

СУРЕН ДАРБИНЯН

МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ
ИНТЕНСИВНОСТИ
ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

ЕРЕВАН - 2003

5614

Дарбинян С.

Методы определения
интенсивности землетрясений.

Е., 2003.

*Посвящаю памяти моего
учителя академика НАН РА
А.Г. Назарова*

ՍՈՒՐԵՆ ԴԱՐԲԻՆՅԱՆ

ԵՐԿՐԱՇԱՐԺԵՐԻ ԻՆՏԵՆՍԻՎՈՒԹՅԱՆ
ՈՐՈՇՄԱՆ ՄԵԹՈԴՆԵՐ

«ԱՍՈԴԻԿ» ՀՐԱՏԱՐԱԿՉՈՒԹՅՈՒՆ

ԵՐԵՎԱՆ - 2003

SOUREN DARBINYAN

DETERMINING METHODS
OF EARTHQUAKES INTENSITY

"ASOGIK" PUBLISHING-HOUSE

YEREVAN - 2003

СУРЕН ДАРБИНЯН

5614

МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ
ИНТЕНСИВНОСТИ
ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

ИЗДАТЕЛЬСТВО "АСОГИК"

ЕРЕВАН - 2003



УДК 550.34

ББК 26.21

Д 200

Работа выполнена в Институте геофизики и инженерной сейсмологии им. А.Г. Назарова НАН РА и в Ереванском государственном университете архитектуры и строительства

Ответственный редактор
академик НАН РА КАРАПЕТЯН Б.К.

Дарбинян С.С.

Д 200 Методы определения интенсивности землетрясений, изд.-во "Асогик", Ер., 2003, стр. 115.

Монография посвящена вопросам определения интенсивности землетрясений по макросейсмическим и инструментальным данным. Приводится анализ существующих макросейсмических шкал, определяются их органические недостатки и доказывается непригодность таких шкал для определения интенсивности землетрясений и решения основных задач инженерной сейсмологии. Исследованы вопросы создания сейсмической шкалы на инструментальной основе. Предлагается новая мера для определения интенсивности землетрясений.

Она предусмотрена для научных работников, работающих в области инженерной сейсмологии, сейсмостойкости сооружений и изучения землетрясений вообще.

Д $\frac{180302000}{0136(01) - 2003}$ 2003

ББК 26.21

ISBN 99941 - 30-71-4

Изд.-во "Асогик"
© Дарбинян С.С.

ВВЕДЕНИЕ

Решение многих задач теории сейсмостойкости зданий и сооружений, а также инженерной сейсмологии непосредственно связано с правильным определением интенсивности колебаний земной поверхности при землетрясениях. Вопрос точного определения интенсивности землетрясений может быть решен при правильном выборе меры сейсмической интенсивности. Ввиду сложности и многофакторности сейсмического явления можно допустить, что эту меру можно понять в самом обобщенном смысле.

До сих пор в основном интенсивность определяли как приведенную интегральную меру результатов сейсмического воздействия на объекты в пределах некоторой площадки. При этом устанавливается, что определенная таким путем интенсивность легко определяется для землетрясений по поведению объектов, легко коррелируется с величинами убытков, числа жертв, с состоянием поврежденных зданий и т. д. На основании таких исследований по признакам поведения объектов при землетрясении устанавливается порядок найденной системы измерений, то есть создается шкала сейсмической интенсивности. Такие шкалы являются шкалами сейсмических воздействий или макросейсмическими шкалами. С другой стороны, можно определить интенсивность как число или набор чисел, полученных из анализа инструментальных данных, то есть из анализа записей колебания грунта при землетрясениях. Это означает, что решается задача либо для одномерной последовательности чисел, либо для набора признаков движения земной поверхности, то есть создается шкала сейсмической интенсивности на инструментальной основе. Естественно, что такая мера не отражает поведения зданий и последствия эффектов этого поведения при землетрясении. Такая шкала представляет собой шкалу интенсивности колебаний грунта при землетрясении. Ясно, что именно в этом смысле должны идти исследования в дальней-

шем для составления обоснованных сейсмических шкал интенсивности.

В существующих шкалах интенсивность землетрясения в основном определяется с помощью макросейсмических данных. Первые макросейсмические шкалы были весьма несовершенны. Согласно этим шкалам мера сейсмической интенсивности зависит не только от объективных факторов, но и от таких, как количество построек в рассматриваемом районе.

Современные макросейсмические шкалы более или менее свободны от этого недостатка. Однако даже самые подробные макросейсмические шкалы не в состоянии учесть особенности всех сооружений и строительных материалов, разнообразие которых увеличивается с каждым годом. Задача инженерного расчета сооружений на действие сейсмических сил непосредственно связана с проблемой определения интенсивности колебания грунта при землетрясении в данном районе, которая ставит перед нами вопрос изыскания путей для использования записей землетрясений в этих расчетах, что связано с более точным определением интенсивности колебания грунта. С другой стороны, правильное определение интенсивности колебания грунта при землетрясении может дать также решение на более высоком уровне многих других проблем в современной инженерной сейсмологии, а именно решение проблем сейсмического районирования и микрорайонирования, стохастических задач теории сейсмостойкости и так далее. Этого, конечно, мы не можем осуществить по данным макросейсмических шкал, действующих в настоящее время. Согласно этим шкалам, интенсивность сильных землетрясений устанавливается преимущественно по степени повреждений несейсмостойких зданий. Учитывая большой разброс механических характеристик материалов, построек, а также разнообразие конструкций, можно понять причину большой приближенности оценки интенсивности землетрясений по макросейсмическим шкалам.

Проблема оценки интенсивности землетрясений по своей природе чрезмерно сложна. Этой проблемой начали заниматься еще начиная с античных времен, но до настоящего времени решение ее нельзя считать законченной.

Более или менее оформленные сейсмические шкалы для определения интенсивности землетрясений появились в конце 18-го

века (Д. Пигнатаро, 1783; Д. Брукс 1811; Р. Маллет 1858 и другие). В 1883 году была составлена десятибалльная шкала М. Росси и Ф. Форель, которая получила распространение у нас в конце 19-го века. В 1917 году Международной сейсмической ассоциацией была принята шкала Меркали—Канкани—Зиберга, которая до сих пор применяется во многих странах. В США в 1931г. была предложена 12-балльная шкала, которая известна под названием “Модифицированная шкала Меркали” или MM. В Японии в 1900 году Ф. Омори предложил семибалльную шкалу, которая в дальнейшем усовершенствовалась М. Ишимото и другими. В этой шкале каждому баллу приписаны величины ускорений колебания почвы.

В 1952 году в Институте физики Земли Академии наук бывшего СССР была составлена новая сейсмическая шкала С. В. Медведевым. Далее была создана международная шкала сейсмической интенсивности MSK-64 (авторы С. Медведев, В. Шпонхойер, В. Карник), которая практически представляет собой модификацию шкалы Меркали—Канкани—Зиберга. В этой шкале в качестве дополнения приводятся величины ускорений и скоростей колебания почвы для каждого балла, но тем не менее в качестве основных признаков, определяющих интенсивность землетрясения, принимаются макросейсмические данные.

В дальнейшем были предприняты попытки совершенствования шкалы MSK-64 (Н. В. Шебалин, А. Г. Назаров и другие). В 1998 году была принята Европейская шкала сейсмической интенсивности (EMS-98), где для определения интенсивности используются также макросейсмические данные зданий с антисейсмическими мероприятиями.

Сопоставление и анализ всех существующих шкал показывают, что основным признаком определения интенсивности землетрясений являются макросейсмические данные. Однако, как мы убедимся в дальнейшем, по макросейсмическим данным нельзя точно определить интенсивность землетрясения и, следовательно, решить проблемы инженерной сейсмологии и сейсмостойкости сооружений.

Для решения упомянутых проблем необходимо установить такую меру сейсмической интенсивности, которая дала бы возможность однозначно решать задачу определения интенсивности землетрясений.

ГЛАВА I

О СТРУКТУРЕ, СОДЕРЖАНИИ И НЕДОСТАТКАХ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ШКАЛЫ MSK-64

В настоящее время существует много сейсмических шкал, предназначенных для оценки интенсивности землетрясений на поверхности Земли.

Мы считаем целесообразным ограничиться подробным рассмотрением сейсмической шкалы MSK-64. Объясняется это тремя обстоятельствами:

1. Градации интенсивности по этой шкале соответствуют градациям шкал Маркалии—Канкани—Зибберга, американской шкалы MM и других шкал.

2. Шкала эта была рекомендована к временному использованию в качестве международной межправительственным совещанием ЮНЕСКО по сейсмологии и сейсмостойкому строительству (Париж, 1964).

3. Шкала MSK-64 явилась основой для новых вариантов сейсмических шкал, разработанных в разные времена многими специалистами в данной области. Шкала MSK-64 приведена в приложении.

1.1. Об исходных признаках сейсмической шкалы MSK-64

К качественным признакам относятся:

- а) Люди и их окружение (реакции людей и животных, реакции предметов домашнего обихода в основном);
- б) сооружения (остаточные деформации зданий и их элементов);
- в) природные явления (остаточные деформации земной поверхности и сопутствующие им явления).

К количественным признакам относятся:

максимальные значения ускорения грунта, максимальные значения скорости грунта, максимальные значения относительных смещений центра тяжести маятника сейсмометра с периодом колебаний 0.25 сек. и логарифмическим декрементом 0.5. Они приведены в табл. 1 дополнения шкалы (см. приложение).

Таким образом, множество землетрясений по совокупности качественных и количественных признаков разбиваются в соответствии с данной сейсмической шкалой на классы, называемые баллами.

Нумерация этих баллов возрастает с ростом интенсивности землетрясений. Для наиболее распространенных шкал принята двенадцатибалльная система, характеризуемая числами I, II,.....XII. Японская шкала – семибалльная, для нее принята нумерация 0, 1....6.

В чем заключается огромная сложность, неясность и неопределенность оценки интенсивности землетрясений в баллах? Землетрясения, представляющие собой чрезвычайно сложные, многофакторные явления, должны быть выражены как функция лишь одной дискретной переменной, представляющей собой последовательность целых чисел, называемых баллами. Только при этом условии мы можем получить сейсмическую шкалу.

Что составители сейсмической шкалы под последовательностью чисел I, II,.....XII имели в виду не просто нумерацию соответствующих баллов, а рассматривали баллы как характеристики возрастающей последовательности интенсивности землетрясения, можно судить по приложению (табл. 1), где для каждого балла даны интервалы численных характеристик землетрясения, причем интервалы эти примыкают друг к другу. Это обстоятельство подтверждает, что сейсмическая шкала рассматривается как функция последовательности целых чисел, т.е. одной переменной.

Например, мы хорошо представляем себе, шкалу температур. Имеются различные шкалы: Цельсия, Реомюра, Фаренгейта, Томсона. Все они взаимно однозначно преобразовываются друг в друга.

Сейсмические же шкалы грубо приближенны, и мы лишены возможности такого однозначного трансформирования их друг в друга. Уже одно существование различных 12-балльных шкал говорит об их приближенности.

Положим, что мы смогли приписывать качественным характеристикам землетрясений некоторые количественные показатели, удовлетворительным образом согласовывающиеся друг с другом. Тогда каждое землетрясение можно формально рассматривать как некоторую точку в пространстве многих переменных.

Совокупность всех землетрясений изобразится в этом пространстве как некоторое многомерное облако точек, образующих некоторое тело. Если это тело вытянуто вдоль некоторой гиперлинии таким образом, что в гиперплоскостях, перпендикулярных к этой линии, поперечные сечения тела имеют малые размеры в сравнении с его длиной, то можно говорить о приближенной сейсмической шкале. Действительно, мы можем это "тело" землетрясений мысленно разрезать на отдельные куски и, пронумеровав их последовательностью I, II,.....XII, объявить их баллами. Чем тоньше это тело в поперечном направлении, тем точнее будет представление о балле. В пределе, если все точки, изображающие землетрясения в многомерном пространстве, лягут на одну гиперлинию, то получим точную сейсмическую шкалу.

Короче, если из всех факторов, определяющих интенсивность землетрясений, возможен выбор доминирующего фактора (он может оказаться и комбинацией первичных факторов), по сравнению с которым можно пренебречь всеми другими факторами, то можно говорить о существовании приближительной, но объективной сейсмической шкалы.

На этом закончим наши общие соображения. Попытаемся теперь конкретно и систематически проанализировать дефекты сейсмических шкал. Для этой цели, как мы условились, остановим свой выбор на сейсмической шкале MSK-64.

1. Типы сооружений, характеризующих шкалу. Для оценки интенсивности землетрясений в шкале MSK-64 приняты следующие типы зданий, возведенных без антисейсмических мероприятий.

Тип А - здания из рваного камня, сельские постройки, дома из кирпича-сырца, глинобитные дома.

Тип Б - обычные кирпичные дома, здания крупноблочного и панельного типа, фахверковые строения, здания из естественно-

го тесаного камня.

Тип В - каркасные железобетонные здания, деревянные. дома хорошей постройки.

2. Количественные характеристики статистического порядка. В шкале сейсмической интенсивности MSK-64 для ее макросейсмической части приняты следующие количественные характеристики статистического порядка.

Под определениями отдельные, многие и большинство понимаются соответственно оценки "около 5%", "около 50%" и "около 75%". Эти определения служат для оценки относительных количеств каких-либо событий, в частности, тех или иных повреждений зданий, имевших место при землетрясении, для последующей оценки его интенсивности в баллах. Поэтому рассматриваемые определения должны играть большую роль в оценке интенсивности землетрясений и соответственно к ним должны быть предъявлены высокие требования.

3. Классификация повреждений. В сейсмической шкале MSK-64 приведена следующая классификация повреждений:

1 степень. Легкие повреждения: тонкие трещины в штукатурке и откалывание небольших кусков штукатурки.

2 степень. Умеренные повреждения: небольшие трещины в стенах, откалывание довольно больших кусков штукатурки, падение кровельных черепиц, трещины в дымовых трубах, падение частей дымовых труб.

3 степень. Тяжелые повреждения: большие и глубокие трещины в стенах, падение дымовых труб.

4 степень. Разрушения: сквозные трещины и проломы в стенах, обрушения частей зданий, разрушение связей между отдельными частями зданий, обрушение внутренних стен и стен заполнения каркаса.

5 степень. Обвалы: полное разрушение зданий.

Мы считаем удачной принятую классификацию повреждений. Относительно же признаков повреждений, на которых основывается классификация, мы остановимся подробнее в последствии.

4. Группировка признаков интенсивности. Признаки интенсивности землетрясений, как было отмечено выше, разбиты на три группы:

- а) люди и их окружение;
- б) сооружения;
- в) природные явления;

Признаки интенсивности и их группировка являются центральной частью сейсмической шкалы MSK-64. На основе их синтеза и устанавливается балл землетрясения. Архитектоника MSK-64 отличается своей стройностью и законченностью. Нужно отдать должное составителям этой шкалы.

Перейдем теперь к систематическому изучению каждой из трех групп признаков интенсивности землетрясений.

1.2. Признаки интенсивности по группе "а" "Люди и их окружение"

Всей совокупности признаков, связанных с людьми и их окружением, приписывается общий индекс "а". Признаки, отвечающие данному баллу J, фиксируются через индекс а-J. Сами признаки в пределах данного балла нумеруются по порядку арабскими числами. Таким образом, например, аJ-3 означает признак N: 3 балла J, группы "а". Такая система обозначений сократит изложения. Если сопоставления ведутся только внутри группы "а", то указанный выше признак будет просто записываться как J-3.

Приведем сводку признаков группы "а".

Для балла I. Нет признаков.

Для балла II. Колебания ощущаются только отдельными людьми, находящимися в покое внутри помещений, особенно в верхних этажах.

Для балла III. 1. Землетрясение ощущается немногими людьми, находящимися в покое внутри помещений, под открытым небом, только в благоприятных условиях. 2. Колебания схожи с сотрясением, создаваемым проезжающим легким грузовиком. 3. Внимательные наблюдатели замечают легкое раскачивание висячих предметов, несколько более сильное на верхних этажах.

Для балла IV. 1. Землетрясение ощущается внутри зданий многими людьми, под открытым небом немногими. 2. Кое-где спящие просыпаются, но никто не пугается. 3. Колебания схожи с сотрясением, создаваемым проезжающим тяжело нагруженным грузовиком. 4. Дребезжание окон, дверей, посуды. 5. Скрип полов и стен. 6. Начинается дрожание мебели. 7. Висячие предметы слегка раскачиваются. 8. Жидкость в открытых сосудах слегка колеблется. 9. В стоящих на месте автомашинах толчок заметен.

Для балла V. 1. Землетрясение ощущается всеми людьми внутри помещения, под открытым небом многими. 2. Многие спящие просыпаются. 3. Немногие лица выбегают из помещений. 4. Животные беспокоятся. 5. Сотрясение зданий в целом. 6. Висячие предметы сильно качаются. 7. Картины сдвигаются с места. 8. В редких случаях останавливаются маятниковые часы. 9. Некоторые неустойчивые предметы опрокидываются или сдвигаются. 10. Незапертые двери и окна распахиваются и снова захлопываются. 11. Из наполненных открытых сосудов в небольших количествах выплескивается жидкость. 12. Ощущаемые колебания схожи с колебаниями, создаваемыми падением тяжелых предметов внутри здания.

Для балла VI. 1. Землетрясение ощущается большинством людей как внутри помещений, так и под открытым небом. 2. Многие люди, находящиеся в зданиях, пугаются и выбегают на улицу. 3. Немногие лица теряют равновесие. 4. Домашние животные выбегают из укрытий. 5. В некоторых случаях может разбиться посуда и другие стеклянные изделия. 6. Падают книги. 7. Возможно движение тяжелой мебели. 8. Может быть слышен звон малых колоколов на колокольнях.

Для балла VII. 1. Большинство людей испуганы и выбегают из помещений. 2. Многие люди с трудом удерживаются на ногах. 3. Колебания отмечаются лицами, ведущими автомашины. 4. Звонят большие колокола.

Для балла VIII. 1. Испуг и паника. 2. Испытывают беспокойство даже лица, ведущие автомашины. 3. Кое-где обламываются ветви деревьев. 4. Сдвигается и иногда опрокидывается тяжелая мебель. 5. Часть висячих ламп повреждается.

Для балла IX. 1. Всеобщая паника. 2. Большие повреждения мебели. 3. Животные мечутся и кричат.

Таким образом, для балла I признаков группы "а" нет. Землетрясение может быть зафиксировано только инструментально.

Для X, XI, XII баллов не приведены признаки группы "а". Количества признаков группы "а" распределяются между баллами следующим образом:

I - 0	IV - 9	VII - 4	X — признаки не указаны
II - 1	V - 12	VIII - 5	XI — признаки не указаны
III - 3	VI - 8	IX - 3	XII — признаки не указаны

Всего имеем 45 признаков.

Наибольшее количество признаков группы "а" приходится на IV, V и VI баллов.

Сами признаки представляют собой сложные события, зависящие в свою очередь от многих параметров. Это имеет место не только для признаков, связанных с биологическими проявлениями, но даже для признаков чисто механического происхождения.

Например, признак III-2, "Колебания схожи с сотрясениями, создаваемыми проезжающим легким грузовиком". В этих колебаниях участвует множество факторов, из которых главным являются неровности пути, скорость продвижения грузовика, его масса, жесткость его рессор, затухание его колебаний.

В признаке IV-3 говорится о колебаниях, которые схожи с сотрясением, создаваемым тяжело нагруженным грузовиком.

Если даже параметры этих двух грузовиков принять одинаковыми и зафиксировать предельное различие их масс согласно III-2 и IV-3, то остаются все же возможными сильные различия в скоростях их продвижений и в неровностях пути.

Поэтому возможны случаи, когда признак IV-3 окажется слабее, чем признак III-2, в противоположность проводимой в шкале идее, что балл IV представляет более сильное землетрясение, чем балл III.

В V-5 указывается "Сотрясение зданий в целом". Ни один наблюдатель, находящийся внутри здания и даже вне здания, не в состоянии констатировать, что здание в целом сотрясается при пятибалльном землетрясении. Наблюдатель может отметить лишь, что сотрясение происходит там, где он находится в данный момент. Он может воспринимать сотрясение лишь как локальное явление. В V-10 отмечено "Незапертые двери и окна распахиваются и снова захлопываются". При землетрясении со-

вершаются дикие колебания и поэтому возможны случаи, когда двери и окна только распахиваются или только захлопываются.

В V-11 сказано: "Из наполненных открытых сосудов в небольших количествах выплескивается жидкость". Количество выплескиваемой жидкости зависит не только от интенсивности землетрясения, а в большей степени от формы сосуда.

При внимательном анализе легко убедиться, что такое же положение дел имеет место для любого признака, даже такого простого, как раскачивание висячих предметов. Даже в случае простого математического маятника амплитуда раскачивания зависит от соотношения между периодом свободных колебаний маятника и законом движения точки подвеса маятника, т.е. от суммы колебаний грунта и относительно перемещения здания из-за его деформации в процессе землетрясения. При резонансе раскачивания могут быть большими и при слабых землетрясениях. Здесь мы имеем дело со сложной функциональной зависимостью.

Второй крупный дефект, связанный с признаками группы "а", заключается в том, что далеко не всегда последовательно проводится преамбленность однотипных признаков при переходе от одного балла к другому.

Ограничимся приведением двух примеров.

Признак III-3 гласит: "Внимательные наблюдатели замечают легкое раскачивание висячих предметов, несколько более сильное на верхних этажах". А признак IV-7 гласит: "Висячие предметы слегка раскачиваются".

Получили ли мы здесь какую-либо информацию, из которой могли бы убедиться, что землетрясение в IV балла сильнее землетрясения в III балла?

Другой пример. Признак VIII-3 гласит: "Обламываются ветви деревьев".

А что происходит с деревьями при баллах ниже VIII или выше VIII неизвестно.

Ведь при более слабых землетрясениях должны шевелиться листья, раскачиваться ветви? А при баллах выше VIII деревья должны получать более серьезные повреждения, чем при балле VIII?

Третий крупный дефект сводится к следующему.

В количественных характеристиках были приняты только три случая — “отдельные”, “многие” и “большинство”.

В признаках интенсивности фигурируют характеристики количественного порядка, не оговоренные и не определенные в пункте 2.

Приведем примеры.

III-1. Землетрясение ощущается немногими людьми.

По-видимому, “немногие” это больше, чем “отдельные”, и меньше, чем “многие”.

V-1. Землетрясение ощущается всеми людьми.

Определение “всеми”, это больше, чем “большинство”, это 100%.

Замечание к V-3 аналогично рассмотренному III-1.

V-8. В редких случаях останавливаются маятниковые часы.

По-видимому, слово “редкие” следует отнести к слову “отдельные”.

Чтобы не загромождать текст, мы сжато приведем случаи отклонения количественных характеристик от официально объявленных для всей группы “а”.

III-1, немногие, IV-1, немногие; IV-2, кое-где; V-1, всеми; V-3, немногие; V-5, немногие; VIII-3, кое-где; VIII-5, часть.

В остальных 25 признаках никаких количественных характеристик не дано вообще.

Итак, мы приходим к выводу, что применительно к признакам группы “а” принят более широкий диапазон количественных характеристик, нежели это было официально принято в MSK-64. На основании приведенного здесь анализа приходим к заключению, что для количественных характеристик группы “а” можно принять примерно следующие градации:

“отдельные”, “кое-где”, “редкие”, “некоторые”	- около 5%
“немногие”, “часть”	- около 25%
“многие”	- около 50%
“большинство”	- около 75%
“все”	- 100%

Это подсознательно принятая количественная градация для признаков группы “а” более точно отвечает действительности, чем количественные градации, официально принятые в шкале MSK-64, описанные в пункте 2 и приводящие всего к трем града-

циям “отдельные”, “многие” и “большинство”.

Список замечаний можно значительно расширить. По существу можно провести анализ каждого из 45 признаков группы “а” и прийти к неутешительному выводу об их шаткости и неопределенности, при попытке их глубокого статистического и физического анализа.

1.3. Признаки интенсивности по группе “б” “Сооружения”

Приведем здесь сводку признаков группы “б”.

Для баллов I, II, III, IV их нет.

Для балла V. 1. Возможны повреждения 1-й степени в отдельных зданиях типа А.

Для балла VI. 1. Повреждения 1-й степени в отдельных зданиях типа Б и во многих зданиях типа А. 2. В отдельных зданиях типа А повреждения 2-й степени.

Для балла VII. 1. Во многих зданиях типа В - повреждения 1-й степени. 2. Во многих зданиях типа Б - повреждения 2-й степени. 3. Во многих зданиях типа А - повреждения 3-й степени. 4. В отдельных зданиях типа А - повреждения 4-й степени. 5. В отдельных случаях — оползни проезжих частей дорог на крутых склонах и трещин на дорогах. 6. Нарушение стыков трубопроводов. 7. Трещины в каменных оградах.

Для балла VIII. 1. Во многих зданиях типа В повреждения 2-й степени, в отдельных зданиях этой группы — повреждения 3-й степени. 2. Во многих зданиях типа Б повреждения 3-й степени, в отдельных — 4-й степени. 3. Во многих зданиях типа А - повреждения 4-й степени, в отдельных — 5-й степени. 4. Отдельные случаи разрыва стыков трубопроводов. 5. Памятники и статуи сдвигаются. 6. Нагробные камни опрокидываются. 7. Каменные ограды разрушаются.

Для балла IX. 1. Во многих зданиях типа В повреждения 3-й степени и в отдельных — 4-й степени. 2. Во многих зданиях типа Б повреждения 4-й степени и в отдельных — 5-й степени. 3. Во многих зданиях типа А - повреждения 5-й степени. 4. Памятники и колонны опрокидываются. 5. Значительные повреждения искусственных водоемов. 6. Разрывы части подземных трубопрово-



56/19

дов. 7. В отдельных случаях искривление железнодорожных рельсов и повреждение проезжих частей дорог.

Для балла X. 1. Во многих зданиях типа В повреждения 4-й степени, а в отдельных — 5-й степени. 2. Во многих зданиях типа Б повреждения 5-й степени. 3. В большинстве зданий типа А повреждения 5-й степени. 4. Опасные повреждения плотин и дамб. 5. Серьезные повреждения мостов. 6. Легкие искривления железнодорожных рельсов. 7. Разрывы или искривления подземных трубопроводов. 8. Дорожные покрытия и асфальт образуют волнообразную поверхность.

Для балла XI. 1. Серьезные повреждения даже зданий хорошей постройки, мостов, плотин и железнодорожных путей. 2. Шосейные дороги приходят в негодность. 3. Разрушения подземных трубопроводов.

Для балла XII. 1. Сильные повреждения или разрушения практически всех наземных и подземных сооружений.

Признаки группы “б” распределяются между баллами следующим образом:

I - 0	IV - 0	VII - 7	X - 8
II - 0	V - 1	VIII - 6	X - 3
III - 0	VI - 2	IX - 7	XII - 1

Наибольшее количество признаков группы “б” приходится на VII, VIII, IX и X баллов. Всего имеем 35 признаков.

И в данном случае признаки представляют собой сложные явления, зависящие в свою очередь, от многих параметров. Сами признаки по существу представляют собой изменение геометрических конфигураций сооружений, вызванных остаточными деформациями.

Силовая сторона воздействия землетрясений на сооружения совершенно не освещается.

Знание только одних остаточных деформаций без знания прочностных характеристик элементов сооружения не может приводить к научно обоснованной оценке интенсивности землетрясения.

В противоположность признаков группы “а” признаки группы “б”, там, где это возможно, четко обеспечивают преемственность однотипных признаков при переходе от одного балла к другому. Это хорошо прослеживается при сопоставлении поведения

зданий различных типов при землетрясениях разных баллов. Признаки группы “б” следуют количественным градациям, упомянутым в пункте 1.1.

Понятия “отдельные”, “многие” и “большинство” соблюдаются на протяжении всей шкалы по признакам группы “б”.

Имеется лишь одно исключение.

Для признака IX-7 “в отдельных случаях — искривление железнодорожных рельсов и повреждение проезжих частей дорог”.

Понятие “отдельные” понимается для дискретных объектов в количестве 5%. В данном случае для железнодорожных рельсов, представляющих собою континуальное образование, понятие “отдельные” не применимо. Его эквивалентом для железнодорожных путей является выход из строя 5% всей длины пути, расположенной в плейстосейсмической области с рассматриваемой сейсмической интенсивностью IX баллов.

Для признаков VII-6,7; VIII-5,6,7; IX-4,5,6; X-4,5,6,7,8; XI-1,2,3; XII-1 количественных характеристик нет.

1.4. Признаки интенсивности по группе “в” “Природные явления”

Приведем сводку признаков группы “в”.

Для баллов I, II, III и IV признаков нет.

Для балла V. 1.В некоторых случаях меняется дебит источников.

Для балла VI. 1.В немногих случаях в сырых грунтах возможны трещины шириной до 1 см. 2.В горных районах отдельные случаи оползней. 3.Наблюдаются изменения дебита источников и уровня воды в колодцах.

Для балла VII. 1.На поверхности воды образуются волны, вода становится мутной вследствие поднятия ила. 2.Изменяется уровень воды в колодцах и дебит источников. 3.В немногих случаях возникают новые или пропадают существующие источники воды. 4.Отдельные случаи оползней на песчаных или гравелистых берегах рек.

Для балла VIII. 1. Небольшие оползни на крутых откосах выемок и насыпей дорог. 2. Трещины в грунтах достигают нескольких сантиметров. 3. Возникают новые водоемы. 4. Иногда пересохшие колодцы наполняются водой или существующие колодцы иссыкают. 5. Во многих случаях изменяется дебит источников и уровень воды в колодцах.

Для балла IX. 1. На равнинах наводнения, часто заметны наносы песка и ила. 2. Трещины в грунтах достигают ширины 10 см, а по склону и берегам рек - свыше 10 см, кроме того, большое количество тонких трещин в грунтах. 3. Скалы обваливаются. 4. Частые оползни и осыпания грунта. 5. На поверхности воды большие волны.

Для балла X. 1. Трещины в грунтах шириной несколько дециметров и в некоторых случаях - до 1 м. 2. Параллельно руслам водных потоков появляются широкие разрывы. 3. Осыпание рыхлых пород с крутых склонов. 4. Возможны большие оползни на берегах рек и крутых морских побережьях. 5. В прибрежных районах перемещаются песчаные и илистые массы. 6. Выплескивание воды в каналах, озерах, реках и т.д. 7. Возникают новые озера.

Для балла XI. 1. Значительные деформации почвы в виде широких трещин, разрывов и перемещений в вертикальном и горизонтальном направлениях. 2. Многочисленные горные обвалы.

Для балла XII. 1. Радикальные изменения земной поверхности. 2. Наблюдаются значительные трещины в грунтах с обширными вертикальными и горизонтальными перемещениями. 3. Горные обвалы и обвалы берегов рек на больших площадях. 4. Возникают озера. 5. Образуются водопады. 6. Изменяются русла рек.

Количество признаков группы "в" распределяется между баллами следующим образом:

I - 0	IV - 0	VII - 4	X - 7
II - 0	V - 1	VIII - 5	XI - 2
III - 0	VI - 3	IX - 5	XII - 6

Всего имеем 33 признака группы "в".

Перечисленные признаки еще более неопределенные и неполноценные в сравнении с признаками группы "а".

Эти признаки также зависят от многих параметров, трудно определимых.

Здесь в еще большей степени, чем для сооружений, мы имеем дело лишь с описанием остаточных деформаций. Нет никакой даже самой грубой оценки силовой стороны, вызвавшей эти деформации. Поэтому интенсивность землетрясения не может быть оценена по описаниям остаточных деформаций. В особенности это касается явлений, находящихся на границе устойчивости их возникновения при динамических процессах. Количественные характеристики практически невозможно дать в большинстве случаев. Здесь также имеются отклонения в количественных характеристиках: V-1, некоторые; VI-1, немногие; VII-3, немногие.

В принципе признаки интенсивности по группе "в" следовало бы вовсе исключить из сейсмической шкалы из-за их неопределенности.

1.5. Общие замечания по признакам интенсивности землетрясения

Итак, по группам "а", "б" и "в" имеется суммарное количество признаков:

$$45 + 35 + 33 = 113.$$

Сейсмическая шкала MSK-64 в своей качественной части зависит от 113 параметров, каждый из которых, в свою очередь, зависит от множества трудно учитываемых параметров.

Приведем количество признаков, необходимых для определения каждого балла в отдельности.

Баллы	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Количество признаков	0	1	3	9	14	13	15	16	15	15	5	7

Для баллов, представляющих наиболее практический интерес, количество признаков находится в пределах 13-16.

Признаки сами являются функциями многих переменных, практически неопределимых. Поэтому сейсмическая шкала носит ярко выраженный статистический характер. Баллам нельзя приписывать детерминированные черты, как это пытаются делать. Балл может быть определен лишь с той или иной вероятностью. Границы между баллами расплывчаты, размыты и неизбежно должна происходить взаимная диффузия баллов.

Перейдем к проблеме анализа совокупности признаков в целом. Естественно требовать, чтобы признаки были непротиворечивыми, независимыми между собою, или по крайней мере частично зависимыми между собою. Содержание одного признака не должно входить полностью в содержание другого признака, более широкого. Должна быть также обеспечена полнота признаков.

Такой анализ необходимо провести хотя бы приближенно, так как точное решение этой проблемы невозможно из-за нечеткости и неопределенности самих признаков.

Мы не собираемся здесь дать полный анализ, так как даже в приближенной постановке он достаточно сложен и трудоемок. Ограничимся лишь частыми примерами для иллюстрации существа постановки вопроса.

Для первого примера вновь рассмотрим признаки a_{III-3} и a_{IV-7} .

a_{III-3} . “Внимательные наблюдатели замечают легкое раскачивание висячих предметов, несколько более сильное на верхних этажах”.

a_{IV-7} . “Высшие предметы слегка раскачиваются”.

Здесь могут быть два варианта. Если составители шкалы задалась целью для каждого балла приводить все более сильные признаки, то в этом случае признаки a_{III-3} и a_{IV-7} вступают между собой в противоречие.

В принципе может быть и такой случай, что составители хотят подчеркнуть, что один и тот же признак в равной мере может иметь место и для III и для IV баллов. В этом случае признаки a_{III-3} и a_{IV-7} не вступают между собой в противоречие, так как по существу они тождественны. Но тогда надо иметь только одну формулировку признака. То есть надо принять формулировку a_{III-3} или формулировку a_{IV-7} , или же, наконец, какую-либо другую формулировку, эквивалентную им.

В качестве второго примера рассмотрим признаки в XII (1-6).

Признак 1. "Радикальные изменения земной поверхности", содержит в себе все остальные признаки 2,3,4,5 и 6.

Это тривиальная догическая ошибка, когда в перечислении фигурируют большая посылка и малые посылки, охватываемые большей посылкой.

В данном случае эту ошибку можно легко исправить, приведя после признака 1 выражение "как, например", и перечислить остальные признаки, как иллюстрации, раскрывающие содержание признака 1.

Таким образом, для пользования сейсмической шкалой в ее качественной части необходимо держать в поле зрения 113 признаков, многие из которых сложны по своей природе. Нет детальной статистической оценки каждого из признаков в отдельности, а только такая оценка могла бы дать научную основу сейсмической шкале и правильно подобрать сами признаки. Нет анализа полноты признаков, их избыточности или недостаточности.

В дополнение к шкале MSK-64 приведены интервалы максимальных ускорений, скоростей, а также максимальных смещений маятника сейсмометра СБМ при периоде колебания 0.25 сек.

Однако нетрудно убедиться, что отдельные ординаты, даже максимальные, аксегорограмм, велисограмм или значения приведенных сейсмических ускорений только для периода свободных колебаний 0.25 сек не могут представлять собой большую ценность.

Нашу окончательную позицию по отношению к сейсмической шкале MSK-64 можем сформулировать следующим образом: с точки зрения научно-технической, можно временно примириться со шкалами типа MSK-64, так как *лучше грубо измерять, чем не измерять вообще.*

Ясно также, что необходимо изыскание более совершенных путей для фиксации интенсивности землетрясений.

ГЛАВА II

О ПОПЫТКАХ УЛУЧШЕНИЯ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ШКАЛЫ

В разные времена были попытки улучшения сейсмических шкал для определения интенсивности землетрясений. Последний раз в этом направлении были проведены усиленные работы со стороны ведущих специалистов бывшего СССР в 80-х годах прошлого века. В результате была предложена "Шкала и система измерения сейсмической интенсивности в баллах", которая и была принята в качестве новой шкалы. В основу предложенной шкалы была принята шкала MSK-64. Вкратце остановимся на преимуществах и недостатках предложенной шкалы, а также на предложениях отдельных специалистов по улучшению сейсмических шкал вообще. В этот период были предложены разные варианты шкалы, на которых остановимся ниже. Содержание принятой шкалы, а также варианты шкал, предложенные разными специалистами, можно смотреть в [28].

2.1. О шкале и системе измерения сейсмической интенсивности в баллах (1973 г.)

Шкала эта была предназначена для оценки интенсивности землетрясений на поверхности Земли в пределах от 6 до 9 баллов включительно, т.е. была разработана для инженерных целей.

За основные источники для оценки сейсмической интенсивности приняты:

1. Инструментальные данные: акселерограммы, велосигранмы, сейсмограммы, показания многомаятниковых и одномаятниковых сейсмометров.

2. Макросейсмические данные о повреждениях в зданиях и сооружениях.

3. Сейсмологические данные: оценка балльности по эмпирическим соотношениям, связывающим балльность с магнитудой, глубиной очага и эпицентральной расстоянием.

4. Остаточные деформации в грунтах и скальных породах.

Порядок расположения источников, перечисленных выше, в среднем отвечает порядку точности и полноты оценки по ним интенсивности землетрясений. При отсутствии фактических инструментальных данных или их непредставительности к оценке балльности привлекаются данные по повреждениям зданий, в том числе и сейсмостойких зданий после специального анализа.

Если и эти данные отсутствуют, то балльность определяется по сейсмологическим данным, а также по остаточным деформациям на поверхности Земли.

Далее для оценки интенсивности землетрясений от 6 до 9 баллов включительно приводятся интервалы максимальных ускорений грунта, интервалы максимальных скоростей колебаний грунта, а также интервалы максимальных смещений центра тяжести маятника сейсмометра СБМ.

На основании записей сейсмических приборов для регистрации сильных движений грунта, а также показаний многомаятниковых сейсмометров рекомендуется осуществлять спектральный анализ колебаний почвы происшедшего землетрясения.

Далее указывается, что при недостаточно достоверных инструментальных сведениях оценку интенсивности землетрясений можно корректировать по данным о повреждениях зданий и сооружений после специального анализа в пределах 1-го балла.

Классификация повреждений зданий и оценки балльности землетрясений по повреждениям мало отличаются от принятых в MSK-64.

Приведены также оценки балльности землетрясений по остаточным деформациям поверхности Земли.

Достоинством этой шкалы является придание первенствующей роли оценке сейсмического балла инструментально полученным данным, т.е. кинематическим характеристикам землетрясений и их спектральным составляющим.

Недостатками являются:

1. Установление балльности по интервалам **максимальных** кинематических характеристик землетрясений, в то время как интенсивность землетрясения сильно зависит от закона изменения колебаний грунта.

2. Привлечение к оценке интенсивности землетрясений по остаточным деформациям поверхности Земли, которые являются совершенно ненадежными источниками информации для оценки интенсивности землетрясений.

2.2. О варианте шкалы для определения интенсивности землетрясений (авторы С.В.Медведев, И.А.Ершов, Е.В.Попова)

Проект этой шкалы является дальнейшим усовершенствованием шкалы MSK-64 [28].

В ней также дается приоритет оценке интенсивности землетрясений по инструментальным данным. За основу для оценки интенсивности землетрясений в пределах 6-9 баллов приняты максимальная скорость сейсмического колебания на поверхности Земли и максимальное смещение центра тяжести маятника сейсмометра СБМ. В местах, где отсутствуют сейсмические приборы, рекомендуется определять интенсивность землетрясений по степени повреждения зданий, происшедших в результате землетрясения.

Приведенные данные оценки интенсивности землетрясений по повреждениям зданий мало отличаются от таковых в шкале MSK-64. Количественные характеристики, определяющие степень поврежденных зданий, приняты в шкале те же, что и для MSK-64. Только под термином "отдельные" теперь понимаются 10 % против 5 %, принятых в MSK-64.

В местах, где отсутствуют и приборы и здания, допускается определение интенсивности землетрясения в баллах на основании остаточных деформаций в грунтах и изменения режима подземных и наземных вод. Далее оговаривается, что эти показатели неустойчивы и могут быть случаи, когда при сильных землетрясениях деформации малы или, наоборот, при слабых землетрясениях наблюдаются значительные нарушения.

Самой характерной чертой предлагаемой шкалы, в ее инструментальной части, является полный отказ от оценки интенсивности землетрясения по ускорению грунта на поверхности Зем-

ли. Такая точка зрения чужда для инженеров, занимающихся проектированием сейсмостойких зданий, и находится в противоречии с современными теоретическими воззрениями теории сейсмостойкости сооружений.

Там же было указано, что для некоторых частных случаев силовое воздействие землетрясения на здание определяется скоростью смещения грунта, но оно непосредственно вытекает из дифференциального уравнения движения, одним из членов которого является опять-таки ускорение.

Мы считаем, что отказ от оценки интенсивности землетрясения по ускорениям является регрессом в сравнении со шкалой MSK-64.

В приложении к шкале приведены некоторые исходные материалы, представляющие интерес, хотя не все из них были учтены в варианте сейсмической шкалы.

В частности, представляет интерес попытка формализации оценки повреждений зданий с помощью специального коэффициента повреждаемости "К". Но выбор весовых коэффициентов, совпадающих по величине с нумерацией степеней повреждения зданий, не обоснован.

Дана также типизация бытовых предметов.

2.3. О варианте шкалы и системе измерения сейсмической балльности (автор Ш.Г.Напетваридзе)

Шкала эта была разработана для оценки интенсивности землетрясений от 6 до 10 баллов включительно. Она базируется на инженерно-сейсмометрическом, сейсмометрическом и визуальном обследовании разрушительных последствий землетрясений. Интенсивность землетрясения определяется как средний балл по результатам применения всех методов.

От оценки балла по остаточным деформациям дневной поверхности Земли автор отказался ввиду ненадежности этого источника информации об интенсивности землетрясения.

Шкала различает два вида интенсивности землетрясений в рассматриваемой местности — абсолютную, приписанную корен-

ным породам, и относительную, приписанную к грунтам обследуемой местности, для чего приведены данные, основанные на простейшем приеме сейсмического микрорайонирования.

Шкала допускает также для оценки интенсивности землетрясений пользоваться эталонными акселерограммами, велосигramмами и сейсмограммами при расчете зданий или сооружений на сейсмические воздействия с учетом возможности конструктивных повреждений и остаточных деформаций несущих элементов зданий и сооружений.

Приведены также интервалы максимальных значений ускорений, скоростей и смещений поверхности Земли при землетрясениях интенсивностью 6-9 баллов.

В шкале приведена классификация типов зданий. Наиболее существенное изменение по отношению к MSK-64 заключается в разделении зданий типа А на здания типа А₁ и А₂, т.е. введена более тонкая дифференциация.

Введены также некоторые изменения в оценке степеней повреждения зданий, которым придан более практический характер с точки зрения восстановительных работ. Количественные оценки: отдельные — до 25%, многие — до 50%, большинство — до 75%.

Таким образом, оценка "отдельные" возросла в 5 раз в сравнении с MSK-64.

В табличной форме приведена оценка интенсивности землетрясения в зависимости от типа зданий.

Нам представляется, что шкала загружена материалом, непосредственно касающимся норм сейсмостойкого строительства.

Представляют интерес приведенные в шкале оценки степеней повреждения зданий.

2.4. О шкале сейсмической интенсивности (автор Н.В.Шебалин)

В этой шкале роль инструментальных наблюдений снижена в еще большей степени, чем в MSK-64.

Макросейсмическая же часть шкалы получила значительное развитие в сравнении со шкалой MSK-64. Если статистический подход к оценке интенсивности землетрясений находился в

MSK-64 в начальной стадии своего развития, то он существенно развился в этом направлении работами Н.В.Шебалина, что учтено в шкале, принятой в 1973 г.

Типизация сооружений, а также предметов домашнего обихода значительно более дифференцирована, причем рассматриваются и сейсмостойкие сооружения. Установлены методика получения и обработка макросейсмических данных определения средней балльности, возможные пределы ошибок.

Однако в этой шкале, так же, как и в шкале MSK-64, не приведены хотя бы самые примитивные прочностные характеристики несущих элементов зданий, нет оценки полноты принятых признаков, а без таких данных сейсмическая шкала не может считаться научно обоснованной.

2.5. О проекте сейсмической шкалы по инструментальным данным (авторы А.Г.Назаров, С.С.Дарбинян)

Основой для этой шкалы является таблица, в которой приведены интервалы максимальных ускорений, интервалы максимальных смещений центра тяжести маятника сейсмометра СБМ, а также номера характерных акселерограмм и отвечающих им спектров приведенных сейсмических ускорений. В этой шкале за меру интенсивности, выраженную в баллах, приняты ускорения на поверхности Земли в функции от времени.

Эта первая сейсмическая шкала, основой которой служат акселерограммы.

Не исключена возможность, что количество типовых акселерограмм, приведенных в сейсмической шкале, не охватывает полностью все возможные случаи, встречающиеся в практике сейсмостойкого строительства.

Шкале был придан детерминистический характер, хотя она должна была опираться на вероятностных началах. Мотивировалось это тем, что строительные организации всегда требуют четкости в задании количественных характеристик.

2.6. Предложение Б.К.Карапетяна к шкале MSK-64 в части оценки повреждений зданий с антисейсмическими мероприятиями

Б.К.Карапетяном был предложен способ учета повреждений по сейсмостойким зданиям. Им введены дополнительно 6 типов зданий с антисейсмическими мероприятиями: B_7 и B_7 с учетом 7-балльной расчетной сейсмичности; B_8 и B_8 с учетом — 8-балльной расчетной сейсмичности; B_9 и B_9 — с учетом 9-балльной сейсмичности.

Повреждения зданий и сооружений (в %) подразделяются на 5 типов:

отдельные — 5; некоторые — 25; многие — 50; большинство — 75; все — более 99.

Повреждения в зданиях и сооружениях классифицируются по 6 степеням:

1 — легкие; 2 — умеренные; 3 — существенные; 4 — тяжелые; 5 — разрушения; 6 — обвалы.

На основе этих исходных данных приведена таблица для количества и степени повреждений зданий с антисейсмическими мероприятиями при различной интенсивности. Автор оговаривает, что таблица дана в самом первом приближении.

Оценка балльности землетрясения по повреждениям сейсмостойких зданий представляет собою трудно разрешимую задачу. Поскольку здания построены с учетом сейсмических сил, то могут иметь место несколько вариантов причин их повреждения:

1. Здание построено по устаревшим нормам сейсмостойкого строительства, в которых учтены занижения значения сейсмических сил и еще не имелось достаточного опыта их проектирования.

2. Здание построено по современным сейсмическим нормам, допускающим локальные повреждения, не опасные для жителей и оборудования.

3. Здания по проекту сейсмостойкие, но построенные некачественно и потому повредились при землетрясении сверх нормы.

4. Здания удовлетворяют всем требованиям норм, но повредились из-за более сильного землетрясения нежели это предусматривалось по карте сейсмического районирования.

При такой многозначности реакции сейсмостойких зданий трудно оценивать балл землетрясения. Требуется специальное углубленное исследование для каждого нежелательного события, связанного с сейсмостойким строительством. Такого рода исследования должны представлять значительную ценность.

Как уже было отмечено во введении, в свое время была составлена Европейская шкала интенсивности (EMS-98) с учетом поведения зданий с антисейсмическими мероприятиями. Однако считаем, что она все равно является макросейсмической шкалой и, естественно, обладает теми недостатками, которые присущи таким шкалам. Поэтому анализировать эту шкалу подробно мы не будем. Отметим лишь, что она является некоторым образом усовершенствованной по отношению существующих до этого шкал.

2.7. Предложение В.С.Павлыка к описательной части сейсмической шкалы для учета повреждений современных зданий

В.С.Павлык подчеркивает, что в современных условиях оценка интенсивности землетрясений по повреждениям несейсмостойких зданий не может приводить к удовлетворительным результатам, т.к. такого рода здания становятся все более редкими.

Им предложена оценка интенсивности землетрясения (в баллах) для зданий, построенных с учетом сейсмических воздействий, на основе последствий землетрясений в Ташкенте (1966г.), Дагестане (1969г.), Джамбуле (1971г.), Петропавловске-Камчатском (1959 и 1972гг.) и на Сахалине (1971г.).

Им приняты количественные характеристики по развитию трещины и по количеству поврежденных элементов конструкции по отношению ко всем подобным элементам на данном объекте в %.

Даны оценки интенсивности землетрясения для зданий из каменной кладки; со стенами комплексной конструкции, крупноблочных; крупнопанельных и каркасных.

2.8. О вероятностном макете сейсмической шкалы (авторы Н.И.Онофраш, А.А.Роман)

Первая попытка применения вероятностного подхода к построению сейсмической шкалы принадлежит С.В.Медведеву, нашедшее свое завершение в шкале MSK-64.

Дальнейшее развитие вероятностного подхода к исследованию макросейсмического поля и построению сейсмической шкалы можно найти в работах Н.В.Шебалина.

Полное завершение и формализация сейсмической шкалы на вероятностных началах мы находим у Н.И.Онофраша, А.А.Романа и др., широко применивших методы информационной статистики.

При построении сейсмической шкалы, по нашему мнению, от авторов ускользнули трудности физического и социального порядков.

Авторы развивают следующую точку зрения. Всякий объект и всякий субъект, реагирующий с той или иной вероятностью на землетрясение, может служить количественным индикатором интенсивности землетрясения с любой точностью в зависимости от объема выборки.

Пусть имеем совокупность макросейсмических признаков (событий) E_i . Обозначим через H_j баллы землетрясений, причем j меняется от I до XII. Пусть относительная вероятность события E_i при балле землетрясения H_j равна

$$0 < p \left(\frac{E_i}{H_j} \right) < 1$$

Здесь мы не останавливаемся на технике получения матрицы, сводящейся к требованию обеспечить насколько возможно преемственность между сейсмической шкалой MSK - 64 и матрицей для $p \left(\frac{E_i}{H_j} \right)$, составленной лишь для 57 признаков, против 113 признаков шкалы MSK -64.

Фрагмент этого макета сейсмической шкалы приведен в табл. 21.

**Фрагмент макета сейсмической шкалы Н.И.Онофраша
и А.А.Романа, заданный в матричной форме**

<i>Макросейсмические факторы (события, признаки) E_i</i>	<i>H_i в баллах</i>											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
E_{1-} Ощущение колебаний спящими людьми внутри зданий	0.01	0.05	0.20	0.50	0.80	0.90	0.95	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99
E_5 - Люди выбегают из помещений	0.01	0.01	0.01	0.01	0.20	0.50	0.75	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99
E_9 - Раскачивание висячих предметов	0.01	0.01	0.30	0.50	0.75	0.90	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99
E_{16} - Беспокойство животных	0.01	0.01	0.01	0.01	0.5	0.75	0.80	0.90	0.99	0.99	0.99	0.99
E_{37} - Повреждения 5-й степени в зданиях типа Б	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.05	0.05	0.50	0.80	0.90
E_{42} - Звон больших колоколов	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.50	0.75	0.90	0.99	0.99	0.99	0.99
E_{48} - Оползни в горах	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.05	0.50	0.75	0.90	0.99	0.99	0.99
E_{50} - Нарушение стыков трубопроводов	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.05	0.50	0.75	0.90	0.99
E_{52} - Разрушение каменных оград	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.75	0.90	0.99	0.99	0.99
E_{57} - Изменение рельефа	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.05	0.25	0.50	0.75

В верхней горизонтальной строке даны баллы от I до XII, а в первом столбце приведены макросейсмические факторы (признаки, события).

Для каждого фактора отвечает своя горизонтальная строка, в которую вписаны условные вероятности $p\left(\frac{E_i}{H_j}\right)$. Наименьшая

вероятность принята 0,01, что практически означает невозможность события, а большая вероятность принята 0,99, что означает практически достоверность события. Эта условность принята для возможности пользования информационной статистикой, которая оперирует только с чисто вероятностными категориями. Вероятность p - не должна быть равна нулю или единице. Огромным преимуществом рассматриваемой сейсмической шкалы в сравнении с другими сейсмическими шкалами является соблюдение преемственности события от одного балла к другому.

Второй характерной чертой этой шкалы является то обстоятельство, что за меру сейсмической интенсивности для каждого балла принята совокупность условных вероятностей, т.е. отвлеченных чисел, которые могут рассматриваться как компоненты вектора.

Сейсмическая шкала по качественным признакам превратилась в строгую количественную шкалу с четкой математической направленностью, допускающей применение современных методов математической статистики и распознавания образов. Матрица эта и является мерой сейсмической интенсивности.

Пользуясь наблюдениями за последствиями землетрясений и систематизируя их в согласии с матрицей, можно установить вероятный балл землетрясения, степень его достоверности и решать ряд задач инженерной сейсмологии.

Строгость постановки задачи требует и более строгого подхода к оценке статистических свойств множества E_i , что не осуществлено авторами. Относительные вероятности частично заимствованы из MSK-64 и, по-видимому, частично установлены умозрительно.

В этом нельзя упрекнуть авторов, так как работа эта требует специальных исследований и обработки огромного массива ста-

тистического материала. Они же задались целью показать принципиальную возможность осуществления такой шкалы. Поэтому мы и приняли термин “макет сейсмической шкалы”

В первой главе при разработке шкалы MSK - 64 мы подняли вопрос о полноте шкалы, т.е. о необходимости и достаточности 113 признаков для полноценной оценки интенсивности землетрясения.

В макете сейсмической шкалы Н.И.Онофраша и А.А.Романа принято всего 57 признаков, т.е. в два раза меньше, чем в шкале MSK-64. Поэтому вопрос о необходимости и достаточности принятых признаков встает здесь с еще большей остротой. С нашей точки зрения, в обеих шкалах не соблюдается полнота признаков хотя бы потому, что описываются остаточные деформации зданий без указания их прочностных характеристик. А без этого невозможно оценить интенсивность землетрясения.

Авторы правильно ставят вопрос о необходимости соблюдения изоморфности макросейсмической и инструментальной шкалы.

Причем изоморфность достигается с точностью постоянного размерного множителя L для сейсмограммы и LT^2 для акселерограммы, поскольку мерой интенсивности в предложенной шкале служит безразмерная матрица.

Если эта задача будет решена, т.е. будет доказано, что какая-либо сейсмическая шкала изоморфна инструментальной шкале, то проблема полноты признаков автоматически будет разрешена.

Авторы подчеркивают чрезвычайную гибкость в уточнении и совершенствовании сейсмической шкалы, что сводится к его хорошей приспособляемости к изменившимся условиям. Эта приспособляемость имеет и отрицательную сторону, т.к. сейсмическая шкала должна играть роль эталона в оценке сейсмической интенсивности.

Поэтому если сейсмическую шкалу постоянно будем подгонять к изменившимся условиям, которые совершаются в настоящее время со все ускоряющимся темпом, то по существу потеряем приемственность в наших исследованиях.

Сейсмическая шкала по идее является эталоном для измерения интенсивности землетрясения. Она должна быть установлена раз и навсегда на сотни лет. С этой точки зрения нас настора-

живали, при разработке сейсмической шкалы MSK — 64, нечеткость и неопределенность признаков, которые неизбежно должны будут меняться с прогрессом техники и качественно, и количественно, если исходить из условных вероятностей $p\left(\frac{E_i}{H_j}\right)$.

Поэтому усовершенствованная сейсмическая шкала Н.И.Онофраша и А.А.Романа, если даже удастся ей добиться изоморфизма с инструментальной шкалой, не выдерживает критики с точки зрения социальной, связанной с бурным развитием техники.

Скажем, например, мы применяем такие признаки, как сотрясение почвы от легкого или тяжело нагруженных грузовиков. При возможности идеальных дорог будущего и совершенствовании рессор, а может быть, при применении грузовиков на воздушной подушке, вообще никакой тряски не будет и указанные признаки могут попросту исчезнуть, и сейсмическая шкала перестанет быть эталоном.

Если бы мы строго придерживались первоначального определения метра как $1/10^6$ части четверти земного меридиана, то были бы вынуждены менять длину метра в зависимости от все возрастающей точности геодезических измерений.

Можно представить, какая путаница произошла бы в системе наших измерений и какую огромную и вместе с тем бесплодную работу пришлось бы совершать при каждом новом определении длины метра, вместо того, чтобы использовать раз и навсегда установленный эталон для него.

Тоже касается и сейсмической шкалы — ее нельзя ни уточнять, ни совершенствовать, так как она при этом потеряет способность быть эталоном при оценке сейсмической интенсивности.

2.9. Общие выводы

Попытки улучшения сейсмической шкалы MSK-64 были разнообразны. Были даны интересные предложения, имеющие самостоятельную ценность.

Но проблема полноты признаков шкал не разрешена и не известны даже пути ее решения.

Появилась потребность во введении весовых коэффициентов повреждения зданий различных степеней (Н.В.Шебалин [29], С.В.Медведев, И.А.Ершов, Е.В.Попова [27]), но не были установлены какие-либо критерии для их выбора. Авторы за весовые коэффициенты степеней повреждения попросту приняли их порядковые номера, что нельзя считать решением вопроса. Возможно, признакам сейсмических шкал надо приписывать подходящие весовые коэффициенты, но для этого понадобится проработать огромные статистические материалы по последствиям землетрясений.

Неполнота признаков будет порождать “сейсмические шкалы-инвалиды”, неправильно подобранные весовые коэффициенты будут порождать “сейсмические шкалы-уроды”. Практически же будут иметь место их сочетания.

Изменившиеся условия строительства за последние годы привели к необходимости ввести в шкалы градации повреждения сейсмостойких зданий в зависимости от балла.

Какую форму примет строительство через 100-500 лет мы не знаем, но ясно, что принятые теперь признаки, по которым определяется балл, в большинстве случаев полностью потеряет свое значение.

Потребность в оценке интенсивности землетрясений будет существовать, пока существует цивилизация, но эта оценка не по возможностям существующих сейсмических шкал.

Сейсмическая шкала является порождением недостаточности информации. Сейсмическая шкала является эталоном для оценки интенсивности землетрясения на все времена и потому она должна быть инвариантна, мы не имеем права её менять и не можем позволить ей “самообучаться”.

ГЛАВА III

ОТНОСИТЕЛЬНО МАКРОСЕЙСМИКИ

3.1. Общие положения

Мы достаточно полно и подробно останавливались на невозможности полноценной оценки, на научной основе, интенсивности землетрясения по сейсмической шкале, построенной на макросейсмике. Это не означает, что макросейсмические наблюдения, макросейсмические данные не нужны.

Наоборот, роль этих данных, освобожденных от не свойственной для них функции, как меры сейсмической интенсивности, должна в значительной степени возрасти.

Действительно, основными методами исследования вопросов теории сейсмостойкости являются:

1. Полевое обследование последствий землетрясения.
2. Испытание зданий и сооружений в натуре и элементов их конструкций в лабораторных условиях, в том числе и на физических моделях.
3. Теоретические исследования.

Центральную роль играют полевые обследования, так как только на основе их можно получить фактический макросейсмический материал, подлежащий дальнейшему изучению, обработке и обобщению.

Исследования лабораторные и теоретические являются вспомогательными, но очень важными методами, сильно способствующими анализу полевых данных, и поэтому в значительной мере ускоряющих процесс развития теории сейсмостойкости.

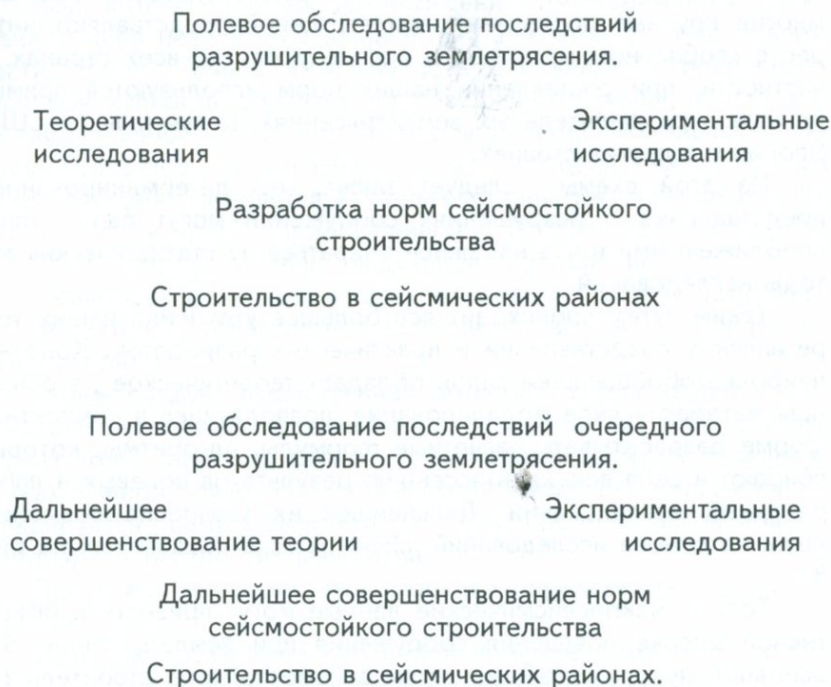
По существу на основе лабораторных данных в том или ином масштабе осуществляется физическое моделирование воздействия землетрясений на сооружения.

Но при проведении лабораторных исследований неминуемы всякого рода упрощения, схематизации и идеализации, обусловленные в первую очередь техническими возможностями испытаний.

То же касается и теоретических исследований, приводящих к математическому моделированию и связанных с возможностями применяемого математического аппарата и потому требующих своих упрощений, схематизаций и идеализаций.

Поэтому к окончательному выводу можно прийти лишь на основе макросейсмических наблюдений при полевых обследованиях.

Установилась цикличность в развитии теории и практики сейсмостойкого строительства, протекающей, в общих чертах, по следующей схеме (рис. 3.1).



И так далее.

Рис. 3.1.

Разрушительные землетрясения в каждом данном пункте крайне редки, поэтому применительно к каждому пункту в отдельности приведенная схема практически не годна.

Чем больше область, в которой происходят землетрясения, тем чаще они, тем лучше реализуется приведенная здесь схема в смысле сокращения длительности цикла. Ясно, что в этой большой области должны действовать единые нормы сейсмостойкого строительства.

Это схема достаточно хорошо действует, например, на территориях, США и Японии. Каждая из этих стран имеет свои нормы сейсмостойкости, постепенно совершенствующиеся. Однако многие крупные проявления землетрясений представляют интерес в глобальном масштабе и используются во всех странах. В частности, при составлении наших норм используются прямые данные о разрушительных землетрясениях, полученных в США, Японии и в других странах.

Из этой схемы следует также, что детерминированные представления о разрушениях сооружений могут быть лишь приближенными и что надежнее опираться на статистические методы исследований.

Таким путем происходит все большее уточнение наших теоретических представлений и практических разработок. Конечно, наиболее обобщающей силой обладает теоретическое, в основном математическое моделирование, позволяющее в компактной форме разрабатывать расчетные формулы, алгоритмы, которые вбирают в себя всю квинтэссенцию результатов полевых и лабораторных исследований. Дальнейшее их уточнение возможно лишь на основе исследований, схематически показанных на рис. 3.1.

Только макросейсмические данные могут привести к объективной оценке поведения сооружения при землетрясении. Это основной путь к апробации норм сейсмостойкого строительства и дальнейшего его совершенствования. Сбор данных об остаточных деформациях поверхности Земли также имеет большое практическое значение с точки зрения геологии, инженерной геологии, сейсмологии и инженерной сейсмологии. Даже данные о поведении предметов домашнего обихода ценны. Результаты их статистической обработки позволяют дать дополнительные практические рекомендации для обеспечения их сохранности.

3.2. Макросейсмическое поле в расширенном понимании

Понятие о макросейсмическом поле рассмотрено Н.В.Шеба-линым в его докторской диссертации [31]. В сейсмической литературе широко пользуются предложенным им уравнением макросейсмического поля, связывающим интенсивность землетрясения в баллах с магнитудой землетрясения, глубиной его очага и расстоянием от эпицентра землетрясения до рассматриваемой площадки на земной поверхности.

Под интенсивностью землетрясения им понимается обобщенная мера результатов воздействия землетрясения на поверхности Земли. Точнее интенсивность определяется поведением всей совокупности объектов на поверхности Земли, а точность ее определения зависит от размеров и представительности выборки объектов, используемых для этой цели. Интенсивность землетрясения измеряется в баллах по сейсмической шкале. Такой же точки зрения придерживаются Н.И.Онофрах и А.А.Роман. Ими сформулировано следующее определение:

“Макросейсмическим полем называется совокупность реакций объектов и субъектов на сейсмические волны, возбужденные землетрясением”.

Далее следует существенная оговорка. Подлежащий интерпретации экспериментальный материал состоит из поля сейсмических волн, зарегистрированных экспериментально в отдельных точках земной поверхности и макросейсмического поля, которое фиксируется всеми объектами на поверхности (и самой поверхностью) в окрестностях эпицентра.

Здесь мы приводим нашу попытку определения макросейсмического поля.

Под макросейсмическим полем понимаем множество событий в земной коре, в атмосфере и иносфере, вызванных подготовкой землетрясения и самим землетрясением с данными параметрами очага: координаты эпицентра, глубина очага, тип землетрясения, сейсмический момент, магнитуда, азимут положения разлома и пр.

Важной характеристикой макросейсмического поля является вектор смещения Земли как деформируемой среды.

Множество событий, связанных с землетрясением, подразделяются на три подмножества:

1. События, предшествующие землетрясению (подготовка землетрясения, предвестники, форшоки, свечение неба и пр.).

2. События, возникающие и исчезающие вместе с возникновением и прекращением землетрясения (преходящие события).

К таковым, например, относятся упругие составляющие колебания почвы, упругие составляющие смещения и реакции сооружений, звон колокола, дребезжание стекол и посуды, паника и пр.

3. События, возникающие во время землетрясения и в какой-то форме продолжающие существовать после него (остаточные события).

К таковым, например относятся остаточные деформации Земли, остаточные деформации в сооружениях, афтершоки, травмы, разбитые или опрокинутые предметы, записи измерительной техники и пр.

Таким образом, к макросейсмике мы относим не только наблюдения качественного порядка, как это обычно принято, но и всю совокупность инструментальных данных.

При сборе информации о событиях, вызванных землетрясением, не допускается опираться на сейсмические шкалы, эмпирические формулы, установленные для макросейсмического поля, на различные оценки и толкования событий, т.к. они могут привести к потере информации или к ее искажению.

Должны быть фиксированы факты и только факты. Фиксации событий и их интерпретации должны быть строго отделены. Информация, по идее, может быть только одна, интерпретации, где на ее основе могут строиться по-разному, в зависимости от индивидуальных особенностей исследователя, его взглядов и накопленного им личного опыта. Различные интерпретации одного и того же поля, конечно осуществленные на профессиональном уровне, и приводящие к совокупности экспертных оценок, полезны, т. е. на основе их анализа и обобщения могут быть получены результаты более приближающиеся к действительности. Макросейсмическое поле полностью включает в себя очаг землетрясения и всю зону его формирования. Границы макросейсмического поля определяются чувствительностью используемой аппаратуры, т. к. даже отдаленные от очага землетрясения записи, как показала практика, могут дать ценные сведения по данному полю.

При описании макросейсмического поля следует пользоваться системой карт различных масштабов и назначений.

Важно отметить на картах геологически однородные участки, положения разломов, однородные участки в инженерно-геологическом понимании, остаточные деформации земной поверхности, геофизические и геохимические поля, состояние атмосферы и ионосферы, расположение измерительной техники и пр.

События следует расчленить на однородные группы. Они должны рассматриваться как компоненты вектора событий в макросейсмическом поле.

Для каждого такого компонента должна быть составлена карта. Проблема разбивки событий на однородные группы должна быть тщательно разработана. Надо учесть, что чем крупнее группировки, тем более потеря информации, чем мельче группировки, тем объем работы и большую роль играют случайности. Поэтому проблеме подбора оптимальных группировок, удобных для последующих информационно-статистических обработок, должно быть уделено серьезное внимание. Необходимо специальное тщательное обследование и описание уникальных событий. Для крупных форшоков и афтершоков следует строить отдельные макросейсмические поля. Материалы макросейсмического поля должны охраняться особо тщательно. По мере получения новые геолого-геофизические данные, независимо от даты получения, должны добавляться к основному материалу.

Как указывалось выше, множество событий связанных с макросейсмическими проявлениями, можно подразделить на три четко выраженные подмножества:

1. События, предшествующие землетрясению.
2. События, сопутствующие землетрясению.
3. Остаточные события.

Причем некоторые события могут входить в обе и даже во все три группы, как, например, свечение неба.

Первое подмножество событий представляет наибольший интерес с сейсмопрогностической точки зрения, поэтому его можно назвать макросейсмическое поле или сокращенно сейсмопрогностичное поле. Как известно, это поле охватывает огромное количество событий на обширной территории, связанных с различными моментами формирования сейсмического очага до его полного созревания к моменту землетрясения. Это поле

доставляет материалы для долгосрочного, среднесрочного, краткосрочного и оперативного прогнозов.

В настоящей работе мы не будем останавливаться на проблемах, связанных с сейсмопрогностическим полем.

Из приведенной выше характеристики макросейсмического поля в расширенном смысле следует, что макросейсмические события, которые можно наблюдать в поле без приборов, занимают лишь относительно небольшую площадь, окружающую эпицентральную область. При развиваемой здесь точки зрения граница макросейсмического поля определяется чувствительностью приборов, регистрирующих то или иное событие. Таким образом, для землетрясения, скажем, магнитуды 7-8 макросейсмическое поле занимает весь Земной шар.

Необходимость такого расширения понятия макросейсмического поля объясняется тем, что можно получить ценные сведения о сейсмическом очаге сильного землетрясения и на очень удаленных расстояниях, где не только невозможно наблюдать поле без помощи приборов, даже наоборот, требуются приборы большой разрушающей силы.

Вторым важным расширением понятия о макросейсмическом поле является не только рассмотрение и изучение ее описательной части, но и инструментальная фиксация последствий сильных землетрясений.

При современном уровне развития науки трактовка макросейсмике как совокупность описательных данных давно уже устарела. Такое требование или такое понимание неизбежно приведет к искусственному снижению уровня научных исследований в области макросейсмике-дисциплины, изучающей проявления сильных землетрясений. Здесь в основном должны заниматься проблемой фиксации остаточных деформаций сооружений и поверхности Земли, как представляющих наибольший интерес с прикладной точки зрения.

Для четкого выяснения существа дела необходимо макросейсмические (включая инструментальные) данные привязывать к основной системе параметров очага землетрясения, а также к азимуту и эпицентральному расстоянию изучаемого объекта от очага землетрясения.

Вряд ли возможно считать, что эти параметры землетрясения достаточно совершенны. Они отражают современный уро-

вень наших знаний. В будущем, возможно, будут предложены более совершенные параметры, тогда интересующие нас макросейсмические данные будут привязываться к новым, более совершенным параметрам.

В настоящее время мы располагаем большим парком измерительной техники для фиксации сильных землетрясений и фиксации динамических характеристик зданий.

Развивается инженерно-сейсмологическая служба для записи акселерограмм сильных землетрясений, развивается инженерно-сейсмометрическая служба для фиксации динамических характеристик сооружений. В перспективе всевозможная инструментальная характеристика поведений грунтов и сооружений все более будет расширяться. Нет сомнения, что качественные характеристики сейсмических событий неизбежно будут переплетаться с их количественными характеристиками и их разделение при сильных сейсмических движениях вредно и бессмысленно.

Поэтому мы нашли необходимым в значительной мере расширить понятие о макросейсмическом поле.

3.3. О шкалах повреждений сооружений при сильных землетрясениях

Отказ от оценки интенсивности землетрясений по макросейсмическим данным на основе сейсмических шкал имеет огромное принципиальное значение для развития макросейсмологии как самостоятельной дисциплины, располагающей своей методикой, своими средствами исследований и своими целевыми установками.

Обследования должны быть по меньшей мере двух родов:

1. Детальное, всестороннее обследование единичных сооружений, представляющих особый интерес с той или иной точки зрения. К таковым сооружениям в первую очередь относятся сейсмометрические станции, представляющие собою сооружения, снабженные разнообразной сейсмоизмерительной техникой, для определения смещений, скоростей, ускорений, углов поворота, относительных деформаций и прочее. Должны также тщательно фиксироваться повреждения сооружений в целом, а также его элементов.

Эти фактические материалы макросейсмического поля в последствии должны быть подвергнуты анализу в поисках подходящих интерпретаций, для разработки практических методов расчета и проектирования сооружений на сейсмостойкость.

2. Массовое обследование сооружений, в основном зданий, сгруппированных по однотипности конструкций и этажностей, по упрощенной программе и методике.

Предлагается примерно следующая минимальная программа такого рода обследования:

- тип здания, этажность
- год постройки
- примененные нормы строительства
- упрощенная оценка качества строительства
- упрощенная оценка качества основания
- оценка интенсивности повреждений зданий в баллах

Остановимся на последнем вопросе несколько подробнее.

Оценка интенсивности землетрясения в баллах по интенсивности повреждений зданий, как показывает анализ, приводит к смешению различных понятий и путанице во взглядах [25,27].

Но мы полагаем весьма ценным ввести в рассмотрение шкалу интенсивности повреждений зданий в баллах при массовых обследованиях последствий землетрясений.

Такого рода шкалы можно получить из любой сейсмической шкалы, содержащей степени повреждения зданий, которые и могут быть приняты за баллы повреждений. Это можно увидеть во всех существующих шкалах, рассмотренных в главе II.

Н. Амбразис предложил следующую градацию степеней повреждения зданий при обследовании последствий землетрясения в Скопье [32].

1. степень - обрушено
2. степень - невозстановимо
3. степень - восстановимо
4. степень - легко повреждено
5. степень - без ущерба

Такого типа классификация удобна для строительно-восстановительных работ.

Здесь приведем макет шкалы повреждений зданий при землетрясениях на основе MSK-64 с добавлением нулевой степени

повреждений (предложение С. В. Медведева, И. А. Ершова, Е. В. Поповой и Н. В. Шебалина [28].

Шкала повреждений зданий в баллах

Балл	Степень повреждений	Краткая характеристика повреждений
0	Нет повреждений	
1	Легкие повреждения	Тонкие трещины в штукатурке и откалывание небольших кусков штукатурки
2	Умеренные повреждения	Небольшие трещины в стенах
3	Тяжелые повреждения	Большие и глубокие трещины в стенах, падение дымовых труб
4	Разрушения	Сквозные трещины и проломы в стенах, обрушения частей зданий, обрушение внутренних стен и стен заполнения каркаса
5	Обвалы	Полное разрушение зданий

Итак, предлагается шестибальная шкала повреждений зданий. Эта шкала не имеет ничего общего со шкалами интенсивности землетрясений в баллах.

Для многоэтажных зданий возможна оценка интенсивности повреждений в баллах для каждого этажа в отдельности.

Полученные баллы повреждений зданий подвергаются статистической обработке в зависимости от поставленной задачи. Можно предвидеть огромное многообразие проблем, связанных с установлением различных корреляционных связей, применением методов теории информации.

Для создания шкал повреждений большое значение имеет фиксация остаточных явлений, возникших при землетрясении.

В настоящее время накопилось довольно большое количество описаний остаточных деформаций и сопровождающих их явлений, вызванных землетрясением. Осуществление оценки балльности землетрясений по такого рода проявлениям на основе сейсмических шкал вряд ли могут привести к удовлетворительным результатам. На этом мы останавливались в предыдущих главах.

К значительно более устойчивым результатам можно прийти, если привязывать подобного рода явления к параметрам сейсмического очага, в первую очередь к магнитуде, а также к координатам земной поверхности. Для этой цели следует наносить наблюдаемые остаточные деформации и их последствия на системе карт различных масштабов в зависимости от детальности обследования.

Таким образом, приходим к следующим общим замечаниям.

Каждое разрушительное землетрясение приносит огромный ущерб народному хозяйству, исчисляемый во много сотен миллионов рублей. Вместе с тем при современной постановке обследовательских работ в области макросейсмического поля имеет место огромная утечка ценнейшей информации.

Поэтому не следует экономить средства на изучение последствий землетрясений. Большое внимание должно быть уделено сбору геологических, геофизических, инженерно-геологических и гидрогеологических данных как в зоне очага землетрясения, так и вдоль сейсмического луча от очага землетрясения до его выхода на дневную поверхность.

Необходимо организовать тщательно продуманную систему передвижных лабораторий для всестороннего изучения последствий землетрясения. Они должны быть снабжены оборудованием для исследований в полевых условиях конструкций и их фрагментов, для исследований инженерно-геологической и инженерно-геофизической обстановки в зоне разрушений.

Следовало бы организовать банк мировых данных по макросейсмическим полям в международном плане, хотя это и очень трудная задача.

До настоящего времени недостаточное внимание уделяется проблеме сейсмостойкости оборудования, в особенности технологически опасных предприятий (атомные станции, некоторые химические заводы и пр.).

Здесь требуется большая исследовательская работа, и макросейсмические данные в этом направлении должны сыграть большую роль.

О ВЫБОРЕ МЕРЫ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ И О ДАЛЬНЕЙШИХ НЕДОСТАТКАХ СЕЙСМИЧЕСКИХ ШКАЛ

4.1. Новая мера сейсмической интенсивности

Известно что поведение инженерных сооружений вполне определяется кинематическими характеристиками сейсмических колебаний на поверхности Земли и механическими свойствами сооружения и основания. Если протяженность сооружения в плане несколько раз менее длины сейсмической волны, то достаточно знать лишь вектор смещения площадки под сооружением в функции от времени.

Однако при землетрясении в принципе безразлично записываем $y_0(t)$ (сейсмограмма), $\dot{y}_0(t)$ (велосигграмма), или $\ddot{y}_0(t)$ (акселерограмма). Они переходят друг в друга дифференцированием или интегрированием. В дифференциальных уравнениях колебаний зданий и сооружений всюду входят ускорения почвы. Учитывая неточности записи приборов и неизбежное возникновение ошибок при численных операциях дифференцирования и интегрирования, целесообразно для инженерных целей непосредственно получать ускорение грунта при землетрясении $\ddot{y}_0(t)$, т.е. — акселерограммы. В пользу этого говорит еще и то обстоятельство, что при записи сильных движений грунта акселерографы работают более надежно и более точно.

Итак, за меру сейсмической интенсивности в данной точке, точнее на данной площадке, следует принимать ускорение в функции от времени непосредственно из акселерограммы. Эта мера не обладает свойством обычных мер, к которым мы привыкли (меры длины, времени, веса, температуры и т.д.), но она полностью и однозначно определяет поведение сооружения, лишь были бы известны механические свойства материалов сооружения и грунта в окрестности его фундамента.

Принятая здесь мера интенсивности землетрясения является строго количественной мерой, содержащей в своей основе принципы механики твердых деформируемых тел и, конечно, имеет неоспоримые преимущества перед баллами сейсмической шкалы.

Итак, окончательно сформулируем: *мерой сейсмической интенсивности на данной площадке земной поверхности является вектор ускорения грунта в функции от времени.*

Если трактовать землетрясение как случайный процесс, то мерой сейсмической интенсивности на данной площадке земной поверхности является случайный вектор ускорения грунта в функции от времени.

Если акселерограммы всех трех компонентов ускорения грунта при различных землетрясениях на данной площадке рассматривать как отдельные реализации случайного вектора ускорений, то чем большим количеством акселерограмм будем располагать, тем более точное представление у нас сложится о случайном векторе ускорений грунта в функции от времени.

Не исключена целесообразность рассматривать вероятностные свойства случайного вектора ускорений на данной площадке от каждого потенциально возможного очага землетрясения в отдельности.

В случае необходимости более строгого решения задачи с учетом волнового характера распространения сейсмического возмущения достаточно функцию $y(t)$ заменить функцией $y(t-x/C)$, где C поперечная скорость распространения сейсмического возмущения.

Таким образом, в принципе разрешима любая задача теории сейсмостойкости, как бы сложна она ни была. В настоящее время нет возможности ее точного решения из-за неполноты наших знаний о механических свойствах грунтов и материалов сооружений при сложном напряженном состоянии. Но принятие за основу предлагаемой меры сейсмической интенсивности будет способствовать прогрессу наших знаний.

При современном уровне знаний землетрясение вынуждены рассматривать как некоторый случайный процесс. Поэтому для данной площадки следует располагать набором записей землетрясений в функции от времени. Этим набором записей возможно распорядиться различными способами:

1. Осуществлять расчет сооружений на основе стохастической теории сейсмостойкости.

2. В особо ответственных случаях использовать набор записей землетрясений для расчета сооружений по методу огибающих т.е. по каждой записи расчет осуществляется отдельно и для каждого элемента сооружения принимается наибольшее расчетное усилие [34].

Было бы идеально, если бы мы располагали возможностью указать для заданной площадки полный набор ожидаемых акселерограмм сильных землетрясений от всех возможных очагов, в сфере действия которых находится это площадка. На основе такого набора можем в принципе решать любую проблему сейсмостойкости сооружений. В этом идеальном случае полностью отпадает надобность в сейсмической шкале, в сейсмическом районировании и микрорайонировании в обычном смысле. Отсюда важный вывод что надобность в сейсмической шкале возникает лишь из-за неполноты имеющейся у нас информации о сейсмической активности.

Новая мера сейсмической интенсивности позволяет решать проблемы инженерной сейсмологии следующим образом.

Проблема сейсмического районирования.

В каждом данном пункте сильные землетрясения происходят редко. Поэтому набор фактического материала осуществляется крайне медленно. Приходится прибегать к косвенным приемам и принимать в той или иной форме метод аналогии.

Этот путь неизбежен при современном состоянии сейсмологии. По установившейся традиции, мы вынуждены исходить из той гипотезы, что для данной площадки максимальные интенсивности будущих землетрясений примерно таковы же, как и прошлых землетрясений [1].

Положим теперь, что для данной строительной площадки требуется установить набор акселерограмм сильных землетрясений. Для этой площадки на основе анализа сейсмотектонических условий устанавливаем возможные ближайшие очаги землетрясений, с указанием глубины очага, максимальной магнитуды, расстояния от эпицентра до площадки, геологических особенностей на пути сейсмического луча от очага до площадки, а также инженерно-геологические особенности самой площадки.

Из мирового каталога акселерограмм сильных землетрясений подбираем акселерограммы тех землетрясений, параметры которых хотя бы грубо приблизительно удовлетворяют поставленным требованиям. В результате получим необходимый для наших целей набор акселерограмм. Конечно, было бы значительно точнее, если мы учитывали и возможные структурные особенности сейсмического очага, а также его ориентацию относительно рассматриваемой площадки. Но такое уточнение не доступно в современных условиях. В большинстве случаев на практике наверное не удастся достаточно компетентно ставить условие о геологической тождественности трассы, сейсмического луча по материалам каталога и для рассматриваемой площадки. Для начала можно удовлетвориться грубой идентификацией геологических условий. Например, учет крупного разлома на пути сейсмического луча, подчас существенно снижающего сейсмический эффект. На такой основе можно составить карту сейсмического районирования. На этой карте будут указаны опорные пункты, для которых получен указанным выше путем набор акселерограмм, характеризующий сейсмическую активность этих пунктов.

Не останавливаемся далее на других вопросах сейсмического районирования. Укажем лишь, что с той или иной степенью точности можно использовать существующие методы сейсмического районирования с той модификацией, что вместо балльности будут выданы акселерограммы.

Считаем возможным поставить на обсуждение вопрос о разбиении всех сейсмогенных зон нашей планеты на классы зон, объединенных между собою родственностью сейсмотектонических структур. Проблема эта, очевидно, разрешима с позиций метода аналогии. При этом условии появляется возможность условно считать, что каждое землетрясение, возникшее в какой-либо сейсмической зоне данного класса, возникло также во всех остальных сейсмических зонах этого класса. Такой подход будет способствовать ускорению накопления сейсмических фактов на более строгой сейсмотектонической основе.

Проблема сейсмического микрорайонирования.

Она заключается в следующем: известен набор записей землетрясений в опорных пунктах, в соответствии с сейсмическим районированием - требуется определить набор записей для

рассматриваемого пункта с учетом его локальных геологических особенностей. Этот вопрос в принципе возможно разрешить путем эмпирических, сочетания эмпирических и теоретических, а также только теоретических исследований.

Таким образом, речь идет о создании некоего оператора, эмпирического, полуэмпирического или даже чисто теоретического, который позволил бы преобразовать записи смещений грунта опорного пункта в запись смещения грунта рассматриваемого пункта. Здесь предстоит рассмотреть ряд серьезных вопросов, но нет сомнения в возможности хотя бы их приближенного разрешения.

Следовательно, принятая мера интенсивности землетрясений позволяет в принципе разрешить все задачи, связанные с сейсмическим районированием, сейсмическим микрорайонированием и расчетом сооружений на сейсмостойкость. Рассматриваемая мера сейсмической интенсивности объединит работы исследователей и практиков всех необходимых специальностей по вполне определенному руслу, что будет способствовать прогрессу инженерной сейсмологии и теории сейсмостойкости.

4.2. Упрощенная мера сейсмической интенсивности

Если бы все сооружения представляли собою системы с одной степенью свободы и деформировались только в линейно-упругой области, то есть представляли собою линейные осцилляторы, то спектр приведенных сейсмических ускорений можно рассматривать как идеальную меру сейсмической интенсивности. Тогда все вопросы, связанные с расчетом и проектированием таких сооружений для сейсмических районов, разрешались бы просто и точно. На основе этого в свое время А. Г. Назаровым был предложен маятниковый сейсмометр. Сущность этого предложения заключалась в следующем.

Многомаятниковый сейсмометр представляет собою серию упругих маятников, снабженных затуханием, наиболее распространенным в сооружениях и записывающим свои колебания при землетрясениях с помощью острого иглы по закопченному стеклу. После землетрясения фиксируются по записям максималь-

ные отклоненные положения маятников. На основе полученных данных вычисляются приведенные сейсмические ускорения. Далее по оси абсцисс откладываются периоды свободных колебаний маятников T , а по оси ординат отвечающие им приведенные сейсмические ускорения τ . По отлаженным точкам строится кривая спектра приведенных сейсмических ускорений.

Полученные спектральные характеристики используются для записи землетрясений начиная с интенсивности 3 балла и выше, для изучения сейсмозрывных волн, для сейсмического микро-районирования и проч.

При появлении ЭВМ значение многомаятниковых сейсмометров снизилось, т.к. появилась возможность прямого использования акселерограмм, информативность которых значительно больше и с помощью которых можно решать все задачи инженерной сейсмологии и сейсмостойкого строительства. В частности, из акселерограмм можно вычислить и спектры приведенных сейсмических ускорений.

Если бы многомаятниковые сейсмометры не требовали никакого ухода и надзора из-за старения демпферных устройств, коррозии, отвердевания копоти на стекле и пр., так что после установки можно было просто оставить до возникновения сильного землетрясения, то они были бы весьма ценными и в современных условиях.

Приборы эти, будучи установленными поблизости от зданий или в их основании, дали бы ценный массовый материал по упрощенной характеристике интенсивности землетрясений.

Упрощенная характеристика интенсивности землетрясений с помощью спектров приведенных сейсмических ускорений, как будет видно впоследствии не потеряла своей ценности и по настоящее время для проектирования сейсмостойких сооружений, а также как вспомогательное средство при обработке и анализе акселерограмм.

4.3. Другие недостатки сейсмических шкал

В главе I мы рассмотрели некоторые недостатки сейсмической шкалы MSK-64. Теперь после установления новой меры сейсмической интенсивности мы получили возможность более

глубоко подойти к этому вопросу

1. *Сейсмическая шкала не является мерой сейсмической интенсивности.*

Все описательные признаки, приведенные в сейсмической шкале, являются последствиями, подчас весьма сложной природы, вызванными к жизни кинематическими характеристиками землетрясения, принятыми нами за меру сейсмической интенсивности.

В сейсмической шкале даются характеристики различных признаков, определяющих интенсивность последствий землетрясения, а не самого землетрясения. Говоря языком математики надо решать обратную задачу, чтобы по интенсивности различных последствий землетрясения определить интенсивность самого землетрясения. Структура признаков такова, что при попытке решения обратной задачи мы получим целый класс различных интенсивностей землетрясения, т.е. получим многозначный ответ для поставленной обратной задачи.

Формально, даже по наиболее солидным признакам, по остаточным деформациям зданий не можем решать обратную задачу, т.е. дать оценку интенсивности землетрясения, поскольку в шкале вовсе не указаны механические характеристики примененных строительных материалов.

Если такие данные будут иметь место, то получим возможность установить лишь большой класс довольно сильно различающихся друг от друга землетрясений, вызвавших данные остаточные эффекты в стенах зданий.

Более точную картину, наверное, можно будет получить для кинематических характеристик землетрясений, если будем рассматривать большой набор поврежденных зданий различных конструкций, различных этажностей и при различных строительных материалах, входящих в них. При таком способе многозначность полученных решений может быть значительно сокращена. Но это потребует титанической работы.

Обратная задача в более строгой математической постановке может быть решена для зданий, предпочтительно простой конструкции, если на них установить, в различных точках, сейсмические приборы в ждущем режиме. По полученным данным можно установить, возможно однозначно, закон колебаний основания при землетрясении. Но проще в этом случае непос-

редственно записать колебания почвы, для чего потребуется гораздо меньшее количество приборов и получить более точные результаты.

Тем не менее появляется потребность решения различного рода обратных задач, в особенности по историческим памятникам, подвергшихся землетрясениям в далеком прошлом.

Но твердо следует помнить, что нельзя прямые результаты последствий землетрясения принимать за интенсивность землетрясения.

2. Органический недостаток сейсмических шкал.

Этот недостаток, связанный с самой структурой сейсмической шкалы, заключается в том, что под наименованием одного и того же балла понимаются совершенно различные интенсивности землетрясения.

Например, 7 баллов в эпицентральной зоне качественно отличны от 7 баллов при землетрясении в 12 баллов в эпицентральной зоне.

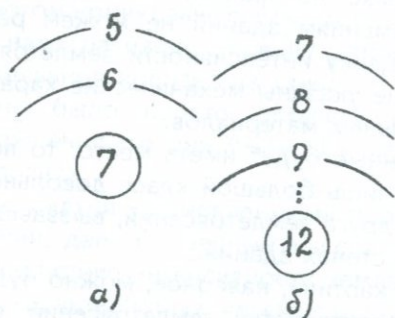


Рис. 4.1. Изосейсты 7 и 12-балльных землетрясений (показаны схематично).

7 баллов (рис 4.1.а) характеризуется акселерограммой с более высокой частотой и малой продолжительностью, а 7 баллов (рис.4.1.б) характеризуется акселерограммой с более низкой частотой и большой продолжительностью.

Таким образом, 7 баллов (рис. 4.1.а и 4.1.б) имеют совершенно различные меры интенсивности. Более того, можно утверждать, что меры интенсивностей землетрясений изосейстах 7

и 8 баллов 12-балльного землетрясения менее различаются между собою нежели мера интенсивностей 7-балльных землетрясений.

Таким образом, различия в смежных баллах могут быть менее, чем в пределах одного балла. Чем меньше балльность землетрясений тем больший разброс имеется в их кинематических характеристиках. Например, землетрясение интенсивностью в 1 балл имеет 12 различных модификаций, поскольку они лежат на 12 различных изосейстах. Землетрясение интенсивностью I имеют 13-I различных модификаций. Интересующие нас землетрясения в 6, 7, 8 и 9 баллов имеют соответственно 7, 6, 5 и 4 различных модификаций. Это разнообразие увеличивается, если учесть различия в глубинах очагов.

Этим, в числе других причин, может быть объяснен огромный диапазон изменения кинетических параметров (во много десятков раз), особенно при слабых землетрясениях.

Указанный дефект носит органический характер и связан с выбором структуры шкалы. Понимание под одним и тем же баллом смещений грунта с широким диапазоном изменений амплитуд и периодов приводит к большому, ничем не оправданному разбросу реальных мер интенсивности землетрясений отнесенных к одному и тому же баллу, формально принятому за меру интенсивности.

3. Дополнительные затруднения в пользовании сейсмической шкалой в современных условиях.

В какой-то мере, при некоторых существенных ограничениях, шкалу интенсивности землетрясений можно подменить шкалой повреждений построек, вызванных землетрясением. Действительно, представим себе идеальный случай, когда все постройки в точности одинаковы и выполнены из тождественных материалов одинаковой прочности. Тогда между интенсивностью землетрясений в области периодов свободных колебаний, приближающихся к периоду свободных колебаний построек, можно будет установить некоторое однозначное соответствие, хотя бы в статистическом смысле. На протяжении столетий, до начала XX в., типы построек относительно мало изменялись — они были достаточно однообразны. В массе они были малоэтажными, что также способствовало устойчивости их механических характеристик.

Собственно говоря, эти обстоятельства и позволили совместить шкалу интенсивности землетрясений со шкалой повреждения построек достаточно грубо, но все же оправдано.

В XX веке во все ускоряющемся темпе строительства происходили крупные изменения в технологии строительных материалов, технологии строительных работ, в создании новых конструктивных форм зданий, в значительном повышении количества этажей, вследствие чего значительно расширился спектр динамических и прочностных характеристик зданий, и поэтому в настоящее время труднее осуществлять оценку балльности по повреждениям построек, так как шкала интенсивности землетрясений может теперь сильно расходиться со шкалой повреждения зданий.

Усложняющим моментом также является то обстоятельство, что здания, поврежденные предыдущим землетрясением, большей частью не подвергаются основательному ремонту. Они встречают новое землетрясение уже ослабленными. Следовательно, оценка интенсивности нового землетрясения может оказаться завышенной.

В действительности положение дел с оценкой интенсивности землетрясений еще сложнее. Суть в том, что, пользуясь опытом разрушительных землетрясений, строители научились воздвигать сейсмостойкие здания. Во многих сейсмических районах сейсмостойкие здания уже теперь вытесняют здания несейсмостойкие. В новых поселках и городах в сейсмических районах даже не знакомы с несейсмостойкими зданиями.

Поэтому сейсмические шкалы, в своих описаниях опирающиеся на повреждения несейсмостойких зданий, постепенно становятся непригодными для оценки интенсивности землетрясений.

4.4. О вреде тенденций "совершенствования" сейсмических шкал

Сейсмическая шкала служит мерой для оценки интенсивности землетрясений. Если мы изменяем сейсмическую шкалу, то этим самым изменяем меру. Даже для такой элементарной задачи, как измерение длины, переход от одной шкалы измерений к другой, скажем от аршина к метру, вызывало огромное

количество трудностей, несмотря на достаточную простоту и четкость поставленной задачи.

При совершенствовании же сейсмической шкалы в большинстве случаев нет возможности устанавливать переходные коэффициенты. Не всегда возможно даже установить, в лучшую сторону изменена сейсмическая шкала или в худшую. Это значит, что чем чаще будем "совершенствовать" сейсмические шкалы, тем более будем терять преемственность в накоплении опыта сейсмостойкого строительства.

Короче, сейсмическая шкала является нестабильной мерой постепенно приходящей в негодность из-за прогресса строительства, прогресса сейсмостойкого строительства, к которым шкала совершенно не приспособлена.

На этом фоне представляются странными суждения некоторых специалистов о возможности создания на кибернетических началах самосовершенствующихся сейсмических шкал с точностью до долей балла.

Теперь остановимся на вопросе определения сейсмической интенсивности вообще. В работе [28] Н.В.Шебалин пишет: "Вряд ли можно найти в сейсмологии да и в современной науке вообще другой термин, который допустил бы различное отношение к себе и столь же различное толкование, как термин "интенсивность". Интенсивность есть нечто, относящееся к масштабам проявления землетрясения на поверхности Земли и оцениваемое по шкале интенсивности". Далее он пишет: "Под интенсивностью землетрясения правильнее всего понимать обобщенную меру результатов воздействия землетрясения на поверхности Земли. По смыслу этого определения не может существовать никакого инструмента или прибора для определения интенсивности: интенсивность определяется поведением всех в совокупности объектов на поверхности Земли, а точность ее определения зависит от размеров и представительности выборки объектов, используемых для этой цели".

Если дальше углубиться в толкование этого термина, можно обнаружить две основные тенденции. Согласно одной из них интенсивность есть мера действия сейсмических волн на поверхности Земли, согласно второй интенсивность есть мера результата этого действия.

Наша точка зрения - мерой интенсивности являются его кинематические характеристики - относится к первой тенденции.

Точка зрения Н.В.Шебалина относится ко второй тенденции. Для наглядного сопоставления этих точек зрения приводим простейшие мысленные эксперименты.

Пример 1. Рассмотрим вертикально стоящий брус с грузом на конце и жестко заделанный в скалу. Пусть под воздействием землетрясения верхний конец бруса прогнется на величину f_1 . Изменим жесткость этого бруса. Под воздействием того же землетрясения его прогиб будет другой, скажем f_2 . Если $f_2 > f_1$, то, по мнению Н.В.Шебалина, интенсивность землетрясения более, нежели в первом случае, а если $f_2 < f_1$ интенсивность землетрясения менее в первом случае. В действительности же, поскольку мы имеем в обоих случаях дело с одним и тем же землетрясением, т.е. его кинематические характеристики не меняются, то речь может идти лишь о том, что интенсивность землетрясения в обоих случаях была одна и та же. Эта наша точка зрения.

Пример 2. Рассмотрим геологически однородный участок, застроенный одноэтажными зданиями одинаковой прочности. Поведение их будет тождественное, скажем, они не разрушались. Мы объявим, что макросейсмическое поле было однородным.

Положим теперь, что на одной половине села, скажем левой, построены те же здания качественно, а на правой половине не качественно. Тогда при том же землетрясении левая половина села полностью сохранится, а правая половина села пострадает. Со второй точки зрения интенсивность землетрясения в правой части села была более, нежели в левой части.

Положим теперь, что на том же однородном участке построены здания прочные и менее прочные вперемешку. В результате того же землетрясения вперемешку будут уцелевшие и не уцелевшие здания. Придерживаясь второй точки зрения, мы будем вынуждены объявить, что макросейсмическое поле было неоднородно.

Пример 3. В настоящее время находят эффективные методы защиты сооружений с помощью специальных демпфирующих устройств, монтируемых в зданиях или в их основаниях, существенно снижающих сейсмический эффект.

Со второй точки зрения, надо положить, что в результате этого мероприятия интенсивность землетрясения снизилась.

Таким образом одно и то же событие (землетрясение) оценивается по-разному в зависимости от различия в поведении объектов под воздействием рассматриваемого события.

Такого рода оценки неправильны и не имеют ни научной, ни практической ценности и неминуемо должны приводить к путанице взглядов.

В частности, индивидуальные свойства строительных бригад, из которых одни строят качественно, другие не качественно воздействуют на оценку интенсивности землетрясения со второй точки зрения.

Развивая эту мысль далее, приходим к заключению, что на оценку интенсивности землетрясений влияет уровень работы архитектурных мастерских и проектных организаций и даже личный вкус руководителей населенных пунктов.

Вот к каким несообразностям можно прийти, если интенсивность следствия подменяет интенсивность причины.

В результате приходим к следующим выводам.

1. Сейсмические шкалы непригодны для оценки интенсивности землетрясений, так как слишком грубы и не отвечают современному уровню развития науки.

2. С точки зрения механики сплошных сред, мерой интенсивности землетрясений являются статистически заданные кинематические характеристики сейсмического возмущения.

3. Для большинства случаев можно принять за упрощенную меру сейсмической интенсивности случайный вектор смещений или ускорений в функции от времени. Еще более упрощенной мерой интенсивности землетрясения является случайный спектр приведенных сейсмических ускорений.

Глава V

СЕЙСМИЧЕСКИЕ ШКАЛЫ НА КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОСНОВЕ

5.1. Шкала по ускорениям колебания грунта

Анализ существующих шкал интенсивности показывает, что сейсмическая шкала должна быть коренным образом перестроена, чтобы она могла удовлетворять современным требованиям строительства. В итоге пришли к выводу продолжать систематическую работу по поиску и развитию совершенных методов определения характеристик интенсивности землетрясений и вместе с тем в первую очередь, насколько возможно, улучшить существующие сейсмические шкалы в их количественной части. Улучшения эти осуществлялись в следующих основных направлениях: предпочтение отдавать количественным характеристикам землетрясений. Как таковые были приняты ускорения поверхности Земли при землетрясениях различных балльности, показания сейсмометра СБМ и показания многомаятникового сейсмометра.

Для достижения поставленной цели было собрано и проанализировано около 200 акселерограмм землетрясений, которые использовались в качестве исходного материала¹.

Естественно в начальной стадии составления шкалы на количественной основе необходимо сохранять преемственность со существующими шкалами на макросейсмической основе. Поэтому акселерограммы группировались по баллам по шкале MSK-64.

При этом акселерограммы, взятые из альбомов землетрясений Японии и США, были переведены на шкалу MSK-64. Затем акселерограммы перегруппировали, т. е. были отнесены к низ-

¹Исходный материал, методы его обработки и анализ результатов подробно приведены в работе [25]

шему или высшему баллу на основе визуальных сопоставлений их спектров реакций (спектров приведенных сейсмических ускорений). Далее из каждой акселерограммы, приписанной данному баллу, выписывалось максимальное значение ускорений. Если баллам по макросейсмическим признакам шкалы MSK-64 и баллам по спектрам реакции будут отвечать примерно одинаковые интервалы максимальных ускорений, то понятие балл по макросейсмическим признакам и балл по спектрам реакций и отвечающим им акселерограммам должны быть достаточно близки друг к другу.

Для всего количества акселерограмм вычислялись спектры реакций при разных декрементах затухания. полученные значения максимальных ускорений грунта и спектров реакций были подвергнуты статистическому анализу, вычислены средние величины, средне-квадратичные отклонения и другие вероятностные параметры. В итоге пришли к следующей сейсмической шкале, построенной на основе инструментальных данных (табл. 5.1).

Таблица 5.1

Шкала по параметрам колебаний на поверхности Земли

Интенсивность в баллах	Интервалы максимальных ускорений грунта в см/сек ²	Интервалы максимальных смещений центра тяжести маятника сейсмометра СБМ в мм
6	31,25 - 62,5	0,85 - 1,7
7	62,5 - 125	1,7 - 3,4
8	125 - 250	3,4 - 6,8
9	250 - 500	6,8 - 13,6

Примечание к табл. 5.1¹

1. В интервалы изменения ускорений попадают порядка 70%, менее нижних и более верхних границ порядка 15% всех землетрясений данного балла.

¹ Данные табл. 5.1 не совпадают с результатами, приведенными в [28] из-за дополнительной обработки нового инструментального материала по сильным землетрясениям.

2. В интервалы изменения смещений маятника СБМ попадают порядка 60%, менее нижних и более верхних границ порядка 20% всех землетрясений данного балла.

3. Для получения величины смещения острия иглы маятника сейсмометра СБМ необходимо приведенные величины умножить на отношение длины маятника до острия иглы к длине маятника до центра груза.

5.2. Оценка интенсивности землетрясений по спектрам реакции

Как было отмечено, балльность землетрясений может быть определена по максимальному отклонению маятника СБМ с периодом колебаний 0,25 сек. и с декрементом затухания 0,5. Однако не трудно убедиться, что смещением маятника можем определить меру воздействия землетрясения на сооружения, если они будут идентичны с маятником, так как только в этом случае приведенные ускорения для сооружения и одномассового маятника будут одинаковы.

Показанием одномаятникового сейсмометра можно будет определить силу землетрясения и в том случае, когда ординаты сейсмограмм разных землетрясений отличаются лишь постоянными множителями. Тогда мы могли бы раз и навсегда определить приведенные сейсмические ускорения, отвечающие различным периодам свободных колебаний и декрементом затуханий с помощью инструментальных исследований какого-либо одного землетрясения. Далее путем ввода поправочного коэффициента, можем оценить силу других землетрясений. Ясно, что сейсмограммы землетрясений сильно отличаются друг от друга, и, следовательно, таким путем определить их интенсивность не сможем. Так или иначе введение динамических параметров одномаятникового сейсмометра СБМ для определения балльности землетрясений является прогрессивным шагом с точки зрения установления количественных мер оценки интенсивности землетрясений.

Естественно, для более точного определения балльности следует землетрясение характеризовать спектральной кривой приведенных сейсмических ускорений (спектров реакции).

Но к этому можно прийти составлением сейсмической шкалы с помощью спектров реакции с использованием инструментальных данных о землетрясениях. Такая шкала более обобщенная и совершенная по сравнению со шкалой по показаниям сейсмометра СБМ. Сущность такого подхода заключается в следующем. Предположим имеем n -ое количество акселерограмм прошлых землетрясений. Вычисляем для каждого землетрясения спектр реакции при конкретном декременте затухания и в итоге получаем n спектров реакции. Далее полученные спектры группируем по их интенсивности, тем самым группируя акселерограммы. В данную группу относим те спектры, которые по заданной степени близки друг к другу.

В результате получаем отдельные группы, составленные из определенного количества спектров приведенных ускорений. Для этих групп в отдельности проводим нижнюю и верхнюю огибающие и тем самым получаем зоны, которым можем приписать соответствующие балльности. Эти зоны можно будет построить на основании средних спектров при выборе определенной ширины вилки для данной зоны и т. д. При достаточно точном решении задачи верхняя граница нижней зоны должна совпадать с границей последующей зоны. Однако ясно, что не всегда это может иметь место из-за большого разброса между спектрами данной группы, различия грунтовых условий, эпицентрального расстояния землетрясений и из-за других факторов.

Таким образом, имея определенные зоны, сразу после землетрясения по акселерограмме вычисляем спектр приведенных сейсмических ускорений, после чего устанавливаем, в какую зону попадет полученный спектр, и на основе этого определяем балльность данного землетрясения.

В такой постановке задачу можно было решать вполне отвлеченно на стохастической основе, не зная заранее ничего о записях землетрясений. Однако это можно будет осуществлять в том случае, если мы располагаем достаточно большим количеством инструментального материала. При наличии такого материала мы заранее могли бы сгруппировать землетрясения, в зависимости от эпицентрального расстояния, глубины очага, грунтовых условий и т.д. Но из-за отсутствия достаточного материала решить эту задачу строго, как ставится здесь, не сможем. Поэтому мы вынуждены в начальной стадии составления сейсмической

шкалы с помощью спектров реакции в максимальной мере использовать данные по сейсмическим шкалам на макросейсмической основе.

Попробуем по изложенному здесь методу составить шкалу для определения балльности землетрясений. Исследования показали, что помимо спектральных характеристик землетрясений большое значение имеет классификация акселерограмм землетрясений по их частотным характеристикам. При их стандартизации необходимо в одну группу собрать акселерограммы, имеющие более или менее близкие преобладающие периоды колебаний, в противном случае могут быть получены зоны большой ширины, т.е. может иметь место искусственное увеличение параметров шкалы. Это необходимо в основном потому, что по своей структуре спектры реакции для землетрясений с меньшим преобладающим периодом заметно отличаются от спектров ускорений для землетрясений с большим преобладающим периодом.

При составлении шкалы интенсивности мы остановимся на единственной предпосылке, что разброс спектров реакции не очень велик и можно провести осредненные огибающие на основе статистического анализа данных с соответствующими доверительными границами.

Однако не исключена возможность, что разброс окажется большим, то есть некоторые спектры реакции, отвечающие низшей балльности, будут налагаться на зону последующей балльности и наоборот. В этом случае нельзя характеризовать балльность землетрясения одним числом. Тогда возникает необходимость характеризовать интенсивность землетрясения несколькими числами, то есть несколькими спектрами реакции, построенными для разных периодов колебаний. Исходя из объема инструментального материала, имеющегося в нашем распоряжении, акселерограммы данной группы мы разделили на две части по преобладающим периодам. Акселерограммы землетрясений с

преобладающим периодом $T_0 < 0.6$ сек. определили в одну группу, а акселерограммы землетрясений с преобладающим периодом $T_0 \geq 0.6$ сек. в другую группу. Необходимо отметить, что при разделении землетрясений по преобладающим периодам могут иметь место отдельные неточности, так как возможен случай одновременного присутствия коротких и длинных периодов, что может случиться в ближних зонах сильных землетрясений.

Таким образом, при такой классификации для данной балльности вместо одной шкалы мы получим две: шкала для короткопериодных землетрясений ($T_0 < 0.6$ сек.) и шкала для длиннопериодных землетрясений ($T_0 \geq 0.6$ сек.). В итоге полученные средние спектры приведенных ускорений для указанных двух типов землетрясений, которые приведены на рис. 5.1 и 5.2. На этих рисунках средние спектры для землетрясений в 9 баллов не приводятся из-за недостаточности инструментального материала, для них балльность определили с помощью коэффициента перехода.

После разделения акселерограмм по преобладающим периодам вычисляли среднеквадратичные отклонения для каждого значения приведенных ускорений и тем самым по этим отклонениям определяли ширину вилки для каждого балла. Границы зон шкалы для разных балльностей можно было определить также по огибающим спектрам данной группы или по средним спектрам с выбором соответствующей ширины вилки.

Исследования показали, что границы зон, определенные по этим двум методам, примерно совпадают при ширине вилки равной 2.1-2.2 [25].

На основании статистического анализа полученных спектров приведенных сейсмических ускорений, анализом их гистограмм и среднеквадратических отклонений установили, что ширина вилки может быть принята равной двум. В итоге получена шкала интенсивности, приведенная в табл. 5.2.

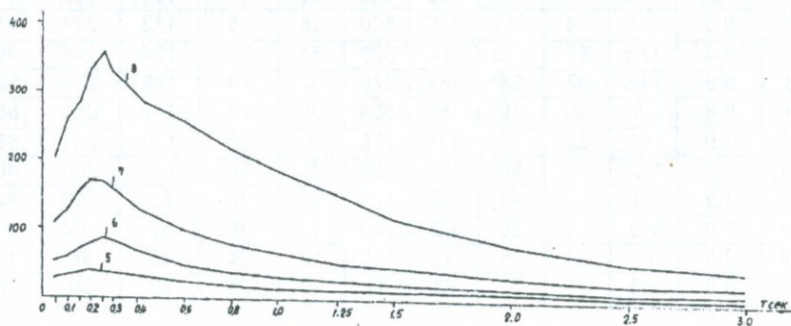


Рис. 5.1. Средние спектры приведенных сейсмических ускорений при $\delta=0.5$ для землетрясений разной интенсивности с периодами $T_0 < 0.6$ сек.

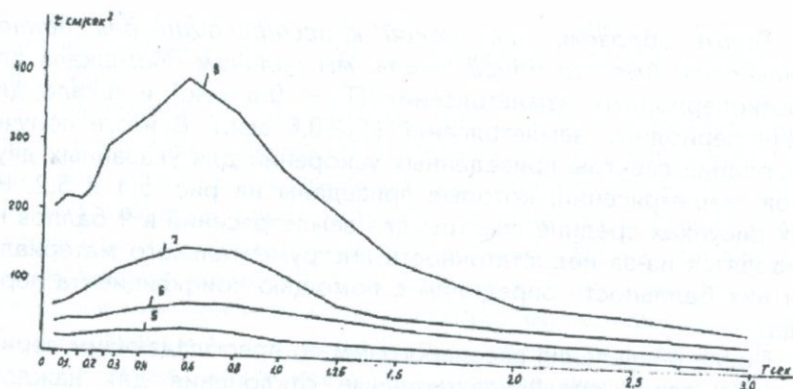


Рис. 5.2. Средние спектры приведенных сейсмических ускорений при $\delta=0.5$ для землетрясений разной интенсивности с периодами $T_0 \geq 0.6$ сек.

Таблица 5.2

Окончательная шкала по спектрам реакции

		Землетрясения с $T_0 < 0.6$ сек.					Землетрясения с $T_0 \geq 0.6$ сек				
N n \ n	Балл	5	6	7	8	9	5	6	7	8	9
	T										
1	0.05	27.5	55	110	220	440	20	40	80	160	320
2	0.1	31.5	63	126	252	504	22.5	45	90	180	360
3	0.15	39.5	79	158	316	632	23	46	92	184	368
4	0.2	40	80	160	320	640	23.5	47	94	188	376
5	0.25	41.5	83	166	332	664	26	52	104	208	416
6	0.3	39	78	155	310	620	28	56	112	224	448
7	0.4	32.5	65	130	260	520	31	62	124	248	496
8	0.6	23.5	47	94	188	376	37	74	148	296	592
9	0.8	19	38	76	152	304	35	70	140	280	560
10	1.0	16	32	64	128	256	30	60	120	240	480
11	1.25	12.5	25	50	100	200	25	50	100	200	400
12	1.5	11	22	44	88	176	20	40	80	160	320
13	2.0	7.5	15	30	60	120	13	26	52	104	208
14	2.5	6.5	13	25	50	100	12	24	48	96	192
15	3.0	5.5	11	22	44	88	10	20	40	80	160

Примечание: В табл. 5.2 даны средние значения приведенных сейсмических ускорений. Для получения нижней и верхней границ изменения ускорений следует их величины умножить соответственно на 0.667 и 1.333.

Полученная здесь шкала интенсивности по спектрам реакции, безусловно, в дальнейшем может быть уточнена с накоплением большого количества инструментальных данных и, следовательно, при более точной классификации группировки акселерограмм. При этом, как показывают исследования, дальнейшее увеличение числа акселерограмм уточнит лишь границы полученных зон и вряд ли даст качественные изменения в этих результатах.

Следует отметить, что сейсмическая шкала интенсивности по спектрам приведенных ускорений, полученная здесь, имеет определенные преимущества. Во-первых, она легко вычисляется и имеет заметные удобства для использования; во-вторых, спектры, разграничивающие различные балльности, могут быть применены для расчета сооружений при сейсмических воздействиях; в-третьих, с помощью полученных спектров можно произвести расчет сооружений на основе стохастической теории и т. д.

Таким образом, для определения балльности по спектрам реакции необходимо вычислить для данного землетрясения его спектр приведенных сейсмических ускорений и наложением на шкалу посмотреть, в какую зону попадает вычисленный спектр. Осуществим предложенный прием для некоторых землетрясений, которые не были использованы при составлении шкалы. Это одновременно является контрольным вариантом для установления точности полученной шкалы.

С этой целью вычисляли спектры реакции для шести землетрясений при декременте затухания $\delta = 0,5$ (список этих землетрясений приведен в табл. 5.3). Для Спитакского землетрясения спектр реакции вычленен по записи, полученной в С. Гукасян.

Для указанных землетрясений спектры приведенных ускорений приведены в табл. 5.4.

Список использованных землетрясений

N.N п/п	Место или район землетрясений	Дата землетрясения	Состав- ляющая	Балль- ность по макро- сейсмичес- ким данным	Балльность по спектрам реакции
1.	Газли	17 мая 1976	с - ю	9	9.5
2.	Петропавловск на Камчатке	15 декабря 1971	с - ю	7	8
3.	Зангезур	1 сентября 1968	с - ю	7-8	8
4.	Сан. фернандо	9 февраля	В - 3	8	8-9
5.	Манагуа	23 февраля 1972	с - ю	7-8	8
6.	Спитак (запись в с. Гукасян)	7 декабря 1988	с - ю	8	8

Не трудно убедиться, что полученные баллы для этих землетрясений, определенные по спектрам реакции с достаточной точностью, совпадают с их балльностями, приведенными в литературе. Это означает, что полученная шкала интенсивности по спектрам реакции дает надежные результаты и ею можно воспользоваться для установления балльности землетрясений.

Для наглядности сопоставления спектров реакций этих землетрясений указаны также графически (рис. 5.3), где приведены только спектры землетрясений 1,2,3 и 6.

Значения приведенных ускорений τ (T, δ) в см/сек²
при $\delta = 0.5$

$\frac{E}{\sigma}$	T	Район землетрясения					
		Газли	Петропавловск на Камчатке	Зангезур	Сан Фернандо	Манагуа	Спитак
1	0.05	1358	128	79	147	108	206
2	0.1	1246	161	76	191	134	307
3	0.15	1103	258	71	235	161	370
4	0.2	1001	237	159	328	205	434
5	0.25	908	267	231	391	273	396
6	0.3	1231	292	206	352	288	386
7	0.4	873	271	170	252	287	349
8	0.6	820	234	213	181	205	252
9	0.8	717	182	180	257	104	154
10	1.0	665	111	116	213	90	166
11	1.25	491	117	79	183	64	126
12	1.5	511	122	62	151	55	90
13	2.0	233	108	43	87	30	69
14	2.5	166	123	25	95	15	60
15	3.0	143	121	26	85	12	44

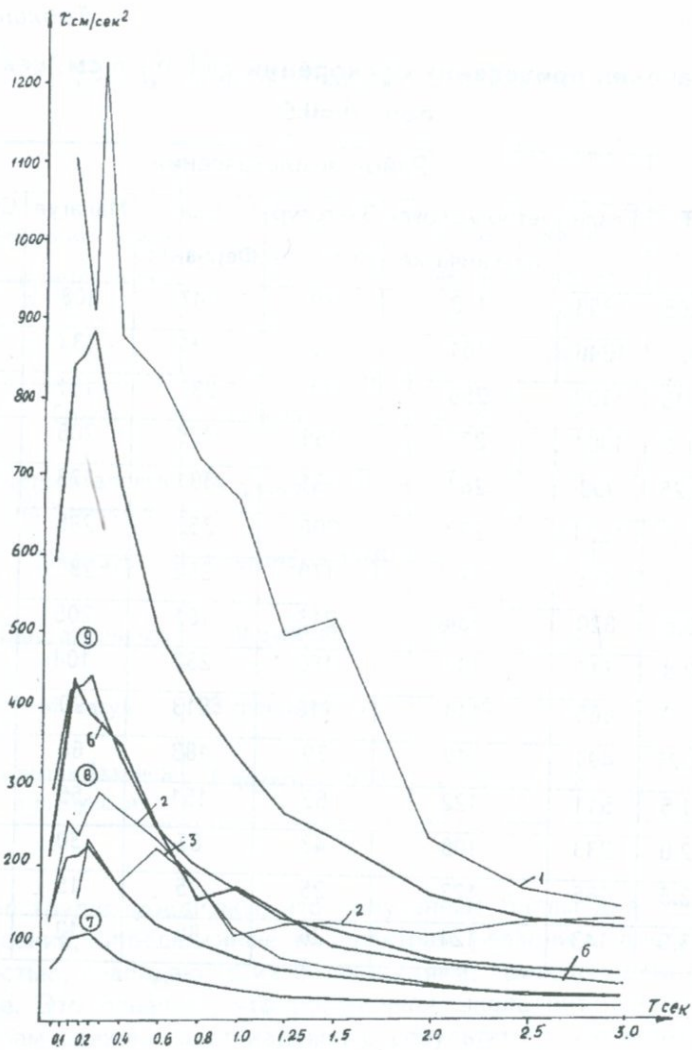


Рис 5.3. Определение интенсивности землетрясений 1,2,3,6 (табл. 5.3) по спектрам реакции

5.3. Определение интенсивности землетрясений с помощью маятниковых сейсмометров

Помимо других преимуществ, отмеченных выше, спектры реакций имеют также те удобства, что их можно получить непосредственно с помощью маятниковых сейсмометров [17].

Маятниковые сейсмометры можно принимать в числе основных приборов при выполнении исследований по изучению землетрясений и как систему измерения для определения балльности землетрясений. Необходимость в применении таких сейсмометров возникла в результате предложенного А.Г. Назаровым метода инженерного анализа сейсмических сил, в котором эти приборы служат для прямого инструментального интегрирования уравнений теории сейсмостойкости и, следовательно, определения сейсмических сил, возникающих в сооружениях при землетрясении, а также для решения ряда других задач инженерной сейсмологии [17].

Маятниковый сейсмометр "ИГИС" представляет собой совокупность десяти вертикальных и четырех горизонтальных маятников с соответствующими декрементами затухания. Вертикальные маятники записывают горизонтальные колебания почвы, а горизонтальные - вертикальные колебания. Ниже приведены величины декрементов затуханий колебаний для вертикальных маятников (табл. 5.5).

Таблица 5.5

Величины декрементов затухания маятников сейсмометра

Т в сек.	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,4	0,6	0,8	1,0
δ	0,50	0,47	0,45	0,43	0,40	0,37	0,35	0,33	0,32	0,30

Теперь попытаемся составить шкалу интенсивности для определения силы землетрясений по смещениям маятников многомаятникового сейсмометра "ИГИС".

Для имеющегося объема акселерограмм были вычислены приведенные сейсмические ускорения, соответствующие периодам маятников сейсмометра при приведенных выше затуханиях [25]. На основании этих данных вычисляли величины смещения точек сосредоточения масс маятников, исходя из того, что между приведенным ускорением и смещением маятников имеет место прямо пропорциональная связь.

На основании статистического анализа полученного материала составили окончательную шкалу для многомаятникового сейсмометра при ширине вилки от одного балла к другому, равной двум.

Шкала интенсивности приведена в табл. 5.6., где величины смещения маятника с периодом колебаний $T=0,05$ сек не приводятся, так как практика показала, что маятник с таким периодом не всегда работает надежно и трудно судить о действительном смещении колебания грунта. В последней графе табл. 5.6 приведены величины коэффициента K_1 . Для того чтобы получить значения максимальных смещений острия иглы маятников, необходимо приведенные значения шкалы умножить на K_1 (величины, указанные в шкале представляют собой смещения центров масс маятников).

Из изложенного видно, что максимальные значения приведенных сейсмических ускорений $\tau(T, \delta)$ по показаниям конца маятников (смещение иглы) определяются следующим образом:

$$\tau(T, \delta) = \left(\frac{2\pi}{T} \right)^2 \frac{X_0}{K_1}.$$

**Шкала для определения интенсивности землетрясений
по сейсмометру "ИГИС" в мм**

№ п/п	T	Интенсивность в баллах					K ₁
		5	6	7	8	9	
1	0.1	0.05-0.1	0.1-0.2	0.2-0.4	0.4-0.8	0.8-1.6	4.50
2	0.15	0.1-0.2	0.2-0.4	0.4-0.8	0.8-1.6	1.6-3.2	3.65
3	0.2	0.3-0.6	0.6-1.2	1.2-2.4	2.4-4.8	4.8-9.6	4.48
4	0.25	0.5-1.0	1.0-2.0	2.0-4.0	4.0-8.0	8.0-16.0	3.30
5	0.3	0.7-1.4	1.4-2.8	2.8-5.6	5.6-11.2	11.2-22.4	2.62
6	0.4	1.0-2.0	2.0-4.0	4.0-8.0	8.0-16.0	16.0-32.0	1.73
7	0.6	2.0-4.0	4.0-8.0	8.0-16.0	16.0-32.0	32.0-64.0	1.40
8	0.8	3.2-6.4	6.4-12.8	12.8-25.6	25.6-51.2	51.2-102.4	1.57
9	1.0	4.2-8.4	8.4-16.8	16.8-33.6	33.6-67.2	67.2-134.4	1.12

5.4. Эмпирическое определение балльности землетрясений по приведенным сейсмическим ускорениям

Рассмотрим возможность эмпирического определения приведенных сейсмических ускорений для сильных землетрясений разных интенсивностей, а также вопрос определения балльности в зависимости от $\tau(T, \alpha)$, где α - коэффициент затухания колебаний. В каждом конкретном случае определение $\tau(T, \alpha)$ связано с определенными вычислительными работами по той причине, что внешнее воздействие дается графически в виде акселерограмм. Однако при наличии достаточно большого количества инструментальных данных о землетрясениях можно статистической обработкой результатов проведенных вычислительных работ получить эмпирические формулы для определения $\tau(T, \alpha)$ в зависимости от интенсивности землетрясений и наоборот. С этой целью нами были вычислены спектры приведенных сейсмических ускорений для около 250 акселерограмм при коэффициенте затухания $\alpha = 0; 0.032; 0.064; 0.1; 0.16; 0.23; (\alpha = \frac{\delta}{\pi})$ и для пятнадцати значений периода собственных колебаний линейного осциллятора T от 0.05 сек. до 3.0 сек. Затем определяли средние спектры для каждой интенсивности землетрясений, которые приведены на рис. 5.4 и 5.5. Одновременно была получена также зависимость приведенных ускорений от затухания при разных значениях периода собственных колебаний, которые приведены на рис. 5.6 и 5.7.

Анализ полученных данных показывает, что коэффициент перехода от одного балла к другому для приведенных сейсмических ускорений является переменным, притом при увеличении интенсивности коэффициент перехода уменьшается. Однако приближенно, но достаточно точно этот коэффициент принимаем постоянным и равным двум, что удобно также для использования при решении задач сейсмостойкости.

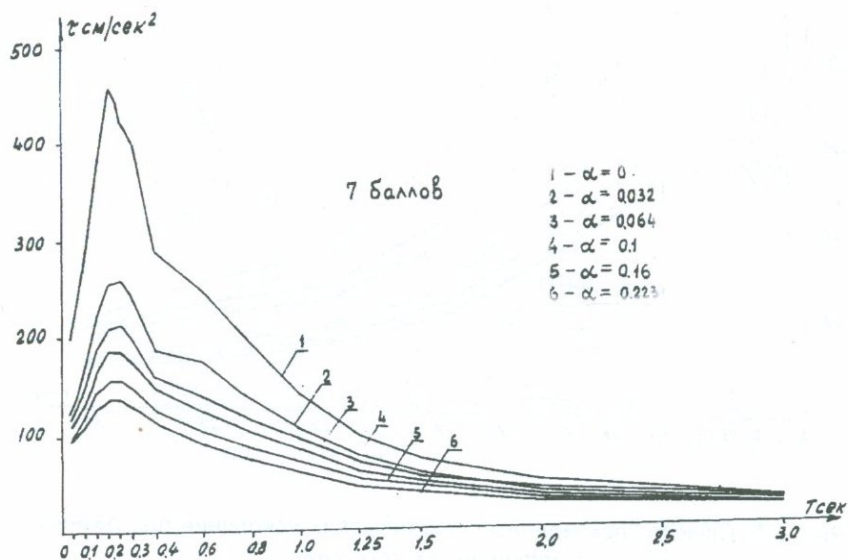
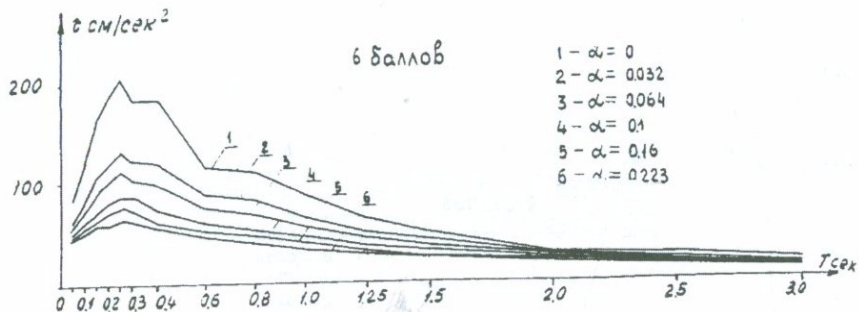


Рис. 5.4. Спектры приведенных сейсмических ускорений при разных коэффициентах затухания

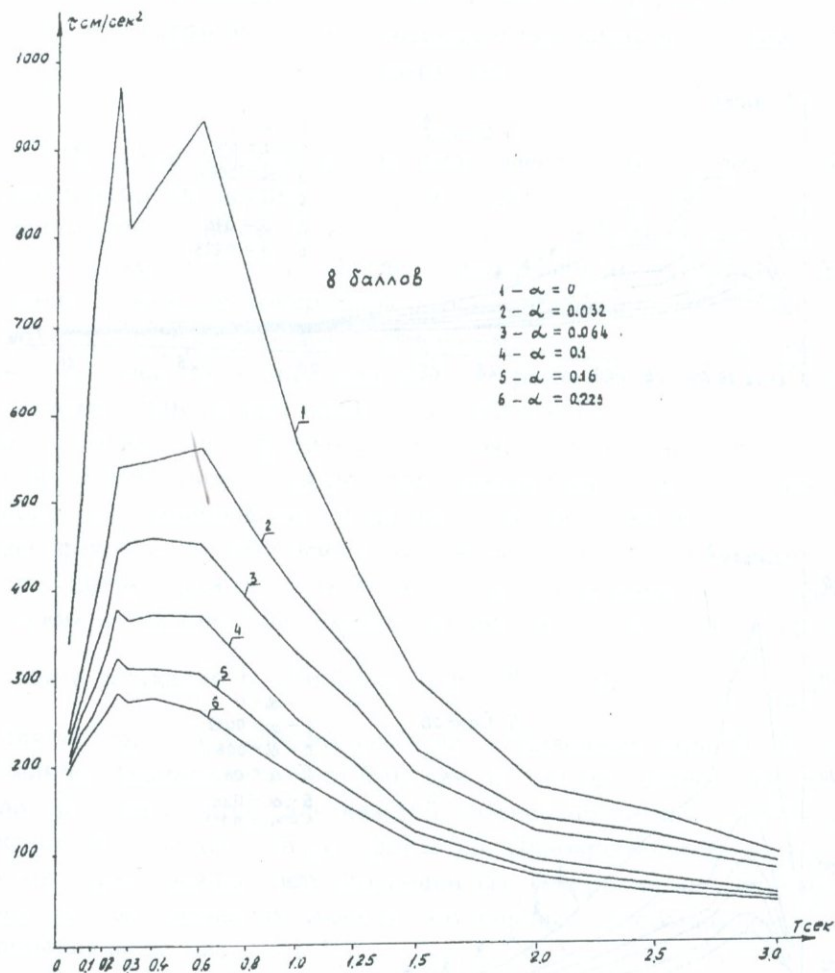


Рис. 5.5. Спектры приведенных сейсмических ускорений при разных коэффициентах затухания

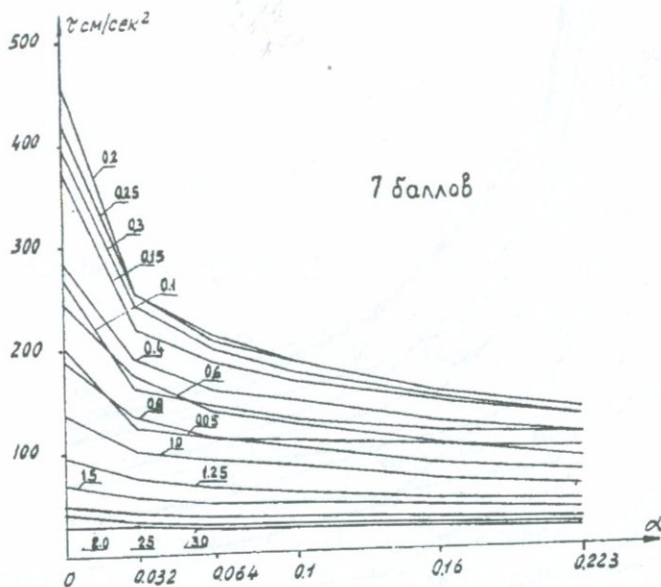
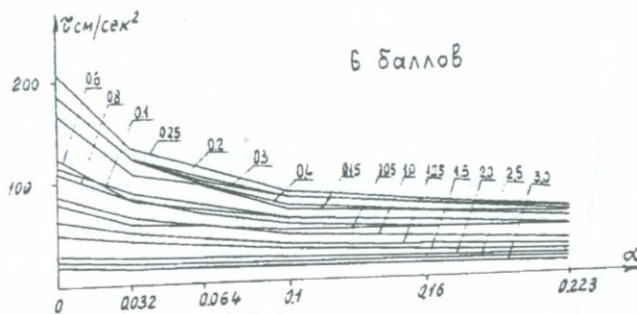


Рис. 5.6. Зависимость τ (Γ, α) от коэффициента затухания

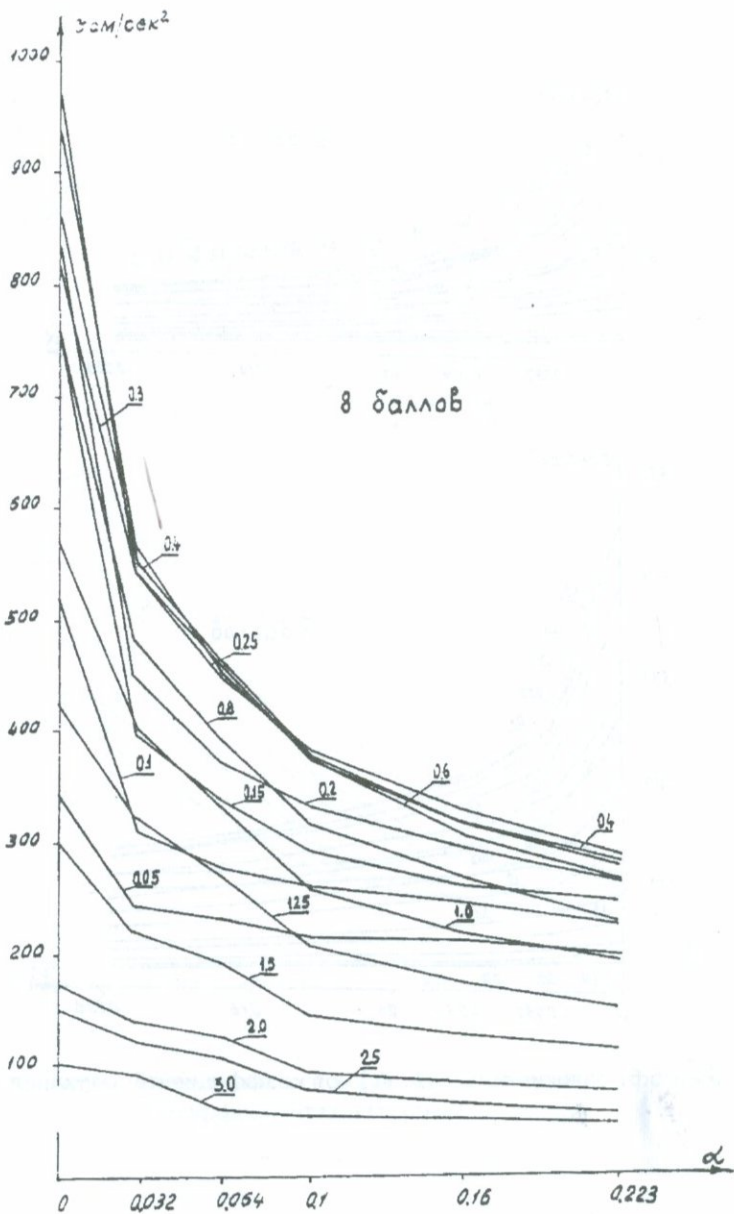


Рис. 5.7. Зависимость τ (Γ, α) от коэффициента затухания

Данные, приведенные на рис. 5.4-5.7, показывают, что спектры реакций для разных диапазонов изменения T имеют различный вид. Так, например, когда $T \leq 0.25$ сек. $\tau(T, \alpha)$ меняется почти линейно, а при $T > 0.25$ сек. по закону гиперболы. С другой стороны, когда $\alpha \geq 0.1$, независимо от T , $\tau(T, \alpha)$, имеет прямолинейный характер и т. д.

Обработка полученных данных показывает, что с точностью 10-15% зависимость $\tau(T, \alpha)$ в функции от интенсивности землетрясений I , когда $\alpha \leq 0.1$, можно представить следующими эмпирическими формулами:

$$\tau(T, \alpha) = \tau_0 2^{1-\alpha} \frac{0.25 + 3T}{1 + 10\alpha}, \text{ при } T \leq 0.25 \text{ сек.}$$

$$\tau(T, \alpha) = \frac{\tau_0 2^{1-\alpha}}{(0.55 + 1.8T)(1 + 10\alpha)}, \text{ при } 0.25 \leq T \leq 1.0 \text{ сек.}$$

$$\tau(T, \alpha) = \tau_0^{1-\alpha} \frac{1 - 1.85\alpha}{4T - 1.6}, \text{ при } T \geq 1.0 \text{ сек.}$$

Если коэффициент затухания $\alpha > 0.1$

$$\tau(T, \alpha) = \tau_0 2^{1-\alpha} \frac{0.55 - \alpha}{(0.55 + 1.8T)^\gamma},$$

где

$$\gamma = -1 \text{ при } T \leq 0.25 \text{ сек.}$$

$$\gamma = 1 \text{ при } T > 0.25 \text{ сек.}$$

Во всех этих формулах $\tau_0(T, \alpha)$ представляет собой величину приведенного сейсмического ускорения для землетрясений интенсивностью 6 баллов при $\alpha = 0$, $T = 0.25$ сек., которую, по полученным данным, можно принимать равной 210 см/сек^2 .

Анализ полученных количественных данных, а также приведенные выше формулы позволяют получить соотношения для определения интенсивности землетрясений в функции от приведенных ускорений, периода собственных колебаний линейного осциллятора и коэффициента затухания. Эти соотношения следующие:

При $\alpha \leq 0.1$

$$I = 1 + \frac{1}{\ln 2} \ln \left(\frac{\tau}{\tau_0} \frac{1 + 10\alpha}{0.25 + 3T} \right) \quad T \leq 0.25 \text{ сек.}$$

$$I = 1 + \frac{1}{\ln 2} \ln \left[\frac{\tau}{\tau_0} (0.55 + 1.8T)(1 + 10\alpha) \right], \quad 0.25 < T \leq 1.0 \text{ сек.}$$

$$I = 1 + \frac{1}{\ln 2} \ln \left(\frac{\tau}{\tau_0} \frac{4T - 1.6}{1 - 1.8\alpha} \right), \quad T > 1.0 \text{ сек.}$$

при $\alpha > 0.1$

$$I = 1 + \frac{1}{\ln 2} \ln \left[\frac{\tau}{\tau_0} \frac{(0.55 + 1.8T)^\gamma}{0.55 - \alpha} \right],$$

где

$\gamma = -1$ при $T \leq 0.25$ сек.

$\gamma = 1$ при $T > 0.25$ сек.

В этих формулах τ_0 представляет собой величину приведенного сейсмического ускорения для интенсивности $I=1$, при $T=0.25$ сек. $\alpha=0$ и равна 6.5 см/сек^2 .

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ПО АКСЕЛЕРОГРАММАМ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

6.1. Общие замечания

Методы определения интенсивности землетрясений, рассмотренные в предыдущей главе, являются шагом вперед по отношению к до сих пор существующим методам. Они вводят количественные меры для оценки силы землетрясения и, естественно, являются более строгими. Однако не подлежит сомнению, что мера интенсивности землетрясения должна быть выбрана такой, чтобы было возможным составить не только сейсмическую шкалу, но и на ее основе разрешить основные проблемы инженерной сейсмологии и сейсмостойкости сооружений. Ясно, что методы, рассмотренные в предыдущей главе, так или иначе не достаточны для решения указанных проблем.

Исходя из этого было предложено в качестве меры сейсмической интенсивности принимать амплитуд колебания почвы при землетрясении в функции от времени. При этом предпочтение отдаем акселерограмме, которая, помимо других преимуществ, позволяет получить все количественные меры для оценки интенсивности землетрясений, предложенные в предыдущей главе. О преимуществах акселерограммы как мере интенсивности подробно говорилось выше, в главе IV. Наоборот, решение обратной задачи невозможно, то есть невозможно ни одной из существующих количественных мер вывести однозначно предлагаемую меру — акселерограмму.

Однако следует отметить, что помимо своей общности и полноты акселерограмма, как мера интенсивности колебания грунта, имеет свои неудобства. Заключается это в том, что она

наглядна, нет возможности сопоставлять разные акселерограммы друг с другом, и мы поэтому не можем сказать, что такая-то акселерограмма больше или меньше и во сколько раз. Решение этой проблемы можно разрешить следующим путем. Для данной акселерограммы строится спектр реакции при определенном декременте затухания, и этот спектр рассматривается как представитель акселерограммы.

Спектр реакции, представляющий собой функцию только с положительными ординатами, является функцией значительно более простой, чем акселерограмма. Два различных спектра реакции, принадлежащих двум различным акселерограммам, легко сравнить между собой. Это дает возможность сопоставить акселерограммы в смысле динамического воздействия землетрясения на сооружения. Кроме того, во многих случаях при применении спектрального метода расчета сооружений в основу их расчета можно взять непосредственно спектр реакции, минуя акселерограмму. Если рассматривается сейсмологическая задача, то распознавание сейсмограммы аналогично можно осуществить с помощью амплитудного спектра Фурье.

6.2. Определение набора расчетных акселерограмм

Соображения, приведенные в предыдущих главах, ясно показывают, что в дальнейшем необходимо постепенно отказаться от существующих шкал и за меру интенсивности брать акселерограмму. Если принимать за меру сейсмической интенсивности акселерограмму, то методы расчета сооружений приводят к необходимости рассмотрения набора возможных акселерограмм для заданной местности. Задачей построения ожидаемых акселерограмм занимались многие исследователи.

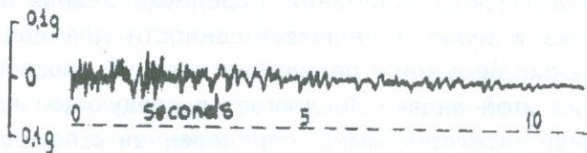
Несмотря на это, задачу отыскания акселерограмм ожидаемых землетрясений все еще следует считать актуальной, требующей своего решения. Решение этого вопроса разными специалистами осуществляется разными методами, и до сих пор нет

единого подхода к нему. Поэтому указание набора характерных акселерограмм сильных землетрясений, ожидаемых в интересующем нас пункте земной поверхности, то есть набора так называемых средних акселерограмм, следует считать первостепенной задачей. Следовательно, возникает проблема оценки средней акселерограммы.

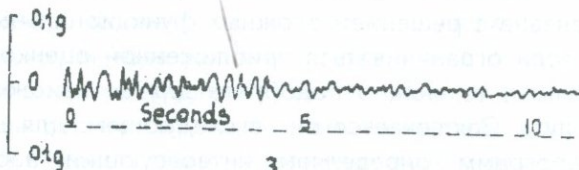
В математическом понимании о среднем средняя акселерограмма близка к нулю и не имеет ценности для наших целей. Поэтому необходимо иное понимание средней акселерограммы. Для решения этой задачи предлагается следующее представление о средней акселерограмме, определенной с помощью спектров реакции.

Задача отыскания средней акселерограммы по средним спектрам связана с решением сложных функциональных соотношений. Но если ограничиваться приближенной оценкой средней акселерограммы, то можно подобрать для ее нахождения элементарный путь. Заключается он в следующем: для данной серии акселерограмм определяем интересующий нас средний спектр. При достаточно большом количестве спектров мы всегда можем из них подобрать такой, который был бы близок к определенному нами среднему спектру. Акселерограмма, отвечающая этому спектру, и будет называться средней, которая будет достаточно близка к средней акселерограмме в нашем понимании. Этот приближенный прием будет вполне достаточен для наших целей и, в частности, в вопросах решения задач инженерной сейсмологии, то есть в задачах сейсмического районирования и микрорайонирования.

На основании предложенного здесь приема нами были получены характерные акселерограммы и их спектры реакций при декременте затухания $\delta = 0.5$ с использованием около 200 записей сильных землетрясений [25]. Эти акселерограммы приведены на рис. 6.1- 6.7. Принимая их в качестве опорных, при необходимости можно преобразовать их для конкретной местности в зависимости от грунтовых условий, которые и можно непосредственно использовать при расчете сооружений на сейсмостойкость.



2



3

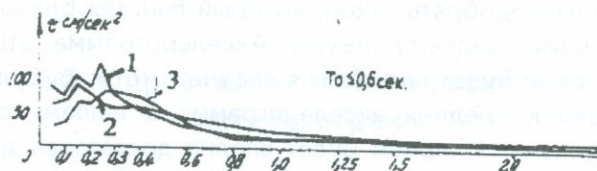


Рис. 6.1. Характерные акселерограммы и соответствующие им спектры реакции землетрясений интенсивностью 6 баллов с преобладающим периодом $T_0 \leq 0.6$ сек.

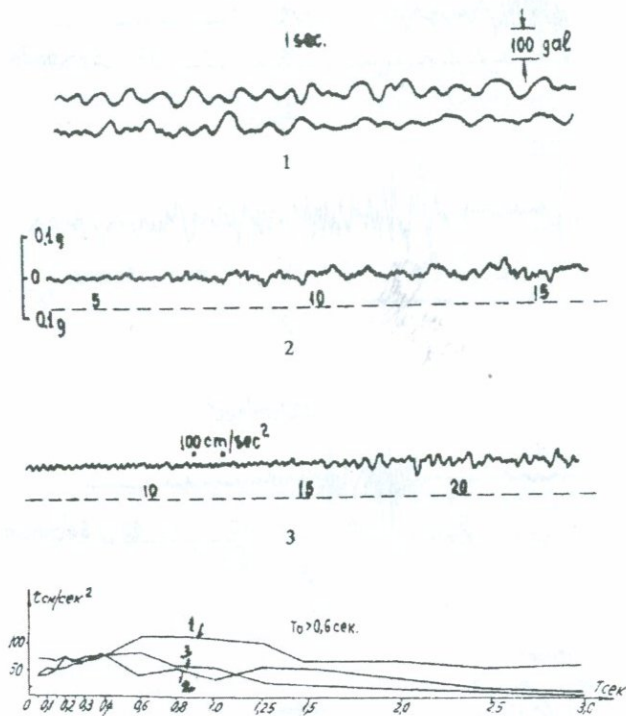


Рис. 6.2. Характерные акселерограммы и соответствующие им спектры реакции землетрясений интенсивностью 6 баллов с преобладающим периодом $T_0 > 0.6$ сек.

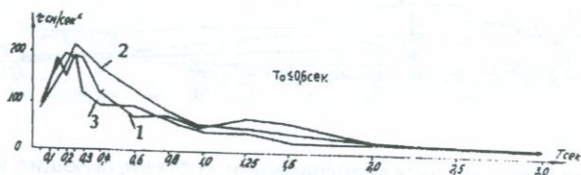
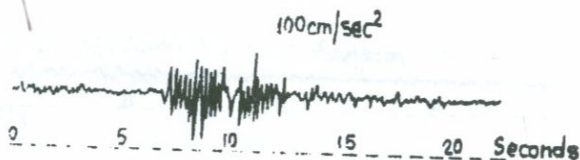
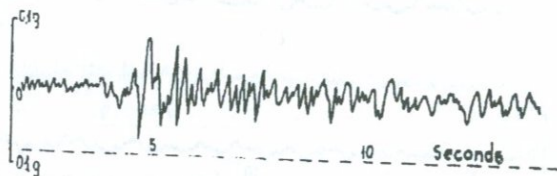
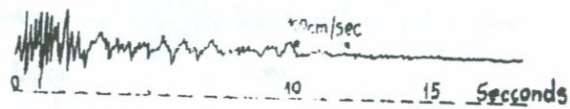


Рис. 6.3. Характерные акселерограммы и соответствующие им спектры реакции землетрясений интенсивностью 7 баллов с преобладающим периодом $T_0 \leq 0.6$ сек.

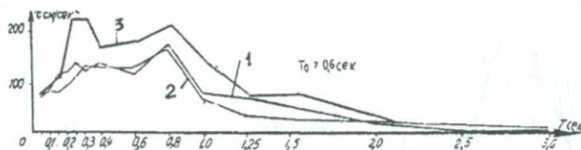
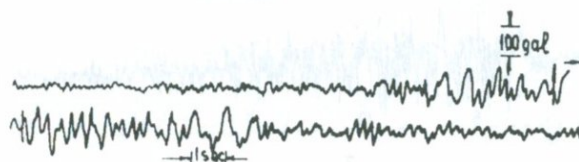
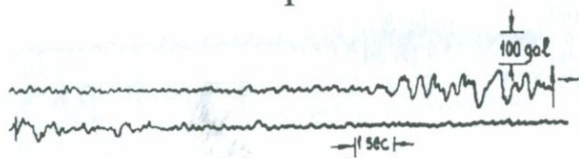
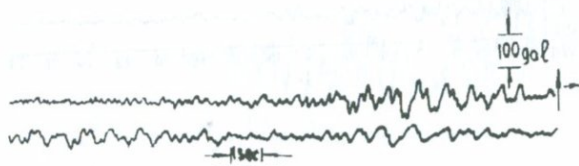


Рис. 6.4. Характерные акселерограммы и соответствующие им спектры реакции землетрясений интенсивностью 7 баллов с преобладающим периодом $T_0 > 0.6$ сек.

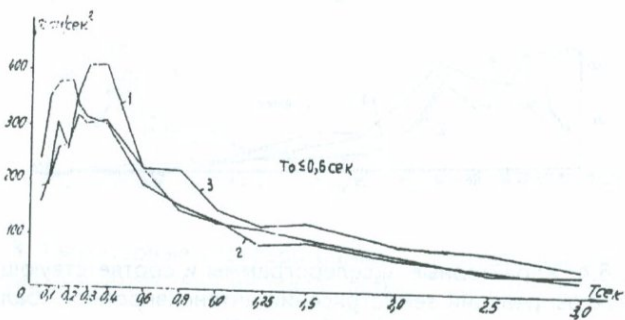
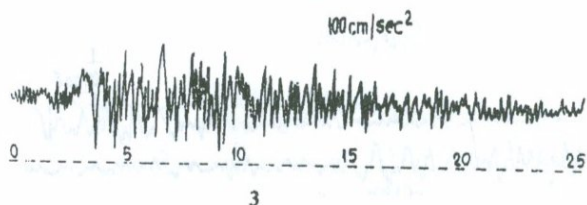
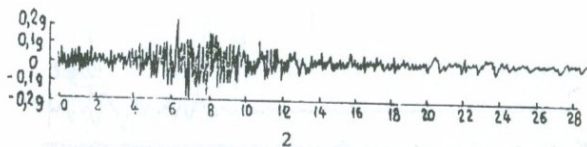
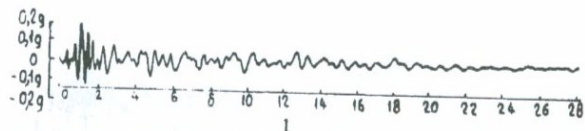


Рис. 6.5. Характерные акселерограммы и соответствующие им спектры реакции землетрясений интенсивностью 8 баллов с преобладающим периодом $T_0 \leq 0.6$ сек.

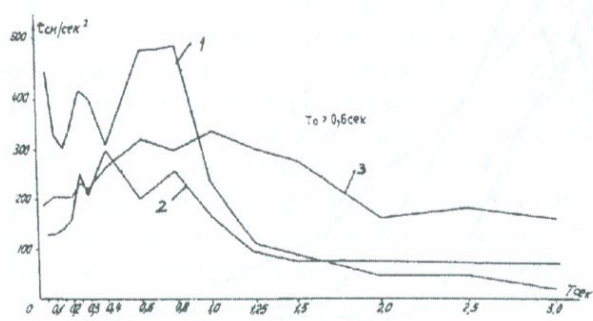
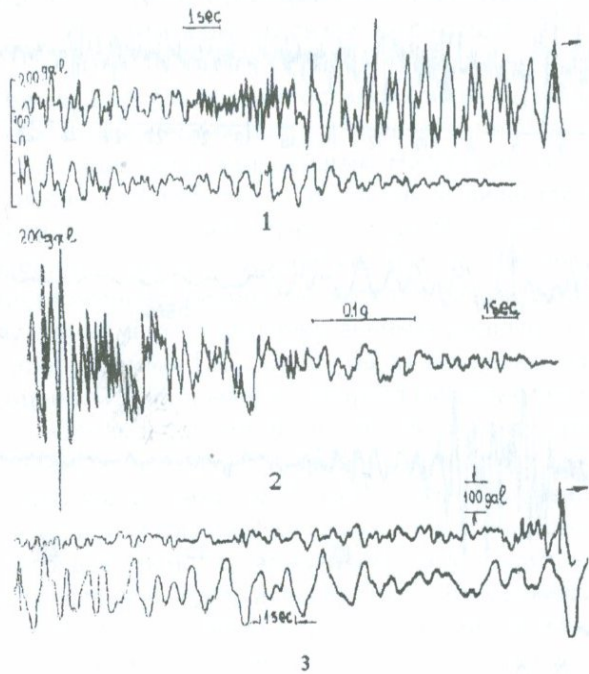
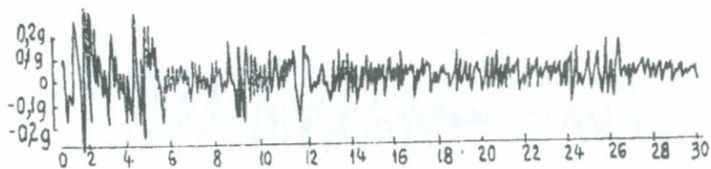


Рис. 6.6. Характерные акселерограммы и соответствующие им спектры реакции землетрясений интенсивностью 8 баллов с преобладающим периодом $T_0 > 0.6$ сек.



2



3

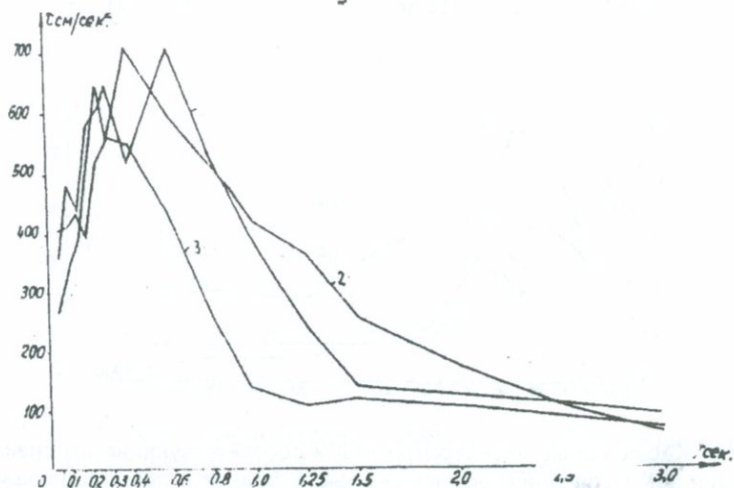


Рис. 6.7. Характерные акселерограммы и соответствующие им спектры реакции землетрясений интенсивностью 9 баллов с преобладающим периодом $T_0 \leq 0.6$ сек.

6.3. Методика определения акселерограмм для конкретных регионов

В предыдущих главах мы остановились на недостатках существующих сейсмических шкал и показали нецелесообразность их совершенствования в дальнейшем. Несмотря на это, нами была предложена сейсмическая шкала на количественной основе по ускорениям колебаний грунта, а также по акселерограммам землетрясений в связи с установлением новой меры интенсивности. Предложенные шкалы являются первыми шкалами, где за их основу принимаются количественные данные и в конечном итоге акселерограммы [25]. Выше было доказано, что при наличии полноценной информации отпадает надобность в сейсмической шкале. Однако при меньшем количестве инструментальных данных поневоле возникает надобность в сейсмической шкале, но ясно, что она должна быть как-то преобразована в связи с введением новой меры сейсмической интенсивности. Такие шкалы рассматриваем как промежуточный этап, который должен в будущем обеспечить полный переход на новую меру и ликвидацию самой шкалы для целей определения интенсивности землетрясений, то есть *полный отказ от понятия балла вообще*. Об этом подробно в свое время говорилось в работе [25].

Отметим, что в этом направлении была сделана попытка при составлении Армянских норм сейсмостойкого строительства (СН РА II-2.02.94) [35]. Правда, там отказ от понятия балла носит формальный характер, но все равно это является шагом вперед по сравнению с существующими нормами.

Теперь переходим к вопросу проведения примерных работ для оценки сейсмической опасности по акселерограммам землетрясений, о чем говорилось в предыдущих главах.

Предположим требуется составить карту сейсмической опасности (районирования) и определить для нее опорные акселерограммы. Считаем, что это можно сделать проведением следующих работ.

1. Составление карты эпицентров сильных землетрясений в масштабе 1:500000 (можно выбрать и другой масштаб).
2. Разделение данной территории на отдельные блоки по геологическим данным.

3. Определение частотных характеристик ожидаемых землетрясений в эпицентрах.

4. Группировка всех имеющихся записей землетрясений по интенсивности. Здесь при отсутствии местных записей, можно использовать данные из мирового каталога с соответствующим выбором.

5. Определение сейсмического воздействия в зависимости от эпицентрального расстояния и глубины очага.

6. Вычисление спектров приведенных сейсмических ускорений для разных геологических блоков.

7. Определение набора акселерограмм по полученным средним спектрам.

8. Составление карты с указанием набора акселерограмм.

6.4. О формировании спектров и акселерограмм для расчета сооружений на сейсмостойкость

Как было отмечено в предыдущем параграфе, работы определения сейсмической опасности завершаются составлением карты районирования с указанием набора акселерограмм землетрясений.

На основании этого подбор соответствующих воздействий для расчета сооружений на сейсмостойкость для конкретной территории по интенсивности можно осуществить следующим образом в зависимости от типа сооружений. Предположим имеем сооружения следующих типов:

1. Сооружения, приводящиеся к схеме систем с одной степенью свободы.

2. Сооружения, приводящиеся к схеме систем с двумя степенями свободы.

3. Сооружения, приводящиеся к схеме систем с тремя степенями свободы.

Для сооружений типа 1. Определяется период свободных колебаний T_1 ; рассматриваются спектры реакции и отбираются те спектры, которые имеют тип, примерно отвечающий рассматриваемому периоду свободных колебаний T_1 ; на основе отобранных спектров строится средний спектр; на основе среднего спектра подбирается отвечающая ему акселерограмма, которая принимается в основу расчета.

Для сооружений типа 2. Определяются периоды свободных колебаний T_1 и T_2 , отвечающие двум формам колебаний, аналогично подбираются спектры и акселерограммы для T_1 и T_2 в отдельности.

Таким образом, для системы с двумя степенями свободы, получаем два осредненных спектра и две осредненные акселерограммы, отвечающие свободным колебаниям T_1 и T_2 . Они ставятся в основу расчета.

Для сооружений типа 3. Определяются периоды свободных колебаний T_1 , T_2 , T_3 , отвечающие первым трем формам колебаний. В результате тех же операций получаем три определенных спектра и три осредненные акселерограммы, отвечающие периодам свободных колебаний T_1 , T_2 , T_3 сооружения. Полученные акселерограммы ставятся в основу расчета.

Дополнительные замечания. Желательно, чтобы для каждого периода колебаний было отобрано не менее 5 спектров, подлежащих последующему определению. В случае нехватки спектров и акселерограмм разрешается пользоваться данными ближайших зон, умножив или разделив их ординаты на два. Допускаются к рассмотрению искусственные спектры, если они обоснованы статистически или основаны на каких-либо физических предположениях.

6.5. Об оценке условной величины сейсмических сил по повреждениям зданий

В предыдущих главах было отмечено о необходимости сбора и систематизации макросейсмических данных для установления степени повреждения зданий и сооружений, которые имеют также ценность при составлении сейсмических шкал. Для накопления подобного рода материала и их систематизации большое значение имеет изучение тех методов расчета, которые были приняты за основу при оценке величин сейсмических сил.

Попытаемся коротко высказать некоторые соображения по этому вопросу, то есть по вопросу оценки сейсмических сил по повреждениям зданий и сооружений.

Как известно, методы расчета сооружений на сейсмостойкость являются приближенными. Однако можно задачу расчета

поставить в другой плоскости. Мы примиряемся с грубостью наших методов расчета на сейсмостойкость и с помощью этих методов устанавливаем величину той сейсмической нагрузки, при которой данное здание или сооружение получило данные повреждения. Ясно, что таким путем мы получим некоторую условную величину сейсмической нагрузки, а стало быть, и условную интенсивность землетрясения. Ясно также, что полученная таким путем условная сейсмическая нагрузка будет зависеть от типа сооружения. Можно подобрать определенную группу сооружений, для которых условная сейсмическая нагрузка окажется приблизительно одинаковой. Тогда мы можем установить осредненное значение условной сейсмической нагрузки для данной группы сооружений. Практическое значение установленной таким путем условной сейсмической нагрузки велико. Дело в том, что если мы будем теперь проектировать новое сооружение, однотипное с той группой сооружений, для которой была установлена условная сейсмическая нагрузка, то эту нагрузку можем принять за расчетную для рассматриваемого сооружения. Хотя за расчетную нагрузку была принята условная нагрузка, но она автоматически учитывает несовершенство существующего метода расчета, точнее компенсирует это несовершенство и приводит к правильным результатам.

По существу говоря, к таким условным расчетам мы прибегаем значительно чаще, нежели это сознаем. Неточность расчета поврежденного землетрясением сооружения не имеет значения, если впоследствии на основании полученной условной величины сейсмической нагрузки этот же метод расчета будет применен к проектируемому сооружению, однотипному с поврежденным.

Для иллюстрации того, каким образом дефекты расчета и условные сейсмические нагрузки могут взаимно скорректироваться и привести к правильным результатам, приведем простой пример.

Предположим, что при расчете бруса на изгиб мы пользуемся ошибочным значением момента сопротивления. Например, мы его взяли в K раз больше величины, нежели это имеет место в действительности.

$$W_{\text{расч.}} = KW_{\text{действ.}}$$

Пусть невесомый консольный брус длиной ℓ , заделанный внизу в грунт и несущий наверху груз Q , получил максимальное напряжение в месте заделки, равное $\sigma_{\text{действ.}}$ (по непосредственным измерениям). Обозначая неизвестную нам величину сейсмической силы через S , получим для изгибающего момента в основании бруса $M = S\ell$. Подставляя замеренное значение напряжения, ошибочное значение момента сопротивления и неизвестную величину изгибающего момента (поскольку неизвестна сейсмическая нагрузка), получим:

$$\sigma_{\text{действ.}} = \frac{S\ell}{KW_{\text{действ.}}}$$

Отсюда мы можем определить неизвестную нам величину сейсмической нагрузки:

$$S_{\text{усл.}} = \frac{K\sigma_{\text{действ.}}W_{\text{действ.}}}{\ell} = KS_{\text{действ.}}$$

Ясно, что это не действительная величина сейсмической нагрузки, а условная, которая превышает действительную в K раз. Таким образом, в определении сейсмической силы мы так же, как и в определении момента сопротивления, ошиблись в K раз.

Теперь будем проектировать некий либо другой брус длиной ℓ' , расположенный горизонтально, опертый по концам и несущий сосредоточенный груз Q' , но с теми же динамическими характеристиками. Последнее условие приводит к пропорциональности сейсмических сил величинам грузов. Поэтому имеем:

$$S'_{\text{усл.}} = S_{\text{усл.}} \frac{Q'}{Q} = KS'_{\text{действ.}}$$

Условный изгибающий момент равен:

$$M'_{\text{усл.}} = \frac{S'_{\text{усл.}}\ell'}{4} = KM'_{\text{действ.}}$$

Отсюда напряжение для рассчитываемого бруса

$$\sigma_{\text{усл.}} = \frac{M'_{\text{усл.}}}{W'_{\text{усл.}}} = \frac{KM'_{\text{дейст.}}}{KW'_{\text{дейст.}}} = \sigma_{\text{дейст.}}$$

Таким образом, неправильное определение сейсмической нагрузки нам не помешало правильно определить напряжение в проектируемом брус.

Здесь мы получили в итоге точный результат, так как имеем дело лишь с одним неточно определенным расчетным параметром — моментом сопротивления. Если же будем иметь дело с несколькими неточно определенными параметрами, то в результате, пользуясь условными сейсмическими нагрузками, сможем допустить существенные ошибки. Надо подчеркнуть, что в этом примере мы допустили ошибку в K раз, где K — какое угодно число. Более того, мы определили условную сейсмическую нагрузку по поведению консольной балки и полученный результат применили к балке на двух опорах, то есть к совсем другой конструкции.

Поэтому можно полагать, что если условная сейсмическая нагрузка определена по повреждениям какой-либо однородной группы сооружений примерно одинаковой конструкции, то с помощью этой условной нагрузки, применяя обязательно тот же прием расчета, можно получить достаточно достоверные результаты для родственной группы сооружений. Известно, что по инструментальным данным получают сейсмические нагрузки значительно повышенные. Основной причиной этого является, по нашему мнению, несовершенство методов расчета сооружений на сейсмостойкость, в особенности для пространственно работающих конструкций. Поэтому в ожидании совершенствования методов расчета крайне целесообразно определение условной сейсмической нагрузки по повреждениям сооружений по описанному выше методу. По мере совершенствования методов расчета условная сейсмическая нагрузка будет все более и более приближаться к действительной сейсмической нагрузке.

Изложенное приводит нас к убеждению, что необходимо осуществить специальное исследование метода условных сейсмических нагрузок, установить область его применения и возможные пределы ошибок при расчете и проектировании зданий и сооружений по этому методу.

Если учесть постоянное совершенствование конструкций, применяемых в сейсмических районах, вследствие чего применение сейсмических шкал становится практически невозможным для оценки интенсивности землетрясения по повреждениям, то использование существующих методов расчета на сейсмостойкость является практически единственно возможным. При несовершенстве этих методов расчета неминуемо должны получаться условные сейсмические нагрузки. Несмотря на эту условность, такой метод может привести к ценным практическим результатам и позволит в ряде случаев достаточно достоверно рассчитывать сооружения на сейсмостойкость.

ПРИЛОЖЕНИЕ

ШКАЛА СЕЙСМИЧЕСКОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ MSK-64

1. Классификация, принятая в шкале

I. Типы сооружений (здания, возведенные без необходимых антисейсмических мероприятий).

Тип А — здания из рваного камня, сельские постройки, дома из кирпича-сырца, глинобитные дома.

Тип Б — обычные кирпичные дома, здания крупноблочного и панельного типа, фахверковые строения, здания из естественно-го тесаного камня.

Тип В — каркасные железобетонные здания, деревянные дома хорошей постройки.

II. Количественные характеристики:

отдельные - около 5%;

многие - около 50%;

большинство — около 75%.

III. Классификация повреждений.

1 степень. *Легкие повреждения:* тонкие трещины в штукатурке и откалывание небольших кусков штукатурки.

2 степень. *Умеренные повреждения:* небольшие трещины в стенах, откалывание довольно больших кусков штукатурки, падение кровельных черепиц, трещины в дымовых трубах, падение частей дымовых труб.

3 степень. *Тяжелые повреждения:* большие и глубокие трещины в стенах, падение дымовых труб.

4 степень. *Разрушения:* сквозные трещины и проломы в стенах, обрушения частей зданий, разрушение связей между отдельными частями зданий, обрушение внутренних стен и стен заполнения каркаса.

5 степень. *Обвалы:* полное разрушение зданий.

IV. Группировка признаков шкалы:

а) люди и их окружение;

б) сооружения;

в) природные явления.

2. Интенсивность (в баллах)

I. Неощутимое землетрясение.

а) Интенсивность колебаний лежит ниже предела чувствительности людей: сотрясения почвы обнаруживаются и регистрируются только сейсмографами.

II. Едва ощутимое землетрясение.

а) Колебания ощущаются только отдельными людьми, находящимися в покое внутри помещений, особенно на верхних этажах.

III. Слабое землетрясение.

а) Землетрясения ощущаются немногими людьми, находящимися внутри помещений, под открытым небом - только в благоприятных условиях. Колебания схожи с сотрясением, создаваемым проезжающим легким грузовиком, внимательные наблюдатели замечают легкое раскачивание висячих предметов, несколько более сильное на верхних этажах.

IV. Заметное сотрясение.

а) Землетрясение ощущается внутри зданий многими людьми, под открытым небом - немногими. Кое-где спящие просыпаются, но никто не пугается. Колебания схожи с сотрясением, создаваемым проезжающим тяжело груженным грузовиком. Дребезжание окон, дверей, посуды. Скрип полов и стен. Начинается дрожание мебели. Висячие предметы слегка раскачиваются. Жидкость в открытых сосудах слегка колеблется. В стоящих на месте автомашинах толчок заметен.

V. Пробуждение.

а) Землетрясение ощущается всеми людьми внутри помещений, под открытым небом - многими. Многие спящие просыпаются. Немногие лица выбегают из помещений. Животные беспокоятся. Сотрясения зданий в целом. Висячие предметы сильно качаются. Картины сдвигаются с места. В редких случаях остаются маятниковые часы. Некоторые неустойчивые предметы опрокидываются или сдвигаются. Незапертые двери и окна распахиваются и снова захлопываются. Из наполненных сосудов в небольших количествах выплескивается жидкость. Ощущаемые колебания схожи с колебаниями, создаваемыми падением тяжелых предметов внутри здания.

б) Возможны повреждения 1 степени в отдельных зданиях типа А.

в) В некоторых случаях меняется дебит источников.

VI. Испуг.

а) Землетрясение ощущается большинством людей как внутри помещений, так и под открытым небом. Многие люди, находящиеся в зданиях, пугаются и выбегают на улицу. Немногие лица теряют равновесие. Домашние животные выбегают из укрытий. В немногих случаях может разбиться посуда и другие стеклянные изделия, падают книги. Возможно движение тяжелой мебели, может быть слышен звон малых колоколов на колокольнях.

б) Повреждения 1 степени в отдельных зданиях типа Б и во многих зданиях типа А. В отдельных зданиях типа А повреждения 2 степени.

в) В немногих случаях в сырых грунтах возможны трещины шириной до 1 см, в горных районах отдельные случаи оползней. Наблюдаются изменения дебита источников и уровня воды в колодцах.

VII. Повреждения зданий.

а) Большинство людей испуганы и выбегают из помещений. Многие люди с трудом удерживаются на ногах. Колебания отмечаются лицами, ведущими автомашины. Звонят большие колокола.

б) Во многих зданиях типа В повреждения 1 степени, во многих зданиях типа Б повреждения 2 степени. Во многих зданиях типа А повреждения 3 степени. В отдельных зданиях этого типа повреждения 4 степени. В отдельных случаях оползни проезжих частей дорог на крутых склонах и трещины на дорогах. Нарушения стыков трубопроводов, трещины в каменных изгородях.

в) На поверхности воды образуются волны, вода становится мутной вследствие поднятия ила. Изменяется уровень воды в колодцах и дебит источников. В немногих случаях возникают новые или пропадают существующие источники воды. Отдельные случаи оползней на песчаных или гравелистых берегах рек.

VIII. Сильные повреждения зданий.

а) Испуг и паника, испытывают беспокойство даже лица, ведущие автомашины. Кое-где обламываются ветви деревьев.

Сдвигается и иногда опрокидывается тяжелая мебель. Часть висячих ламп повреждается.

б) Во многих зданиях типа В повреждения 2 степени, в отдельных зданиях этой группы повреждения 3 степени. Во многих зданиях типа Б повреждения 3 степени, в отдельных - 4 степени. Во многих зданиях типа А повреждения 4 степени, в отдельных - 5 степени. Отдельные случаи разрыва стыков трубопроводов. Памятники и статуи сдвигаются. Надгробные камни опрокидываются. Каменные ограды разрушаются.

в) Небольшие оползни на крутых откосах выемок и насыпей дорог, трещины в грунтах достигают нескольких см. Возникают новые водоемы. Иногда пересохшие колодцы наполняются водой или существующие колодцы засыхают. Во многих случаях изменяется дебит источников и уровень воды в колодцах.

IX. Всеобщие повреждения зданий.

а) Всеобщая паника, большие повреждения мебели. Животные мечутся и издаюь крики.

б) Во многих зданиях типа В повреждения 3 степени и в отдельных - 4 степени. Во многих зданиях типа Б повреждения 4 степени и в отдельных - 5 степени. Во многих зданиях типа А повреждения 5 степени. Памятники и колонны опрокидываются. Значительные повреждения искусственных водоемов, разрывы части подземных трубопроводов. В отдельных случаях искривление железнодорожных рельсов и повреждение проезжих дорог.

в) На равнинах наводнения, часто заметны наносы песка и ила. Трещины в грунтах достигают ширины 10 см, а по склонам и берегам рек свыше 10 см. Кроме того, большое количество тонких трещин в грунтах. Скалы обламываются, частые оползни и осыпания грунта. На поверхности воды большие волны.

X. Всеобщие разрушения зданий.

б) Во многих зданиях типа В повреждения 4 степени, а в отдельных - 5 степени. Во многих зданиях типа Б повреждения 5 степени, в большинстве зданий типа А повреждения 5 степени. Опасные повреждения плотин и дамб, серьезные повреждения мостов. Легкие искривления железнодорожных рельсов. Разрывы или искривления подземных трубопроводов. Дорожные покрытия и асфальт образуют волнообразную поверхность.

в) Трещины в грунтах шириной несколько дециметров и в некоторых случаях - до 1 метра. Параллельно руслам водных потоков появляются широкие разрывы. Осыпание рыхлых пород с крутых склонов. Возможны большие оползни на берегах рек и крутых морских побережьях. В прибрежных районах перемещаются песчаные и илистые массы. Выплескивание воды в каналах, озерах, реках и т. д. Возникают новые озера.

XI. Катастрофа.

б) Серьезные повреждения зданий даже хорошей постройки, мостов, плотин и железнодорожных путей, шоссейные дороги приходят в негодность, разрушение подземных трубопроводов.

в) Значительные деформации почвы в виде широких трещин, разрывов и перемещений в вертикальном и горизонтальном направлениях, многочисленные горные обвалы. Определение интенсивности сотрясения балльности требует специального исследования.

XII. Изменение рельефа.

б) Сильное повреждение или разрушение практически всех наземных сооружений.

в) Радикальные изменения земной поверхности. Наблюдаются значительные трещины в грунтах с обширными вертикальными и горизонтальными перемещениями. Горные обвалы и обвалы берегов рек на больших площадях. Возникают озера, образуются водопады, изменяются русла рек. Определение интенсивности сотрясения (балльности) требует специального исследования.

**Условные характеристики колебаний при
землетрясениях различной силы**

Интенсивность	a , см сек ⁻²	V , см сек ⁻¹	X_0 , мм
V	12 – 25	1.0 – 2.0	0.5 – 1.0
VI	25 – 50	2.1 – 4.0	1.1 – 2.0
VII	50 – 100	4.1 – 8.0	2.1 – 4.0
VII	100 – 200	8.1 – 16.0	4.1 – 8.0
IX	200 – 400	16.1 – 32.0	8.1 – 16.0
X	400 – 800	32.1 – 64.0	16.1 – 32.0

a – ускорение почвы в см/сек². для периодов от 0.1 сек. до 0.5 сек.

V – скорость колебаний почвы в см/сек. для периодов от 0.5 до 2.0 сек.

X_0 – амплитуда (в мм) смещения центра массы маятника с периодом собственных колебаний 0.25 сек. и логарифмическим декрементом затухания 0.5.

**Типы зданий, количество и степень повреждений
при различной интенсивности**

Интенсивность (в баллах)	Типы зданий					
	А		Б		В	
V	отдельные	– 1				
VI	отдельные	– 2	отдельные	– 1		
	многие	– 1				
VII	отдельные	– 4	многие	– 2	многие	– 1
	многие	– 3				
VIII	отдельные	– 5	отдельные	– 4	отдельные	– 3
	многие	– 4	многие	– 3	многие	– 2
IX	многие	– 5	отдельные	– 5	отдельные	– 4
			многие	– 4	многие	– 3
X	большинство	– 5	многие	– 5	отдельные	– 5
					многие	– 4

1, 2, 3, 4, 5 – степени повреждений по принятой классификации

Краткая характеристика землетрясений

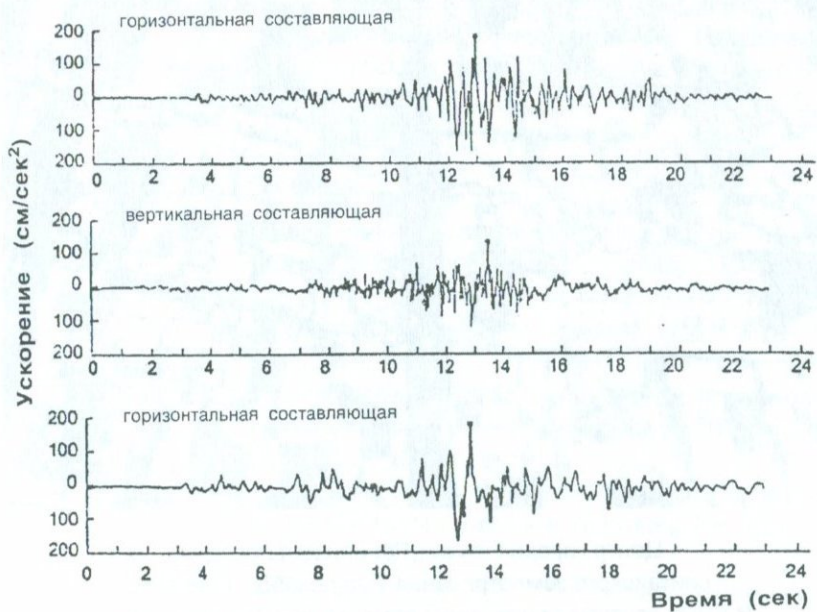
Интенсивность	
I	Колебания почвы отмечаются приборами.
II	Ощущаются в отдельных случаях людьми, находящимися в спокойном состоянии.
III	Колебания отмечаются немногими людьми.
IV	Землетрясения отмечаются многими людьми. Возможно дребезжание стекол.
V	Качание висячих предметов, многие спящие просыпаются.
VI	Легкие повреждения в зданиях, тонкие трещины в штукатурке.
VII	Трещины в штукатурке и откалывание отдельных кусков, тонкие трещины в стенах.
VIII	Большие трещины в стенах, падение карнизов, дымовых труб.
IX	В некоторых зданиях обвалы: обрушения стен, перекрытий кровли.
X	Обвалы во многих зданиях. Трещины в грунтах до метра шириной.
XI	Многочисленные трещины на поверхности земли, большие обвалы в горах.
XII	Изменение рельефа в больших размерах.

Сопоставление сейсмических шкал

Шкала MSK-1964г.	Шкала Института физики Земли АН бывшего СССР 1952г.	Американская Модифицированная шкала (MM) 1931 г.	Японская шкала 1950 г.	Шкала Росси-фореля 1873 г.	Европейская шкала (Меркали Канкани Зиберга 1917 г.
I	1	I	0	I	I
II	2	II	1	II	II
III	3	III	2	III	III
IV	4	IV	2,3	IV	IV
V	5	V	3	V-VI	V
VI	6	VI	4	VII	VI
VII	7	VII	4.5	VIII	VII
VIII	8	VIII	5	IX	VIII
IX	9	IX	6	X	IX
X	10	X	6	X	X
XI	11	XI	7	X	XI
XII	12	XII	7	X	XII



Ленинакан, 7 декабря, 1988 г.



Акселерограмма главного удара спитакского землетрясения
7-го декабря 1988г., записанная в с. Гукасян (Ашоцк)



Центр города Гюмри (Ленинкан) после
спитакского землетрясения 7-го декабря 1988 г.
В круге показаны развалины дома по ул. Шаумяна 125,
где 22 года со своей семьей жил автор настоящей книги .

Литература

1. Гамбурцаев Г.А. — Избранные труды по сейсмологии. М.: Изд. АН СССР, 1960.
2. Горшков Г.П. Шенкарева Г.А. — О корреляции сейсмических шкал. Труды Института физики Земли АН СССР, № 1(168), 1958.
3. Дарбинян С.С. — О методе использования акселерограмм землетрясений в задачах сейсмостойкости сооружений. Изв. АН Арм. ССР (серия тех. наук), т. 21, №4, 1968.
4. Дарбинян С.С., Назаров А.Г. — Шкала для определения интенсивности сильных землетрясений на количественной основе. Сб.: Сейсмическая шкала и методы измерения сейсмической интенсивности. М.: "Наука", 1975.
5. Дарбинян С.С., Штейнберг В.В., Ершов И.А. — Колебания грунта и сейсмический эффект в Петропавловске-Камчатском при сильном землетрясении 24 ноября 1971 года. Тр. ИФЗ АН СССР. "Вопросы инженерной сейсмологии", вып. 17, М., 1975.
6. Дарбинян С.С. — Эмпирическое определение приведенных сейсмических ускорений. Бюллетень по инженерной сейсмологии, №10, Ереван, 1978.
7. Дарбинян С.С. — К определению сейсмических сил в зависимости от грунтовых условий. ДАН Арм. ССР, т. 66, №4, 1978.
8. Дарбинян С.С. — Метод расчета сооружений по акселерограммам землетрясений. Труды ИЗФ АН СССР №21, М., 1981.
9. Дарбинян С.С. — О методе составления сейсмической шкалы на инструментальной основе. ДАН Арм. ССР, т. 2, №4, 1971.
10. Дарбинян С.С., Григорян В.Г. — Оценка сейсмического воздействия в зависимости от магнитуды и эпицентрального расстояния сильного землетрясения. "Бюллетень по инженерной сейсмологии" №12, Ереван: Изд. АН Арм. ССР. 1987.

11. Дарбинян С.С., Назаретян С.Н. — Об интенсивности Спитакского землетрясения 1988 года. ДАН Армении т. 94, №3, 1993.
12. Затопек А.Ф. Амбразейс Н.М. — Об определении макросейсмической интенсивности. Изв. АН СССР, Физика Земли, №7, 1969.
13. Карапетян Б.К. — Многомаятниковые сейсмометры и результаты их применения в инженерной сейсмологии. Ереван: "Айпетрат", 1963.
14. Мартемьянов А.И. — К оценке интенсивности землетрясения 1966г. в Ташкенте по международной шкале. "Бюллетень по инженерной сейсмологии", №6, 1970.
15. Медведев С.В. — Ускорение колебания грунта при сильных землетрясениях. Труды ИФЗ, №10, (177), выпуск 3, 1960.
16. Медведев С.В. — Количественные данные о движениях грунта при сильных землетрясениях. "Бюллетень Совета по сейсмологии АН СССР", №14, 1963.
17. Назаров А.Г. — Метод инженерного анализа сейсмических сил. Ереван: Изд. АН Арм. ССР, 1959.
18. Назаров А.Г. — О новой сейсмической шкале. Ереван: Изд. АН Арм. ССР (серия физ-мат. и тех. наук), вып. 7, №3, 1954.
19. Назаров А.Г. — О переводе сейсмической шкалы на количественную основу. Изв. АН Арм.ССР (серия тех. наук), №3, т.23. 1970.
20. Назаров А.Г. — О структуре сейсмической шкалы на инструментальной основе. Проблемы геомеханики, №4, 1970.
21. Назаров А.Г. — Основная проблема инженерной сейсмологии. "Бллетень по инженерной сейсмологии" №8, Ереван: Изд. АН Арм. ССР, 1973.
22. Назаров А.Г. — О возможной целесообразности отказа от сейсмической шкалы. ДАН Арм. ССР, т. 8, №1 1974.

23. Назаров А.Г., Дарбинян С.С. — К проблематике инженерной сейсмологии в связи с составлением новой сейсмической шкалы. ДАН Арм. ССР, т. 56, №2, 1973.
24. Назаров А.Г., Дарбинян С.С., Амасян Р.О. — К выбору средней акселерограммы. ДАН Арм. ССР, т. 56, №1, 1973.
25. Назаров А.Г., Дарбинян С.С. — Основы количественного определения интенсивности сильных землетрясений. Ереван: Изд. АН Арм. ССР, 1974.
26. Онофраш Н.И., Роман А.А. — Количественная интерпретация макросейсмического поля. Кишинев: "Штииница", 1979.
27. Рихтер Ч.Ф. — Элементарная сейсмология ИИЛ, М., 1963.
28. Сейсмическая шкала и методы измерения сейсмической интенсивности. М.: "Наука", 1975.
29. Шабалин Н.В. — Соотношение между балльностью и интенсивностью землетрясений в зависимости от глубины очага. "Бюллетень по инженерной сейсмологии" АН СССР, №6, 1957.
30. Шабалин Н.В. — К статистическому определению интенсивности землетрясения. Труды X Ассамблеи ЕСК в Ленинграде, 1970.
31. Шабалин Н.В. — Макросейсмическое поле и очаг сильного землетрясения. (диссертация), 1969.
32. Ambrasayas N. Rev. Union Internat. Sect, №5, 1965.
33. Eiby G.A. — The Modified Mercally Scale of Earthquake Intensity and its use in New Zealand, 1965.
34. Nazarov A.G. Darbinian S.S. — On a Metod of Colculation of Constraction for Seismic Stability. Dynamic waves Civil Engineering, London, 1971.
35. Нормы сейсмостойкого строительства. (СН РА II-2.02. 94).

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Введение</i>	5
Глава I. О структуре, содержании и недостатках сейсмической шкалы MSK-64	8
1.1. Об исходных признаках сейсмической шкалы MSK-64	8
1.2. Признаки интенсивности по группе "а" "Люди и их окружение"	12
1.3. Признаки интенсивности по группе "б" "Сооружения"	17
1.4. Признаки интенсивности по группе "в" "Природные явления"	19
1.5. Общие замечания по признакам интенсивности землетрясения	21
Глава II. О попытках улучшения сейсмической шкалы	24
2.1. О шкале и системе измерения сейсмической интенсивности в баллах (1973 г.)	24
2.2. О варианте шкалы для определения интенсивности землетрясений (авторы С.В.Медведев, И.А.Ершов, Е.В.Попова)	26
2.3. О варианте шкалы и системе измерения сейсмической балльности (автор Ш.Г.Напетваридзе)	27
2.4. О шкале сейсмической интенсивности (автор Н.В.Шебалин)	28
2.5. О проекте сейсмической шкалы по инструментальным данным (авторы А.Г.Назаров, С.С.Дарбинян)	29
2.6. Предложение Б.К.Карапетяна к шкале MSK-64 в части оценки повреждений зданий с антисейсмическими мероприятиями	30
2.7. Предложение В.С.Павлыка к описательной части сейсмической шкалы для учета повреждений современных зданий	31
2.8. О вероятностном макете сейсмической шкалы (авторы Н.И.Онофраш, А.А.Роман)	32
2.9. Общие выводы	36
Глава III. Относительно макросеймики	38
3.1. Общие положения	38

3.2. Макросейсмическое поле в расширенном понимании	41
3.3. О шкалах повреждений сооружений при сильных землетрясениях	45
Глава IV. О выборе меры сейсмической интенсивности и о дальнейших недостатках сейсмических шкал	49
4.1. Новая мера сейсмической интенсивности	49
4.2. Упрощенная мера сейсмической интенсивности	53
4.3. Другие недостатки сейсмических шкал	54
4.4. О вреде тенденций "совершенствования" сейсмических шкал	58
Глава V. Сейсмические шкалы на количественной основе	62
5.1. Шкала по ускорениям колебания грунта	62
5.2. Оценка интенсивности землетрясений по спектрам реакции	64
5.3. Определение интенсивности землетрясений с помощью многомаятниковых сейсмометров	73
5.4. Эмпирическое определение балльности землетрясений по приведенным сейсмическим ускорениям	76
Глава VI. Определение интенсивности землетрясений по акселерограммам землетрясений	83
6.1. Общие замечания	83
6.2. Определение набора расчетных акселерограмм	84
6.3. Методика определения акселерограмм для конкретных регионов	93
6.4. О формировании спектров и акселерограмм для расчета сооружений на сейсмостойкость	94
6.5. Об оценке условной величины сейсмических сил по повреждениям зданий	95
<i>Приложение</i>	100
<i>Литература</i>	111

Дарбинян Сурен Сократович

**доктор физико-математических наук, профессор, академик
Российской академии естественных наук (армянский филиал)**



Родился 10 мая 1931 года в селе Товуз Шамшадинского района Армении. В 1953 г. с отличием окончил Ереванский государственный университет по специальности "Механика". В 1961 г. получил ученую степень кандидата технических наук, а в 1977 г. - степень доктора физико-математических наук. В 1982 г. ему присвоено звание профессора.

В основном работал в системе НАН РА, в том числе около 30 лет в Институте геофизики и инженерной сейсмологии НАН РА в г. Гюмри (Ленинакан), где занимал должности зав. лабораторией, заместителя директора по

науке. Проводил большую работу в организации этого института и подготовке молодых специалистов. В этот период работал также в гюмрийском филиале Ереванского инженерного университета.

В годы Советской власти являлся главным редактором Всесоюзного бюллетеня по инженерной сейсмологии, членом межведомственного совета по сейсмологии и сейсмостойкому строительству при Президиуме АН СССР. В настоящее время проф. С.С. Дарбинян является зав. кафедрой теоретической механики в Ереванском государственном университете архитектуры и строительства, где помимо научной работы проводит большую работу по подготовке молодых специалистов в области строительной механики, инженерной сейсмологии и сейсмостойкости сооружений.

Награжден почетными грамотами правительства РА и Президиума НАН.

Научные исследования профессора С.С. Дарбиняна, в основном, посвящены вопросам инженерной сейсмологии и теории сейсмостойкости сооружений. В этой области он является одним из известных специалистов в Армении и за ее пределами. Наиболее важные результаты его исследований относятся расчету зданий и сооружений с учетом упруго-пластических деформаций, созданию сейсмической шкалы на количественной основе. В этой области им получены некоторые фундаментальные результаты. Он является автором несколько десятков научных статей и монографий.