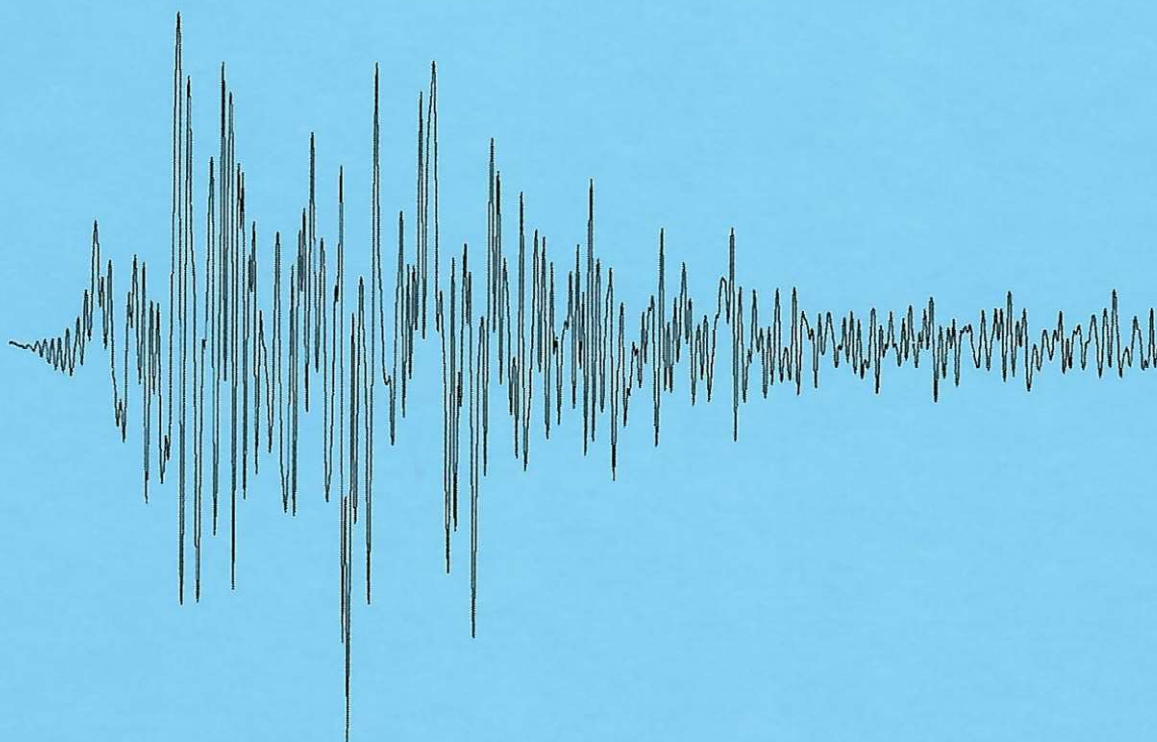


Абаканов Т., Кусаинов А.А.,  
Теплых А.В., Бондарев Д.Е.

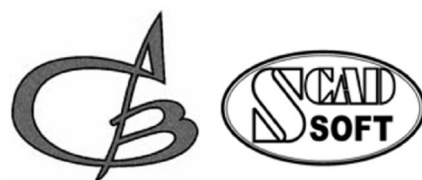
# СЕЙСМОЛОГИЯ И СЕЙСМОСТОЙКОСТЬ СООРУЖЕНИЙ



МОСКВА  
2024

Абаканов Т., Кусаинов А.А.,  
Теплых А.В., Бондарев Д.Е.

# СЕЙСМОЛОГИЯ И СЕЙСМОСТОЙКОСТЬ СООРУЖЕНИЙ



Издательство СКАД СОФТ  
Издательский дом АСВ

МОСКВА  
2024

УДК 624.042.7  
ББК 38.79

*Рецензенты:*

ректор Международного университета инновационных технологий (МУИТ), президент Международной ассоциации экспертов по сейсмостойкому строительству (МАЭСС), член-корр. Инженерной академии Кыргызской Республики доктор технических наук, профессор Бегалиев У.Т;

заведующий кафедрой «Строительные конструкции» ФГБОУ «Грозненский государственный нефтяной технический университет имени академика М.Д. Миллионщикова», академик Международной академии наук экологии, безопасности человека и природы (МАНЭБ), доктор технических наук, профессор Мажиев Х.Н.;

директор Института геологии, сейсмостойкого строительства и сейсмологии Национальной Академии наук Таджикистана кандидат технических наук Аминзода П.А.

*Редактор:* доктор технических наук, профессор, академик **Абаканов Т.**

Абаканов Т., Кусаинов А.А., Теплых А.В., Бондарев Д.Е.

**Сейсмология и сейсмостойкость сооружений:**

Книга (учебник) для строительных специальностей /Абаканов Т., Кусаинов А.А., Теплых А.В., Бондарев Д.Е. – М., Издательство СКАД СОФТ, Издательство АСВ, 2024. – 624 стр.

Книга содержит данные о природе, причинах возникновения землетрясений, характеристиках колебаний геологической среды и грунта при сильных землетрясениях и ядерных взрывах и т.д. Приведены исторические сведения о землетрясениях и развитии теории и практики сейсмостойкого строительства. Представлены материалы об особенностях разработки карт сейсмического районирования в различных странах, а также о принципах расчёта на сейсмостойкость зданий по российским нормам и рекомендациям Еврокод 8. Рассмотрены вопросы традиционной сейсмозащиты зданий различных конструктивных решений, также зданий с активными и адаптивными системами сейсмозащиты. Приведены методы сейсмоусиления зданий. Представлены принципы снижения сейсмического риска и прогноза ущерба от землетрясений. Приведены рекомендации и примеры по расчетам на сейсмическое воздействие и моделированию сейсмоизоляции в программном комплексе SCAD Office линейно-спектральным методом и прямым динамическим методом в линейной и нелинейной постановках.

Книга рекомендуется широкому кругу специалистов, а также в качестве учебника при подготовке студентов, аспирантов и докторантов по проблемам землетрясений и сейсмостойкого строительства.

*Все права защищены. Никакая часть настоящего пособия не может быть воспроизведена или передана в какой бы то ни было форме и какими бы то ни было средствами, будь то электронные или механические, включая фотокопирование и запись на магнитный носитель, а также размещение в сети «Интернет», если на то нет письменного разрешения владельца.*

ISBN 978-5- 903683-45-1  
ISBN 978-5-4323-0515-2

© Издательство СКАД СОФТ, 2024  
© Издательский дом АСВ, 2024  
© Авторский коллектив, 2024

## Содержание

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	9
1 ПРИРОДА И ПРИЧИНЫ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ. ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ. КОЛЕБАНИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ И ГРУНТОВОГО МАССИВА ПРИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯХ.....	15
1.1 Ранние представления о причинах землетрясений.....	15
1.2 О строении Земли .....	18
1.3 Причина возникновения землетрясений .....	19
1.4 Характеристики землетрясений. Очаг, эпицентр, магнитуда, гипоцентр и интенсивность землетрясения .....	27
1.5 Типы сейсмических волн, возникающих при землетрясениях .....	33
1.6 Продолжительность землетрясений .....	37
1.7 Волновые движения грунтов при землетрясениях .....	39
1.8 Об определении эпицентра землетрясений.....	40
1.9 Особенности проявления ядерных взрывов.....	43
1.10 О преобладающих периодах колебаний геологической среды и грунтового массива .....	44
1.11 Принцип создания синтетических акселерограмм.....	49
1.12 О поведении грунтов при сильных землетрясениях .....	56
1.13 О сейсмическом эффекте колебания грунтового массива в зависимости от заглубления конструктивной структуры.....	59
Литература к главе 1.....	65
2 ПОСЛЕДСТВИЯ НЕКОТОРЫХ СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ.....	67
2.1 Последствия некоторых сильных землетрясений .....	67
2.2 Пожары при землетрясениях .....	77
2.3 О техногенных землетрясениях .....	79
2.4 О сильнейших землетрясениях на территории Казахстана.....	83
2.5 Описание некоторых землетрясений, произошедших на территории Казахстана и приграничных территориях с Россией и Кыргызстаном в последние десятилетия.....	88
2.6 Некоторые уроки землетрясений .....	92
Литература к главе 2.....	97
3 ОСНОВЫ СЕЙСМИЧЕСКОГО РАЙОНИРОВАНИЯ (ЗОНИРОВАНИЯ). ОЦЕНКА СЕЙСМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ.....	99
3.1 О недооценке сейсмической опасности территории.....	99
3.2 Оценка сейсмической опасности. Разработка карт сейсмического районирования (зонирования) различной детальности .....	102
3.3 Основы создания карт общего сейсмического районирования (зонирования) .....	104
3.4 Принципы сейсмического зонирования территорий зарубежных стран .....	107
3.5 Об оценке сейсмической опасности территории Российской Федерации.....	112

3.6	Об оценке сейсмической опасности территории Республики Казахстан .....	117
3.6.1	Методические основы разработки карт ОСЗ территории Республики Казахстан .....	118
3.6.2	Карты общего сейсмического зонирования территории Республики Казахстан, включенные в состав СП РК 2.03-30-2017* .....	120
3.6.3	Особенности идентификации грунтов по нормам Республики Казахстан, адаптированным с положениями Еврокод-8, которые включены в СП РК 2.03-30-2017* .....	129
3.7	Об основных принципах сейсмического микрорайонирования .....	132
	Литература к главе 3 .....	136
4	<b>РАЗВИТИЕ ТЕОРИИ СЕЙСМОСТОЙКОСТИ СООРУЖЕНИЙ. РАСЧЁТ СЕЙСМИЧЕСКИХ НАГРУЗОК НА ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ ПО РОССИЙСКИМ И КАЗАХСТАНСКИМ НОРМАМ</b> .....	138
4.1	Общие сведения из динамики сооружений .....	138
4.1.1	Виды динамических нагрузок и задачи динамики сооружений .....	138
4.1.2	Расчётная динамическая модель сооружения .....	139
4.1.3	Уравнения движения механической системы .....	142
4.1.4	Свободные колебания деформируемой системы с одной степенью свободы ....	144
4.1.5	Вынужденные колебания деформируемой системы с одной степенью свободы .....	149
4.2	О развитии теории сейсмостойкости сооружений .....	152
4.3	Определение сейсмических нагрузок на здания и сооружения по спектральным кривым .....	156
4.4	Принципы расчёта зданий и сооружений на сейсмические воздействия по российским нормам СП 14.13330.2018 .....	165
4.4.1	Становление и развитие советских и российских норм по строительству в сейсмических районах .....	165
4.4.2	Основные положения проекта изменения № 4 к СП 14.13330.2018 .....	168
4.4.3	Некоторые положения СП 14.13330.2018 и пояснения к ним .....	172
4.5	Принципы расчёта зданий и сооружений на сейсмические воздействия по казахстанским нормам, разработанным на основе рекомендаций Еврокод-8, часть 1 (СП РК 2.03-30-2017*) .....	177
4.5.1	Общие положения расчёта зданий и сооружений на сейсмические воздействия .....	177
4.5.2	Определение расчётных сейсмических нагрузок спектральным методом .....	182
4.5.3	Спектры расчётных реакций .....	184
4.5.4	Эффекты случайного кручения здания в плане .....	186
4.5.5	Эффекты сейсмического воздействия .....	188
4.5.6	Комбинация модальных реакций от компонент сейсмического воздействия ....	188
4.5.7	Сейсмические нагрузки на несущие элементы зданий .....	190
4.5.8	Проверка горизонтальных перекосов этажей зданий .....	192

4.5.9 Учёт эффектов второго рода.....	193
4.5.10 Особенности расчёта зданий и сооружений на прочность и устойчивость.....	194
4.6 О волновых и ротационных эффектах сейсмического воздействия.....	196
4.6.1 Основные причины, вызывающие ротационные движения зданий и сооружений .....	196
4.6.2 Оценка сейсмических ротаций. Зарубежный и отечественный опыт. История вопроса.....	197
4.6.3 Инструментальная регистрация сейсмических ротаций.....	205
4.6.4 Обобщенная модель распространения объемных сейсмических волн Ю.П. Назарова .....	207
4.6.5 Сейсмические ротации, вызванные некогерентностью сейсмического воздействия.....	210
Литература к главе 4.....	216
<b>5 ОБЕСПЕЧЕНИЕ СЕЙСМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ЗДАНИЙ СУЩЕСТВУЮЩЕЙ ЗАСТРОЙКИ .....</b>	<b>221</b>
5.1 Общие положения.....	221
5.2 Подготовительные работы перед усилением оснований и фундаментов под сооружением .....	223
5.3 Основные причины повреждений зданий, сооружений и их конструкций .....	225
5.4 Принцип обеспечения сейсмобезопасности зданий существующей застройки, получивших повреждения при землетрясениях .....	226
5.5 Усиление оснований и фундаментов зданий и сооружений .....	227
5.6 Особенности усиления зданий, сооружений и конструкций, существующей застройки при ликвидации последствий землетрясений.....	236
5.6.1 Усиление конструкций несущих колонн и стоек, получивших повреждения в результате сильного землетрясения.....	237
5.6.2 Усиление железобетонных балок, ферм, плит перекрытий и покрытий.....	241
5.6.3 Усиление здания с металлическим каркасом или из металлических элементов.....	246
5.6.4 Усиление плит перекрытий.....	247
5.6.5 Принцип усиления зданий через повышение пространственной жёсткости или изменения расчётных схем .....	249
Литература к главе 5.....	253
<b>6. ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СЕЙСМОСТОЙКИХ ЗДАНИЙ .....</b>	<b>255</b>
6.1. Из истории сейсмостойкого строительства в древности .....	255
6.2 Основные принципы обеспечения сейсмобезопасности зданий и сооружений.....	263
6.2.1 Общие положения.....	263
6.2.2 Фундаменты зданий.....	268
6.3 Бескаркасные жилые дома крупнопанельных конструкций и здания из монолитного железобетона.....	271
6.4 Здания каркасной конструкции .....	276

6.5 Здания с несущими и самонесущими стенами из кирпичной (каменной) кладки ....	286
6.6 О предельных размерах зданий жилого, общественного и производственного назначения в сейсмических районах .....	294
6.7 Активные и адаптивные системы сейсмозащиты .....	296
Литература к главе 6.....	315
<b>7 ОСОБЕННОСТИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ СЕЙСМОСТОЙКОСТИ ВЫСОТНЫХ СООРУЖЕНИЙ.....</b>	<b>318</b>
7.1 Классификация высотных сооружений и поведение их при сильных землетрясениях .....	318
7.2 Особенности проектирования высотных сооружений в сейсмических районах .....	320
7.3 Сведения о выборе материала конструкций для высотного строительства .....	323
7.4 К расчёту высотных сооружений на сейсмические воздействия.....	326
7.4.1 Принципы расчёта высотных сооружений.....	326
7.4.2 Аналитический метод расчёта высотных континуальных систем на сейсмические воздействия (на примере определения периодов свободных колебаний дымовой трубы) .....	327
7.5 Динамическое гашение колебаний высотных зданий и сооружений при землетрясениях и ветре .....	335
7.5.1 Общие положения применения динамического гасителя колебания зданий и сооружений. Конструктивные типы динамических гасителей колебаний (ДГК) .....	335
7.5.2 Расчёт систем с присоединенным ДГК при прохождении через резонанс.....	341
Литература к главе 7.....	343
<b>8 СЕЙСМИЧЕСКИЙ РИСК И ПРОГНОЗ УЩЕРБА ОТ СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ .....</b>	<b>345</b>
8.1 Сейсмический риск.....	345
8.2 Особенности оценки общего ущерба от землетрясений.....	346
8.3 Методология прогноза ущерба от сильных землетрясений .....	350
8.4 Количественные показатели повреждаемости зданий и сооружений при землетрясениях .....	352
8.5 Прогноз повреждаемости объектов строительства при землетрясениях .....	357
8.5.1 Повреждаемость сейсмостойких зданий при сильном и разрушительном землетрясении .....	357
8.5.2 Зависимость степени повреждения мостов, путепроводов, виадуков от интенсивности сейсмического воздействия.....	360
8.5.3 Прогноз повреждаемости инженерных сетей и коммуникаций при сильных землетрясениях .....	361
8.6 Экономические показатели повреждаемости зданий, сооружений и инженерных сетевых коммуникаций при землетрясениях .....	368
Литература к главе 8.....	370
<b>9 РАСЧЕТ НА СЕЙСМИЧЕСКИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ SCAD OFFICE.....</b>	<b>373</b>

9.1 Общие сведения о ПК SCAD Office.....	373
9.2 Общие сведения о возможностях ПК SCAD Office по расчетам на сейсмические воздействия .....	381
9.3 Расчет консоли с тремя массами на сейсмическое воздействие по разным нормам и разными методами.....	382
9.3.1 Расчет консоли с тремя массами на сейсмическое воздействие согласно СП 14.13330.2018 с изм. № 3 (Россия).....	383
9.3.2 Расчет консоли с тремя массами на сейсмическое воздействие согласно КМК 2.01-03-19 (Узбекистан) .....	390
9.3.3 Расчет консоли с тремя массами на сейсмическое воздействие согласно СНиП РТ 22-07-2018 (Таджикистан).....	393
9.3.4 Расчет консоли с тремя массами согласно EN 1998-1 (Европейский Союз) .....	396
9.3.5 Расчет консоли с тремя массами на сейсмическое воздействие по нормам Республики Казахстан .....	401
9.3.6 Сравнение результатов расчета консоли по рассмотренным нормам .....	406
9.3.7 Расчет консоли с тремя массами на сейсмическое воздействие по акселерограмме .....	407
9.3.8 Расчет консоли с тремя массами на сейсмическое воздействие прямым динамическим методом в линейной постановке .....	410
9.3.9 Расчет консоли с тремя массами на сейсмическое воздействие прямым динамическим методом в нелинейной постановке с учетом только физической нелинейности .....	414
9.3.10 Расчет консоли с тремя массами на сейсмическое воздействие прямым динамическим методом в нелинейной постановке с учетом физической и геометрической нелинейности .....	425
9.4 Особенности расчета с учетом сейсмического воздействия стальной плоской рамы производственного здания, оборудованного двумя мостовыми опорными кранами.....	437
9.4.1 Применение линейно-спектрального метода .....	437
9.4.2 Применение прямого динамического метода в линейной и нелинейной постановках .....	451
9.5 Особенности расчета пространственного каркаса производственного здания, оборудованного двумя мостовыми опорными кранами с учетом сейсмического воздействия .....	464
9.6 Особенности расчета железобетонных конструкций на сейсмическое воздействие прямым динамическим методом в нелинейной постановке.....	474
9.6.1 Диаграммы деформирования бетона .....	474
9.6.2 Диаграммы деформирования арматуры .....	477
9.6.3 Особенности моделирования упругого основания.....	483
9.6.4 Пример расчета монолитного здания. Критерии принятия решения .....	486
Литература к главе 9.....	492
<b>10 МОДЕЛИРОВАНИЕ СЕЙСМОИЗОЛЯЦИИ И УСТРОЙСТВ СЕЙСМОГАШЕНИЯ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ SCAD OFFICE .....</b>	<b>496</b>



10.1 Общие сведения .....	496
10.2 Упругие сейсмоизолирующие устройства .....	498
10.2.1 Силовая диаграмма упругих сейсмоизолирующих опор .....	499
10.2.2 Моделирование упругих сейсмоизолирующих опор .....	500
10.3 Упругопластические демпфирующие устройства.....	510
10.3.1 Моделирование одноосного упругопластического демпфера.....	512
10.3.2 Моделирование консольного упругопластического демпфера.....	519
10.3.3 Моделирование резинометаллической опоры .....	526
10.3.4 Моделирование здания, расположенного на РМО .....	530
10.3.5 Учёт предельных деформаций и эффекта Баушингера.....	540
10.3.6 Учёт предельных деформаций при моделировании одноосных пластических демпферов.....	542
10.3.7 Учёт предельных деформаций при моделировании резинометаллических опор .....	544
10.3.8 Альтернативный способ моделирования резинометаллических опор с помощью горизонтальных стержней.....	548
10.3.9 Линеаризация силовой диаграммы упругопластических устройств .....	554
10.4 Моделирование вязких демпфирующих устройств .....	561
10.4.1 Модель Фойхта-Кельвина .....	561
10.4.2 Модель Максвелла.....	564
10.5 Динамический гаситель колебаний .....	571
10.5.1 Модель здания, оснащённого динамическим гасителем колебаний, с двумя степенями свободы .....	571
10.5.2 Пространственная модель здания, оснащённого динамическим гасителем колебаний .....	577
10.6 Стеновые вязкие демпферы.....	580
10.6.1 Модель с двумя степенями свободы.....	582
10.6.2 Пространственная модель здания, оснащённого стеновым демпфером .....	586
Литература к главе 10.....	589
Приложение 1 Геохронологическая таблица с эрами, периодами, эпохами и ярусами .....	592
Приложение 2 Крупнейшие землетрясения, произошедшие на Земле и их последствия .....	594
Приложение 3 Диаграммы для упруго-пластических систем .....	616

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Землетрясения – одно из наиболее грозных природных явлений. Как известно в последние годы происходят землетрясения и техногенного генезиса. Землетрясения становятся причиной потери десятков и сотен тысяч человеческих жизней, разрушений зданий и сооружений различного назначения, уничтожения плодов труда многих поколений. От этого, к сожалению, не гарантированы территории многих стран мира, расположенных в сейсмоактивных регионах, включая территорию Российской Федерации, Республики Казахстан, Кыргызской Республики, Республики Таджикистан, Республики Узбекистан, Японии, КНР и многих стран мира.

В этой связи обеспечение безопасности людей и сохранности зданий, сооружений и материальных ценностей – важнейшая научно-техническая и социально-экономическая проблема стран, расположенных в сейсмоактивных регионах. Так сложилось, что, говоря о защите от сильных землетрясений, всегда имелось в виду краткосрочное прогнозирование времени, силы и места происхождения будущего землетрясения за часы и первые сутки. Считалось, что это будет панацеей по обеспечению сейсmobезопасности, приведением в действие своевременную эвакуацию населения. Этим мнением общественности и власти часто спекулируют недобросовестные учёные от сейсмологии, гарантируя прогноз землетрясений, отвлекая силы и средства.

Но опыт многих тысяч сильнейших и разрушительных землетрясений показал, что данный способ защиты возможен теоретически, но не практически. Передовые страны, такие как Япония, США, Российская Федерация, страны Евросоюза и т.д. на государственном уровне, кроме Китая и Казахстана, отказались от прогнозирования землетрясений, в частности, в краткосрочном плане. Этими вопросами занимаются в частном порядке исследователи, которые в большинстве своём желаемое выдают за действительность.

В целом, вопросами прогноза землетрясения следовало бы заниматься в научном плане для накопления фактологических данных, но не в практическом – выдаче сомнительных прогностических данных.

Считается, что сильным землетрясениям подвержены территории Центральной и Малой Азии, Кавказа, Тихоокеанское побережье Американского и Азиатского континентов, Средиземноморский пояс. По последним данным очаги сильных землетрясений имеют особенности к миграции. В этой связи в глубинных слоях земного шара непрерывно происходят внутренние процессы, изменяющие лик Земли порой до неузнаваемости. Эти изменения от постепенных медленных до резких скачкообразных. Известно, что особенно при сильных и разрушительных землетрясениях одни участки земной поверхности резко поднимаются, а другие – опускаются. При сильнейших землетрясениях планетарного масштаба опустошаются регионы, превращая в развалины города и населённые пункты. При этом не остаются постоянными даже расстояния между континентами, которые сдвигаются или раздвигаясь на доли сантиметров. Также происходит некоторое резкое отклонение магнитной оси Земли.

В сейсмоопасных регионах под угрозой землетрясений находятся обширные территории, многие густонаселенные области и даже целые страны, например, Индонезия, Япония, Филиппины, Италия, Испания и другие. Особая опасность землетрясений заключается в их неожиданности и неотвратимости. Однако научно-практические достижения последних лет открывают реальные возможности по противодействию и снижению катастрофических последствий землетрясений.

Следует отметить случаи, когда землетрясения были вызваны деятельностью человека при активном вмешательстве в природную среду – интенсивной добыче полезных ископаемых, строительстве и эксплуатации гидротехнических сооружений и других. Указанные вопросы также требуют пристального внимания и глубокого изучения.

Говорить о том, что территория центральной части европейского континента является несейсмичной и спокойной весьма условно. Известно, что в 1601 году на территории Германии произошло сильное землетрясение. О последствиях этого землетрясения имеются достоверные записи в церковных книгах. В частности, на озере Люцерн волна высотой в 4 метра выбросила лодки на расстояние до трёх пушечных выстрелов от береговой линии озера. Были разрушены многие населённые пункты и замки.

О землетрясении 1580 года с эпицентром на расстоянии в 80 километров от Лондона Уильям Шекспир писал «земля тряслась как жалкий трус». Данное землетрясение привело к звону церковных колоколов практически на территории всей Англии, разрушились здания, обвалились печные трубы. В 1750 году в Лондоне произошло два землетрясения, но описание их последствий отсутствуют. Имеются сведения и о некоторых землетрясениях в акватории пролива Ламанш приведших к цунами на береговых линиях.

Вообще территория Северо-Западной Европы в историческом прошлом была ареной внутриземных катаклизмов.

На территории Румынии с середины 16 века произошло около 700 ощутимых сильных и сильнейших землетрясений. Одним, таким землетрясением является Румынское (Бухарестское) землетрясение 1977 года, когда были разрушены многие города и населённые пункты, государству был нанесён колоссальный материальный ущерб, имелись жертвы среди населения.

Более 4-х тысяч лет тому назад на территории Германии его Северо-Западной части, а также на северной части Франции происходили вулканические извержения. Причём вулканические извержения простирались по условной линии в Северо-Западном направлении в сторону Исландии.

В этой зоне повсеместно можно встретить так называемые маары. Маары относительно плоский кратер без конуса, окружённый невысоким валом из продуктов извержения вулканов. Обычно в диаметре маары колеблются от 200 (двухсот) до 3200 (трёх тысяч двести) метров, а глубина – от 150 до 400 метров. Эти маары впоследствии заполнились водой. Известно, что продукт извержения вулканов в виде лавы и вулканического пепла впоследствии образует плодородную почву. На местах выброса этих вулканов образовались среди живописной природы почти круглые в плане озёра. В

настоящее время берега этих озёр заросли буйной растительностью, лесами. Одним из таких красивейших мест является система озёр в местности Эйфель в Западной Германии.

Так глубина пролива Ламанш составляет в срединной части около сорока метра. Известно, что девять тысяч лет тому назад из Англии во Францию можно было добираться по суше и вброд пешком. Постоянно меняющийся лик Земли – поднятие или опускание геологической структуры, обусловленные медленными геодинамическими или скачкообразными сейсмическими процессами, постоянно изменяют очертания планеты. Граница континентального шельфа не стабильна.

Поэтому у большинства учёных, инженеров, а также специалистов – экспертов ЮНЕСКО сформировалось мнение, что наилучший способ защиты от землетрясений – это обоснованное сейсмостойкое строительство и подготовка к ним. Это возможно осуществить: во-первых, путём систематического усовершенствования основных вопросов инженерной сейсмологии; во-вторых, решения проблемы оценки и снижения сейсмического риска и ущерба от сильных землетрясений; в-третьих, развития передовых методов усовершенствования проектирования с использованием современных расчётных технологий, возведения и усиления зданий и сооружений на основании действующих норм и правил на строительство в сейсмических районах и применение передового мирового опыта.

Известно, что при совпадении частоты колебаний вынуждающей силы и частоты собственных колебаний рассматриваемого объекта происходит резонансный выброс, перемещение объекта, что приводит к его разрушению. Величины преобладающих периодов собственных колебаний грунтов, следовательно, спектр периодов (частот) является основной характеристикой любого землетрясения. Величины доминантных периодов колебаний грунтов при землетрясениях играют основную роль при рассмотрении поведения сооружений.

Землетрясения влекут за собой разрушения зданий и сооружений, под обломками которых гибнут люди. Как сопутствующее явление при землетрясениях следует рассматривать пожары, эпидемии и т.д., возникающие в больших густонаселённых городах, где строительство осуществляется хаотично и без надлежащих антисейсмических мероприятий. В таких городах даже землетрясения сравнительно средней силы приводят к ужасающим последствиям.

До недавнего времени у человека не было почти никаких средств защиты от этой стихии. Накопление знаний, хотя и медленное, в области решения проблем землетрясений позволило выработать некоторые правила, по мерам поведения, инженерным методам защиты, выполнение которых снижает их губительное воздействие. Но сейсмозащита не ограничивается только обобщением опыта землетрясений, она гораздо шире. Строительство зданий и крупных инженерных сооружений (аэродромов гидроэлектростанций, плотин и т.д.) требует изучения сейсмической активности территорий, а так-

же тщательного анализа и выбора конкретных типов конструкций, способа строительства рассматриваемого объекта или комплекса.

При решении проблем защиты населения от катастрофических землетрясений явно прослеживается тенденция к объединению таких направлений научных исследований, как сейсмология, геофизика, гидрогеология, космонавтика, строительство и др.

Успехи современного строительства в сейсмоопасных регионах, базируются на достижениях инженерной сейсмологии, теории и практики сейсмостойкого строительства, анализа повреждений зданий и сооружений при сильных землетрясениях.

Решение важнейшей проблемы обеспечения сейсмостойкости объектов строительства, сохранения жизни и здоровья людей при сильных землетрясениях достигается путём:

- выбора наиболее предпочтительных в сейсмическом отношении площадок строительства с учётом сейсмичности региона, грунтовых условий, наличия тектонических разломов, возможных очагов землетрясения, наличия карстов и горных выработок, нарушенности пород физико-механическими процессами, возможности прохождения селевых потоков, оползней, обвалов и камнепадов и т.д.;
- использование сейсмической информации, наиболее достоверно отражающих уровень и характер сейсмических воздействий на геологическую среду, и объекты строительства;
- совершенствования действующих и разработки новых методов расчёта зданий и сооружений на сейсмические воздействия, наиболее полно обеспечивающих соответствие расчётных предпосылок действительному уровню сейсмических воздействий и поведению несущих конструкций во время сильных землетрясений;
- разработки новых и применения инновационных рациональных конструктивных решений сейсмостойких зданий и сооружений, отвечающих их назначению во время землетрясений и в то же время относительно экономичных в стоимостном отношении по сравнению с существующими;
- учёта в технологии и организации строительства передового мирового опыта, обеспечивающих надлежащее качество строительства.

Опыт показывает, что антисейсмическое усиление зданий и сооружений приводит к удорожанию строительства примерно: при сейсмичности площадки строительства 7 баллов – 5%, 8 баллов – 8% и 9 баллов – 15% по сравнению со строительством на площадках, где отсутствует сейсмичность. В этой связи одной из важнейших задач строительства в сейсмических регионах является оптимальное снижение затрат на антисейсмические мероприятия при обеспечении заданной прочности, устойчивости и сейсмостойкости зданий и сооружений.

Таким образом, проблему обеспечения сейсмической безопасности следует рассматривать с единых позиций объединения двух направлений – ин-

женерной сейсмологии и сейсмостойкого строительства – как двух сторон одной медали.

*Инженерная сейсмология* – раздел сейсмологии, изучающий сейсмические данные, необходимые для проектирования устойчивых против землетрясений (сейсмоустойчивых) сооружений.

К задачам инженерной сейсмологии относятся: уточнение шкалы интенсивности землетрясений, определение параметров сильных сейсмических воздействий и методов их прогнозирования с учётом свойств грунтов, изучение опасных для сооружений процессов, возникающих в грунтах под влиянием сейсмических колебаний; разработка способов повышения сейсмоустойчивости грунтов и сооружений; сейсмическое микрорайонирование (зонирование).

Исследования инженерной сейсмологии учитывают достижения общей сейсмологии, сеймотектоники, инженерной геологии и гидрогеологии, строительной механики и механики грунтов.

Инженерная сейсмология возникла в начале 20 века в результате изучения последствий сильнейших землетрясений, происшедших в различных сейсмоопасных регионах Земли. Было выявлено влияние грунтового массива на интенсивность землетрясений: так здания и сооружения, расположенные на рыхлых слабых грунтах, повреждаются сильнее, чем аналогичные объекты, расположенные на коренных скальных породах.

Развитие инженерной сейсмологии в последние годы связано с задачами строительства особо ответственных сооружений: атомных, энергетических, гидротехнических сооружений и горно-металлургических и нефтегазовых комплексов. При строительстве данных объектов проводится комплекс взаимосвязанных научно- и трудоёмких сейсмологических, геолого-тектонических и инженерно-геологических исследований.

На основе указанных исследований разрабатываются карты сейсмического микрорайонирования рассматриваемой территории, которые являются регламентирующими документами для проведения научно-обоснованных работ по проектированию и строительству объектов с учётом реально ожидаемых уровней сейсмического воздействия.

Одним из главных вопросов обеспечения сейсмической безопасности объектов строительства, а также существующей застройки является сейсмоусиление грунтового массива, сейсмоусиление зданий и их конструктивных элементов.

В последние годы возникла необходимость оценки сейсмического риска и прогноза ущерба от возможных землетрясений, а также рассмотрения методов по снижению (исключению) сейсмического риска при неполноте и неопределённости исходной сейсмологической информации. Наряду с рассмотрением традиционных методов сейсмозащиты зданий и сооружений особое внимание уделено обеспечению сейсмобезопасности зданий и сооружений с использованием активной и адаптивной систем сейсмозащиты, а также использование динамических гасителей колебаний.

Особое место занимают вопросы практического расчёта некоторых ти-

пов зданий на сейсмические воздействия современными методами и технологиями. Но, тем не менее, проблема сейсмозащиты зданий и сооружений слишком обширна и сложна. В одной книге детально рассмотреть все её аспекты не представляется возможным.

*Сейсмостойкое строительство* – раздел гражданского строительства, специализирующийся в области изучения поведения зданий и сооружений при сейсмических воздействиях в виде сотрясений земной поверхности с учётом поведения грунтов и других негативных факторов (цунами, потеря устойчивости основания, оползней, обвалов и т.д.). В целом сейсмостойкое строительство может рассматривать любой строительный объект как фортификационное сооружение, предназначенное для обороны от специфического противника – землетрясения.

В этой связи следует иметь в виду то обстоятельство, что жизнь людей, живущих в сейсмоопасных районах, всецело зависит от сейсмологов, проектировщиков и строителей. И здесь возникает вопрос: можно ли гарантировать сохранность зданий и сооружений во время разрушительных землетрясений? Исследование последствий сильнейших землетрясений показывает, что надёжность строительных объектов, рассчитанных на воздействие максимально возможных на данной площадке землетрясений с учётом достижений современной науки и техники в области инженерной сейсмологии, теории и практики сейсмостойкого строительства, может быть гарантирована.

Настоящая книга разработана на основе сбора, компиляции, обобщения, обработки и интерпретации материалов отечественных и зарубежных исследователей, а также с использованием апробированных материалов авторов данной книги.

В книгу включены как исторические сведения, так и последние достижения в области сейсмологии и сейсмостойкости сооружений. Она может представлять интерес широкому кругу инженерно-технических и научных работников в вопросах обеспечения сейсмобезопасности объектов строительства и служить основой подготовки студентов, аспирантов и докторантов.

Главы 1 – 8 написаны Абакановым Т. при участии Кусаинова А.А., раздел 4.4 написан Абакановым Т. и Теплых А.В., раздел 4.6 написан Бондаревым Д.Е. при участии Теплых А.В., глава 9 написана Теплых А.В. при участии Бондарева Д.Е., глава 10 написана Бондаревым Д.Е. при участии Теплых А.В.

Авторы выражают глубокую признательность за ценные советы, использованные при написании книги: инженеру В.В. Карпову, инженеру П.С. Васильеву, инженеру А.Ю. Щукину, к.т.н В.В. Ходыкину, к.т.н. Костареву В.В., к.т.н. Акбиеву Р.Т., д.т.н В.В. Радайкину, д.т.н. А.М. Белостоцкому, д.т.н С.Ю. Фиалко, д.т.н А.В. Перельмутеру, Dr.-Ing А.В. Кульцепу.

Книга посвящена светлой памяти крупных учёных в области динамики и сейсмостойкого строительства Айзенбергу Якову Моисеевичу, Жунусову Толеубаю Жунусовичу и Кусаинову Амирлану Айдарбековичу.