

УДК 624.046.2

DOI: 10.23671/VNC.2014.2.55423

КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ОЦЕНКИ СЕЙСМИЧЕСКОГО РИСКА

© 2014 Г.А. Джинчвелашвили, к.т.н., О.В. Мкртычев, д.т.н.,
М.Ф. Келешев, к.т.н.,

Московский Государственный Строительный Университет им. Н.Э. Баумана,
105005 г. Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1, e-mail: bauman@bmstu.ru

В статье рассмотрены понятия сейсмического риска и дана методика расчета вероятности отказа сооружения при землетрясении. Многовековой опыт борьбы с последствиями землетрясений, накопленный человечеством, свидетельствует о том, что наиболее действенный способ их минимизации состоит в проведении заблаговременных и масштабных антисейсмических мероприятий еще при строительстве на сейсмоопасных территориях. Антисейсмические мероприятия априори нуждаются в дополнительных затратах в сравнении со строительством в несейсмических районах. С точки зрения эффективности таких затрат они должны оправдываться снижением вероятных потерь (рисков ущерба) от землетрясений.

Ключевые слова: сейсмический риск, сейсмическая интенсивность, функция уязвимости.

1. Сейсмическая опасность

Несмотря на интенсивное развитие теории и практики оценки сейсмической опасности и сейсмостойкого строительства, во всем мире наблюдается непрерывный рост ущерба от землетрясений, связанный с процессами урбанизации, усложнением инфраструктуры, увеличением плотности населения, накоплением материальных ценностей и другими факторами. Соответственно резко увеличился поток публикаций, посвященных проблемам уменьшения риска и, в частности, проблемам сейсмического районирования. При этом предложения различных исследователей часто существенным образом различаются и даже противоречат друг другу. Нет нужды объяснять необходимость учета мировых достижений при разработке методологии оценки сейсмической опасности в нашей стране.

Сильные землетрясения угрожают также густонаселенным территориям России и странам бывшего СССР: (Южного Кавказа, Центральной Азии, Казахстану, Украине, Молдавии) [Уломов, Шумилина, 1999, <http://seismos-u.ifz.ru>; <http://www.pandia.ru>].

В то же время, как свидетельствует опыт развитых стран, никакой фатальной неизбежности ущерба и потерь от землетрясений нет. Как сказано в книге видных американских специалистов по сейсмостойкому проектированию и строительству Дж. Гира и Х. Шаха «не землетрясения убивают людей, а здания» [Гир, Шах, 1988]. И поскольку угрозы от землетрясений реализуются в соответствии со стохастическими законами, то это означает, что ущербами и потерями от землетрясений можно управлять – путем минимизации сейсмического риска. Однако такая возможность может быть реализована только в случае адекватной оценки сейсмического риска в контексте принятия решений.

Многовековой опыт борьбы с последствиями землетрясений, накопленный человечеством, свидетельствует о том, что наиболее действенный способ их миними-

зации состоит в проведении заблаговременных и масштабных антисейсмических мероприятий еще при строительстве на сейсмоопасных территориях. Антисейсмические мероприятия априори нуждаются в дополнительных затратах в сравнении со строительством в несейсмических районах. С точки зрения эффективности таких затрат они должны оправдываться снижением вероятных потерь (рисков ущерба) от землетрясений. При этом снижение вероятных потерь от землетрясений можно рассматривать как будущий эффект, а дополнительные затраты на антисейсмические мероприятия трактовать как составляющие сейсмического риска.

Решение проблемы, по нашему мнению, здесь видится, прежде всего, в необходимости уточнения понятия сейсмического риска и его оценки в контексте принятия решений.

В количественном отношении получило распространение следующее определение: под сейсмической опасностью понимается вероятность появления сейсмических воздействий определенной силы на заданной площади (или в заданном пункте) в течение заданного интервала времени.

До выхода в свет работы К. Корнелла (Cornell, 1968) [Сейсмический, 1981] в некоторых публикациях сейсмическую опасность называли «сейсмическим риском». В настоящее время под этим термином понимается вероятный ущерб при землетрясениях.

Существуют различные проблемы задания вероятности событий. Например, в случае описания сейсмической опасности в баллах шкалы сейсмической интенсивности возникает вопрос: соответствуют ли заданные вероятности не превышения точности шкалы?

В действующей дискретной шкале сейсмической интенсивности (MSK-64) используется модель равномерного распределения сейсмических эффектов в пределах заданного балла со скачкообразным изменением этих эффектов на границе соседних баллов. Даже если бы мы имели абсолютно точное соответствие баллов и амплитуд ускорений, то только за счет дискретности модели среднеквадратичная погрешность, связанная с округлением интенсивности до целочисленных значений, равна 25%, а максимальная погрешность достигает 60%.

В настоящее время эмпирическим путем установлено, что связь между сейсмической интенсивностью и ускорением грунта неоднозначна. Существуют и другие факторы, например, продолжительность колебаний, которые вносят существенный вклад в сейсмическую интенсивность [Аптикаев, 2000, 2001; Заалишвили, 2000а; 2009].

Из уравнения макросейсмического поля следует, что округление магнитуд до 0,5 вызывает погрешность в интенсивности 0,75 балла или, в пересчете в амплитуды ускорения, – (опять-таки при предположении об абсолютной корреляции магнитуд и интенсивности) – 100%-ю погрешность оценок ускорения.

Следовательно, при оценке сейсмической опасности в целочисленных значениях баллов, неправомерно задавать вероятность не превышения более 75%.

На практике встречаются оценки сейсмических воздействий с вероятностью P , отличающейся от 0,5. Следует иметь в виду, что риск превышения заданного воздействия на картах ОСР задается выбором карты ОСР-А, ОСР-В, ОСР-С, ОСР-Д. Можно изменить количество карт или задаваться иными вероятностями риска – в принципе, ничего не изменяется. Задав выбором карты степень допустимого превышения, все последующие выкладки должны производиться по средним зависимостям.

Например, подняв полученную оценку ускорения на величину стандартного отклонения, мы фактически переходим от одной карты к другой (с карты «А» к карте «В» и т. д.).

В научных исследованиях часто используется и другое определение сейсмической опасности [Ризниченко, 1985]: сейсмическая опасность есть математическое ожидание потока сейсмических событий определенной силы на заданной площади в течение заданного интервала времени.

При малых вероятностях ($P < 0,2$) оба определения эквивалентны. Однако последнему определению при $P > 0,2$ соответствуют более точные оценки ожидаемого ущерба от землетрясений.

Проблема погрешностей, связанных с моделью равномерного распределения признаков сейсмической интенсивности, сохраняется и при пересчете значений баллов в ускорения грунта. В этом отношении перспективно применение вероятностных моделей связи амплитуд колебаний грунта с сейсмической интенсивностью в баллах.

2. Уязвимость зданий и сооружений и сейсмический риск

С экономической точки зрения при заданном воздействии в баллах или амплитудах ускорения грунта широко используется понятие уязвимости объекта (V), как меры потери функциональности объекта.

Наиболее просто эта величина определяется для зданий и сооружений. Уязвимость определяется как отношение стоимости ремонта (восстановления) к общей стоимости объекта; изменяется от 0 (отсутствие повреждений) до 1,0 (не подлежит восстановлению) и не зависит ни от выбора валютной единицы, ни от уровня инфляции. Зная текущую стоимость объекта, легко определить ущерб в денежном выражении. Зависимость уязвимости от сейсмического воздействия (например, в баллах) называется *функцией уязвимости*. Уязвимость сложным образом связана со степенью повреждения. Например, в случаях 4-й и 5-й степени повреждений уязвимость одинакова и равна единице, поскольку такие здания восстановлению не подлежат.

Сейсмический риск – понятие экономическое. Это – вероятность социального и экономического ущерба, связанного с землетрясениями на заданной территории в течение определенного интервала времени [Сейсмический ..., 1981; Заалишвили, 2000б; Chachava et al., 2001].

Сейсмический риск (R), сейсмическая опасность (H) и уязвимость (V) связаны соотношением:

$$R = HV. \quad (1)$$

При ОСР надежно выделяются сейсмогенерирующие структуры, способные породить землетрясения с магнитудой свыше 6,0. Однако и более слабые по магнитуде землетрясения способны вызывать сильные воздействия на ограниченной площади. ДСР как раз и призвано выделять такие структуры [Заалишвили, Рогожин, 2010; Заалишвили и др., 2011].

Обычно считают, что сейсмическая интенсивность определяется магнитудой землетрясения. Однако согласно уравнению макросейсмического поля со средними оценками коэффициентов имеет вид зависимость [Ризниченко, 1985]:

$$I = 1,5M_s - 3,5 \lg \frac{(h^2 + D^2)}{2} + 3,0, \quad (2)$$

где I – сейсмическая интенсивность в баллах; M_s – магнитуда по поверхностным волнам; h – глубина очага, D – эпицентральное расстояние.

Из этого уравнения следует, что фактор расстояния намного важнее магнитуды. Глубина же землетрясений с малыми магнитудами может быть весьма малой. Кроме того, имеется много доказательств того, что на поверхности разрыва амплитуда ускорения в среднем постоянна и не зависит от магнитуды землетрясения [Аптикаев, 2001]. Чтобы не быть голословными, приведем перечень землетрясений мира со значительным сейсмическим эффектом при малых магнитудах [Аптикаев, 2000] (табл. 1 и табл. 2).

Таблица 1.

Примеры землетрясений с магнитудами $M_s \leq 4,5$ и относительно высокой интенсивностью I .

Дата	Место	M_s	I	Дата	Место	M_s	I
10.05.1964	Сахалин	0,5	6,0	29.06.1966	Ташкент	3,6	7,0
26.08.1989	Югославия	1,7	6,0	25.01.1972	Италия	3,7	7,5
22.02.1963	Кавказ	2,0	6,0	14.06.1992	Тайвань	3,7	8,5
09.07.1967	Урал	2,3	6,0	06.02.1972	Италия	3,8	8,0
13.09.1930	Узбекистан	2,5	7,0	14.06.1972	Италия	3,8	9,0
01.09.1962	Д. Восток	2,7	7,0	05.02.1972	Италия	4,0	8,5
20.04.1992	Тайвань	2,7	7,5	19.04.1992	Тайвань	4,2	9,0
22.11.1986	Япония	3,0	8,0	30.03.1989	Армения	4,3	7,5
30.06.1868	Сев. Кавказ	3,2	7,0	02.01.1842	Азербайджан	4,3	8,0
12.01.1947	Центр. Азия	3,2	7,0	20.04.1992	Тайвань	4,4	9,0
18.08.1812	Прибайкалье	3,3	7,0	05.05.1992	Тайвань	4,4	9,0
23.11.1947	Ставрополь	3,5	7,0	02.10.1971	Ставрополь	4,5	8,0
23.04.1992	Тайвань	3,5	8,5	04.09.1987	Италия	4,5	8,0

Таблица 2.

Примеры землетрясений с магнитудами $M_s \leq 4,5$ и относительно высокими ускорениями грунта (PGA, в $\text{см}/\text{с}^2$).

Дата	Место	M_s	Станция	ПГУ, $\text{см}/\text{с}^2$
27.08.1978	Ю. Каролина	1,9	Монтицелло Дэм	250
06.03.1975	Калифорния	2,2	Миленди Ранч Ист	180
28.08.1972	Калифорния	2,5	6420 Вилшир	160
16.10.1979	Калифорния	2,8	Аэропорт Ббэвли	168
31.01.1974	Калифорния	2,9	7007-я Вест	180
22.03.1972	Калифорния	2,9	Миленди Ранч	160
06.04.1977	Калифорния	3,0	Джонсон Ранч	580
24.09.1979	Италия	3,1	Норция Мулино	661
11.02.1974	Калифорния	3,3	533 Ю. Фремонт	250
14.11.1977	Калифорния	3,4	Эль Центро № 6	500
14.11.1977	Калифорния	3,7	Эль Центро № 6	410
13.10.1980	Калифорния	3,7	Вилкинсон Ранч	310
05.01.1972	Никарагуа	3,8	ЭССО Рефинери	220
14.06.1972	Италия	4,0	PAL	244
14.06.1972	Италия	4,0	GEN	422
14.06.1972	Италия	4,0	ROC	510
04.09.1972	Калифорния	4,5	Миленди Ранч	690

Этот далеко не полный список убедительно показывает, что даже микроземлетрясения ($M_s \leq 3,0$) могут вызвать на отдельном объекте серьезные повреждения. При таких воздействиях нелинейные явления по инструментальным показателям записей, практически, отсутствуют [Заалишвили, 2000а]. А уж о землетрясениях с магнитудами $M_s \geq 6,0$ и говорить не приходится. Поскольку сейсмический риск оценивается при весьма высоком уровне не превышения, например, для АЭС всего 0.5%, была проведена оценка максимально возможной интенсивности в функции магнитуды, как огибающей ансамбля эмпирических данных по 1700 землетрясениям в диапазоне магнитудами $0,0 \leq M_s \leq 8,5$:

$$I_{max} = 0,8M_s + 5,6. \quad (3)$$

На основе анализа 1780 акселерограмм для интервала магнитуд $2,0 \leq M_s \leq 7,5$ получено эмпирическое соотношение для максимально возможных ускорений грунта (PGA – peak ground acceleration) – максимальное ускорение колебаний грунта в пункте наблюдения в горизонтальной плоскости (огибающая ансамбля эмпирических данных) [Trifunac, Brady, 1975]:

$$\lg PGA = 0,12M_s + 2,4. \quad (4)$$

Заметим, что коэффициенты в этих соотношениях не совпадают с коэффициентами для средних, наиболее вероятных, значений, поскольку величина стандартного отклонения увеличивается при понижении магнитуды.

В России и в странах бывшего СССР используется 12-балльная сейсмическая шкала MSK-64 [Поляков, 1978]. В качестве основной расчетной характеристики, характеризующей уровень сейсмической опасности, используется максимальное сейсмическое ускорение a_{max} колебаний частиц грунта на поверхности земли.

Между сейсмической интенсивностью I в баллах шкалы MSK-64 и максимальным ускорением a_{max} в [Стефанишин, 2012] приведен график, устанавливающий сложную вероятностную зависимость (рис. 1), который получен путем статистической обработки более 1400 акселерограмм землетрясений, зарегистрированных в разных частях земного шара.

Из анализа рис. 1 видно, что одним и тем же ускорениям a_{max} могут отвечать разные интегральные вероятности $P(a_{max})$ при разной интенсивности I сейсмических колебаний, в баллах, и, соответственно, при разной их частоте. То есть одни и те же максимальные сейсмические ускорения a_{max} с разной вероятностью могут прогнозироваться в значительном диапазоне изменения интенсивности сейсмических колебаний, в баллах.

Определим понятие сейсмического риска в такой постановке задачи.

Сейсмическим риском назовем произведение трех величин [Кусаинов и др., 2013]:

$$R = H \times P(a_{max} \geq a_{max,p} | I_p) \times Q, \quad (5)$$

где H – вероятности наступления землетрясения определенной интенсивности I_p ; $P(a_{max} \geq a_{max,p} | I_p)$ – условная вероятность того, что землетрясение вызовет критическое состояние; Q – размер ущерба вследствие наступления критического состояния.

Вероятность наступления землетрясения определенной интенсивности H определяется из анализа степени сейсмической опасности района строительства. Вероятность возникновения ущерба определяется несущей способностью несущих

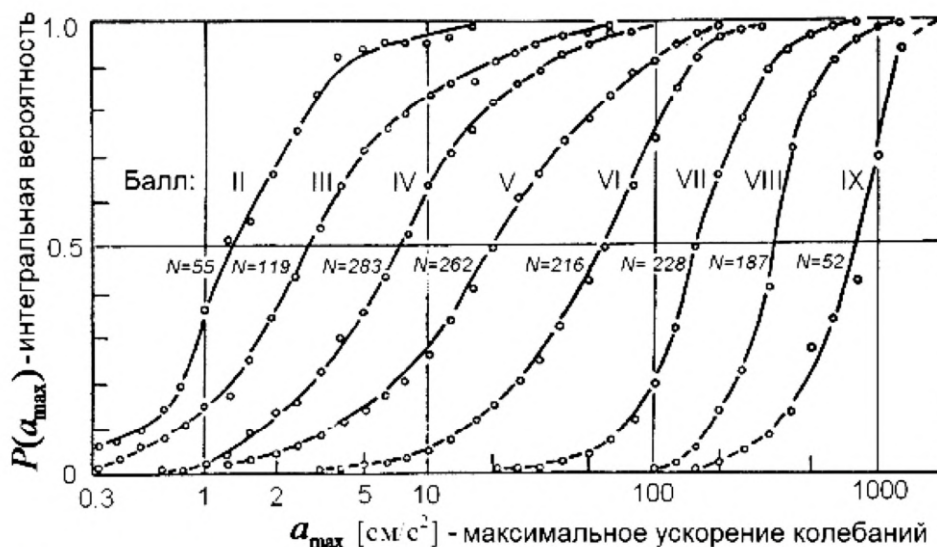


Рис. 1. Характер вероятностной связи между интенсивностью I , в баллах шкалы MSK-64, и a_{\max} ; N – количество акселерограмм землетрясений, использованных для построения графиков, характеризующих разную интенсивность.

конструкций сооружения и их способностью рассеивать энергию землетрясения.

Размер ущерба Q определяется параметрами эксплуатации, плотностью застройки, транспортной и коммунальной инфраструктурой и пр.

Положим, что при некотором расчетном землетрясении интенсивностью I_p , в баллах, сооружение способно безотказно (не разрушаясь и не повреждаясь) выдержать некоторое расчетное максимальное сейсмическое ускорение $a_{\max,p}$. Тогда вероятность $P(a_{\max,p})$, определенная при I_p как условная вероятность $P(a_{\max,p} | I_p)$ не превышения соответствующего ускорения, может характеризовать минимально допустимое значение условной вероятности безотказной работы (надежности) этого объекта при интенсивности I_p .

В свою очередь дополнение вероятности $P(a_{\max,p} | I_p)$ до единицы, как вероятность превышения $a_{\max,p}$ будет характеризовать максимально допустимое значение условной вероятности отказа сооружения при I_p :

$$P(a_{\max} \geq a_{\max,p} | I_p) = 1 - P(a_{\max,p} | I_p). \quad (6)$$

Другой важной характеристикой сейсмической опасности, определяющей безусловную вероятность отказа от расчетного землетрясения интенсивностью I_p , является средний период его повторения $T(I_p)$. В зависимости от периода повторяемости $T(I_p)$ устанавливается ежегодная вероятность $p(I_p)$ превышения землетрясения интенсивностью I_p :

$$p(I_p) = 1/T(I_p). \quad (7)$$

Сейсмическим риском назовем произведение вероятности наступления землетрясения определенной интенсивности I_p на условную вероятность того, что землетрясение вызовет критическое состояние и на размер ущерба вследствие наступления критического состояния.

Воспользовавшись формулой произведения вероятностей (полной вероятности), получим максимально допустимое значение безусловной вероятности (риска) отказа сооружения при расчетном землетрясении интенсивностью I_p :

$$Q(I_p) = P(a_{\max} \geq a_{\max,p} | I_p) \times p(I_p) = \frac{1}{T(I_p)} [1 - P(a_{\max,p} | I_p)]. \quad (8)$$

Следует также учесть, что одни и те же ускорения a_{\max} , хотя и с разной вероятностью $P(a_{\max})$ (см. рис. 1), включая ускорения $a_{\max,p}$, могут превышать и при землетрясениях, интенсивность которых меньше расчетной I_p .

Рассмотрим некоторую группу I потенциально возможных k землетрясений $I = \{I_p\}, k=m, \dots, p$, в которой землетрясение с интенсивностью сотрясений I_m представляет собой некоторое минимальное по интенсивности, в баллах, землетрясение из возможных на площадке сейсмических событий с максимальными ускорениями $a_{\max} \geq a_{\max,p}$, а землетрясение интенсивностью I_p является максимальным расчетным землетрясением на площадке, в баллах, на которое рассчитывается сооружение при a_{\max} .

В этом случае для оценки максимально допустимого значения полной вероятности отказа сооружения Q с учетом возможности любого из k -х землетрясений $I = \{I_p\}, k=m, \dots, p$, воспользуемся формулой полной вероятности в виде:

$$R(I) = \sum_{k=m}^p P(a_{\max} \geq a_{\max,p} | I_k) \cdot P(I_k), \quad (9)$$

где, с учетом формирования полной группы событий, вероятности:

$$P(I_k) = p(I_k) - p(I_{k+1}) = \frac{1}{T(I_k)} - \frac{1}{T(I_{k+1})}. \quad (10)$$

Рассмотрим пример.

Пусть сооружение рассчитано на максимальное сейсмическое ускорение $0,1g$. Площадка, на которой размещается сооружение, относится к зоне, где возможны сотрясения интенсивностью 7 баллов по шкале MSK-64 для средних грунтов.

Пусть, максимальное расчетное землетрясение с интенсивностью сейсмических колебаний 7 баллов ожидается 1 раз в 500 лет; с интенсивностью сейсмических колебаний 6 баллов – 1 раз в 100 лет; с интенсивностью сейсмических колебаний 5 баллов – 1 раз в 20 лет.

Согласно данным, представленным на рис.1, имеем вероятности превышения максимального сейсмического ускорения $a_{\max,p} = 0,1g$ при землетрясениях интенсивностью $I_k = 7, 6$ и 5 баллов:

$$\begin{aligned} P(a_{\max} \geq a_{\max,p} | I_7) &= 0,8; \\ P(a_{\max} \geq a_{\max,p} | I_6) &= 0,25; \\ P(a_{\max} \geq a_{\max,p} | I_5) &= 0,10. \end{aligned}$$

Используя формулу (9), получаем максимально допустимое значение полной вероятности отказа сооружения $R(Q, I)$ при землетрясении с учетом возможности любого из землетрясений интенсивностью $k = 7, 6, 5$ баллов

$$\begin{aligned} R(Q, I) &= \sum_{k=m}^p p(a_{\max} \geq a_{\max,p} | I_p) \times P(I_k) = 0,8 \times \frac{1}{500} + 0,25 \times \frac{1}{100} + 0,1 \times \frac{1}{20} \\ &= 0,0016 + 0,0025 + 0,005 = 0,0091 \text{год}^{-1}. \end{aligned}$$

Если в обществе существует единое мнение о возможном сейсмическом риске, то с учетом расчетных критериев, определяемых параметром $R(Q, I)$, и пограничных условий, полученных в $Q(I_p)$, можно определить вероятность наступления землетрясения, или ее обратное значение, T – период повторяемости которые следует

положить в основу расчета. Для этого в Еврокоде 8 [Eurocode 8, 2003] и во многих других странах принято рассчитывать сейсмостойкие сооружения на землетрясение, которое может произойти с 10% вероятностью в течение 50 лет.

На основании распределения Пуассона по времени (приближение касается малых вероятностей наступления события):

$$P(T, I \geq I_k) = 1 - e^{-p(I_k)R} \approx 1 - (1 - p(I_k))^T. \quad (11)$$

Отсюда следует, период повторяемости $T=475$ лет. В течение этого времени расчетное землетрясение произойдет с 63% вероятностью.

Таким образом, за срок службы сооружения на данной строительной площадке:

– с большой долей вероятности произойдет «умеренное» землетрясение, такое землетрясение принято называть ПЗ (проектное землетрясение с повторяемостью раз в 100 лет). При таких землетрясениях в несущих конструкциях не должны формироваться остаточные деформации, а ее элементы не должны иметь остаточных перекосов. Несущие элементы здания полностью сохраняют свою прочность и жесткость, и не нуждаются в капитальном ремонте.

– с определенной вероятностью произойдет «сильное» или «катастрофическое» землетрясение. Такое землетрясение принято называть МРЗ (максимальное расчетное землетрясение с повторяемостью раз в 500 лет). При таком редком сейсмическом воздействии, несущие конструкции могут быть значительно повреждены и в них возможно развитие остаточных пластических деформаций при сохранении вертикальной несущей способности и значительной остаточной прочности и жесткости.

Эти положения должны войти в новую концепцию нормативных документов по сейсмостойкому строительству [Мкртычев, Джинчвелашвили, 2012].

Выводы

1. Эмпирические данные о сильных движениях показали, что уровень воздействий в близочаговой и ближней зонах существенно зависит от типа подвижки в очагах.

2. Сейсмическая интенсивность зависит не только от уровня колебаний, но и от их продолжительности, которая, практически не зависит от сейсмической интенсивности, а определяется магнитудой землетрясения, расстоянием, типом подвижки в очаге и типом грунта; вот почему расчет амплитуд и других параметров колебаний грунта должны производить не проектировщики с использованием инструментальной сейсмической шкалы, а сейсмологи, которые обладают информацией не только об ожидаемой интенсивности, но и о магнитудах, расстояниях, типах подвижек в очагах.

3. Сейсмологам необходимо обсудить и, возможно, внести коренное изменение концепции сейсмического районирования – отказ от картирования сейсмической опасности только в баллах и выбор в качестве параметра картирования характеристик, непосредственно используемых проектировщиками в расчетах, в первую очередь – амплитуды ускорений. При этом автоматически исчезает погрешность округления, ибо поле амплитуд непрерывно. Безусловно, макросейсмические и инструментальные данные должны использоваться в комплексе.

Литература

1. Аптикаев Ф.Ф. Меры по снижению ущерба от землетрясений / Природные опасности России. – М.: Крук, 2000. – Глава 7. – с. 165-195.
2. Аптикаев Ф.Ф. Особенности колебаний поверхности грунта вблизи техногенных сейсмических источников – Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2001. – № 1. – с. 7-12.
3. Гир Дж., Шах Х. Зыбкая твердь: Что такое землетрясение и как к нему подготовиться. – М.: Мир. 1988. – 220 с.
4. Заалишвили В.Б. Физические основы сейсмического микрорайонирования. – М.: ОИФЗ им. О.Ю. Шмидта РАН. 2000а. – 367с.
5. Заалишвили В.Б. Сейсмический риск в оценке направлений реконструкции исторического центра города. // Теория сооружений и сейсмостойкость. ИСМИС им. К.С. Завриева АН Грузии № 1. – Тбилиси, 2000б, С.189-194
6. Заалишвили В.Б. Сейсмическое микрорайонирование территорий городов, населенных пунктов и больших строительных площадок (учебное пособие) – М.: – Наука, 2009. 350 с.
7. Заалишвили В.Б., Рогожин Е.А. Оценка сейсмической опасности территории на основе современных методов детального сейсмического районирования и сейсмического микрорайонирования // В сборнике: Мониторинг и прогнозирование природных катастроф. – Махачкала: Труды института геологии Дагестанского научного центра Российской Академии Наук. 2010. – С. 251-262.
8. Заалишвили В.Б., Дзеранов Б.В., Габараев А.Ф. Оценка сейсмической опасности территории и построение вероятностных карт // Геология и геофизика Юга России. 2011. № 1. С. 48-58.
9. Кусаинов А.А., Ильичев В.А., Ботабеков А.К., Хенкель Ф.-О., Шальк М., Холь Д. Проектирование сейсмостойких конструкций с комплектными системами сухого строительства. – Учебное пособие: – М.: АСВ, 2013. – 272 с.
10. Мкртычев О.В., Джинчвелашвили Г.А. Проблемы учета нелинейностей в теории сейсмостойкости (гипотезы и заблуждения). – М.: МГСУ, 2012. – 192 с.
11. Поляков С.В. Последствия сильных землетрясений. – М.: Стройиздат, 1978. – 311 с.
12. Ризниченко Ю.В. Проблемы сейсмологии. – М.: Наука, 1985. – 408с.
13. Сейсмический риск и инженерные решения. Пер. с англ. – Под ред. Ц. Ломнитца, Э. Розенблюэта. – М.: Недра, 1981. – 375 с.
14. Стефанишин Д.В. К вопросу оценки и учета сейсмического риска при принятии решений – Электронный журнал «Предотвращение аварий зданий и сооружений», 2012. – 8 с., http://www.pamag.ru/pressa/calculation_seismic-risk
15. Уломов В.И., Шумилина Л.С. Проблемы сейсмического районирования территории России. – М.: ВНИИТПИ Госстроя России, 1999. – 56 с.
16. Chachava N., Zaalishvili V., Gogmachadze S. Seismic risk assessment methods in old Tbilisi // Natural Disasters designing for safety. Proceedings of UIA work programmed conference. UIA-Chamber of Architects of Turkey. – Istanbul. 2001, P. 81-88.
17. Eurocode 8: Design of Structures for Earthquake Resistance – Part 1: General Rules, Seismic actions and Rules for Buildings. European Committee for Standardization. – Brussels – 2003. – 229 p
18. <http://seismos-u.ifz.ru/hazard.htm>

19. <http://www.pandia.ru/text/77/156/22985-2.php> Детальное сейсмическое микрорайонирование

20. Trifunac, M. D., Brady A.G. On the correlation of seismic intensity scales with the peaks of ground motion records. // Bull. Seism. Soc. Am. 1975. V.65, P.139-162

DOI: 10.23671/VNC.2014.2.55423

THE QUANTITATIVE ASSESSMENTS OF THE SEISMIC RISK

© 2014 G.A. Djinchvelashvili, Cand. Techn. Sci., O.V. Mkrtychev, Doct. Techn. Sci., M.F. Keleshev, Cand. Techn. Sci.

N.E. Baumann Moscow State Construction University, Build. 1, #5, 2nd Baumanskaya st., Moscow, 105005, e-mail: bauman@bmstu.ru

The concepts of seismic risk are examined and the procedure of calculation of the probability of the failure of construction with the earthquake is given. Centuries-old experience of fight with the consequences of earthquakes, accumulated by humanity, attests to the fact that the most efficient method of their minimization consists of taking of advance and scale antiseismic measures even with the building on the earthquake-hazard territories. Antiseismic measures a priori need additional expenditures in the comparison with the building in the nonseismic regions. From the point of view of the effectiveness of such expenditures they must be justified by reduction in the probable losses (risks of damage) from the earthquakes.

The keywords: seismic risk, seismic intensity, the function of vulnerability.