

ПРОГНОЗ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЧЕТЫРЕХЭТАЖНОГО ЖИЛОГО ДОМА ПОСЛЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ. РАСЧЕТ НА СЕЙСМИЧЕСКИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПО “МЕТОДУ СОСТОЯНИЙ”

Шаумаров Н.Б.¹, Пирматов Р.Х.²

¹к.т.н., Ташкентский государственный транспортный университет, Узбекистан, Ташкент

²к.т.н., Ташкентский государственный транспортный университет, Узбекистан, Ташкент, prx55@mail.ru

Аннотация. Особенно часто наблюдается высокая повреждаемость стен верхних этажей зданий при сравнительно хорошей сохранности нижних этажей. Отсюда следует, что нормативными расчетами не точно учитывается распределение сейсмической нагрузки по высоте.

Лучшее соответствие с действительности можно получить при расчете на воздействие акселерограмм землетрясений.

ЖЕР ТИТИРӨӨДӨН КИЙИНКИ ТӨРТ КАБАТТУУ ТУРАК ЖАЙДЫН ТЕХНИКАЛЫК АБАЛЫНЫН ПРОГНОЗУ. СЕЙСМИКАЛЫК ТАСИРДЕРДИ «МАМЛЕКЕТТИК МЕТООД» БОЮНЧА ЭСЕПТОО

Шаумаров Н.Б., Пирматов Р.Х.

Аннотация. Айрыкча, көбүнчө төмөнкү кабаттардын салыштырмалуу жакшы сакталышы менен имараттардын жогорку кабаттарынын дубалдарына жогорку зыян бар. Мына ушундан келип чыгат, нормативдик эсептерде сейсмикалык жүктүн бийиктик боюнча бөлүштүрүлүшү так эсепке алынбайт.

Чындыкка эң жакшы дал келүүнү жер титирөөнүн акселерограммаларынын таасирин эсептөө аркылуу алууга болот.

FORECAST OF THE TECHNICAL CONDITION OF A FOUR-STORY RESIDENTIAL BUILDING AFTER THE EARTHQUAKE. CALCULATION FOR SEISMIC IMPACTS BY THE “METHOD OF STATES”

Shaumarov N.B., Pirmatov R.Kh.

Annotation. Especially often there is a high damage to the walls of the upper floors of buildings with a relatively good preservation of the lower floors. It follows from this that the normative calculations do not accurately take into account the distribution of seismic load along the height.

The best correspondence with reality can be obtained by calculating the impact of earthquake accelerograms.

Ключевые слова: землетрясение, сейсмическое воздействие, усилия, акселерограмма, испытания, деформация, жесткость, эксперимент.

Введение. Последствия сильных землетрясений в Узбекистане, СНГ и в зарубежных странах показывают, что каменные здания запроектированные и

расчитанные по современным нормам, оказываются значительно менее сейсмостойкими чем другие типы зданий.

Основная часть:

При расчете сооружений на воздействие акселерограмм землетрясений сейсмические усилия в несколько раз превосходят нормативные. Поэтому, если для определения состояния здания, спроектированного по нормам, исходить из расчетов на акселерограммы, то в большинстве случаев в результате будет получаться аварийное состояние или полное разрушение. В настоящее время имеются наблюдения за поведением зданий, спроектированных и построенных по действующим нормам и испытавших воздействие землетрясений расчетной интенсивности. При этом обнаружено, что окончательное состояние зданий существенно отличается как от проектного прогноза, так и от результатов расчета на воздействие акселерограмм. Актуальной задачей теории сейсмостойкости является разработка таких методов, которые были бы основаны на использовании реальных сейсмических воздействий и приводили бы к возможно более точному соответствию прогнозируемого состояния зданий с наблюдениями.

Одна из причин расхождения результатов расчета с действительностью заключается в том, что обычно в качестве исходных предпосылок принимают параметры сооружений в начальном, недеформированном состоянии.

Опыт натурных испытаний сооружений свидетельствует об изменчивости их динамических характеристик в различных стадиях деформирования. Существуют различные подходы к учету этого фактора при определении сейсмических воздействий, причем основное внимание обращается на уменьшение жесткости сооружений в режиме больших деформаций. Это явление обуславливает возможность адаптации сооружений к высокочастотным землетрясениям [1].

В последнее время специальными исследованиями установлено, что в определенных стадиях динамического процесса может происходить резкое возрастание коэффициента рассеяния энергии при сравнительно малом изменении жесткости. В результате в режиме больших деформаций увеличиваются в несколько раз, как периоды, так и декременты колебаний.

В течение многих лет в СНГ и за рубежом проводятся многочисленные экспериментальные исследования динамических свойств сооружений в лабораторных и натурных условиях, в результате которых накоплен обширный материал о поведении зданий и сооружений при нагрузках большой интенсивности. Особое значение имеют натурные вибрационные испытания, которые проводятся московскими и республиканскими институтами с помощью специальной аппаратуры. Результаты этих

испытаний обладают высокой степенью достоверности и дают возможность решать многие задачи сейсмостойкости сооружений на экспериментальной основе. В настоящее время эти материалы не полностью используются в исследованиях по сейсмостойкости сооружений, где преобладают аналитические методы, основанные на различных гипотезах о свойствах материалов и конструкций. В настоящей работе сделана попытка в порядке первого приближения учесть при расчете конструкции здания на воздействие акселерограмм результаты статических испытаний образцов простенков и фрагментов стен и динамических главным образом вибрационных испытаний зданий в натуре, опубликованных в литературе. Независимо от полученных результатов, можно полагать, что проведенное исследование будет представлять интерес в порядке постановки вопроса.

В работах [2,3,4,5,6,7,8] исследовано изменение жесткости и рассеяния энергии при испытаниях сооружений от динамических воздействии в предельном состоянии. При этом установлены следующие характеристики сооружений в состоянии трещинообразования.

а) Период колебаний сооружений увеличивается в несколько раз по сравнению с начальным. Обширный материал по результатам вибрационных испытаний зданий до стадии трещинообразования изложен в работах [3, 10], где получено увеличение периода колебаний до 2,5 раз. Такие же результаты зафиксированы в работе [2]. Вибрационные испытания железобетонной модели каркасного здания до разрушения, изложенные в работе [4], привели к увеличению периода колебаний в предельном состоянии в 5 раз против начального состояния. Следовательно, в зависимости от степени приближения к предельному состоянию, период колебаний увеличивается в пределах 2,5-5 раз.

б) В предельном состоянии значительно возрастает коэффициент рассеяния энергии и связанный с ним декремент колебаний. В работе [6] окончательное значение декремента колебаний $\delta = 0,75$. В работе [10] при вибрационных испытаниях наибольшее значение декремента колебаний также $\delta = 0,75$. В работе [5] получено значение $\delta = 1,0$.

В работе [4] наибольшее зафиксированное значение $\delta = 0,66$. При исследованиях конструкций до разрушения, изложенных в работе [9] получено $\delta = 1,0 \div 1,25$.

в) Диаграмма зависимости модуля сдвига от нагрузки, приведенная на (рис. 1) показывает, что для комплексных конструкций характерным состоянием является образование трещин в кирпичной кладке.

При этом деформирование уже не является упругопластическим.

На основании диаграммы видно, что модуль разгрузки значительно меньше

начального модуля и конструкция после снятия нагрузки не возвращается к начальному состоянию. Эти особенности деформирования конструкций в стадии трещинообразования отмечены в работе [3]. В работе [14] это свойство используется для определения технического состояния зданий после землетрясения. В этих работах установлено, что период колебаний сооружений после разгрузки приблизительно совпадает с периодом колебаний, отмеченным в последней стадии нагружения. Стадия трещинообразования при вибрационных испытаниях зданий исследована в работе [10], где сделан анализ механизма изменения жесткости.

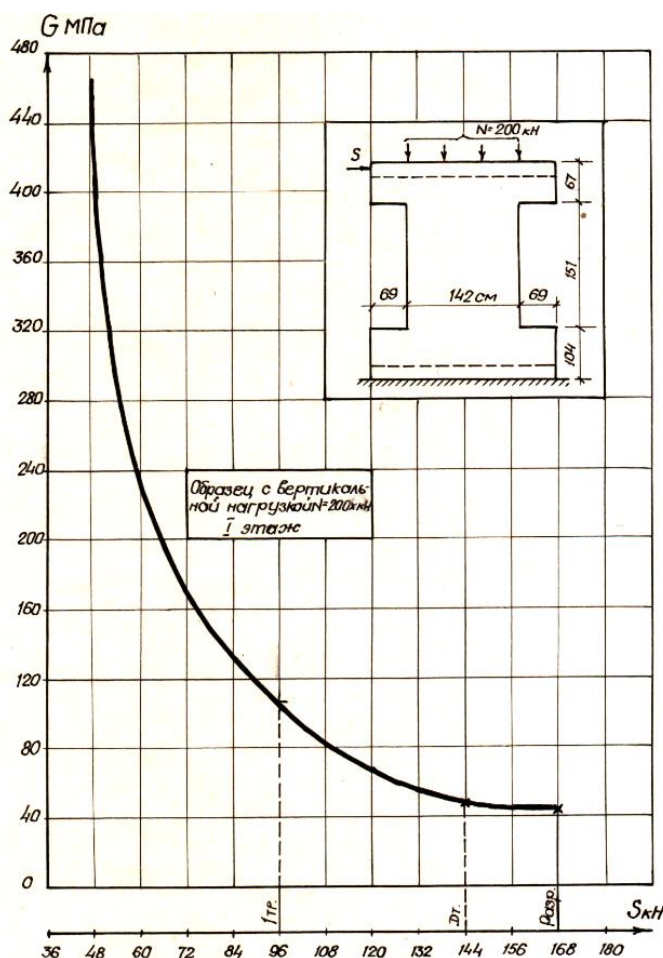


Рис. 1. Зависимость условного модуля сдвига от величины горизонтальной нагрузки

г) При теоретических исследованиях нелинейных колебаний сложных систем под действием циклической нагрузки часто применяется метод эквивалентной линеаризации, основанный на балансе мощности или гармоническом балансе [14]. Возможность применения метода линеаризации к определению сейсмических воздействий рассмотрена в работе [16,7], где показано, что сейсмические спектры реакция эквивалентных линейных систем близко совпадают со спектрами

исходных гистерезисных систем.

На основании перечисленных результатов экспериментальных и теоретических исследований предложен метод расчета четырехэтажного здания на воздействие акселерограмм землетрясений, основанный на эквивалентной линеаризации и условно названный "методом состояний". Его отличие от методики, принятой в работах [14] и [9], заключается в том, что в качестве параметров эквивалентной линейной системы принимаются величины, непосредственно определенные экспериментально, а не вычисленные аналитически. Жесткость здания определяется по эмпирической кривой деформирования, изображенной на (рис. 2). Декремент колебаний в начальном

состоянии принят равным 0,3, что согласуется с результатами натурных экспериментов, приведенных в указанных выше работах. Для деформированного состояния конструкций за пределами трещинообразования, на основании данных, приведенных в п. б, а также [12] принято $\delta = 1.0$, что соответствует среднему из указанных значений. Все рассмотренные далее состояния, кроме первого, оказались в стадии трещинообразования, поэтому декремент колебаний для них принимается равным единице.

Расчет производится по следующей схеме. Определяются нагрузки и усилия при воздействии по закону акселерограмм по начальному состоянию конструкции [17]. Эти усилия в несколько раз превосходят нормативные, поэтому соответствующее им состояние конструкций выходит далеко за предельные по нормам. Но этому состоянию отвечают значительно увеличенные против начальных периоды колебаний и коэффициенты затухания. Монотонная зависимость между интенсивностью нагружения и динамическими показателями позволяет произвести второй расчет по соответственно измененным динамическим характеристикам. Нагрузки и усилия при этом уменьшаться по сравнению с первым расчетом, чему будет соответствовать переход сооружения в другое состояние, более близкое к начальному. Если теперь произвести еще один расчет по динамическим показателям третьего состояния, то сейсмические усилия возрастут по сравнению со вторым расчетом, но будут меньше, чем по первому расчету. Следовательно, в результате третьего расчета получается четвертое деформированное состояние, расположенное между вторым и третьим. Продолжая далее этот процесс, будем получать ряд последовательных деформированных состояний, из которых каждое последующее расположено между двумя предыдущими.

На этом основании можно было бы предположить, что при неограниченном продолжении процесса он будет сходиться к некоторому пределу, который можно было бы принять за расчетное, прогнозируемое состояние. На самом деле такой сходимости достигнуть не удастся ввиду того, что спектры реакции отдельных акселерограмм не являются монотонными функциями периода колебаний. В известной мере сглаживание спектров достигается за счет осреднения результатов расчета по нескольким акселерограммам, но полностью монотонная зависимость реакции от жесткости сооружения не достигается. Кроме того, существует определенный предел "чувствительности" процесса, который заключается в том, что при недостаточных больших изменениях жесткости сооружения реакция на воздействие акселерограммы практически не изменяется.

В силу этих причин с помощью процесса последовательных приближений удастся

выделить только некоторую область возможных состояний здания после землетрясения.

Этот результат вполне соответствует физическому содержанию изучаемого явления ввиду того, что в расчетах учитываются далеко не все факторы, влияющие на результат сейсмического воздействия. В этих условиях "точные" решения не имеют смысла и задачи должны ограничиваться получением приближенных оценок, которые приводят к более содержательным результатам и лучше согласуются с действительностью, чем расчет по начальному состоянию.

Процесс последовательных приближений осуществляется в предположении упругой работы конструкций на всех стадиях деформирования. Возможность такого подхода для получения приближенных решений обосновывается результатами вибрационных испытаний сооружений и моделей, которые показывают, что в режиме больших амплитуд колебаний имеются резонансные частоты, совпадающие с расчетными по показателям жесткости, соответствующим диаграмме деформирования.

На основании расчета для некоторых предварительных выводов, уточнение которых требует дополнительного изучения динамического поведения конструкций в предельных состояниях.

Основные выводы

1. Результаты расчета показывают, что возможные состояния комплексных конструкций простенков во всех этажах заключены в пределах графика деформирования, поэтому можно сделать вывод, что здание при девятибалльном землетрясении не разрушается.

2. Техническое состояние здания после землетрясения может быть приблизительно охарактеризовано следующим образом:

Первый этаж. В простенках возникают и достигают большого развития горизонтальные и диагональные трещины. На (рис. 2) показаны диагональные трещины в двух направлениях, так как при землетрясениях средней продолжительности число и величине максимальных сейсмических нагрузок в обоих направлениях приблизительно одинаковы;

Второй этаж. Максимальная нагрузка приблизительно совпадает с нагрузкой, вызывающей появление первых диагональных трещин. Следовательно, простенки второго этажа характеризуются развитием горизонтальных трещин по краям и незначительными диагональными трещинами;

Третий этаж. Состояние такое же, как второго этажа;

Четвертый этаж. Диагональные трещины отсутствуют, горизонтальные трещины по краям имеются с обеих сторон. Действующая нагрузка значительно

меньше разрушающей.

3. Для оценки степени сейсмостойкости здания нужно сравнить его состояние после землетрясения с нормативными требованиями. При этом возможны повреждения отдельных элементов конструкций или их смещение, не угрожающие безопасности людей или сохранности ценного оборудования. Повышение прочности можно достигнуть путем увеличения толщины стен первого этажа до 51 см или путем повышения сцепления раствора с кирпичами.

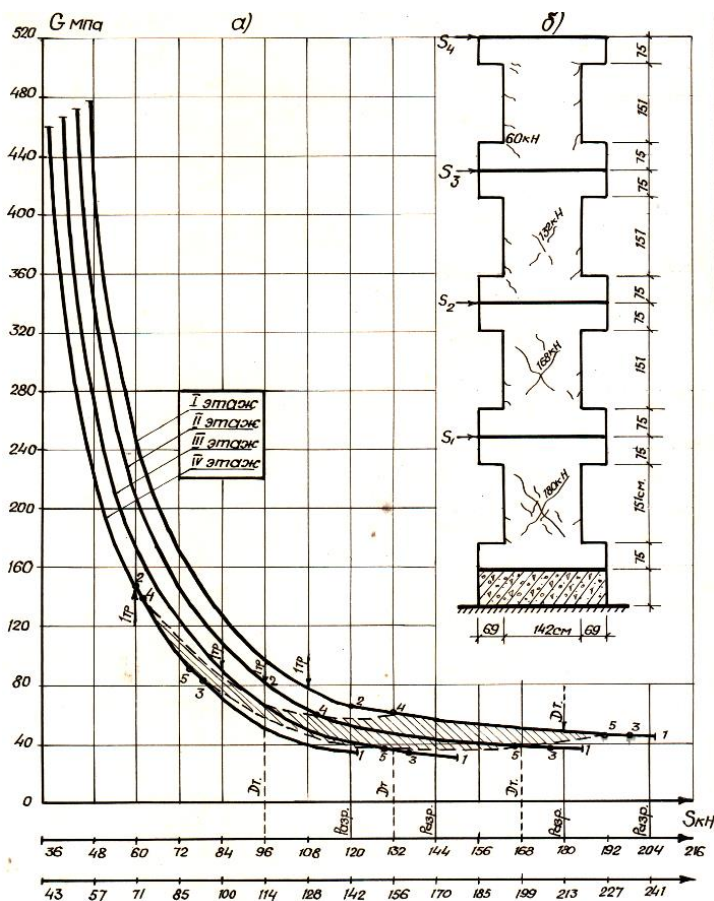


Рис. 2. Возможное состояние простенков после 9-ти бального землетрясения а) область возможных состояний; б) наибольшие возможные повреждения

4. Расчеты на воздействие акселерограмм по начальному состоянию конструкций приводят к такой величине сейсмических воздействий, которые в несколько раз превосходят расчетные нормативные нагрузки.

5. Следовательно, имеется явное несоответствие между действительностью и расчетами на воздействие акселерограмм в обычной постановке. Расчет по "Методу состояний" в данном

случае привел к результату, близкому к нормативному, но имеет перед ним преимущество в части более детального анализа последствий сейсмического воздействия и более точного определения степени сейсмостойкости зданий.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Айзенберг Я.М. Сооружения с выключающимися связями для сейсмических районов. М., "Стройиздат", 1996. с. 73-76.
2. Абдурашидов К.С. Натурные исследования колебаний зданий и сооружений и методы их восстановления. Ташкент, "Фан" 1984, с. 22-32.
3. Ашкинадзе Г.Н. Работа конструкций крупнопанельных зданий при колебаниях. Тезис доклада. Республиканская конференция «Сейсмостойкое строительство Узбекистана», 1984 г. с. 67-69.
4. Аванесов Г.А. Упругопластическая работа железобетонных конструктивных

элементов и каркасных систем при сейсмических воздействиях. «Строительство и архитектура Узбекистана» №4, Ташкент 1998 г. №4 с. 16-17.

5. **Артюшин Д.В.** Прочность стен из каменной кладки при совместном действии вертикальных и горизонтальных сил: Автореф. дис. канд. техн. наук. Пенза, 1999. с. 25-27

6. **Маисеев Н.Н.** «Асимптотические методы нелинейной механики». М., "Наука", 1979.

7. КМК 2.03.07-98 "Каменные и армокаменные конструкции" Ташкент 1998 г.

8. КМК 2.03.01-96 "Бетонные и железобетонные конструкции Ташкент 1996 г.

9. **Резников И.Д.** Исследование сейсмостойкости кирпичных зданий с учетом фактических данных об их повреждениях при сильных землетрясениях. Дисс. Ташкент, 1983.

10. Рекомендации по расчету кирпичных зданий на сейсмические воздействия. (ТашЗНИИЭП). Гроссман А.Б. и др. Ташкент, 1982.

11. **Боголюбов Н.Н., Митропольский Ю.А.** Асимптотические методы в теории нелинейных колебаний. М., "Госстройиздат", 1975. с. 47-52.

12. **Зелюкова Р.В.** «Исследование предельных характеристик затухания при колебаниях». - В сб.: Рассеяние энергии при колебаниях механических систем. Изд-во. ред. Г.С. Писаренко. Киев, "Наумова думка", 1998. с.123-127.

13. **Бохонский А.И.** О колебаниях вязкопластических систем. – В сб.: Сейсмостойкость зданий и сооружений. Ташкент, "Фан", 1997. стр. 87-93.

14. **Берг О.Я., Щербаков Е.Н. и Писанию Г.Н.** Высокопрочный бетон. М., "Стройиздат", 1998.

15. КМК 2.01.03-96 "Строительство в сейсмических районах Ташкент 1996 г.

16. **Воронов А.Н., Гениев Г.А.** Техническая теория нелинейного деформирования каменной кладки при плоском напряженном состоянии// «Исследования по теории и методам расчета конструкций». Труды ЦНИИСК им. Кучеренко. М., 1984. - с. 63-71.