

**Об актуализации нормативных документов по
сейсмическим нагрузкам в массовом строительстве
по группам направлений: ОСР - СНиП и СНиП - СМР с
целью учета достижений инженерной сейсмологии за
1980-2010 гг.**

(постановки задач + возможные решения)

А.А.Гусев ^{1,2}

(ИВиС ДВО РАН¹, КФ ГС РАН², Петропавловск-Камчатский)

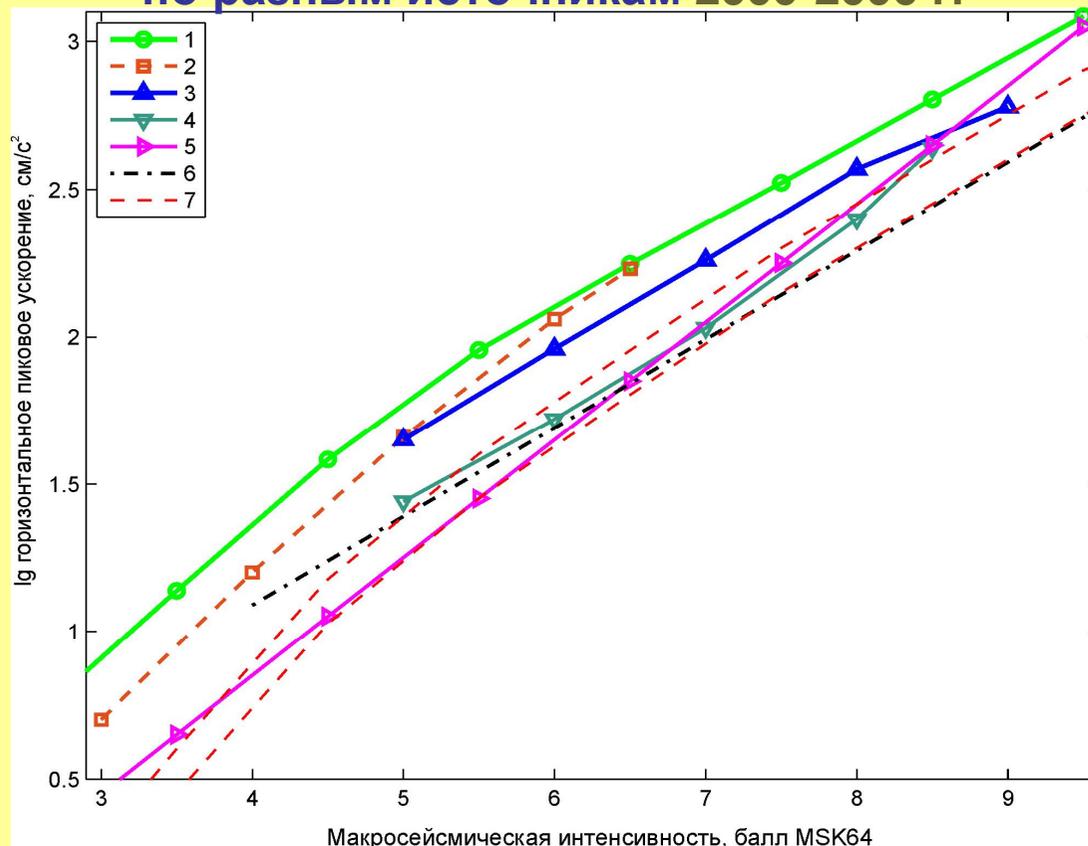
- О необходимости **взаимно согласованного проведения** модернизации руководящих документов по нормативным сейсмическим нагрузкам в массовом строительстве по группам направлений: **ОСР-СНиП** и **СНиП - СМР** с целью учета достижений инженерной сейсмологии за 1980-2010 гг.

Список проблем

- (1) Сохранение или корректировка принятой **связи балл - ускорение** ($A=0.3-0.35$ при 8 баллах) Сохранение или развязка жесткой связи балла и ускорения для нескальных грунтов
- (2) Сохранение или корректировка принятых параметров **связи между литологией и ускорениями** грунта
- (3) Дальнейшее использование в качестве опорного амплитудного параметра колебаний значения ускорения для среднего грунта, либо переход к **опоре на ускорения скального грунта**.
- (4) Сохранение характеристики грунтов через частотно-независимый параметр «приращение балльности», либо **переход к спектральной характеристике грунтов**
- (5) Сохранение гипотезы линейного поведения нескальных грунтов при больших баллах, либо **переход** к явному и существенному **учету нелинейности**. Учет нелинейности по европейскому или американскому варианту (или иначе)
- (6) Сохранение принципа использования целочисленных баллов и целых категорий грунта или переход к более **дробной классификации грунтов и нагрузок**.
- (0) Недопустимость **несогласованной модернизации** ОСР и СНиП; СНиП и СМР
- Дополнительная важнейшая проблема вне названной тематики: острая необходимость создания сети **приборов для регистрации сильных движений грунта** в России.

(1) Сохранение или корректировка принятой связи балл - ускорение

Эмпирическая связь балл-пиковое ускорение по разным источникам 2000-2006 гг



- 1 – средняя зависимость $a(I)$ по массовому материалу для запада США
- 2 – то же для Камчатки
- 3 – то же по данным европейской базы данных СДГ вне Италии
- 4 – то же для Италии, причем фактически здесь была использована макросейсмическая шкала MCS
- 5 – обобщенный прямолинейный график $\lg a = -0,75 + 0,40I$ по [1, 2]
- 6 – $A(I)$ по [15] с линейной экстраполяцией
- 7 – средняя зависимость $a(I)$ по [3] для вариантов длительности $d_{50\%} = 5$ (верхняя кривая) и $d_{50\%} = 10$ с (нижняя кривая)

Кривая 1 (США) использует I-MM

Кривая 4 (Италия) использует I-MCS

Кривая 3 («европейские» данные вне Италии) использует I-MSK, (как и СНиП)

~~~

*[Баллы MCS «легче» баллов MSK. Кривая 4 почти совпадает с кривой 3 после пересчета I-MCS=>I-MSK]*

~~~

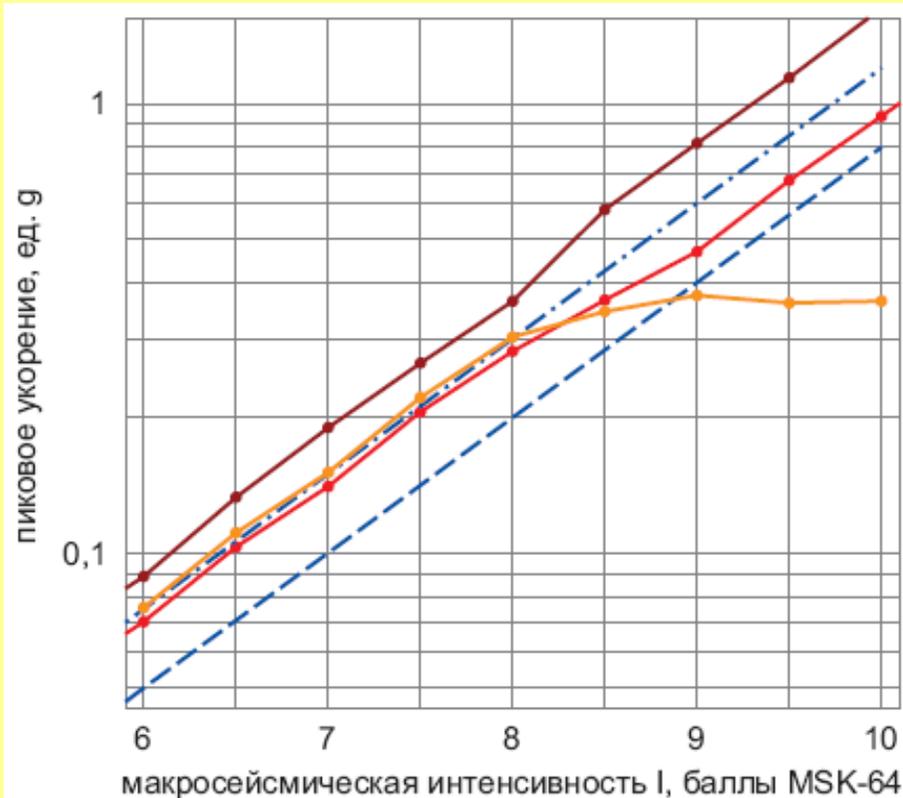
Кривую 3 следует принять за базу; опорное значение:

$$a = 0,33 \text{ g для } I = 8.$$

Здесь нет учета влияния грунта; это следует учесть дополнительно

(1) Сохранение или корректировка принятой связи балл – ускорение (продолжение1)

Предлагаемый вариант связи балл-пиковое ускорение с разделением по типам грунтов



- специфическая зависимость $A(I)$ для грунта с $K=1$
- специфическая зависимость $A(I)$ для грунта с $K=2$
- специфическая зависимость $A(I)$ для грунта с $K=3$

- — — зависимость $A(I)$ по СНиП I-7-81* [15]
- · - · - · зависимость $A(I)$ по СНиП I-7-81* [15] с дополнительным коэффициентом 1,5

На основе зависимостей $F_a(S_s)$ норм США и принятой средней связи с опорой на $a(I=8) = 0,33 \text{ g}$

построены специфические зависимости $a(I)$ для трех категорий грунта. В частности:

$$a(I=8, \text{кат}=1) = 0,39 \text{ g}$$

$$a(I=8, \text{кат}=2) = 0,28 \text{ g (условно)}$$

для $\text{кат}=3$ имеется выраженная нелинейность, нет уверенных рекомендаций

(1) Сохранение или корректировка принятой связи балл – ускорение (продолжение2)

Выводы и рекомендации

для варианта будущих норм с сохранением параметра «сейсмичность в баллах»:

- (1) Сохранить нормативную связь балл - ускорение только для скальных грунтов.
- (2) Ревизовать коэффициенты принятой в СНиП-СП связи балл - ускорение, увеличив значение A , ориентировочно, в 1.5-1.7 раза ($A=0.30-0.35$ при 8 баллах).
- (3) Сохранить принятый наклон связи $I - \lg(A)$, то есть рост A в два раза на балл.

Одновременно в связи с проблемой 4:

- (1) Отказаться от предположения о жесткой связи балла и ускорения для нескальных грунтов

(2) Сохранение или корректировка принятых параметров связи литологии с ускорениями грунта

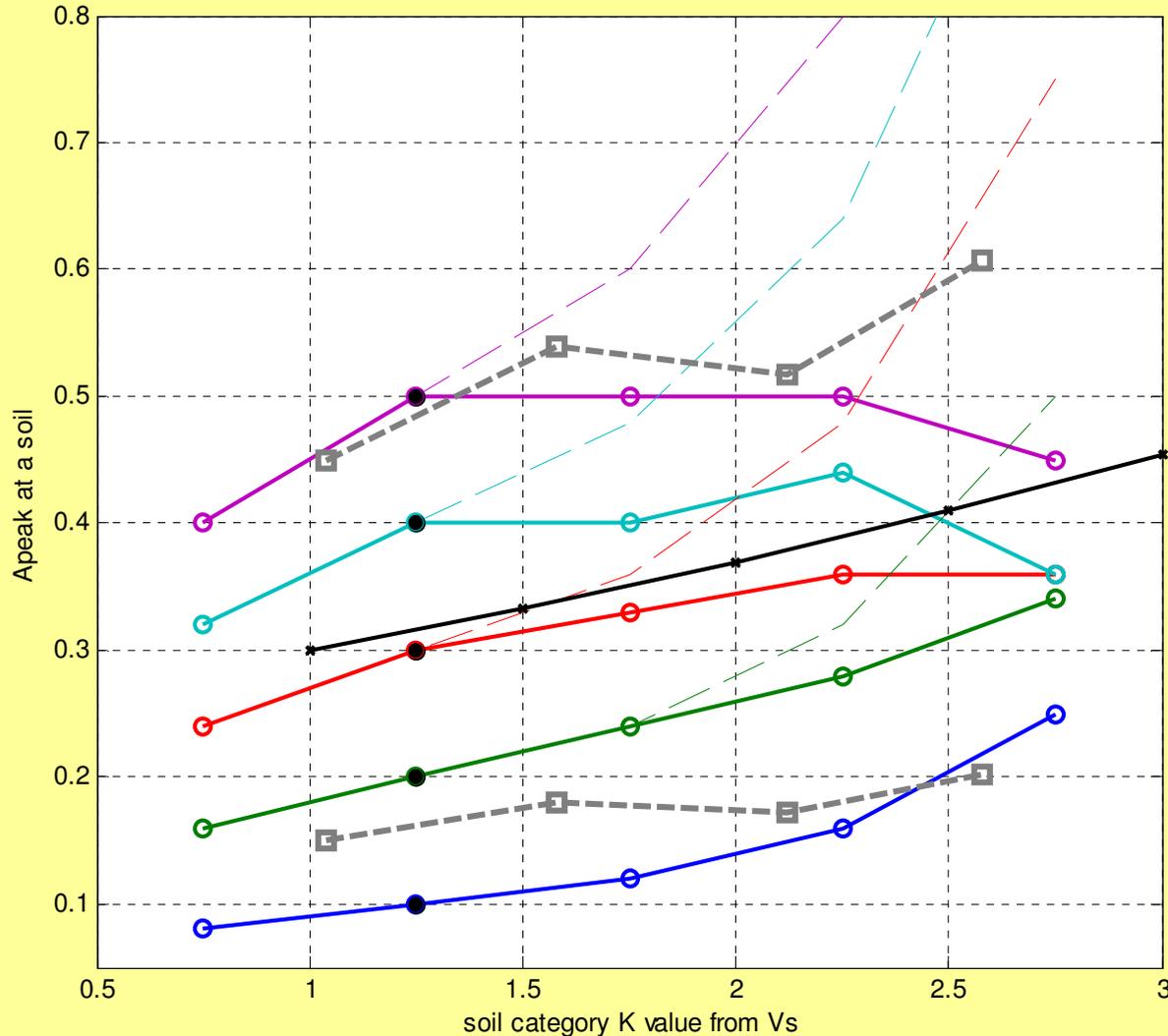
По материалам

- (1) регистрации сильных движений грунта (СДГ) в США и Японии в 1995-2004 гг**
- (2) расчетов волновых полей для реалистических нелинейных моделей грунта**

установлено:

- (1) пиковые ускорения грунта растут с категорией грунта при заданных малых амплитудах на скальных/коренных породах (внизу разреза). Рост составляет 1.5-1.6 раза на категорию. Этот рост заметно медленнее чем следует на основе «приращения балльности»
- (2) при больших амплитудах на коренных породах (балл 8 и выше) рост пиковых ускорений с ростом категории прекращается. Причина в том, что разрушающийся нескальный грунт блокирует распространение сейсмических волн высоких частот.
- (3) для пиковых скоростей данные проблемы выражены слабо и обычное предположение о росте амплитуд вдвое при приращении балльности +1 приблизительно справедливо.

Рост пиковых ускорений с категорией грунта при разных пиковых ускорениях на коренных породах (расчет на основе норм США)



Ломаные линии с кружками описывают поведение

$$A = A(K)$$

где K - «номер категории грунта»).

Параметр линии - значение ускорения для грунта В; обозначено кружком при $K=1.25$.

Линии, снизу вверх, приблизительно соответствуют $I= 6.5 7.5 8 8.5 8.75$.

Тонкий пунктир - аналогичные кривые, построенные в предположении **линейного** поведения среды.

При относительно малых амплитудах амплитуда ускорения A как функция K следует обычной линейной схеме (систематический рост амплитуды при падении акустической жесткости).

При относительно больших амплитудах, формируется картина насыщения амплитуд на значениях, характерных для грунтового класса В или С ($K=1.25-1.75$).

Техническое примечание: Для проявления нелинейных эффектов наиболее существенный критерий – амплитуда СКОРОСТИ а не ускорения; ускорение используется лишь как удобный «заместитель»

(2) Сохранение или корректировка принятых параметров связи литологии с ускорениями грунта

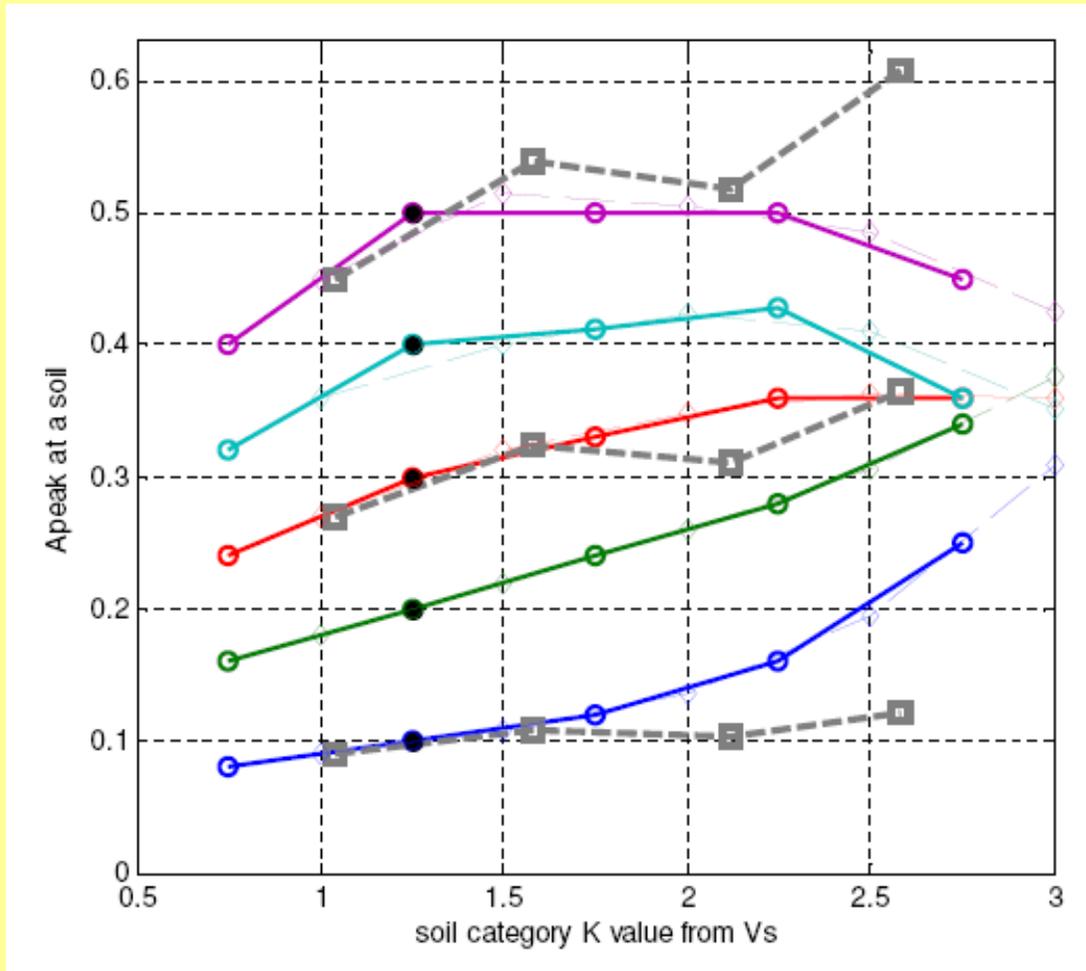
Выводы и рекомендации

Ревизовать принятое в СНиП-СП соотношение связи литологии и максимальных ускорений грунта.

- *для варианта учета нелинейности по схеме Еврокод-8:*
вместо принятого сегодня для грунтов категорий 1, 2, 3 набора коэффициентов (1; 2; 4) следует использовать коэффициенты, равные, ориентировочно, (1; 1.2; 1.15)

- *для варианта учета нелинейности по схеме норм США*
вместо принятого сегодня для грунтов категорий 1, 2, 3 набора коэффициентов (1; 2; 4) следует использовать коэффициенты, явно зависящие от амплитуды ускорения на коренных породах.
Максимальные значения коэффициентов – для случая малых амплитуд (5-6 баллов)- должны составлять, ориентировочно, (1; 1.6; 2.6)

Различия и аналогии в учете нелинейности по схеме Еврокод 8 и по схеме IBC-2006 США



Цветные графики – ход пиковых ускорений как функция категории грунта по нормам США для 5 вариантов уровней амплитуд на скале

Серые линии – то же по нормам Еврокод-8, три варианта

Европейский подход проще, он адаптирован к фиксированному уровню амплитуд на скале – 0.3-0.4 g,

он дает искажения при малых и при больших амплитудах

(3) Дальнейшее использование в качестве опорного амплитудного параметра колебаний значения ускорения для среднего грунта, либо переход к опоре на ускорения скального грунта.

В действующие нормы заложено использование в качестве опорного амплитудного параметра колебаний - значения максимального ускорения для среднего грунта

Такое решение имеет историческую основу но плохо совместимо с расчетами нагрузок в условиях нелинейного поведения грунта.

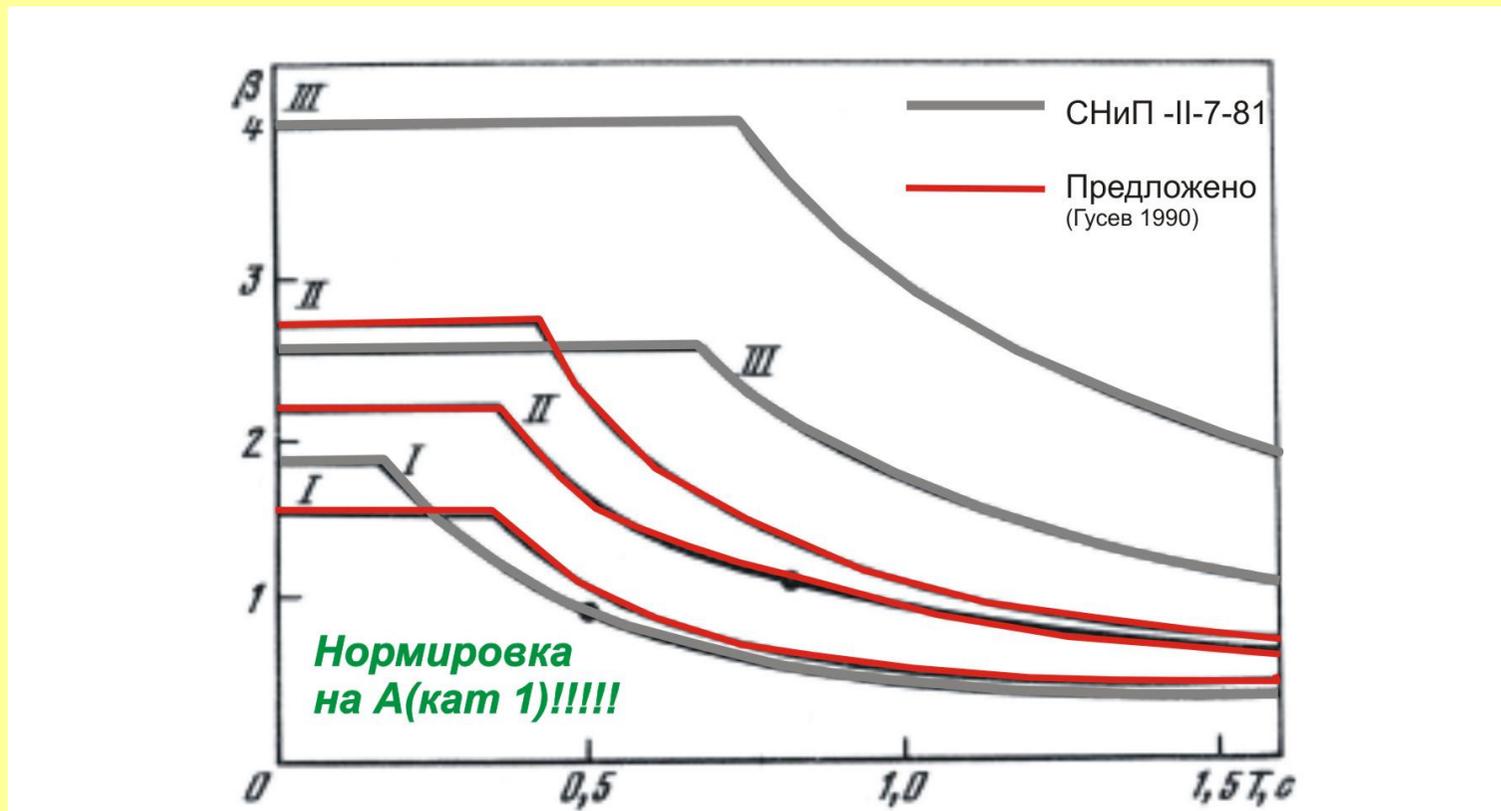
Практика нормирования нагрузок в Европе и США уже более 10 лет назад перешла на использование максимальных ускорений скального грунта как опорного параметра для характеристики общего уровня нагрузок.

Данное решение полностью согласуется с рекомендациями теории систем, а отказ от него существенно усложняет расчеты для нелинейного случая.

Предлагается в новых нормах:

- Отказаться от использования в качестве основного амплитудного параметра колебаний значения максимального ускорения на среднем (кат.2) грунте и впредь использовать в этих целях максимальное ускорение на скальном (кат.1) грунте или коренных породах

(3) Дальнейшее использование в качестве опорного амплитудного параметра колебаний значения ускорения для среднего грунта, либо переход к опоре на ускорения скального грунта.



**Иллюстрация к нормированным спектрам реакции (из (Гусев 1990))
В отличие от СНиП, нормировка на значение пикового ускорения на скальном грунте**

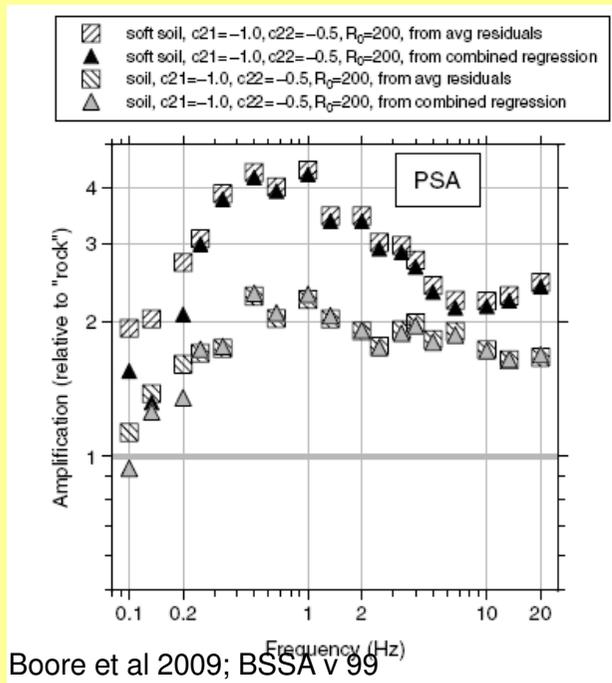
(4) Сохранение характеристики грунтов через частотно-независимый параметр «приращение балльности», либо переход к спектральной характеристике грунтов

Подход действующих норм к эффекту грунтов противоречит самой сути спектрального метода расчета сооружений. Поскольку этот метод расчета привязан к конкретному собственному периоду сооружения, кажется логичным учитывать и форму спектра сейсмических волн для определенного грунта, грунтовые поправки в спектральном варианте. Вместо этого частотная зависимость грунтовых поправок практически игнорируется.

Используемое описание влияния грунтовой толщи через параметр «приращение балльности», не зависящий от частоты, является переупрощенным и ведет к существенным искажениям. Известна также тяжелая искусственная проблема исполнителей СМР, которые должны выводить одиночное число ΔI на основании набора спектральных отношений, сильно меняющихся с частотой.

Спектральное описание свойств грунтовой толщи разрешено и рекомендовано действующими нормативами СМР (причем в вариантах экспериментального и/или расчетного способа оценки). Однако подобные результаты СМР не могут пройти к инженерам через «бутылочное горлышко» подхода, использующего приращение балльности

Отношения спектров = спектральные поправки за эффект грунтовой толщи.
Только случай малых амплитуд, нелинейных эффектов нет.



Boore et al 2009; BSSA v 99

Figure 14. Site amplifications from PSA, relative to site class 0

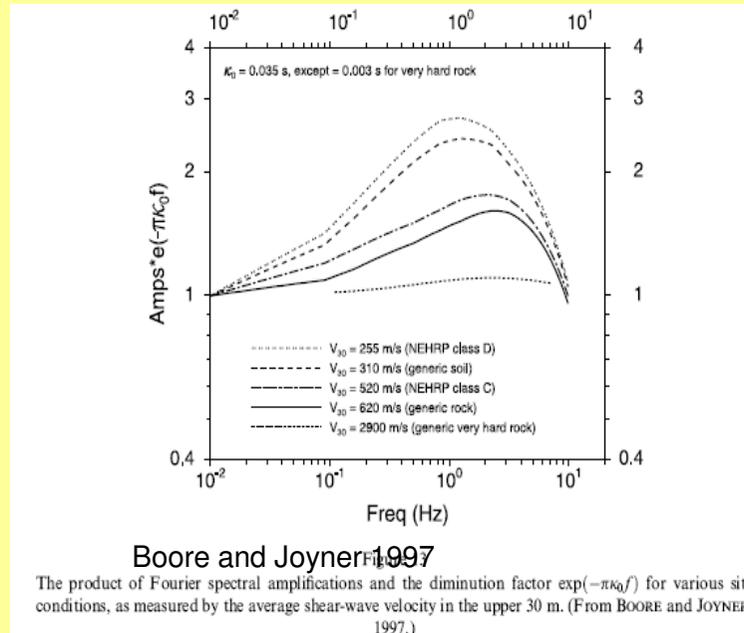


Figure 11. Comparison of results for KIK-net stations. Light gray lines show spec-

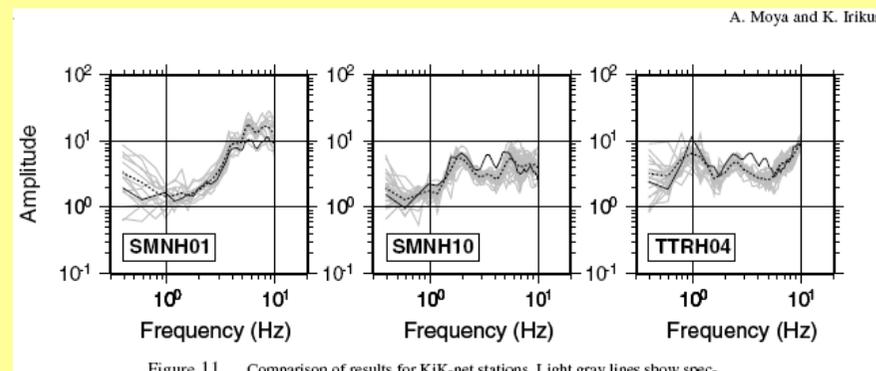


Figure 11. Comparison of results for KIK-net stations. Light gray lines show spec-

Спектральные поправки за эффект грунтовых толщ на основе японских материалов :
в линейном варианте (голубой)
в нелинейном варианте для уровня $a=0.25$ g на скале (розовый)
а также предложенные спектральные поправки для грунтов кат 3 и 2 на Камчатке (зеленый) в предположении нелинейного поведения при $a=0.25$ g на скале (Гусев 1990)

Поправки к спектрам Фурье и реакции за грунтовые условия

Параметр	$f, \text{ Гц}$								
	0,20	0,32	0,5	1	2	3,2	5	10	20
$\delta \lg A_1$ (С)	10	15	20	28	28	28	28	28	—
$\delta \lg A_2$ (С)	10	15	20	27	25	22	17	0	—
$k_{\text{нел}}$ (С)	1	1	1	0,95	0,9	0,8	0,6	0	—
$\delta \lg A_1$ (М)	15	30	37	42	46	47	38	10	—
$\delta \lg A_2$ (М)	15	30	37	40	41	25	0	-43	—
$\delta \lg A_2$ (III)	27	40	48	55	43	27	11	-10	-30
$\delta \lg A_2$ (II)	15	22	26	29	23	18	11	0	-10

Примечание: $\delta \lg A_1$ — поправка для малых амплитуд; $\delta \lg A_2$ — поправка для ускорений 100–200 см/с²; $k_{\text{нел}} = \delta \lg A_2 / \delta \lg A_1$. Пометки (С) и (М) означают поправки на основе графиков [17] для иллюстрированных случаев среднего и мягкого грунта относительно условно-скального грунта с $V_S = 600\text{--}700$ м/с. Пометки (II) и (III) означают принятые поправки для грунтов категорий II и III относительно I для условий Петропавловска-Камчатского. Все поправки умножены на 100.

(4) Сохранение характеристики грунтов через частотно-независимый параметр «приращение балльности», либо переход к спектральной характеристике грунтов

Выводы и рекомендации

- Отказаться от характеристики грунтов через частотно-независимый параметр «приращение балльности», и перейти к принципу спектральной характеристики грунтов.
- Коэффициент, учитывающий эффект грунтовой толщи (грунтовой коэффициент) должен приниматься зависящим от периода колебаний (собственной частоты) сооружения. (СМР, СНиП).
- Следует создать и зафиксировать в новых нормах формат для передачи частотно-зависимых результатов СМР от изыскателей к инженерам (вместо одиночного параметра ΔI)
- Считать целесообразным учитывать в рекомендуемых спектральных поправках фактор нелинейности.

- (5) Сохранение гипотезы линейного поведения нескальных грунтов при больших баллах, либо переход к явному и существенному учету нелинейности. Выполнять учет нелинейности (если это решено) по европейскому или американскому варианту (или иначе)

Рекомендации

- Отказаться от неявного использования гипотезы линейного поведения нескальных грунтов при больших баллах.
- Признать важную роль нелинейного поведения нескальных грунтов для реалистической оценки сейсмических нагрузок на сооружения.
- Считать вполне допустимым описание эффекта грунтовой толщи как эквивалентной линейной системы, через эквивалентные (эффективные) коэффициенты или передаточные функции. Названные коэффициенты или функции следует принимать существенно зависящими от амплитуды колебаний на коренных породах (условном скальном грунте).
- В простейшем варианте, следуя логике Еврокод -8, можно, например, принять только два варианта передаточных функций - для малых амплитуд и для амплитуд 0.3-0.4 g (примерно 8-9 баллов на ср грунте).
- В более детальном варианте, следуя практике США, можно явно учитывать зависимость нелинейных эффектов от амплитуды

(6) Сохранение принципа использования целочисленных баллов и целых категорий грунта или переход к более дробной классификации грунтов и нагрузок.

Шаг балла карты ОСР сегодня составляет 1 балл, таков же шаг «приращения балльности» и «категории грунта». Такой подход ведет к искусственным ошибкам оценки нагрузок, за счет наложения ошибок округления, что может и должно порождать ошибки, достигающие почти 1 балла (двух раз). Это недопустимо. Явно нарушен общий принцип точных наук – сохранять запасную цифру в промежуточных расчетах.

Рекомендация

- Отказаться от принципа использования целочисленных баллов и целых категорий грунта. Перейти к более дробной классификации грунтов и нагрузок.

Простейший вариант:

ввести набор уровней нормативного балла: 6; 6.5; 7; 7.5;...

и набор категорий грунта: 0.5 1; 1.5; 2; 2.5; 3

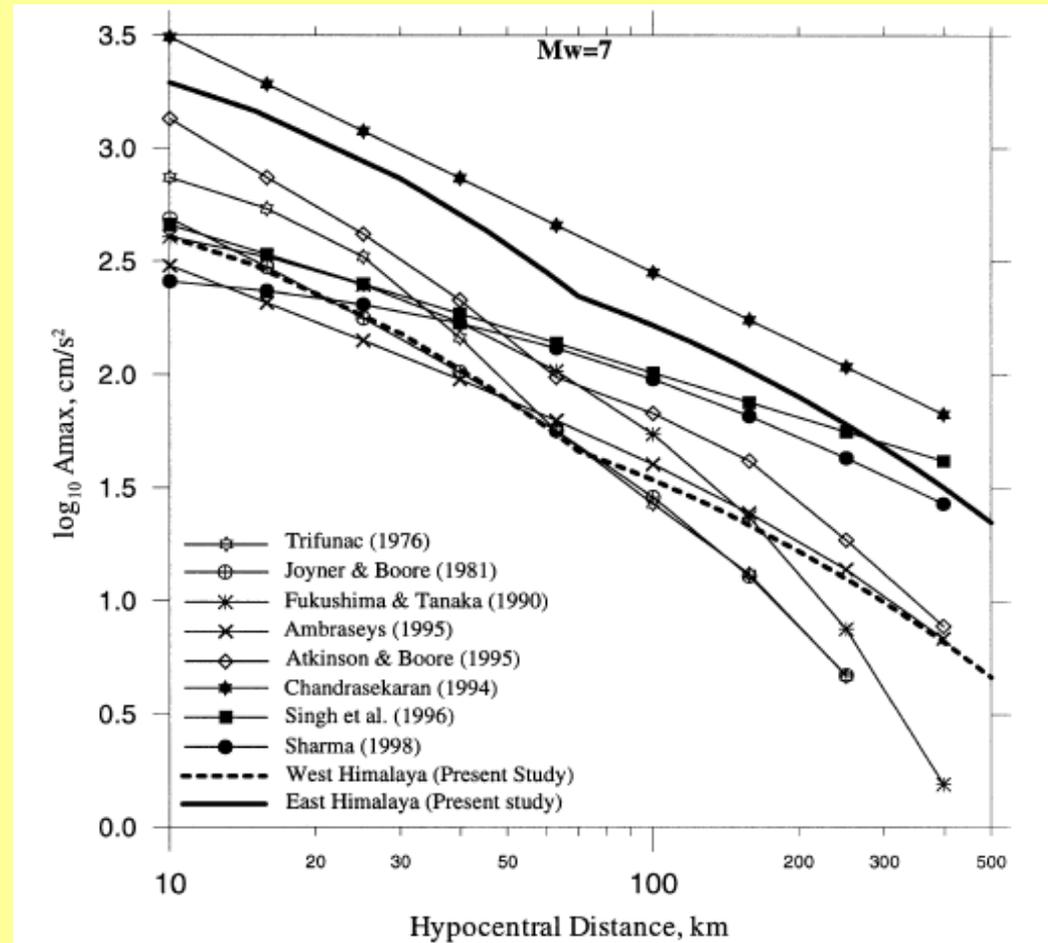
Предложения по общим вопросам

- (1) Отметить недопустимость проведения несогласованной, по частям, проведения модернизации важнейших аспектов норм по направлениям СНиП, ОСР, СМР. Рекомендовать придерживаться комплексного подхода к модернизации руководящих документов по нормативным сейсмическим нагрузкам в массовом строительстве, совместно по группе проблем СНиП-ОСР и группе проблем СНиП-СМР.**
- (2) Отметить острую необходимость создания сети приборов для постоянной регистрации сильных движений грунта в России, без чего невозможна ни аккуратная оценка сейсмических нагрузок в России по материалам землетрясений России, ни даже грамотное заимствование материалов зарубежных исследований.

Иллюстрация выраженных субрегиональных различий типичных
наблюденных пиковых ускорений в регионе Гималаев.

На графике – среднее пиковое горизонтальное ускорение при
фиксированной магнитуде как функция расстояния.

Видны различия до трех раз между субрегионами Восточных и Западных
Гималаев (Парвез, Гусев и др, 2001)



Предложения по общим вопросам

(3) Об учете фактора дифференциальных просадок основания сооружения при землетрясении

- При 9 и особенно 10 баллах на нескальных грунтах разрушения сооружений связаны в первую очередь с эффектами потери устойчивости (разрушения, псевдооживления) грунтов под зданиями, что ведет к дифференциальным (неравномерным) просадкам грунта под фундаментами.
 - Почти каждое описание последствий землетрясения в эпицентральной зоне включает примеры данного явления.
 - При этом рост степени повреждения зданий может происходить без увеличения горизонтальных ускорений и инерционных нагрузок на сооружение
- Поэтому для области больших нагрузок 9–10 баллов для нескальных грунтов следовало бы внести встроительные нормы требования об учете нагрузок двух видов — от боковых сил и от неравномерной (дифференциальной) просадки грунта под фундаментом.
 - Эмпирически такой подход реализуется в особо ответственных сооружениях, например, при использовании монолитной фундаментной плиты или других адекватных инженерных решений.
 - Пути учета возможных просадок описаны в литературе. Однако сегодня нет явного требования или хотя бы рекомендации к проектировщику об учете дифференциальных просадок основания на этапе инженерного расчета. Следовало бы пополнить СНиП в этом аспекте.