

8. Арутюнян Т. М., Акопян А. Г., Давтян А. А. Геолого-технологическое картирование и промышленная типизация руд месторождений цветных металлов.—Тр. Армнипроцветмета, Ереван: 1988, с. 8—13.
9. Магакян И. Г. Опыт классификации рудных формаций СССР.—Геол. рудн. месторожд., 1967, №5.
10. Перваго В. А. Условия формирования и геолого-экономическая оценка промышленных типов месторождений цветных металлов. М.: Недра, 1983, 406 с.
11. Пилжян Г. О. Медно-молибденовая формация руд Армянской ССР. Ереван: Изд. АН АрмССР, 1975, 309 с.
12. Саградян А. Л. Обогащение руд Армении. Ереван: Изд. «Айастан», 1973, 326 с.

Известия НАН РА, Науки о Земле, 1997, Л, №3, 57—63

РЕЗУЛЬТАТЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЛИЯНИЯ ПОВТОРНОСТИ СЕЙСМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ

© 1997 г. К. Б. Карапетян

*Ереванский архитектурно-строительный институт
375009 Ереван, ул. Теряна, 105, Республика Армения
Поступила в редакцию 18.06.97.*

Рассмотрено влияние на поведение зданий и сооружений повторяющихся сильных землетрясений интенсивностью ниже, равной и выше расчетной. Даны рекомендации по учету повторности сейсмического воздействия при расчетах на сейсмостойкость.

Здания и сооружения в сейсмических районах постоянно испытывают периодическое воздействие различной интенсивности землетрясений, проявляющихся в той или иной последовательности во времени. Однако, такое повторное воздействие на здания и сооружения, в основном, не учитывается. Но если оно и учитывается, то только от землетрясений расчетной интенсивности [9].

Изучение повторности сейсмического воздействия целесообразно проводить непосредственно при землетрясениях. Но поскольку такие исследования связаны с большими трудностями, в основном из-за редкого повторения сильных землетрясений в каждом конкретном сейсмоактивном регионе, естественно возникает необходимость изыскания других путей изучения повторности сейсмического воздействия. При этом также следует учитывать, что повторность сейсмического воздействия будет оказывать существенное влияние и на грунты оснований зданий и сооружений, особенно в случае сильных землетрясений.

В настоящей работе нами ставится совершенно новая, более общая задача по исследованию повторности сейсмического воздействия на здания и сооружения сильных землетрясений, повторяющихся с интенсивностью ниже, равной и выше расчетной. Работа состоит из двух разделов, в которых рассматриваются все эти три случая повторного сейсмического воздействия.

В первом разделе приводятся результаты изучения повторности сейсмического воздействия по приведенным сейсмическим ускорениям. При этом ставится задача—определить количество землетрясений меньшей интенсивности, приводящее к эффекту землетрясения большей, расчетной интенсивности. Для этого, в первую очередь, рассмотрены зависимости между интенсивностью и количеством циклов ма-

лоциклового нагружения, приводящих к разрушению материалов строительных конструкций зданий и сооружений. Конечно правильнее было бы это количество землетрясений устанавливать по зависимости между прочностью и количеством циклов для реальных зданий и сооружений при их динамических испытаниях, вплоть до разрушения. Однако из-за отсутствия такой зависимости, мы сочли возможным воспользоваться зависимостью, имеющейся для бетона, полученной И. Л. Корчинским и Г. В. Беченовой при немногочисленных повторных нагружениях [5]. Учитывая, что каждое последующее землетрясение по интенсивности отличается в два раза, устанавливается количество циклов, при котором происходит изменение прочности бетона в два раза. Это количество циклов получилось в пределах 1000. Исходя из этого, задаемся количеством землетрясений, приводящих к принятому количеству циклов, беря при этом, в среднем, 50—60 циклов на одно землетрясение (принимая продолжительность землетрясения 15—60 с, а преобладающий период колебаний 0,3—1,0 с). В результате, в среднем, получается 17—20 землетрясений. Принимая, что повторяемость землетрясения расчетной интенсивности приводит к уменьшению несущей способности материала на 15%, от этого количества землетрясений получаем 3 землетрясения, которые могут вызвать эффект, равноценный воздействию следующего по интенсивности землетрясения, в данном случае расчетного. Однако, для того, чтобы решение поставленной нами задачи было более обоснованным и достоверным, необходимо учитывать, что при воздействии каждого из этих землетрясений в зданиях и сооружениях возникнут повреждения, которые уменьшат эффект восприятия ими этих воздействий и, тем самым, приведут к увеличению количества землетрясений, необходимых для создания эффекта, равноценного следующему по интенсивности землетрясению. Таким путем в какой то степени учитывается и нелинейность в процессе повторного сейсмического воздействия. В связи с этим возникает необходимость в получении зависимости между интенсивностью землетрясений и динамическими характеристиками зданий и сооружений (периодами и декрементами колебаний). Такая зависимость нами была установлена на основании использования имеющихся данных по определению периодов и декрементов колебаний до и после Ташкентских, Газлийских, Карпатских, а также Спитакского землетрясений, полученных большой группой ведущих специалистов по сейсмостойкому строительству. На основании анализа этих данных, а также в необходимых случаях их экстраполяции, нами получены увеличения, в среднем, периодов и декрементов свободных колебаний зданий и сооружений в зависимости от интенсивности сейсмического воздействия. При этом, естественно, появилась необходимость представления в систематизированном виде, используя данные большой группы авторов, динамических характеристик возводимых в сейсмических районах характерных зданий, с тем, чтобы для учета повторности сейсмического воздействия эти конкретные значения периодов и декрементов колебаний зданий и сооружений увеличивать в зависимости от интенсивности землетрясения, в соответствии с полученными нами изменениями динамических характеристик от одного балла к другому в диапазоне интенсивностей 5—10 баллов. Что нами и было проделано.

Для установления влияния повторяющихся сильных землетрясений на поведение зданий и сооружений, мы пользуемся приведенными сейсмическими ускорениями, полученными с помощью маятниковых сейсмометров и на основании использования акселерограмм и сейсмограмм сильных землетрясений, которые хотя и получены для

упругих систем, однако при некоторых дополнительных предпосылках их применение возможно и для оценки поведения зданий и сооружений с учетом упруго-пластических деформаций. В нашем случае, при повторных сейсмических воздействиях, такой предпосылкой может служить учет изменения динамических характеристик зданий и сооружений при воздействии каждого последующего землетрясения. Нами использованы имеющиеся обширные материалы, приведенные у А. Г. Назарова и С. С. Дарбиняна [8] по приведенным сейсмическим ускорениям, полученным с использованием записей сильных землетрясений, происшедших в США и Японии, а также полученные Б. К. Карапетяном, Н. К. Карапетян [2], Л. А. Мхитарян [3], Р. П. Мартиросяном, Г. А. Тонояном, Ф. К. Григоряном [7], Э. Е. Хачияном и М. Г. Мелкумяном [10] для территории Республики Армения. Используя эти данные, учитывая полученные нами значения изменений динамических характеристик зданий и сооружений при переходе от одной интенсивности землетрясения к другой, становится возможным получить соответствующие значения приведенных сейсмических ускорений с учетом повторности сейсмического воздействия. На конкретном примере здания с $T=0,6$ с и $\delta=0,3$ показано, что при учете повторного воздействия землетрясения интенсивностью 8 баллов происходит уменьшение приведенного сейсмического ускорения на 67%. Если исходить из наличия на данной территории только таких зданий, то вместо ранее полученных нами 3-х землетрясений должны воздействовать 5 землетрясений, интенсивностью 8 баллов, которые приведут к интенсивности 9 баллов. Однако, поскольку любая территория застраивается различными видами зданий и сооружений, было бы правильно при рассмотрении повторного воздействия сильных землетрясений пользоваться более обобщенной характеристикой.

В качестве обобщенной характеристики землетрясения принимается мера интенсивности, являющаяся частным от суммы определенно-го количества произведений приведенных сейсмических ускорений и соответствующих периодов колебаний, деленной на это количество, которая для данного землетрясения является постоянной величиной. Меры интенсивности нами определялись по средним значениям приведенных сейсмических ускорений для 15 значений периодов колебаний ($T=0,05... 3,0$ с). Они получены для каждой интенсивности землетрясений в пределах 5—9 баллов при декрементах колебаний $\delta=0,15... 0,9$. Возвращаясь к ранее приведенному примеру здания и уменьшение сейсмического воздействия рассматривая исходя из меры интенсивности, в соответствии с установленными нами величинами, получаем, что при повторном воздействии землетрясения интенсивностью 8 баллов произойдет уменьшение сейсмического эффекта на 33%, а не 67% как это было получено при рассмотрении значений приведенных сейсмических ускорений. Но при этом на такой процент уменьшение надо производить для всех видов зданий и сооружений, и тогда необходимо рассматривать не 5, а 4 землетрясения вместо трех с тем, чтобы сейсмическое воздействие таких повторяющихся 8-балльных землетрясений по эффекту соответствовало 9 баллам.

Таким образом, решение поставленной задачи об установлении количества землетрясений меньшей интенсивности, приводящих к эффекту расчетного землетрясения, можно считать выполненным. Получено, что 4 землетрясения, интенсивностью на один балл меньше расчетной, по эффекту могут привести к землетрясению расчетной интенсивности. В нашей работе [4] для территории Республики Армения нами получены количества землетрясений, происходящих за время до возник-

новения землетрясений расчетных интенсивностей. Так, до землетрясения расчетной интенсивности 9 баллов происходит 5 землетрясений интенсивностью 8 баллов; при расчетной интенсивности 8 баллов—3 землетрясения 7 баллов; при расчетной интенсивности 7 баллов—3 землетрясения 6 баллов. Таким образом, эти количества составляют 3 и 5 землетрясений, что в среднем равно установленному нами количеству, равному 4-м землетрясениям. Это дает нам основание при проектировании зданий и сооружений в Республике Армения, с целью учета повторности сейсмического воздействия землетрясений интенсивностью ниже расчетной, рекомендовать несущую способность уменьшать на 15%, исходя из принятого нами в начале раздела такого процента. Принятие того или иного процента зависит от допускаемых повреждений, которые устанавливаются на основании проводимых в этом направлении исследований.

При выполнении настоящего исследования по установлению влияния повторности сейсмического воздействия на поведение зданий и сооружений по приведенным сейсмическим ускорениям, нами получены и некоторые другие результаты. Представляет интерес полученное нами практически постоянное значение отношения средних величин приведенных сейсмических ускорений к средним мерам интенсивностей вне зависимости от интенсивности землетрясения и декремента колебаний зданий и сооружений, которое равняется 1,77 для территорий США и Японии и 3,3 для территории Республики Армения. Таким образом, из полученных результатов следует, что, по всей вероятности, каждому региону должно соответствовать определенное соотношение этих характеристик. Имеют практическое значение рекомендованные нами значения мер интенсивностей для землетрясений силой 5—10 баллов, происходящих на территории Армении, которые находятся в пределах 10—320 см/с, меняясь от одного балла к другому в два раза. Помимо найденных по приведенным сейсмическим ускорениям мер интенсивностей восприятия, нами также были определены меры интенсивности воздействия по амплитудным спектрам Фурье. С этой целью по имеющимся значениям амплитудных спектров Фурье получены средние амплитудные спектры и по ним определены средние меры интенсивности воздействия. На основании рассмотрения полученных данных установлено, что при землетрясениях интенсивностью 6—9 баллов для периодов колебаний $T=0.05...3.0$ с сумма средних амплитудных спектров Фурье равна сумме произведений этих амплитудных спектров на соответствующие периоды колебаний. Эта зависимость, по всей вероятности, нами получена впервые и, как нам кажется, представляет определенный интерес. Полученные данные по мерам интенсивности воздействия и восприятия нами также были использованы для установления связи между ними. Их соотношение, характеризующее нарастание колебаний, получилось независящим от интенсивности землетрясений и несущественно меняющимся при разных декрементах колебаний.

Второй раздел посвящен учету повторности сейсмического воздействия по повреждениям зданий и сооружений при сильных землетрясениях различной интенсивности. Интенсивность землетрясений, как известно, определяется по сейсмическим шкалам. Она выражается в баллах и устанавливается на основании степени повреждений зданий, остаточных явлений в грунтах, поведения людей и животных, а также замеренных величин параметров колебаний (смещений, скоростей и ускорений). Сейсмические шкалы в различных сейсмических странах стали применяться в разное время, начиная со второй половины XIX века, и отличались друг от друга. С целью их обобщения и

создания единой шкалы была разработана Международная шкала сейсмической интенсивности MSK—1964 [6]. В последующем коллективами и ведущими специалистами в области сейсмологии, инженерной сейсмологии и сейсмостойкого строительства в бывшем СССР в период 1970—1973 гг. проводился большой объем исследований по вопросам построения сейсмической шкалы и измерения сейсмической интенсивности и, в результате, были предложены различные варианты проекта сейсмической шкалы. Однако, к сожалению, окончательный вариант сейсмической шкалы так и не был принят. Имелся проект сейсмической шкалы MMSK—1984, который не был утвержден. Недавно Европейской сейсмологической комиссией была принята Европейская макросейсмическая шкала EMS—1992. В последние годы определенная работа по установлению интенсивности сильных землетрясений на основании степени повреждений зданий с антисейсмическими мероприятиями проведена и нами. В результате изучения поведения зданий и сооружений, в которых применены антисейсмические мероприятия, при сильных и разрушительных землетрясениях и, особенно, при Спитакском землетрясении 7 декабря 1988 года, нами разработаны предложения для оценки землетрясений интенсивностью 7—10 баллов [1]. Наши предложения отличаются тем, что интенсивность землетрясения устанавливается по зданиям с антисейсмическими мероприятиями и характеризуется более подробно как по количеству поврежденных зданий (6 степеней), в то время как в указанных шкалах учитываются 3 вида количеств поврежденных зданий и 5 степеней их повреждений. На основании изложенного предлагаются пути установления влияния повторности сейсмического воздействия на здания и сооружения при интенсивности землетрясения, равной и выше расчетной. Влияние повторности сейсмического воздействия ниже расчетного нами было рассмотрено в предыдущем разделе настоящей работы. При этом исходим из среднего значения степени повреждений, устанавливаемого при обследовании сильных и разрушительных землетрясений. Для установления изменения несущей способности материала конструкции зданий и сооружений вследствие повторного сейсмического воздействия, принимаем, что при средней степени повреждений, равной 5-и (в случае наших предложений равной 6-и), происходит полная потеря несущей способности материала. Полученные средние степени повреждений соотносим к 5-и и получаем процент уменьшения несущей способности вследствие повторного воздействия землетрясений. Эту оценку можно осуществлять как по отдельным видам зданий и сооружений, так и для конкретного землетрясения, беря среднеарифметическое от среднестатистических значений степеней повреждений всех рассмотренных видов зданий и сооружений. С этой целью рассмотрены Газлийские и Карпатские землетрясения, по которым имеются установленные средние степени повреждений, а также стандарты отклонения. Обобщая рассмотренные нами данные по этим землетрясениям, приходим к выводу, что в среднем воздействие расчетного землетрясения приводит к уменьшению несущей способности зданий на 7%, при повторном воздействии землетрясения той же интенсивности несущая способность уменьшается на 12%, а при повторном воздействии землетрясения интенсивностью на один балл выше это уменьшение составляет 25%. Представляло также интерес установление по средним значениям усредненных степеней повреждений зданий и сооружений балльности землетрясений. С этой целью опять-таки были рассмотрены данные по Газлийским и Карпатским землетрясениям, а также по Спитакскому землетрясению 7 декабря 1988 года. В результате получены средние значения усред-

ненных степеней повреждений зданий с антисейсмическими мероприятиями и соответствующие им интенсивности землетрясений от 6—7 до 10 баллов, которые находятся в пределах 0,4—4,5. Наибольший интерес представляла оценка интенсивности землетрясений по возможным средним степеням повреждений зданий, с целью выявления уменьшения несущей способности зданий при воздействии на них различной силы повторяющихся землетрясений. Используя приведенные в наших предложениях характеристики, были определены средние степени повреждений зданий расчетной интенсивности 7, 8 и 9 баллов при воздействии различной интенсивности землетрясений (равной расчетной и выше расчетной на один, два и три балла). По найденным средним степеням повреждений, соответствующим нижнему и верхнему пределам количества зданий для каждого их вида (в процентах), определялись средние из этих значений и устанавливалось усредненное значение средних степеней повреждений, на основании которого определялось уменьшение несущей способности здания. В результате получили, что при интенсивности землетрясения, равной расчетной, усредненное значение средней степени повреждений равно 0,8, что соответствует уменьшению несущей способности зданий на 13%; при интенсивности землетрясения выше расчетной на один балл усредненное значение средней степени повреждений равно 1,55, что соответствует уменьшению несущей способности зданий на 26%; при интенсивности землетрясения выше расчетной на два балла усредненное значение средней степени повреждений равно 4,5, что соответствует уменьшению несущей способности зданий на 75%; при интенсивности землетрясения выше расчетной на три балла усредненное значение средней степени повреждений равно 6, что соответствует исчерпанию несущей способности зданий, приводящему к полному их разрушению. Полученные усредненные значения средних степеней повреждений зданий и установленные по ним уменьшения их несущих способностей подтверждаются результатами изучения последствий Спитакского землетрясения 7 декабря 1988 года, при котором в гг. Спитаке, Ленинакане, Кировакане, Степанаване, Дилижане имели место все эти случаи воздействия и соответствующие им повреждения и разрушения. В завершение для территории Армении и отдельных ее регионов были определены уменьшения несущей способности зданий и сооружений за время их нормального срока службы при воздействии землетрясений расчетных интенсивностей 7, 8, 9 баллов, используя при этом полученные нами усредненные значения повреждений и данные по количеству землетрясений расчетных интенсивностей. В результате установлены средние значения уменьшений несущей способности зданий и сооружений для территории Республики Армения (22%) и отдельных ее регионов (17—22%), с учетом срока их службы.

Работа выполнена в рамках темы 94—127, финансируемой из госбюджета Республики Армения.

ՇԵՆՔԵՐԻ ԵՎ ԿԱՌՈՒՅՑՆԵՐԻ ՎՐԱ ԿՐԿՆՎՈՂ ՍԵՅՍՄԻԿ ԱԶԴԵՑՈՒԹՅԱՆ ՈՐՈՇՄԱՆ ԱՐԴՅՈՒՆՔՆԵՐԸ

Կ. Բ. Կառապետյան

Ա մ ֆ ո ֆ ո լ մ

Մեր ուսումնասիրությունը կատարված է բոլորովին նոր և ավելի լայն դրամադրով, երբ հաշվի են առնվում տվյալ տարածքում կրկնվող բոլոր հնարավոր

ինչպես հաշվարկային, այնպես էլ դրանցից փոքր և մեծ ուժի երկրաշարժերը՝
ինդրի լուծումը իրականացվել է երկու ուղղությամբ՝ օգտագործելով ուժեղ
երկրաշարժերի ժամանակ ստացված բերված սեյսմիկ արագացումների և շեն-
քերում ու կառույցներում առաջացած վնասվածքների վերաբերյալ տվյալները։
Որպես արդյունք ստացվել է ուժեղ երկրաշարժերի այն քանակը, որը կա-
րող է բերել հաշվարկային երկրաշարժի ազդեցությանը, ինչպես նաև շենքերի
և կառույցների կրկնողականության նվազեցումը կրկնվող հաշվարկային
հաշվարկայինից բարձր ուժի դեպքում։

Հայաստանի Հանրապետության տարածքում շենքերի և կառույցների գոյու-
թյան ընթացքում տեղի ունեցող ուժեղ երկրաշարժերի քանակը հաշվի առնելու
նպատակով, առաջարկվում է դրանց կրողականությունը իջեցնել որո-
շակի տոկոսով։

DETERMINATION RESULTS OF REPETITION OF SEISMIC IMPACT ON BUILDINGS AND STRUCTURES

K. B. Karapetyan

Abstract

An impact of repeating strong earthquakes with intensities lower, higher and equal to the calculated one on buildings and structures behavior was discussed. Recommendations for accounting repeating seismic impacts when calculating seismic resistance are given.

ЛИТЕРАТУРА

1. Карапетян Б. К., Карапетян К. Б., Определение интенсивности сильных землетрясений по повреждениям зданий с антисейсмическими мероприятиями.—Изв. НАН РА, Науки о Земле, 1994, №3, с. 45—54.
2. Карапетян Б. К., Карапетян Н. К., Сейсмические воздействия на здания и сооружения. М.: Наука, 1978, 160 с.
3. Карапетян Б. К., Карапетян Н. К., Мхитарян Л. А. Инструментальное исследование сейсмического воздействия при последующих толчках Зангезурского землетрясения. Ереван: Изд. АН АрмССР, 1973, с. 175—205.
4. Карапетян К. Б. Результаты определения повторяемости сильных землетрясений на территории Республики Армения.—Изв. НАН РА, Науки о Земле, 1994, №1—2, с. 106—112.
5. Корчинский И. Л., Беченева Г. В. Прочность строительных материалов при динамических нагрузениях. М.: Стройиздат, 1966, 212 с.
6. Медведев С. В., Шпонхойер В., Карник В. Шкала сейсмической интенсивности MSK—1964. М.: Наука, 1965, 11 с.
7. Мартиросян Р. П., Мхитарян Л. А., Тоноян Г. А., Григорян Ф. К. Анализ инструментальных данных сильных движений Спитакского землетрясения 7 декабря 1988 года.—Изв. АН АрмССР, Науки о Земле, т. XLII, №4, 1989, с. 67—73.
8. Назаров А. Г., Дарбинян С. С. Основы количественного определения интенсивности сильных землетрясений. Ереван: Изд. АН АрмССР, 1974, 166 с.
8. Строительные нормы и правила. Строительство в сейсмических районах СНИП II-7-81. М.: Стройиздат, 1982, 49 с.
10. Хачиян Э. Е., Мелкумян М. Г. Запись Спитакского землетрясения 7 декабря 1988 года ИСС г. Еревана.—Уроки землетрясения. Ереван: АрмНИИСА, 1989, 34 с.