



**ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТНЫХ (ПЗ) И ПРОВЕРОЧНЫХ
РАСЧЕТОВ (МРЗ) СТАЛЬНЫХ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ
КОНСТРУКЦИЙ В СООТВЕТСТВИИ С СП 14.13330.2014.
СОПОСТАВЛЕНИЕ С ЗАРУБЕЖНЫМИ НОРМАМИ**

Семенов В.А., Лебедев В.Л., Баглаев Н.Н., (ООО Техсофт, Москва)

СП 14.13330.2014 (МРЗ)

- 5.2 При выполнении расчетов сооружений с учетом сейсмических воздействий следует использовать две расчетные ситуации:
 - а) сейсмические нагрузки отвечают уровню ПЗ (проектное землетрясение). Целью расчетов на воздействие ПЗ является предотвращение частичной или полной потери эксплуатационных свойств сооружением. Расчетные модели сооружений следует принимать соответствующими упругой области деформирования. Расчеты зданий и сооружений на особые сочетания нагрузок следует выполнять на нагрузки, определяемые в соответствии с указаниями п.п. 5.5, 5.9, 5.11. При выполнении расчета **в частотной области суммарные** (усилия, моменты, напряжения, перемещения) **инерционные нагрузки**, соответствующие сейсмическому воздействию, допускается вычислять по формуле (8);

$$N_p = \pm \sqrt{\sum_{i=1}^n N_i^2 + \sum_{i=1}^{n-1} \rho_i |N_i N_{i+1}|}$$

СП 14.13330.2014 (МРЗ)

•5.2.2 Расчеты, соответствующие МРЗ, следует, как правило, выполнять во временной области с применением инструментальных или синтезированных акселерограмм. Максимальные амплитуды инструментальных или синтезированных ускорений в уровне основания сооружения следует принимать не менее 1,0, 2,0 или 4,0 м/с² ..., и умножать на коэффициент K_0 таблицы 3. ...

•В расчетах с учетом нагрузок, соответствующих МРЗ, во временной области следует принимать коэффициент $K_1 = 1$. (K_1 — коэффициент, учитывающий допускаемые повреждения зданий и сооружений, принимаемый по таблице 4;)

•5.5. ...

•... Для расчетов в ситуации МРЗ допускается использовать теорию предельного равновесия или иные научно обоснованные методы. (При выполнении расчета в частотной области суммарные (...) инерционные нагрузки, соответствующие сейсмическому воздействию, допускается вычислять по формуле (8) — из п. 5.2)

$$S_{ik}^j = K_0 K_1 m_k^j A \beta_i K_\psi \eta_{ik}^j$$

$$\eta_{ik}^j = \frac{U_{ik}^j \sum_{p=1}^n \sum_{l=1}^3 m_p^l U_{ip}^l r_l}{\sum_{p=1}^n \sum_{j=1}^6 m_p^j (U_{ip}^j)^2}$$

Normally, Direct Numerical Integration for Earthquake Loading is Very Slow

Prof. Edward L. Wilson

•5.5. ...

•... Для расчетов в ситуации МРЗ допускается использовать **теорию предельного равновесия или иные научно обоснованные методы**. (При выполнении расчета в частотной области **суммарные (...)** инерционные нагрузки, соответствующие сейсмическому воздействию, допускается вычислять по формуле (8) – из п. 5.2)

Расчеты в ситуации МРЗ – необходимо оценить требуются ли физически нелинейные расчеты.

- Расчет в частотной области (квазистатический) – н-р теория предельного равновесия
- Расчет во временной области

ЕС8:

Физически нелинейные расчеты:

- Расчет квазистатический – “Plastic mechanism” (Pushover Analysis) – однопараметрический расчет !!!
- Расчет во временной области – “time-history analysis”

Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance – Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings; German version EN 1998-1:2004+ AC:2009.

3.2.2.5...

(2) Чтобы избежать прямого неупругого расчета конструкций при проектировании, следует учитывать способность сооружения к рассеянию энергии, за счет пластического поведения ее элементов и/или других устройств, выполняя упругий расчет ...

4.3.3.1...

(1) ... сейсмические эффекты и эффекты других воздействий, включенные в сейсмическую расчетную ситуацию, можно определить исходя из линейно упругого поведения конструкции.

(4) В качестве альтернативы линейному методу также можно использовать нелинейный метод, например:

с) нелинейный статический расчет (основан на последовательности разрушения элементов конструкции при приложенной нагрузке);

д) нелинейный расчет изменения во времени (динамический), при условии, что выполняются условия, указанные в (5) и (6) настоящего подпункта и в 4.3.3.4

Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance – Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings; German version EN 1998-1:2004+AC:2009.

4.3.3.4.2 Нелинейный статический расчет (основан на последовательности разрушения элементов конструкции при приложенной нагрузке)

4.3.3.4.2.1 Общие положения

(1) Расчет, основанный на последовательности разрушения элементов конструкции при приложенной нагрузке, — это нелинейный статический расчет, выполняемый в условиях **постоянных гравитационных нагрузок и монотонно возрастающих горизонтальных нагрузок.**

b) для оценки предполагаемых пластических механизмов и распределения повреждений;

4.3.3.4.2.5 Пластический механизм

(1) Пластический механизм должен быть определен для двух применяемых распределений поперечной нагрузки. Пластические механизмы должны соответствовать механизмам, для которых установлен коэффициент поведения η , используемый при проектировании.

Теория предельного равновесия. Особенности стальных и жб конструкций

Статические нагрузки (расчетные)

Нагрузка от сейсмического воздействия

Особенности

- сложное нагружение: статические нагрузки фиксированы, а изменяются (возрастают) нагрузки для сейсмического воздействия
- Для стальных балок и колонн различный вид диаграмм предельных усилий
- Для стальных колонн существенная зависимость диаграмм предельных усилий от расчетных длин
- Для жб конструкций более сложный вид диаграммы предельных усилий

Предельное равновесие. Стальные конструкции

Диаграмма предельных N-M по прочности

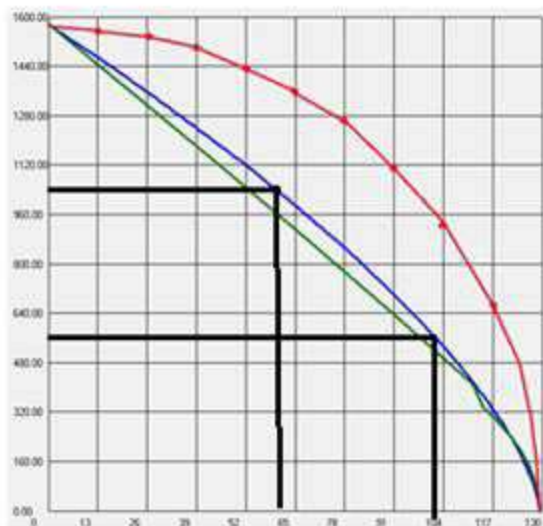
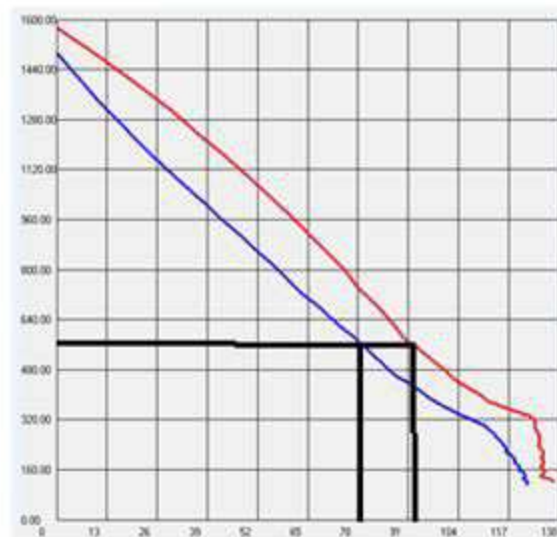


Диаграмма предельных N-M по прочности и устойчивости в плоскости по СП 16.13330.2011



Синяя - по СП 16.13330.2011, зеленая - "точное" решение (пластический шарнир),
красная - предельный эллипс

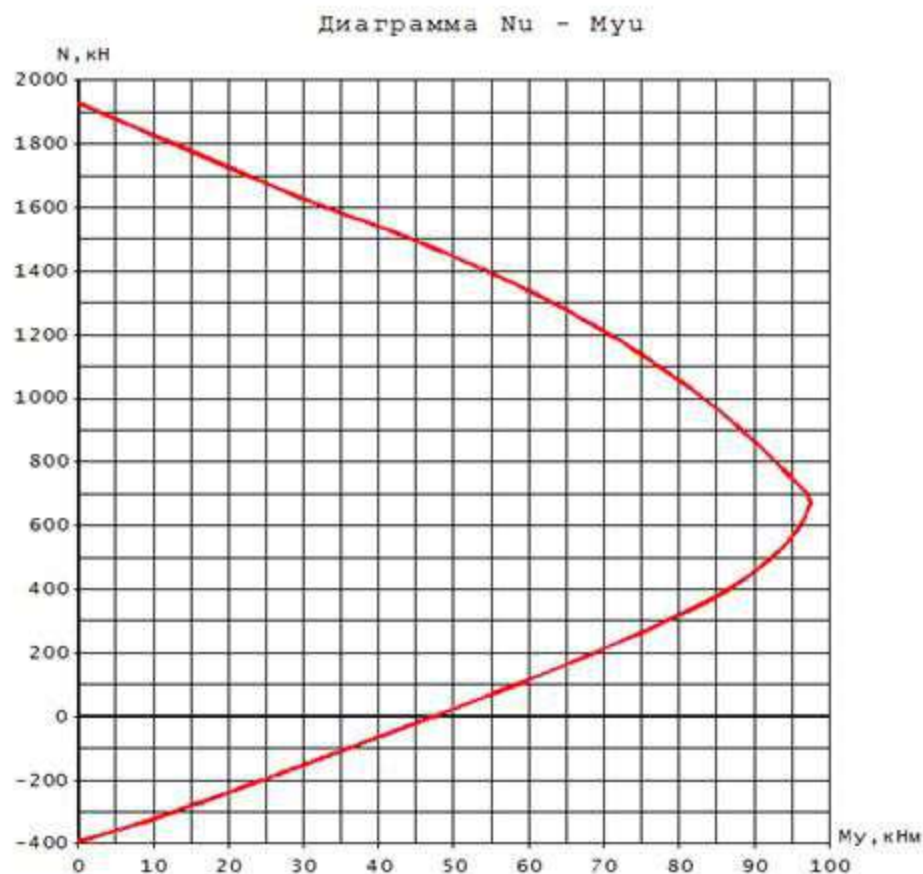
$$\left(\frac{M}{M_{\text{lim}}}\right)^2 + \left(\frac{N}{N_{\text{lim}}}\right)^2 = 1$$

Синяя - расчетная длина 3м,
красная - расчетная длина 2,1м

$$\frac{M}{M_{\text{lim}}} + \frac{N}{N_{\text{lim}}} = 1$$

Предельное равновесие. Железобетонные конструкции. Еще одна особенность.

Диаграмма предельных усилий N-M по СП 63.13330.2012

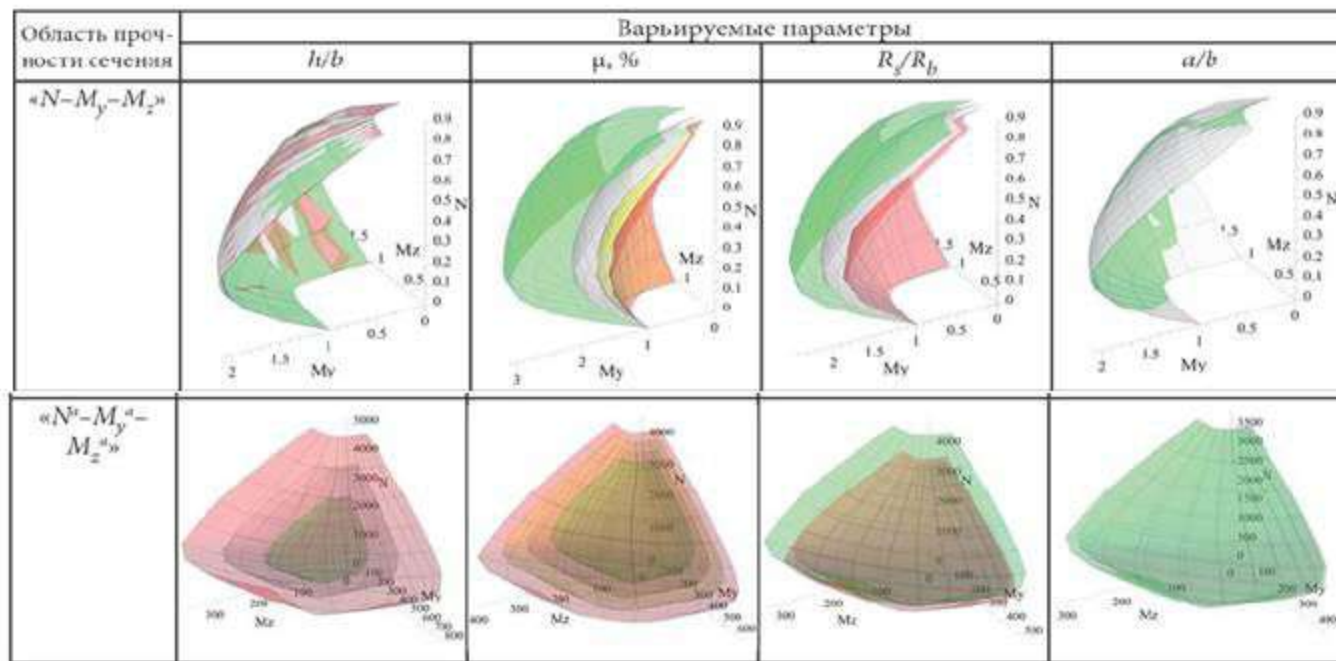


Для несимметричного армирования кривая и соответствующее условие еще более сложные

$$\left(\frac{M}{M_{\text{lim}}}\right)^2 + \left(\frac{(2N + N_{\text{lim}}^{\text{раст}} - N_{\text{lim}}^{\text{сж}})}{(N_{\text{lim}}^{\text{сж}} + N_{\text{lim}}^{\text{раст}})}\right)^2 = 1$$

Предельное равновесие. Железобетонные конструкции. Еще одна особенность.

Поверхность предельных усилий N-M_y-M_z по СП 63.13330.2012

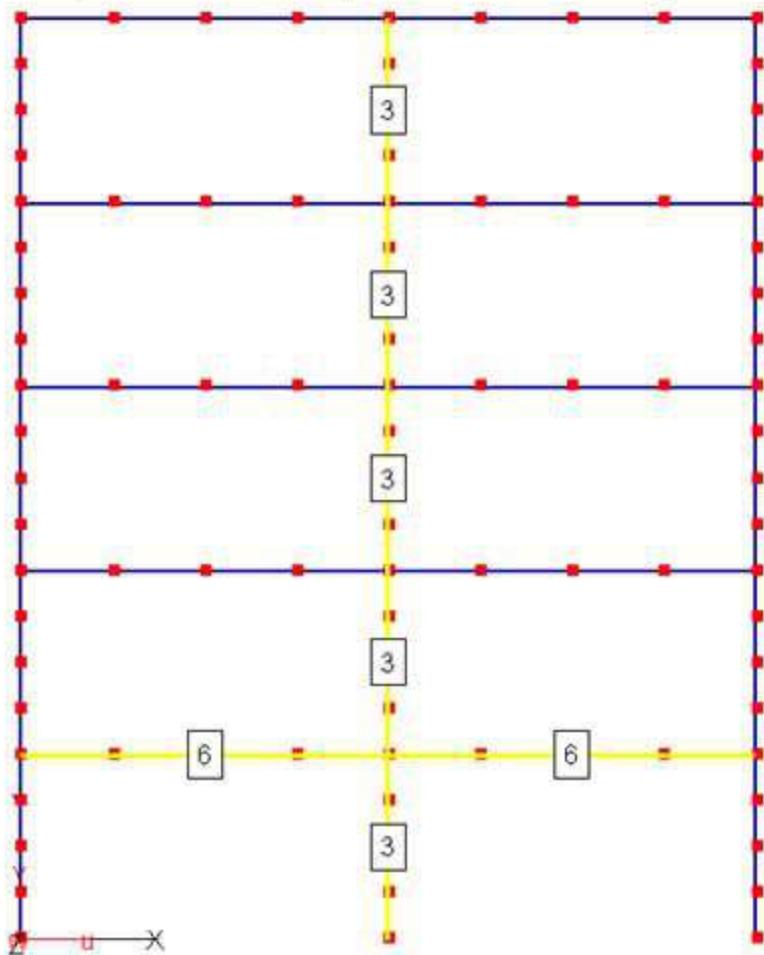


$$N = const \quad (M_z / M_{z,lim})^\alpha + (M_y / (M_{y,lim}))^\beta = 1 \quad \alpha, \beta = 1,0 - 2,0$$

1. Семенов Д.А. Прочность железобетонных элементов при косом внецентренном сжатии. - Вестник гражданских инженеров, 2015, №4, с. 76-84.

Расчет защемленной стальной рамы СП 14.13330.2014. Общие данные ПЗ

$K_0 = 1,2$; $A = 2$; $K_\psi = 1$; $K_1 = 0,25$; Категория грунта – 1



Коэффициент условий работы $mtr = 1,3$

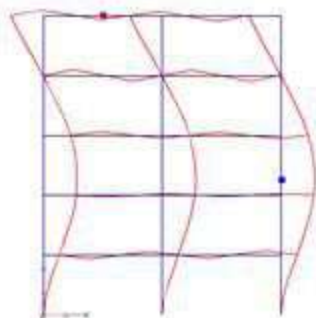
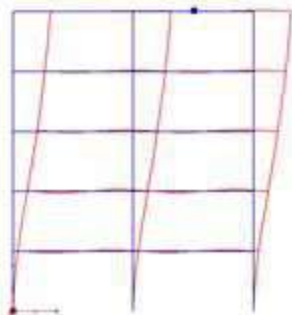
Статические нагрузки (расчетные):

- Собственный вес несущих конструкций рамы
- Собственный вес железобетонных плит (перекрытие) – 4 кН/м
- Полезная нагрузка - 12 кН/м

Колонны – 20 К1 С 235

Балки - 25 Б1 С 235

Расчет защемленной стальной рамы СП 14.13330.2014.



| Номер направления | Номер формы | Период [сек] | Фактор_участия [%] |
|-------------------|-------------|--------------|--------------------|
| # 1 | 1 | 1.4000 | 81.81 |
| | 2 | 0.4360 | 10.63 |
| | 3 | 0.2370 | 4.31 |
| | 4 | 0.1810 | 0.07 |
| | 5 | 0.1650 | 0.19 |
| | 6 | 0.1550 | 0.30 |

Сумма = 97.31



$$N_p = \pm \sqrt{\sum_{i=1}^n N_i^2 + \sum_{i=1}^{n-1} \rho_i |N_i N_{i+1}|}$$

Предельное равновесие Расчет стальной рамы

Статические + сейсмическое воздействие

СП 14.13330.2014

Колонны – 20 К1

(несущая способность - динамика)

$$N_{\text{lim}} = 1570 \text{ кН}; M_{\text{lim}} = 117 \text{ кНм};$$

Балки - 25 Б1

(несущая способность - динамика)

$$N_{\text{lim}} = 975 \text{ кН}; M_{\text{lim}} = 92,3 \text{ кНм};$$

| | К-1 | К-2 | К-3 |
|--------------------------------|------|-----|---------|
| 1. | 0 | 0 | 0 |
| 2.перекрытие | 0.9 | 0 | 0.9 |
| 3.полезная | 0.8 | 0 | 0.8 |
| 4.сейсм. (пост.) ф.1 | 0 | 0 | 0 |
| 5.сейсм. (пост.) ф.2 | 0 | 0 | 0 |
| 6.4-е в квадрате | 0 | 0 | 0 |
| 7.5-е в квадрате | 0 | 0 | 0 |
| 8.Корень из суммы квадратов | 0 | 1 | 3.60317 |
| 9.Нагружение собственного веса | 0.95 | 0 | 0.95 |

Номер постоянной комбинации: 1.
Номер номер варьируемой комбинации: 2.

Предварительный расчет. Проверка постоянной комбинации

| N итерации | Параметр нагрузки |
|------------|-------------------|
| 1 | 3.761 |
| 2 | 1.026 |

Значение итогового параметра нагрузки для постоянной ко

Значения параметра нагрузки по итерациям

| N итерации | Параметр нагрузки |
|------------|-------------------|
| 1 | 2.883 |
| 2 | 1.237 |
| 3 | 1.010 |

Расчет завершен успешно.

Итоговый параметр нагрузки = 3.603165

$$3,61 < \frac{k_0^{MRZ}}{k_0^{PZ} k_1} = \frac{2,0}{1,2 * 0,25} = 6,67;$$

Предельное равновесие Расчет стальной рамы

Статические + сейсмическое воздействие

СП 14.13330.2014

Балки - 25 Б1

(несущая способность - динамика)

$$N_{\text{lim}} = 975 \text{ кН}; M_{\text{lim}} = 92,3 \text{ кНм};$$

Колонны – 35 К1

(несущая способность - динамика)

$$N_{\text{lim}} = 3790 \text{ кН}; M_{\text{lim}} = 546 \text{ кНм};$$

| | К-1 | К-2 | К-3 |
|--------------------------------|------|-----|---------|
| 1. | 0 | 0 | 0 |
| 2.перекрытие | 0.9 | 0 | 0.9 |
| 3.полезная | 0.8 | 0 | 0.8 |
| 4.сейсм. (пост.) ф.1 | 0 | 0 | 0 |
| 5.сейсм. (пост.) ф.2 | 0 | 0 | 0 |
| 6.4-е в квадрате | 0 | 0 | 0 |
| 7.5-е в квадрате | 0 | 0 | 0 |
| 8.Корень из суммы квадратов | 0 | 1 | 6.79187 |
| 9.Нагружение собственного веса | 0.95 | 0 | 0.95 |

Номер постоянной комбинации: 1.

Номер номер варьируемой комбинации: 2.

Предварительный расчет. Проверка постоянной комбинации

| № итерации | Параметр нагрузки |
|------------|-------------------|
| 1 | 5.473 |
| 2 | 1.079 |
| 3 | 1.019 |

Значение итогового параметра нагрузки для постоянной к

Значения параметра нагрузки по итерациям

| № итерации | Параметр нагрузки |
|------------|-------------------|
| 1 | 4.061 |
| 2 | 1.645 |
| 3 | 1.017 |

Расчет завершен успешно.

Итоговый параметр нагрузки = 6.791866

$$6,79 > \frac{k_0^{MRZ}}{k_0^{PZ} k_1} = \frac{2,0}{1,2 * 0,25} = 6,67;$$

Расчет во временной области СП 14.13330.2014

$$M\ddot{u}(t) + C\dot{u}(t) + Ku(t) = -(MR + M_{uv})\ddot{v}(t) - (CR + C_{uv})\dot{v}(t)$$

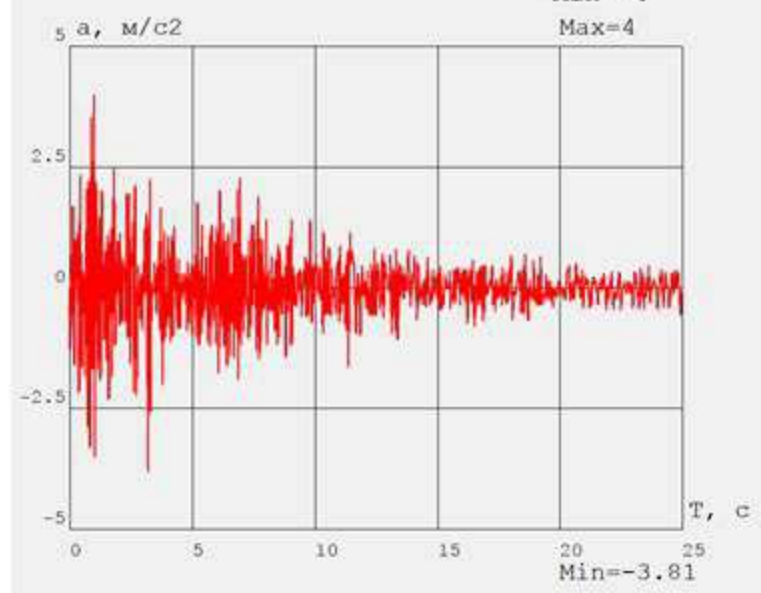
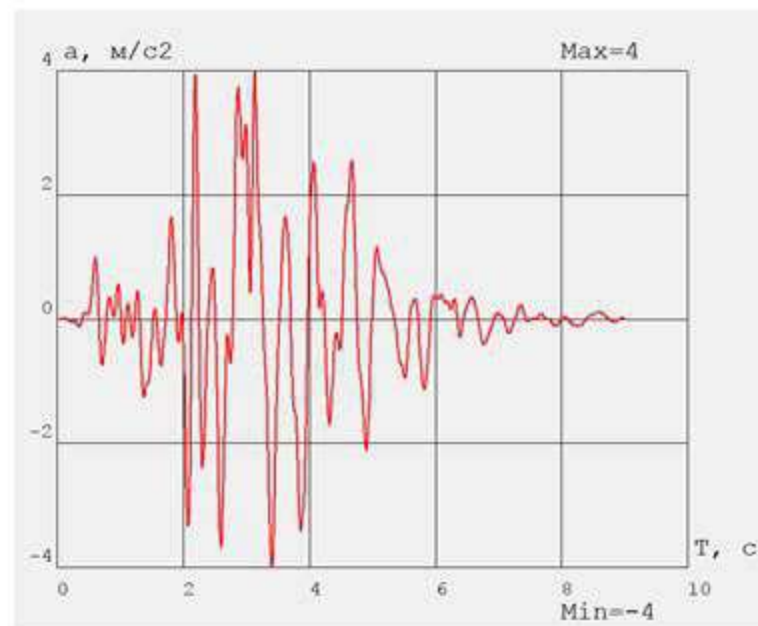
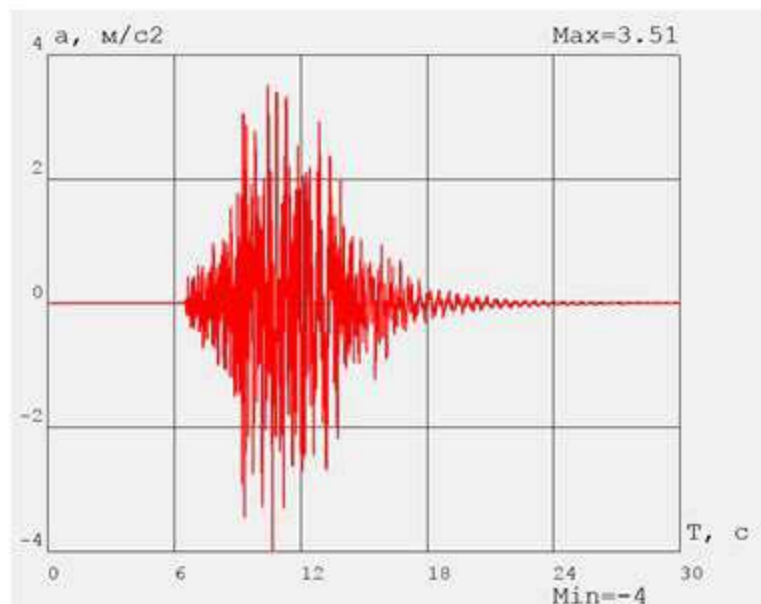
$$C = c_k K + c_M M$$

Коэффициенты c_M и c_K можно приближенно вычислить по формулам

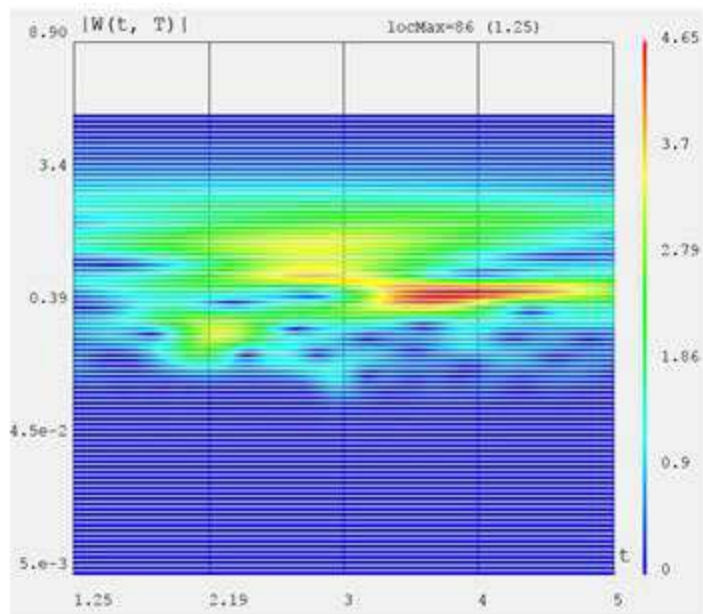
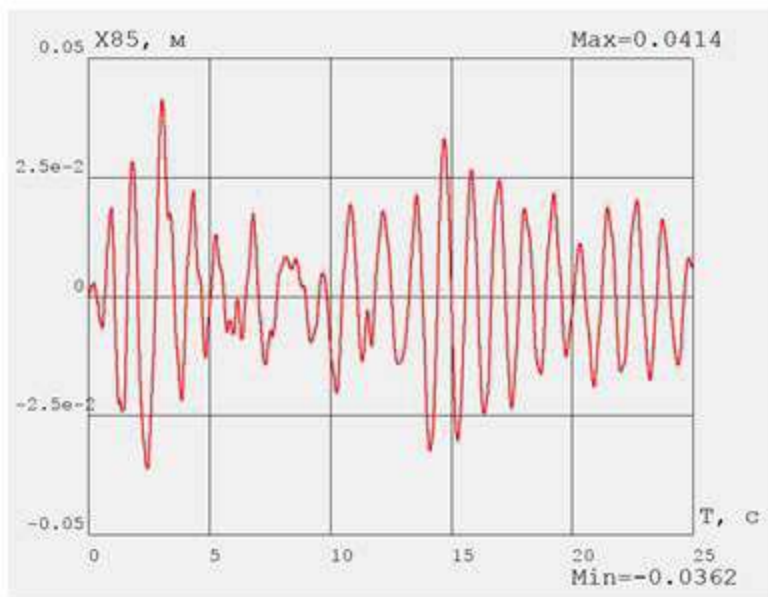
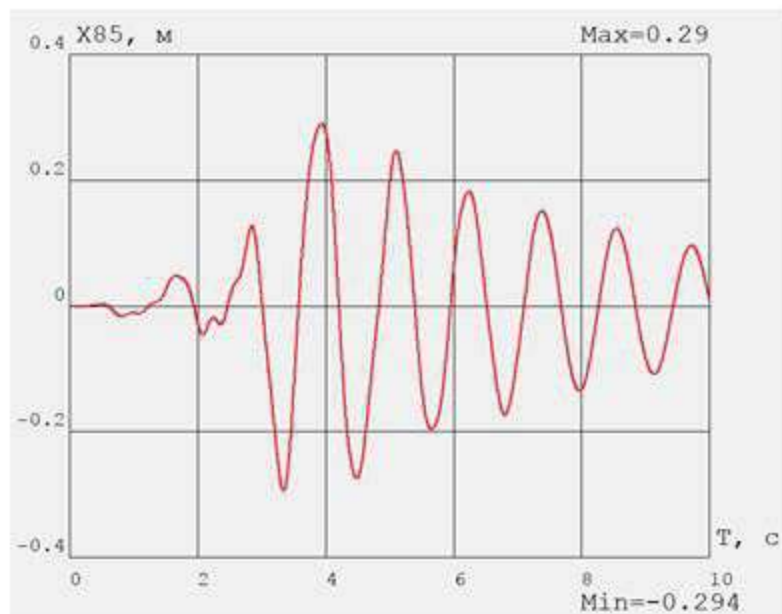
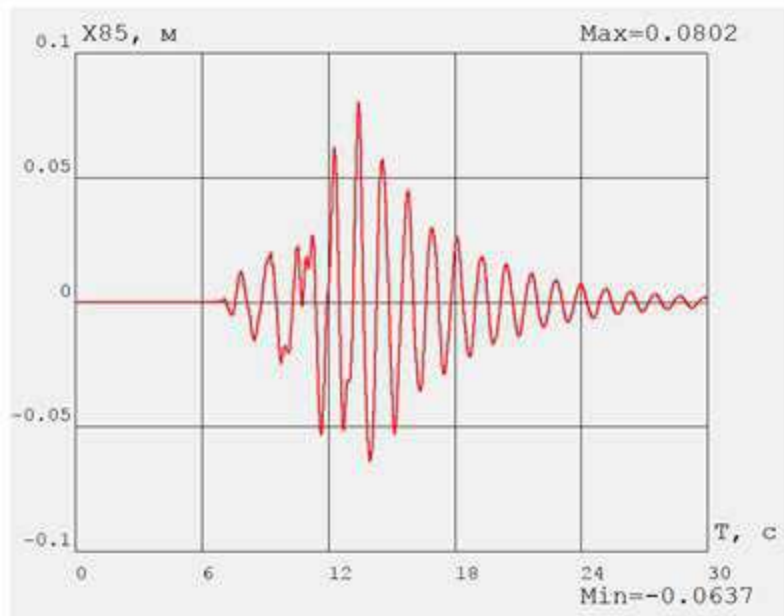
$$c_M = \frac{2\omega_i \omega_n (\zeta_i \cdot \omega_n - \zeta_n \cdot \omega_i)}{\omega_n^2 - \omega_i^2} \quad c_K = \frac{2(\zeta_n \cdot \omega_n - \zeta_i \cdot \omega_i)}{\omega_n^2 - \omega_i^2}$$

$$\zeta = 0,04 \quad \omega_1 = 5,355, \omega_2 = 20,5 \quad c_M = 0.339675, c_k = 0.00309404$$

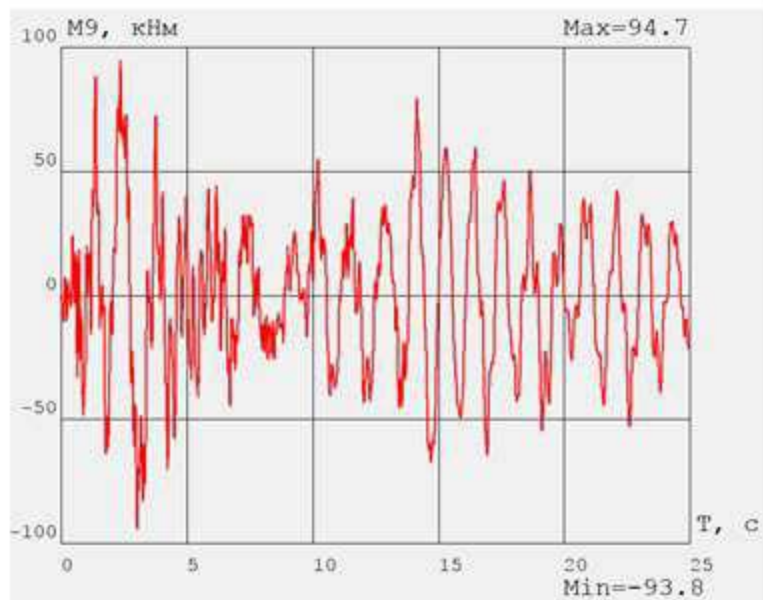
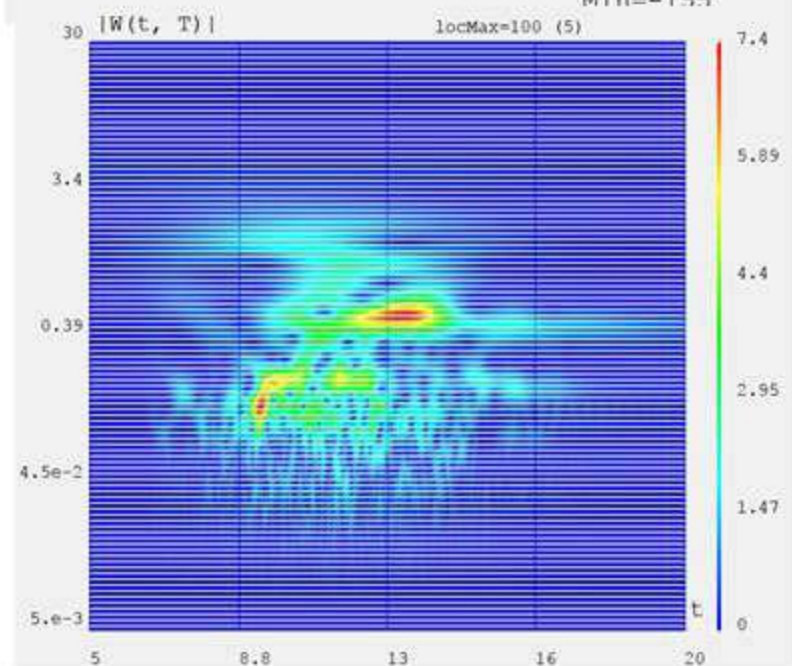
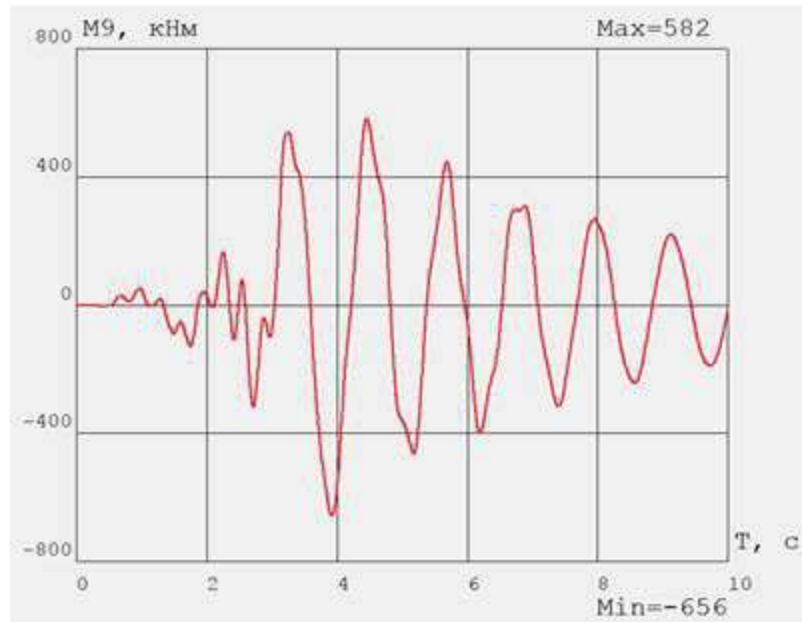
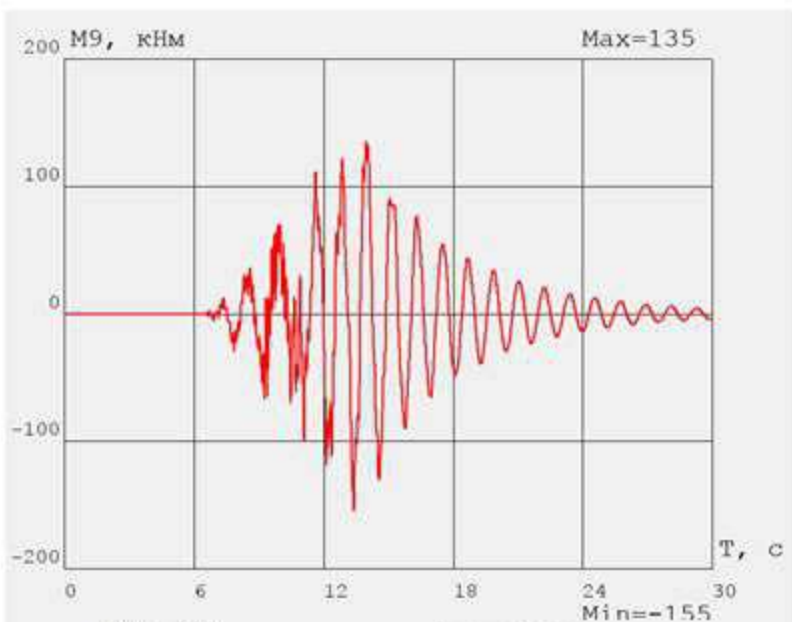
Расчет во временной области СП 14.13330.2014



Перемещения левого верхнего узла



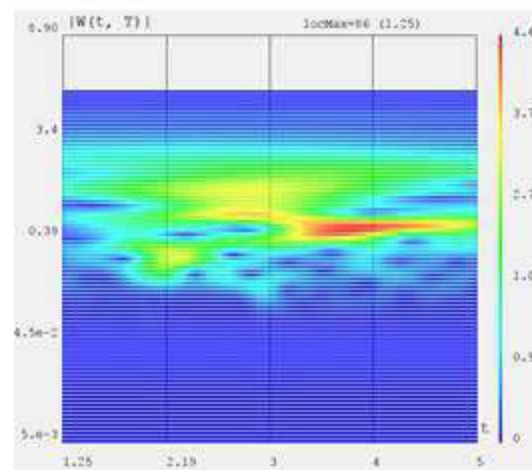
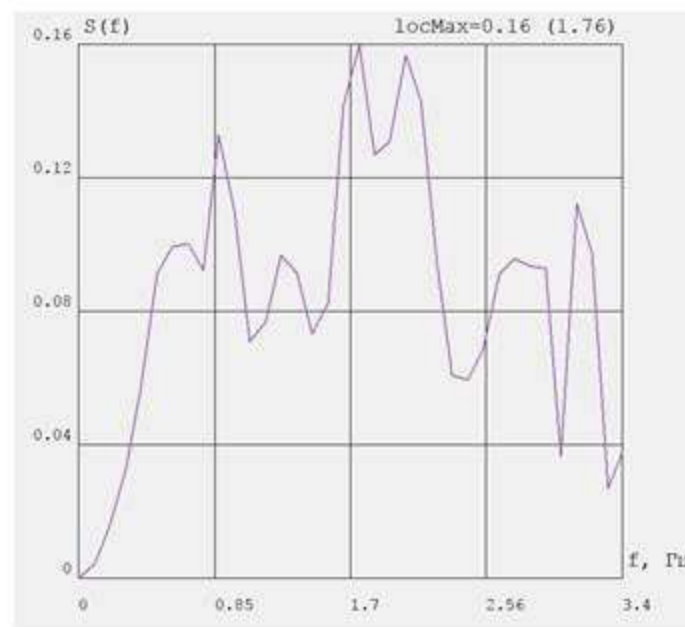
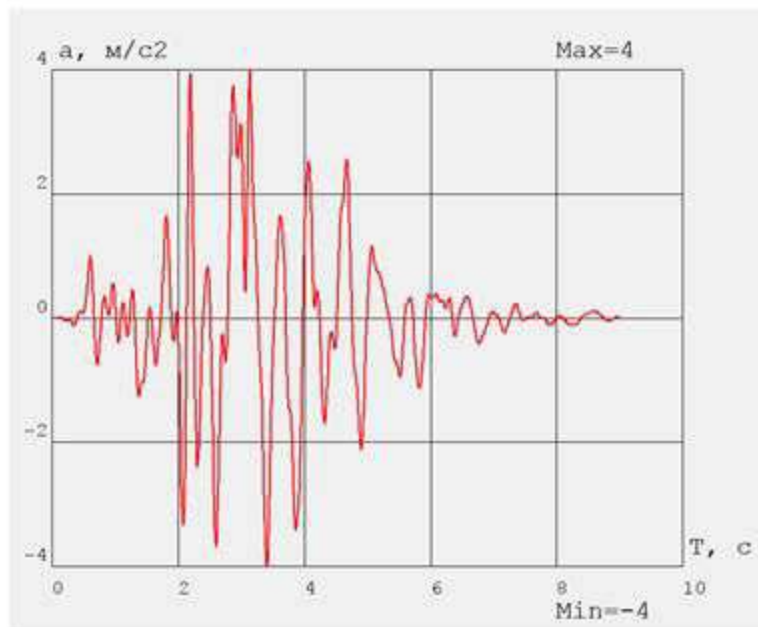
Момент в центральной нижней колонне



Расчет во временной области БПФ

$$\omega_1 = 5,355; \omega_2 = 20,5$$

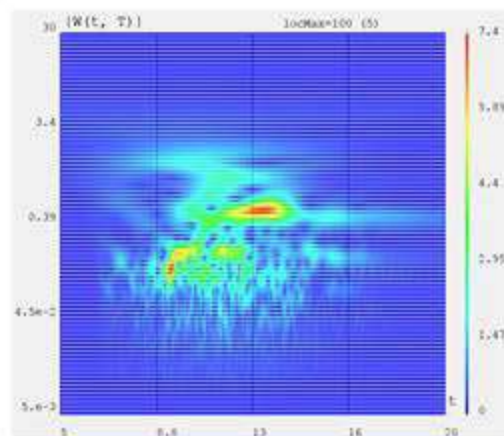
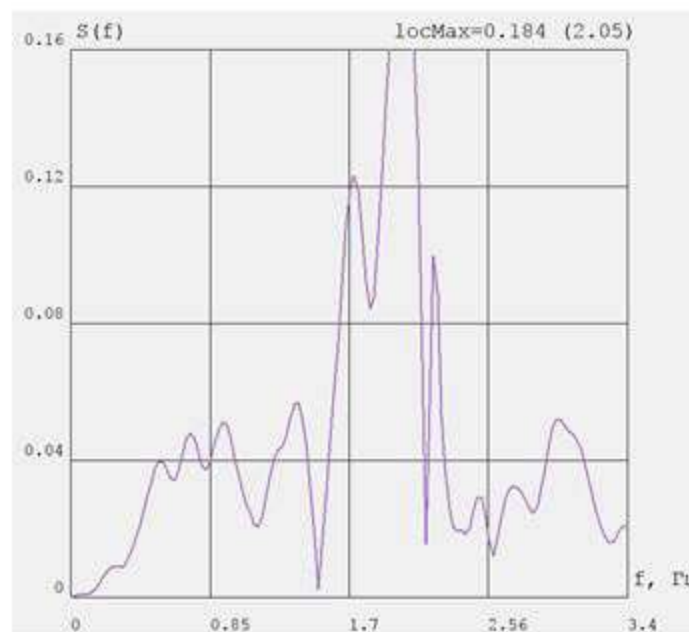
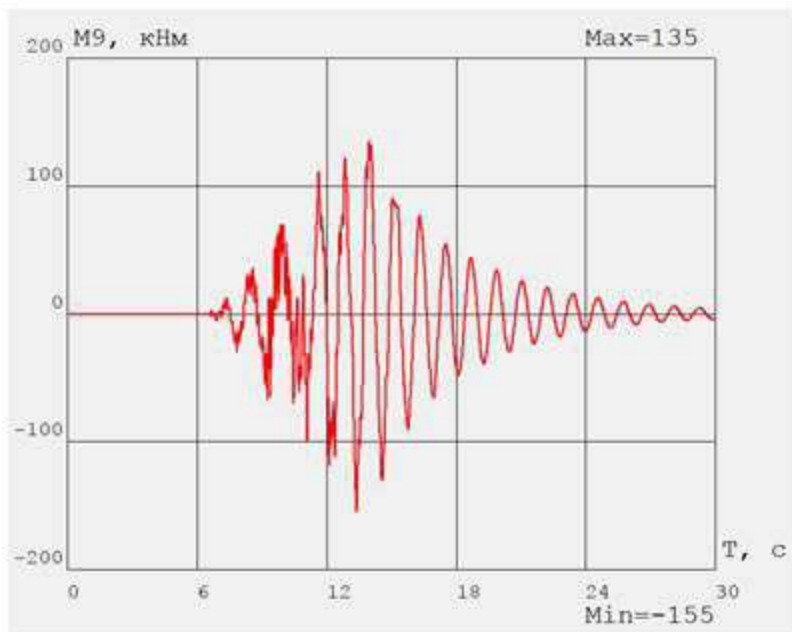
$$f_1 = 0,8523 \text{ Гц}; f_2 = 3,263 \text{ Гц}$$



Расчет во временной области БПФ

$$\omega_1 = 5,355; \omega_2 = 20,5$$

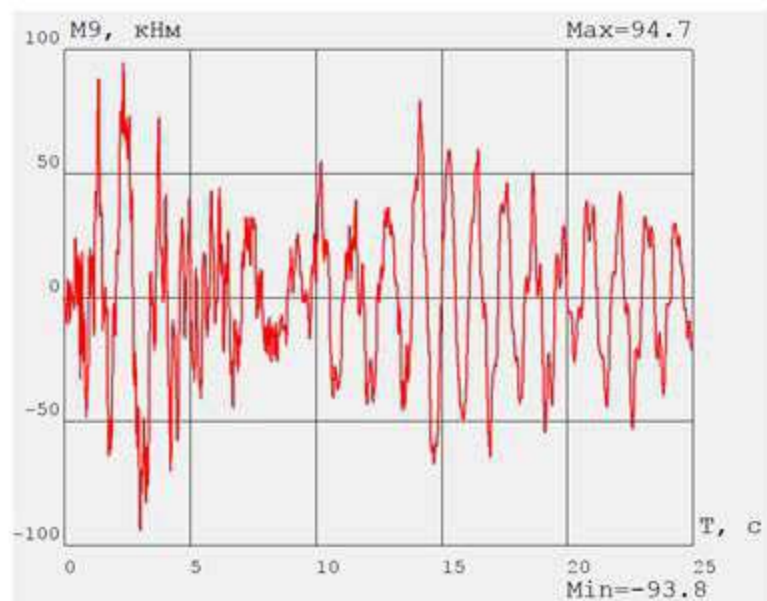
$$f_1 = 0,8523 \text{ Гц}; f_2 = 3,263 \text{ Гц}$$



Расчет во временной области БПФ

$$\omega_1 = 5,355; \omega_2 = 20,5$$

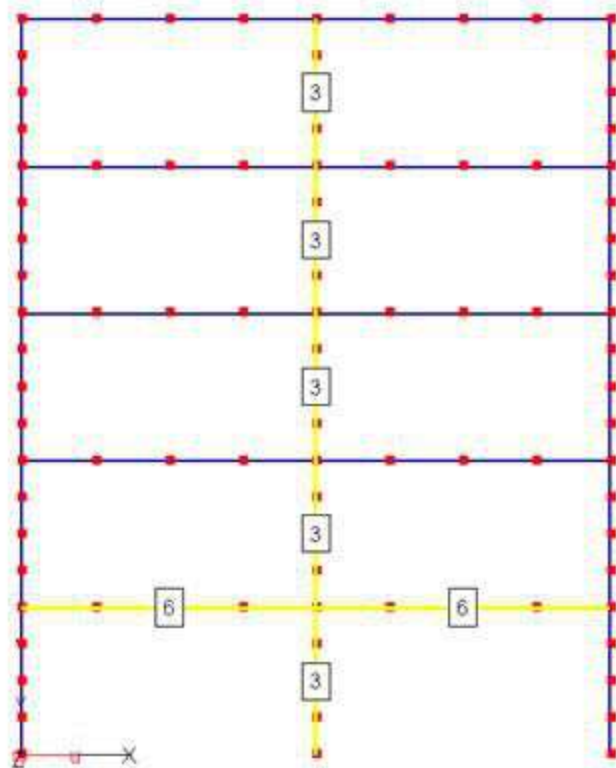
$$f_1 = 0,8523 \text{ Гц}; f_2 = 3,263 \text{ Гц}$$



Расчет защемленной Железобетонной рамы СП 14.13330.2014. Общие данные ПЗ

$K_0 = 1,2$; $A = 2$; $K_\psi = 1$; $K_1 = 0,35$; Категория грунта – 1

Коэффициент условий работы $mtr = 1,2$



Статические нагрузки (расчетные):

- Собственный вес несущих конструкций рамы
- Собственный вес железобетонных плит (перекрытие) – 4 кН/м
- Полезная нагрузка - 12 кН/м

Колонны – 30х30см

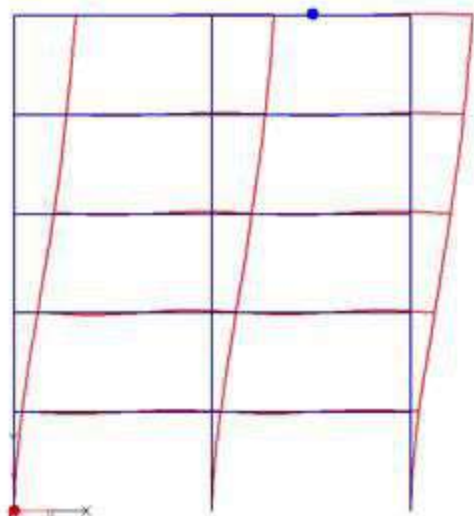
1 4d 12 ($A_s = 15,84 \text{ cm}^2$)

Балки - 40х60см

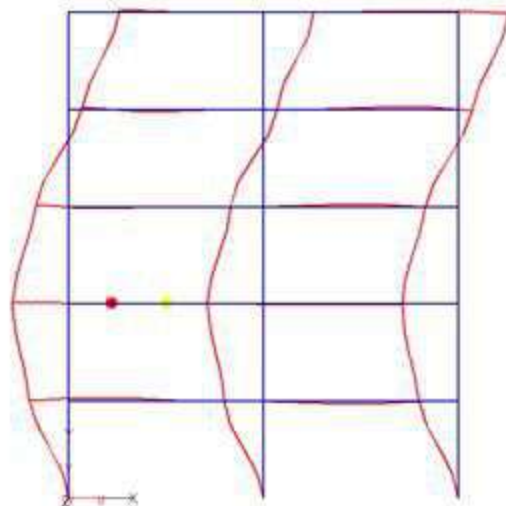
1 0d 12 ($A_s = 11,32 \text{ cm}^2$)

B25; A500

Расчет железобетонной рамы СП 14.13330.2014



$W = 9.135 \text{ рад/с}$
 $f = 1.454 \text{ Гц}$
 $T = 0.6878 \text{ с}$



$W = 27.21 \text{ рад/с}$
 $f = 4.331 \text{ Гц}$
 $T = 0.2309 \text{ с}$

| Номер направления | Номер формы | Период [сек] | Фактор_участия [%] |
|-------------------|-------------|--------------|--------------------|
| # 1 | 1 | 0.6880 | 85.86 |
| | 2 | 0.2310 | 9.39 |
| | 3 | 0.1410 | 2.90 |
| | 4 | 0.1060 | 1.05 |
| ----- | | | |
| Сумма = | | | 99.20 |

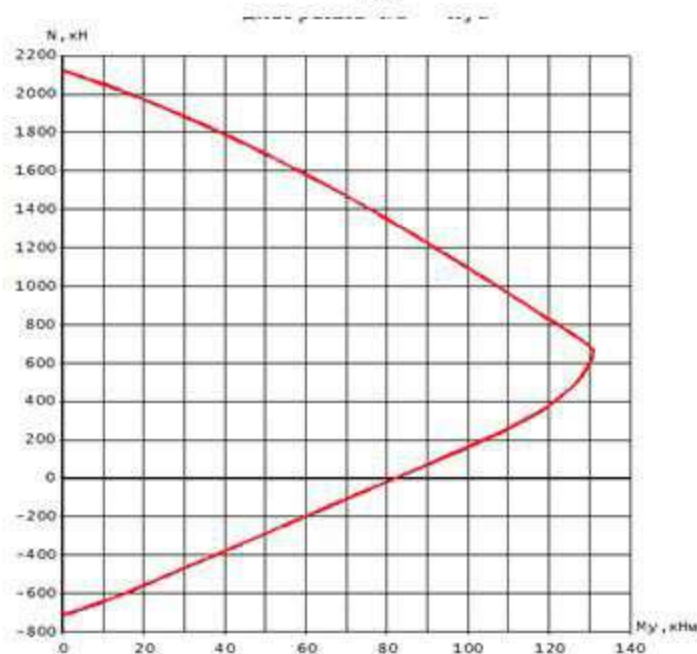
Расчет железобетонной рамы СП 14.13330.2014

Колонны – 30x30см В25; А500

14d 12 ($A_s = 15,84 \text{ см}^2$)

(несущая способность - динамика)

$$N_{\text{lim}}^{\text{сж}} = 2150 \text{ кН}; N_{\text{lim}}^{\text{раст}} = 700 \text{ кН}; M_{\text{lim}} = 130,0 \text{ кНм};$$



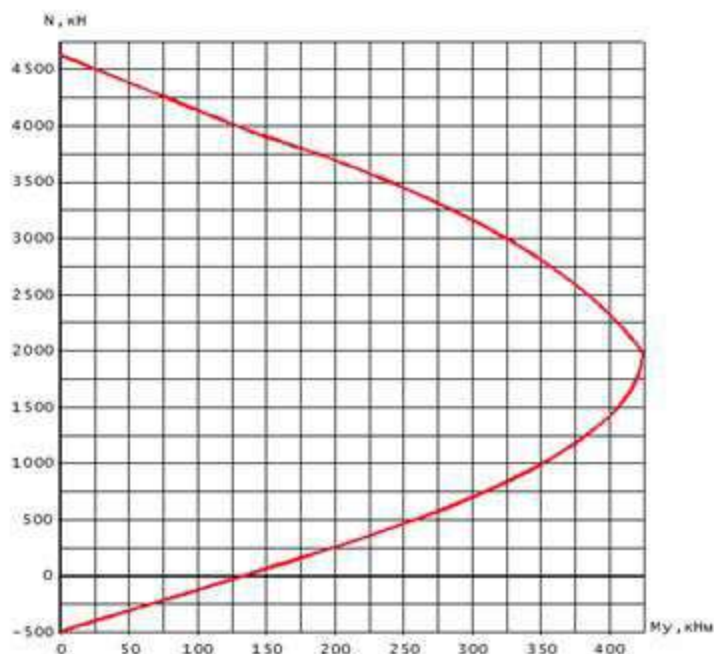
Расчет железобетонной рамы СП 14.13330.2014

Балки – 40х60см В25; А500

(несущая способность - динамика)

10d 12 ($A_s = 11,31 \text{ см}^2$)

$$N_{\text{lim}}^{\text{сж}} = 4628 \text{ кН} ; N_{\text{lim}}^{\text{раст}} = 590 \text{ кН} ; M_{\text{lim}} = 452 \text{ кНм} ;$$



Колонны – 30x30см В25; А500

$$14d12 (A_s = 15,84 \text{ cm}^2)$$

$$N_{\text{lim}}^{\text{сжс}} = 2150 \text{ кН}; N_{\text{lim}}^{\text{раст}} = 700 \text{ кН}; M_{\text{lim}} = 130,0 \text{ кНм};$$

Балки – 40x60см В25; А500

$$10d12 (A_s = 11,32 \text{ cm}^2)$$

$$M_{\text{сжс}} = 1629 \text{ кНм}; M_{\text{раст}} = 500 \text{ кНм}; M_{\text{lim}} = 452 \text{ кНм};$$

| | K-1 | K-2 | K-3 |
|--------------------------------|-----|-----|---------|
| 1. | 0 | 0 | 0 |
| 2.перекрытие | 0.9 | 0 | 0.9 |
| 3.полезная | 0.5 | 0 | 0.5 |
| 4.сейсм. (пост.) ф.1 | 0 | 0 | 0 |
| 5.сейсм. (пост.) ф.2 | 0 | 0 | 0 |
| 6.1 форма квадрат | 0 | 0 | 0 |
| 7.2 форма квадрат | 0 | 0 | 0 |
| 8.корень из суммы квадратов | 0 | 1 | 1.68876 |
| 9.Нагружение собственного веса | 0.9 | 0 | 0.9 |

Предварительный расчет. Проверка постоянной комбинации

| N итерации | Параметр нагрузки |
|------------|-------------------|
| 1 | 4.007 |
| 2 | 1.065 |
| 3 | 1.064 |
| 4 | 0.869 |
| 5 | 0.929 |
| 6 | 1.065 |

Значение итогового параметра нагрузки для постоянной ком

Значения параметра нагрузки по итерациям

| N итерации | Параметр нагрузки |
|------------|-------------------|
| 1 | 1.623 |
| 2 | 1.040 |

Расчет завершен успешно.

Итоговый параметр нагрузки = 1.688763

$$1,69 < \frac{k_0^{MRZ}}{k_0^{PZ} k_1} = \frac{2,0}{1,2 * 0,35} = 4,76;$$

Колонны – 30x30см В25; А500

$$A_s = 56,6 \text{ см}^2$$

$$N_{\text{lim}}^{\text{с.жс}} = 3863 \text{ кН}; N_{\text{lim}}^{\text{расч}} = 1831 \text{ кН}; M_{\text{lim}} = 424 \text{ кНм};$$

Балки – 40x60см В25; А500

$$A_s = 44,24 \text{ см}^2$$

$$N_{\text{lim}}^{\text{с.жс}} = 5952 \text{ кН}; N_{\text{lim}}^{\text{расч}} = 2318 \text{ кН}; M_{\text{lim}} = 902 \text{ кНм};$$

| | К-1 | К-2 | К-3 |
|--------------------------------|-----|-----|---------|
| 1. | 0 | 0 | 0 |
| 2.перекрытие | 0.9 | 0 | 0.9 |
| 3.полезная | 0.5 | 0 | 0.5 |
| 4.сейсм. (пост.) ф.1 | 0 | 0 | 0 |
| 5.сейсм. (пост.) ф.2 | 0 | 0 | 0 |
| 6.1 форма квадрат | 0 | 0 | 0 |
| 7.2 форма квадрат | 0 | 0 | 0 |
| 8.корень из суммы квадратов | 0 | 1 | 4.79781 |
| 9.Нагружение собственного веса | 0.9 | 0 | 0.9 |

Номер постоянной комбинации: 1.

Номер номер варьируемой комбинации: 2.

Предварительный расчет. Проверка постоянной комбинации

| N итерации | Параметр нагрузки |
|------------|-------------------|
| 1 | 3.794 |
| 2 | 1.381 |
| 3 | 0.982 |

Значение итогового параметра нагрузки для постоянной к

Значения параметра нагрузки по итерациям

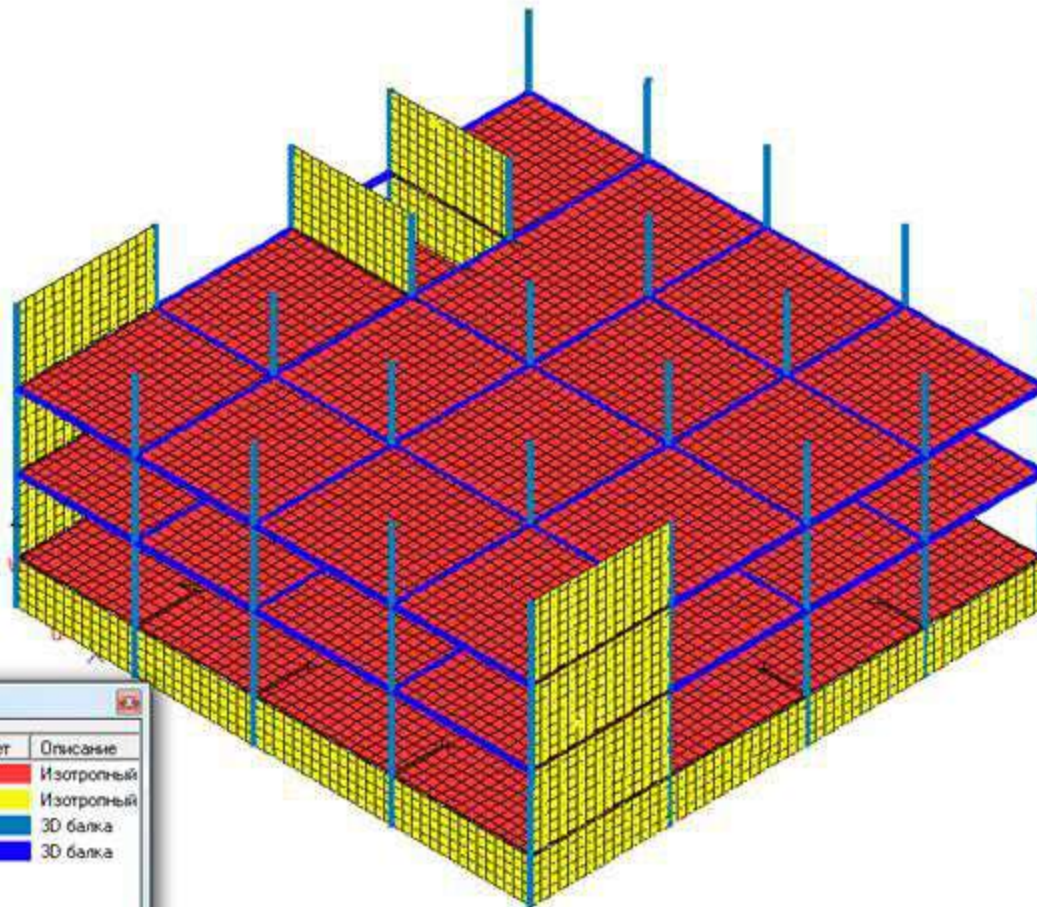
| N итерации | Параметр нагрузки |
|------------|-------------------|
| 1 | 2.846 |
| 2 | 1.754 |
| 3 | 0.961 |

Расчет завершен успешно.

Итоговый параметр нагрузки = 4.797814

$$4,79 > \frac{k_0^{MRZ}}{k_0^{PZ} k_1} = \frac{2,0}{1,2 * 0,35} = 4,76;$$

Расчет пространственной жб конструкции СП 14.13330.2014



| Материалы | | | |
|-----------|---------------|---------|------------|
| № | Имя | Цвет | Описание |
| 1 | d180 B 25 | Красный | Изотропный |
| 2 | d200 B 25 | Желтый | Изотропный |
| 5 | K400x400 B 25 | Синий | 3D балка |
| 6 | B (3D балка) | Синий | 3D балка |

Расчет пространственной жб конструкции СП 14.13330.2014

| | K-1 | K-2 | K-3 |
|------------------------------|-----|-----|---------|
| 1. | 0 | 0 | 0 |
| 2.LF-2 Нагруж. | 0.9 | 0 | 0.9 |
| 3.LF-3 Нагруж. | 0.9 | 0 | 0.9 |
| 4.LF-4 Нагруж. | 0.9 | 0 | 0.9 |
| 5.LF-5 Нагруж. | 0.5 | 0 | 0.5 |
| 6.LF-6 Нагруж. | 0.5 | 0 | 0.5 |
| 7.LF-7 Нагруж. | 0.5 | 0 | 0.5 |
| 8.сейсм. (пост.) ф.11 | 0 | 0 | 0 |
| 9.сейсм. (пост.) ф.23 | 0 | 0 | 0 |
| 10.Нагружение 10 | 0 | 0 | 0 |
| 11.Нагружение 11 | 0 | 0 | 0 |
| 12.Нагружение 12 | 0 | 1 | 3.65541 |
| 13.Собственный вес расчетный | 0.9 | 0 | 0.9 |

Протокол расчета на предельную нагрузку

Расчет проводится для непропорционального нагружения.
Номер постоянной комбинации: 1.
Номер номер варьируемой комбинации: 2.

Предварительный расчет. Проверка постоянной комбинации

| N итерации | Параметр нагрузки |
|------------|-------------------|
| 1 | 12.748 |
| 2 | 0.943 |
| 3 | 0.923 |
| 4 | 0.761 |
| 5 | 1.089 |
| 6 | 1.382 |
| 7 | 0.896 |

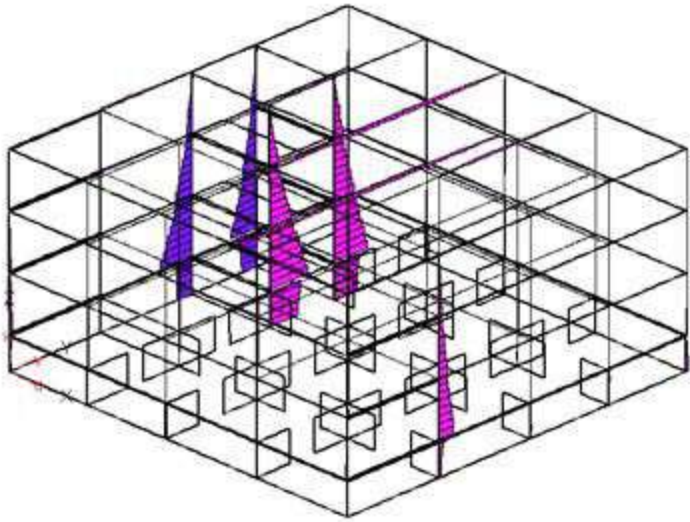
Значение итогового параметра нагрузки для постоянной комбинации = 11.392973

Значения параметра нагрузки по итерациям

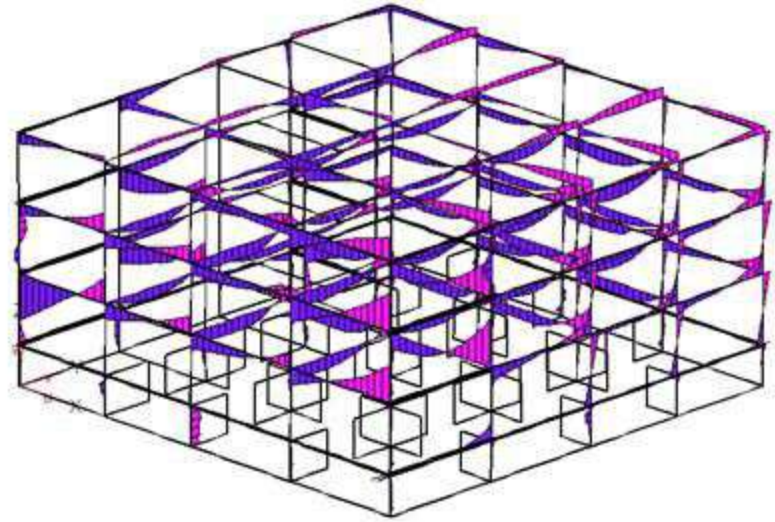
| N итерации | Параметр нагрузки |
|------------|-------------------|
| 1 | 4.077 |
| 2 | 0.903 |
| 3 | 0.947 |
| 4 | 1.048 |

Расчет завершен успешно.
Итоговый параметр нагрузки = 3.655410

Расчет пространственной жб конструкции СП 14.13330.2014

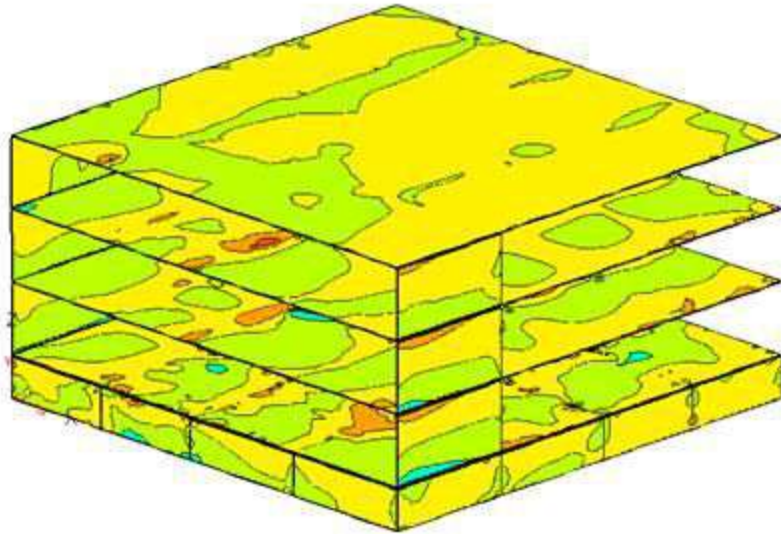
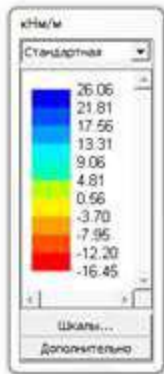


N

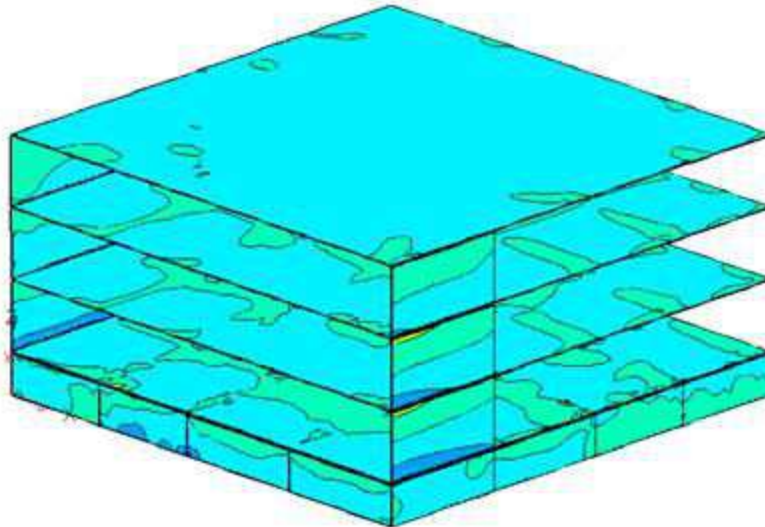
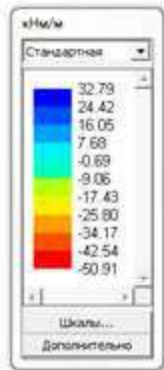


Mt

Расчет пространственной жб конструкции СП 14.13330.2014



M_r



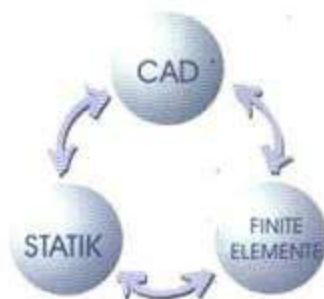
M_s

Заключение

На основе метода псевдожесткостей разработана методика и на ее базе алгоритм решения задач анализа сейсмической реакции неупругих систем.

Разработанный метод позволяет решать задачи предельного равновесия для различных моделей (стержни, пластины, оболочки, 3-х мерные тела, комбинированные конструкции), для диаграмм предельных усилий общего вида, учитывать разные значения критериев текучести в различных зонах конструкции.

Методика и алгоритм реализованы в программном комплексе MicroFE, в котором результатом решения задачи предельного анализа является определение предельной нагрузки, схемы разрушения конструкции и внутренние силовые факторы для момента образования механизма. Сопоставление результатов с полученными другими методами расчета (прямой метод, нелинейный статический - Pushover analysis EC8) показывает хорошее соответствие.



Ing+

ViCADo

MicroFe-СДК

СТАТИКА

COSTRUC

Спасибо за внимание



Ing+

4-7 декабря 2017 года, 10.00-18.00

Пройдет

Форум пользователей ING+

в г. Москва, Гостиничный комплекс Берлин