

Критический анализ состояния нормативной документации по расчёту сооружений на землетрясения

**Мондрус В.Л. д.т.н. профессор, заведующий
кафедрой строительной и теоретической механики
НИУ МГСУ**

**Курбацкий Е.Н д.т.н. профессор кафедры Мосты и
тоннели, «Российский Университет Транспорта
(МИИТ)»**

Введение

Вступившие в силу с 1 июля 2015 года нормы СП 14.13330.2014 "СНиП II-7-81* "Строительство в сейсмических районах" являются неудачной актуализацией устаревшего СНиП II-7-81* (Минстрой России. Москва, 1995).

Кроме устаревших положений, которые были включены в прежние редакции СНиП ещё в 1969 году, в актуализированной редакции появились ошибочные рекомендации, использование которых при строительстве сооружений в районах с повышенной сейсмической активностью может привести к катастрофам при землетрясениях.

Нормативные документы должны быть в определенной степени консервативными, но и не должны отставать от современных достижений науки и техники.

Немногочисленные формулы, представленные в этих документах, которые были разработаны для расчётов на логарифмических линейках и арифмометрах, не соответствуют современным знаниям и вычислительным возможностям.

Ошибочные положения при задания исходной сейсмической информации

При оценке сейсмических воздействий и анализе распространения волн в качестве характеристик источников землетрясений используются механические кинематические параметры: перемещения, скорости, ускорения.

При проектировании наземных и подземных сооружений, ни в каких расчётах понятие балл никогда и нигде не использовалось. Необходимость в таком промежуточном параметре как балл отпадает. Поэтому, в технически развитых странах, начиная с середины прошлого века, при картировании сейсмической опасности, перешли на использование в качестве характеристик сейсмических воздействий от баллов к пиковым ускорениям и продолжительностям воздействий.

Можно привести много недостатков, устаревших положений и концепций российских регламентов, которые давно уже были пересмотрены в нормах Японии, США, Канады и Европы. Одной из таких устаревших концепций является балл.

Выдержка из письма В.И. Уломова председателю НС РАН по проблемам сейсмологии Г.А. Соболеву: *«На основе карт ОСР-2016 планируется разработать и создать карты спектров реакций на сейсмические воздействия, представленные в ускорениях, которые более профессионально по сравнению с баллами могут использоваться проектировщиками для обеспечения сейсмостойкости зданий и сооружений. Такие карты широко распространены в США и в других странах, где карты в баллах уже не составляются».*

Уточнение исходной сейсмичности

Примером произвола при оценке сейсмичности строительной площадки является раздел норм, касающийся микрорайонирования.

При выполнении микрорайонирования по картам ОСР определяется сейсмичность района, без должного обоснования выбирается некоторый эталонный грунт, который при построении карт ОСР не использовался, и без дополнительной информации уточняется сейсмичность строительной площадки относительно этого грунта.

Определение приращения балльности с использованием формулы С.В.Медведева несправедлива в области широкого изменения сейсмических жёсткостей слоёв грунта.

Спектры максимальных реакций (откликов, ответов) конструкций на сейсмические воздействия или динамические коэффициенты?

Спектры реакций (ответов) одна из наиболее важных, полезных и широко используемых концепций в теории и практике расчётов сооружений на сейсмостойкость. Предложенная более 90-ти лет эта концепция используется во всех зарубежных нормативных документах и руководствах по расчёту сооружений на сейсмостойкость.

В РФ для оценки сейсмических воздействий используется понятие «спектральный коэффициент динамичности» - β .

Использование неудачных терминов может не только усложнить понимание явления, но и привести к неправильным решениям.

Считаем, что разработчиками норм была допущена серьёзная методическая ошибка, когда спектры ответов называли динамическими коэффициентами.

ГЕНИАЛЬНЫЙ ОПЫТ К.А. СУЭХИРО (1926 год)

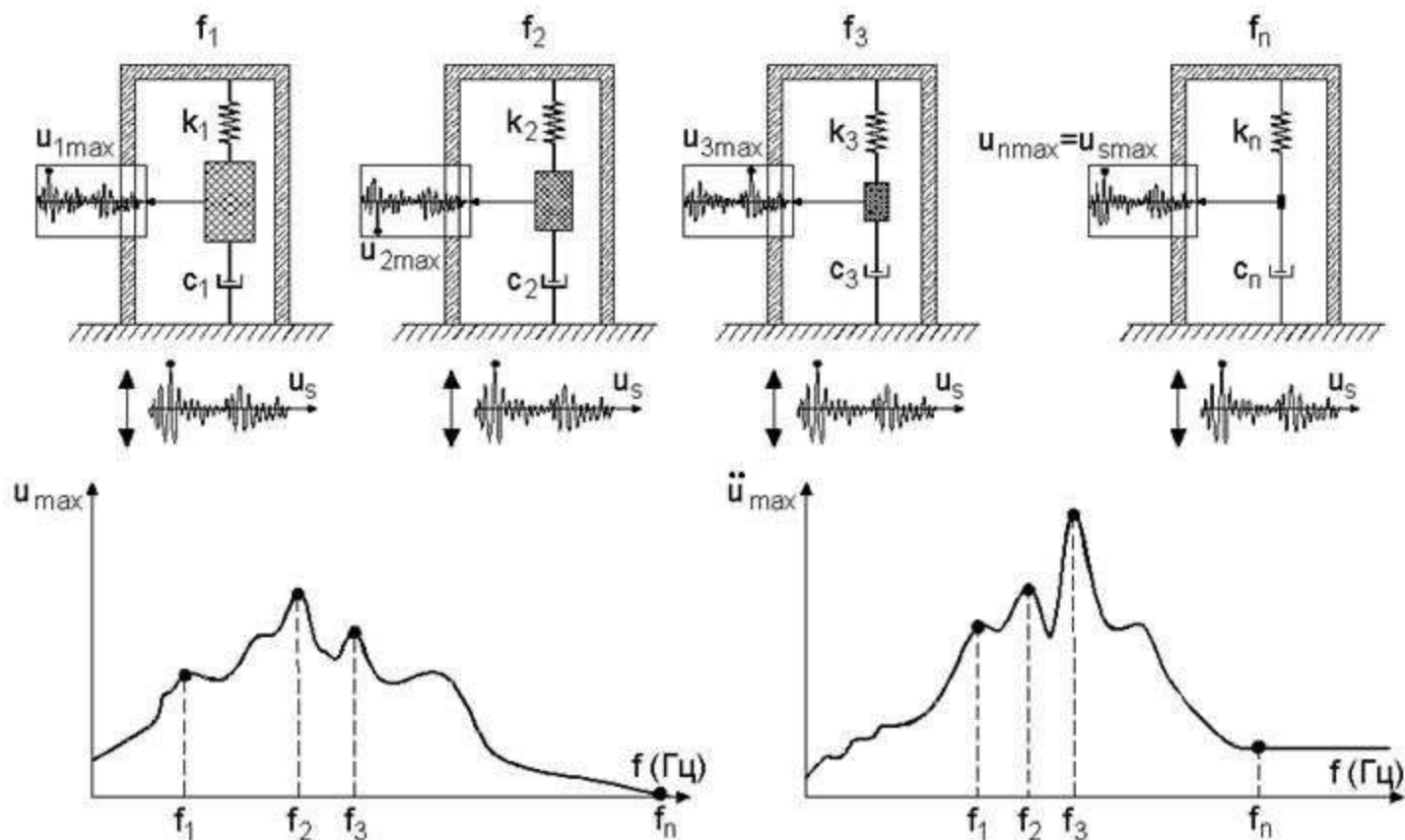


Рис. 1. Экспериментальное построение спектров ответов

Определение. *«Спектр ответов - график максимальных реакций: перемещений, скоростей, ускорений, или других максимальных параметров совокупности осцилляторов (систем с одной степенью свободы) на заданное воздействие. Ординаты спектра ответов - максимальные значения реакций осцилляторов на заданное воздействие, абсцисса спектра - собственные частоты осцилляторов или периоды собственных колебаний.*

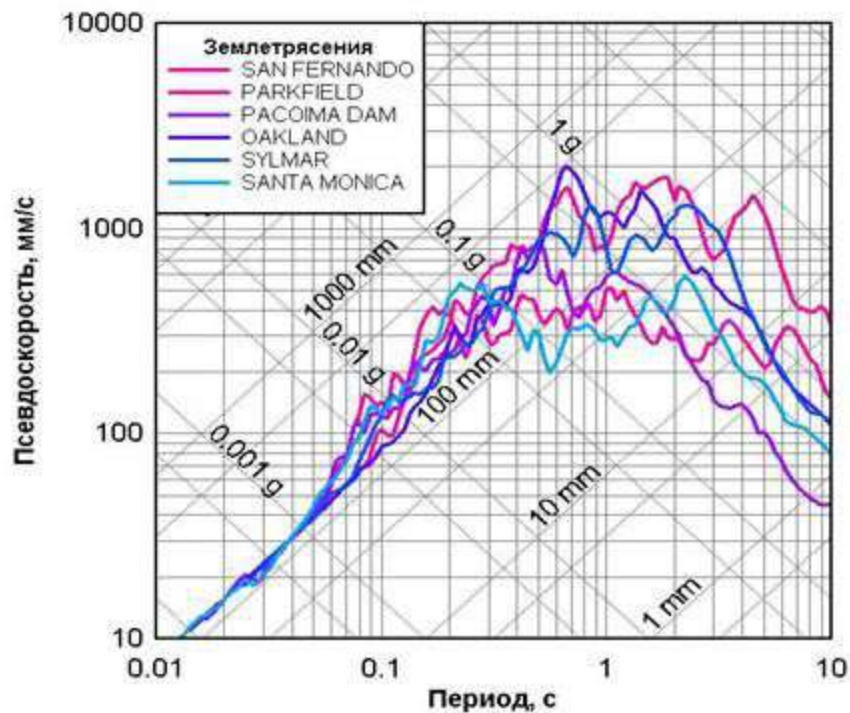
В статье американского учёного А.К. Чопра «Спектр ответа упругих систем. Исторические заметки» отмечается, что «концепция спектров ответов хорошо интегрировалась в теорию и практику инженерных расчётов сооружений на сейсмостойкость, но многие исследователи и инженеры, использующие эту концепцию, не знают происхождения концепции».

Основы математической теории спектров ответов были изложены в докторской диссертации Био, выполненной под руководством фон Кармана

Работы Био были продолжены Хаузнером, который анализировал воздействие землетрясений на сдвиговые и изгибаемые балки, при этом подчеркнул, что спектры ответов являются более удобными в инженерных расчётах, чем спектры Фурье.

Представление спектров максимальных перемещений, скоростей и ускорений в на одном графике в логарифмических координатах позволило выявить закономерности практически любых сейсмических воздействий, которыми воспользовались Ньюмарк и Холл.

Трёхординатные спектры шести различных землетрясений, указанных в таблице

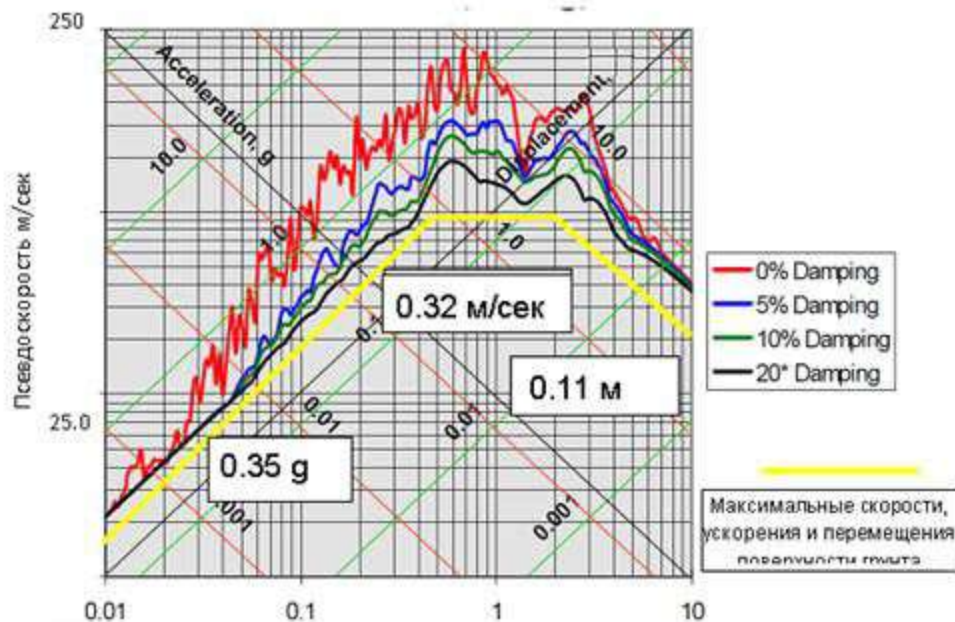


Невооружённым глазом видно, какими будут огибающие, необходимые для построения нормативных спектров.

Именно такое представление сейсмических воздействий использовали Ньюмарк и Холл при разработке своей методики, которая используется для построения нормативных спектров во многих странах.

Каждая кривая на графике представляет собой три зависимости от периода: максимального ускорения, максимальной скорости и максимального перемещения. Для этой цели используются три ординаты. Ордината максимальных ускорений, направлена под углом 45° к горизонтальной оси, ордината максимальных перемещений под углом 135° (-45°).

Представление спектров ответов на одном графике в логарифмических координатах позволяют выделить ещё очень важные особенности спектров ответов.



Максимальные значения ускорений, скоростей и перемещений грунта обозначены линией жёлтого цвета. (Для удобства представления графиков линия жёлтого цвета смещена вниз).

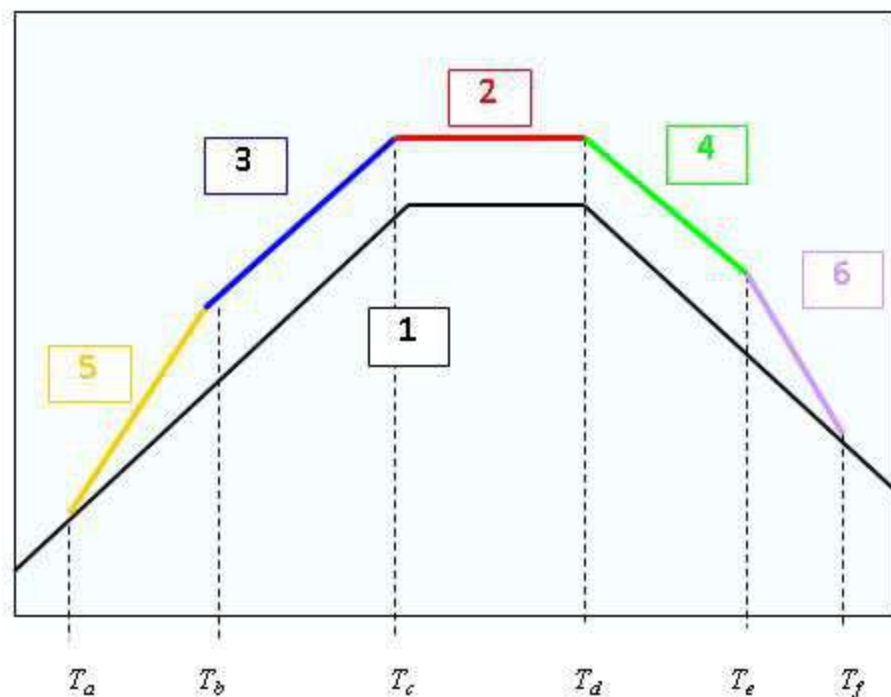
Максимальные ускорения систем на жёстких опорах (систем с малым периодом колебаний) равны максимальным ускорениям грунта.

Максимальные относительные перемещения систем на гибких опорах (систем с большим периодом колебаний) практически равны максимальным перемещениям грунта.

На спектрах откликов, представленных в зависимости от периодов колебаний рассчитываемых сооружений, при воздействии реальных землетрясений чётко определяются четыре характерные точки: при $T_0=0$, $T=T_B$, $T=T_C$ и $T=T_D$, получены в результате обработки большого количества акселерограмм землетрясений.

Происхождение этих характерных точек определяются на трёхординатных графиках спектров ответов ускорений, скоростей и перемещений, построенных в логарифмических координатах.

Спектр Ньюмарка Холла



Период собственных колебаний (лог. шкала)

Иллюстрация к методике
построения спектра Ньюмарка Холла

Чёрные линии на графике соответствуют пиковым ускорениям, скоростям и перемещениям грунта.

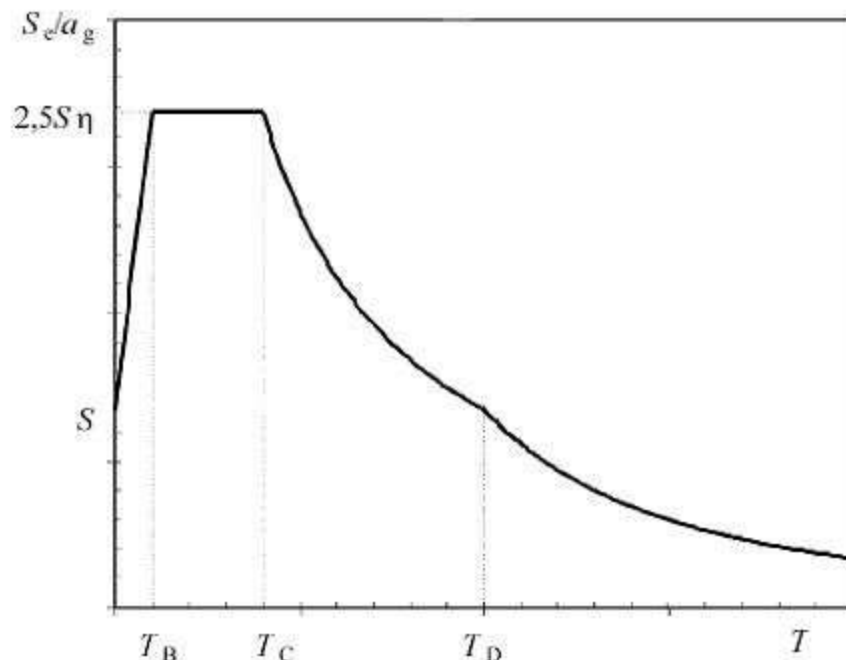
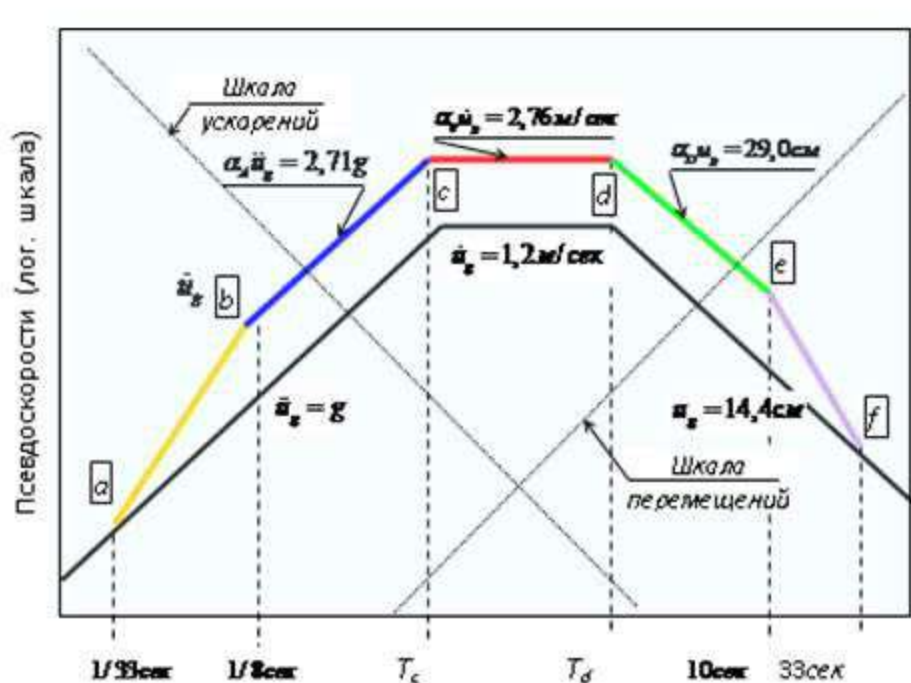
Синяя линия соответствует постоянным максимальным ускорениям для осцилляторов с периодами от T_B до T_C .

красная соответствует постоянным максимальным скоростям для осцилляторов с периодами от T_C до T_D .

зелёная соответствует постоянным максимальным перемещениям для осцилляторов с периодами превышающими T_D .

**Сравнение динамических
коэффициентов в нормах РФ
и спектров откликов в
зарубежных нормативных
документах**

Спектр Ньюмарка-Холла и вид спектра, принятого в Европейских нормах



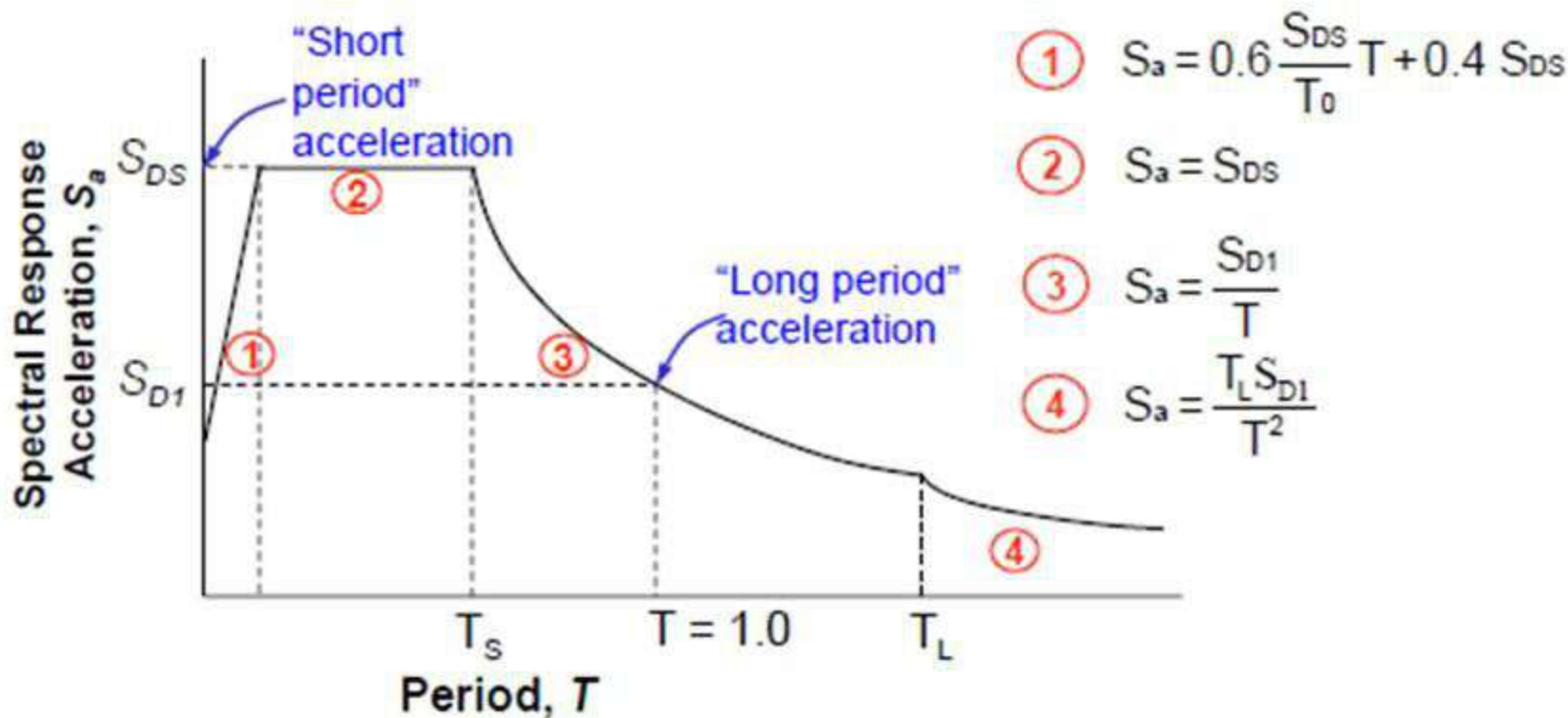
$$1) 0 \leq T \leq T_B: S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \left[1 + \frac{T}{T_B} \cdot (\eta \cdot 2,5 - 1) \right]; \quad 2) T_B \leq T \leq T_C: S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2,5;$$

$$3) T_C \leq T \leq T_D: S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2,5 \left[\frac{T_C}{T} \right]; \quad 4) T_D \leq T \leq 4c: S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2,5 \left[\frac{T_C T_D}{T^2} \right]$$

Расчётные спектры откликов США

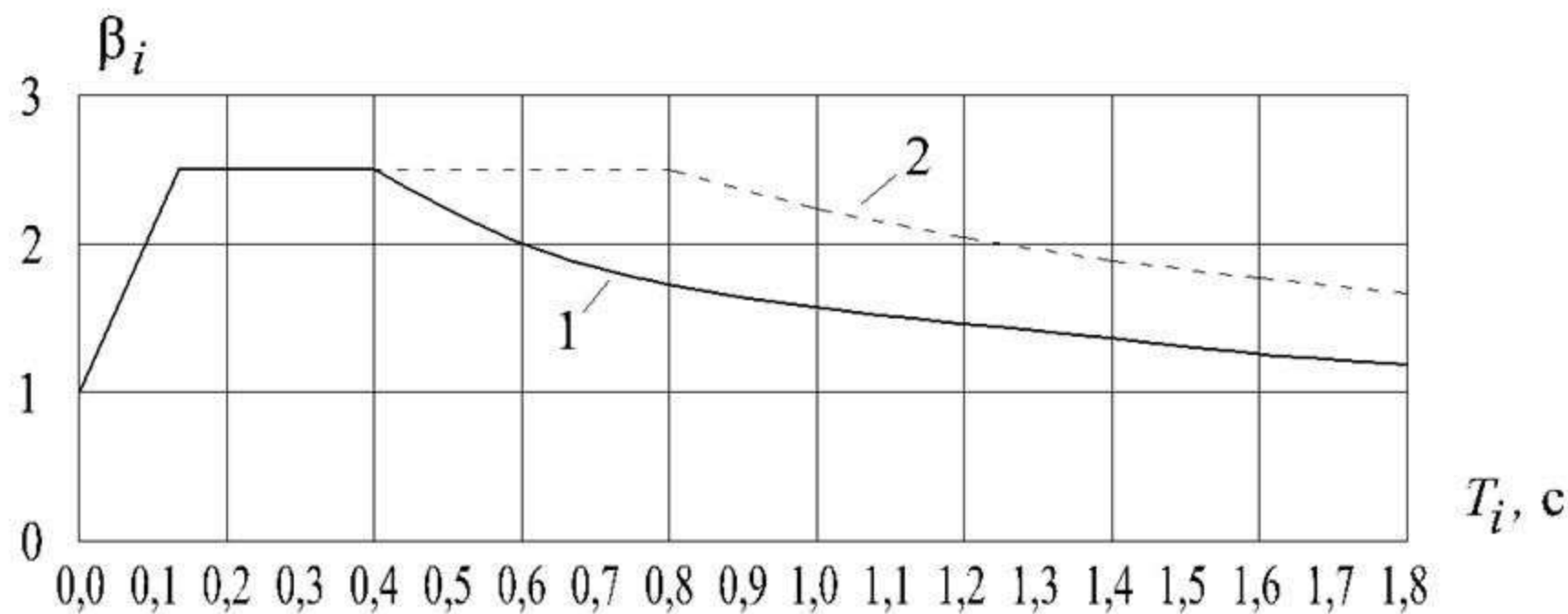
ASCE 7

Uses a Smoothed Design Acceleration Spectrum



Note exceptions at larger periods

Графики коэффициента динамичности $\beta(T)$ в СП 14.13330.2014



Некоторые факты из истории разработки норм РФ

График коэффициентов динамичности, разработанный И.Л. Корчинским в условиях ограниченного количества инструментальных данных, был включен в СН 8-57 «Нормы и правила строительства в сейсмических районах».

Позднее после некоторой корректировки этот график был включён в СНиП II-A.12-69.

Выборки инструментальных записей, используемые для обоснования параметров трёх графиков динамических коэффициентов, включённых в СНиП II-7-81 содержали всего 55 акселерограмм, из которых 30 имели максимальные амплитуды от 0,004 до 0,03 и только одна - более 0,2g .

В настоящее время существуют базы инструментальных записей колебаний грунта, описывающие сейсмические воздействия. Отметим наиболее популярные: «European Strong Motion Database», «ISNM», «K-NET», «KIK-NET» и др.

Используя эти базы, можно получить информацию о более чем 50 тысячах землетрясений, которые произошли за последние 30 лет в различных точках земного шара, в том числе и на территории РФ.

Кроме характеристик, описывающих источники землетрясений (магнитуды, глубины и типа очага, координат), приводятся данные о инженерно-геологических условиях и скорости распространения поперечных волн в слоях грунтов на глубину до 30 метров.

Ошибочные положения СП 14.13330.2014

Отсутствует оценка взаимодействия сооружений с грунтом при сейсмических воздействиях.

K_1 - коэффициент, учитывающий влияние на сейсмическую нагрузку снижения жесткости сооружения и увеличение рассеяния энергии колебаний из-за появления трещин и пластических деформаций в конструкциях, можно использовать только для грубой оценки поведения сооружения при землетрясении.

Отсутствуют требования к сейсмозащитным устройствам, а также рекомендации по их выбору и расчёту.

Не учитывается изменение сейсмического воздействия в пространстве.

Ошибочные положения СП 14.13330.2014 (продолжение)

Отсутствуют рекомендации по усилению существующих сооружений для повышения их сейсмостойкости

В нормативном документе и приложениях имеется целый ряд необоснованных допущений и предположений, не подтвердившихся эмпирическими данными.

Например, пункт Г.2.2, содержащий соотношения между баллами, пиковыми ускорениями, пиковыми скоростями и пиковыми смещениями и предположение о равенстве шага инструментальных шкал по ускорениям, скоростям и смещениям является серьезным источником ошибок (до одного балла). Предупреждение о нежелательности использования старых шкал для перехода от баллов к ускорениям грунта имелось еще в объяснительной записке к карте ОСР-78

Ошибочные положения СП 14.13330.2014 (продолжение)

Отсутствуют рекомендации по генерации и использованию искусственных акселерограмм, совместимых с расчётными спектрами ответов.

Предлагается бессмысленная операция определения поправочных коэффициентов в баллы (в том числе и демпфирование), а на следующей странице перевод их в обычные числа. *Напрашивается совет: не перевести ли в баллы проезд по мосту транспорта или даже проход человека?*

Ошибочные положения, касающиеся расчётов транспортных сооружений будут представлены в другом докладе.

Заключение

На многих конференциях и совещаниях высказывались предложения, с которыми солидарны и авторы:

- отказаться от использования в качестве основного параметра колебаний значения максимального ускорения на среднем грунте (категория 2);
- впредь использовать в этих целях максимальное ускорение на скальном грунте (категория 1);
 - признать устаревшим термин «коэффициент динамичности» и использовать вместо него термин «спектр ответов»;
- отказаться от характеристики грунтов через частотно-независимый параметр «приращение балльности» и перейти к принципу спектральной характеристики грунтов.

Свод правил и приложения к нему содержат устаревшие и ошибочные положения, поэтому должна быть выполнена не актуализация, а существенная переработка.

Качество документов и уровни требований новых Российских Норм должны соответствовать международным стандартам.

При этом следует принять во внимание пункт 8 главы 2 «Закона о техническом регулировании»: международные стандарты и (или) национальные стандарты могут использоваться полностью или частично в качестве основы для разработки проектов технических регламентов.

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!

К публикации подготовлена монография
**«Спектры Фурье и спектры
максимальных реакций (откликов)
конструкций на землетрясения
Теория и приложение»**

Содержание (названия глав)

1. Интегральное преобразование Фурье
2. Спектры Фурье колебаний грунта при землетрясениях
3. История появления концепции спектров максимальных реакций на землетрясения
4. Спектры максимальных реакций (спектры ответов) упругих систем
5. Псевдоспектры максимальных ответов (реакций): перемещений, скоростей и ускорений
6. Соотношения между спектрами Фурье и спектрами ответов
7. Сглаженные и огибающие спектры ответов упругих систем

Содержание монографии (продолжение)

8. Спектры Ньюмарка-Холла для упругих систем
9. Спектры ответов для неупругих систем
10. Учёт местных инженерно-геологических условий при построении спектров ответов
11. Приложение концепции спектров ответов для расчёта сооружений с сейсмоизолирующими устройствами
- 12 Спектры ответов (спектры максимальных реакций) в Еврокодах
- 13 Спектры ответов, используемые для расчёта АЭС (США)
- 14 Приложение спектров ответов для оценки сброса и соударение пролётных строений мостов при землетрясениях