

Камчыбеков Ырысменди

**К ВОПРОСУ АНАЛИЗА СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ
СЕЙСМИЧЕСКОЙ УЯЗВИМОСТИ И ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ
ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ**

Kamchybekov Yrysmendi

**TO QUESTION OF ANALYZING PRESENT
STATE OF SEISMIC VULNERABILITY AND ECONOMIC LOSS
OF DWELLING BUILDINGS**

УДК: 699.841:550.343

В настоящее время вопрос сейсмической уязвимости зданий и сооружений охватывает очень большой спектр задач. Из этих задач главным является вероятностная оценка уязвимости эксплуатируемых жилых зданий как основной элемент потери в ожидаемом сейсмическом риске.

Now the question of building and construction seismic vulnerability covers a wide range of tasks. The main of these tasks is the probabilistic assessment of vulnerability of exploiting dwelling buildings as the main loss element in expecting seismic risk

Во второй половине прошлого века 1960-90 гг. большое внимание обращалось на вопрос сейсмостойкости зданий. В строительстве использовалась методика нормирования и экспериментальных исследований, основанная на коэффициентах надежности, теоретически обеспечивающие безопасность конструкций зданий. Основы расчета на сейсмостойкость предложены в работах К.С. Завриева [1], И.А. Корчинского [2], Я.М. Айзенберга [3], С.В. Полякова [4], А.И.Мартемьянова [5], Т.Ж. Жунусова [6] и др. Однако анализ последних сильных землетрясений в последнее время показывает разрушение зданий, спроектированных и построенных с учетом всех требований специально рекомендованных нормативных документов. Используемые в настоящее время на практике методы расчета зданий на сейсмостойкость, имеют несколько условный характер. Ведь они базируются на инженерной интуиции и частично на том факте, что рассматриваемые упругие системы, не позволяют проектировать сооружения со сколько-нибудь реалистическими размерами сечений конструктивных элементов при действительных величинах сейсмических ускорений. Как отмечается в работе, [7] исходным моментом является теперь уже тот неоспоримый факт, что размер сейсмических бедствий определяет растущую уязвимость уже существующих, сложившихся урбанизированных территорий, на которых истинно надежные здания – лишь «малые островки в море уязвимости». Поэтому ни самые современные нормы сейсмостойкого строительства, ни новейшие практические достижения не влияют на реальную сейсмическую безопасность городов. Итак, для обеспечения сейсмической безопасности мы должны рассма-

тривать эксплуатируемые здания, существующую урбанизированную территорию. В то же время отсутствие паспортизации конкретных зданий резко усложняет при оценке их на практике исследования. С другой стороны, благодаря большой типизации современных зданий они являются удобными индикаторами для оценки степени сейсмического воздействия.

В основном, использование и постоянное совершенствование в строительстве методики нормирования является шагом вперед с точки зрения научной обоснованности. В развитии и становлении истории каждой науки не свободно от ряда недостатков. Однако анализ и уточнения разработанных норм дает дальнейшее развитие в исследовании в этой области. В этом вероятностная оценка уязвимости и экономической потери помогает и дает возможности решать и принимать практические задачи в сейсмостойком строительстве.

Большая работа в этой области принадлежит исследователям А.Корнелл [8], Э.Розенблюту [9], Р.Уитмэну [10], Г.Грандори, Д.Бенедетти [11]. С целью оптимального конструктивного решения итальянскими специалистами Г.Грандори и Д.Бенедетти [11] предложена методика учета степени сейсмического риска, основанная на оценке вероятности сохранения человеческой жизни в зависимости от дополнительных затрат на антисейсмические мероприятия. Исследование Г.Грандори и В. Петрини [12] состоит в поиске принципа оптимизации на основе обеспечения равнонадежности зданий, запроектированных в различных сейсмических районах.

В работе американских исследователей Р.Уитмэна, Дж.Бигса, Дж.Бреннана, А.Корнелла и др. [12] отражена методика проектирования зданий на сейсмические воздействия с учетом процедуры балансирования стоимости первоначальных затрат на сейсмозащиту с возможным ущербом от всех прогнозируемых за время службы зданий землетрясений.

И.И. Гольденблат и С.В. Поляков вводят понятие «инженерный риск», отождествляя его с вероятностью наступления предельного состояния зданий [13].

Вопросы экономических показателей в сейсмостойком строительстве было осуществлено в работах Я.М. Айзенберга, А.И. Неймана [14],

С.В. Медведева [15]; В.И. Кейлис-Борока, И.Л.Нерсесова, Я.М.Яглома [16] и др.

С.В. Медведев [15] делает оценку сопоставляя данные о затратах на антисейсмические мероприятия и величине предотвращенных убытков, экономической эффективности антисейсмических мероприятий, основываясь на приближенных данных об удорожании строительства, убытках, предотвращенных благодаря антисейсмическим мероприятиям.

В вероятностной форме подобная оценка экономической эффективности была предложена В.И. Кейлис-Бороком, И.Л. Нерсесовым, Я.М.Ягломом [16] и др. Чистая экономия от применения антисейсмических мероприятий определяется соотношением между предотвращенными убытками и затратами на антисейсмические мероприятия.

В последнее время, в мировой практике рассматривается очень широкий спектр задач для анализа и сценария сейсмического риска такими специалистами как Б.Тукер [17], М.Эрдик [18], М.А. Клячко [19], А.М. Уздин [20], М.П. Камчыбеков [21] и др.

Первоначальная физическая уязвимость. Сейсмическая уязвимость является мерой разрушения зданий подобное тому случаю, при котором землетрясение подвергает грунты колебаниям определенной интенсивности. Динамическая реакция сооружений на колебания грунтов - очень сложный процесс, который зависит от количества связанных между собой параметров, которые часто очень трудно, если невозможно, точно предугадать.

Он включает: точный характер колебаний грунта, который будет испытывать здание; степень, с которым здание будет возбуждаться и реагировать на колебание грунта; прочность материалов сооружений; качество конструкций и условия отдельных элементов конструкций; взаимодействие структурных и не структурных элементов зданий; вес обстановки и содержимого зданий во время землетрясения и другие факторы. Как итог обычно необходимо определить функции уязвимости для зданий в пределах уровней доверия.

Почти все разработки сценариев сейсмических потерь применяли матрицы уязвимости зданий, которые касаются классов наглядных разрушений по интенсивности сейсмических колебаний. А.Кобурн и З.Спенс [22,23] предложили исследованные функции уязвимости (процент разрушенных зданий) для общественных типов зданий. АТС-13 [24] предложил оценивать потери для 78 различных классов зданий для Калифорнии. Чтобы преодолеть ограниченность данных, матрица вероятности разрушений и время оценки для восстановления поврежденных коммуникаций были получены на основании учета мнений специалистов по этому вопросу. Матрица уязвимости, основанная на

интенсивности, существует также в различных частях мира и для местных типов зданий. В этих функциях уязвимости разница между разрушением и потерями неявная, с тех пор как существуют ограниченные данные по стоимости восстановительных работ. Имеется ограниченный опыт проявления землетрясений на гибких сооружениях, таких как момент сопротивления открытых каркасных строений и оснований изолированных зданий. Такие сооружения легко реагируют на смещения грунтов, информации о которых в настоящее время у нас нет. Будущая уязвимость зданий, главным образом металлических сооружений, которая должна выявить скрытые недостатки при прошлых землетрясениях, результаты которых должны быть учтены.

В дополнение к зданиям, к действиям землетрясений уязвимы другие урбанизированные инженерные сооружения, инфраструктуры, системы жизнеобеспечения и управления. Непосредственное разрушение систем жизнеобеспечения усиливает разрушение социально-экономических структур, вследствие нарушения их деятельности. Эти вторичные потери могут превышать прямые потери. Сейсмическая уязвимость систем жизнеобеспечения является критической при контроле вызванных и социально-экономических потерь.

Результаты научных исследований, полученные из прошлых урбанизированных землетрясений EERI [25], дополненные мировым опытом, были использованы для оценки физической уязвимости. В АТС-25 [26] представлены накопление функций уязвимости системы жизнеобеспечения и оценка времени, требуемой для восстановления разрушенных коммуникаций. Функции уязвимости основаны на обзоре существующих моделей и мнений специалистов в АТС-13 [24], дополненных мнениями экспертов группы технического совета.

Вторичная физическая уязвимость. Модели, ограниченная уязвимостью, существуют для вторичных разрушений по вторичным опасностям, таким как: пожары после землетрясения, выброс опасных материалов, взрывы и наводнения.

Текущие разработки по пожарам, сопровождающие сейсмические модели, включают три стадии: воспламенение, распространение и тушение, а также обеспечивает сначала оценку полного ущерба как функцию интенсивности ветра, плотности зданий и количества пожарных машин. Не существует только практического метода для моделирования выброса опасных материалов или взрывов. Цунами, сейши и аварии плотин могут тотчас следовать за землетрясением в многочисленных урбанизированных центрах и способствовать существенным потерям. Высокое разрешение картирования районов, подверженным наводнениям, вынуждает правильно

предугадывать поднятие уровня и скорости воды, действующих при взаимодействии прибрежных сооружений и рельефа.

Социально-экономическая уязвимость. В дополнение к физической уязвимости социально-экономическая уязвимость урбанизированных систем также должна быть оценена в отношении несчастных случаев, социальных взрывов и экономических потерь для обширных сейсмических разрушений и сценариев потерь.

Несчастные случаи при землетрясениях возникают чаще всего из-за структурных разрушений и побочных проявлений опасностей. Смертность по разрушенным зданиям по данному классу зданий может быть оценена комбинацией факторов, представляющих население по зданиям, охваченным в это время землетрясением, жителями, застигнутыми крушением, смертностью во время и после крушения сооружений. Большое количество исследований урбанизированных сейсмических потерь в настоящее время рассматривает только прямые физические потери. Однако, известно, как правило, что потери из-за побочных опасностей и не прямые экономические потери составляют основную часть полного сейсмического ущерба в урбанизированных системах. Непрямые экономические потери возникают из-за прерванных работ разрушенных коммуникаций и, включают: производство и (или) продажу убытков фирм в поврежденных зданиях; производство и (или) продажу убытков фирмами, неспособными к снабжению из других разрушенных коммуникаций; производство и (или) продажу убытков фирмами из-за поврежденных систем жизнеобеспечения; потери, возникающие вследствие налогообложения по доходным статьям и компенсаций по безработице. Частично количественная оценка не прямых экономических потерь может быть найдена по АТС-25 [26]. Более детализированные модели, практические правила должны быть объединены в оценку потерь для определения комплексных экономических воздействий.

Существует два основных приближения для выработки отношений уязвимости. Первое приближение основано на данных повреждений, полученных из полевых наблюдений после землетрясения или из экспериментальных данных. Второе приближение основано на количественном анализе сооружений или посредством временного исторического анализа или другими простейшими способами.

Первое приближение, примененное при разработке оценки уязвимости, назвали приближением по экспериментальным данным. Приближение по экспериментальным данным основано на том факте, что определенные классы воздвигнутых сооружений стремятся подразделять общие характеристики и экспериментировать подобные типы повреждений при

землетрясениях. Серия стандартных функций уязвимости может быть разработана для этих классов зданий. В США обычно используемой рекомендацией для таких стандартизированных матриц уязвимости является АТС-13 [24]. Эмпирические функции уязвимости, категоризированные в АТС-13, построены из полевых наблюдений разрушений. Они играют важную роль в изучении кривых жесткости, так как только они могут быть использованы при калибровке отношений уязвимости, разработанных аналитически. Потери, которые делают использование этого приближения более обоснованным в случае применения его при оценке риска больших значимых сооружений, чем для индивидуальных построек. Это происходит тогда, когда применяемые к большим значимым сооружениям неточности, связанные с оценкой уязвимости индивидуальных компонент строений, стремятся к равновесию.

Стандартным орудием для аналитического расчета отношений уязвимости (также называемая кривой жесткости) является так называемый метод спектральной емкости HAZUS [27], простейший метод, который оценивает влияние сооружений из требований спектра и кривой спектральной емкости. Кривая спектра требований представляет колебание грунта и обычно происходит из спектра реакции упругого ускорения колебаний, нанесенной на оси спектрального ускорения и спектрального смещения. Кривая спектральной емкости представляет способность сооружений к деформациям при различных степенях сопротивления, обычно аппроксимирующейся из несложного анализа деформации, отмеченной в координатах спектрального смещения и спектрального ускорения напротив нагрузки. Основная идея метода спектральной емкости, предполагающая среднюю величину реакции, определяется пересечением кривых спектральной емкости и спектра требований.

Как это будет обсуждено в следующих главах, уязвимость оснований турецких зданий, по крайней мере, степень магнитуды выше, чем их копии в Калифорнии. Причина столь высокой уязвимости может состоять из нескольких причин. По существу, система разработки зданий сопровождается плохим строительством из-за высокой (хронической) степени инфляции (поэтому очень ограниченная ипотека и страхование препятствуют крупномасштабным разработкам и индустриализации строительного сектора), высокая степень урбанизации (которая создает спрос на недорогое жилье), неэффективный контроль/руководство проектированием/строительством, правила с ограниченным принуждением и не ответственностью и действия правительства в качестве независимого страховщика сейсмического риска.

Первое приближение, использованное при разработке оценки уязвимости, назвали прибли-

жением по экспериментальным данным. Приближение по экспериментальным данным основано на том факте, что определенные группы построенных сооружений стремятся подразделить по общим характеристикам и экспериментировать подобные типы повреждений при землетрясениях. Серия стандартных функций уязвимости разработана для этих типов зданий.

Большинство авторов в целях анализа уязвимости опираются на известные шкалы оценки сейсмической опасности и расширяют сферу их применения с учетом специфических особенностей конкретного района как исторически сложившегося, в соответствии с принятыми в строительстве зданий нормами по конструктивному типу, этажности, уровню антисейсмического проектирования, так и качеству проектирования и строительству.

Как известно, главным моментом при составлении сейсмической шкалы, более 100 лет тому назад было то, как лучше определить и установить соотношение макросейсмических эффектов землетрясения. Впервые сейсмическую шкалу Росси-Форел в 1883 году разработали М.С.Росси из Италии и Ф.А.Форел из Швейцарии. Позже были разработаны другие описательные шкалы, среди них в большинстве случаев используется видоизмененная сейсмическая шкала Меркалли. По этой шкале сейсмическая интенсивность делится на XII баллов. Интенсивность в I балл ощущается только немногими чувствительными людьми. С VII балла интенсивность сотрясений чувствуют все люди и, при XII баллах происходит полное разрушение. В XIX веке благодаря А.П. Орлову и И.В. Мушкетову сейсмическая шкала получила распространение и в России. Далее по величине максимального ускорения была составлена семибалльная японская шкала, предложенная Ф.Омори в 1900 году. В 1931 году в СССР была утверждена 12 балльная сейсмическая шкала, а в 1952 году была составлена новая 12 балльная шкала. В работе [15] показано отношение различных сейсмических шкал.

На данном этапе матрица сейсмической уязвимости, основанная на интенсивности, существует и развивается также в различных частях мира для местных типов зданий с учетом специфических особенностей.

В 1998 году Европейская макросейсмическая [28] шкала различает структурную уязвимость по 6 классам (от высокой - класса А до низкой - класса F).

В настоящее время очень актуальным является оценка ущерба и потерь разнотипных зданий от землетрясений, поскольку в развитых странах решение этой проблемы поощряется крупнейшими банками и ведущими страховыми компаниями. Большинство разработанных сейсмических шкал, как показывает практика, вследствие схожести, не имели признания и

широкого распространения и составлялись авторами лишь как средство для описания крупных землетрясений, но принесли большой вклад в развитие и совершенствование этих шкал. Конечно, 10 уровневая шкала уязвимости более детализирована и обоснована, но существующие в других странах шкалы уязвимости просты, более конкретны и понятны, что облегчает работу. В этом отношении возникла большая необходимость в применении EMS-1998 из-за постоянного совершенствования и разработки с учетом местных специфических условий. В данной работе также опирались на современную сейсмическую шкалу EMS-1998 как универсальную и более модернизированную сейсмическую шкалу. Особенно следует отметить, что, равно как и в других шкалах, при анализе разрушений зданий оценка по шкалам уязвимости может привести к расхождению между показаниями по отдельным признакам. Однако, при пользовании одной шкалой затруднений практически не возникало. Практика показывает, что специфическая особенность разрушения и различная степень повреждений в зданиях и сооружениях почти всех имеющихся конструктивных решений носили примерно одинаковый характер.

EMS-98 различает здания по шести классам на основе их уязвимости от А до F. Здания каменной кладки составляют большей частью уязвимость класса А. Железобетонные постройки и металлические здания - класса от D до F.

При анализе сейсмической уязвимости, как отмечает Б.К.Карапетян [29], в исследовательских работах оцениваются всевозможные элементы разрушений и остаточные деформации в зданиях и сооружениях. Имеющиеся в большом количестве данные неизбежно будут тесно взаимосвязаны, и часть параметров окажется менее информативной. Нет необходимости точного описания конкретного разрушения отдельных частей конструкций. Дело в том, что при решении инженерных задач не всякая информация представляет интерес. К тому же, из-за естественного разнообразия будущих землетрясений, разрушения будут отличаться от уже отмеченных. Кроме того, при расчете зданий и сооружений существуют погрешности, связанные с варьированием параметров технических характеристик строительства и другими факторами. Что еще важно, характеристики сооружений и грунтов со временем изменяются, вследствие износа материалов, уплотнения или разжижения грунтов, изменения уровня грунтовых вод и т.д. При оценке поведения сооружения с целью упрощения расчетов система грунт-сооружение заменяется некоторой математической или физической моделью, что также влечет за собой некоторые погрешности. Поэтому существуют общие критерии параметризации оценки сейсмической уязвимости.

Применение универсальной и более модернизированной сейсмической шкалы и оценочных нормативных документов дает возможность оптимально оценить вероятностную количественную оценку сейсмической уязвимости и экономических потерь.

Литература:

1. Завриев К.С. Динамика сооружений. М.: Трансжелдориздат, 1964.
2. Корчинский И.А. Поляков С.В. и др. Основы проектирования зданий в сейсмических районах. М.: Госстройиздат, 1961. – 488с.
3. Айзенберг Я.М. Сооружения с выключающимися связями для сейсмических районов. М.: Стройиздат, 1976.- 229с.
4. Поляков С.В. Сейсмостойкие конструкции зданий – М.: Высшая школа, 1983. – 304с.
5. Мартемьянов А.И. Проектирование и строительство зданий и сооружений в сейсмических районах. - М.: Стройиздат, 1985г. - 255с.
6. Жунусов Т.Ж. Основы сейсмостойкости сооружений. Алма-Ата: Рауан, 1990. – 270с.
7. Айзенберг Я.М. Спитакское землетрясение 7 декабря 1988г. Некоторые уроки и выводы. // Сейсмостойкое строительство. – М.: ВНИИТПИ, 1999, №1, с.6-9.
8. Cornell, A. (1968). Engineering seismic risk analysis, Bull. Seism. Soc. Am., v. 58, pp. 1583-1606.
9. Сейсмический риск и инженерные решения. Под ред. Ц.Ломнитца и Э.Розенблюта. – М.: Недра, 1981.-375с.
10. Grandory G., Benedetti D. On the Choice of the Acceptable Seismic Risk. – Internat. J. of Earthquake Engng. and Struct. Dynamics, 1973, VII-IX, v.2, N1, p.3-9.
11. Grandory G., Petrini V. Comparative Analysis of the Seismic Risk in Sites of Different Seismicity. Internat. F. Earthquake Engng. Struct. Dynamics, 1977, v.5, N1, p.53-55.
12. Whitman R.V., Biggs J.M., Brennan J.E., Cornell C.A., Neufville R.L., Vanmarcke E.H. Seismic Design Decision Analysis. – J.Struct.Div., 1975, N5, p.1067-1083.
13. Гольденблат И.И., Поляков С.В. Проблема «инженерного риска» в сейсмостойком строительстве. – Строительная механика и расчет сооружений, 1975, №6, с.41-44.
14. Айзенберг Я.М., Нейман А.И. Экономические оценки оптимальности сейсмостойких конструкций и принцип сбалансированного риска. – Строительная механика и расчет сооружений, 1973, №4, с.6-10.
15. Медведев С.В. Инженерная сейсмология. - М.: Госстройиздат, 1962. – 284с.
16. Кейлис-Борок В.И., Нерсесов И.А., Яглом А.М. Методы оценки экономического эффекта сейсмостойкого строительства М.: АН СССР, 1962, 46с.
17. Tucker B., Erdik M. Issues in Urban Earthquake Risk. Kluwer Academic Publishers, 1994.
18. Erdik M., Aver J., Durukal. Developing an Earthquake Damage Scenario for Istanbul, Proceedings of Fifth International Conference on Seismic Zonation. 17-19 October 1995, Nice, 1297-1304.
19. Клячко М.А. Состояние и проблемы методологии и техники анализа и контроля сейсмического риска на урбанизированных территориях // Сейсмостойкое строительство. - М.: ВНИИТПИ, 1999, №2, с.15-18.
20. Уздин А.М, Сандович Т.А., Аль-Насер-Мохаммад Самих Амин. Основы теории сейсмостойкости и сейсмостойкого строительства зданий и сооружений. – С.-Петербург: ВНИИГ, 1993. – 175с.
21. Камчыбеков М.П. Количественная оценка сейсмического риска территории и жилых зданий г.Бишкек: Автореф. дис...канд.тех.наук.- Бишкек, 2006.-23с.
22. Coburn, A. (1987), Seismic Vulnerability and Risk Reduction Strategies for Housing in Eastern Turkey, The Martin Centre for Architectural and Urban Studies, Dept. of Architecture, Univ. of Cambridge, U.K.
23. Coburn, A., and Spence, R., 1992, Earthquake Protection; John Wiley and Sons Ltd., Chichester, 355p.
24. ATC-13 (1985), Earthquake Damage Evaluation Data for California, (Applied Technology Council) ATC-13 Report, Redwood City, California.
25. EERI (1986), Reducing Earthquake Hazards: Lessons Learned From Earthquakes, EERI Publication No: 86-02, San Francisco, California.
26. ATC-25 (1991) Seismic Vulnerability and Impact of Disruption of Lifelines in the Conterminous United States, Applied Technology Council, Redwood City, CA.
27. HAZUS (1999), Earthquake Loss Estimation Methodology, Technical Manual, RMS, NIBS and FEMA.
28. Grunthal, G. European Macroseismic Scale 1998. Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie 1998; Vol.15, pp.1-99.
29. Карапетян Б.К. Результаты изучения Спитакского землетрясения и перспективы дальнейших исследований. // Сейсмостойкое строительство. – М.: ВНИИТПИ, 1999, №1, с.9-11.

Рецензент: д.т.н., профессор Асанов А.А.