

УДК 550.34

Абакаров А.Д., Курбанов И.Б.

К ОЦЕНКЕ СЕЙСМИЧЕСКОГО РИСКА ТЕРРИТОРИЙ

Abakarov A.D., Kurbanov I.B.

TO THE ASSESSMENT OF SEISMIC RISK OF AREAS

Основными компонентами сейсмического риска территорий являются: сейсмическая опасность; сейсмическая уязвимость элементов застройки территории; социальные и экономические потери при землетрясении. Каждый из них зависит от большого количества параметров, как самих землетрясений, так и зданий и сооружений. Одним из основных является дефицит сейсмостойкости объекта застройки, исходя из которого можно определить возможную степень его повреждения. Вычислив вероятности степеней повреждения зданий по сейсмической опасности территории и уязвимости зданий в зависимости от степеней повреждения, можно оценить сейсмический риск территории. В статье реализован данный подход на примере застройки г. Махачкалы.

Ключевые слова: *элемент застройки, дефицит сейсмостойкости, степень повреждения, сейсмическая опасность, уязвимость, сейсмический риск.*

The main components of seismic risk areas are: seismic hazard, seismic vulnerability of the elements of building area, social and economic losses in the earthquake. Each of them depends on a large number of parameters, both the earthquake and buildings. One of the main object is the lack of earthquake resistance of buildings on the basis of which. You can determine the possible extent of his injuries. Calculate the probabilities of degrees of damage to buildings on the territory of seismic hazard and vulnerability of buildings, depending on the extent of damage, we can estimate the seismic risk areas. In the article, this approach is implemented by the example of building the city of Makhachkala.

Key words: *element of construction, earthquake resistance deficit, the degree of damage, seismic hazard, vulnerability, seismic risk.*

Землетрясения являются самыми опасными стихийными явлениями природы. Ущерб от них приравнивается к суммарному ущербу от всех других природных катастроф. 29 регионов Российской Федерации с населением более 25 млн. человек подвержены воздействию

разрушительных землетрясений. Угрозы от землетрясений во времени только растут в связи с ростом населения и урбанизации территорий. Поэтому люди, живущие на сейсмоопасных территориях, должны знать, как они защищены, и как надо защищаться от сильных землетрясений. Задачей сейсмологов, специалистов по сейсмостойкому строительству и служб защиты при чрезвычайных ситуациях является изучить сейсмическую опасность территории, оценить риски и предложить перечень первоочередных мероприятий по снижению сейсмического риска и повышению готовности к ликвидации последствий землетрясений. Важно не забывать о землетрясениях, так как замечено, что следующее разрушительное землетрясение происходит тогда, когда уже забыт горький урок предыдущего.

Сейсмический риск территории определяется как вероятностные экономические и социальные потери от землетрясений за определенный промежуток времени [1-3]. Основными компонентами сейсмического риска являются сейсмическая опасность территории и уязвимость ее элементов, т.е. зданий, сооружений, людей и других ценностей. Сейсмический риск городских и сельских территорий определяется, прежде всего, оценкой сейсмической опасности существующей застройки, выражающейся в интенсивности и повторяемости будущих землетрясений и в возможных при этом повреждениях зданий и сооружений. В конечном итоге разрабатываются карты сейсмического риска, которые служат основанием для принятия мер по снижению экономических, экологических и социальных потерь на территориях. Для большинства сейсмоопасных городов России такие карты не существуют, в том числе и для городов Дагестана, где уровни сейсмического риска могут быть самыми высокими на юге России. Одной из причин этого является отсутствие единой методики оценки сейсмического риска, основанной на системном подходе, комплексно охватывающем проблемы оценки сейсмической опасности территорий, уязвимости их элементов, а также ущербов и потерь при землетрясениях.

Сейсмическая опасность территории является основополагающей составляющей в оценке сейсмического риска. Она складывается из интенсивности, повторяемости и ряда других спектральных параметров сейсмических колебаний грунтов. От степени полноты и достоверности исходной сейсмологической информации, используемой для оценки сейсмической опасности, зависит и уровень достоверности показателей сейсмического риска. Разные регионы России чаще всего имеют различную сейсмическую опасность. Разной может быть статистика сильных землетрясений и степень изученности территорий этих регионов. Поэтому будет целесообразным сейсмоопасные территории классифицировать на малоизученные, среднеизученные и высокоизученные. К малоизученным следует отнести территории,

сейсмическая опасность которых может быть оценена только по картам сейсмического районирования. Для среднеизученных территорий характерно наличие дополнительно карт сейсмического микрорайонирования и набор характерных синтезированных акселерограмм.

Высокоизученными предлагаем назвать территории, для которых имеются еще и карты количественных оценок сейсмической опасности, карты сейсмического риска, а также необходимый набор инструментальных и синтезированных записей землетрясений. Исходя из этих данных, для каждого случая разрабатывается вероятностная расчетная модель сейсмического воздействия с заданными уровнями обеспеченности параметров землетрясений.

При оценке сейсмической опасности, значит, и сейсмического риска, следует учесть возможные вторичные явления от землетрясений, такие, как оползни, пожары, цунами, наводнения и другие. Ущерб от них может быть весьма значительным, а в некоторых случаях и превышающим прямого ущерба от землетрясений. В качестве примера можно привести Индонезийское землетрясение 2004г., Вэньчианское землетрясение 2008г. в Китае, землетрясения 2010г. в Гаити и 2011г. в провинции Фукусима Японии.

Следующей составляющей сейсмического риска является сейсмическая уязвимость элементов территории, определяемая, исходя из экономических, экологических и социальных потерь, вызываемых землетрясением [4-6]. Для строительных систем важно оценить конструктивную уязвимость, определяемую возможными степенями повреждения зданий при землетрясениях или вероятностями их отказов. Оценку конструктивной уязвимости здания проще производить исходя из дефицита его сейсмостойкости, определяемого как разность между расчетной балльностью здания по существующим нормам проектирования и фактическим уровнем его сейсмостойкости в баллах. Сейсмостойкость здания на момент обследования определяется исходя из его проектной балльности и степени износа несущих конструкций. Если исходить из СП 14.13330.2011 [7], то дефицит сейсмостойкости должен быть определен по отношению к проектному землетрясению (ПЗ), а при соответствующем назначении здания и по отношению к максимальному расчетному землетрясению (МРЗ).

На сейсмоопасных территориях России много зданий и сооружений разных периодов строительства. Абсолютное большинство из них имеют дефицит сейсмостойкости в пределах 1, 2 и даже 3 баллов. Для примера в таблице 1 приведены данные по дефициту сейсмостойкости выборочно обследованных нами гражданских зданий на территории Республики Дагестан до 2000г. строительства.

Таблица 1 - Дефицит сейсмостойкости гражданских зданий до 2000 года застройки в Республике Дагестан

№ п/п	Объекты обследования	Всего обследовано	Дефицит сейсмостойкости							
			1 балл		2 балла		3 балла		4 балла	
			Кол-во	%	Кол-во	%	Кол-во	%	Кол-во	%
1	Школы	217	49	22,6	101	46,5	62	28,6	5	2,3
2	Детские сады	67	5	7,5	41	61,2	21	31,3	0	0
3	Больницы	82	25	30,5	39	47,6	16	19,5	2	2,4
4	Жилые дома	410	174	42,4	234	57,1	2	0,5	0	0
	Итого:	776	253	32,6	415	53,5	101	13,0	7	0,9

Из таблицы 1 следует, что все рассмотренные здания имеют дефицит сейсмостойкости, а для более 66% из них дефицит сейсмостойкости составляет 2-3 балла. Такая картина характерна почти для всех сейсмоопасных регионов России.

Чем больше дефицит сейсмостойкости, тем выше возможная степень повреждения здания или сооружения при землетрясении. В шкале MSK-64 предусмотрены 5 степеней повреждения зданий при землетрясении. 1 и 2 характеризуют легкие и умеренные повреждения, 3 - сильные, 4 - разрушительные, 5 - обвальные. Отказовыми для зданий, где имеется риск гибели людей, считаются 3, 4 и 5 степени повреждения. Более расширенный список классов уязвимости типов зданий дан в Единой европейской макросейсмической шкале (EMS-98). Анализ степеней повреждения зданий при той или иной балльности позволяет определить их зависимость от дефицита сейсмостойкости [8].

В таблице 2 приведены возможные степени повреждения зданий рассмотренных в таблице 1 в зависимости от их конструктивных решений и дефицита сейсмостойкости.

Степень повреждения зданий определенного типа при землетрясении является случайной величиной, зависящей как от состояния самих зданий, так и спектральных параметров сейсмического воздействия.

Таблица 2 - Среднее значение степеней повреждения зданий при дефиците сейсмостойкости

№ п/п	Тип здания	Дефицит сейсмостойкости в баллах		
		1	2	3
1	Каменный(кирпичный) с кладкой стен на цементном растворе	3	4	5
2	Крупнопанельный старой застройки	2	3	4

При наличии статистики, вероятность d - той степени повреждения k - ого типа здания при землетрясении I - той интенсивности определяется в виде

$$P_{kdI} = \frac{n_{kdI}}{N_{kI}}, \quad (1)$$

где n_{kdI} – количество зданий k – го типа получивших d – тую степень повреждения при землетрясении I – той интенсивности, N_{kI} - общее количество зданий k -го типа подвергшихся воздействию землетрясения I – ой балльности.

Имеющуюся базу данных по P_{kdI} можно использовать и на других территориях для соответствующих типов зданий.

Зная частоту повторяемости землетрясения за один год B_I , вероятность d – той степени повреждения зданий k – того типа при землетрясении I – той интенсивности за один год находим так

$$P_{kdI}(B_I) = B_I P_{kdI} \quad (2)$$

Вероятность P_{kdI} за период T лет можно определить по экспоненциальному закону

$$P_{kdI}(T) = 1 - \exp(-B_I T P_{kdI}) \quad (3)$$

С учетом повторяемости землетрясений разной интенсивности

$$P_{kd}(\sum B_I) = \sum B_I P_{kdI} \quad (4)$$

В вышеприведенных выражениях имеется в виду, что здания в момент начала сейсмического воздействия находятся в неповрежденном состоянии.

Указанные вероятности являются элементами матрицы повреждаемости зданий и сооружений при землетрясениях.

Если для рассматриваемых типов зданий и сооружений статистика повреждений при землетрясениях отсутствует или недостаточна, то вероятности степеней их повреждения могут быть определены расчетами на ЭВМ методом статических испытаний при заданных теоретических или экспериментальных диаграммах упруго - пластического деформирования конструкций.

Известно что, сейсмический риск территории в целом оценивается как составляющая из экономического и социального риска. В некоторых случаях отдельно оценивают и экологический сейсмический риск, но он может быть приведен к косвенным экономическим потерям.

Экономическая уязвимость территории определяется как отношение стоимости восстановления зданий, сооружений и других элементов

территорий поврежденных землетрясением к их первоначальной стоимости [4-6,9,10]

$$V_{\text{ЭК}}(d) = C_k(d)/C_{\text{ок}} \quad (5)$$

Здесь: $V_{\text{ЭК}}(d)$ – экономическая уязвимость зданий k – ого типа при d – той степени повреждения; $C_k(d)$ - средняя стоимость восстановления зданий k – ого типа при их d – той степени повреждения; $C_{\text{ок}}$ – среднее значение первоначальной стоимости зданий k – ого типа. Количественные значения $V_{\text{ЭК}}(d)$ меняются в диапазоне от 0 до 1 и могут быть выражены в процентах.

В таблице 3 представлены приближенные оценки экономической уязвимости зданий, определенные в зависимости от их степеней повреждения[4].

Таблица 3 -Связь между степенью повреждения и экономической уязвимостью зданий

Степень повреждения по шкале MSK-64, d	1	2	3	4	5
Коэффициент ущерба	0,02	0,10	0,30	0,80	1,00

Следует отметить, что показатели уязвимости зданий будут уточняться и расширяться по степени накопления информации о последствиях воздействия землетрясений на здания и сооружения.

Для большинства территорий социальная составляющая сейсмического риска является определяющей в принятии решения по снижению риска. Социальная уязвимость территории напрямую зависит от степеней повреждения зданий и сооружений и количества людей, находившихся внутри зданий в момент начала сильного землетрясения. Результаты исследования по этим вопросам приведены в работах [2- 6,9].

Социальная уязвимость зданий k -ого типа при их d – той степени повреждения определяют так

$$V_{\text{ЭК}}(d) = l_{kd}/L_k, \quad (6)$$

где $l_k(d)$ – среднее число людей погибших в зданиях k – ого типа при d – той степени повреждения; L_k – среднее число людей, которые одновременно могут находиться внутри зданий в k – го типа в момент начала землетрясения.

В таблице 4 приведены ориентированные показатели социальной уязвимости каменных (кирпичных) и крупнопанельных зданий высотой не более 5 этажей.

Таблица 4 -Зависимость социальной уязвимости зданий от дефицита сейсмостойкости

№ п/п	Тип здания	Показатели риска	Дефицит сейсмостойкости в баллах		
			1	2	3
1	Каменные и кирпичные здания	Степень повреждения	3	4	5
		Процент людей подверженных риску для жизни	20	30	60
2	Крупнопанельные здания	Степень поврежденности	2	3	4
		Процент людей подверженных риску для жизни	1	10	Нет информации

Здания и сооружения одного типа, расположенные на одной и той же территории, могут иметь разные уровни дефицита сейсмостойкости. Соответственно изменяются и уровни уязвимости их. В таблице 5 приведены средние значения экономической и социальной уязвимости каменных и кирпичных зданий социального назначения до 2000 года строительства в г. Махачкале, определенные их обследованием экспресс методом [8].

Таблица 5 -Сейсмическая уязвимость зданий социального назначения в г. Махачкале

№ п/п	Объект	Количество обработанных карточек - паспортов	Среднее значение уязвимости	
			Экономическая	Социальная
1	Школы	29	0,38	0,34
2	Детские дошкольные учреждения	14	0,48	0,33
3	Медицинские учреждения (больницы, поликлиники)	25	0,4	0,25

Цифры в таблице 5 говорят о высоких уровнях сейсмической уязвимости образовательных и медицинских учреждений в г. Махачкале. Такая же картина характерна и для других городов республики.

Имея данные по уязвимости зданий и сооружений при землетрясениях и о первоначальной их стоимости, прямой экономический ущерб для зданий k – ого типа при возможной d – той степени повреждения от землетрясения I – той интенсивности, оцениваем в виде

$$C_{kdl} = n_{kdl} V_{эк}(d) C_k . \quad (7)$$

Здесь: n_{kdl} – количество зданий k – ого типа, получившие d – ую степень повреждения при землетрясении I – той интенсивности;

C_k - среднее значение первоначальной стоимости для здания k – ого типа

Суммарные экономические потери для рассматриваемой территории от повреждения данных типов зданий определяем в виде

$$\bar{C}_{kdl} = C_{kdl} + C_{kdl}^* , \quad (8)$$

где C_{kdl}^* - косвенные экономические потери связанные с повреждениями зданий k – ого типа при землетрясении I – той интенсивности.

Учитывая вероятность d – той степени повреждения зданий по (2), вероятностное значение суммарных экономических потерь за один год, связанное с повреждением зданий k – ого типа при I – том землетрясении, получим в виде

$$C_{pkdl} = B_I P_{kdl} \bar{C}_{kdl} . \quad (9)$$

При возможности землетрясений разной интенсивности и разных степеней повреждения зданий, показатель экономического сейсмического риска территории за один год находим так

$$C_p = \sum_k \sum_I \sum_d B_I P_{kdl} \bar{C}_{kdl} . \quad (10)$$

Данный показатель для периода времени T лет будет иметь вид

$$C_p(T) = \sum_k \sum_I \sum_d P_{kdl}(T) \bar{C}_{kdl} . \quad (11)$$

Здесь $P_{kdl}(T)$ находим по выражению (3).

Для оценки социального риска вероятность нахождения человека в здании k – ого типа в момент начала землетрясения обозначим через P_k . Тогда среднее количество людей, подверженных риску для жизни при d – той степени повреждения зданий k – ого типа

$$l_{kdl} = P_k L_k V_{ckl}(d) . \quad (12)$$

С учетом вероятностей B_I и P_{kdl} в виде (2), вероятностное количество людей, которые могут стать жертвами землетрясения за 1 год, определяем в виде

$$l_{pkdl}(B_I) = B_I P_{kdl} l_{kdl} . \quad (13)$$

С учетом всех элементов территории, прогнозируемых землетрясений и степеней повреждения зданий данный показатель находим так

$$l_p(B_i) = \sum_k \sum_l \sum_d B_l P_{kdl} l_{kdl}. \quad (14)$$

Показатель социального сейсмического риска, определенный как вероятностное число людей, которые могут стать жертвами землетрясений на данной территории за период времени T лет, определяем в виде

$$l_p(T) = \sum_k \sum_l \sum_d P_{kdl}(T) l_{kdl}. \quad (15)$$

Наряду с этими данными, для оценки их объективности для территории должны быть определены уровни сейсмического риска, исходящие из реализации сценариев землетрясений.

Показатели сейсмического риска, определенные для отдельных объектов строительства, территорий, города, региона несут в себе информацию о состоянии вопроса обеспечения сейсмобезопасности населения и служат основанием для принятия комплекса мер по снижению сейсмического риска.

Выводы:

Предложенный подход позволяет оценить экономическую и социальную уязвимости зданий и сейсмический риск исходя из дефицита сейсмостойкости элементов застройки территорий и вероятностей их степеней повреждения. Реализуемость данного подхода продемонстрирована на примере объектов застройки г. Махачкалы.

Библиографический список:

1. Конторович Л.В., Кейлис - Борок В.И., Молчан Г.М. Сейсмический риск и принципы сейсмического районирования // Вычислительные и статистические методы интерпретации сейсмический данных (Вычислительная сейсмология). - М.: Наука, 1973, вып. 6. - с. 3-19.
2. Сейсмический риск и инженерные решения. Пер. с англ. / Под. Ред. Ц. Ломнитца, Э. Розенблюта. - М.: Недра, 1981. - 375с.
3. Айзенберг Я.М. Сейсмический риск. Экономические и неэкономические оценки // Строительная механика и расчет сооружений, 1982. - №4. - с. 4-9.
4. Полтавцев С.И., Айзенберг Я.М., Кофф Г.Л., Мелентьев А.М., Уломов В.И. Сейсмическое районирование и сейсмостойкое строительство / Под ред. академика РААСН Е.В. Басина. - М.: ГУП ЦПП, 1998. - 259с.

5. Клячко М.А. Состояние и проблемы методологии и техники анализа и контроля сейсмического риска на урбанизированных территориях // Сейсмостойкое строительство. - №2, 1999. - с. 15-18.
6. Шахраманян М.А. Оценка сейсмического риска и прогноз последствий землетрясений в задачах спасения населения. - М. :ВНИИ ГОЧС, 2000. - 190с.
7. Свод правил СП 14.13330.2011 "Строительство в сейсмических районах." Актуализированная редакция СНиП II - 7 - 81* . - М. :Минрегион России, 2010. - 83с.
8. Абакаров А.Д., Курбанов И.Б. Методика экспресс оценки технического состояния зданий в сейсмических районах // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. - №2, 2007. – с. 34-36.
9. Лычев А.С. Надежность строительных конструкций. Учебное пособие. – М. : АСВ, 2008. – 184с.
10. Кофф Г.Л. Сейсмический риск ущерба от землетрясений и проблемы его оценки и снижения // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. - №5, 2000. – с. 25-28.

УДК 624.74:624.075

Агапов В.П., Васильев А.В., Айдемиров К.Р.

УЧЕТ НЕЛИНЕЙНОСТИ ДЕФОРМИРОВАНИЯ МАТЕРИАЛОВ ПРИ РАСЧЕТЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОЛОНН ПРЯМОУГОЛЬНОГО СЕЧЕНИЯ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Agapov V.P., Vasiljev A.V., Aidemirov K. R.

THE ACCOUNT OF MATERIALS NONLINEARITY IN FINITE ELEMENT ANALYSIS OF REINFORCED CONCRETE COLUMNS OF RECTANGULAR CROSS SECTIONS

Описывается способ учета нелинейности деформирования бетона и арматуры и трещинообразования в бетоне при расчете железобетонных колонн прямоугольного сечения методом конечных элементов. Колонна составляется из объемных шестигранных элементов, моделирующих бетон, и стержневых элементов, моделирующих арматуру, при этом колонна рассматривается как суперэлемент, характеристики которого приводятся к узлам, лежащим на торцах колонны. Диаграммы деформирования бетона и арматуры принимаются в соответствии с действующими строительными нормами.