

НАДЕЖНОСТЬ КРУПНОПАНЕЛЬНЫХ ЗДАНИЙ В СЕЙСМИЧЕСКИХ РАЙОНАХ

Рассматриваются особенности поведения крупнопанельных зданий при сильных землетрясениях, дается оценка их надежности. Приведен анализ результатов исследований. Даны рекомендации по совершенствованию конструктивных систем сейсмостойких крупнопанельных зданий.

Ключевые слова: здания, крупная панель, сейсмический район, строительство, материал.

THE RELIABILITY OF LARGE BUILDINGS IN SEISMIC REGIONS

The features of the behavior of large buildings during strong earthquakes, assesses their reliability. There are given the results analysis of the research. Also given recommendations for improving the earthquake-resistant structural systems of large buildings.

Keywords: buildings, a large bar, a seismic area, construction material.

Крупнопанельное домостроение связано со значительными преимуществами их возведения по сравнению с кирпичными: сокращение удельных показателей массы конструкций на 25-30%, снижение трудозатрат при изготовлении и монтаже на 35-40%, сокращение сроков строительства в 1,6-2 раза.

Первые проекты сейсмостойких крупнопанельных зданий были разработаны в 1959г. для строительства в районах сейсмичностью 7-8 баллов и в 1960г, сейсмичностью 9 баллов.

В течение ряда лет исследование сейсмостойкости крупнопанельных зданий развивается по трем основным направлениям:

- экспериментальное изучение прочностных, а позднее и деформативных характеристик стыковых соединений;
- испытание моделей и натуральных фрагментов крупнопанельных зданий при статических и динамических воздействиях горизонтальных нагрузок;
- разработка и экспериментальная проверка методов расчета крупнопанельных зданий на сейсмические воздействия с учетом неупругого деформирования их элементов.

В 70-х годах начал накапливаться материал о поведении крупнопанельных зданий при землетрясении расчетной интенсивности, свидетельствующий о высокой сейсмостойкости данной конструктивной системы.

В ходе исследований выявилось несоответствие между уровнем повреждений крупнопанельных зданий после землетрясений расчетной интенсивности и расчетным уровнем. Крупнопанельные здания получали, как правило, значительно меньше повреждения, чем другие конструктивные системы, хотя с точки зрения расчета находились в равных условиях.

Действующие нормы проектирования косвенно учитывают проявление неупругого деформирования зданий путем введения некоторых понижающих коэффициентов к сейсмическим нагрузкам, определяемым в предположении упругого деформирования конструктивной системы. При этом величина развивающихся неупругих деформаций

остаётся неизвестной. Неизвестна также величина предельных деформаций, которые могут быть допущены в крупнопанельных зданиях при землетрясении расчетной интенсивности.

Особенностью поведения зданий всех конструктивных систем (в том числе и крупнопанельных) при интенсивных сейсмических воздействиях является их работа в неупругой стадии. Считается общепризнанным, что поведение зданий при сильных землетрясениях нельзя оценивать только по силовым факторам, а необходимо рассматривать и деформационные критерии либо их сочетания - работу, энергию и др.

Таким образом, необходимо признать, что количественные критерии предельного состояния крупнопанельных зданий в условиях сейсмических воздействий отсутствуют, то есть отсутствует возможность количественного определения параметров неупругого деформирования и сопоставления их с предельно допустимыми величинами деформаций, поскольку величины этих деформаций также неизвестны. Из этого следует, что используемые в настоящее время методы проектирования крупнопанельных зданий не позволяют оценивать, а следовательно, и регулировать их надежность.

Первой серьезной проверкой сейсмостойкости крупнопанельных зданий, которые подвергались сейсмическому воздействию расчетной интенсивностью 7 баллов, было Дагестанское землетрясение (1970г.), где была подтверждена правильность основных принципов, заложенных в нормы проектирования зданий для сейсмических районов. Типичные явления наблюдались и при других землетрясениях (Джамбул, 1971г., Петропавловск-Камчатский, 1971г., Буйнакск, 1975г., Газли, 1976г. и др.). Проведенные обследования показали, что степень повреждения крупнопанельных зданий в значительной мере зависит от их конструктивных особенностей. В целом крупнопанельные здания, обладают более высокой сейсмостойкостью по сравнению с кирпичными. Средневзвешенное значение степени повреждения кирпичных зданий после землетрясения оказалось равным 4,68, а крупнопанельных - 3,68 [3].

В 1984 году в поселке Газли произошло землетрясение силой 9 баллов. К этому времени часть крупнопанельных домов, поврежденных при землетрясениях 1976г., была восстановлена и усилена. Работы по усилению зданий выполнялись на основе предложений ТашЗНИИЭП и ТбилЗНИИЭП. Предварительно были проведены комплексные лабораторные и натурные испытания, позволившие выявить особенности конструктивного усиления и отработать технологию проведения работ [6]. В проекте, разработанном на базе этих исследований, предусматривались восстановление несущей способности стеновых панелей инъектированием в трещины клеевого состава на основе эпоксидных смол и усиления стыковых соединений с помощью армированных полимер растворных шпонок, количество которых определялось исходя из величины усилий от расчетных сейсмических нагрузок.

В ходе усиления были заинъектированы трещины в стеновых панелях, с помощью шпонок обеспечены связи наружных и внутренних стен, плит перекрытий между собой и со стенами. Проводимые мероприятия были направлены, в первую очередь, на создание жесткого диска перекрытий и обеспечение пространственной жесткости всего здания. При землетрясении в усиленных крупнопанельных зданиях возникли трещины в полимер растворных шпонках, выкрошился раствор, которым заделывались стыки наружных стен. Кроме того, появились отдельные трещины во внутренних и наружных панелях с раскрытием до 1,0-2,0 мм, возникли трещины в перемычках с раскрытием до 1,0 мм. Наличие армированных шпонок обеспечило устойчивость элементов зданий.

В целом степень повреждения усиленных крупнопанельных зданий изменялась от 1 до 3. В не усиленных домах после землетрясений 1976г. (8-9 баллов) и 1984г. (9

баллов) степень повреждения соответствовала 5 (массовые обрушения несущих элементов).

Степень повреждения зданий других конструктивных систем (кирпичных, каркасных), рассчитанных на сейсмические воздействия в 8 баллов, оказалась существенно выше, чем усиленных крупнопанельных.

Анализируя последствия сильных землетрясений необходимо отметить, что шкала степеней повреждений крупнопанельных зданий [2], основанная на классификации повреждений, приведенной в шкале сейсмической интенсивности М5К-64, содержит ограниченное число количественных показателей деформированного состояния конструкций. Кроме того, эти показатели, в частности ширина раскрытия трещин, не всегда соответствуют степени повреждения.

Анализ данных о поведении крупнопанельных зданий при землетрясениях различной интенсивности свидетельствует о том, что они обладают высокой сопротивляемостью сейсмическим воздействиям. Их степень повреждения при землетрясении, как правило, на 1-2 ступени ниже, чем других конструктивных систем.

На основе анализа последствий землетрясений в работах [5,6] была сформирована матрица повреждаемости, характеризующая среднюю степень повреждения крупнопанельных зданий различной расчетной сейсмичности i при землетрясениях разной интенсивности J (табл.1).

Матрица повреждаемости крупнопанельных зданий

таблица 1

Расчетная сейсмичность здания, (балл)	Степень повреждения при интенсивности землетрясения, (балл)		
	7	8	9
6	1,7	2,6	3,5
7	1,35	2,1	2,9
8	1,0	1,65	2,3
9	0,7	1,2	1,7

Первый вариант матрицы был опубликован в 1981г. Последующие землетрясения дали дополнительный материал о поведении крупнопанельных зданий, позволивший уточнить отдельные члены матрицы. По мере накопления статистических данных матрица повреждаемости подлежит дальнейшему уточнению.

Матрица повреждаемости крупнопанельных зданий при сейсмическом воздействии позволяет прогнозировать среднюю величину или математическое ожидание степени повреждения при землетрясениях разной интенсивности. Для решения же задачи о надежности здания как вероятности ненаступления заданного предельного состояния необходимо знание закона распределения степени повреждения крупнопанельных зданий при сейсмическом воздействии. Степени повреждения одинаковых зданий при землетрясении определенной интенсивности зависят от прочностных свойств материалов, деформативных характеристик, распределения масс, динамических параметров, характеристик затухания, конструкций фундамента, грунтовых условий, ориентации зданий по отношению к эпицентру, срока их службы, качества производства строительных работ, качества эксплуатации и т.д. Можно привести большое число факторов, каждый из которых x_i в свою очередь, является случайной, величиной и формирует определенное приращение степени повреждения Δd_i :

$$\Delta d_i = f(x_i) \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (1)$$

Тогда суммарная степень повреждения запишется в виде

$$d = \sum_{i=1}^n \Delta d_i = \sum_{i=1}^n f(x_i), \quad (2)$$

где n -число факторов, влияющих на степень повреждения здания.

К такой совокупности случайных величин при n , стремящихся к бесконечности, может быть применена центральная предельная теорема теории вероятностей. Независимо от того, является ли закон распределения каждой случайной величины Δd_i нормальным, на основе центральной предельной теоремы можно считать, что распределение суммы (2) при $n \rightarrow \infty$ приближается к нормальному.

Таким образом, рассматривая степень повреждения d как сумму случайных величин Δd_i , можно ожидать, что при достаточно большом n распределении степени повреждения однотипных зданий при данной сейсмической реализации будет подчиняться нормальному закону.

Для проверки справедливости применения закона нормального распределения к описанию распределения повреждений крупнопанельных зданий был выполнен анализ распределения их степеней повреждения во время Газлийского землетрясения 8 апреля 1976г. [5, 6], который показал, что распределение достаточно хорошо согласуется с нормальным. Такой же результат дала и более объективная проверка гипотезы о нормальности распределения степени повреждения крупнопанельных зданий путем оценки сходимости опытного и теоретического распределения по критерию Пирсона.

Несмотря на то, что данные обследования последствий землетрясения в Газли 17 мая 1976г. менее показательны, так как являются результатом суммарного эффекта двух землетрясений в 8 и 9 баллов, распределение степени повреждения и в этом случае оказалось близким к нормальному и удовлетворяющим критерию Пирсона [5].

Что касается последствий землетрясения в Газли 20 марта 1984г., то три типа зданий (полностью восстановленные и усиленные до расчетной сейсмичности 8 баллов, частично восстановленные и не восстановленные) по-разному реагировали на сейсмическое воздействие в зависимости от их состояния к моменту землетрясения. В результате количество элементов в каждой из трех частей первоначальной выборки оказалось недостаточным для достоверного статистического анализа, и пользоваться этими данными для выявления закона распределения не представляется возможным.

На практике для проявления закона распределения необходимо выполнение определенных условий, вытекающих из ограниченного количества детерминированных показателей степени повреждения от 0 до 5. Поскольку при инженерном анализе последствий землетрясения точность определения d не превышает 0,5, необходимо, чтобы математическое ожидание d было не менее, чем на 2-3 ступени ниже его максимального значения. В противном случае выявить закон распределения не представляется возможным.

С точки зрения оценки надежности крупнопанельных зданий важным является случай, когда интенсивность внешнего воздействия равна или больше их расчетной сейсмичности. В этих условиях, как правило, реализуются почти все степени повреждений, и теоретический закон распределения может быть сопоставлен с фактическим распределением случайной величины d .

Анализируя в целом данные о распределении степени повреждения крупнопанельных зданий при сейсмических воздействиях, можно сделать вывод о подчинении распределения нормальному закону. При этом следует учитывать, что исходные данные о степенях повреждения зданий не обладают высокой точностью, ошибка оценки достигает 0,5-1,0. Уточнение закона распределения может быть проведено по мере накопления дополнительных статистических материалов. С этой целью при изучении последствий землетрясений необходим сбор данных в таком объеме, который бы позволил сделать обоснованные статистические выводы.

Анализ результатов обследования последствий землетрясений позволяет сделать следующие выводы.

Крупнопанельные здания обладают высокой сопротивляемостью сейсмическим воздействиям. По сравнению с другими конструктивными системами их степень повреждения при одинаковой интенсивности землетрясения, как правило, на 1-2 ступени ниже.

С ростом интенсивности сейсмического воздействия степень повреждения крупнопанельных зданий увеличивается практически линейно и тем быстрее, чем ниже уровень антисейсмических мероприятий.

Для оценки ожидаемой степени повреждения крупнопанельных зданий при сейсмических воздействиях рекомендуется использовать приведенную в работах [5, 6] матрицу повреждаемости.

При выполнении вероятностных расчетов распределение степени повреждения крупнопанельных зданий при землетрясении можно принять подчиняющимся нормальному закону.

Литература:

1. Ципенюк И.Ф., Проскурина С.Ф., Мардонов Б.М., Мубараков Я.Н., Каюмов А.К. Сейсмические воздействия на здания и заглубленные сооружения. – Ташкент: Фан, 1986.
2. Методические рекомендации по инженерному анализу последствий землетрясений /ЦНИИСК им. Кучеренко. – М., 1980.
3. Газлийские землетрясения 1976г. Инженерный анализ последствий. – М.: Наука, 1982.
4. Уломов В.И. Газлийское землетрясение 1984г. //Архитектура и строительство Узбекистана. – 1984, №8.
5. Ципенюк И.Ф. Оценка надежности и учет повторяемости землетрясений при расчетах крупнопанельных зданий на сейсмические воздействия //Развитие методов расчета на сейсмостойкость. Труды ЦНИИСК им. Кучеренко. – М., 1987. – С. 138-152.
6. Ципенюк И.Ф. Повреждаемость и надежность крупнопанельных зданий при сейсмических воздействиях //Исследования по сейсмической опасности. Вопросы инженерной сейсмологии. Выпуск 29. – М.: Наука, 1988. – С. 126-151.