



А.В. МИНАСЯН
кандидат технических наук, заведующий сектором

ЦНИИСК им. А.В. Кучеренко, АО «НИЦ «Строительство»

УДК 624.042.8:69.0

СПИТАКСКАЯ КАТАСТРОФА: МНЕНИЕ СПЕЦИАЛИСТА

В статье рассматривается мнение очевидца о последствиях Спитакского землетрясения. Анализируется поведение зданий и сооружений разной конструктивной схемы: низкая сейсмостойкость железобетонных каркасных зданий, высокая сейсмостойкость панельных зданий, а также сейсмостойкость каменных зданий и сооружений. Рассматриваются масштабы разрушения в разных городах Армении. Город Ленинакан (ныне г. Гюмри) находился в 40 км от очага землетрясения, а г. Кировакан (г. Ванадзор) – в 25 км. Однако, масштаб разрушений в Ленинакане значительно больше, чем в Кировакане в связи с тем, что часть города стоит на водонасыщенных глинистых грунтах, которые усиливают интенсивность сейсмического воздействия, кроме того, доминантные периоды колебаний зданий по 1, 2 и 3 форме совпали с периодом колебаний грунта. Это привело к «сейсмическому резонансу» и увеличило амплитуду колебания сооружений в несколько раз, что и стало одной из причин массового разрушения 9-10-этажных зданий.

Ключевые слова: Спитакское землетрясение, сейсмостойкость панельных, каркасных и кирпичных зданий, усиление колебания грунта, Ленинаканское плато Армении.

Введение

В ночь на 7-е декабря 1988 г. моросил дождь. Обычно в начале декабря в г. Ленинакане (ныне г. Гюмри) температура достигает 12-18 градусов ниже нуля, но в ту ночь температура была плюсовая. Возможно, это и был термический предвестник землетрясения.

Рано утром город утонул в сильном тумане, видимость была 4-5 метров. Был рабочий день. В перерыве автор статьи вышел с работы и в 11 часов 40 минут был на площади

им. Ленина. Туман стал более густой. И вдруг послышался тяжелый гул, а через 3-4 секунды земля начала колебаться. Я работал в лаборатории моделирования сейсмических процессов, поэтому сразу понял, что начинается очень сильное землетрясение. Посыпались стекла из оконных рам, асбестошиферное покрытие, падали карнизы зданий... На 5-7 секунде после начала землетрясения сейсмические толчки стали еще более интенсивными. На 8-10 секунде колебания толчки уменьшились, земля как будто успокоилась, но через четыре минуты и двадцать секунд вдруг послышался страшный гул и сильный воющий звук. Начались очень сильные сейсмические толчки, причем не только горизонтальные, но и вертикальные, и даже крутильные. Люди падали на землю. И вдруг я увидел волны на поверхности земли – они пришли со стороны г. Спитак. Сотрясение земли и толчки усиливались, и на моих глазах полностью разрушились здания «Детского мира», нового 3-этажного корпуса чулочной фабрики, шести и девятиэтажные железобетонные каркасные жилые дома. Это второе, более сильное землетрясение, продолжалось около 10-12 секунд.

Сразу после землетрясения туман исчез, появилось солнце. Однако город с трехсоттысячным населением стал руинами. Все улицы оказались под завалами, из под обломков виднелись машины. В северной части города полностью разрушились железобетонные каркасные здания, школы, политехнический институт, промышленные сооружения и т.д.

Сильные афтершоки Спитакского землетрясения продолжались еще около 6 месяцев, разрушая здания, находившиеся в предаварийном состоянии.

Последствия этого катастрофического землетрясения незабываемы...

1. Спитакское землетрясение 7 декабря 1988 г. произошло в 7 ч. 41 мин. по Гринвичскому времени на севере



Рисунок 1 — г. Ленинанкан, декабрь 1988г. а, б, в – типичное разрушение железобетонных каркасных зданий

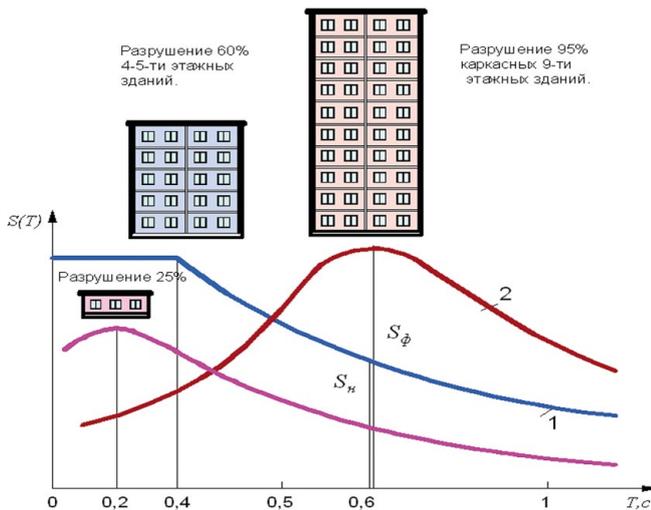


Рисунок 2 — Спектральные кривые воздействия: 1 – по СНиП 2 – Спитакского землетрясения 7.12.1988г., полученные ИФЗ АН РАН; 3 – Ленинанканского землетрясения 1926г, полученные ИГИС АН Армении



Рисунок 3 — Устоявшее при землетрясении крупнопанельное здание серии 451 в Северо-западной части г. Ленинанкан

Армении, в 8 км северо-западной г. Спитак. Координаты эпицентра землетрясения: $q=40^{\circ}54'$ и $\lambda=44^{\circ}08'4$, глубина залегания очага 12 км. Магнитуда землетрясения, по данным большого количества исследователей, была установлена равной 7 [1,2]. В исследовании последствий Спитакского землетрясения участвовали специалисты бывшего СССР – Армении, России, а также многих других стран – США, Японии, Франции [1-6]. Международная Конференция в Армении, в сентябре 1998 г. была посвящена 10-ой годовщине Спитакского землетрясения.

Перед 30-й годовщиной Спитакского землетрясения задумываешься – следует ли возвращаться к этой проблеме – к анализу последствий данной катастрофы. Безусловно – да, еще много раз специалисты в области сейсмологии и сейсмостойкого строительства будут изучать уроки Спитакской катастрофы по следующим причинам:

- в Спитакском районе долгие годы, около 400 лет, не происходило землетрясений, поэтому, в соответствии с картами сейсмического районирования СССР, Спитак считался 7- балльной зоной;
- на разрушение зданий огромное значение оказали грунтовые условия местности.

Каркасные здания долгое время считались наиболее сейсмостойкими, в отличие от панельных, однако последствия землетрясения показали, что наоборот – более 90% каркасных зданий были полностью разрушены.

Данные специфические особенности уроков Спитакско-

го землетрясения должны учитывать специалисты в области сейсмологии, инженерной сейсмологии и сейсмостойкого строительства.

При Спитакском землетрясении 7 декабря 1988 г. в Армении по официальным данным погибло 25 тысяч человек, из них: в Ленинанкане 14-15 тысяч, в Спитаке 5 тысяч, остальные в других городах и населенных пунктах [5].

Спитак находился практически в эпицентральной зоне, в городе обрушились почти все здания, сооружения и дома частного сектора.

По картам сейсмического районирования СССР максимальная интенсивность в г. Спитаке 7-8 баллов, однако интенсивность произошедшего землетрясения на 1-2 балла больше, это значит, что фактические сейсмические нагрузки в 2-4 раза больше ожидаемых, что и явилось основной причиной массового разрушения зданий.

Таким образом, в эпицентральной зоне – в районе Спитака – интенсивность оценивается в 9-10 баллов; в Ленинанкане, в 40 км от очага 8-9 и 9-10 баллов; в Кировакане, Степанаване, Калинино (Ташир) и Гукасяне 7-8 баллов; в Артике 7, в Арарате 5, в Ереване, на расстоянии 120 км от Спитака, интенсивность была примерно 5-7 баллов. В Мецаморе, где расположена Мецаморская АЭС, на расстоянии 110 км от очага – 5 баллов. Эти данные являются средними оценками. На отдельных площадках были существенные отклонения.

Самые близкие пункты, зарегистрировавшие землетрясения (записи акселерограмм) были в г. Гукасян – 35 км,

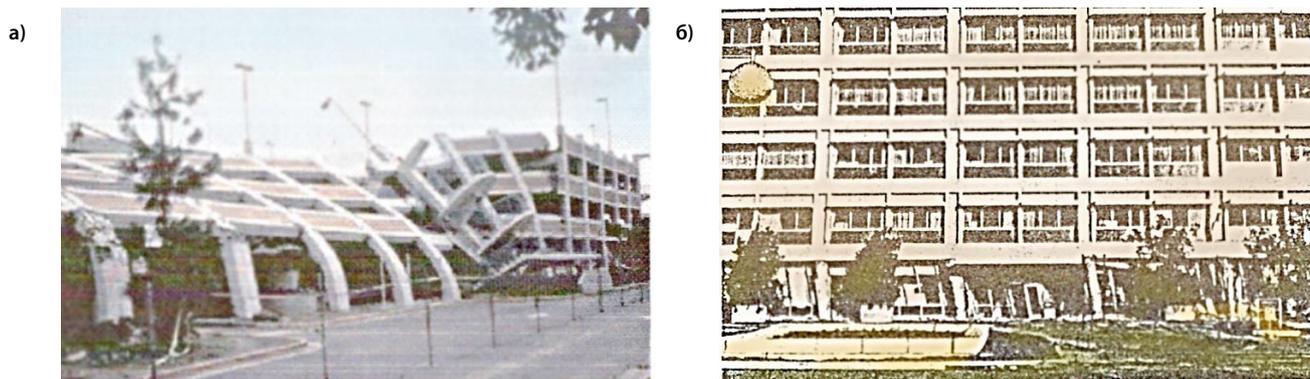


Рисунок 4 — а - Потеря устойчивости здания с гибким нижним этажом во время землетрясения (Венесуэла)
 б - Повреждение здания с гибким нижним этажом на ул. Победы, г. Ленинакан, во время Спитакского землетрясения: сдвиг верхних этажей относительно колонн 1-го этажа составляет 500 мм

г. Мецамор – 110 км и г. Ереван – 120 км от эпицентра. В сейсмической станции г. Ленинакана акселерограммы [1, 2, 3] не записаны (зашкаливали). Однако были сделаны записи колебаний многомаятниковыми сейсмографами академика А.Г. Назарова, которые дали возможность оценивать интенсивность сейсмического воздействия в г. Ленинакане.

Основной специфической особенностью Спитакского землетрясения является то, что оно произошло двумя, последовавшими один за другим, землетрясениями (толчками). Интенсивность этих толчков отличалась более чем в два раза. Данные подтверждает анализ записей землетрясения по составляющей В-З, полученной на сейсмической станции «Ленинакан», а также из записей по трем составляющим (В-З, С-Ю и вертикальные), полученных на инженерно-сейсмометрической станции в г. Гукасяне. Интенсивность основного первого Спитакского землетрясения 7 декабря 1988 года в г. Ленинакане определена в соответствии с MSK-64 [2] по записям многомаятниковых сейсмографов, установленных на станциях инженерно-сейсмометрической службы: по улице Калинина, где максимальное отклонение составило 10 мм, что является нижним пределом 9 баллов; по улице Спандаряна, дом 24, где максимальное отклонение составило 15 мм, что является верхним пределом для 9 баллов, и по улице Ленинградян, дом № 5 (сейсмическая станция Института Геофизики и Инженерной Сейсмологии Академии наук Армении), где максимальное отклонение составило 18 мм, что является нижним пределом для 10 баллов.

Таким образом, в г. Ленинакане на здания и сооружения, запроектированные на расчетную сейсмичность 7-8 баллов, воздействовали два землетрясения интенсивностью 8-9 баллов. Первое землетрясение привело к сильному повреждению многочисленных зданий и сооружений, а второе землетрясение, более чем в два раза интенсивнее первого, полностью разрушило и обвалило пострадавшие здания и сооружения.

2. Разрушение каркасных зданий серии 111: в Ленинакане на расстоянии 40 км разрушено 95%, а в Кировакане на расстоянии 25 км выстояли все здания. Разрушение каркасно-каменных зданий в Ленинакане 62%, в Кировакане – 24%. Масштаб разрушений каменных домов (до 4-х этажей) примерно одинаков в обоих городах.

Основные причины разрушения каркасных зданий в г. Ленинакане:

1. Интенсивность землетрясения на Ленинаканском плато выше, чем расчетное значение по картам ОСР.
2. По исследованиям ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко, ИФЗ РАН, ИГИС АН Армении, группы специалистов США и Японии, на Ленинаканском плато преимущественные разрушения связаны с появлением резонансных явлений – совпадением периодов собственных колебаний каркасных зданий с периодами максимальных амплитуд сейсмических толчков. Возможны также бифуркационные явления, когда амплитуда и фаза колебания основания от сейсмических воздействий совпадает с собственными колебаниями и фазой здания.
 9-10-этажные каркасные здания серии 111 имели начальные периоды собственных колебаний 0,55-0,65с, которые увеличились в результате накопления повреждений под воздействиями двух последующих землетрясений (толчков). По мере вступления резонансных зон величины ускорений и сейсмические нагрузки могли в 4-8 раз превышать нормативные значения.
3. Сопоставительный анализ афтершоков в г. Ленинакане и в г. Степанаване (примерно на одинаковых расстояниях от эпицентра) показывает, что после вступления поперечной волны S амплитуда колебаний резко возрастает. При этом образуется интерференционный цуг с амплитудой в 4-6 раз больше с продолжительностью 10-30 с.
4. Значительные разрушения связаны с интенсивным вертикальным компонентом землетрясения. В 2-4 раза выше горизонтальные составляющие с сочетанием интенсивных вертикальных воздействий привели к превышению расчетных нагрузок в 4-8 раз.
5. Учитывая сравнительную длительность воздействия, а также фактически следовавшие одно за другим два землетрясения, здания и сооружения не могли противостоять катастрофе, даже при нормальном качестве строительства.

3. Высокая сейсмостойкость крупнопанельных зданий

В г. Ленинакане, где полностью разрушились каркасные здания серии 111, шестнадцать девятиэтажных крупнопанельных зданий оказались почти совершенно неповрежденными (рис. 3) В г. Спитаке были два крупнопанельных пятиэтажных дома; среди массовых разрушений оба эти крупнопанельные здания сохранились. В связи с этим очень



Рисунок 5.1 — Разрушение каменных зданий во время Спитакского землетрясения (г. Спитак)

важное значение имеет анализ причин высокой сейсмостойкости крупнопанельных зданий.

Основные причины сейсмостойкости крупнопанельных зданий серии 451:

1. Несущие и ограждающие конструкции крупнопанельных зданий (стеновые панели и плиты перекрытия) изготавливаются на заводе, имеющем совершенные технологические циклы по изготовлению бетона, арматурных каркасов и закладных деталей. В связи с этим панели заводского изготовления более качественные, чем конструкции, изготовленные на строительной площадке.
2. При воздействии сильных и разрушительных землетрясений конструкции панелей могут скользить по платформенным швам, создавая сухое трение, которое в значительной степени поглощает воздействие сейсмических толчков, уменьшает амплитуды колебаний конструкций.
3. Соединительные элементы железобетонных стеновых панелей и плит перекрытия при сильных землетрясениях могут деформироваться упругопластической стадией, и тем самым увеличить демпфирование колебаний и уменьшать энергию сейсмических воздействий, передающихся на здания и сооружения.
4. Крупнопанельное здание за счет своего конструктивного решения имеет значительный диапазон живучести. При разрушительных землетрясениях, если даже обрушится одна или несколько панелей, то это не приводит к полному разрушению здания. Кроме того, с выходом из строя одного или нескольких элементов происходит уменьшение сейсмических нагрузок. В то же время в зданиях в каркасном конструктивном решении разрушение одной колонны, особенно в нижнем этаже, может привести к частичному или полному разрушению здания в целом.
5. Крупнопанельные здания в связи с коробчатым и крестообразным расположением стеновых панелей, совместно с плитами перекрытия, имеют значительную жесткость, следовательно, высокие частоты собственных колебаний (малыми периодами). Крупнопанельные здания проектировались в соответствии с действовавшими нормами на сейсмическую нагрузку в 2-4 раза больше, чем гибкие каркасные здания.
6. Спитакское землетрясение имело значительную интенсивность вертикальной составляющей. Крупнопанельные здания имеют повышенную вертикальную жесткость, благодаря чему меньшую деформативность и большую устойчивость при вертикальных воздействиях.
7. При сейсмических воздействиях частичные повреждения, вертикальные, горизонтальные и косые трещины в

a)



b)



Рисунок 5.2 — а, б – Разрушение каменных зданий во время Спитакского землетрясения 7 декабря 1988 г.

a)



b)



Рисунок 5.3 — Разрушение каменного здания церкви Всеспасителя во время Спитакского землетрясения в г. Ленинкане (а) и вид после восстановления (б)

Таблица 1 — Классификация зданий и сооружений по аналоговой шкале MSK-64

Тип зданий и сооружений	Характеристики конструктивных решений и несущих элементов
1	2
«А»	Одноэтажные постройки с несущими каменными стенами из рваного или груботесанного мелкоразмерного на известковом растворе без соблюдения правила кладки. Покрытия в основном деревянные, с отсутствием связей со стенами. Перемычки деревянные и каменные клинчатые, редко балочные со стержнями на известковой смеси. Дверные и оконные проемы маленькие.
«Б»	Одно-, двухэтажные здания из местных камней: туф, фельзит, правильной формы или чистотесанных типа «мидис» толщиной 40-80 см на цементном, известковом или сложном растворе. Перекрытия и покрытия из деревянных и железобетонных конструкций имеют связи с несущими стенами. Перемычки железобетонные или «клинчатые» – из туфа на цементном растворе. Фундаменты ленточные из бутовой кладки на цементном, известковом или сложном растворе. Перегородки из легкобетонных перегородочных плит.
«В»	Одно-, двух-, трехэтажные здания из местных нормированных крупноразмерных чистотесаных камней типа «мидис» или из камней стандартной («правильной») формы на нормальном цементном, известковом или сложном растворе. Качество кладки типа «мидис» и стандартной («правильной») формы нормальное: соблюдены правила выполнения кладки – перевязка швов и стыков; наличие сужьма и «гогора»; опорные постели камней кладки типа «мидис» ≈ 50мм. Толщина кладки стен больше 55-60 см. Фундаменты ленточные, рваный бут или базальт на цементно-песчаном растворе. Фундаменты расположены ниже отметки замерзания грунта. Перекрытия и покрытие в основном из железобетонных плит (сборных или монолитных) реже деревянных на балках. Перемычки над проемами из туфовых камней «клинчатого» типа на цементно-песчаном растворе и из монолитных сборных перемычечных балок.

панелях и платформенных швах являются системой включающихся связей, приводящих к адаптации и повышенной живучести крупнопанельных зданий.

4. Сейсмостойкость зданий с гибким нижним этажом

Анализ последствий Спитакского землетрясения показал низкую сейсмостойкость зданий с нижним гибким этажом.

Здания и сооружения с гибкими конструкциями нижних этажей начали строить во второй половине 30-х годов в США. Такие конструкции в основном представляли собой жилые и общественные здания, опирающиеся на колонны нижних этажей. В нижних этажах располагались офисные помещения, гаражи, банки, дома быта и другие учреждения. Требование открытого пространства нижних этажей диктовалось архитектурно-функциональным предпочтением, и такого решения добивались путем применения как несущих элементов в нижних этажах – колонн, пилонов, порталов, рам, арок и других подобных конструкций. В ряде случаев в сейсмоактивных районах гибкие конструкции нижних этажей считались элементами сейсмоизоляции, по этим соображениям во всем мире в городах и населенных пунктах возведены жилые и общественные здания с гибкими конструкциями нижних этажей.

Здания с гибкими нижними этажами показали недостаточную сейсмостойкость при разрушительных землетрясениях в Венесуэле – 1966 г., Сан-Фернандо – 1971 г., Мехико – 1985 г., Лома-Приете – 1989 г., Кобе – 1995 г., в Турции, на Тайване и в Греции – 1999 г., в Индии – 2001 г., в Китае – 2008 г., в Японии 2011 г. Многочисленные факты свидетельствуют, что массовые разрушения произошли из-за гибких кон-

струкций нижних этажей. Результаты исследований показывают, что во многих случаях в нижних этажах как несущий элемент применялись тонкие железобетонные колонны. Несущая способность таких колонн при действии вертикальных и гравитационных сейсмических нагрузок значительно ниже, особенно при образовании трещин бетона и в зонах пластических шарниров арматуры. При многоциклических сейсмических колебаниях здания колонны нижних этажей теряют несущую способность и устойчивость.

Во многих случаях верхние этажи оказались сейсмостойкими, а большие повреждения нижних этажей вызвали угрозу тотального разрушения всего здания. Анализ поведения зданий с нижними гибкими этажами (ярусами) в Ленинакане, а также во время вышеуказанных сильных землетрясений показывает, что в большинстве зданий горизонтальное перемещение на уровне перекрытия нижнего этажа может достичь 500 мм и больше, однако разрушение верхних этажей не происходит. Примером может служить 8-подъездный 5-этажный дом (с гибким 1 этажом) на ул. Победы в г. Ленинакане. При землетрясении горизонтальные перемещения на уровне перекрытий 1-го этажа достигли 450-500 мм. Однако разрушения верхних этажей не произошло. Аналогичное поведение проявило 5-ти этажное здание госпиталя с гибким нижним этажом во время разрушительного землетрясения в Калифорнии в 1989 г. Горизонтальные перемещения в верхних частях колонн 1-го этажа достигли 400-500 мм без разрушения верхних этажей. Этот анализ подтверждает весьма важный вывод о возможности применения широкого диапазона живучести зданий: сейсмоизоляции, включающимися и выключающимися связями, погло-

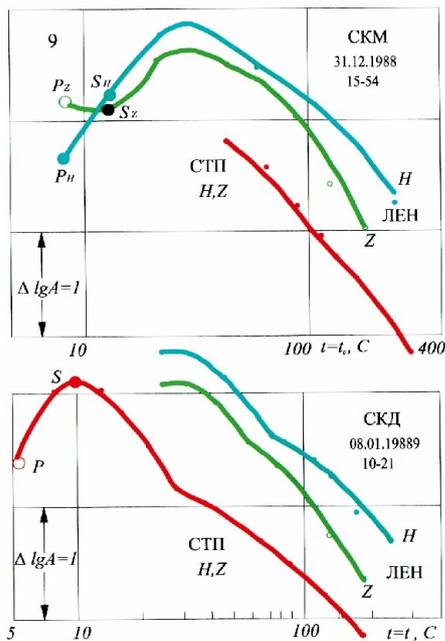


Рисунок 6.1 — Сравнение огибающих записей афтершоков на станциях Лениканан и Степанаван приборами СКМ (вверху) и СКД (внизу). Крупными значками показаны вступления объемных P и S волн. Для огибающей станции Лениканан отдельно даны огибающие коды вертикальной Z (зеленый цвет, не залитые точки) и горизонтальной H (бирюзовый цвет, залитые точки) составляющей. На записях станции Степанаван уровень и форма огибающих коды всех трех компонент в среднем одинакова

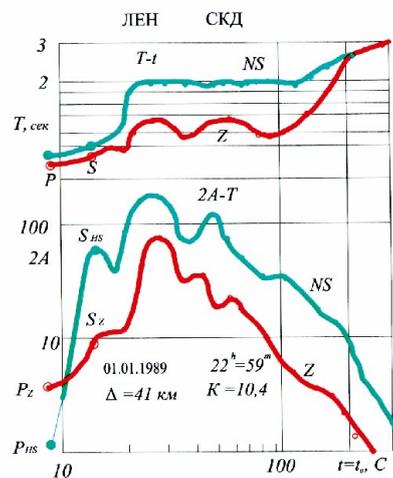


Рисунок 6.2 — Сравнение периодов (вверху) и амплитуд объемных волн и коды (внизу) вертикальной и горизонтальной компонент. Запись афтершока 1 января 1989 г. приборами СКД станции Лениканан

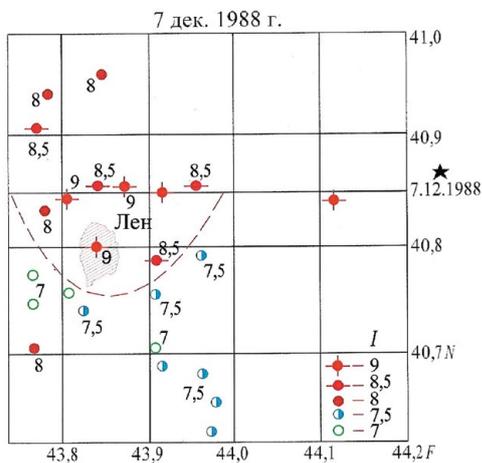


Рисунок 6.3 — Карта макросейсмических проявлений при Спитакском землетрясении 7 декабря 1988 г. для Ширакской котловины и её окрестностей

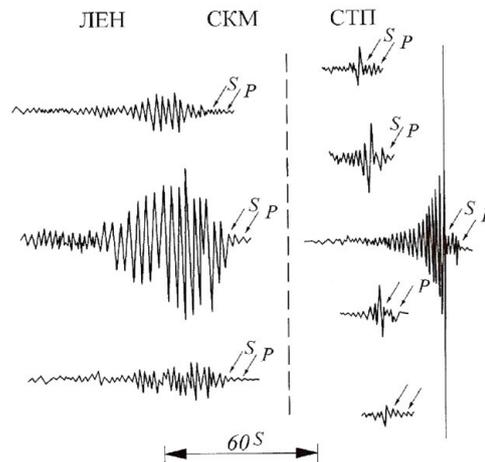


Рисунок 6.4 — Образцы записей афтершоков Спитакского землетрясения приборами СКМ станций Степанаван (справа) и Лениканан (слева)

тительными элементами, сейсмоамортизаторами, упругими и качающимися опорами и многим другим.

В последние 30 лет в ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко разработаны многочисленные системы сейсмозащиты зданий и сооружений, строящихся в сейсмоактивных районах (Айзенберг Я.М., Смирнов В.И., Мелентьев А.М. и другие). Ряд интересных специфических решений по сейсмоизолирующим опорам были предложены проф. Савиновым О.А., Уздиным

А.М.[20], Белаш Т.А. [21], (Россия) и проф. Мелкумян М.М. (Армения). Эти системы снижают горизонтальные сейсмические силы и, следовательно, перемещения, что приводит к увеличению надежности и сейсмостойкости здания с гибкими нижними ярусами, которые являются необходимыми объектами в градостроительстве.

Влияние грунтовых условий на интенсивность сейсмического воздействия имеет огромное значение для расчета

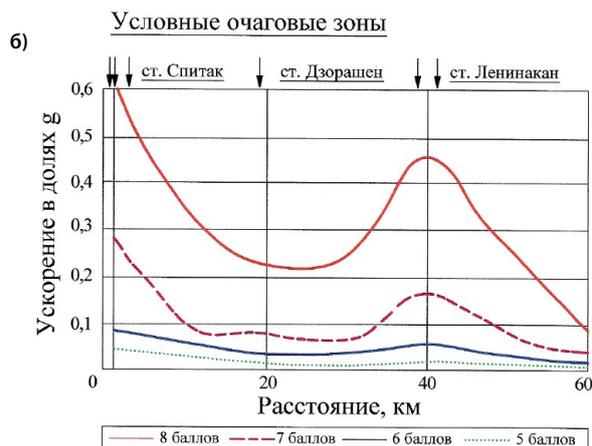
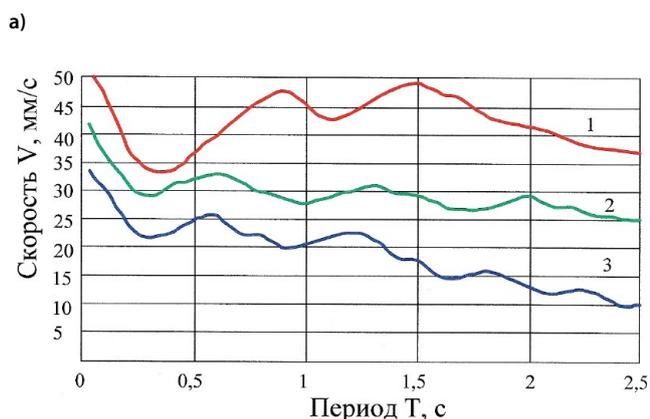


Рисунок 6.5 — а – Спектры Спитакского землетрясения 1 – Ленинакан, 2 – Гукасян, 3 – Дилижан. Направление 3-В б – Зависимости А – Δ по направлению В-3

и проектирования атомных электростанций (АЭС). Работы в этом направлении ведутся в АО «Атомэнергопроект» проф. Саргсяном А.Е. [19].

На интенсивность сейсмического воздействия на Ленинанканском плато значительное влияние оказало влияние грунтовых условий основания. Об этом подробнее остановимся в разделе 6.

Грунтовые условия в г. Ленинакане сильно ухудшились. Повышение уровня грунтовых вод привело к промыванию больших рыхлых грунтов под слоем туфовых отложений. Это привело к усилению сейсмического воздействия. Американские ученые, работающие в эпицентральной зоне, зарегистрировали колебания с магнитудой ≈ 4.5 при афтершоке 31 декабря 1988 г. в г. Ленинакане и в Кета. Сопоставительный анализ спектральных кривых показал, что при периоде 1-2 с возрастание колебаний в Ленинакане доходит до 10-12 раз. Второй особенностью увеличения сейсмических воздействий является приближение (совпадение) периодов колебаний грунта и собственных периодов колебаний зданий и сооружений. Это условие отразилось на поведении 9-этажных каркасных зданий в г. Ленинакане. Из-за совпадения периодов колебаний грунта и каркасных зданий произошло резонансное явление, которое привело к тотальному разрушению каркасных зданий.

5. Разрушение каменных зданий и оценка интенсивности Спитакского землетрясения по шкале MSK-64

В связи с отсутствием полной инструментальной информации интегральная оценка интенсивности Спитакского землетрясения выполнена с учетом результатов макросейсмических интерпретаций сейсмического воздействия.

Макросейсмическое исследование выполнялось в соответствии со шкалой MSK-64 с учетом особенности повреждений и разрушений каменных зданий в гг. Ленинакане, Спитаке, Кировакане (рис. 5.1-5.3).

Основным предположением шкалы MSK-64 является условная инженерная интерпретация зданий без специальных антисейсмических мероприятий. Для зданий и сооружений, возводимых в Армении, аналоговая инженерная классификация шкалы MSK-64 приведена в таблице 1.

6. Усиление колебаний на Ленинанканском плато Армении в зависимости от грунтовых условий

Достоверная информация о сейсмическом событии

имеет решающее значение на всех этапах проектирования, возведения и эксплуатации сооружений. Неполнота реальных данных, определяющих характеристики сейсмических колебаний на конкретной площадке (направленность источника воздействия, слоистость строения, нелинейные, упругопластические, вязкие свойства грунта, рельеф местности, трещиноватость колеблющихся плит, глубина, геометрия очага и т. д.), в значительной степени снижает достоверность сейсмологической информации, и это должно учитываться при проектировании.

Многочисленные человеческие жертвы и массовые разрушения сооружений при Спитакском землетрясении обусловлены недооценкой интенсивности сейсмического воздействия [5]. До землетрясения Спитакский район считался 6-7-балльным, а после землетрясения – 9 и более балльной интенсивности. Аналогичная картина выявлена после землетрясений в Грузии в 1991 г., в Нефтегорске в 1995 г. и т. д.

В методологическом подходе с точки зрения механики твердых деформируемых тел и конструкций проблема сейсмостойких сооружений вполне разрешима, если известны параметры колебаний грунта в функции от времени и соотношения между напряжениями и деформациями материала конструкции. По этим соображениям проф. С.В. Медведев предложил при оценке сейсмической интенсивности принимать максимальное относительное отклонение линейного осциллятора при периоде свободных колебаний $T=0,25$ с и логарифмическом декременте 0,5 с. М.А. Садовский на основе серии экспериментальных исследований установил связь между интенсивностью воздействия и величинами массовой скорости сейсмозврыва волн. Осуществляя мощные взрывы, он получил зависимости для определения скорости колебания с массой заряда и расстоянием до взрыва [10].

В связи с тем, что инерционная сейсмическая сила прямо зависит от ускорения основания, Канкани за меру сейсмической интенсивности предложил принять максимальное сейсмическое ускорение. А.Г. Назаров при оценке сейсмической интенсивности предложил принять реакции линейных осцилляторов с различными периодами свободных колебаний. Здесь мерой сейсмической интенсивности землетрясения является функция, которая называется при-

веденным сейсмическим ускорением или реакцией. Им же построен многоятниковый сейсмометр, состоящий из набора горизонтальных и вертикальных линейных осцилляторов, демпферы которых обеспечивают изменения логарифмического декремента колебания в пределах 0,3-0,4 [11]. Однако все рассмотренные величины и их максимальные значения недостаточны для полного представления сейсмического воздействия и анализа динамического поведения сооружения.

На втором этапе представления сейсмического воздействия широкое распространение получили реальные акселерограммы землетрясения (Дж. Хаузнер, А.Г. Назаров [11]); ввиду отсутствия полной сейсмологической информации статистические модели сейсмического воздействия (Я.М. Айзенберг [8], В.В. Болотин, А.М. Жаров). Причем, случайная Φ и нормированная корреляционная функция K представляются часто в виде [8]:

$$\begin{aligned} \Phi(t, \omega_j) &= \varepsilon_j e^{\delta t} G_j \Phi(t, \omega_j) \\ K(\tau, \omega_j; \varepsilon_j) &= e^{-a_j |\tau|} (\cos \omega_j \tau + a_j \sin \omega_j \tau / \omega_j) \end{aligned} \quad (1)$$

где ω_j – несущая частота j -го процесса; a_j – характеризует быстроту убывания процесса, G_j – дисперсия процесса, ε_j – характеризует огибающую j -го процесса; Φ – нормированная функция, характеризуется тем, что ее дисперсия $(-\infty, +\infty) \rightarrow 1$. Анализ выборки акселерограмм с параметром ω_j показывает, что расчетные множества случайных процессов могут быть характеризованы параметрами: ε_j, τ_j и a_j , аргументами которых являются несущие частоты ω_j , или периоды $T_j = 2\pi\omega_j^{-1}$.

Статистический анализ литературных данных и подавляющее большинство практических предложений специалистов в СССР, США, Японии и др. стран показывает, что сейсмический эффект обратно пропорционален T^n (где n колеблется в диапазоне $1/4 \leq n \leq 1$), и может быть представлен:

$S_c = C/T^n$ – где C – некоторая постоянная величина; S_c – сейсмический эффект, пропорциональный ускорениям колебания грунта.

К таким выводам пришли Блюм Дж., Хаузнер Дж., Дженинг Р., Канаи К., Назаров А.Г., Айзенберг Я.М., Корчинский И.Л. и многие другие исследователи. За последние несколько лет возник повышенный интерес к энергетическим критериям сейсмических воздействий и сейсмостойкости сооружений.

Основой таких исследований служит интенсивность по Ариасу:

$$I_A = \int_0^t \ddot{u}_0(t) dt \quad (2)$$

где $\ddot{u}_0(t)$ – зависимость сейсмического ускорения от времени.

При расчете сейсмического риска для уникальных строительных объектов А.В. Сувиловой предложено перейти к вероятной оценке параметров колебания грунта на возможных ситуациях за проектный период службы сооружения [12]. Максимальная амплитуда ускорения в долях g на расстоянии $\Delta = 6-100$ км была рассчитана по формулам:

$$\begin{aligned} A_{max} &= 0,06 MR - 0,22 \pm 0,17 \\ \lg A_{max} &= 0,19 MR - 2,29 \pm 0,36 \end{aligned} \quad (3)$$

Вблизи разлома дня определения максимального ускорения, когда эпицентрального расстояние $\Delta = 0$, Сид предложил следующие формулы [8]:

$$\begin{aligned} A_s &= 0,09 MR - 0,27 \pm 0,22; \\ \lg A_s &= 0,18 MR - 1,72 \pm 0,28. \end{aligned} \quad (4)$$

Максимальная амплитуда ускорения (в долях g) на гипоцентрального расстоянии $D = 25$ км по данным Н.В. Шебалина [14] определяется:

$$\begin{aligned} A &= 0,11 MR - 0,48 \pm 0,11; \\ \lg A &= 0,39 MR - 3,29 \pm 4,2 \end{aligned} \quad (5)$$

Необходимо отметить, что даже при достаточных объемных выборках, расчеты по формулам (3)-(5) приводят к существенно разным результатам. Так, обработка данных 50 акселерограмм [12] существенно искажает картину, и видоизмененное уравнение принимает следующий вид:

$$\begin{aligned} A_{max} &= 0,02 MR - 0,06 \pm 0,06 \\ \lg A_{max} &= 0,06 MR - 0,1 \pm 0,13 \end{aligned} \quad (6)$$

Группы зависимостей $A-MR$ и $\lg A-MR$ можно продолжить, приведя аналогичные формулы и других авторов. Однако, анализ сильных и разрушительных землетрясений, произошедших за последние 10-15 лет, показывает, что любые зависимости $A-MR$, $\lg A-MR$ и $T_{max}-MR$, свойственны только изучаемым группам акселерограмм, рельефу местности, локальным условиям грунта, особенностям строения, пути распространения сейсмических волн и т.д.

В результате изучения последствий Спитакского землетрясения и последующих нескольких десятков афтершоков было установлено следующее максимальное амплитудное значение ускорений колебаний грунта:

$$\begin{aligned} \lg A_{max} &= 0,21 MR - 2,2 \pm 0,45; \\ \lg A &= 0,71 gr + 0,25 M \pm 1,55, r \leq 40 \text{ км} \end{aligned} \quad (7)$$

где A_{max} – максимальное значение ускорения (m/c^2); tA – длительность интенсивности ускорения, с.

Объем разрушений в Ленинанкане значительно выше, чем можно было ожидать, исходя из магнитуды MLN и макросейсмической магнитуды MMC [8]. MMC определяются макросейсмические обследования последствий землетрясений в населенных пунктах с учетом региональных кривых затухания. В соответствии с исследованиями ИФЗ РАН затухание макросейсмической интенсивности в Закавказье происходит сильнее, чем в Средней Азии и на Балканах (рис. 6.1-6.4).

По зависимости $I(R)$ для Спитакского землетрясения следует, что MMC=7,8 и на расстоянии 35 км ожидается $I = 7,6$ балла.

Для землетрясений Кавказа корреляционная связь MMC и магнитуды связана формулой:

$$MMC = 1,12 MLN + 0,20 \quad (8)$$

Результаты по этой зависимости на 1 единицу больше, чем аналогичные соотношения для Средней Азии:

$$MMC = 1,19 MLN - 1,10 \quad (9)$$

и на Балканах:

$$MMC = 1,20 MLN - 0,76 \quad (10)$$

В соответствии (3) для Спитакского землетрясения MMC должно быть 8,0, а ожидаемая интенсивность для Ленинанкана 7,8 балла.

Реальная интенсивность в Ленинакане была около 9 баллов.

На рис. 6.5а приведены спектры колебания землетрясения 06.10.1991 г. в районе Амассии на границе Турции и Армении, полученные сейсмическими станциями ИГИС НАН Армении и геологической службы США [15].

Как видно из графиков, ординаты спектров колебаний в г. Ленинакане значительно выше, чем в некоторых зонах, близких к очагу землетрясения.

На рис. 6.5 б приведены зависимости ускорения грунта от эпицентрального расстояния.

Результаты получены на основе использования реальных записей последующих афтершоков Спитакского землетрясения на сейсмических станциях Ленинакан, Спитак, Мармашен, Дзорашен, Кети, Гукасян, Айгабац и т.д.

Анализ результатов исследований показывает, что при использовании даже верхней границы формулы (5), на Ленинаканском плато реальные колебания грунта значительно усилены (на графике получены пики – «полюсы» ускорения), на полосе 0,5-1,5с периодов колебаний грунта. К аналогичным выводам пришли Карапетян Б.К., Геодакян Э.Г., Халтурин В.И., Айзенберг Я.М., Агбабян М.С., Борчердт Р.Д., Кюрегян А.Д., Филсон Дж.Р. и др. [4, 15].

Местные геологические условия в значительной степени влияли на характеристики сейсмических воздействий. Было установлено, что в неконсолидированных водонасыщенных отложениях часто развивались резонансные и

бифуркационные колебания. Для таких отложений уровни сейсмических воздействий могут быть в несколько раз больше и по амплитуде и по продолжительности колебания. На Ленинаканском плато интенсивность воздействия значительно больше, чем в других населенных пунктах (г. Кировакан и т.д.), которые расположены ближе к очагу Спитакского землетрясения и последующих афтершоков. Этот факт является одной из основных причин массового разрушения зданий и сооружений в г. Ленинакане. Усиление интенсивности воздействия землетрясений было установлено также при землетрясении в г. Скопье в 1976 г. в полосе – 0,4-1,0 с; в Мехико в 1985 г. в 1,5-3 с; в Сан-Франциско в 0,7-1,2 с и т.д.

Таким образом, при разработке нормативных документов необходимо ввести уточнения вариации интенсивности сейсмического воздействия с учетом реальных данных о колебаниях грунта вследствие произошедших землетрясений в отдельных населенных пунктах, в зависимости от дальних и близких очагов и в зафиксированной полосе частот. В ряде случаев при проектировании уникальных объектов (АЭС, высоких контрфорсных плотин и т.д.) оценки вариации параметров и полосы резонансных частот колебаний грунта могут быть установлены экспериментально, на основе возбуждения пакета замедленных взрывов на разных расстояниях от строительной площадки. Разработать конструктивные решения обеспечивающие живучесть высотных зданий и ответственных сооружений [20-27].

Литература

1. Armenia Earthquake Reconnaissance. Report. Earthquake Spectra, August, 1989.С.29.
2. Карапетян Б.К. Результаты изучения Спитакского землетрясения и перспективы дальнейших исследований // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 1999. №1. С. 9-11.
3. Айзенберг Я.М. Развитие конструкций и норм антисейсмического проектирования. Москва, ВНИИТПИ. 1997. С. 34-35.
4. Халтурин В.И., Шомахмадов А.М., Геодакян Э.Г., Саргсян Н.М., Мхитарян Л.А. Усиление интенсивности колебаний в Ленинакане. Тр. ИФЗ АН СССР. 1991. №32.С. 77-86.
5. Айзенберг Я.М. Спитакское землетрясение 7 декабря 1988 г. Некоторые уроки и выводы // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 1999. №1. С.6-9.
6. Мелкумян М.Г. II Международная конференция по сейсмической опасности и снижению сейсмического риска, посвященная 10-ой годовщине Спитакского землетрясения (15-21.09.1998 г., г. Ереван, Армения) // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 1999. №1. С.44-47.
7. Мхитарян Л.А., Мхитарян Д.А. Анализ инженерно-сейсмометрических данных сильных землетрясений, зарегистрированных в 1991-92 годах на территории Армении// Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 1999. №1. С.18-19.
8. Айзенберг Я.М. Модель сейсмостойкого воздействия для расчета сооружений при неполной сейсмологической информации. Сейсмическая шкала и методы измерения сейсмической интенсивности. М.: Наука, 1975. С.170-178.
9. Медведев С.В. Инженерная сейсмология. М.: Стройиздат, 1962. 284 с.
10. Садовский М.А. Сейсмика взрывов и сейсмология //Физика Земли. 1987. № 11. С. 34-42.
11. Назаров А.Г. Метод инженерного анализа сейсмических сил. Ереван: Изд. АН Арм. ССР, 1959. 286 с.
12. Сувилова А.В. и др. Об оценке параметров движения грунта при расчетах сейсмического риска. Сейсм. шкала и методы измерения сейсм. интенсивности. М.:Наука, 1975.С. 143-148.
13. Seed H.B. et al. Influence of Soil Conditions on Ground Motions During Earthquakes // J. Soil Mech and Found. Div. ASCE, 1969 vol.95, N5. Pp. 99-138.
14. Шебалин Н.В. Распределение степеней повреждения зданий и использование его для оценки балльности/ В кн. Сейсмическая шкала и методы измерения сейсмической интенсивности. М.: «Наука», 1975-6. С.253-266.
15. Agbajian M.S. et al. Armenia earthquake reconnaissance report. Los-Angeles, 1989. 195 p.
16. Долгая А.А., Индейкин А.А. Статистический анализ интенсивности по Ариасу и скорости для реальных землетрясений // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2000. №2. С. 32-34.
17. Заалишвили В.Б. Сейсмическое микрорайонирование на основе изучения нелинейных свойств грунтов искусственными источниками. Автореф. докт. дисс. М., 1996.43 с.
18. Чернов Ю.К. (1984). Закономерности изменения спектра колебаний грунта в ближней зоне землетрясения // Вопросы инженерной сейсмологии. Вып. 25. С. 16-28.
19. Саргсян А.Е. Динамика и сейсмостойкость сооружений атомных станций. М., 2013. 549 с.
20. Уздин А.М. Развитие идей О.А. Савинова в области сейсмоизоляции зданий и сооружений// Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2011. №2. С.36-38.
21. Белаш Т.А., Альберт И.У. Сопоставительный анализ сейсмостойкости зданий с различными системами сейсмоизоляции// Сейсмостойкое строительство. М.: ВНИИТПИ. 1995. Вып. 4.С. 30-34.
22. Айзенберг Я. М., Смирнов В. И., Минасян А. В. Сейсмоамортизация особо ответственного технологического оборудования

атомных станций// Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 1999. №4. С. 18-22.

23. Айзенберг Я. М., Минасян А. В. Исследование сейсмоамортизации фильтра и теплообменника АЭС // Сейсмостойкое строительство. 1988. №2. С. 9-11.

24. Минасян А. В. Комплексное резервирование спектральной живучести уникальных сооружений при чрезвычайных динамиче-

ских, сейсмических и техногенных воздействиях// Вестник «НИЦ «Строительство». Исследования по теории сооружения. 2011. №3-4. С. 157-171.

25. Айзенберг Я. М., Смирнов В.И., Минасян А. В. Неупругие демпфирующие элементы связи для сейсмозащиты безригельных каркасов// Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2001. №2. С. 38-39.

26. Пономарев О.И., Минасян А.В. Повышение

надежности и динамической живучести уникальных объектов в сейсмоактивных районах// Строительная механика и расчет сооружений. 2011. №3. С. 59-65.

27. Минасян А.В. «Сейсмоизолирующий экран» АС №1423694. Бюлл. открытый и изобретений.

Материалы хранятся по адресу: 109428, г. Москва, ул. 2-я Институтская, 6. АО «НИЦ «Строительство» ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко

MINASYAN A., Candidate of Technical Sciences, Head of sector, JSC Research Center of Construction, Research Institute of Building Constructions (TSNIISK) named after V. A. Koucherenko

SPITAK CATASTROPHE: EXPERT OPINION

Abstract

In the article of the Spitak Earthquake are estimated. The following is a part of a structured scheme: low seismicity of the glacier beds, high seismicity of panels, as well as seismicity of the earthquake zones and coordination. Scale of destruction in different towns of Armenia is being examined. The city of Leninakan (Gyumri) has landed at 40 km from the village of Spitak, and the city of Kirovakan (Vanadzor) in 25km. However, the scale of destruction in Leninakan is much larger than in Kirovakan due to

the fact that part of the city is located on water-saturated clay soils, which increase the intensity of seismic action, in addition, the dominant periods of oscillations of buildings in forms 1, 2 and 3 coincided with the period of ground vibrations. This was a "seismic resonance" and amplified the amplitude of the oscillation process, which is one of the 9-10 erosional disintegration of the mass disintegration.

Keywords: Spitak Earthquake, Seismicity of panels, frames and bricks, increase of quenching at the Leninakan Plateau Armenia.

References

1. Armenia Earthquake Reconnaissance. Report. Earthquake Spectra, August, 1989, P.29.
2. Karapetyan B.K. Rezul'taty izucheniia Spitakskogo zemletryaseniia i perspektivy dal'neyshikh issledovaniy // Seismostoi koe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenii [Earthquake engineering. Constructions safety]. 1999. №1. P. 9-11. (In Russian).
3. Eisenberg J.M. Razvitie konstruksii i norm antiseismicheskogo proektirovaniia. Moskva, VNIINTPI. 1997. P. 34-35. (In Russian).
4. Khalturin V.I., Shomakhmadov A.M., Geodakyan E.G., Sargsyan N.M., Mkhitarian L.A. Usilenie intensivnosti kolebaniy v Leninakane. Tr. IFZ AN SSSR. 1991. №32. P. 77-86. (In Russian).
5. Eisenberg J.M. Spitakskoe zemletriasenie 7 dekabria 1988 g. Nekotorye uroki i vyvody // Seismostoi koe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenii [Earthquake engineering. Constructions safety]. 1999. №1. P. 6-9. (In Russian).
6. Melkumyan M.G. II Mezhdunarodnaia konferentsiia po seismicheskoi opasnosti i snizheniiu seismicheskogo riska, posviashchennaia 10-oi godovshchine Spitakskogo zemletriaseniia (15-21.09.1998 g., g. Yerevan, Armeniia) // Seismostoi koe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenii [Earthquake engineering. Constructions safety]. 1999. №1. P.44-47. (In Russian).
7. Mkhitarian L.A., Mkhitarian D.A. Analiz inzhenerno-seismometricheskikh dannykh

- sil'nykh zemletriaseni, zaregistrirrovannykh v 1991-92 godakh na territorii Armenii // Seismostoi koe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenii [Earthquake engineering. Constructions safety]. 1999. №1. P.18-19. (In Russian).
8. Eisenberg J.M. Model' seismostoi kogo vozdeistviia dlia rascheta sooruzhenii pri nepolnoi seismologicheskoi informatsii. Seismicheskai a shkala i metody izmereniia seismicheskoi intensivnosti. M. : Nauka, 1975. P.170-178. (In Russian).
9. Medvedev S.V. Inzhenernaia seismologii a. M.: Stroi izdat, 1962. 284 p. (In Russian).
10. Sadvovskii M.A. Seismika vzryvov i seismologii a // Fizika Zemli. 1987. № 11. P. 34-42. (In Russian).
11. Nazarov A.G. Metod inzhenernogo analiza seismicheskikh sil. Yerevan: Izd. AN Arm. SSR, 1959. 286 p. (In Russian).
12. Suvilova A.V. i dr. Ob otsenke parametrov dvizheniia grunta pri raschetakh seismicheskogo riska. Seism. shkala i metody izmereniia seism. intensivnosti. M.: Nauka, 1975. P. 143-148. (In Russian).
13. Seed H.B. et al. Influence of Soil Conditions on Ground Motions During Earthquakes// J. Soil Mech and Found. Div. ASCE, 1969 vol.95, N5. Pp. 99-138.
14. Shebalin N.V. Raspredelenie stepeni zdanii i ispol'zovaniia ego dlia otsenki ball'nosti / V kn. Seismicheskai a shkala i metody izmereniia

- seismicheskoi intensivnosti. M.: Nauka, 1975-6. P.253-266. (In Russian).
15. Agbabayan M.S. et al. Otchet razvedki zemletriaseni i v Armenii [Armenia earthquake reconnaissance report]. Los-Andzheles, 1989. 195 p. (In English).
16. Dolgaya A.A., Indeykin A.A. Seismostoi koe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenii [Earthquake engineering. Constructions safety]. 2000. №2. P. 32-34. (In Russian).
17. Zaalishvili V.B. Seismicheskoe mikrorai onirovanie na osnove analiza nelineinykh svoistv gruntov iskusstvennymi istochnikami. Avtoref. dokt. diss. M., 1996.43 p. (In Russian).
18. Chernov Yu.K. (1984). Zakonomernosti izmeneniya spektra grunta v blizhnei zone zemletriaseniia // Voprosy inzhenernoi seismologii. Vyp. 25. P. 16-28. (In Russian).
19. Sargsyan A.Ye. Dinamika i seismostoi kost' sooruzhenii atomnykh stantsii. M., 2013. 549 p. (In Russian).
20. Uzdin A.M. Razvitie idei O.A. Savinova v oblasti seismoizoliatsii zdanii i sooruzhenii // Seismostoi koe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenii [Earthquake engineering. Constructions safety]. 2011. №2. P.36-38. (In Russian).
21. Belash T.A., Al'bert I.U. Sopostavitel'nyi analiz seismostoi kosti zdanii s razlichnymi sistemami seismoizoliatsii // Seismostoi koe stroitel'stvo [Earthquake engineering]. M. : VNI-

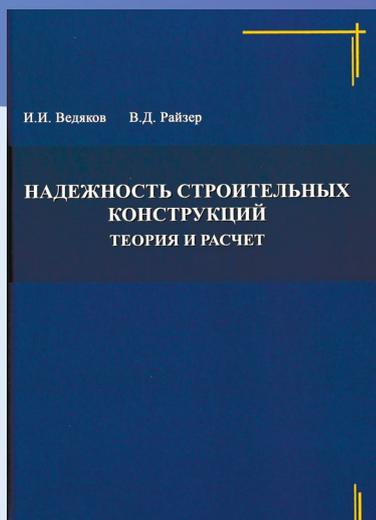
INTPI. 1995. Vyp. 4. P. 30-34. (In Russian).
 22. Eisenberg J. M., Smirnov V. I., Minasyan A. V. Seismoamortizatsiya osobo otvetstvennogo tekhnologicheskogo oborudovaniia atomnykh stantsii // Seismostoiroe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenii [Earthquake engineering. Constructions safety]. 1999. N 4. P. 18-22. (In Russian).
 23. Eisenberg J. M., Minasyan A. V. Issledovanie seismoamortizatsii fil'tra i teploobmennika AES // Seismostoiroe stroitel'stvo [Earthquake engineering]. 1988. №2. P. 9-11. (In Russian).

24. Minasyan A. V. Kompleksnoe rezervirovanie spektral'noi zhivuchesti unikal'nykh sooruzhenii pri chrezvychainykh dinamicheskikh, seismicheskikh i tekhnogennykh vozdeistviyakh // Vestnik «NITS» Stroitel'stvo ». Issledovaniia po teorii sooruzhenii. 2011. №3-4. P.157-171. (In Russian).
 25. Eisenberg J. M., Smirnov V.I., Minasyan A. V. Neuprugie dempfriuiushchie elementy-sviasi dlia seimozashchity bezrigel'nykh karkasov // Seismostoiroe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenii [Earthquake engineer-

ing. Constructions safety]. 2001. №2. P.38-39. (In Russian).
 26. Ponomarev O.I., Minasyan A.V. Povysenie nadezhnosti i dinamicheskoi zhivuchesti unikal'nykh ob'ektov v seismoaktivnykh raionakh // Stroitel'naia mekhanika i raschet sooruzhenii [Structural Mechanics and Analysis of Constructions]. 2011. № 3. P. 59-65. (In Russian).
 27. Minasyan A.V. «Seismoizoliruiushchii ekran» AS №1423694. Bull. otkrytii i izobretenii. (In Russian).

Для цитирования: Минасян А.В. Спитакская катастрофа: мнение специалиста // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2018. № 5. С. 38-48.

For citation: Minasyan A.V. Spitak catastrophe: expert opinion // Seismostoiroe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenii [Earthquake engineering. Constructions safety], 2018, no. 5, pp. 38-48. (In Russian).



Ведьяков И. И., Райзер В. Д.
НАДЕЖНОСТЬ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ.
Теория и расчет
 Научное издание, – М.: Издательство АСВ, 2018. – 414с.

ВЫШЛО В СВЕТ НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ «НАДЕЖНОСТЬ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ. ТЕОРИЯ И РАСЧЁТ»

При поддержке АО «НИЦ «Строительство» вышло в свет научное издание «Надёжность строительных конструкций. Теория и расчёт» авторов И. И. Ведьякова – директора ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство», доктора технических наук, профессора, Почётного строителя России и В. Д. Райзера – инженера-строителя, доктора технических наук, профессора.

Книга написана для широкого круга специалистов строительной отрасли. В ней представлены современные методы анализа надёжности сооружений. Особое внимание авторы уделяют расчёту строительных конструкций, который «...должен в полной мере базироваться на теории надёжности, основанной на вероятностных методах». Это позволяет дать более объективную оценку

конструкции с точки зрения ее пригодности к нормальной эксплуатации.

Также в книге подробно рассказывается об основных положениях теории надёжности строительных конструкций, приводится анализ метода предельных состояний, предложения по совершенствованию методов нормирования расчетов на основе вероятностных подходов.

Наиболее важными авторы считают проблемы безопасности, риска, оптимального уровня надёжности сооружений. В связи с этим ими рассмотрены вероятностные модели климатических и технологических нагрузок, механических свойств конструкций, описаны современные методы вычисления вероятности отказа.

Пристальное внимание уделяется анализу надёжности многоэлементных систем, вероятностному методу предельного равновесия. В книге рассмотрены вероятностные проблемы устойчивости конструкций; исследуется влияние коррозионного износа на надёжность, анализируется надёжность конструкций при эксплуатации.

Книга предназначена для инженеров-проектировщиков, специалистов по оценке недвижимости, а также для студентов и аспирантов строительных ВУЗов.