительной главе 8 описаны примеры управления рисками в подземном строительстве. Здесь показано, что количественные оценки рисков могут быть критериями для выбора оптимального решения не только проекта в целом или его структурных частей, но также частных задач, которые иногда могут стать препятствиями для реализации целей проекта.

В заключение следует иметь ввиду, что предлагаемая книга не является регулярным систематизированным учебником управления рисками подземного строительства, но на примерах зарубежного опыта она отражает проблемы, возникающие при реализации строительного проекта на всех его

стадиях, начиная с оценки геотехнических условий и заканчивая сдачей объекта в эксплуатацию.

Авторы надеются, что их работа принесет пользу читателям, интересующимся этими вопросами.

БИБЛИОГРАФИЯ

ГЛАВА 1

W.Felling. Analyzing uncertainty in civil engineering.
London, New York, Springer, 2004

T.Kendrick. Overcoming Project Risk: Lessons from the
PERIL Database.

<http://www.failureproofprojects.com/Risky.pdf>

W.Palmer. Construction Insurance, Bonding, and Risk
Management. New York, McGrawHill, 1996

P.Zou. Identifying Key Risks in Construction Projects: Life
Cycle and Stakeholder Perspectives.

http://www.press.net/papers/zou_risks_in_construction_projects.pdf

ГЛАВА 2

S.ALHawari. A Risk Management Model for Project
Execution.

<http://www.ltu.edu/cm/attach/A1A5680A-B853-4B21-879A-2FE643B16BAD/paper%20111.pdf>

E.Banks. Practical Risk Management: an Executive Guide to
Avoiding Surprises and Losses. hichester, England, Hoboken NJ,
Wiley, 2003.

Construction Risks Analysis and Management.
<http://civilengineeringlink.com/constructionrisks-analysis-management...>

I.Noor. Contingency Misuse and Other Risk Management
Pitfalls.

<http://www.saybrookassociate.com/PDF/AACEL%20Paper%20on%20Risk...>

S.Cullen. Risk Management.
<http://www.wbdg.org/project/riskmanage.php#mr>

DSMC Risk Management Guide for DoD Acquisition.

[http://www.mitre.org/work/sepo/toolkits/risk/references/files/DS
MC_RiskMgmt_Guide.pdf](http://www.mitre.org/work/sepo/toolkits/risk/references/files/DS_MC_RiskMgmt_Guide.pdf)

R.Flanagan. Managing Risk for an Uncertain Future-A
Project Management Perspective.

[http://www.bre.polyu.edu.hk/rccree/events/pm_symposium/Rodger
rFlanagan.pdf](http://www.bre.polyu.edu.hk/rccree/events/pm_symposium/RodgerFlanagan.pdf)

R.Flanagan. Risk Management and Construction. New York,
Wiley, John&Sons, 1993.

D.Halpin. Construction Management. Hoboken, N.J., Wiley,
2006.

K.Hsu. The Application of CRA Technique in the Education
of Trans-National Construction Project.

http://architectural.asee.org/2004_papers/2004-814_Final.pdf

K.Humphreys. Project Risk Management-Advantages and
Pitfalls.

http://www.icoste.org/ICMJ%20Papers/Humphreys_Slovenia.pdf

H.Imanishi. Construction Risk Management and Monitoring.
[http://www.geomonitor.co.kr/upload_files2/geomonitor/Uploaded
Files/%EA%B8%BO%EC%88%AO%EA%B8%BO...](http://www.geomonitor.co.kr/upload_files2/geomonitor/Uploaded_Files/%EA%B8%BO%EC%88%AO%EA%B8%BO...)

A.Klemetti. Risk Management in Construction Project
Networks.

<http://lib.tkk.fi/Reports/2006/isbn9512281473.pdf>

J.Liu. Insurance and Construction Project Risks: a Review
and Research Agenda.

[http://www.centerforpbbeft.rutgers.edu/2007/Papers/076-
Construction%20insurance.pdf](http://www.centerforpbbeft.rutgers.edu/2007/Papers/076-Construction%20insurance.pdf)

D.Lock. Project Management. Ashgate Pub. Burlington, VT,
2007.

MSF Risk Management Discipline.

[http://www.brightwork.com/file/PDF/MSF%20Risk%20managem
ent%20Discipline%20v.1.1.pdf](http://www.brightwork.com/file/PDF/MSF%20Risk%20management%20Discipline%20v.1.1.pdf)

Project Management Blog.

[http://certifiedpmp.wordpress.com/2008/10/13/identifying-risksin-
your-project...](http://certifiedpmp.wordpress.com/2008/10/13/identifying-risksin-your-project...)

Project Risk Management Handbook.
http://www.dot.ca.gov/hq/projmgmt/documents/prmhb/cartrans_project_risk_management_handbook_20070502.pdf

Risk Analysis Methodologies.
<http://pachome1.pacific.net.sg/~thk/risk.html>
Risk and Uncertainty in Cost Benefit Analysis.
<http://imv.net.dinamicweb.dk/Admin/Public/DWSDownload.asp?Fell=Felis%20Filer...>

Risk Management for Construction Engineers.
http://www.acet.or.tz/garna/Risk_management
Risk Management Guideline.
<http://www.rdec.gov.tw/public/Data/85141422871.pdf>

Risk Management Guide.
<http://www.er.doe.gov/opa/PDF/g4133-7%20Risk%20Management.pdf>

G.Ritz. Total Construction Project Management. New York, McGraw-Hill, 1994.

Uncertainty and Risk Analysis.
<http://clem.mscedu.edu/~mayest/Exel/Files/Uncertainty%20and%20Risk%20Analysis.pdf>

ГИАБА 3

A Project Management Knowledge Structure for the 21st Century.

<http://www.maxwideman.com/papers/knowledge/intro.htm>

D.Barrie. Professional Construction Management: Including C.M., Design-Construct, and general Contracting. New York, McGraw-Hill, 1992

R.Clough. Construction Contracting. New York, Wiley, 1994.

Design to Reduce Technical Risk. New York, McGraw-Hill, 1993.

N.Ganaway. Construction Business Management: a Guide to Contracting for Business Success.

Oxford, Burlington, MA, Butterworth-Heinemann, 2006

R.Gilbreath. Managing Construction Contracts Operational Controls for Commercial Risks. New York, Wiley, 1983

Guidelines for a Successful Construction Project.
<http://www.constructionguidelines.org/tableofcontents.htm>

J.Hinse. Construction Contracts. New York, McGraw-Hill, 1993.

P.Marsh. Contracting for Engineering and Construction Project. Burlington, VT, Gover, 2000.

S.Mitkus. Graphical Risk and Liability Allocation Models in Construction Contracts.
http://www.Ikb.poznan.pl/fcee/2005.06/full/fcee_2005-06_129-144_graphical_risk_and_liability.pdf

J.Murdoch. Construction Contracts: Law and Management. London, New York, Taylor and Francis, 2008

J.O'Neill. Management of Industrial Construction Projects. New York, Nichols Pub., 1989.

E.Osipova. Risk Management in Construction Projects.
<http://epubl.ltu.se/1402-1757/2008/15/LTU-LIC-0815-SE.pdf>

D.O'Toole. Differing Site Conditions-Who Bears the Risk?
<http://www.troutmansanders.com/files/upload/DifferingSiteConditions.pdf>

Process Management in Design and Construction. Oxford, Malden, MA, Blackwell Pub., 2005

Project Management Models in the Late Eighties.
<http://www.maxwideman.com/papers/pm-models/late80s.htm>

Risk Assessment and Allocation for Highway Construction Management.
<http://international.fhwa.dot.gov/riskassess...>

P.Smith. Dealing with Project Risks Successfully.
<http://www.newproductdynamics.com/Risk/PDBPR-Risk.pdf>

R.Wideman. Modeling Project Management.
<http://www.maxwideman.com/papers/pm-models/pm-models.pdf>

ГИАБА 4

F.Anbari. Quantitative Methods for Project Management.
<http://scribd.com/doc/6923985/Quantitative-Methods-for-Project-Management...>

M.Dallas. Value and Risk Management: a Guide to Best Practice. Oxford, Blackwell Pub., 2006.

K.Duft. PERT Time/Cost; An Aid to Agribusiness Management.
<http://agribusiness.mgmt.wsu.edu/extensionnewsletter/mgmt/Pert-Time.pdf>

S.Gray. Practical Risk Assessment for Project Management. Chichester, New York, Wiley, 1995.

M.Hallowell. Quantification and Communication of Construction Safety Risk.
<http://www.irbodisekt.de/daten/iconda/C1B10340.pdf>

J.Hayse. Using Monte Carlo Analysis in Ecological Risk Assessments.
<http://web.anl.gov/Ecorisk/pdf/montecarlo.pdf>

J.Joy. National Minerals Industry Safety and Health Risk Assessment Guideline.
http://www.mishc.uq.edu.au/Files_for_download/NMISHRAG/NMISHRAG_v6.pdf

J.Kindinger. Risk Factor Analysis-A New Qualitative Risk Management Tool.
<http://www.lanl.gov/orgs/d/d5/documents/risk-fact.pdf>

H.Lingard. Occupational Health and Safety in Construction Project Management. Tailor And Francis, 2005.

J.Mun. Modeling Risk: Applying Monte Carlo Simulation, Real Options Analysis, Forecasting,And Optimization Techniques. Hoboken, NJ, John Wiley&Sons, 2006.

National Mineral Industry Safety and Health Risk Assessment Guideline.
http://www.mishc.uq.edu.au/Files_for_download/NMISHRAG/NMISHRAG_v6.pdf

T.Nemuth. Practical Use of Monte Carlo Simulation for Risk Management within the International Construction Industry.
http://www.palisade.com/downloads/pdf/academic/Abstract_Nemuth.pdf

T.Oberg. A Review of Probabilistic Risk Assessment of Contaminated Land.

http://www.tomasoberg.com/pdf/PRA_review.pdf

Project Management Tools. Program Evaluation and Review Techniques (PERT)

<http://www.naarm.ernet.in/VirtualLearning/vlc/downloads/Project%20Management%20Tools.pdf>

Risk Management Toolkit.

<http://www.mitre.org/work/sepo/toolkits/risk/StandardProcess/definitions/occurrence.html>

Project Management with PERT/CPM.

http://highered.megraw-hill.com/sites/de/gree/0073017795/161272/hil61217_ch22.pdf

Recommendations of the National Institute of Standards and Technology. Risk Management guide for Information Technology Systems.

<http://csrc.nist.gov/publications/nistpubs/800-30/sp800-30.pdf>

Risk Analysis and Contingency Determination Using Range Estimating.

<http://www.wsdot.wa.gov/NR/rdonlyres/BAB31979-OB6F-4AB7-841E-5666289A8021/0/RangeEstimating.pdf>

J. van der Sluijs. RIVM/MNR Guidance for Uncertainty Assessment and Communication.

<http://www.nusap.net/downloads/toolcatalogue.pdf>

D.Smith. Reliability, maintainability, and Risk: Practical Methods for Engineers. Oxford, Boston, Butterworth, Heinemann, 2005.

Statistical Calculators.

<http://www.daielsoper.com/statcalc/calcul.asp>

B.Thorpe. Quality Management in Construction. Aldershot, Hants, England, Gower, 2004.

What is Monte Carlo Simulation?

<http://www.riskamp.com/files/RiskAMP%20-%20Monte%20Carlo%20Simulation.pdf>

J.Walewski. International Project Risk Assessment: Methods, Procedures, and Critical Factors.

http://www.caee.utexas.edu/org/ccis/a_ccis_report_31.pdf

ГЛАЗА 5

Decision Making Tools: Decision Tree Analysis and EMV.

<http://www.eogogics.com/talkgogics/tutorials/decision-tree>.

Decision Tree Analysis.

<http://www.mindtools.com/dectree.html>

Decision Tree Primer.

<http://www.public.au/edu/~kirkwood/DASTuff/decisiontrees/index.html>

P.Dey. Project Risk Management: a Combined Analytic Hierarchy Process and Decision Tree Approach.

<http://www.imamu.edu.sa/Data/abstract/management/pm/Project%20...>

Engineering Value into Enterprise Risk Management: Six Sigma Techniques Can Improve the Quality of ERM Processes and Enable Organizations to Manage Risks More Successfully.

<http://thefreelibrary.com/Engineeringvalue+into+enterprise+risk+management...>

D.Hulett. Decision Tree Analysis for the Risk Averse Organization.

http://www.projectrisk.com/Welcome/White_Papers/Decision_Tree_Analysis_Risk_Averse.pdf

G.Kobbler. Risk Assessment an Decision Making in Business and Industry: a Practical Guide. New York, CRC Press, 1999.

T.Mochal. Use Decision Trees to Deduce Risk.

<http://www.builderau.com.au/strategy/businessmanagement/soa/Use-decision-trees-to-deduce-risk/...>

M.Stefanovic. Decisions, Decisions...

http://www.procept.com/files/Decisions_Decisions.pdf

ГЛИАБА 6

D.Hatem. Subsurface Conditions: Risk Management for Design and Construction Management Professionals, New York, Wiley, 1998.

ГЛИАБА 7

A Code of Practice for Risk Management of Tunnel Works.

http://www.munigre.com/publications/tunnel_code_of_practice.en.pdf

S.Eskesen. Guidelines for Tunneling Risk Management: International Tunneling Association, Working Group No.2.

http://www.ita-aites.org/cms/fileadmin/filemounts/general/pdf/ItaAssociation/ProductAndPublication/WorkingGroupsPublication/WG2/Tust_vol_19.

Guidelines of Tunneling Risk Management.

<http://www.dftu.dk/Faelles/ITA/Final%20Guideline%2021%20Oct%202002.pdf>

W.Hansmire. Evolution of Risk Management as a Project Management Tool in Underground Engineering.

<https://ceprofs.civil.tamu.edu/briaud/Buchanan%Web/Lectures/Fourteen%20...>

D.Hatem. Subsurface Conditions: Risk Management for Design and Construction Management Professionals, New York, Wiley, 1998.

T.Ikuma. A Case Study of the Geological Risk Management Using Suitable Investigation in Mountain Tunneling.

<http://mangement.kochi-tech.ac.jp/PDF/ssms.2008/RM/Toshiykillkuma.>

Modeling of Risk Acceptance Criteria for Tunnel and Underground Engineering.

<http://www.thefreelibrary.com/Modeling+of+Risk+Acceptance+Criteria+for+Tunnel+and+...>

J.Reilly. Cost Estimating and Risk-Management for Underground Projects.

<http://www.wsdot.wa.gov/NR/rdonlyres/61813F4CF-ED1F-A4A6-06DE27DCSA4E/0/ReillyCostRiskPaper/...>

T.Rosenberg. Allocating the Risk of Subsurface Conditions on Underground Construction Projects.

http://www.ralaw.com/resources/documents/Allocating%20Risk%20of%20Subsurface%20Conditions_Rosenberg.pdf

S.Rostam. Integrated Tunnel Design from Cradle to Grave Enhancing Structural Performance and Owner Confidence.

<http://www.ita-aites.org/cms/fileadmin/filemounts/ovion/doc/safety/prague/SR&Hoj.pdf>

G.Schneider. Going Underground-Risk Management for the Construction of the Malmo City Tunnel.

http://www.risk-engineering.com/rep/d/gho/attachments_news/re_workshop08/...

T.Stacey. Risk as a Rock Engineering Design Criterion.

http://www.acg.uwa.edu.au/_data/page/4586/Sample-Chapter.pdf

The Joint Code of Practice for Risk Management of Tunnel Works in the UK.

<http://www.britishtunneling.org.uk/downloads/jcop.pdf>

H.Wagner. Risk Management of Tunneling Works.

<http://www.ita-aites.org/cms/fileadmin/filemounts/general/pdf/ItaAssociation/Organization/members/MemberNations/...>

H.Wagner. The Governance of Cost in Tunnel Design and Construction.

<http://www.ita-aites.org/cms/fileadmin/filemount/general/pdf/ItaAssociation/ProductAndPublication/ConfPapersExCo/71.PDF>

ГЛІАВА 8

F.Boz. Potential lean six sigma implementation level in construction companies: a case study.

<http://www.lboro.ac.uk/cice/conferences/AEC2008-97.pdf>

S.Hencher. Determination of the Construction Method for the Young Dong Tunnel by Risk Assessment.

http://library.krri.kr/own/rail_treatise/2002spring/2003704/8456_file_34.pdf

T.Ikuma. A Case Study of the Geological Risk Management Using Suitable Investigation in Mountain Tunneling.

<http://management.kochi-tech.ac.jp/PDF/Toshiyukikuma.pdf>

R.Janssen. Risk-Based Design for Slurry Launderers.

<http://www.bechtel.com/assets/files/TechPapers/Risk-Based-Design.pdf>

C Meier. Construction Under the Old City of Delhi (India).

http://www.dywidag-international.com/databases/internet/_public/files.nsf/searchView/...

A.Palmstrom. The Significance of Weakness Zones in Rock Tunneling.

http://www.rockmass.net/rmi/significance_of_weakness.pdf

C.Paolo. Optimization of the Fundamental choices in Tunnel Excavation: the Brenner Base Tunnel Example.

<http://www.enginsoft.com/network/documentation/brennero.pdf>

Strategy for Limiting Risks.

http://www.baua.de/Chemikaliengesetz-Biozidverfahren/Documente/RRS_033_Env_HH.pdf

S.Suh. Risk Management in a Large-Scale New Railway Transport System Project.

<http://www.iatess.com.jp/pdf/research/24/24-2-06.pdf>

The Halland Ridge.

<http://www.skanska.com/upload/About%20Skanska/sustainability/...>

Наукове видання

КАУФМАН Леонід Лазаревич
КУЛДИРКАЄВ Микола Ілліч
ЛИСІКОВ Борис Артемович

**УПРАВЛІННЯ ПІДЗЕМНИМ
БУДІВНИЦТВОМ
Управління ризиками**

(Російською мовою)

Технічний редактор: Сірачєв Ігор Жамельжанович,
гiрничий iнженер-будiвельник

Пiдписано до друку 13.05.2010. Формат 60x84^{1/16}
Обл.-вид. арк. 22,8. Ум. друк. арк. 22,09
Друк лазерний. Наклад 500 прим. Зам. № 0223

Видавничий дiм «Норд-Прес»
Св. про держреєстрацiю ДК №839 вiд 1.03.2002
м. Донецьк, вул. Разенкова, 6

Вiддруковано у друкарнi «Норд Комп'ютер»
на цифрових лазерних видавничих комплексах
Rank Xerox DocuTech 135 i DocuColor 2060
83003, Україна, м. Донецьк, вул. Разенкова, 6
Тел.: (062) 389-73-82, 389-73-86