

НОВАЯ ВЕРСИЯ
ЛИРА 10.8



Возможности расчетов на сейсмические воздействия в программном комплексе ЛИРА 10.8

Гераймович Ю.Д.

17 мая 2018 г.
lira-soft.com

Уравнения движения

Расчет на динамические воздействия основан на решении системы дифференциальных

$$Mu''(t) + Cu'(t) + Ku(t) + F(t) = 0, \quad (1)$$

с начальными условиями $u(0), \dot{u}(0)$,

где $u(t)$ – искомый вектор перемещений, M, C, K – соответственно матрицы масс, демпфирования и жесткости расчетной модели рассматриваемой конструкции, $F(t)$ – вектор динамических нагрузок, действующих на конструкцию в момент времени t .

При расчете на сейсмические воздействия предполагается, что внешние динамические нагрузки отсутствуют

$F(t) = 0$, а к искомым перемещениям добавлены перемещения $\gamma s(t)$, вызванные движением земной поверхности, где γ – вектор направляющих косинусов сейсмического воздействия, $s(t)$ – заданный закон движения земной поверхности (сейсмограмма землетрясения).

В этом случае система дифференциальных уравнений (1) принимает вид

$$M(u(t) + \gamma s(t))'' + C(u(t) + \gamma s(t))' + K(u(t) + \gamma s(t)) = 0. \quad (2)$$

Обозначим $a(t) = s''(t)$ ускорение земной поверхности (акселерограмму землетрясения) и предположим, что $K\gamma s(t) = C\gamma s'(t) = 0$. Условие $K\gamma s(t) = 0$ говорит о том, что перемещение конструкции как жесткого целого не вызывает внутренних напряжений. Второе условие $C\gamma s'(t) = 0$ не так очевидно, но если предположить, что затухание незначительное, то оно вполне оправдано. С учетом выше сказанного, получим аналогичную (1) систему уравнений для расчета на заданную акселерограмму землетрясения

$$Mu''(t) + Cu'(t) + Ku(t) + M\gamma a(t) = 0, \quad (3)$$

внешняя нагрузка в этом случае равна $F(t) = M\gamma a(t)$.

Методы решения задач на сейсмические воздействия

Методы решения задач на сейсмические воздействия

1. Метод поперечной силы

2. Спектральный метод с использованием модального анализа

3. Прямое интегрирование уравнений движения

4. Нелинейный статический метод (Pushover Analysis)

Школы сейсмостойкого строительства стран бывшего Советского Союза не развивали первый и четвертый методы

Метод поперечной силы по EN 1998-1:2004

Этот метод расчета применяется к зданиям, реакция которых в значительной степени зависит от основной формы колебаний в каждом главном направлении.

Здания должны удовлетворять следующим условиям:

- периоды колебаний T_1 в двух основных направлениях меньше следующих значений

$$T_1 = \begin{cases} 4 \cdot T_C \\ 2.0 \text{ сек} \end{cases}$$

где T_C — верхний период постоянного спектрального ускорения;

- здания отвечают критериям регулярности по высоте, приведенным в 4.2.3.3.

Сейсмическая сила сдвига в основании F_b для каждого горизонтального направления, по которому проводится расчет здания, определяется по следующей формуле

$$F_b = S_d(T_1) \cdot m \cdot \lambda,$$

где

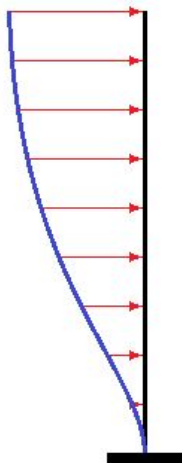
$S_d(T_1)$ — ордината горизонтального расчетного спектра при периоде T_1 ;

T_1 — основной период колебаний здания в рассматриваемом поперечном направлении;

m — полная масса здания над фундаментом или над верхом жесткого основания, вычисленная в соответствии с 3.2.4(2);

λ — поправочный коэффициент; $\lambda = 0,85$, если $T_1 \geq 2 \cdot T_C$ и здание имеет более двух этажей; $\lambda = 1,0$ — во всех других случаях.

Распределение горизонтальных сейсмических сил

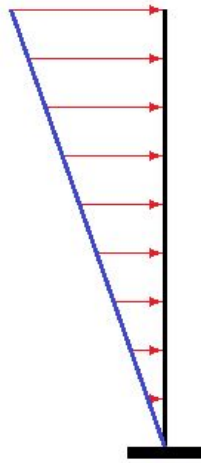


По основной форме
собственных колебаний

$$F_i = F_b \cdot \frac{s_i \cdot m_i}{\sum_{j=1}^n (s_j \cdot m_j)}$$

По горизонтальному
смещению, линейно
возрастающему по
высоте здания

$$F_i = F_b \cdot \frac{z_i \cdot m_i}{\sum_{j=1}^n (z_j \cdot m_j)}$$



где

F_i — горизонтальная сила, действующая на i этаж;

F_b — сейсмическая сила сдвига в основании;

s_i — смещение массы m_i по основной форме колебаний;

m_i — масса i этажа, рассчитанная в соответствии с 3.2.4(2)

z_i — высота массы m_i над уровнем приложения сейсмического воздействия (фундамент или верх жесткого основания)

Спектральный метод с использованием модального анализа

Для определения частот и форм собственных колебаний решается частичная проблема собственных значений

$$K \cdot \Phi = M \cdot \Phi \cdot \Omega.$$

Формы собственных колебаний нормируются по матрице масс

$$\Phi^T \cdot M \cdot \Phi = E,$$

$$\Phi^T \cdot K \cdot \Phi = \Omega, \quad \Omega = \text{diag}[\omega_i^2].$$

Решение ищется в виде

$$u(t) = \Phi \cdot y(t).$$

Если матрица демпфирования удовлетворяет условиям ортогональности

$$\Phi^T \cdot C \cdot \Phi = \text{diag}[2 \cdot \xi_i \cdot \omega_i],$$

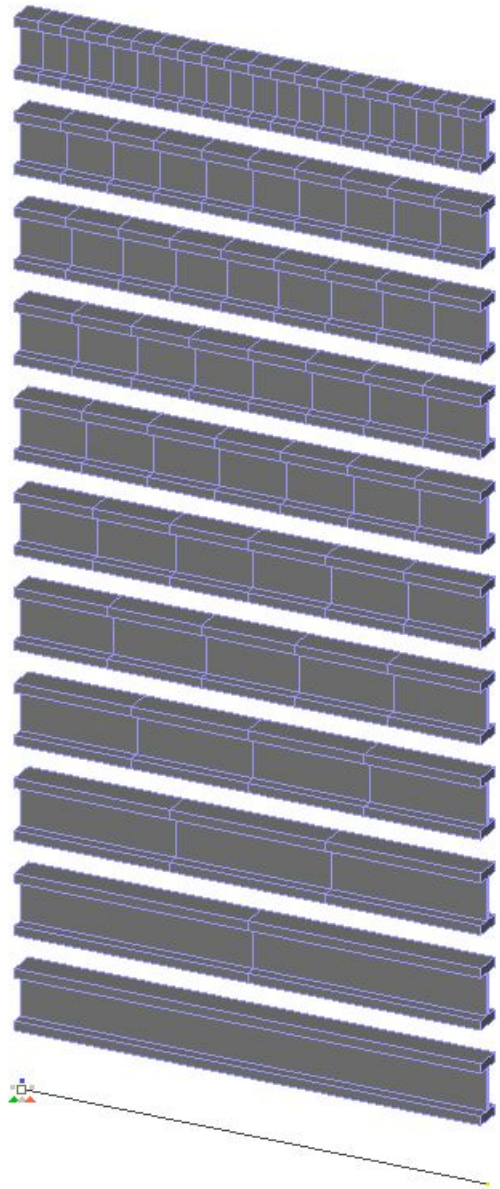
то система уравнений

$$M \cdot u''(t) + C \cdot u'(t) + K \cdot u(t) + F(t) = 0$$

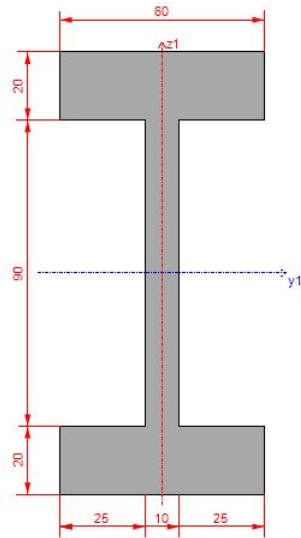
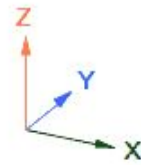
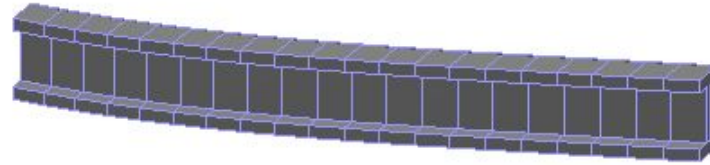
в базисе из форм собственных колебаний распадется на отдельные уравнения

$$y_i''(t) + 2 \cdot \xi_i \cdot \omega_i \cdot y_i'(t) + \omega_i^2 \cdot y_i(t) + \Phi^T \cdot F(t) = 0.$$

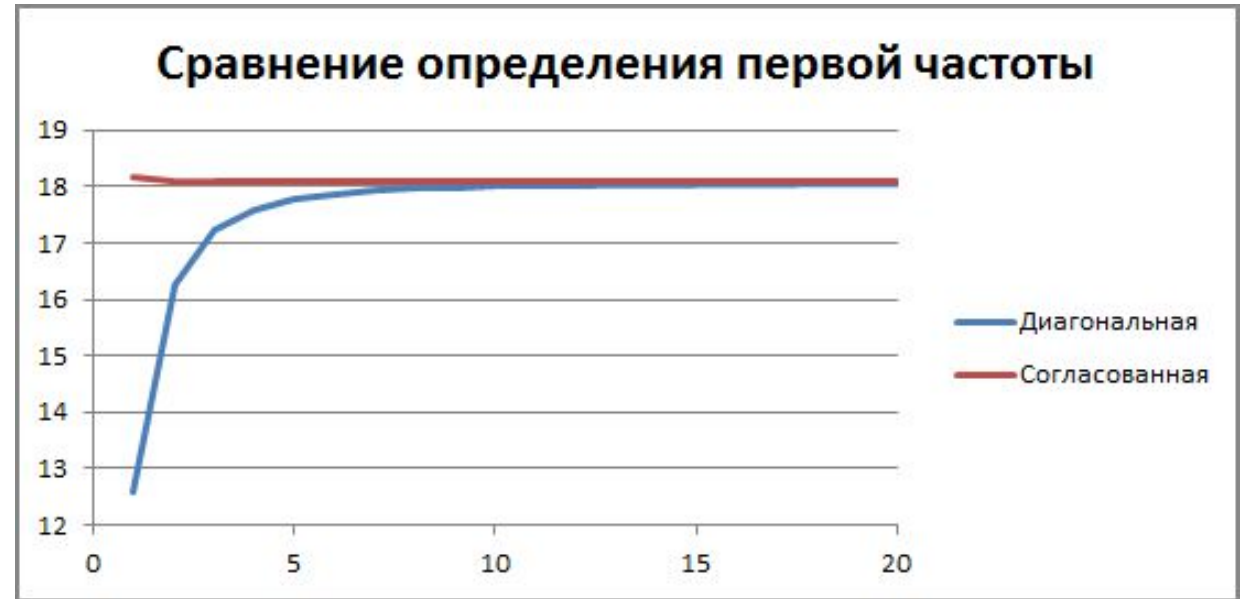
Сравнение определения первой частоты



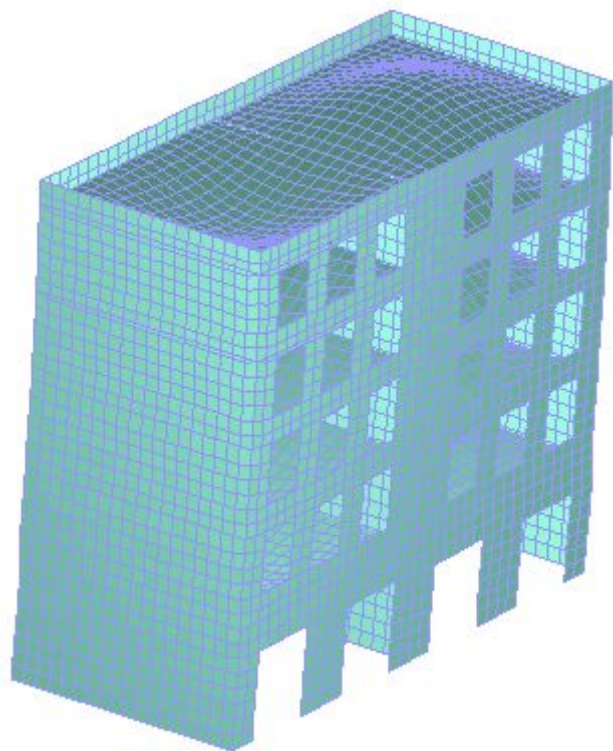
1.1. Форма 1
 Массы собраны из: плотность
 Частота: 18.078 (Рад/с)



Число разбиений стержня	Частота при использовании матрица масс, Рад/с	
	диагональной	согласованной
1	12.6	18.163
2	16.236	18.086
3	17.211	18.079
4	17.583	18.078
5	17.761	18.078
6	17.859	18.078
7	17.919	18.078
8	17.958	18.078
9	17.985	18.078
10	18.004	18.078
20	18.066	18.078



Конструкция, у которой
 существенный вклад дает
 только 9 форма



9
 форма

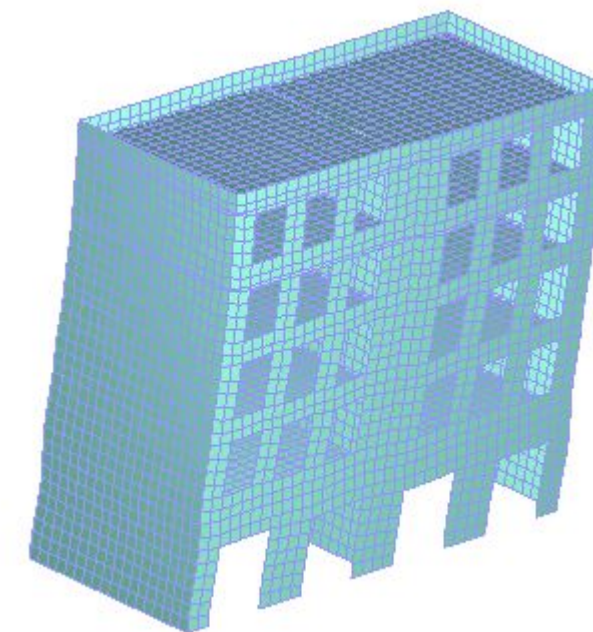
Изменение первой частоты
 составило

Модальная масса (%)
0.183121
0.0117072
0.792005
4.76912
6.64576
0
0
0
0
68.8447
0

Конденсация масс



Результат
 применения
 конденсации масс



1
 форма

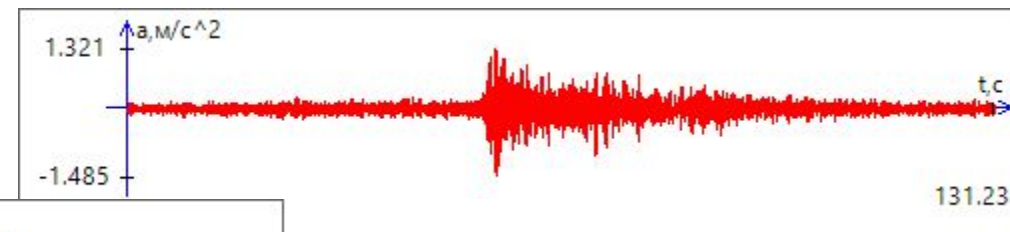
Модальная масса (%)
81.0158
0
0
2.00589
0
0.957866
11.1211
0
0
0

$$\frac{65.279 - 64.891}{65.279} \cdot 100\% = 0.59\%$$

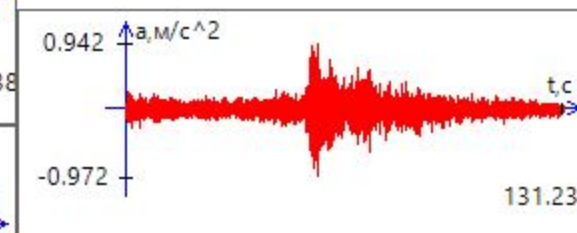
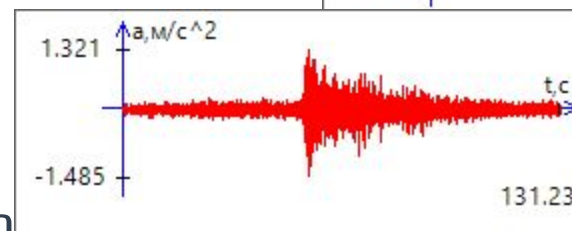


Дополнительные модули расчета на сейсмические воздействия, реализованные в ПК ЛИРА 10.8

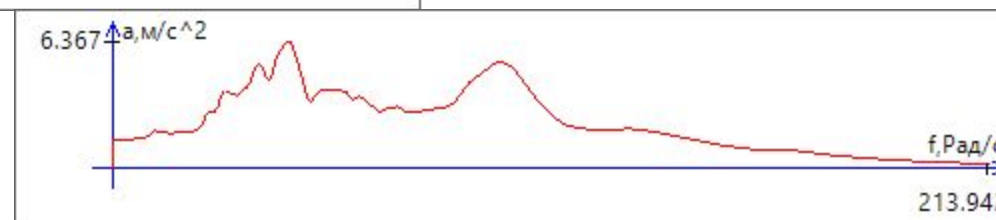
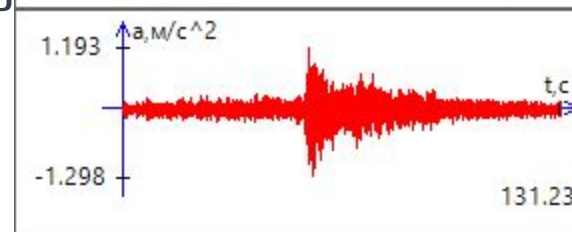
Модуль 27 – сейсмическое воздействие по однокомпонентной акселерограмме



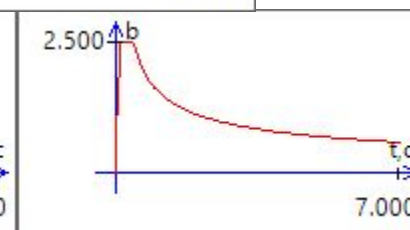
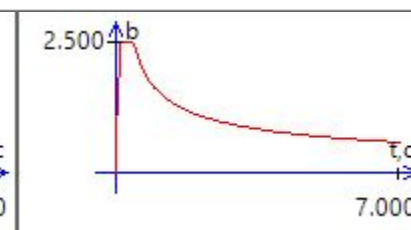
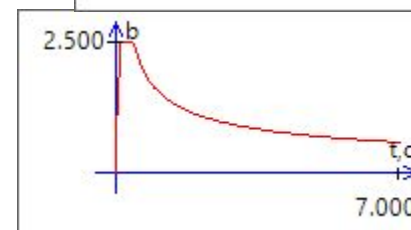
Модуль 29 – сейсмическое воздействие по трехкомпонентной акселерограмме



Модуль 41 – сейсмическое воздействие по спектру реакции одномассового осциллятора



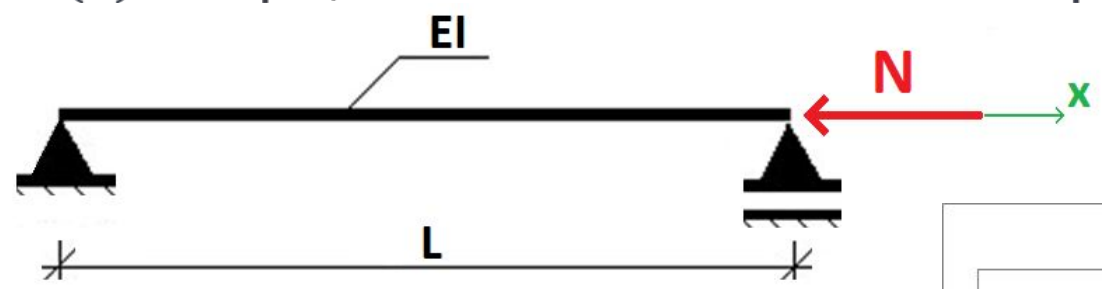
Модуль 60 – сейсмическое воздействие по трехкомпонентным графикам спектрального коэффициента динамичности



Модальный анализ выполняется на основе уравнения

$$K_{all} \cdot \varphi_i = \omega_i^2 \cdot M \cdot \varphi_i, \quad K_{all} = K + K_g + K(u),$$

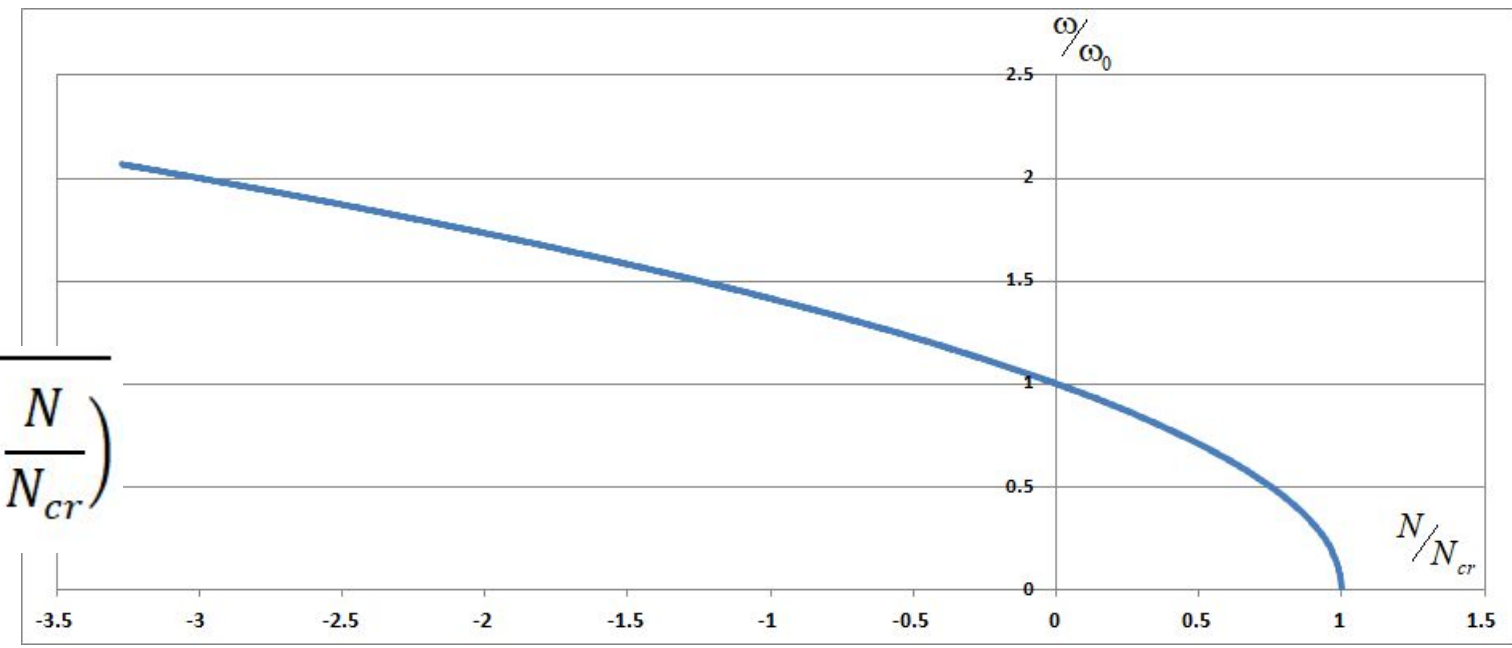
где K – обычная матрица жесткости, K_g – геометрическая матрица жесткости, зависящая от приложенных нагрузок и $K(u)$ – матрица жесткости нелинейной части тензора деформаций



Собственная частота ненагруженной балки
Собственная частота с учетом продольной силы

$$\omega_0 = \frac{\pi^2}{L^2} \sqrt{\frac{E \cdot I}{\rho \cdot F}}$$

$$\omega = \omega_0 \sqrt{\left(1 - \frac{N}{N_{cr}}\right)}$$



$$\Gamma_i = \frac{(\gamma^T \cdot M \cdot \varphi_i)^2}{(\varphi^T \cdot M \cdot \varphi)(\gamma^T \cdot M \cdot \gamma)} \cdot 100\%$$

M – матрица масс,

φ_i – i -тая форма собственных колебаний,

γ – вектор направляющих косинусов сейсмического воздействия

Нормативный документ	Требуемый процент вклада модальной массы	
	горизонтальные	вертикальные
СП 14.13330.2014	90	75
ДСТУ Н EN 1998-1:2010	90	90
ДБН В.1.1-12:2014	85	75
СНиП КР 20-02:2009	90	75

Процент вклада модальной массы - доля массы сооружения, участвующей в динамической реакции по определенной форме колебаний при заданном направлении сейсмического воздействия

Что стоит за строкой в протоколе расчета?

```
12:21 68_ форма 2. Направляющие косинусы поступательного движения
из условия максимума динамической реакции
1.00000 0.00000 0.00000
```

Расчет на заданную акселерограмму землетрясения основан на решении системы дифференциальных уравнений

$$Mu''(t) + Cu'(t) + Ku(t) + M\gamma a(t) = 0,$$

В базисе из форм собственных колебаний, при условии, что матрица демпфирования удовлетворяет условиям ортогональности система уравнений распадется на отдельные

$$y_i''(t) + 2 \cdot \xi_i \cdot \omega_i \cdot y_i'(t) + \omega_i^2 \cdot y_i(t) + \Phi^T \cdot M \cdot \gamma \cdot a(t) = 0.$$

При постоянной частоте и параметре затухания максимальная реакция будет при максимуме $\Phi^T \cdot M \cdot \gamma$

$$\gamma \rightarrow \max[\Phi^T \cdot M \cdot \gamma]$$

Метод суммирования корень квадратный из суммы квадратов
SRSS (Square Root of the Sum of the Squares)

$$F = \sqrt{\sum_{i=1}^m (f_i^2)}$$

Метод полной квадратичной комбинации
CQC (Complete Quadratic Combination)

f_i — модальный фактор, соответствующий i -той форме

ρ_{ij} — коэффициент корреляции между двумя формами

m — количество форм колебаний

Коэффициент корреляции для CQC метода при неизменном параметре демпфирования, $\xi = const$ определяется как

$$\rho_{ij} = \frac{8 \cdot \xi^2 \cdot (1 + r_{ij}) \cdot r_{ij}^{\frac{3}{2}}}{(1 - r_{ij}^2)^2 + 4 \cdot \xi^2 \cdot r_{ij} \cdot (1 + r_{ij})^2}$$

$r_{ij} = \frac{\omega_i}{\omega_j}$ — отношение частот i -той и j -той форм собственных колебаний

Прямое интегрирование уравнений движения

Аппроксимация
ускорений

$$u''(t) = \frac{u(t + \Delta t) - 2 \cdot u(t) + u(t - \Delta t)}{\Delta t^2}$$

Аппроксимация
скоростей

$$u'(t) = \frac{u(t + \Delta t) - u(t - \Delta t)}{2 \cdot \Delta t}$$

Аппроксимация
перемещений

$$u(t) = \frac{u(t + \Delta t) + u(t - \Delta t)}{2}$$

После подстановки и выражения перемещений в момент времени $u(t + \Delta t)$, получим

$$\left[\frac{M}{\Delta t^2} + \frac{C}{2 \cdot \Delta t} + \frac{K}{2} \right] \cdot u(t + \Delta t) = -F(t) + \frac{2 \cdot M}{\Delta t^2} u(t) - \left[\frac{M}{\Delta t^2} - \frac{C}{2 \cdot \Delta t} + \frac{K}{2} \right] \cdot u(t - \Delta t)$$

$$C = \alpha \cdot M + \beta \cdot K$$

Коэффициенты α и β находятся из решения системы двух уравнений

$$\varphi_i^T \cdot C \cdot \varphi_i = 2 \cdot \xi_i \cdot \omega_i,$$

$$\varphi_i^T \cdot C \cdot \varphi_i = \alpha \cdot \varphi_i^T \cdot M \cdot \varphi_i + \beta \cdot \varphi_i^T \cdot K \cdot \varphi_i,$$

$$\varphi_i^T \cdot M \cdot \varphi_i = 1, \quad \varphi_i^T \cdot K \cdot \varphi_i = \omega_i^2$$

$$\begin{cases} \alpha + \beta \cdot \omega_1^2 = 2 \cdot \xi_1 \cdot \omega_1, \\ \alpha + \beta \cdot \omega_2^2 = 2 \cdot \xi_2 \cdot \omega_2. \end{cases}$$

Полагая, что параметры затухания одинаковы

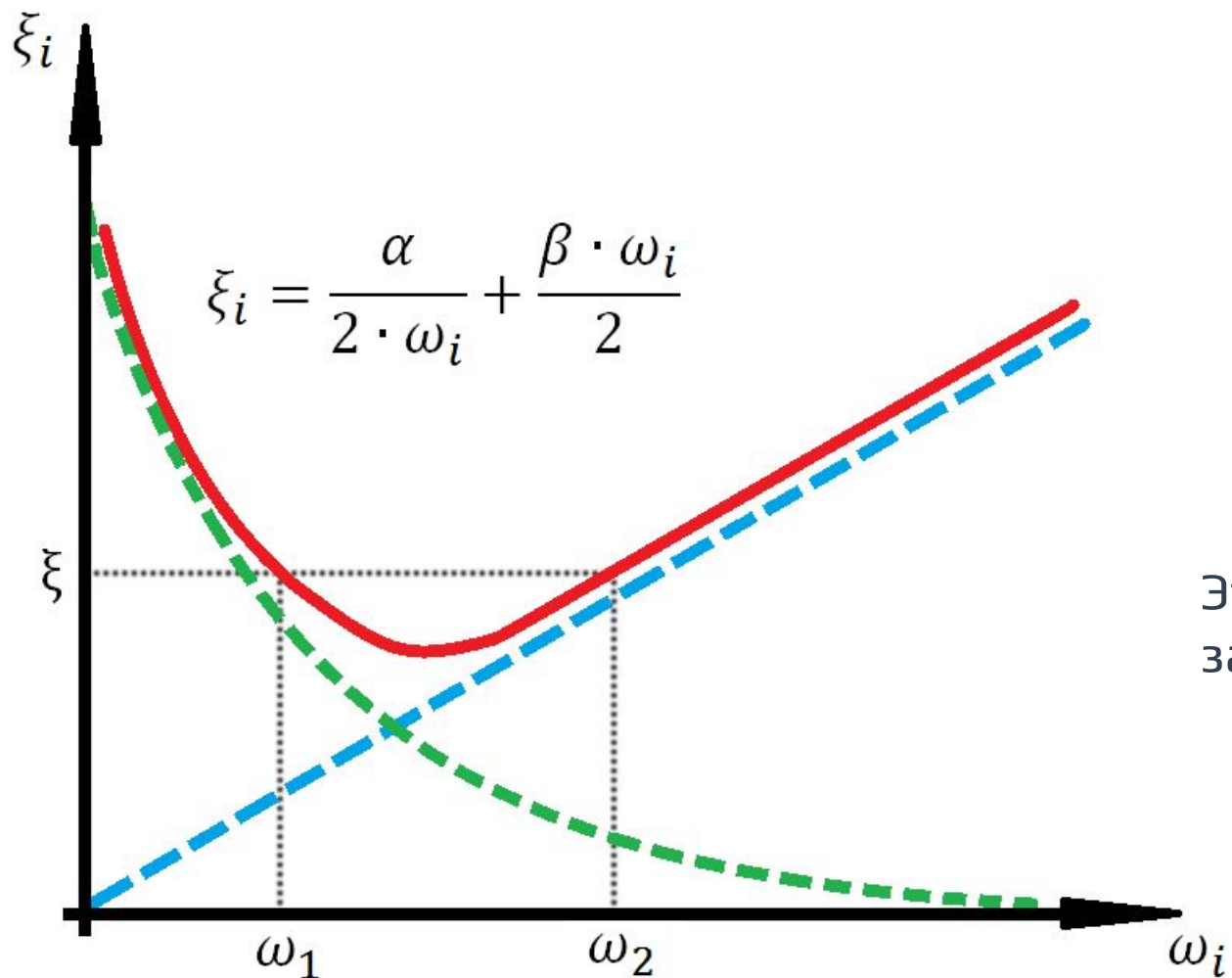
$$\xi_1 = \xi_2 = \xi.$$

Получим следующие выражения для коэффициентов α и β

$$\alpha = \frac{2 \cdot \xi \cdot \omega_1 \cdot \omega_2}{\omega_1 + \omega_2} \text{ — характеризует инерционное демпфирование}$$

$$\beta = \frac{2 \cdot \xi}{\omega_1 + \omega_2} \text{ — характеризует конструкционное демпфирование}$$

Параметр затухания ξ_i изменяется с частотой



Для описания затухания используются следующие величины:

Ψ – коэффициент поглощения,

δ – логарифмический декремент затухания (колебаний),

γ – коэффициент неупругого сопротивления,

ξ – коэффициент затухания (демпфирования), относительное затухание (демпфирование), параметр затухания.

Эти четыре параметра связаны следующей зависимостью

$$\gamma = \frac{\Psi}{2 \cdot \pi} = \frac{\delta}{\pi} = \frac{2 \cdot \xi}{\sqrt{1 - \xi^2}}$$

Моделирование связями Моделирование КЭ неотражающих границ

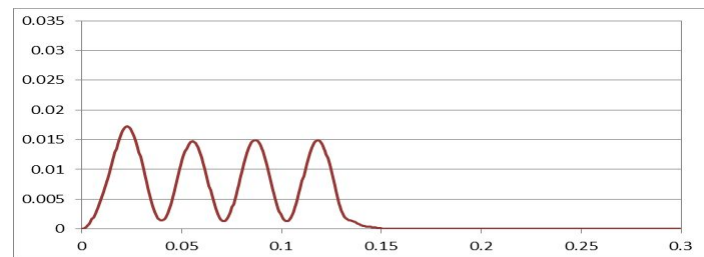
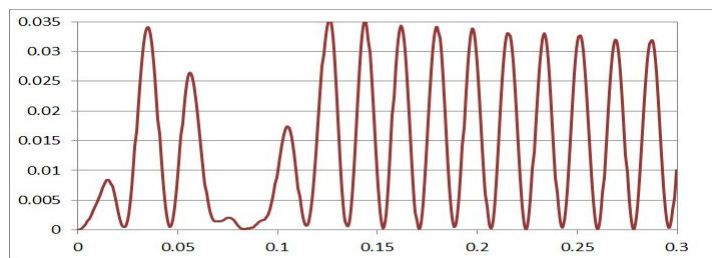
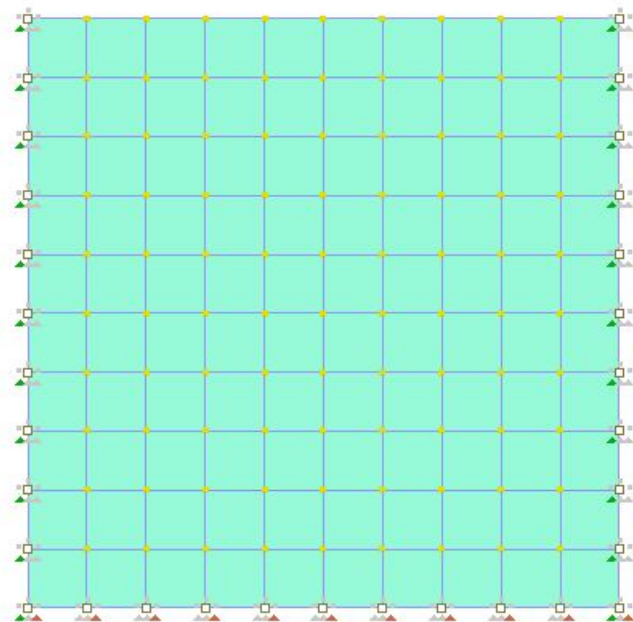
Неотражающие граничные условия задаются в виде:

$$\sigma_n = c_n \cdot \rho \cdot u'_n,$$

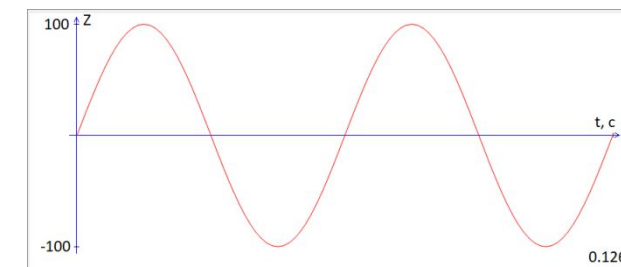
$$\sigma_\tau = c_\tau \cdot \rho \cdot u'_\tau,$$

где c_n, c_τ — скорости продольной и поперечной волн,
 ρ — плотность грунта

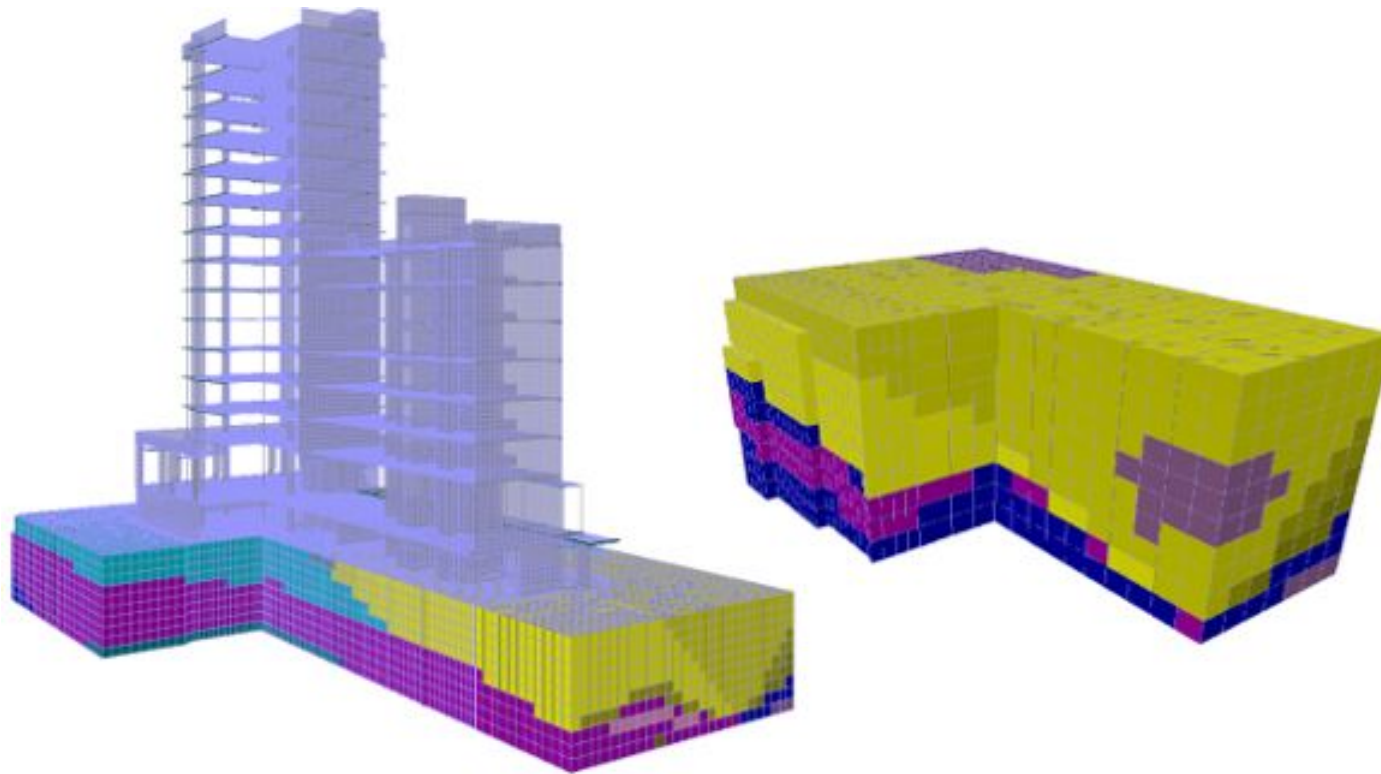
2... Динамика во времени
 Массы собраны из: плотность
 Распределение $Y=0$



Приложенная нагрузка



Актуальность проблемы взаимодействия сооружения с грунтом состоит в том, что даже первоначальные, достаточно грубые, модели этой задачи приводят к тому, что учет податливости основания существенным образом влияют на характер напряженно-деформированного состояния сооружения



Расчет на сейсмограмму землетрясения

$$Mz''(t) + Cz'(t) + Kz(t) = 0$$

В результате получаем
абсолютные перемещения
конструкции

$$z(t) = u(t) + \gamma s(t)$$

Расчет на сейсмограмму
землетрясения позволяет учесть
скорость распространения
сейсмической волны. Эффект от
скорости распространения
ожидать следует в протяженных
конструкциях



Расчет на акселерограмму землетрясения

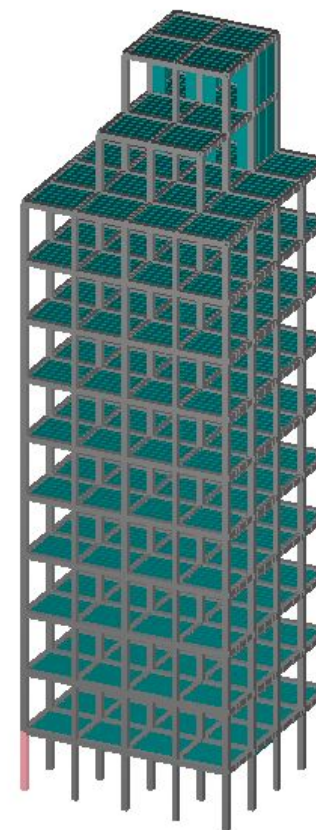
$$a(t) = s''(t)$$

$$Mu''(t) + Cu'(t) + Ku(t) + M\gamma a(t) = 0$$

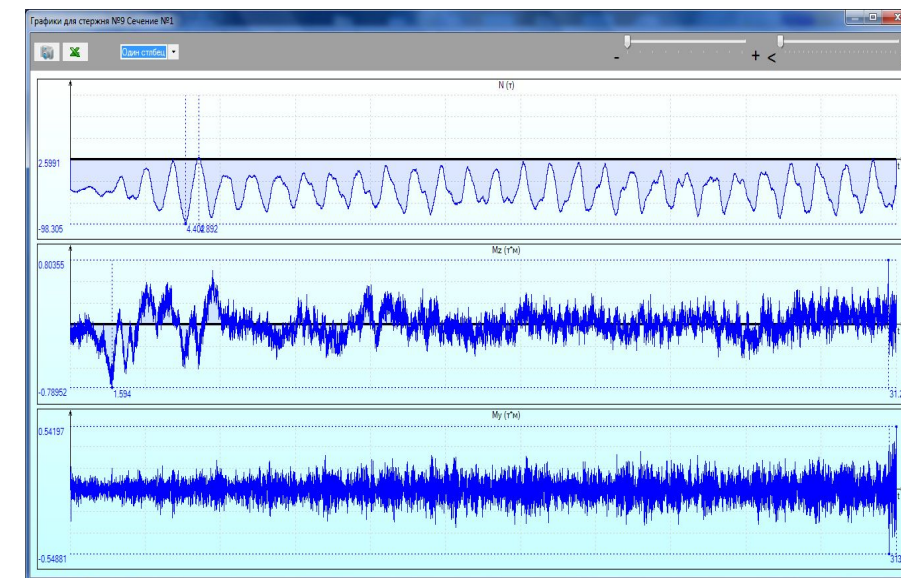
В результате получаем относительные
перемещения конструкции



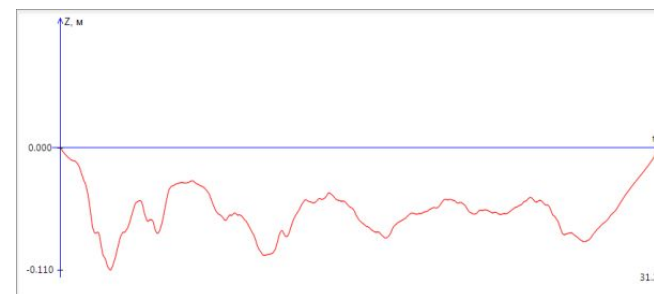
Анимация стадий монтажа



Сейсмограмма



После окончания процесса возведения здания выполняется расчет по динамике во времени, например, на сейсмограмму землетрясения.



Новые изгибаемые физически нелинейные конечные элементы, основанные на теории упруго-пластичности

Стержневые

КЭ	КЭ	КЭ	КЭ	КЭ
50	50	50	50	51
1	2	4	5	0

Пластинчатые

Тонкой оболочки

КЭ	КЭ	КЭ	КЭ	КЭ
54	54	54	54	55
1	2	3	4	0

Толстой оболочки

КЭ	КЭ	КЭ	КЭ	КЭ
54	54	54	54	54
5	6	7	8	9

Нелинейный статический метод (Pushover Analysis)

Pushover_410.fep* 1.1. Стадия нелинейного нагружения

Вид и выбор Редакторы и конструирование Добавить Правка Назначение Расчет Анализ и документирование

Редактор сечений/ жесткостей Редактор материалов Редактор нагрузжений Редактор конструирования Редактор грунта Новый вид Назначить сечение, материал, конструирование Конструктивные элементы Раскрепление для прогибов Группы элементов Продавливание Пов. несущей способности

Файл Вид Выбор Расчет Редакторы Конструирование Схема Назначение Правка Анализ Документирование Сервис Контроль Справка

Головный вид Загрузки

Добавить загрузку Добавить сочетание PCS/PCN (Не использовать) Импорт загрузжений

Сейсмика с разложением по собственным формам колебаний для задач определения спектра несущей способности: Сейсмика с разложением по собственным формам колебаний (Сейсмика с разложением по собственным

Имя Сейсмика с разложением по собственным формам колебаний

Описание

Параметры частичной проблемы собственных значений

Количество форм	10	Матрица масс	Согласованная
-----------------	----	--------------	---------------

Выберите расчетный модуль

- (44) Сейсмическое воздействие по EN 1998-1:2004 (Eurocode 8)
- (27) Сейсмическое воздействие по однокомпонентной акселерограмме
- (36) Сейсмическое воздействие по ДБН В.1.1-12:2014 (Украина)
- (44) Сейсмическое воздействие по EN 1998-1:2004 (Eurocode 8)
- (55) Сейсмическое воздействие по СТО НИУ МГСУ 2015 (Российская Федерация)

Расчет

по спектру реакции

Сдвигающая сила в основании (распределение горизонтальных сейсмических сил)

равномерное распределение

линейно возрастающее по высоте

по собственной форме колебаний № 1

Поправочный коэффициент к инерционным силам

Тип расчета Упругий

Тип спектра I тип

Тип грунта A

Расчетное ускорение грунта, a_g (п.3.2.1(3)) 1 м/с²

Кoeffициент демпфирования, η (ф.3.6) 1

Уровень фундамента (жесткого основания) 0

Нижний показатель границы для горизонтального расчетного спектра, β (п.3.2.2.5(4)) 0.2

Горизонтальный коэффициент поведения, q 1

Количество этажей для определения поправочного коэффициента λ (п.4.3.3.2.2) 1

Исходные данные X: Y: Z: 20/-/ 20/-/ 20/-/

Pushover_410.fep* 1.1. Стадия нелинейного нагружения

Вид и выбор Редакторы и конструирование Добавить Правка Назначение Расчет Анализ и документирование

Редактор сечений/ жесткостей Редактор материалов Редактор нагружений Редактор конструирования Редактор грунта Новый вид Назначить сечение, материал, конструирование Конструктивные элементы Раскрепление для прогибов Группы элементов Продавливание Пов. несущей способности

Файл Вид Выбор Расчет Редакторы Конструирование Схема Назначение Правка Анализ Документирование Сервис Контроль Справка

Головный вид Загружения

Добавить загрузку Добавить сочетание PCS/PCN (Не использовать) Импорт загружений

Построение спектра несущей способности : Спектр несущей способности (Спектр несущей способности)

Имя Спектр несущей способности

Описание

Библиотека загрузок

- 1. История нелинейного нагружения
 - 1. Стадия нелинейного нагружения
 - 2. Стадия нелинейного нагружения
 - 2. Сейсмика с разложением по собственным формам
 - 3. Спектр несущей способности

Предшествующая история Сейсмическое нагружение

1. История нелинейного нагружения 2. Сейсмика с разложением по собственным формам колебаний

Номер учитываемой формы собственных колебаний (0-для формы с максимальным модальным вкладом, 1-для сдвигающей силы в основании)

3

Коэффициент к инерционным силам по выбранной форме собственных колебаний

1

Параметры выполнения расчета

Обнулить перемещения Минимальное количество итераций для физически нелинейных итерационных элементов

1000

Стартовый шаг Допускаемая погрешность в выборе шага Шаг сохранения результатов

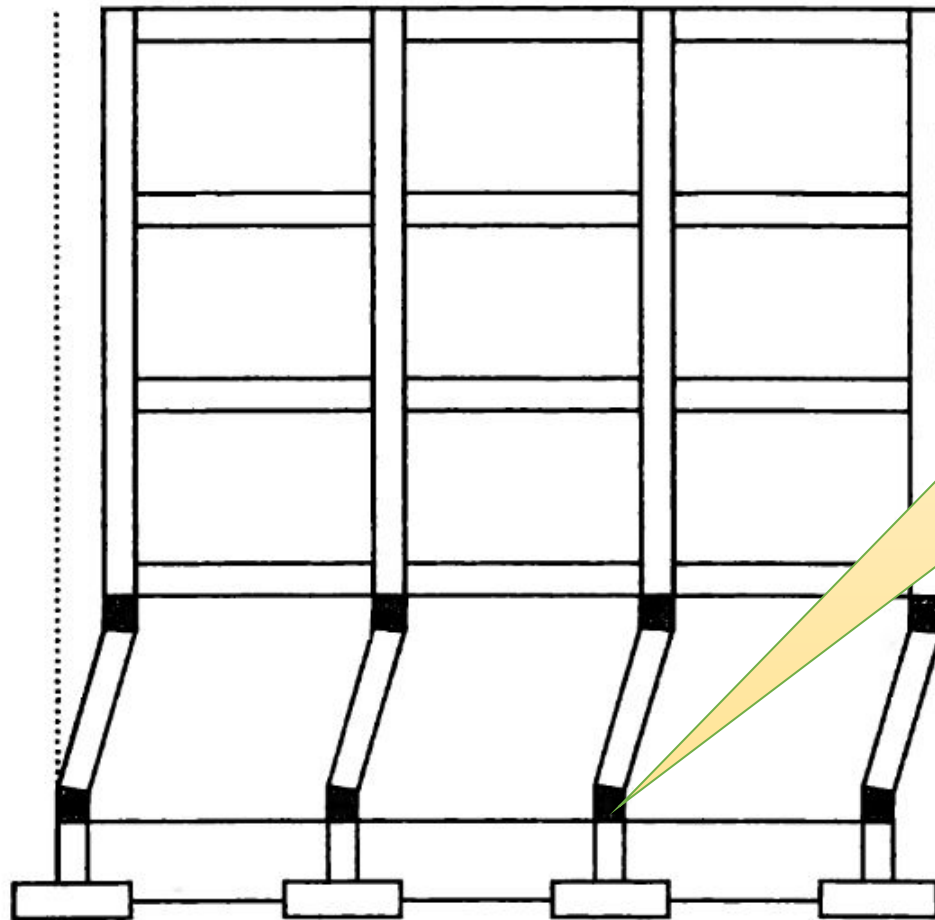
1E-07 1E-07 0.1

Параметры прекращения расчета

Номер контролируемого узла	Предельное значение суммарного перемещения	Предельный коэффициент к нагружению
8	6000 мм	10

Исходные данные X: Y: Z: 20/-/ 20/-/ Z

Условие общей и местной пластичности



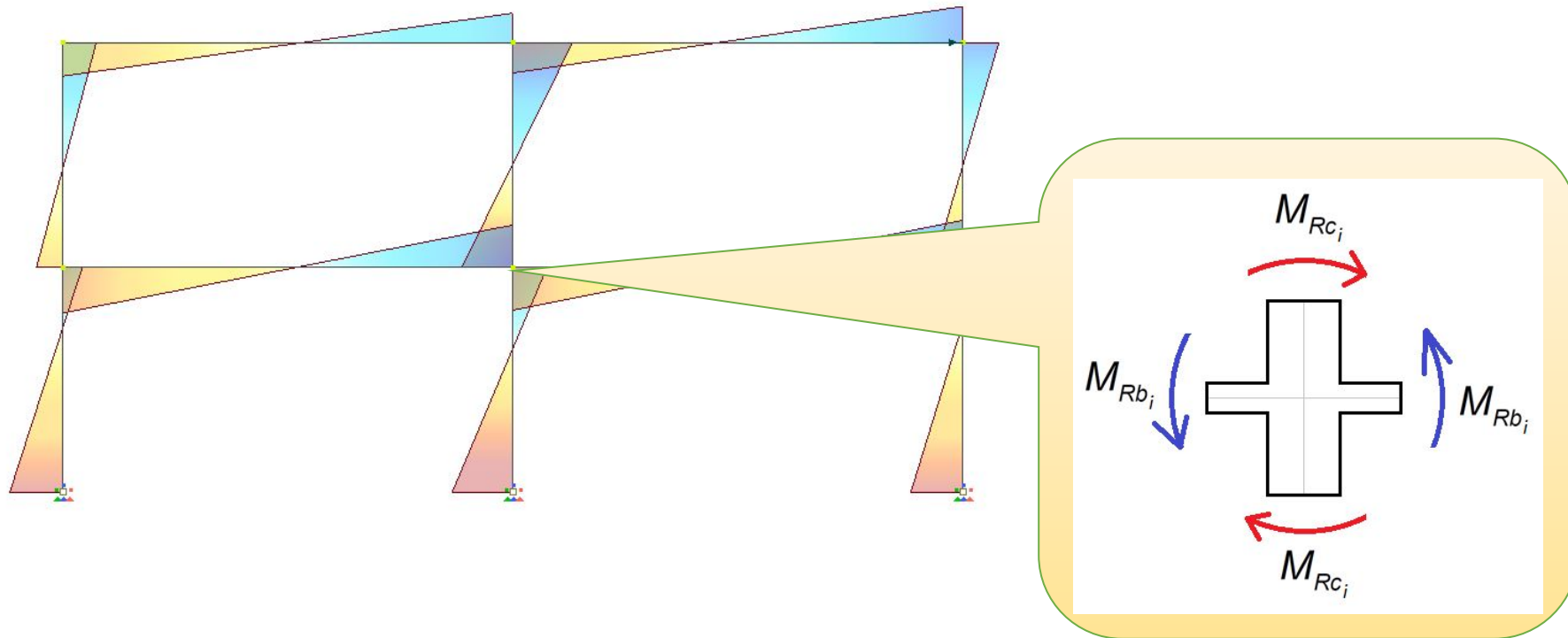
Для многоэтажных зданий требуется исключить формирование пластического механизма этажа

Требование главы 4 EN 1998-1:2004

Условие общей и местной пластичности

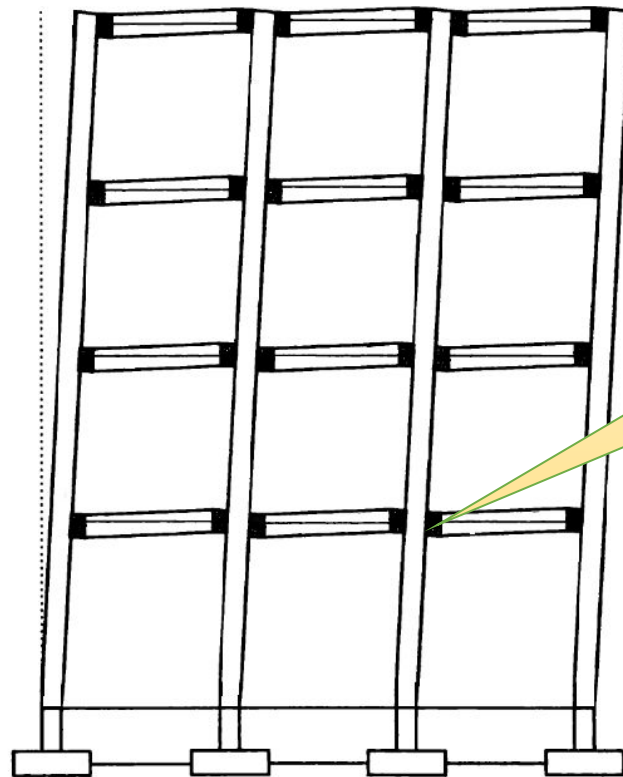
4.4.2.3(4) В каркасных зданиях с двумя или более этажами, во всех соединениях первичных (несущих) или вторичных (не несущих) сейсмических балок с первичными сейсмическими колоннами должно выполняться следующее условие (4.29):

$$\sum M_{Rc} \geq 1.3 \sum M_{Rb}$$



Это условие должно выполняться и для другого направления приложения нагрузки

Условие общей и местной пластичности

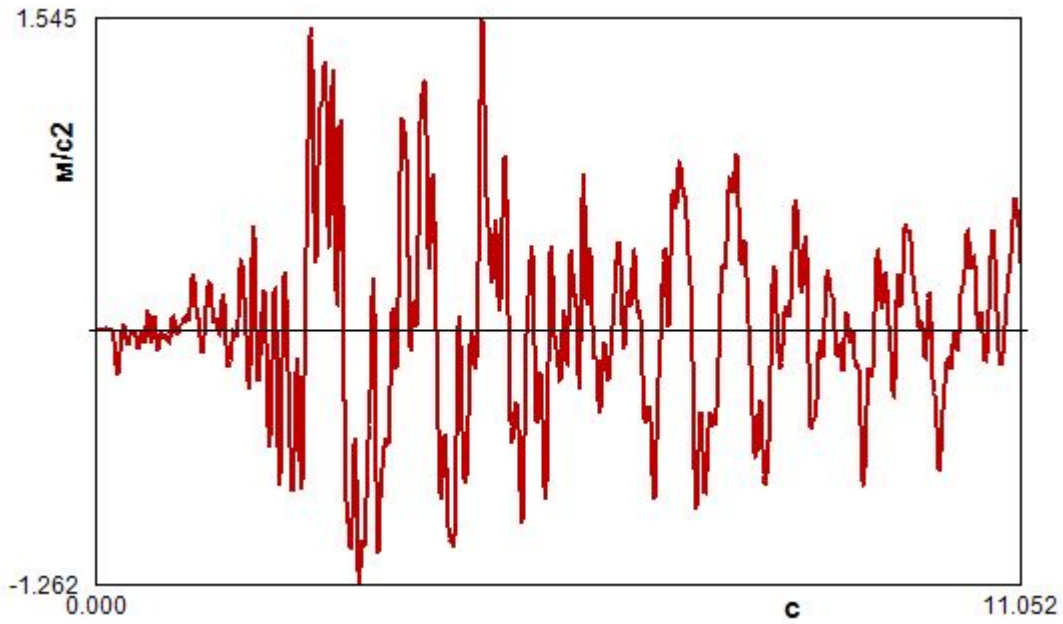


Возникновение
пластических
шарниров
в балках

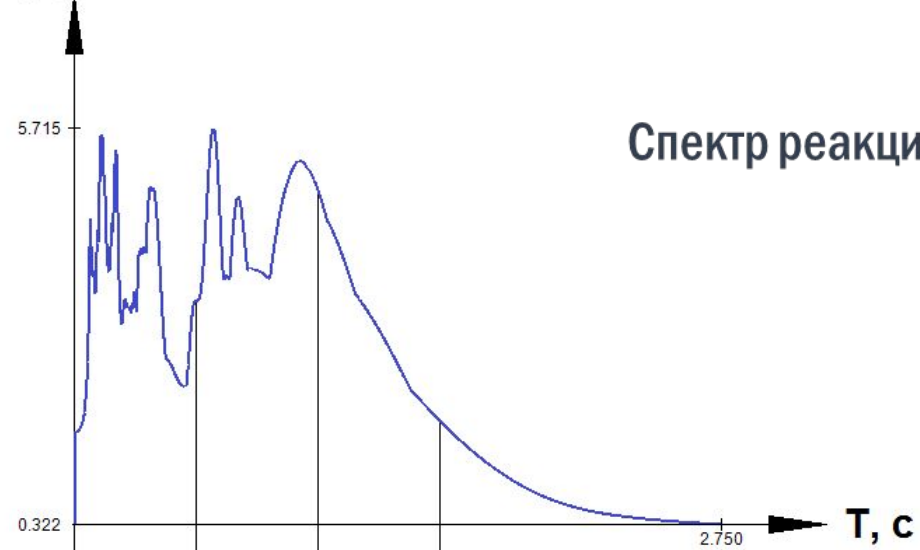
Проектирование как продольной, так и поперечной арматуры в колоннах зависит от фактической несущей способности балок. Таким образом, необходимо обязательно рассчитать и запроектировать балки прежде, чем приступить к расчету и проектированию колонн

Прочие возможности

Исходная

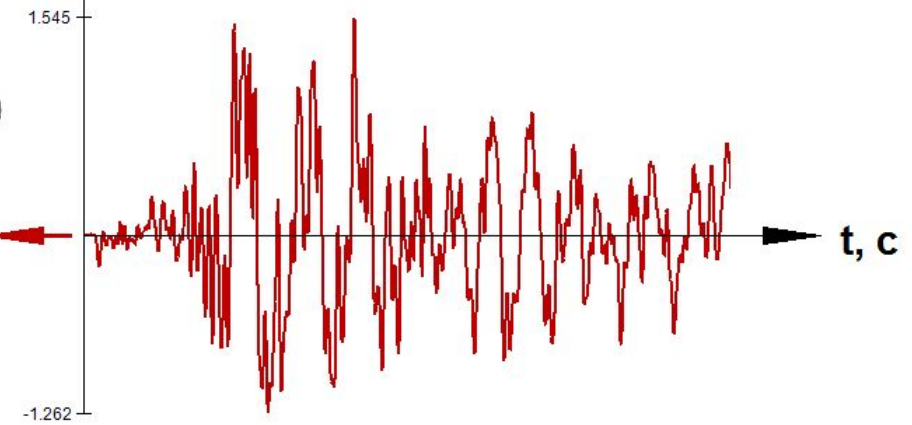


$A(T), m/c^2$



Спектр реакции ($\xi = 0.03$)

$a(t), m/c^2$



Переход от акселерограммы к спектру реакции

Выбор акселерограмм

Список акселерограмм:

- F:_Projects\PrideAll_10.8\Bin_x32'
- F:_Projects\PrideAll_10.8\Bin_x32'
- F:_Projects\PrideAll_10.8\Bin_x32'
- F:_Projects\PrideAll_10.8\Bin_x32'
- F:_Projects\PrideAll_10.8\Bin_x32'
- F:_Projects\PrideAll_10.8\Bin_x32'

Добавить текущую

Изменить масштабный множитель

Удалить текущую акселерограмму

Прочитать акселерограмму из файла...

1.690 a, м/с^2

-1.268

Построение усредненного спектра реакции по пакету акселерограмм

Выбор акселерограмм: Спектр реакции

Спектр реакции ускорения одномассового осциллятора

Масштабный множитель к спектру реакции: 1

4.026 a, м/с^2

f, Рад/с

213.660

Комментарий: Усредненный график спектра реакции ускорения по акселерограммам 000155ХА

Сохранить в файл

Передать в 41 модуль динамики

Параметры построения

Спектр реакции по:

- перемещениям
- скоростям
- ускорениям

Задание затухания

- Логарифмический декремент
- Параметр затухания

<input type="radio"/> 0.004774	<input type="radio"/> 0.019095
<input type="radio"/> 0.039757	<input type="radio"/> 0.049278
<input type="radio"/> 0.069857	<input type="radio"/> 0.099767
<input type="radio"/> 0.196620	<input checked="" type="radio"/> 0.05

Управляющие параметры

Значение предельной частоты: 213.63 Рад/с

Дробление стандартного шага: 20

Построить

ПОСТРОЕНИЕ УСРЕДНЕННОГО КОЭФФИЦИЕНТА ДИНАМИЧНОСТИ ПО ПАКЕТУ 10.8

Построение усредненного спектрального коэффициента динамичности по пакету акселерограмм

Выбор акселерограмм

Список акселерограмм:

- F:_Projects\PrideAll_10.8\Bin_x32'
- F:_Projects\PrideAll_10.8\Bin_x32'
- F:_Projects\PrideAll_10.8\Bin_x32'
- F:_Projects\PrideAll_10.8\Bin_x32'
- F:_Projects\PrideAll_10.8\Bin_x32'
- F:_Projects\PrideAll_10.8\Bin_x32'

Добавить текущую

Изменить масштабный множитель

Удалить текущую акселерограмму

Прочитать акселерограмму из файла...

Параметры построения

Козф. динамичности по

- перемещениям
- скоростям
- ускорениям

Задание затухания

- Логарифмический декремент
- Параметр затухания

<input type="radio"/> 0.004774	<input type="radio"/> 0.019095
<input type="radio"/> 0.039757	<input type="radio"/> 0.049278
<input type="radio"/> 0.069857	<input type="radio"/> 0.099767
<input type="radio"/> 0.196620	<input checked="" type="radio"/> 0.05

Построить

Построение усредненного спектрального коэффициента динамичности по пакету акселерограмм

Выбор акселерограмм

Кoeffициент динамичности

Спектральный коэффициент динамичности по ускорениям

Масштабный множитель к коэффициенту динамичности: 1

Комментарий

Усредненный график спектрального коэффициента динамичности по ускорениям для

Сохранить в файл

Передать в 60 модуль динамики

	Период, с	Козф.
▶ 1	0.029407440082...	0.0892496342913462
2	0.029537734455...	0.0894452840635668
3	0.029669188547...	0.089644016139291
4	0.029801817910...	0.0898369929808975
5	0.029935638377...	0.0900254118199865
6	0.030070666065...	0.0902304690365375
7	0.030206917384...	0.0904332907647535
8	0.030344409042...	0.090637142917538
9	0.030483158055...	0.0908417015719213
10	0.030623181748...	0.0910607568811047
11	0.030764497769...	0.0912754645420327

Параметры построения

Козф. динамичности по

- перемещениям
- скоростям
- ускорениям

Задание затухания

- Логарифмический декремент
- Параметр затухания

<input type="radio"/> 0.004774	<input type="radio"/> 0.019095
<input type="radio"/> 0.039757	<input type="radio"/> 0.049278
<input type="radio"/> 0.069857	<input type="radio"/> 0.099767
<input type="radio"/> 0.196620	<input checked="" type="radio"/> 0.05

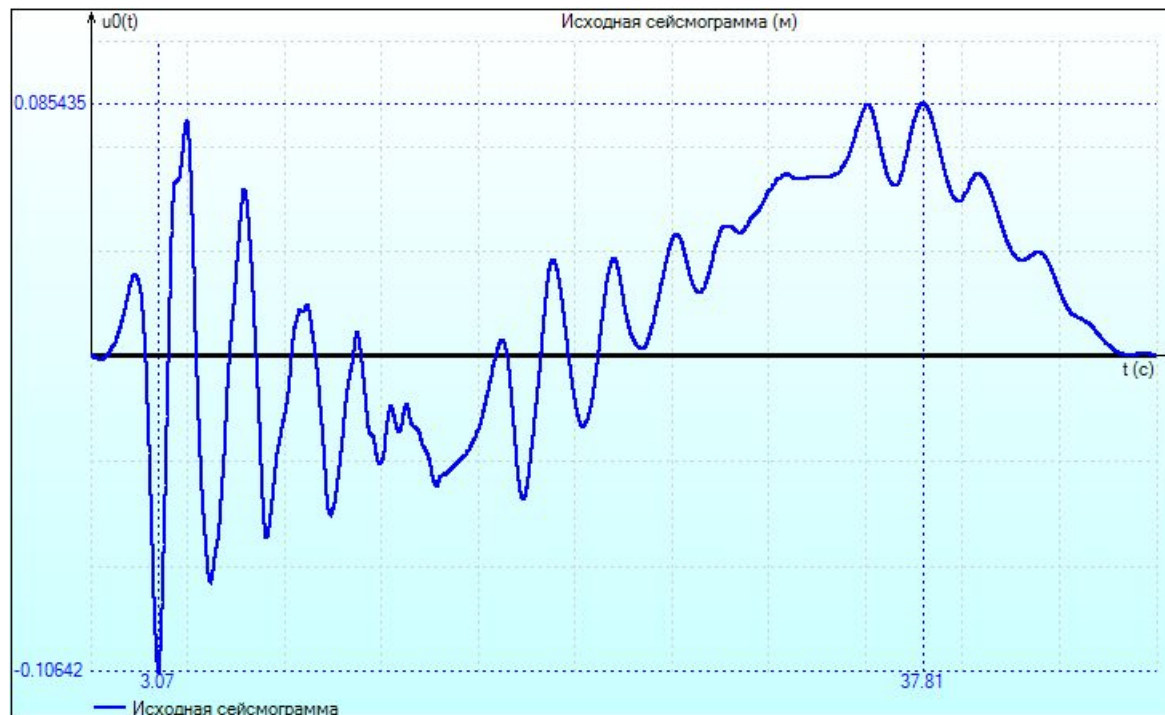
Управляющие параметры

Значение предельной частоты: 213.63 Рад/с

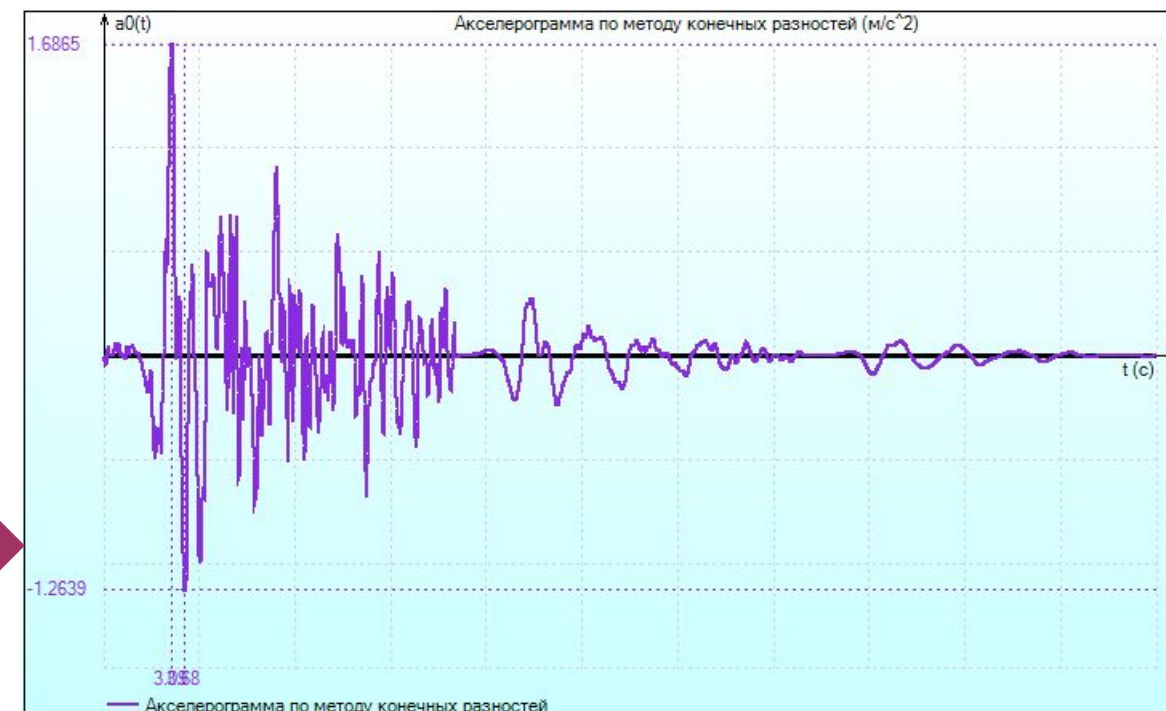
Дробление стандартного шага: 20

Построить

Исходная/полученная



Полученная/исходная



Получение сейсмограммы по акселерограмме

CA-482.ar1

Удаление тренда акселерограммы: 0

Метод получения сейсмограммы: Метод центральных разностей

Удаление тренда сейсмограммы: 0

Поворот нулевой линии

Получение сейсмограммы

- Исходная акселерограмма
- Линия тренда акселерограммы
- Акселерограмма с учетом линии тренда
- Велосиграмма по методу конечных разностей
- Сейсмограмма по методу конечных разностей
- Линия тренда сейсмограммы
- Нулевая линия сейсмограммы
- Сейсмограмма с учетом линии тренда и нулевой линии
- Велосиграмма, полученная дифференцированием сейсмограммы
- Акселерограмма, полученная дифференцированием сейсмограммы
- Разность между исходной и полученной акселерограммами

Показать график

Сохранение графика

Точность: 6

Получение акселерограммы по сейсмограмме

000155YA(t)_DBN_V_1_1_12_2014.sr1 Открыть

Удаление тренда сейсмограммы: 0

Метод получения акселерограммы: Метод центральных разностей

Удаление тренда акселерограммы: 0

Поворот нулевой линии

$\omega_k = 207.345115136926$ Рад/с

$d\omega = 0.628318530717959$ Рад/с

$\xi = 0.05$

Получение акселерограммы

Преобразование Фурье

Спектр реакции

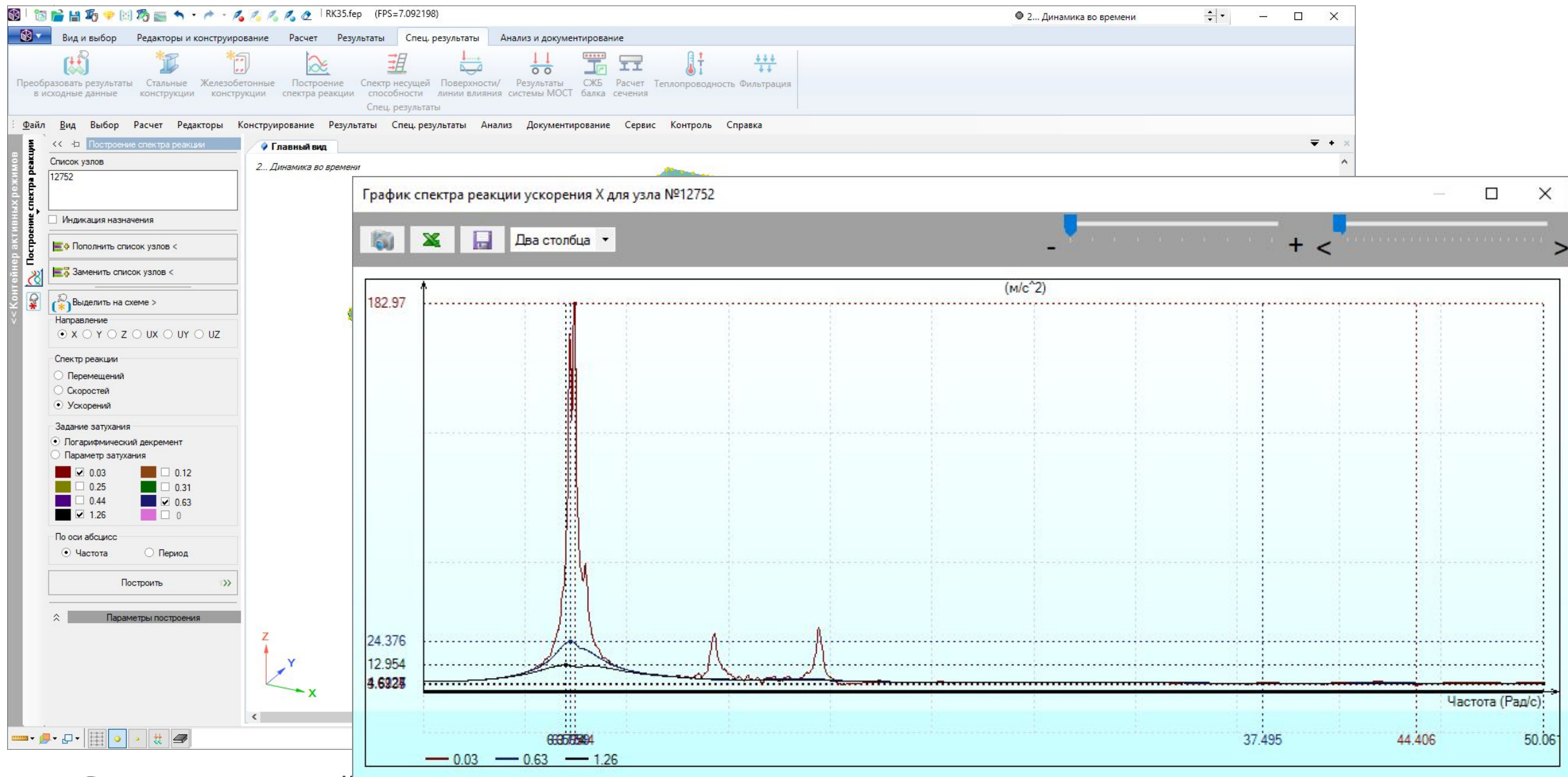
- Амплитудно-частотный спектр
- Фазово-частотный спектр
- Спектр мощности
- Односторонняя спектральная плотность
- Спектр реакции перемещений
- Спектр реакции скоростей
- Спектр реакции ускорений

Показать график

Сохранение графика

Точность: 6

Сохранить



Спектры реакций могут быть построены для динамики во времени и для 27, 29 модулей динамики



ЛИРА
СОФТ

Спасибо за внимание!

Юрий Гераймович

к.т.н., научно-технический руководитель проекта
ЛИРА 10

www.lira-soft.com