



ДИНАМИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ОСНОВАНИЙ В РАСЧЕТАХ ПО СП 14.13330/22.13330/26.13330 С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ SCAD OFFICE 21.1.9.7



Михайлов Виктор Сергеевич / mvs@scadsoft.ru

Руководитель центра научно-технической поддержки «SCAD SOFT Новосибирск»

Научный руководитель: к.т.н. **Нуждин Леонид Викторович**, профессор НГАСУ, ПНИПУ

Москва / Апрель 2020



Новые требования к расчетам на сейсмические воздействия

СП 14.13330.2018 «Строительство в сейсмических районах» (Изменение №1 от 26.12.2019)

п.4.1 ...При назначении зон пластических деформаций и локальных разрушений следует принимать конструктивные решения, «обеспечивающие зданиям или сооружениям живучесть и устойчивость к прогрессирующему обрушению при сейсмических воздействиях. Требования по проектированию зданий и сооружений в целях обеспечения их защиты от прогрессирующего обрушения следует принимать согласно СП 385.1325800» *(Для зданий на 30% территории РФ выполняется проектный расчет: Ген.нелин на прогрессирующее обрушение по деформир. схеме → Спектральный квазистатический модальный расчет на сеймику с учетом физически нелинейного образования шарниров).*

п.5.12 Для зданий и сооружений, указанных в позиции 1, для большепролетных зданий и сооружений, высотных сооружений, указанных в позиции 2 таблицы 5.3, необходимо последовательно выполнять следующие расчеты:

а) проектный расчет с применением ЛСМ для получения данных для проектирования конструкции;

б) проверочный расчет в виде нелинейного динамического расчета во временной области *(Прямой динамический расчет по акселерограммам на сейсмическое воздействие с учетом физически нелинейного образования шарниров).*

Для зданий и сооружений, указанных в позициях 2 (за исключением большепролетных зданий и сооружений, высотных сооружений), 3 и 4 таблицы 5.3, допускается проводить только проектный расчет по перечислению а) с применением ЛСМ.

Для зданий и сооружений с включенными в состав РДМ нелинейными элементами (устройствами сейсмической защиты, включающимися и выключающимися связями, **частью нелинейного грунтового основания** и т.д.) необходимо, помимо проектного расчета по перечислению а), провести проверочный расчет по перечислению б) .



Новые требования к расчетам на сейсмические воздействия

СП 14.13330.2018 «Строительство в сейсмических районах» (Изменение №1 от 26.12.2019)

п.5.7 ... Для объектов, перечисленных в позиции 4 табл. 5.3 (*Здания и сооружения временного и вспомогат. назначения*), расчетная сейсмичность площадки строительства устанавливается **по описательным характеристикам табл. 5.1.**

... Для уточнения расчетной сейсмичности и определения параметров расчетных сейсмических воздействий на площадках строительства объектов, перечисленных в **позиции 1 таблицы 5.3, большепролетных зданий и сооружений, высотных сооружений**, перечисленных в позиции 2 таблицы 5.3, а также для объектов с включенными в состав РДМ нелинейными элементами (например, устройствами сейсмической защиты, включающимися и выключающимися связями, нелинейным грунтовым основанием и т. д.) при инженерно-геологических изысканиях помимо **СМР** дополнительно проводят **ДСР** согласно СП 286.1325800. Для объектов, перечисленных **в позициях 2** (за исключением большепролетных зданий и сооружений, высотных сооружений), **3 таблицы 5.3**, уточнение расчетной сейсмичности площадки строительства осуществляется по результатам **СМР**.

Примечание 5 к таблице 5.1 Скорость $V_{s,30}$ является средневзвешенным значением **для 30-метровой толщи**, считая от планировочной отметки. При отсутствии данных о значении $V_{s,30}$ и при многослойном строении грунтовой толщи, установленным по результатам изысканий, **грунт относят к более неблагоприятной категории.**

(Сейсмическое районирование для всех зданий и сооружений, проходящих экспертизу проектной документации, с определением скоростей упругих волн V_s и V_p для уточнения сейсмической категории грунтов на глубину до 30 м).

Примечание 1 к п. 5.23 Для зданий и сооружений, указанных в позиции 1 таблицы 5.3, для большепролетных зданий и сооружений, высотных сооружений, указанных в позиции 2 таблицы 5.3, при значениях фазовых скоростей распространения сейсмических волн $V_s < 400$ м/с необходимо **учитывать волновой характер сейсмического воздействия.**

(Для симметричных зданий по Прил.Б СП 31-114-2004, для сложной геометрии - прямые дин. модели основания по ASCE 4-16).



Динамические модели оснований для учета требований расчетов на сейсмические воздействия по СП 14.13330.2018 «Строительство в сейсмических районах» (Изменение №1 от 26.12.2019)

СП 22.13330.2011/2016 «Основания зданий и сооружений»

В редакции 2011 года п.10.12 для анализа кренов высотных зданий от временных нагрузок допускал при отсутствии экспериментальных данных об упругой жесткости основания (*На основании V_s и V_p*) для нескальных грунтов принимать $E_{dyn}=8E_0$ и для скальных $5E_0$. На практике E_{dyn} часто используют в модели основания Винклера, поскольку нет четкого указания о правдоподобии только двухпараметрических и прямых физических КЭ моделей.

В редакции 2016 года п.10.12 исключен и рекомендации по определению упругих характеристик оснований перенесены в новый СП 267.1325800.2016 «Здания и комплексы высотные», где в п.8.1.4.5 при отсутствии экспериментальных данных «в запас» надежности рекомендуется использование модуля по ветви вторичного нагружения принимаемого $5E_0$ для всех грунтов по примечанию к методу послойного суммирования в п. 5.6.31 СП 22, т.е. $E_{dyn}=E_e=5E_0$ как в СП22.13330.2011 для скальных грунтов.

СНиП РК 2.03-30-2006/ СП РК 2.03-30-2017 «Строительство в сейсмических районах»

В редакции 2006 при отсутствии экспериментальных данных п.5.14 года допускал принимать в качестве динамического модуля упругости кратное значение статического модуля деформации, т.е. $E_{dyn}=10E_0$. В редакции 2017 года в п.5 Прил. Д допускается кратное увеличение E_0 . Однако с условием, что необходимо вариационное сравнение сейсмических эффектов в двух расчетных схемах с понижением жесткости основания в 1,5 раза в первой и увеличением на 1,5 раза во второй: $E_{dyn.min} \approx 7E_0$ и $E_{dyn.max} = 15E_0$.

СП 26.13330.2012 «Фундаменты машин с динамическими нагрузками»

В ст. 6.1 приводится «Честная» контактная динамическая модель однородного полупространства, «свернутого» в центр тяжести подошвы фундамента, в котором по 6-ти степеням свободы назначаются специальные одноузловые КЭ эквивалентной жесткости и демпфирования. Ст. 6.1 к единому основанию Винклера не применима, только к двум моделям с Cz и $2xCz$.



Динамические модели оснований для учета требований расчетов на сейсмические воздействия по СП 14.13330.2018 «Строительство в сейсмических районах» (Изменение №1 от 26.12.2019)

$$C_z = b_0 E \left(1 + \sqrt{\frac{A_{10}}{A_{\leq 200}}} \right) = 1,2 \cdot 1985 \cdot \left(1 + \sqrt{\frac{10}{99,5}} \right) = 3137 \text{ м} / \text{м}^2, \quad K_z = C_z A = 3137 \cdot 99,5 = 3,12 \cdot 10^5 \text{ м} / \text{м}$$

$$C_\tau = 0,7 \cdot C_z = 0,7 \cdot 3137 = 2196 \text{ м} / \text{м}^3 \quad K_\tau = C_\tau A = 2196 \cdot 99,5 = 2,19 \cdot 10^5 \text{ м} / \text{м}$$

$$C_\psi = C_z = 3137 = 3137 \text{ м} / \text{м}^3 \quad I_z = \beta \cdot B^3 \cdot L \quad K_{\psi Z} = C_\psi I_z = 3137 \cdot 1497 = 4,7 \cdot 10^6 \text{ м} \times \text{м}$$

$$C_\phi = 2 \cdot C_z = 2 \cdot 3137 = 6274 \text{ м} / \text{м}^3. \quad I_x = B^3 \cdot L / 12 \quad K_{\phi X} = C_\phi I_x = 6274 \cdot 515 = 3,23 \cdot 10^6 \text{ м} \times \text{м}$$

$$I_y = B \cdot L^3 / 12 \quad K_{\phi Y} = C_\phi I_y = 6274 \cdot 3280 = 20,58 \cdot 10^6 \text{ м} \times \text{м}$$

Эквивалентная узловая жесткость фундамента (Ильичев И.А. и др. Справочник геотехника. 2016):

$$K_z / 2 \quad b = \sqrt{2 \cdot K_\phi / K_z} \quad b_x = \sqrt{2 \cdot K_{\phi X} / K_z} = \sqrt{2 \cdot 3,23 \cdot 10^6 / 3,12 \cdot 10^5} = 4,55 \text{ м}$$

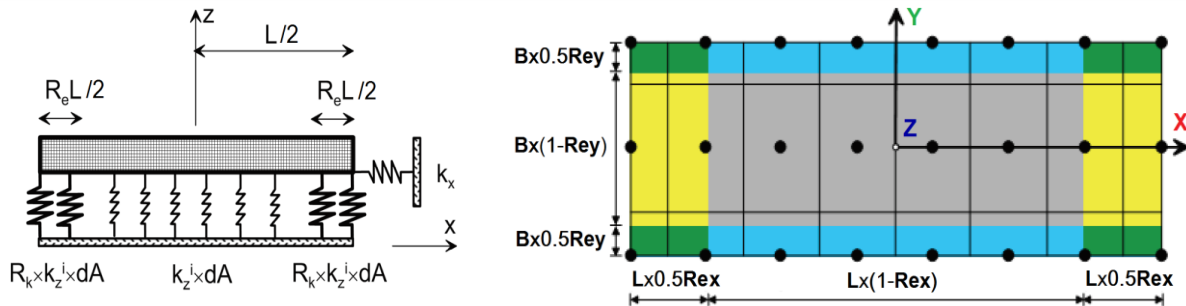
$$b_y = \sqrt{2 \cdot K_{\phi Y} / K_z} = \sqrt{2 \cdot 20,58 \cdot 10^6 / 3,12 \cdot 10^5} = 11,49 \text{ м}$$

СП 26.13330.2012 «Фундаменты машин с динамическими нагрузками»

В ст. 6.1 приводится «Честная» контактная динамическая модель однородного полупространства, «свернутого» в центр тяжести подошвы фундамента, в котором по 6-ти степеням свободы назначаются специальные одноузловые КЭ эквивалентной жесткости и демпфирования. Ст. 6.1 к единому основанию Винклера не применима, только к двум моделям с C_z и $2 \times C_z$.



Динамические модели оснований для учета требований расчетов на сейсмические воздействия по СП 14.13330.2018 «Строительство в сейсмических районах» (Изменение №1 от 26.12.2019)



$$C_{eZ}^i = k_z^i \times dA$$

$$R_{eX} = 0,571$$

$$R_{eY} = 0,212$$

$$R_{kX} = \frac{C_{\varphi X} / C_Z - (1 - R_{eX})^3}{1 - (1 - R_{eX})^3} = \frac{2 - (1 - 0,571)^3}{1 - (1 - 0,571)^3} = 2,09$$

$$R_{kY} = \frac{C_{\varphi Y} / C_Z - (1 - R_{eY})^3}{1 - (1 - R_{eY})^3} = \frac{2 - (1 - 0,212)^3}{1 - (1 - 0,212)^3} = 2,96$$

$$C_{\varphi X} = R_{kX} \times C_Z = 2,09 \times 3137 = 6543 \text{ m}^3$$

$$C_{\varphi Y} = R_{kY} \times C_Z = 2,96 \times 3137 = 9280 \text{ m}^3$$

$$C_{\varphi XY} = (C_{\varphi X} + C_{\varphi Y}) / 2 = 7911 \text{ m}^3$$

СП 26.13330.2012 «Фундаменты машин с динамическими нагрузками»

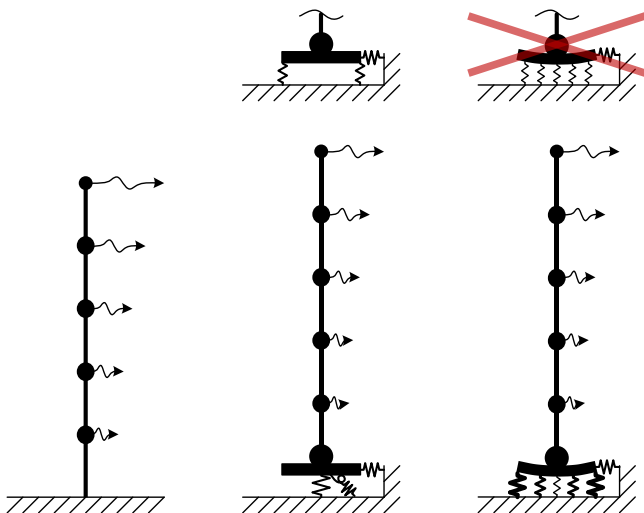
В ст. 6.1 приводится «Честная» контактная динамическая модель однородного полупространства, «свернутого» в центр тяжести подошвы фундамента, в котором по 6-ти степеням свободы назначаются специальные одноузловые КЭ эквивалентной жесткости и демпфирования. Ст. 6.1 к единому основанию Винклера не применима, только к двум моделям с C_z и $2 \times C_z$.



Методы моделирования сооружений совместно с основанием (Soil-Structure Interaction)

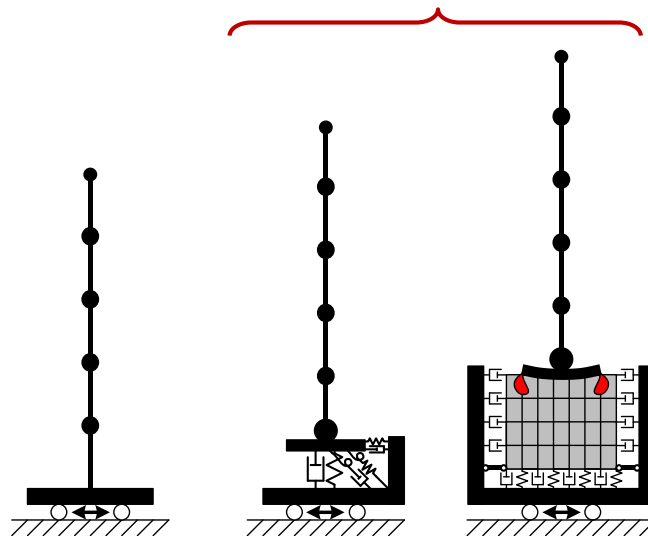
Мировая практика для особо-ответственных сооружений

СПЕКТРАЛЬНЫЙ МЕТОД



ПРЯМАЯ ДИНАМИКА

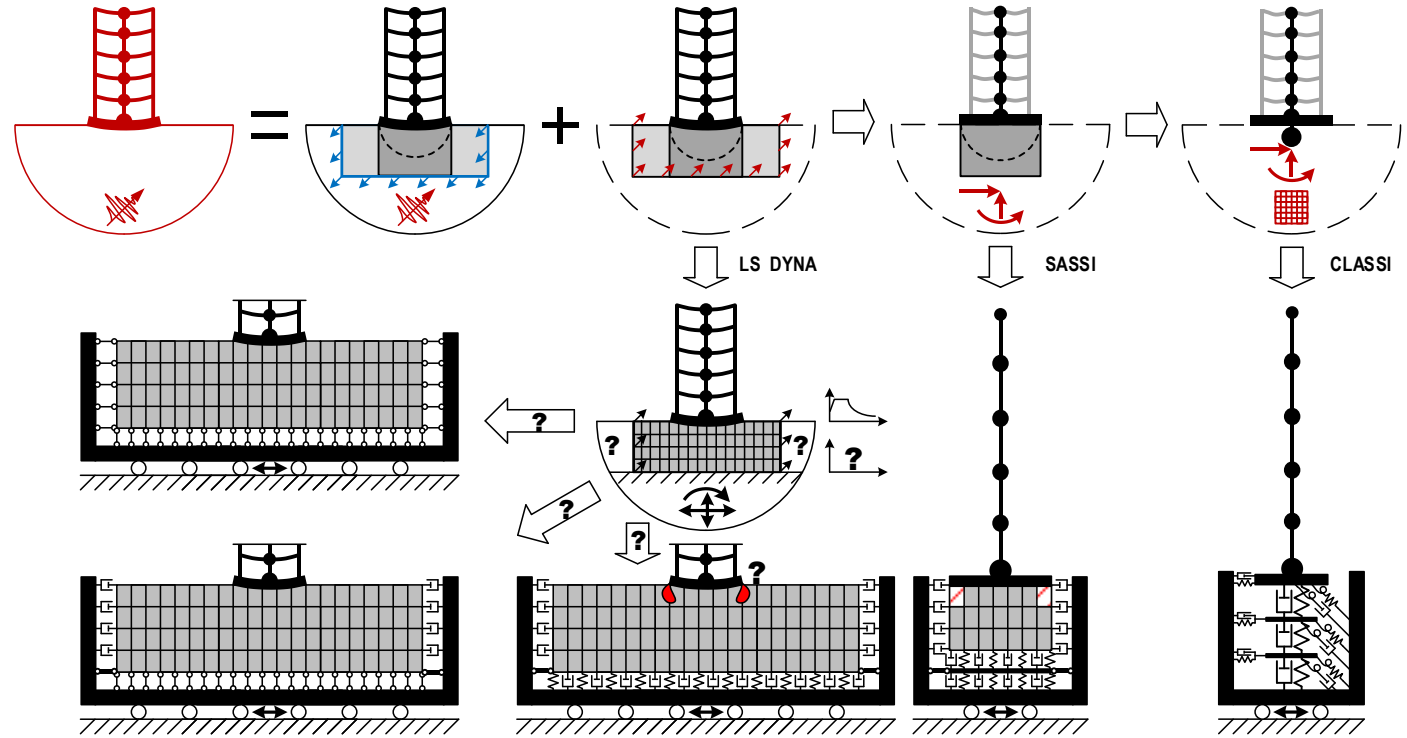
ASCE 4-16





Методы моделирования сооружений совместно с основанием (Soil-Structure Interaction)

Мировая практика для особо-ответственных сооружений





Требования к моделям сооружений совместно с основанием (Soil-Structure Interaction models)

Мировая практика, применяемая в объектах АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ



1. Критерий о необходимости учета SSI эффектов по **ASCE 4-16** с консервативным увеличением до 3.
2. Уточнение прямых динамических воздействий и перенос акселерограммы на отметку подошвы плитного или ростверка свайного фундамента по зависимостям **SHAKE** в «Редакторе акселерограмм»
3. Значимый период по спектру мощности в «Редакторе акселерограмм» **SCAD Office 21.1** для уточнения размеров КЭ и шага интегрирования для метода Ньюмарка $t_i \leq 0.1 T_{\min}$ по **ASCE 4-16**
4. Габариты прямой физической модели основания, размер КЭ и типы границ по **ASCE 4-16** для двух подходов моделирования в **SASSI/LS DYNA**
5. Учет с релиза **SCAD++ 21.1.7.3** (Март'18) во временной области многокомпонентного демпфирования как в **SASSI**.
6. Расчет сейсмической матрицы инерционных характеристик модели как жесткого целого по аналогии с экспортом из **ABAQUS** в **SASSI**.
7. Учет физической нелинейности в релизе **SCAD++ 21.1.9.3** (Март'19), с релиза **21.1.9.7** во временной области по аналогии с **ABAQUS**.

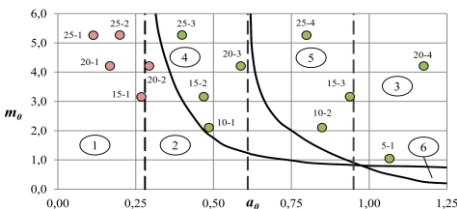
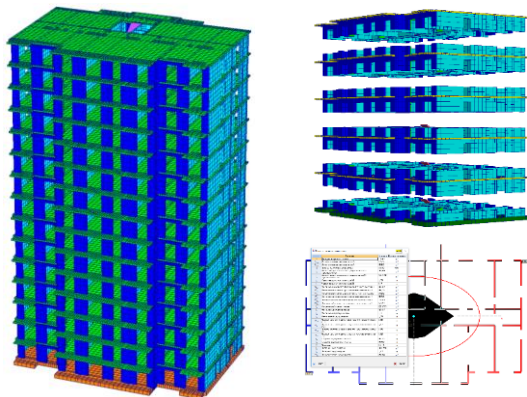


Проектно-вычислительный комплекс **SCAD Office версии 21.1**, включая модуль динамических расчетов, в 2017 году аттестован ФБУ «НТЦ ЯРБ» для применения в проектах ответственных сооружений атомной энергетики в т.ч. проходящих экспертизу в международном агентстве МАГАТЭ с пересчетом задач в **ABAQUS**

Реализация требований к SSI моделям

1. Критерий о необходимости учета SSI эффектов

Взаимодействие сооружения с основанием в динамике (Soil-Structure Interaction) это в первую очередь обратное влияние колебаний сооружения на колебания основания. К примеру, колебания тентового каркаса не существенны для скального основания.



Этажность	Osawa, Kitagawa, Iri			3D модель SCAD		
	ASCE 4-16	СП 26.13330	Савинов О.А.	ASCE 4-16	СП 26.13330	Савинов О.А.
Грунт 1						
5	+	+	-	+	+	+
10	+	+	+	+	+	+
15	-	-	-	-	-	-
20	-	-	-	-	-	-
25	-	-	-	-	-	-
Грунт 2						
5	+	+	+	+	+	+
10	+	+	+	+	+	+
15	+	+	+	+	+	+
20	-	-	-	-	-	-
25	-	-	-	-	-	-
Грунт 3						
5	+	+	+	+	+	+
10	+	+	+	+	+	+
15	+	+	+	+	+	+
20	+	+	+	+	+	+
25	+	+	+	+	+	+
Грунт 4						
5	+	+	+	+	+	+
10	+	+	+	+	+	+
15	+	+	+	+	+	+
20	+	+	+	+	+	+
25	+	+	+	+	+	+

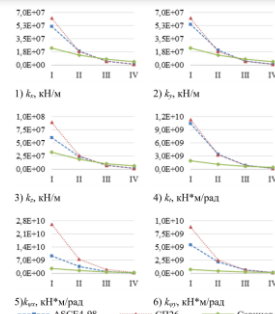


Рисунок 2. Сравнительный анализ эквивалентных жесткостей в центре абсолютно жесткой плиты по ASCE 4-16, СП 26.13330.2012 и О.А. Савинову

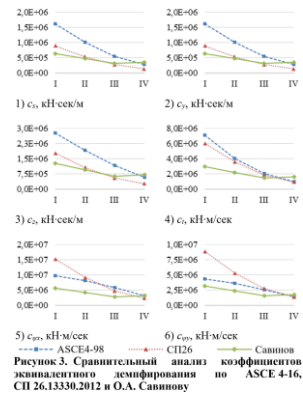
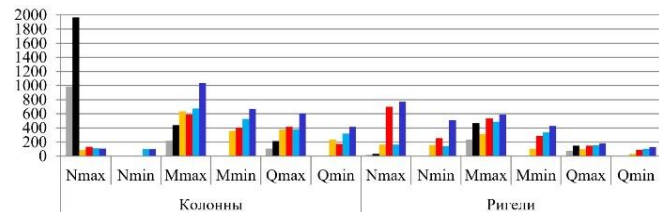
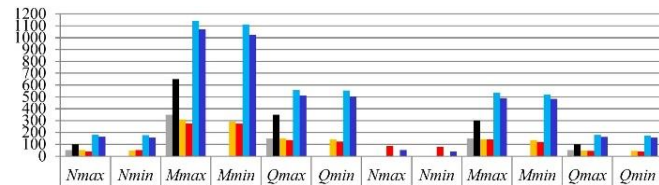
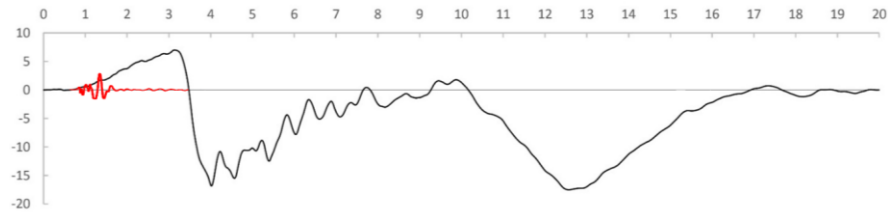
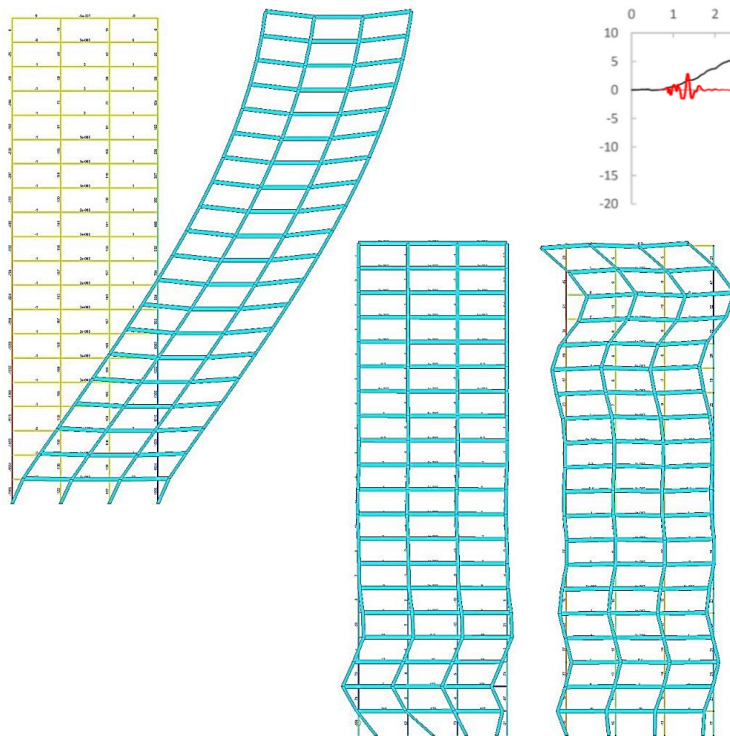


Рисунок 3. Сравнительный анализ коэффициентов эквивалентного демпфирования по ASCE 4-16, СП 26.13330.2012 и О.А. Савинову

Реализация требований к SSI моделям

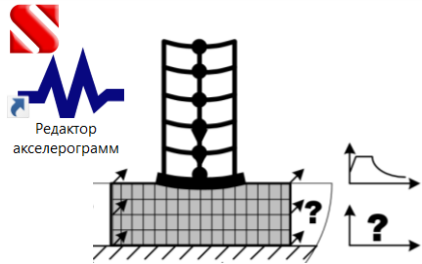
2.1. Уточнение воздействий в режиме прямой динамики



- Спектральный метод 6 баллов
- Спектральный метод 7 баллов
- Синхронный импульс
- Асинхронный импульс
- Синхронная сейсмограмма
- Асинхронная сейсмограмма

Реализация требований к SSI моделям

2.2. Уточнение воздействий на глубине



EARTHQUAKE ENGINEERING RESEARCH CENTER

SHAKE

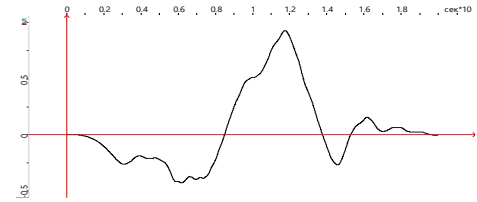
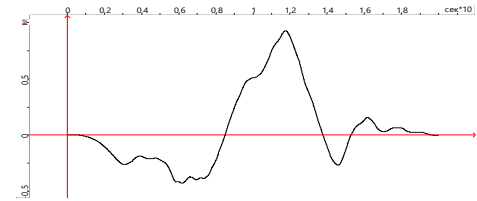
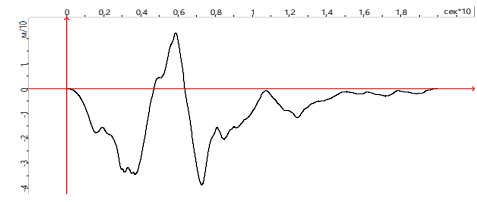
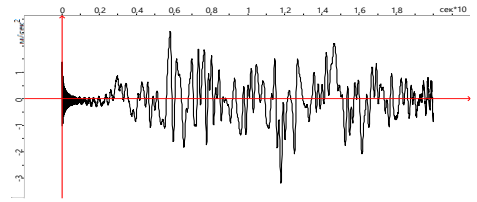
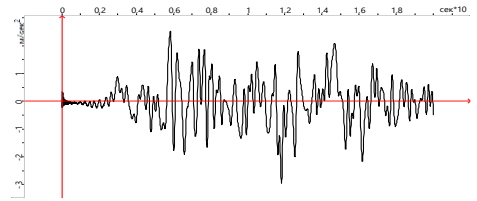
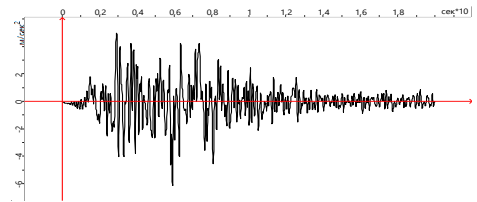
A COMPUTER PROGRAM FOR EARTHQUAKE RESPONSE ANALYSIS OF HORIZONTALLY LAYERED SITES

by
Per B. Schnabel
John Lysser
H. Bolton Seed

A Computer program distributed by
NISEE / Computer Applications

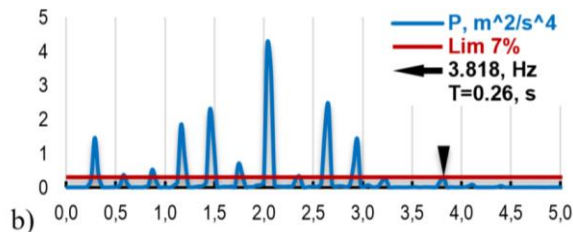
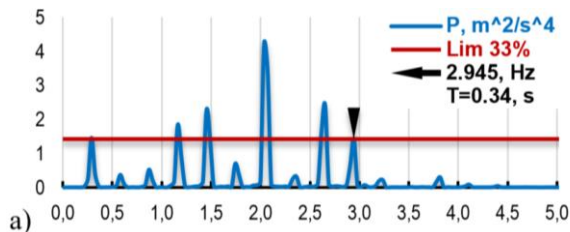
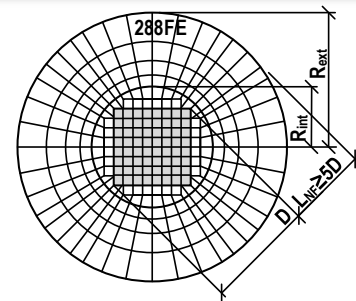
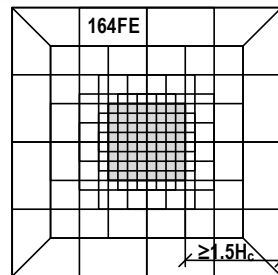
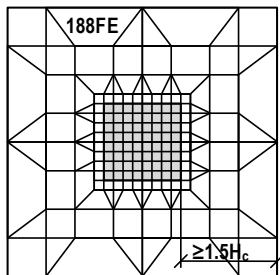
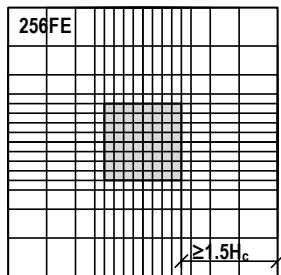
Report No. EERC 72 - 12
December 1972

College of Engineering
University of California
Berkeley, California



Реализация требований к SSI моделям

3. Значимый период для определения размера КЭ и шага интегрирования во временной области



$$L_{FEmax} = 0,125V_s T_{min}$$

$$L_{FEmin} = 0.33L_{FEmax}$$

$$L_{FEj} = L_{FEmax} [1 - j(0.667N^{-1})]$$

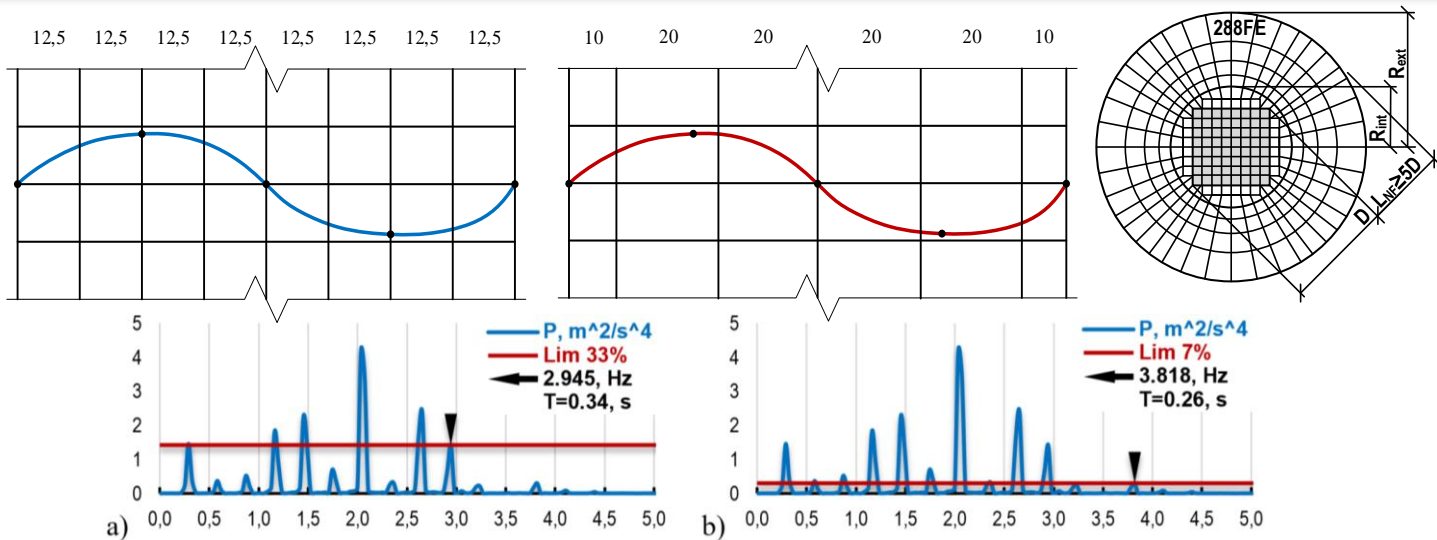
$$R_{int} = (NR_{FE}L_{FEmin})(2\pi)^{-1}$$

$$NL_{FE} \geq \frac{2(5.5D - R_{int})}{(L_{FEmax} + L_{FEmin})}$$

$$NR_{FE} \geq \pi(11D)L_{FEmax}^{-1}$$

Реализация требований к SSI моделям

3. Значимый период для определения размера КЭ и шага интегрирования во временной области



$$L_{FEmax} = 0,125V_s T_{min}$$

$$L_{FEmin} = 0.33L_{FEmax}$$

$$L_{FEj} = L_{FEmax} [1 - j(0.667N^{-1})]$$

$$R_{int} = (NR_{FE}L_{FEmin})(2\pi)^{-1}$$

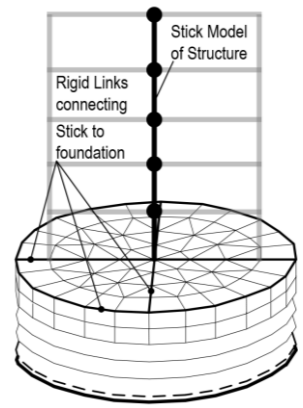
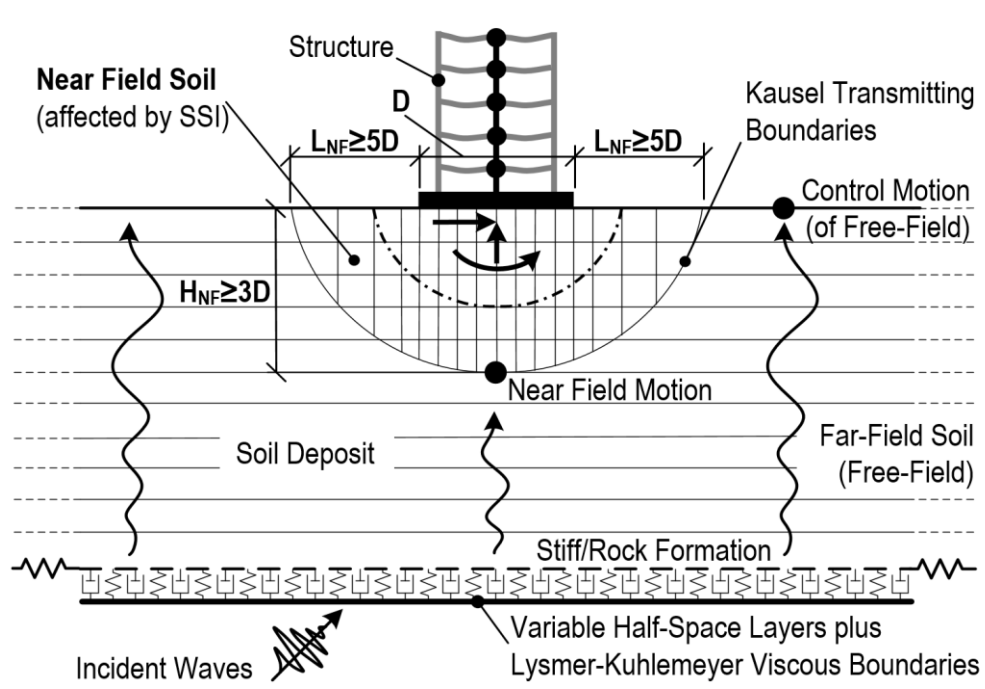
$$NL_{FE} \geq \frac{2(5.5D - R_{int})}{(L_{FEmax} + L_{FEmin})}$$

$$NR_{FE} \geq \pi(11D)L_{FEmax}^{-1}$$

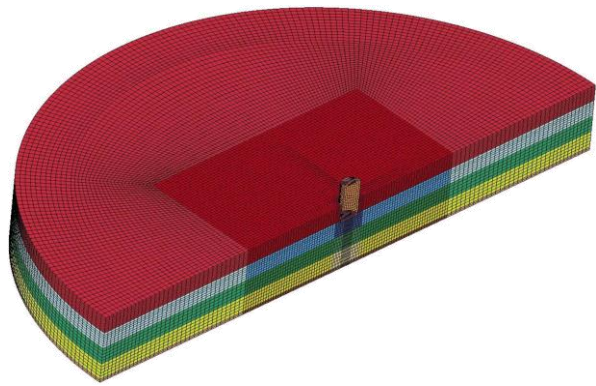
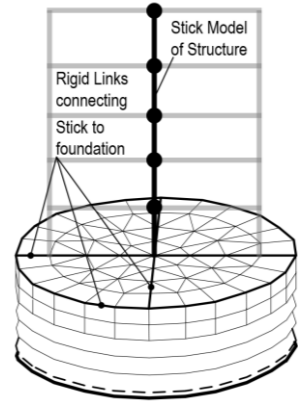
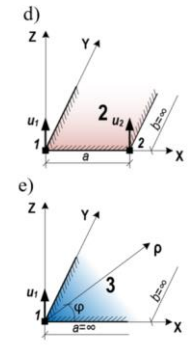
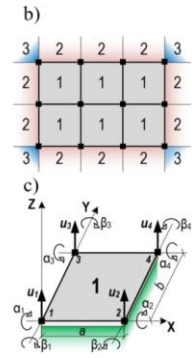
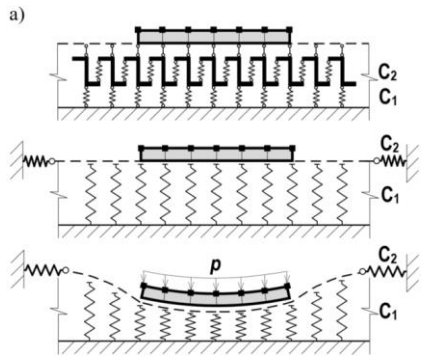
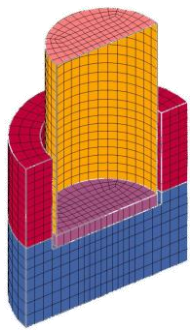
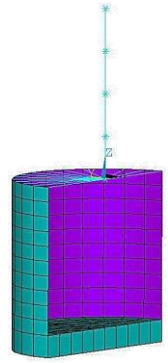


Реализация требований к SSI моделям

4. Габариты модели и типы границ в SASSI / LS DYNA



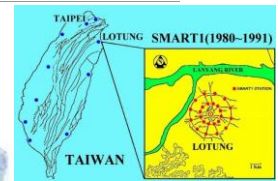
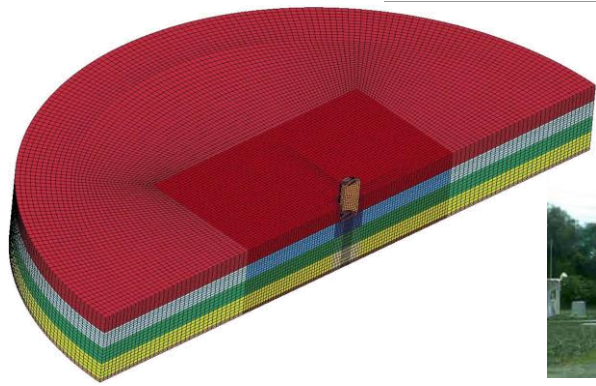
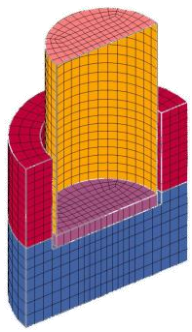
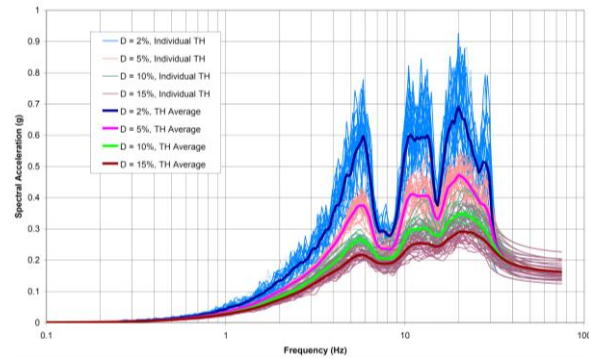
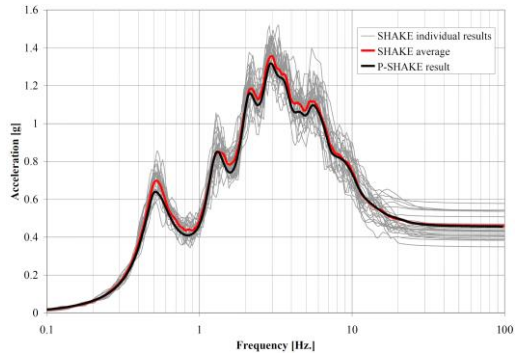
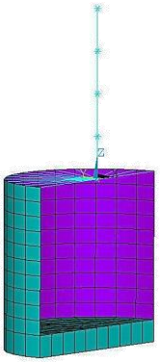
Реализация требований к SSI моделям
4. Габариты модели и типы границ в SASSI





Реализация требований к SSI моделям

4. Габариты модели и типы границ в SASSI / LS DYNA

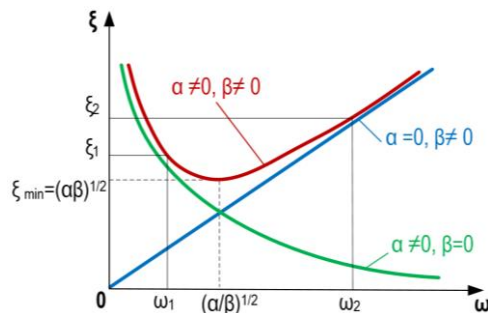




Реализация требований к SSI моделям

5. «Рэлеевское» или многокомпонентное демпфирование

$$[C] = \alpha[M] + \beta[K]$$

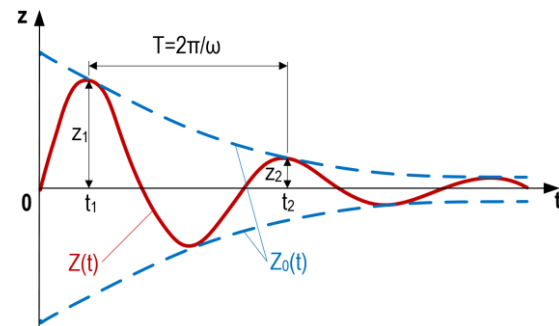


где $[M]$ – матрица массы, $[K]$ – матрица жесткости, α – постоянный инерционный коэффициент для описания зависимости демпфирования системы от узловых масс, β – постоянный коэффициент демпфирования системы в материалах конструкций пропорционально жесткости.

$$\alpha = \frac{2\omega_i\omega_n(\xi_i\omega_n - \xi_n\omega_i)}{\omega_n^2 - \omega_i^2}$$

$$\beta = \frac{2(\xi_n\omega_n - \xi_i\omega_i)}{\omega_n^2 - \omega_i^2}$$

$$\xi = \frac{1}{2} \left(\frac{\alpha}{\omega} + \beta\omega \right)$$



$$[C] = \sum_e \xi_e [P_e]^T [K_e] [P_e]$$

где $[K_e]$ – матрица жесткости конечного элемента e , $[P_e]$ – матрица перестановок, ξ_e – коэффициент относительного демпфирования в долях от критического из нормативной или справочной литературы.

Реализация требований к SSI моделям

6. Матрица инерционных характеристик модели

Пример переноса матрицы инерционных характеристик из центра тяжести модели в центр подошвы плиты для передачи в SASSI/CLASSI

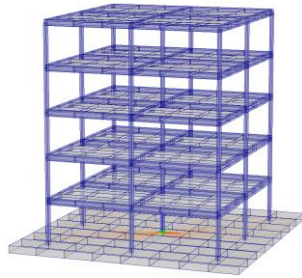
$$x_c := 0 \quad y_c := 0 \quad z_c := -5,876 - 0,25$$

$$I_{xx} := 125614325 \quad I_{yy} := 125614325 \quad I_{zz} := 44982400$$

$$I_{xy} := 0 \quad I_{xz} := 0 \quad I_{yz} := 0 \quad m := 1481450$$

$$T := \begin{bmatrix} 0 & z_c & -y_c \\ -z_c & 0 & x_c \\ y_c & -x_c & 0 \end{bmatrix} \quad MO_{04} := \begin{bmatrix} I_{xx} & I_{xy} & I_{xz} \\ I_{xy} & I_{yy} & I_{yz} \\ I_{xz} & I_{yz} & I_{zz} \end{bmatrix} \quad MO_{11} := \begin{bmatrix} m & 0 & 0 \\ 0 & m & 0 \\ 0 & 0 & m \end{bmatrix}$$

$$T^T \cdot MO_{11} \cdot T + MO_{04} = \begin{bmatrix} 181209997 & 0 & 0 \\ 0 & 181209997 & 0 \\ 0 & 0 & 44982400 \end{bmatrix}$$



Матрицы инерции

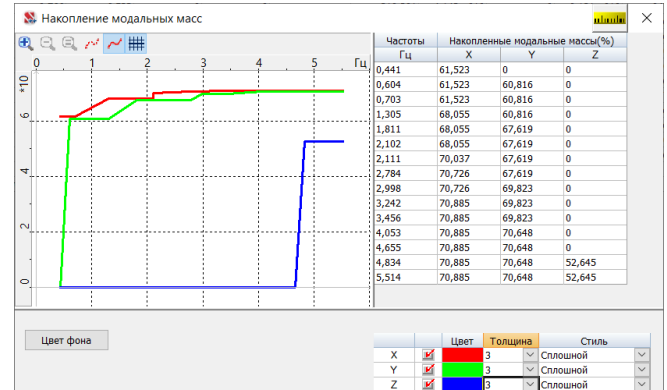
С учетом закреплений

1481450,001	0	0	0	9385875,009				
0	1481450,001		-9385875,009	0	-2,71e-010	0	1473025,001	0
0	0	1481450,001	1,601e-010	2,71e-010	0	0	0	1473025,001
0	-9385875,009	1,601e-010	125614325,112	4,948e-010	8,44e-010	0	-9385875,009	1,601e-010
9385875,009	0	2,71e-010	1,455e-010	125614325,112	-1,164e-009	9385875,009	0	2,71e-010
-1,601e-010	-2,71e-010	0	8,44e-010	-1,164e-009	44982400,027	-1,601e-010	-2,71e-010	0

Загружение: 3 Модальный анализ

Единицы измерения

	кг
	кг*м ²
	кг*м



Определение центра масс модели

Загружение		X	Y	Z
		М	М	М
L3	Модальный анализ	0	0	5,876



Инструментальные средства для геофизических изысканий и идентификации моделей

Требования нормативных документов для идентификации моделей конструкций и оснований

1. Построение¹ скоростных профилей ВЧР сейсмогрунтовой модели по **СП 14.13330 п.6.8** для уточнения ИГ изысканий и построения прямой КЭ физической модели основания по типу **SASSI/LS DYNA**
2. СМР и синтез акселерограмм при ДСР¹ по **СП 14.13330** ; измерение сейсмограмм² воздействий от техногенных сейсмических и промышленных динамических источников в радиусе **700 м** от проектируемого объекта по **СП 413.1325800 п. 4.1.11**
3. Определение² параметров демпфирования основания на стадии изысканий для уточнения прямой КЭ модели основания и ее верификации с моделью по **СП 26.13330 ст.6.1** на стадии проектирования
4. Контроль² динамической жесткости и демпфирования модели конструкций и верификация с **таб. 8.6 СП 14.13330.2018 изм.1** и **ГОСТ 34081 Прил.Ж** в процессе возведения до ввода в эксплуатацию



1 «СИНУС»

24-х канальная сеймостанция для СМР и ДСР, исследования ВЧР методом МПВ до глубины 50-70 м



ФГБУН Институт геофизики УрО РАН
г. Екатеринбург, ул. Амундсена, 100

2 «РЕГИСТР»

3-х канальный сейсморегистратор для исследования динамических характеристик конструкций и оснований методом анализа микросейсм



ЛАБОРАТОРИЯ
СЕЙСМОМЕТРИИ



Джордж Бокс:

*«**Все модели ошибочны, но некоторые из них полезны.***

*Ошибочность не страшна, если модель **правдоподобна.***

*Правдоподобная **модель становится полезной,***

если ее параметры откалибровать

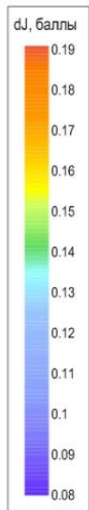
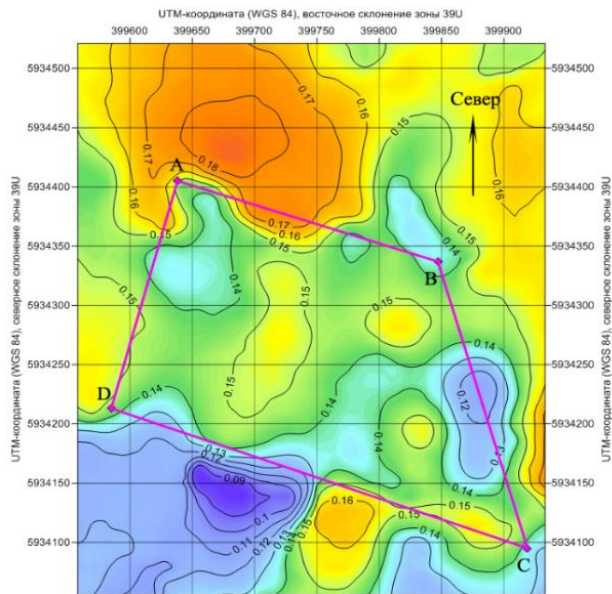
по экспериментальным данным,

получив закон, формулу или алгоритм».



Инструментальные средства для геофизических изысканий и идентификации моделей

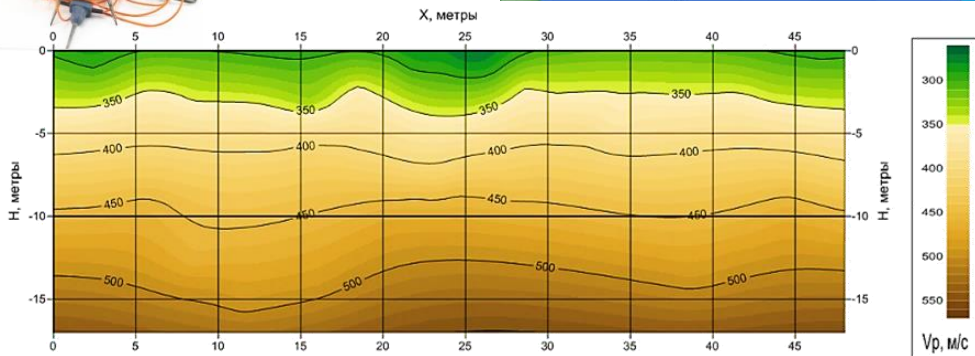
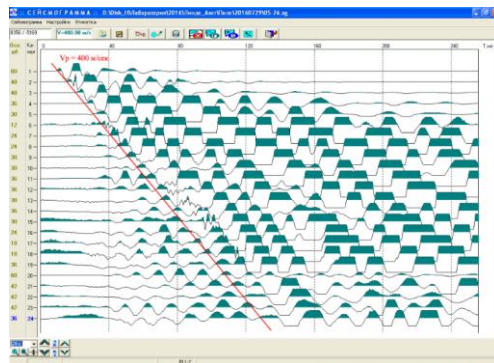
1.1 Сейсмическое микрорайонирование и детальное сейсмическое районирование по СП 283 и СП 286





Инструментальные средства для геофизических изысканий и идентификации моделей

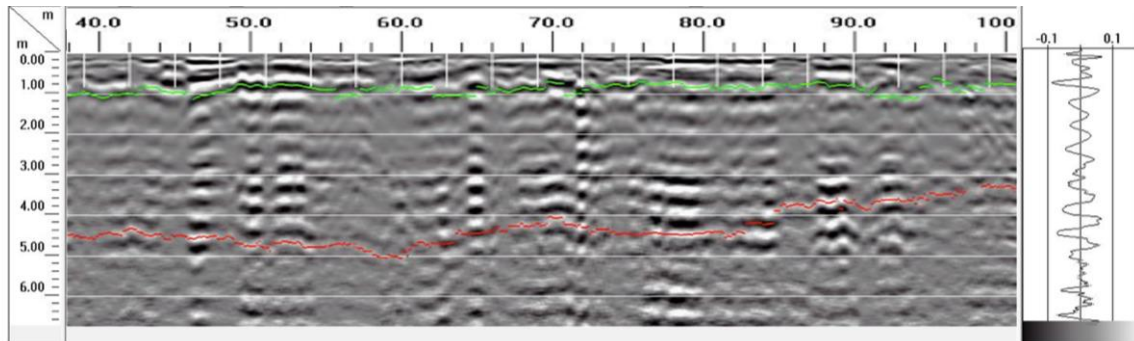
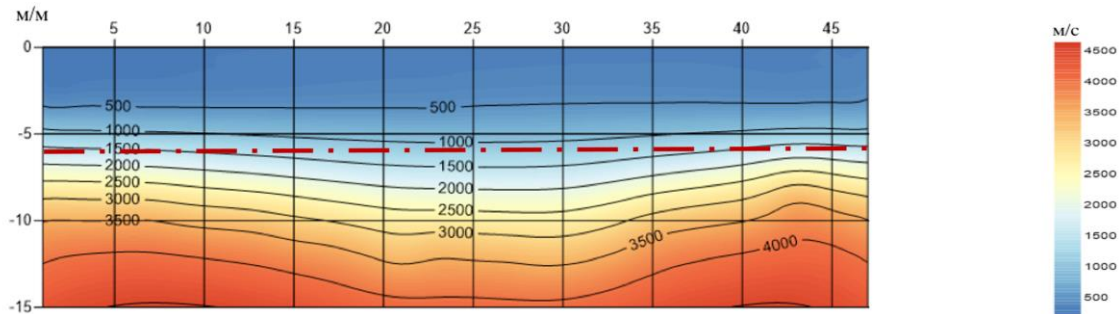
1.2 Сейсмопрофилирование ВЧР для задач СМР до глубины 70 м по СП 14.13330.2018 Изм.1





Инструментальные средства для геофизических изысканий и идентификации моделей

1.2 Сейсмопрофилирование ВЧР для задач СМР по сравнению с георадарным исследованием



$$E_{dyn} = 2 V_s^2 (1 + \nu)$$

$$G = V_s^2 \rho$$

$$\nu = \frac{1 - 2(V_s/V_p)^2}{2 - 2(V_s/V_p)^2}$$



Инструментальные средства для геофизических изысканий и идентификации моделей

1.3 Определение физико-механических характеристик сейсмоакустическими методами по СП283/446



СП 22.13330.2016 и СП РК 2.03-30-2017

$$\Delta > 3 \text{ раз: } E_{dyn} = 5 \div 15 E_0$$

СП 283.1325800.2016 Правила сейсмического районирования

$$\Delta > ?? \%: E_0 = 10^{1,67 \lg V_s - 2,58}$$

Методические рекомендации по определению состава, состояния и свойств грунтов сейсмоакустическими методами. ЦНИИС – М.: 1985

$$\Delta > 10\%: E_{dyn} = 2 V_s^2 (1 + \nu) = V_p^2 \rho \frac{(1+\nu)(1-2\nu)}{1-\nu}; \quad \nu = \frac{1-2(V_s/V_p)^2}{2-2(V_s/V_p)^2}; \quad G = V_s^2 \rho$$

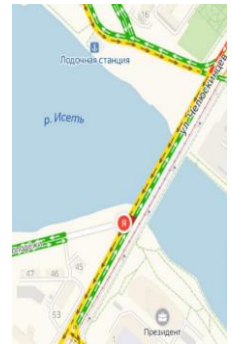
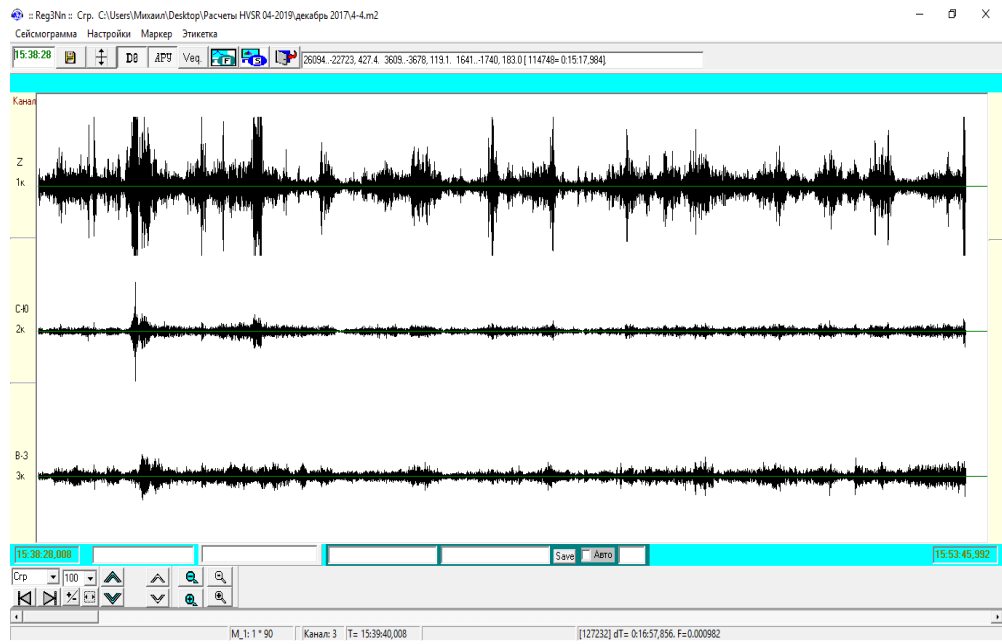
№	Типы грунтов	Районы	Уравнения связи E_0 и E_{dyn}	R _{kv}	Пределы прим.	Авторы
Несвязные и слабосвязные грунты						
1	Валунно-галечный аллювий с супесчано-суглинистым заполнителем (неводонасыщенный)	Все районы СНГ	$E_0 = 10^{1,99 - \lg E_{dyn} - 3,66}$	-	$200 \leq E_0 \leq 480$	В. Е. Лавров
2	Щебенистые грунты (щебень тальк-хлоритовых сланцев)	Все районы СНГ	$E_0 = 0,1 E_{dyn} - 16$	-	$15 \leq E_0 \leq 130$	В. И. Бондарев
3	Сухие и неводонасыщенные пески	Западная Сибирь, Свердловская обл.	$E_0 = 0,116 E_{dyn} - 4,7$	0,92	$18 \leq E_0 \leq 66$	В. И. Бондарев
4	Пески неводонасыщенные	Все районы СНГ	$E_0 = 0,085 E_{dyn} + 3$	0,84	$15 \leq E_0 \leq 60$	В. Н. Агеев
5	Пески неводонасыщенные	Все районы СНГ	$E_0 = 0,01425 V_p + 0,1985 V_s - 27$	0,85	$15 \leq E_0 \leq 60$	В. И. Бондарев
6	Пески водонасыщенные	Все районы СНГ	$E_0 = 0,445 E_{dyn} + 3,1$	0,94	$6,4 \leq E_0 \leq 80,7$	В. Н. Агеев
7	Пески водонасыщенные	Все районы СНГ	$E_0 = 0,15175 E_{dyn} - 18,9$	0,92	$6,4 \leq E_0 \leq 80,7$	В. И. Бондарев
8	Пески водонасыщенные	Все районы СНГ	$E_0 = 2,261 \cdot 10^{-4} V_s^2 + 4,2$	0,93	$6,4 \leq E_0 \leq 80,7$	В. И. Бондарев
Связные грунты						
9	Четвертичные суглинки неводонасыщенные	Средняя полоса Европейской части СНГ	$E_0 = 0,0362 E_{dyn} + 2,6$	-	$5 \leq E_0 \leq 16$	О. П. Аникин
10	Четвертичные суглинки неводонасыщенные	Средняя полоса Европейской части СНГ	$E_0 = 0,0736 V_p + 0,0562 V_s - 3,7$	-	$5 \leq E_0 \leq 16$	О. П. Аникин
11	Суглинки	Татарстан	$E_0 = 0,33 E_{dyn} + 6,5$	-	-	И. Г. Миндель
12	Лессы и лессовидные суглинки	Юг Украины	$E_0 = 0,045 E_{dyn} + 7$	0,81	$8 \leq E_0 \leq 57$	И. Г. Миндель
13	Суглинки коры выветривания	Среднеамурская впадина и ее обрамление	$E_0 = 10^{0,57 \cdot 10^{-6} V_p^2 + 2,42}$	0,84	$5 \leq E_0 \leq 8$	В. В. Казанцев
14	Суглинки верхних террас р. Амур	Среднеамурская впадина и ее обрамление	$E_0 = 10^{0,51 \cdot 10^{-6} V_p^2 + 2,50}$	0,83	$5 \leq E_0 \leq 76$	В. В. Казанцев
Несвязные и связные грунты						
15	Песчано-глинистые грунты неводонасыщенные	Урал, Западная Сибирь	$E_0 = 0,1076 E_{dyn} - 1,9$	0,90	$5 \leq E_0 \leq 37$	В. И. Бондарев
16	Песчано-глинистые грунты неводонасыщенные	Урал, Западная Сибирь	$E_0 = 0,154 V_s - 12$	0,85	$6 \leq E_0 \leq 32$	В. И. Бондарев
17	Песчано-глинистые грунты неводонасыщенные	Урал, Западная Сибирь	$E_0 = 0,116 E_{dyn} - 4,2$	0,93	$4,5 \leq E_0 \leq 62$	В. И. Бондарев
18	Песчано-глинистые грунты естественной влажности	Ростовская обл.	$E_0 = 0,064 E_{dyn} + 3,5$	0,91	$5 \leq E_0 \leq 65$	Е. С. Григорчук
19	Песчано-глинистые грунты	Юг Украины	$E_0 = 0,1 e^{V_p / (0,126 V_p + 31)}$	-	$2 \leq E_0 \leq 90$	В. Е. Василевский
20	Песчано-глинистые грунты неводонасыщенные	Все районы СНГ	$E_0 = 0,0936 E_{dyn} + 0,4$	0,89	$4,5 \leq E_0 \leq 62$	В. И. Бондарев



Инструментальные средства для геофизических изысканий и идентификации моделей

1.4 Измерение сейсмограмм динамических воздействий с помощью 3-компонентной станции «РЕГИСТР»

Инструментальное обследование колебаний поверхности грунта на площадке строительства и **на расстоянии до 700 м** от внутренних и внешних источников воздействий (техногенных сейсмических и промышленных динамических) по СП 413.1325800 п. 4.1.11

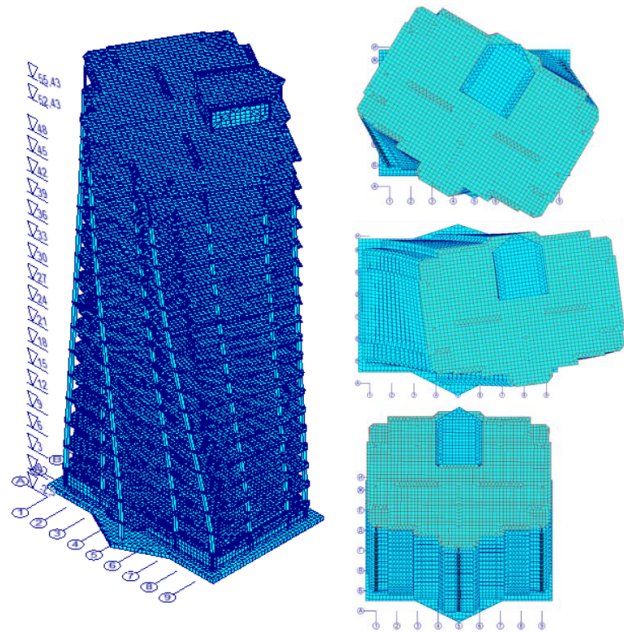




Инструментальные средства для геофизических изысканий и идентификации моделей

1.5 Контроль динамических характеристик моделей SCAD с помощью 3-компонентной станции «РЕГИСТР»

Определение параметров демпфирования основания на стадии изысканий для уточнения прямой КЭ модели основания. Контроль динамической жесткости и демпфирования конструкций **В ПРОЦЕССЕ** возведения и **ДО** ввода в эксплуатацию по **ГОСТ 34081**.

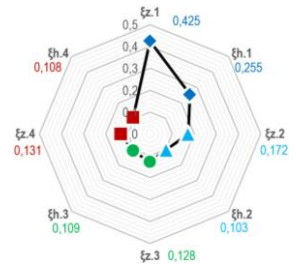
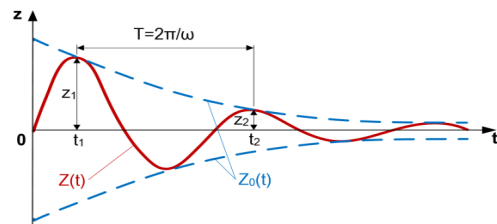
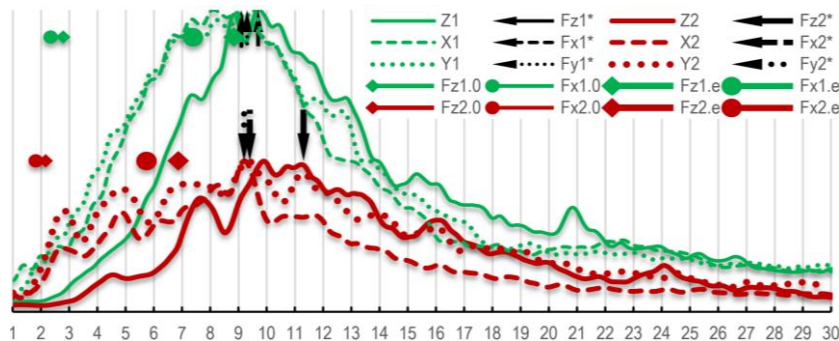
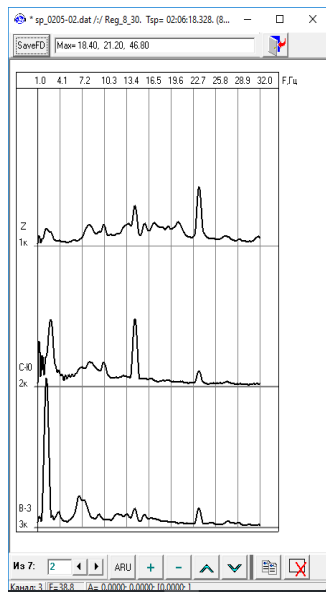
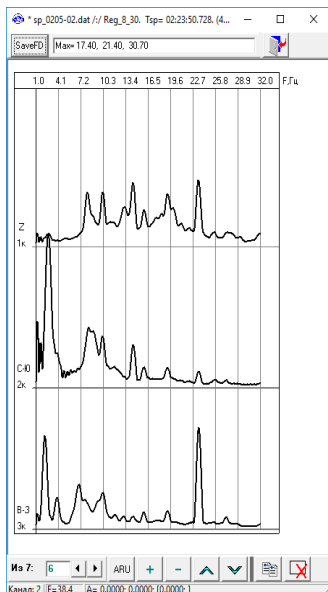




Инструментальные средства для геофизических изысканий и идентификации моделей

1.5 Контроль динамических характеристик моделей SCAD с помощью 3-компонентной станции «РЕГИСТР»

Определение параметров демпфирования основания на стадии изысканий для уточнения прямой КЭ модели основания. Контроль динамической жесткости и демпфирования конструкций **В ПРОЦЕССЕ** возведения и **ДО** ввода в эксплуатацию по **ГОСТ 34081**.



ДИНАМИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ОСНОВАНИЙ В РАСЧЕТАХ ПО СП 14.13330/22.13330/26.13330 С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ SCAD OFFICE 21.1.9.7

Михайлов Виктор Сергеевич / mvs@scadsoft.ru

Руководитель центра научно-технической поддержки «SCAD SOFT Новосибирск»

Научный руководитель:

к.т.н. **Нуждин Леонид Викторович**, профессор НГАСУ, ПНИПУ



**СПАСИБО
ЗА ВНИМАНИЕ!**