

# СОСТОЯНИЕ НОРМАТИВНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ ПО РАСЧЁТУ ТРАНСПОРТНЫХ СООРУЖЕНИЙ НА СЕЙСМИЧЕСКИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ

Курбацкий Е.Н. д.т.н. профессор кафедры «Мосты и тоннели» Российский университет транспорта (МИИТ)

Титов Е.Ю. к.т.н. доцент кафедры «Мосты и тоннели» Российский университет транспорта (МИИТ)

Харитонов С. С. аспирант Российского университета транспорта (МИИТ), ведущий специалист АНО «СРОСЭКСПЕРТИЗА»



Анализ разрушений транспортных сооружений в результате воздействия землетрясений свыше 7 баллов показал, что более 20% транспортных сооружений повреждаются или разрушаются.

После сильных разрушительных землетрясений в конце прошлого столетия Нормы многих технически развитых стран были существенно.

Следует отметить, что тоннели повреждаются в меньшей степени.



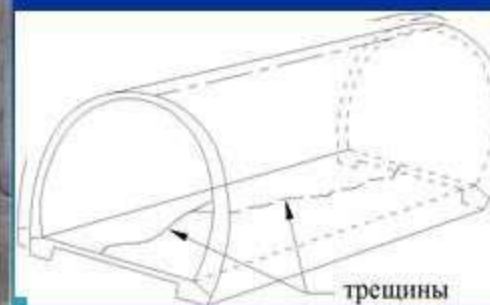
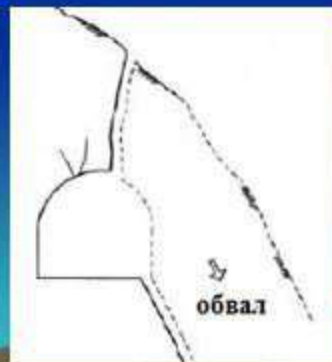
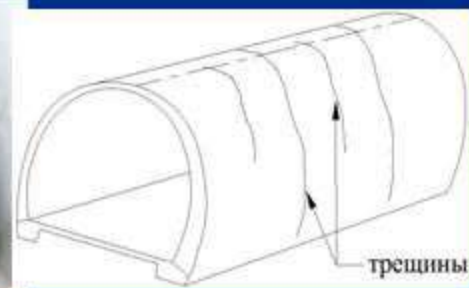
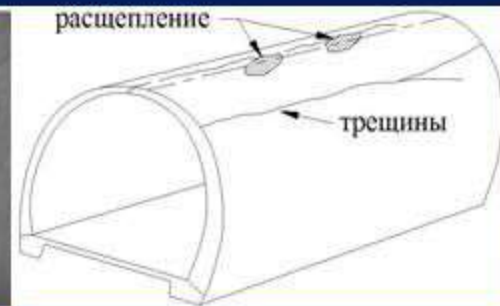
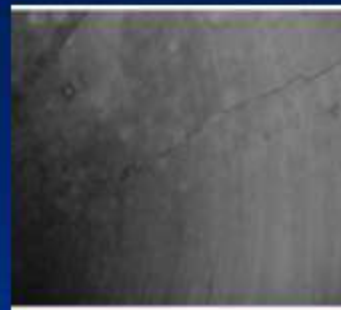
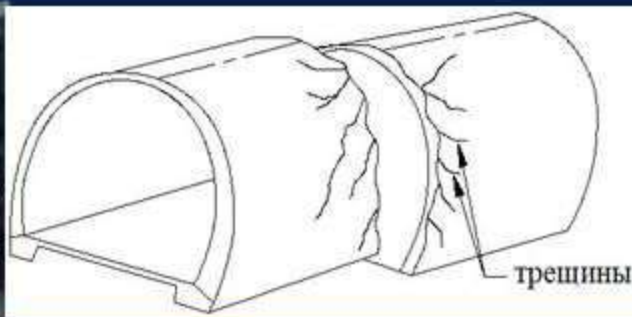
# Разрушение виадука Фукае при землетрясении 1995 года (Кобе)



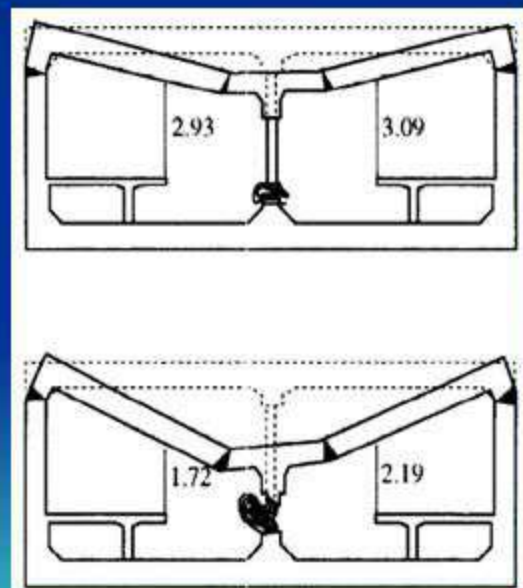
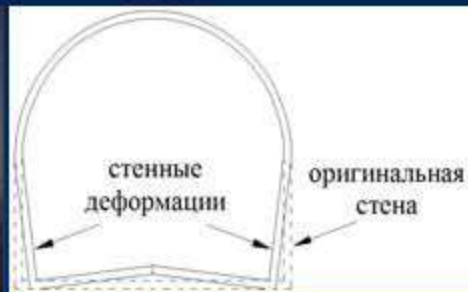
# Разрушение моста на гибких опорах



# Повреждения подземных сооружений, вызванных землетрясениями



# Повреждения подземных сооружений, вызванных землетрясениями



В соответствии с Федеральным законом Российской Федерации от 30 декабря 2009 г. N 384-ФЗ "Технический регламент о безопасности зданий и сооружений" национальные стандарты и своды правил, включенные в перечень, указанный в статье 6, подлежат ревизии и в необходимых случаях пересмотру и (или) актуализации не реже, чем каждые пять лет.

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

Кроме устаревших положений, которые были включены в прежние редакции СНиП-ов ещё 1969 году, в актуализированной редакции появились ошибочные рекомендации, использование которых в проектировании транспортных сооружений может привести к катастрофам.

Любые нормы должны быть, с одной стороны, достаточно консервативными, с другой — должны учитывать современные знания, научные достижения, и поэтому их следует регулярно пересматривать.

Поэтому работать над нормами, должны коллективы, состоящие из квалифицированных специалистов.





Основные недостатки  
и ошибочные положения  
актуализированных  
Норм



## Ошибки при задании исходной сейсмической информации

Практически в нормах всех технически развитых страна мира, расположенных в сейсмоактивных регионах, сейсмические воздействия описываются в пиковых ускорениях и спектрах реакций, а не в баллах макросейсмической шкалы.

Кроме того используются пиковые скорости и перемещения.

Интенсивность сейсмических воздействий в баллах ни в каких динамических расчётах не используется.


В РФ интенсивность задаётся в баллах, причём при этом используются эталонные грунты.

При построения карт ОСР под средними грунтами понимаются грунты второй категории, сейсмическая жёсткость которых изменяется в широком диапазоне от 350 до 1500 т/м<sup>2</sup>сек.

Сейсмическая жесткость расчетной толщи грунта II категории в документе «Транспортные сооружения в сейсмических районах. Правила проектирования» определяется диапазоном от 655 до 2570 , т/м<sup>2</sup>с

Ещё 2012 году было решено:

«отказаться от использования в качестве основного амплитудного параметра колебаний значения максимального ускорения на среднем грунте (категория 2) и впредь использовать в этих целях максимальное ускорение на скальном грунте»



Тогда же в 2012 г. в работе В. И. Уломова «Актуализация нормативного сейсмического районирования в составе единой информационной системы» отмечалось, что в РФ величины ускорений смещений грунта при землетрясениях определяются по картам в ОСР путем пересчета из баллов макросейсмической шкалы, а не основе инструментальных измерений как это принято во многих странах мира.

Отмечалось, что такой пересчет надо применять с большой осторожностью. Кроме того добавим, что использование в СП 14.13330.2014 понятия «средние грунты», при определении сейсмичности района приводит к произволу и неконтролируемым ошибкам.



При микрорайонировании вводится сейсмическая жёсткость эталонного грунта, равная  $655\text{т/м}^2\text{сек}$ .

Нигде в документах ИФЗ не указывается, что именно для этого грунта и определялись интенсивность землетрясений на картах ОСР.

Таким образом при задании исходной информации существует большая неопределённость.

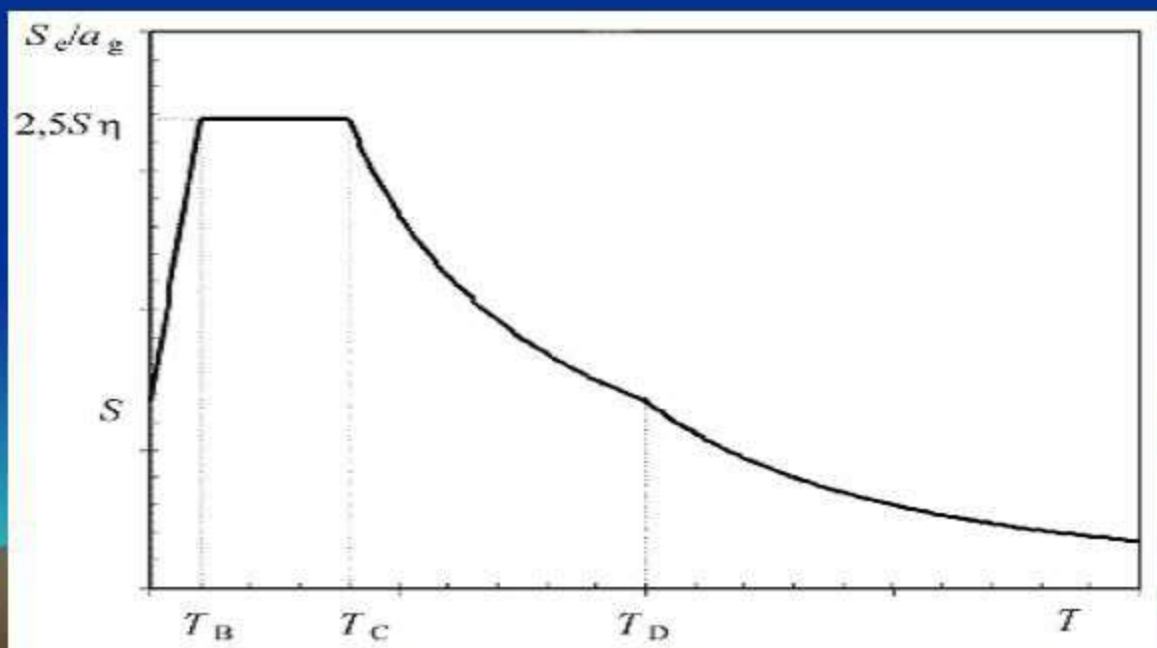
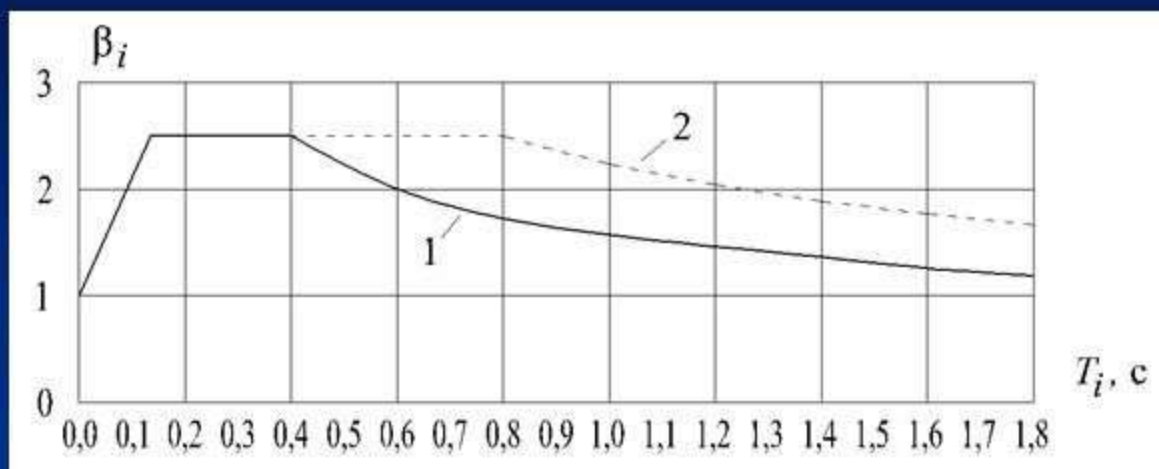


График коэффициентов динамичности  $\beta(T)$  предложенный И.Л. Корчинским 60 лет назад был включен в СН 8-57 «Нормы и правила строительства в сейсмических районах». График был получен в условиях ограниченного в то время количества инструментальных данных.

В СНиП II-A.12-69 «Строительство в сейсмических районах» график был скорректирован а в СНиП II-7-81 заменён тремя графиками, соответствующих трём категориям грунта.

К сожалению, параметры графиков основывались не на фактических данных о сейсмических воздействиях, а на необходимости сохранения преемственности между старыми и новыми нормами и минимизации затрат на антисейсмическое усиление.

# Сравнение графиков спектров ответов и динамических коэффициентов



Форма спектров ответов в Еврокодах, нормах США и Канады определяется координатами характерных точек на спектре, которые зависят от магнитуды, типа грунта и расстояния от эпицентра, что позволяет учесть спектральный состав. Конкретные данные получены в результате обработки большого количества землетрясений.

В нормах РФ типы грунтов учитывается приращением балльности. Процедура определения приращения балльности с использованием формулы С. В. Медведева несправедлива в области широкого изменения сейсмических жесткостей слоев грунта.





Можно доказать, что формула Медведева, следует из формулы Цёпритца при условии, что квадратом приращения балльности можно пренебречь и, что разность акустичеких (сейсмических) жёсткостей слоёв мала.

Возникает вопрос:

Зачем приближённо определять приращение балльности, от которой надо переходить к коэффициенту увеличения (уменьшения) уровней колебаний, который определяется непосредственно по формуле Цёпритца при любых соотношениях жёсткостей?

$$K_2 = 2^{\Delta I} \quad \Delta I = 1,67 [\lg \alpha_{\varepsilon} \rho_{\varepsilon} - \lg \alpha_u \rho_u]$$

$$K_2 = \frac{2\rho_u V_u}{\rho_{\varepsilon} V_{\varepsilon} + \rho_u V_u}$$

Реакции наземных и подземных сооружений на землетрясения существенно отличаются.

Для расчёта подземных сооружений нет необходимости строить спектры ответов.

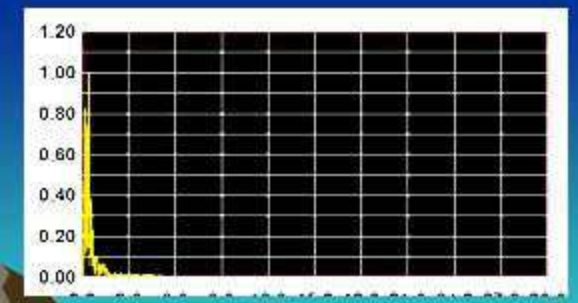
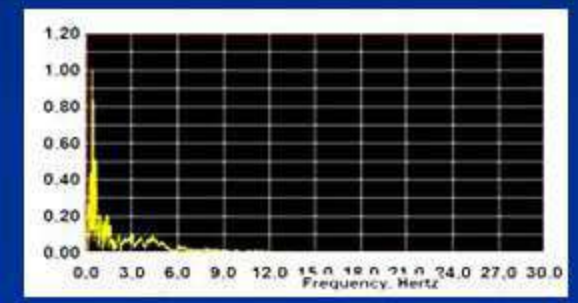
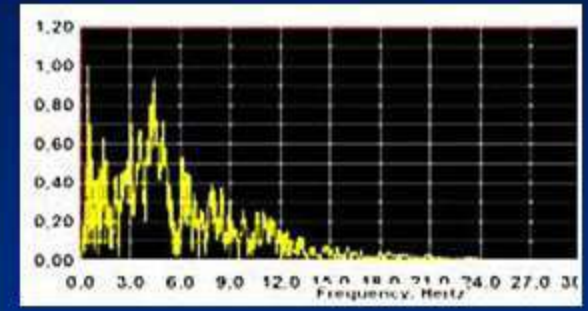
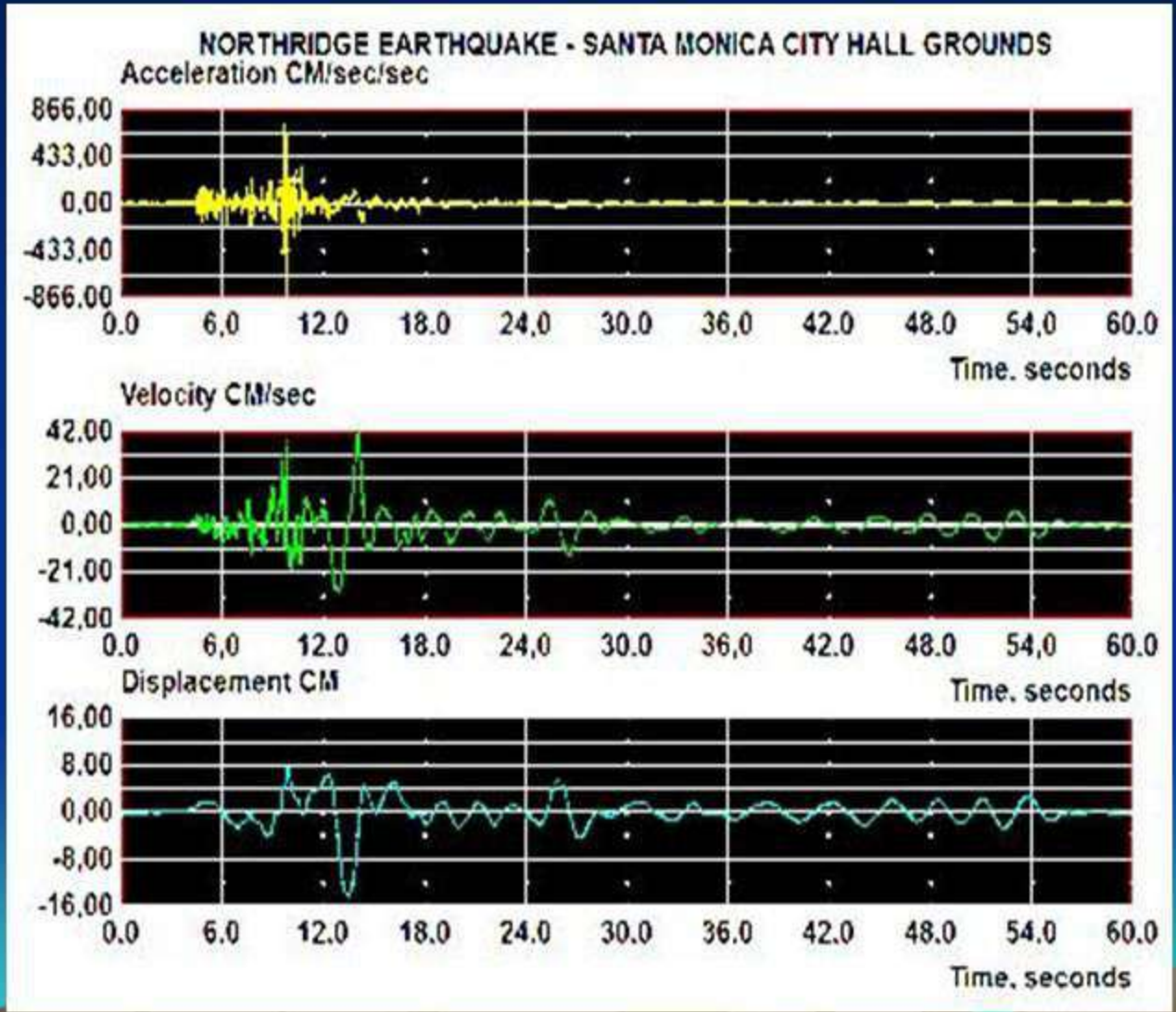
При расчёте подземных сооружений необходимо знать пиковое значение скорости движения частиц грунта и пиковые перемещения. Именно от них зависит напряжённо деформированное состояние. Поэтому удивляет упоминание в каждом параграфе раздел 9 «Транспортные тоннели и метрополитены» слова «балл».

Кроме того непонятно, что понимают разработчики под доминирующей гармоникой.

При сейсмическом воздействии можно определить три доминирующие гармоники



# Примеры акселерограмм, велосиграмм, функций перемещений и их спектров



Раздел 9 «Транспортные тоннели и метрополитены» документа СП 2681325800 на шести страницах не содержит ни одной расчётной схемы и формулы, ни одной модели, а только общие указания.

Например: *П.9.3.3 Конструкции тоннелей рассчитывают на сейсмические воздействия с учетом свойств окружающих грунтов методами механики сплошных сред или строительной механики.*

Для сравнения тринадцатая глава «Руководства по проектированию тоннелей» США «Расчёты на сейсмостойкость» содержит 48 страниц текста с описанием сейсмических воздействий, расчётных моделей тоннелей мелкого и глубокого заложений, рекомендаций по расчёту тоннелей, пересекающих зоны разломов. Представлены как упрощённые аналитические методы, так и уточнённые.

В документе: Актуализация нормативного сейсмического районирования в составе единой информационной системы «Сейсмобезопасность России» (автор Уломов и др.) предлагалось очень много изменений в нормативные документы, которые бы гармонизировали наши Нормы с Еврокодом .

В частности предлагалось:

отказаться от характеристики грунтов через частотно-независимый параметр «приращение балльности» и перейти к принципу спектральной характеристики грунтов.



Представленные в пункте 5.3 **СП 14.13330** нормативные амплитудные характеристики колебаний средних грунтов в пунктах с исходной сейсмичностью 7, 8, 9 и 10 баллов не имеют ничего общего с реальными сейсмическими воздействиями.

Спектральный состав функций ускорений, скоростей и перемещений грунта существенно зависит от расстояний до эпицентров, причём доминирующие гармоники этих функций лежат в разных полосах частот. Поэтому увеличение пикового значения ускорения в два раза не означает, что пиковое значение скорости и перемещения увеличится так же в два раза.



Канадскими и американскими учёными для расчёта тоннелей представлены зависимости от магнитуд и расстояний от источников землетрясений отношений значений пиковых скоростей и пиковых перемещений грунта к значениям пиковых ускорений для разных типов грунтов.

Следует отметить, что они и близко не напоминают представленные в пункте Г.2.2

В качестве примера приведём характеристики двух разных землетрясений.

Loma Prieta:

$PGA=270 \text{ cm/cek}^2$  ;  $PGV =37,7 \text{ cm/cek}$ ;  $PGD=8,0 \text{ cm}$

Landers:

$PGA=240 \text{ cm/cek}^2$  ;  $PGV =50,8 \text{ cm/cek}$ ;  $PGD=41,3 \text{ cm}$



1. В СП 14.13330.2014 отсутствует очень важный пункт: оценка взаимодействия сооружений с грунтом при сейсмических воздействиях.

2. В СП 14.13330.2014 только упоминаются сейсмозащитные устройства транспортных сооружений. Отсутствуют требования к этим устройствам, а так же рекомендации по их выбору и расчёту.

3. В СП 14.13330.2014 не учитывается изменение сейсмического воздействия в пространстве. Как показывает анализ разрушений мостов при сильных землетрясениях, наиболее распространённым повреждением является сброс пролетных строений с опор. В СП 14.13330.2014 предлагается лишь установка антисейсмических устройств (стопоров) для предотвращения сброса пролетных строений, при этом отсутствуют какие-либо рекомендации по расчёту возможных перемещений концов пролётных строений.





4. Вопрос взаимодействия подвижной нагрузки и пролётного строения во время землетрясения требует дополнительного рассмотрения. При большой вероятности нахождения подвижной нагрузки на мосту во время землетрясения необходимо добавить в Нормы методику расчёта взаимодействия экипажей с пролётными строениями.

5. При задании исходной сейсмической информации для расчёта любых мостов (железобетонных, металлических и других материалов) в имеющихся нормах предлагается использовать нормативные спектральные кривые, полученные с 5% коэффициентом демпфирования, которые ориентированы для кирпичных зданий средней этажности. Причем, об этом в Нормах даже не упоминается. Неправильный учёт коэффициента демпфирования может привести к ошибочным результатам.



Расчетная сейсмическая нагрузка от масс моста, приложенная в точке «k» и соответствующая i-му тону собственных горизонтальных колебаний системы, определяется по формуле

$$S_{iK} = K_1 K_2 K_3 K_4 K_\psi A \beta_i \eta_{ik} Q_k \quad \text{где}$$

$K_1$  коэффициент, учитывающий влияние на сейсмическую нагрузку снижения жесткости сооружения и увеличение рассеяния энергии колебаний из-за появления трещин и пластических деформаций в конструкциях;

$K_2$  – коэффициент уточнения исходной сейсмичности по данным о сейсмическом режиме местности;

$K_3$  – поправочный коэффициент на инженерно-геологическую обстановку на участке строительства;

$K_4$  – поправочный коэффициент на рельеф местности;

$K_\psi$  – коэффициент, учитывающий отклонение декремента колебаний объекта от стандартного значения, в том числе за счет работы демпферов

# Пиковые ускорения и пиковые скорости колебаний поверхности грунта при землетрясениях

## 1. Землетрясение свыше 10 баллов, $V_{pic} = 41,7$ м/сек

### Description

NORTHRIDGE EARTHQUAKE - SANTA MONICA CITY HALL GROUNDS  
JANUARY 17, 1994 04:31 PST  
CORRECTED ACCELOGRAM, CHANNEL 1, 90 DEGREES, CDMG QN94A538

### Number of Points

3000

### Digitization Interval

0,02 seconds

### Duration

59,98 seconds

### Acceleration

Maximum = 738,080 CM/sec/sec  
at Time = 9,70 seconds

Minimum = - 865,965 CM/sec/sec  
at Time = 9,82 seconds

### Velocity

Maximum = 41,751 CM/sec  
at Time = 14,02 seconds

Minimum = - 30,123 CM/sec  
at time = 12,84 seconds

### Displacement

Maximum = 7,852 CM  
at Time = 9,84 seconds

Minimum = - 14,316 CM  
at Time = 13,42 seconds

## 2. Землетрясение менее 6 баллов, $V_{pic} = 38,7$ м/сек

### Description

MEXICO CITY EARTHQUAKE - STATION 1  
SEPTEMBER 19, 1995, 13:19 CT  
CORRECTED ACCELOGRAM, 270 DEGREES, SCT1850919BT.T

### Number of Points

9006

### Digitization Interval

0,02 seconds

### Duration

180,10 seconds

### Acceleration

Maximum = 89,369 CM/sec/sec  
at Time = 50,74 seconds

Minimum = - 97,965 CM/sec/sec  
at Time = 54,16 seconds

### Velocity

Maximum = 38,739 CM/sec  
at Time = 53,62 seconds

Minimum = - 33,185 CM/sec  
at time = 50,28 seconds

### Displacement

Maximum = 19,123 CM  
at Time = 54,24 seconds

Minimum = - 14,310 CM  
at Time = 50,84 seconds

При актуализации свода правил СНиП II-7-81\* раздел 7 «Транспортные сооружения» разрабатывался узким кругом специалистов и был практически переписан со старого документа.

Свод правил «Транспортные сооружения в сейсмических районах. Правила проектирования», разработанный на том же самом уровне и теми же специалистами, поэтому содержит те же самые ошибки и неточности.



# Заключение

Из анализа состояния нормативной документации по расчёту транспортных сооружений на сейсмические воздействия и сравнения её с современными зарубежными нормами и стандартами следует, что в настоящее время транспортное строительство и эксплуатация сооружений в районах Российской Федерации с повышенной сейсмической активностью, не обеспечено необходимыми регламентами для проектирования, строительства и эксплуатации сейсмостойких сооружений.



Необходимо разработать новый документ СП «Транспортное сооружения в сейсмических районах», учитывая при этом современные достижения науки и техники, а также достижения в области совершенствования и ревизии нормативных документов, которые были существенно переработаны в развитых странах после анализа разрушительных землетрясений, произошедших в последнее время.

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**

