

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ НОРМ И ПРАВИЛ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ В СЕЙСМИЧЕСКИХ РАЙОНАХ

В данной статье рассматриваются проблемы современной теории сейсмостойкости с изучением физических свойств зданий и сооружений, а также анализируются основные положения расчета на сейсмические нагрузки и действующие нормы проектирования зданий и сооружений в сейсмических районах.

Ключевые слова: акселерограмма, спектральный метод, коэффициент редукции, пластичность, упругие спектры.

E.S. Ergeshov - senior lekturer OshTU

IMPROVEMENT OF CONSTRUCTION STANDARDS AND RULES FOR CONSTRUCTION OF BUILDINGS AND STRUCTURES IN SEISMIC AREAS

This article deals with the problems of modern seismic stability with the study of the physical properties of buildings and structures, and also analyzes the main provisions for the calculation of seismic loads and the current design standards for buildings and structures in seismic regions.

Key words: accelerogram, spectral method, reduction coefficient, plasticity, elastic spectra.

Введение. На современном этапе развития теории сейсмостойкости используются уточненные расчетные схемы, адекватно отражающие фактические свойства сооружений, что требует привлечения более точных методов расчета. Анализ упругопластических колебаний сооружений - одна из центральных проблем современной теории сейсмостойкости.

Анализ последствий землетрясений и результатов экспериментальных исследований показывает, что оценка предельных состояний сейсмостойких зданий и сооружений возможна только при использовании инструментальных записей реальных сейсмических воздействий или синтезированных акселерограмм.

При этом расчет включает следующие этапы:

- выбор расчетной модели сейсмического воздействия и его пара метров;
- выбор и обоснование расчетной динамической модели сооружения;
- выбор расчетных зависимостей, характеризующих прочностные, деформационные и в некоторых случаях энергетические свойства элементов конструкций;
- разработку методов анализа параметров реакции систем;
- реализацию алгоритмов расчета на ЭВМ;
- анализ результатов вычислений и выбор расчетных значений усилий в элементах;
- проверку прочности, деформативности и параметров энергоемкости анализируемых конструктивных схем. т.е. оценку их сейсмостойкости.

В некоторых случаях производится оценка надежности зданий и сооружений с использованием методов теории вероятностей и теории случайных функций. В настоящее время интенсивно развиваются экспериментальные и теоретические методы исследований, заключающиеся в углубленном изучении физических свойств реальных зданий и сооружений в условиях сильных сейсмических воздействий.

По мере накопления сейсмологической информации о параметрах сейсмических колебаний грунта, сведений по долговременной сейсмической опасности, данных о реальных свойствах строительных конструкций осуществляется переход к более полному учету физических свойств

сооружений, обусловленных их способностью деформироваться не только в упругой, но и в упругопластической области, а также к методам расчета по реальным записям сейсмических процессов, прежде всего акселерограммам сильных землетрясений. Это позволяет разработать более обоснованные методы проектирования, повысить экономичность сейсмостойкого строительства при обеспечении достаточного уровня надежности [8].

В последние годы в сфере строительной деятельности возникают проблемы, связанные с применением нормативно-технических документов в проектировании и сейсмостойком строительстве. Учтены опасные случаи наблюдения норм некоторыми участниками строительного бизнеса, стремящихся быстро и дешево построить и продать дорого, ссылаясь на добровольность применения строительных норм в соответствии с Законом КР «Об основных технических регулировании» и «О нормативных-правовых актах» [9].

Цель исследования. В связи с этим проанализируя нормы проектирования сейсмостойких зданий и сооружений разных стран, дать рекомендации в соответствующие органы, разрабатывающие нормативно-правовые акты с введением некоторых обобщенных корректив, учитывающих особенности сейсмического воздействия.

Методы и материалы исследования: Учитывая вышесказанное, проанализируем возникшие проблемы в настоящее время, рассматривая основные положения норм проектирования сейсмостойких сооружений разных стран.

При расчетах зданий (сооружений) с учетом сейсмических воздействий по нормам Республики Узбекистан [4,5] должны рассматриваться два предельных состояния объекта в целом:

- по несущей способности (ПС-1);
- по эксплуатационной пригодности (ПС-2).

Расчет зданий (сооружений) по предельному состоянию ПС-1 производят на расчетное сейсмическое воздействие, соответствующее максимально возможной интенсивности землетрясений для данной площадки строительства. Расчет зданий (сооружений) по предельному состоянию ПС-2 производят на сейсмическое воздействие, период повторяемости которого меньше расчетного срока эксплуатации.

Для зданий (сооружений), которые будут строиться на площадках сейсмичностью более 9 баллов расчеты по второй расчетной ситуации не выполняются.

При расчете зданий (сооружений) на сейсмические воздействия могут использоваться: а) динамический метод расчета на реальные или синтезированные сейсмические воздействия, характерные для района строительства; б) спектральный метод расчета на сейсмические (условно статические) нагрузки, определяемые для идеально упругих систем.

При проверке ненаступления предельного состояния ПС-1 максимальные относительные неупругие деформации конструктивной системы или ее частей, обусловленные трещинообразованием, выключением элементов, пластическим течением материалов, не должны превышать значений, приведенных в нормах [2].

При проверке ненаступления предельного состояния ПС-2 деформации конструктивной системы не должны превышать значений, указанных в нормативах [2].

При расчете по спектральному методу расчетная сейсмическая нагрузка в выбранном направлении, приложенная в точке k и соответствующая i -му тону собственных колебаний здания, определяется по формуле:

$$S_{ik} = K_0 K_p K_{\text{эт}} K_n S_{ik}^0 \quad S_{ik} = K_0 K_p K_{\text{эт}} K_n S_{ik}^0 \quad (1)$$

$$S_{ik}^0 = \alpha Q_k W_i K_d \eta_{ik} \quad S_{ik}^0 = \alpha Q_k W_i K_d \eta_{ik} \quad (2)$$

где S_{ik}^0 - инерционная сила, определяемая в предположении упругого деформирования конструкций; α - коэффициент, определяемый в зависимости от сейсмичности площадки строительства; Q_k - вес здания (сооружения), отнесенный к точке k расчетной схемы, определяемый с учетом расчетных нагрузок на конструкции; W_i - спектральный коэффициент;

$K_d K_d$ - коэффициент диссипации; $K_p K_p$ - коэффициент регулярности; $K_0 K_0$ - коэффициент ответственности; $K_{эт} K_{эт}$ - коэффициент, зависящий от этажности здания (сооружения); $\eta_{ik} \eta_{ik}$ - коэффициент зависящий от формы собственных колебаний здания (сооружения); $K_n K_n$ - коэффициент учета повторяемости землетрясений.

При расчете зданий (сооружений) по спектральному методу для проверки ненаступления предельного состояния ПС-1 расчетные усилия в элементах конструктивной системы от особого сочетания нагрузок с учетом сейсмических сил вычисляются по формуле

$$F_k = L_k \pm r \sqrt{\sum_{s=1}^m N_{s,k}^2 + 0,6 \sum_{s=1}^{m-1} \sum_{t=1}^{m-1} N_{s,k} N_{t,k}}$$

$$F_k = L_k \pm r \sqrt{\sum_{s=1}^m N_{s,k}^2 + 0,6 \sum_{s=1}^{m-1} \sum_{t=1}^{m-1} N_{s,k} N_{t,k}} \quad (3)$$

где $L_k L_k$ - усилия в элементе от основного сочетания нагрузок; $N_{s,k}, N_{t,k}, N_{s,k}, N_{t,k}$ - усилия от сейсмических нагрузок, определяемые по формуле (2), со ответствующих s, t -ой формам собственных колебаний; m - число учитываемых в расчете форм колебаний; r - коэффициент, названный в [18] коэффициентом редукции (соответствует коэффициенту $K_1 K_1$, применительно к отдельным элементам конструкции), определяется по формулам (4-6) (рис.1) в зависимости от допускаемой относительной неупругой деформации элемента μ и периода собственных колебаний здания $T_1 T_1$:

$$r = 1 - 1,07\mu T_1, r = 1 - 1,07\mu T_1. \quad (4)$$

При этом должно выполняться условие

$$r \geq r_1 = 0,03 + 1,95T_1, r \geq r_1 = 0,03 + 1,95T_1 \quad (5)$$

Если $r < r_1, r < r_1$, коэффициент редукции вычисляется по формуле (6)

$$r = 0,85\mu^{-0,67}, r = 0,85\mu^{-0,67} \quad (6)$$

При расчете идеально упругих систем ($\mu = 1, \mu = 1$) коэффициент редукции r принимается равным 1.

Предельная относительная неупругая деформация элементов μ принимается по нормативам допускаемых значений перекосов этажей в зависимости от класса элемента по ответственности за переход здания в предельное состояние и его конструктивных особенностей.

По ответственности за переход здания в предельное состояние при землетрясении элементы конструктивной системы делятся на 3 класса:

I - элементы, воспринимающие нагрузку от перекрытий и горизонтальную сейсмическую нагрузку; II - элементы, воспринимающие только горизонтальную сейсмическую нагрузку; III - самонесущие конструкции, навесные панели и перегородки не участвующие в восприятии горизонтальных сейсмических нагрузок на здание в целом.

Проверка ненаступления предельного состояния ПС-2 при расчетах по спектральному методу производится в упругой стадии работы конструкций на усилия, определяемые по формуле (2). При этом деформации зданий не должны превышать значений коэффициентов редукции r [2].

При необходимости определения деформации зданий (сооружений) для предельного состояния ПС-2 (например, при назначении ширины антисейсмических швов) они определяются в упругой стадии работы от сейсмических нагрузок, соответствующих стадии ПС-1.

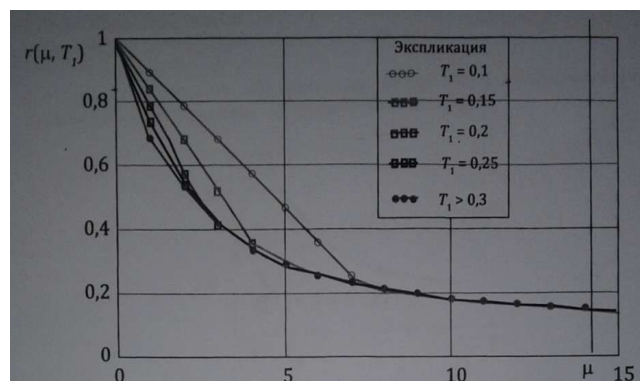


Рис.1. Зависимость коэффициента редукиции r от коэффициента пластичности μ и периода собственных колебаний T_1

Особенности турецких норм по учету нелинейной работы конструкций заключается в следующем: Расчет ведется по спектральному методу с использованием спектра упругой реакции, приведенной на рис.2.

Коэффициент редукиции сейсмического фактора $R_a(T)R_a(T)$ определяется по формуле (7) в функции фактора поведения конструкции R , при веденной в табл. 6.5. в [2], в зависимости от различных конструктивных систем и периода собственных колебаний T :

$$R_a(T) = \begin{cases} 1.5 + (R - 1.5) \frac{T}{T_A}, & 0 \leq T \leq T_A \\ R, & T > T_A \end{cases} \quad R_a(T) = \begin{cases} 1.5 + (R - 1.5) \frac{T}{T_A}, & 0 \leq T \leq T_A \\ R, & T > T_A \end{cases} \quad (7)$$

Полная эквивалентная сейсмическая сила (поперечная сдвиговая) $V_t V_t$, действующая в узлах расчетной модели сооружения, может быть определена по формуле

$$V_t = W \frac{s(r_1)}{R_a(r_1)} \geq 0.10 S A_0 I W V_t = W \frac{s(r_1)}{R_a(r_1)} \geq 0.10 S A_0 I W \quad (8)$$

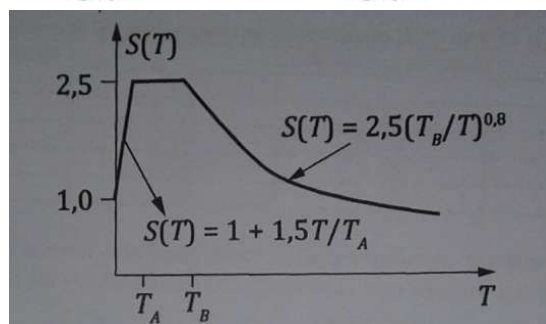


Рис 2. Вид спектра упругой реакции по нормам Турции

где W - приведенный вес здания (сооружения), отнесенный к точке к расчетной схемы, определяемый с учетом расчетных нагрузок на кон струкции; $s(r_1) s(r_1)$ - расчетный спектр реакции, зависящий от периода собственных колебаний сооружения, определяемый по рис.2.

Важно отметить нелинейные спектры реакции в нормах США, где в соответствии с рекомендациями Ньюмарка - Холла [7,8] при построении спектров ответов для неупругих систем используются спектры ответов упругих систем, которые корректируются множителями, величина которых зависит от частоты (периода) (рис.3).

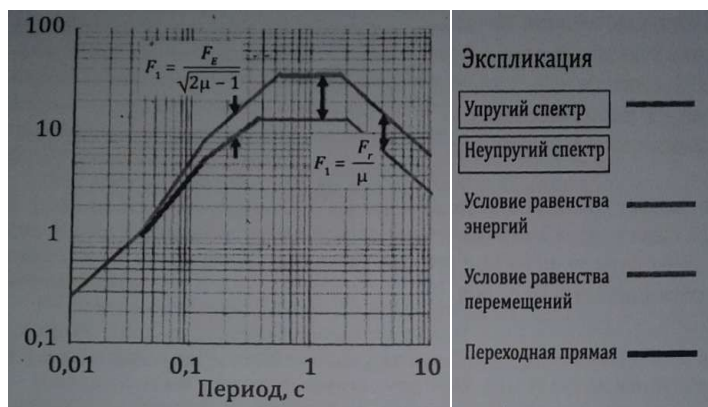


Рис.3. Спектр псевдо ускорений Ньюмарка - Холла для неупругих систем

Для определения спектров ускорения рекомендуется упругие спектры делить на коэффициент $\sqrt{2\mu - 1}$, величина которого определяется из условия эквивалентности энергий для упругой и упругопластической системы. Величина коэффициента пластичности зависит от материала рассчитываемой конструкции, а также от допустимого уровня риска разрушения объекта.

Если обосновано упругопластическое поведение конструкции и известны предельные значения перемещений, при которых возникают пластические деформации, спектры ответов могут быть получены путем прямого интегрирования.

Для построения спектра Ньюмарка - Холла необходимо использовать концепцию равных перемещений, уменьшая амплитуды линейного спектра в $\mu\mu$ раз в области малых частот (больших периодов), и использовать концепцию эквивалентных энергий, уменьшая амплитуды линейного спектра в $\sqrt{2\mu - 1}$ раз в области высоких частот (малых периодов) [7].

Концепция эквивалентных перемещений используется в следующих нормативных документах: IBC; NEHRP; ASCE-7; FEMA 273 и др. Кроме спектров Ньюмарка - Холла в нормативных документах используются и другие спектры, учитывающие нелинейное поведение сооружений.

Если рассмотрим алжирских норм в части назначения коэффициента редукции, то полная эквивалентная сейсмическая сила V , действующая в узлах расчетной модели сооружения, может быть определена по формуле:

$$V = \frac{ADQ}{R} W V = \frac{ADQ}{R} W \quad (9)$$

где A - коэффициент ускорения (в долях g), характеризующий сейсмичность площадки строительства, назначается в зависимости от ответственности сооружения и сейсмической зоны (табл.1).

Таблица 1

Зависимость от ответственности сооружения и сейсмической зоны

Группы сооружений	Сейсмические зоны		
	I	II	III
IA	0,12	0,25	0,35
IB	0,10	0,20	0,30
2	0,08	0,15	0,25
3	0,05	0,10	0,15

D - спектральный коэффициент динамичности, зависящий от параметра затухания μ и периода собственных колебаний сооружения T :

$$D = \begin{cases} 2.5\eta & 0 \leq T \leq T_2 \\ 2.5\eta \left(\frac{T_2}{T_1}\right)^{2/3} & T_2 \leq T \leq 3.0s \\ 2.5\eta \left(\frac{T_2}{3}\right)^{2/3} \left(\frac{3}{T}\right)^{5/3} & T > 3.0s \end{cases} \quad D = \begin{cases} 2.5\eta & 0 \leq T \leq T_2 \\ 2.5\eta \left(\frac{T_2}{T_1}\right)^{2/3} & T_2 \leq T \leq 3.0s \\ 2.5\eta \left(\frac{T_2}{3}\right)^{2/3} \left(\frac{3}{T}\right)^{5/3} & T > 3.0s \end{cases} \quad (10)$$

где, $\eta = \sqrt{7/(2 + \xi)} \geq 0.7$, ξ - параметр затухания в % от критического, R - коэффициент редукиции сейсмического фактора, определяется в зависимости от типа конструктивных систем [8].

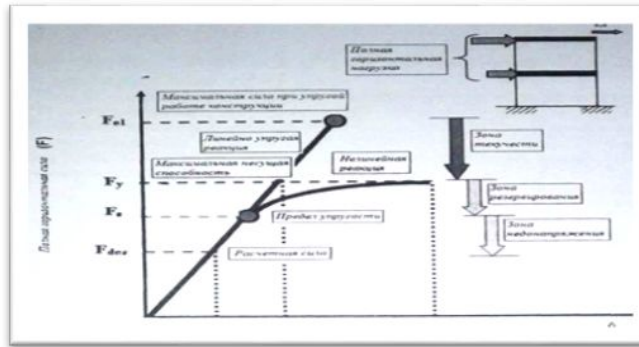


Рис.4. Концепция фактора коэффициента редукиции

Необходимо отметить особенности индийских норм по сейсмостойкому строительству. В этих нормах расчетная горизонтальная сейсмическая сила A_h , приложенная в узлах расчетной модели сооружения, может быть определена по формуле (11) [3]:

$$A_h = \frac{ZI(S_a/g)}{2R} A_h = \frac{ZI(S_a/g)}{2R} \quad (11)$$

где Z - фактор зоны сейсмичности района строительства, 2 в знаменателе применяется при расчете на ПЗ, при расчете на МРЗ этот коэффициент равен 1 ; I - коэффициент ответственности, который равен $1,5$ для ответственных сооружений и $1,0$ для остальных сооружений; S_a - спектр реакции, который зависит от периода собственных колебаний сооружения; R - коэффициент редукиции, концепция которого приведена на рис.4. Значения коэффициента редукиции R в зависимости от типа конструктивной системы, принимаются $1,3-5$.

Выводы:

1. Международных нормативных документах по сейсмостойкому строительству используется статический метод расчета на условные сейсмические нагрузки, основанный на общих принципиальных позициях, в основу которых заложено упругое деформирование конструкций с введением некоторых обобщенных корректив, учитывающих податливость систем, образование пластических шарниров и особенности сейсмического воздействия.

2. Существующие строительные нормы требуют постоянного внимания по совершенствованию строительных норм и правил при строительстве зданий и сооружений в сейсмических районах.

Литература:

1. Айзенберг, Я.М. Сейсмоизоляция и адаптивные системы сейсмозащиты. [Текст] / Айзенберг Я.М. и др. // М.: Наука, 1983. с.102-105.
2. Гольденблат, И.И. Расчет конструкций на действие сейсмических сил. [Текст] / И.И. Николаенко.// М. Госстройиздат, 1961. с.214-219.
3. Жунусов, Т.Ж. Колебания зданий при мощных взрывах в Медо. В кн.: Колебания зданий при мощных взрывах и землетрясениях, вып.6. [Текст]/ Т.Ж. Жунусов // Алма-Ата, 1972. -С.65-79.

4. **Завриев К.С.** Динамическая теория сейсмостойкости. [Текст]/ Завриев К.С. // Тбилиси: 1936. с.56-58.
5. **Корчинский, И.Л.** Основы проектирования зданий в сейсмических районах. [Текст]/ С.В. Поляков //М.: Госстройиздат, 1961. с.178-182.
6. **Ньюмарк, Н.** Основы сейсмостойкого строительства. [Текст]/ Ньюмарк Н., Э. Розенблюет // - М.: Стройиздат, 1980. с.89-94.
7. **Поляков С.В.** Сейсмостойкие конструкции зданий (основы теории сейсмостойкости). [Текст] // М.: Высшая школа, 1983. с.228-229.
8. **Сейтов, Б.М.** Сейсмическая защита и ее организация: Учебник для вузов. [Текст]/ Б.С. Ордобаев // - Бишкек: Айат, 2013. с.12-20.
9. **Шаимбетов, Дж. А.** О проблемах технического регулирования строительной отрасли Кыргызской Республики.//Материалы научно-практической конференции. [Текст] / Н.А. Раисова// Бишкек, КРСУ, -2017.-с.174-178.