

# О нелинейном динамическом анализе зданий и сооружений.

С. Ю. Фиалко

Cracow University of Technology & SCAD Soft IT company

[sergiy.fialko@gmail.com](mailto:sergiy.fialko@gmail.com)

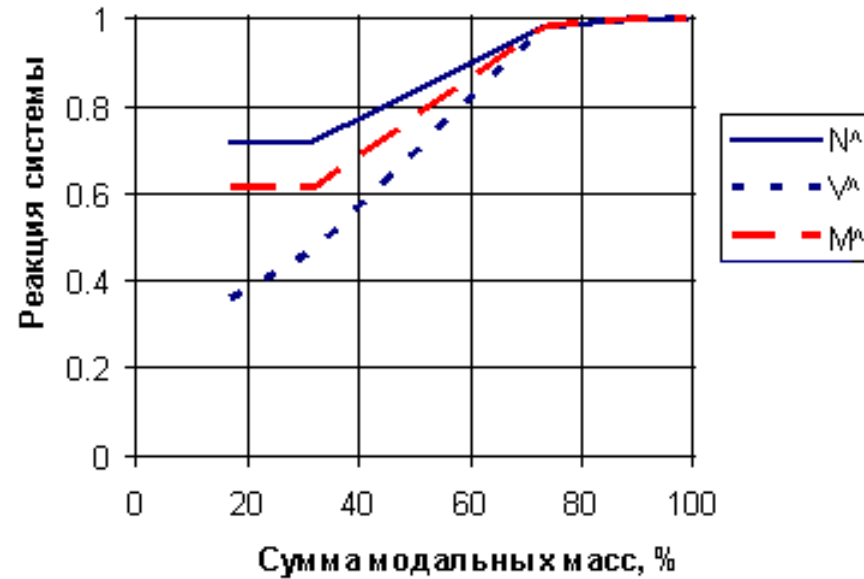
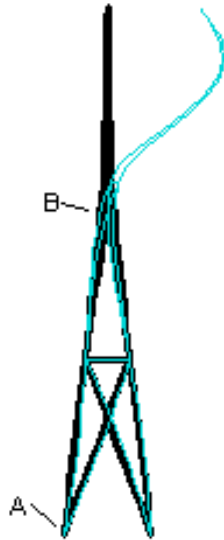
## Введение

- Нелинейный анализ с учетом физической нелинейности, основанный на прямом интегрировании уравнений движения, позволяет в ряде случаев существенно приблизить расчетную модель к реальной конструкции при значительных величинах нагрузок, вызывающих неупругую работу элементов конструкций, а также их частичное разрушение.
- Трудности полного нелинейного анализа связаны не только с большим объемом вычислений, что можно в значительной мере преодолеть, используя современную вычислительную технику, новейшие достижения в области вычислительной математики и в методах разработки программного обеспечения, позволяющих создавать высокопроизводительные гетерогенные параллельные вычислительные системы (high performance computing).

- Более серьезную проблему представляет необходимость тонкого понимания работы тех или иных механизмов нелинейности, дающих представление о том, что должно быть включено в расчетную модель, а что для данной задачи можно опустить без особого ущерба для достоверности результатов.
- Отдельную проблему представляет собой анализ и интерпретация полученных результатов.
- Вероятно в силу перечисленных причин в последнее время появились подходы, реализованные в современных программных комплексах, основанные на упрощении расчетной модели. Каждое упрощение расчетной модели должно быть обоснованно. Далекое не все предлагаемые упрощения являются обоснованными и корректными. В первую очередь речь идет об одномодальном приближении, реализованном в нелинейном анализе pushover.

- Nonlinear pushover analysis впервые появился в программном комплексе SAP90 в конце 90-х и был предназначен для паспортизации сооружений в соответствии с системой паспортизации, принятой в США. Задача pushover – оценить серьезность возможных повреждений, которые сооружения получают при землетрясениях различной интенсивности. Рассматривались в основном 3 – 5 этажные каркасные здания прямоугольной формы в плане, для которых первая форма собственных колебаний, близкая к форме колебаний консольной балки, имеет значительный процент модальных масс.
- В руководстве пользователя SAP2000 прямо указывается:  
*In addition, you are not restricted to static pushover analysis: you can also perform full nonlinear time-history analysis.*
- К сожалению, это предупреждение во многих отечественных подходах полностью проигнорировано и заменено загадочным для экспертов термином «инженерная нелинейность».

- В связи с этим обращаем внимание на недопустимость необоснованного ограничения исследования одномодальным анализом, хотя бы и нелинейным. Достаточно рассмотреть следующую задачу:



- Здесь  $N^m = N_m/N_{100}$ ,  $V^m = V_m/V_{100}$ ,  $M^m = M_m/M_{100}$  — отношение продольной силы, сдвигающей силы в основании и опрокидывающего момента при достигнутой сумме модальных масс к их значениям при 100% суммы модальных масс.

- Поэтому в рамках данного доклада мы будем говорить о полном нелинейном динамическом анализе.
- Мы ограничимся рассмотрением упруго-пластической модели материала в предположении малых перемещений и углов поворота. Таким образом, в предлагаемой постановке задачи используются линейные геометрические соотношения.
- Мы ограничимся рассмотрением тонкостенных конструкций, состоящих из стержневых элементов пространственной рамы и плоских треугольных и четырехугольных оболочечных элементов.

## Постановка задачи

Принцип Остроградского-Гамильтона:

$$\delta \int_{t_1}^{t_2} (T - \Pi' - W) dt = 0, \quad \Pi' = \Pi + \sum_{i=1}^{imp} \gamma_i (u_i - \bar{u}_i)^2, \quad (1)$$

где  $T$  – кинетическая энергия системы,  $\Pi$  – потенциальная,  $W$  – изменение потенциала внешних сил, сумма  $\Sigma$  охватывает все степени свободы, по которым заданы вынужденные перемещения  $\bar{u}_i(t)$ ,  $\gamma_i$  – параметры штрафа.

Уравнения движения с учетом сил диссипации:

$$\mathbf{M}\ddot{\mathbf{u}} + \mathbf{C}\dot{\mathbf{u}} + N(\mathbf{u}) + \Gamma\mathbf{u} = \mathbf{f}_{ext}(t) + \Gamma\bar{\mathbf{u}}, \quad (2)$$

## Постановка задачи

где  $\mathbf{M}$  – матрица масс,  $\mathbf{C}$  – матрица демпфирования,  $N(\mathbf{u})$  – вектор восстанавливающих сил (нелинейный оператор),  $\mathbf{\Gamma}$  – диагональная матрица, появившаяся в результате применения параметров штрафа,  $\mathbf{f}_{ext}(t)$  – вектор внешних сил,  $\bar{\mathbf{u}}(t)$  – заданные вынужденные смещения опор.

## Модели демпфирования.

- Рэлеевское демпфирование.

$$\mathbf{C} = \alpha\mathbf{M} + \beta\mathbf{K}_t(\mathbf{u}), \quad \mathbf{K}_t(\mathbf{u}) = \frac{\partial N(\mathbf{u})}{\partial \mathbf{u}}, \quad (3)$$

$\mathbf{K}_t(\mathbf{u})$  – согласованная матрица тангенциальной жесткости.



## Постановка задачи

- Демпфирование материала (многокомпонентное).

$$\mathbf{C} = \sum_e^{Nele} \gamma_e \mathbf{T}_e^T \mathbf{K}_t^e \mathbf{T}_e, \quad (4)$$

$\gamma_e$  – коэффициент потерь материала,  $\mathbf{K}_t^e$  – согласованная матрица тангенциальной жесткости конечного элемента  $e$ ,  $\mathbf{T}_t^e$  – матрица преобразования координат.

- Нелинейное демпфирование.

$$\mathbf{M}(\ddot{\mathbf{u}} + \alpha \dot{\mathbf{u}}) + N(\mathbf{u} + \beta \dot{\mathbf{u}}) + \Gamma \mathbf{u} = \mathbf{f}_{ext}(t) + \Gamma \bar{\mathbf{u}}, \quad (5)$$

## Постановка задачи

- Окончательно получаем задачу Коши:

$$\begin{cases} \mathbf{M}\ddot{\mathbf{u}} + \mathbf{C}\dot{\mathbf{u}} + N(\mathbf{u}) + \Gamma\mathbf{u} = \mathbf{f}_{ext}(t) + \Gamma\bar{\mathbf{u}}(t) \\ \mathbf{u}(0) = \mathbf{u}_0, \quad \dot{\mathbf{u}}(0) = 0. \end{cases} \quad (6)$$

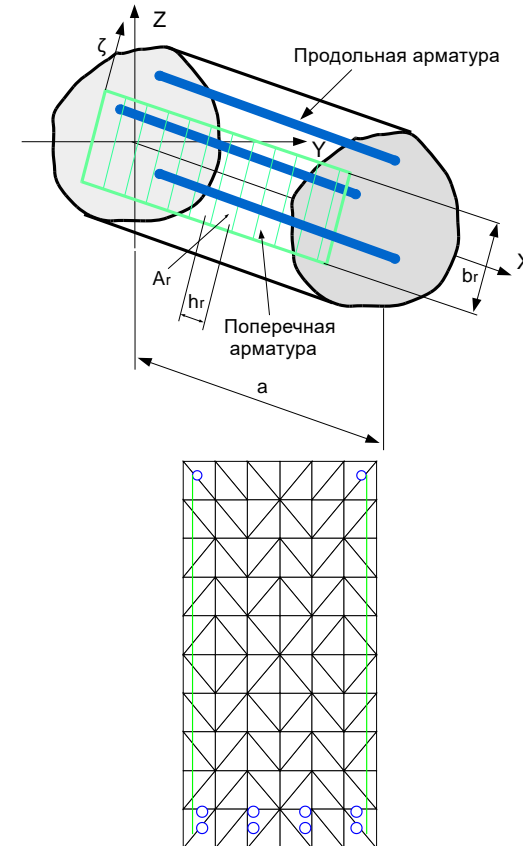
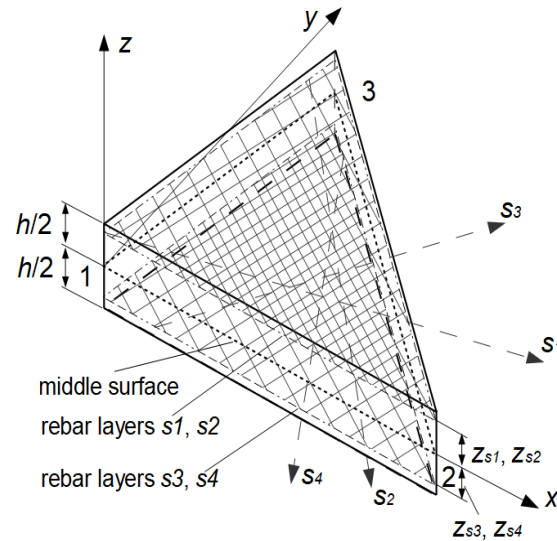
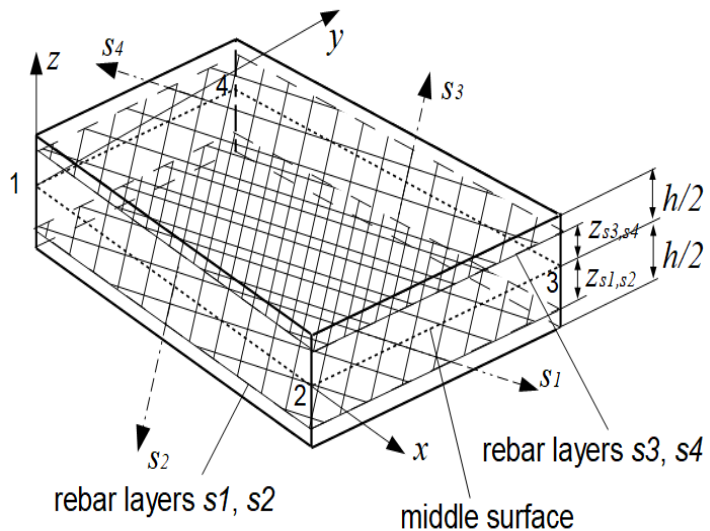
Здесь:

- $\mathbf{f}_{ext}(t) = \mathbf{f}_{stat} + \mathbf{f}_{dyn}(t)$ , где  $\mathbf{f}_{stat}$  – статическая нагрузка (постоянная и временная длительная),  $\mathbf{f}_{dyn}(t)$  – динамическая нагрузка (сейсмическое воздействие).
- $\mathbf{u}_0$  – перемещения, вызванные статической нагрузкой, определяемые из решения нелинейной задачи статики:

$$N(\mathbf{u}_0) + \Gamma\mathbf{u} = \mathbf{f}_{stat} + \Gamma\bar{\mathbf{u}} \quad (7)$$

# Библиотека конечных элементов

- Четырехугольный плоский оболочечный конечный элемент.
- Треугольный плоский оболочечный конечный элемент.
- Двухузловой стержневой пространственный конечный элемент.



# Модели материала

## Бетон

- Бетон представляется как однородный и изотропный материал.
- Деформационная теория пластичности, сформулированная в терминах остаточных деформаций (СМ1).
- Диаграмма  $\sigma - \varepsilon$ : аппроксимация Паде билинейной диаграммы или аппроксимация ЕКБ в сжатой зоне и трехлинейная диаграмма – в растянутой.
- Теория пластического течения при использовании поверхности текучести Друкера – Прагера (СМ2) или Гениева (СМ3).
- Учет деградации бетона при раскрытии трещин – ниспадающая ветвь (разупрочнение) на диаграмме  $\sigma - \varepsilon$ .
- Учет поперечного сдвига: модель Миндлина-Рейсснера для оболочечного элемента и модель Тимошенко для стержневого элемента.

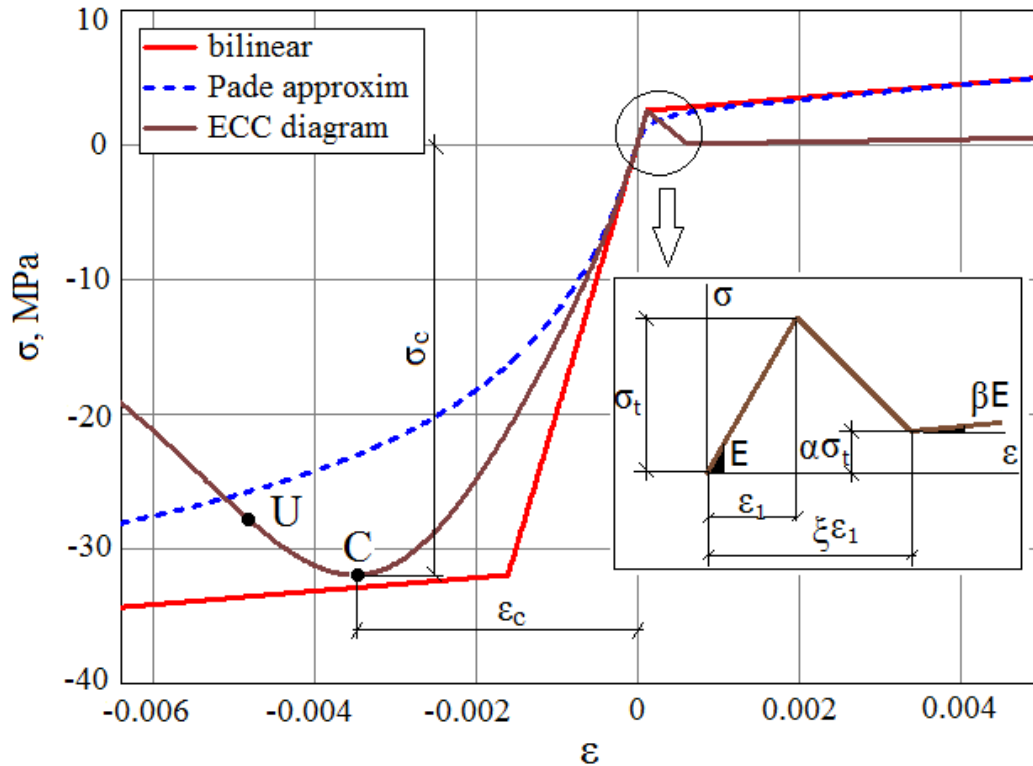
# Деформационная теория пластичности

## Диаграмма ЕКБ

### Аппроксимация Паде

$$\sigma(\varepsilon) = \begin{cases} \frac{\varepsilon(E\varepsilon_1 + E_1\varepsilon)}{\varepsilon + \varepsilon_1} & \varepsilon \geq 0, \\ \frac{\varepsilon(E\varepsilon_2 + E_2\varepsilon)}{\varepsilon + \varepsilon_2} & \varepsilon < 0 \end{cases}$$

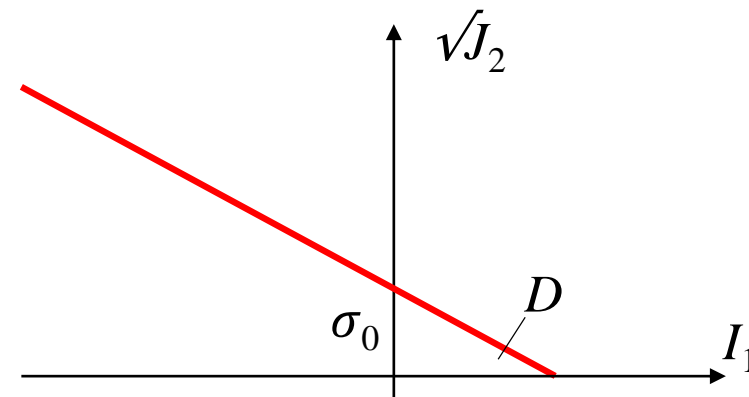
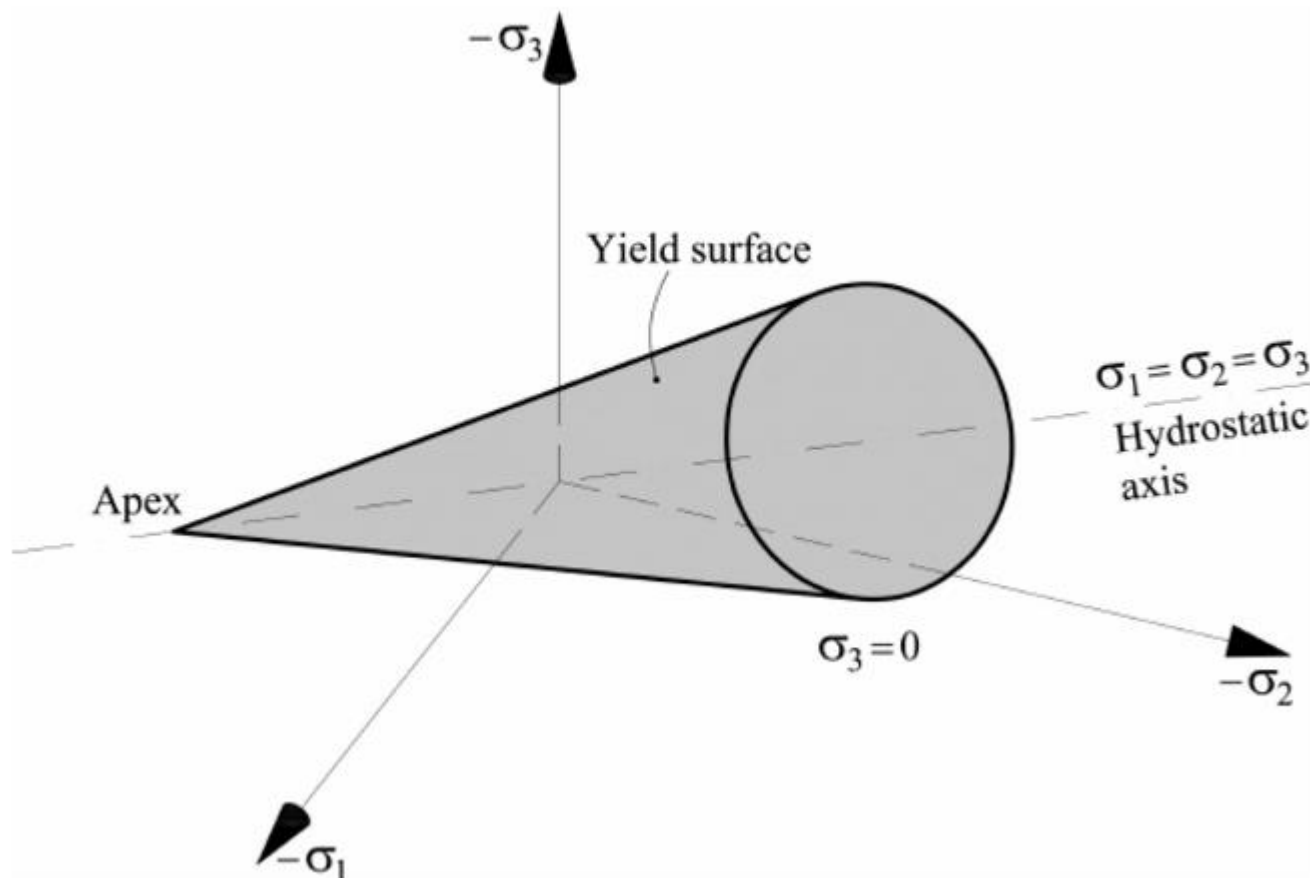
$$\sigma(\varepsilon) = \begin{cases} E\varepsilon & 0 \leq \varepsilon \leq \varepsilon_1, \\ \alpha\sigma_t + \frac{(1-\alpha)E}{1-\xi}(\varepsilon - \xi\varepsilon_1) & \varepsilon_1 \leq \varepsilon \leq \xi\varepsilon_1, \xi > 1, \\ \alpha\sigma_t + \beta E(\varepsilon - \xi\varepsilon_1) & \varepsilon > \xi\varepsilon_1, \\ \frac{E}{E_s} \varepsilon_s \sigma_c & \varepsilon_{ul} \leq \varepsilon < 0 \end{cases}$$



$\sigma_c, \sigma_t$  – предел прочности бетона на сжатие и растяжение,  
 $\varepsilon_c, \varepsilon_1$  – соответствующие им деформации.  
 U – точка, соответствующая предельным деформациям бетона на сжатие.

# Теория пластического течения Друкера-Прагера. Конститутивная модель для бетона

## Поверхность текучести



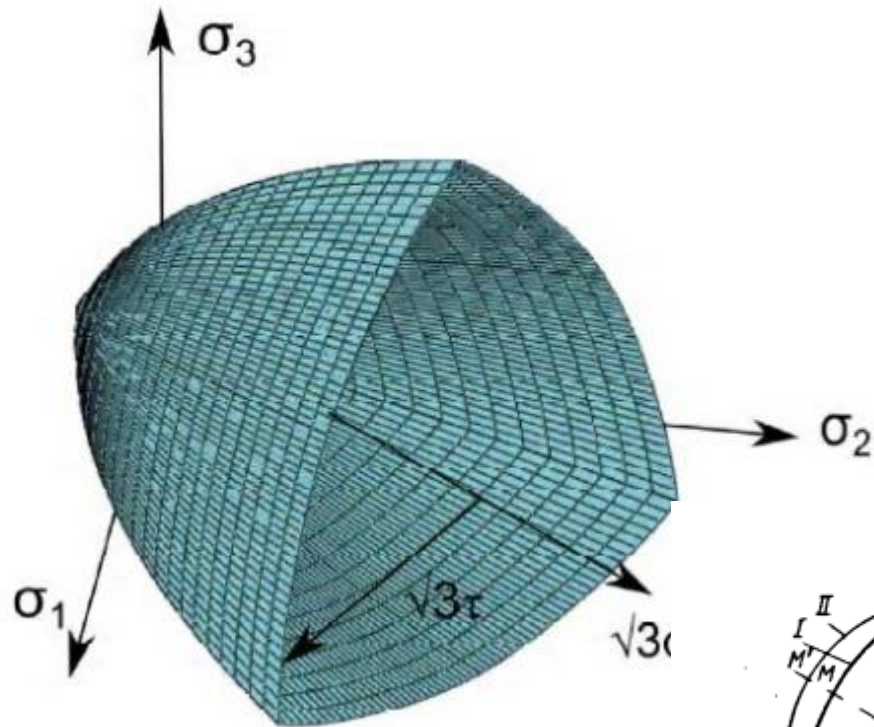
$$f = DI_1 + \sqrt{J_2} - \sigma_0,$$

$$D = \frac{\sigma_c - \sigma_t}{2\sqrt{3}(\sigma_c + \sigma_t)},$$

$$\sigma_0 = \frac{\sigma_c \cdot \sigma_t}{2\sqrt{3}(\sigma_c + \sigma_t)}.$$

# Теория пластического течения. Конститутивная модель для бетона

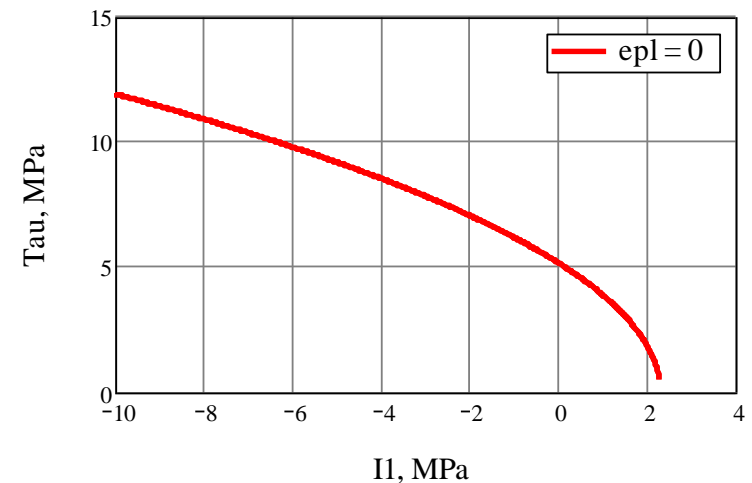
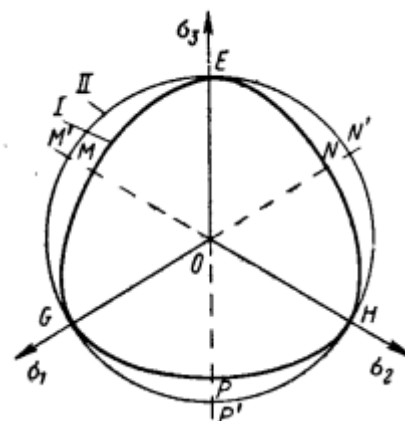
Поверхность прочности Гениева.



$$f = 3\bar{\alpha}^2 b I_1 + \frac{3\sqrt{3}}{2} \beta (a - b I_1) J_3 (J_2)^{-\frac{3}{2}} + 3J_2 - \sigma_0,$$

$$a = \sigma_c \sigma_t, \quad b = \sigma_c + \sigma_t, \quad 0.531 < \bar{\alpha} \leq 1/\sqrt{3},$$

$$\beta = 1 - 3\bar{\alpha}^2, \quad \sigma_0 = 3a\bar{\alpha}^2, \quad J_3 = \det(\mathbf{D}_\sigma).$$



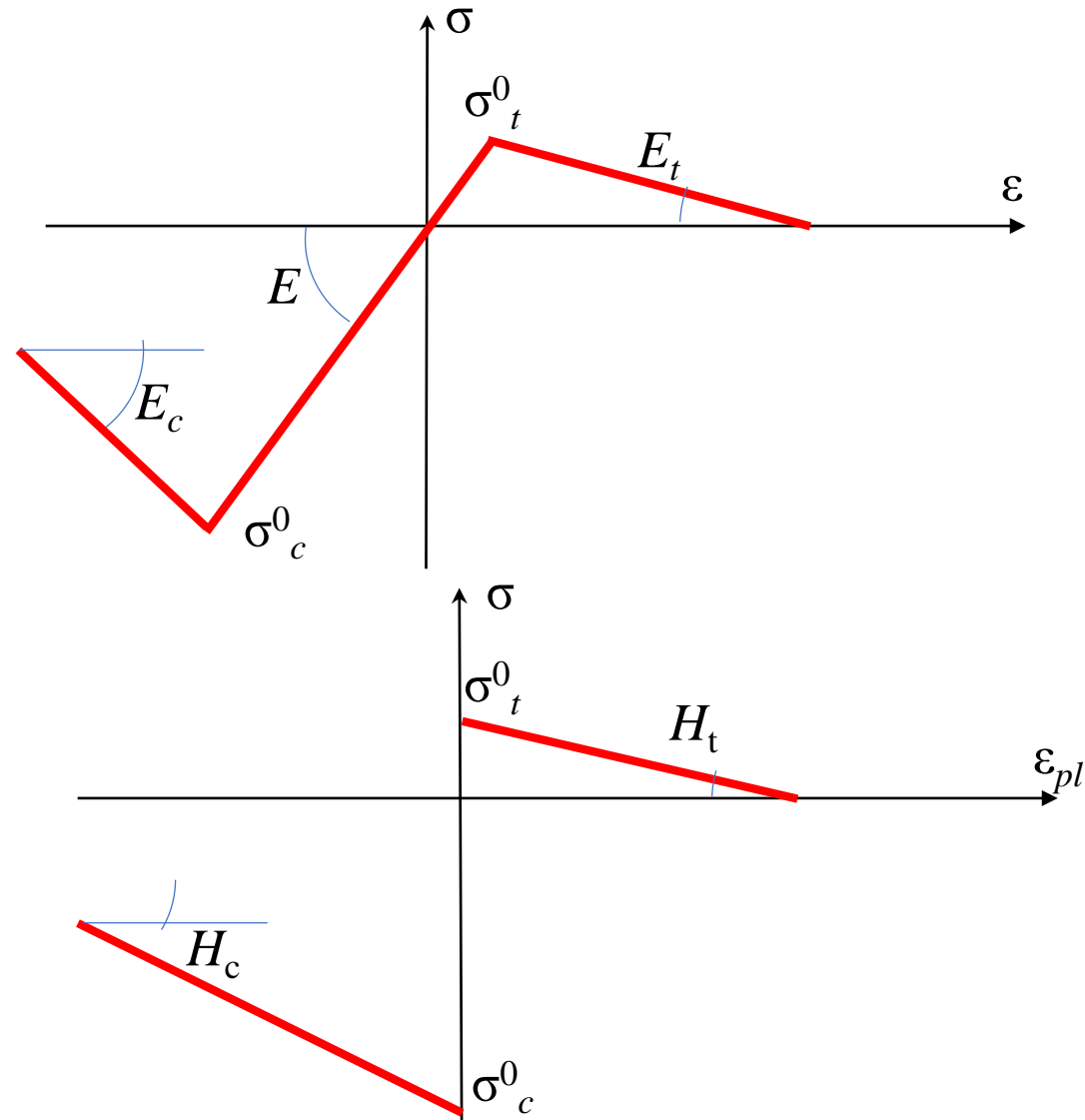
## Теория пластического течения

Разупрочнение бетона (softening):

$$\sigma_t(\varepsilon_{pl}) = \sigma_t^0 + H_t \cdot \varepsilon_{pl}, \quad H_t = 1 - E_t/E$$

$$\sigma_c(\varepsilon_{pl}) = \sigma_c^0 + H_c \cdot \varepsilon_{pl}, \quad H_c = 1 - E_c/E$$

$$\varepsilon_{pl} = \varepsilon - \varepsilon_{el}$$





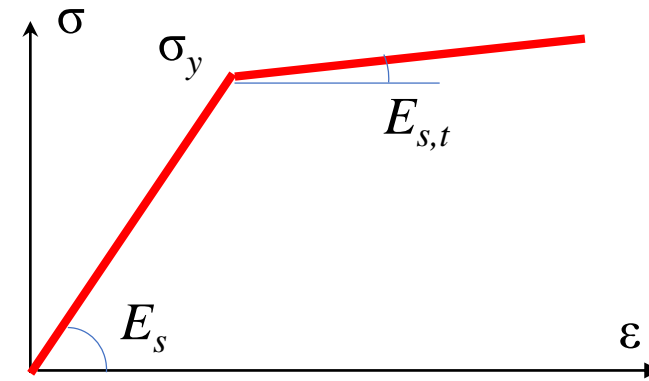
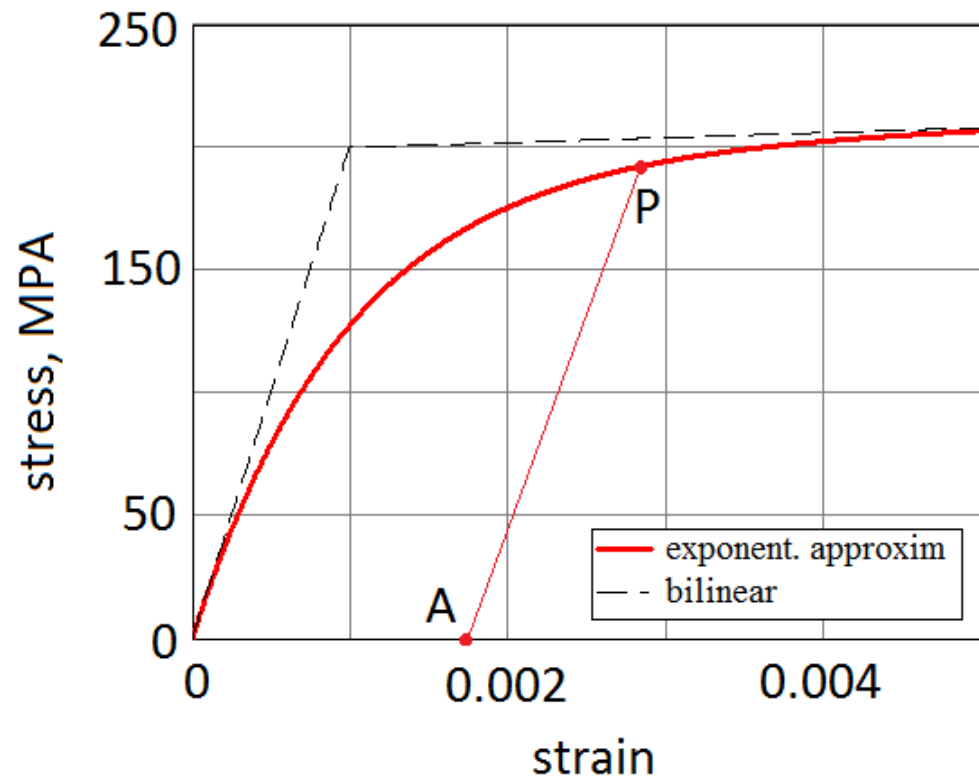
# Модели материала

## Арматура

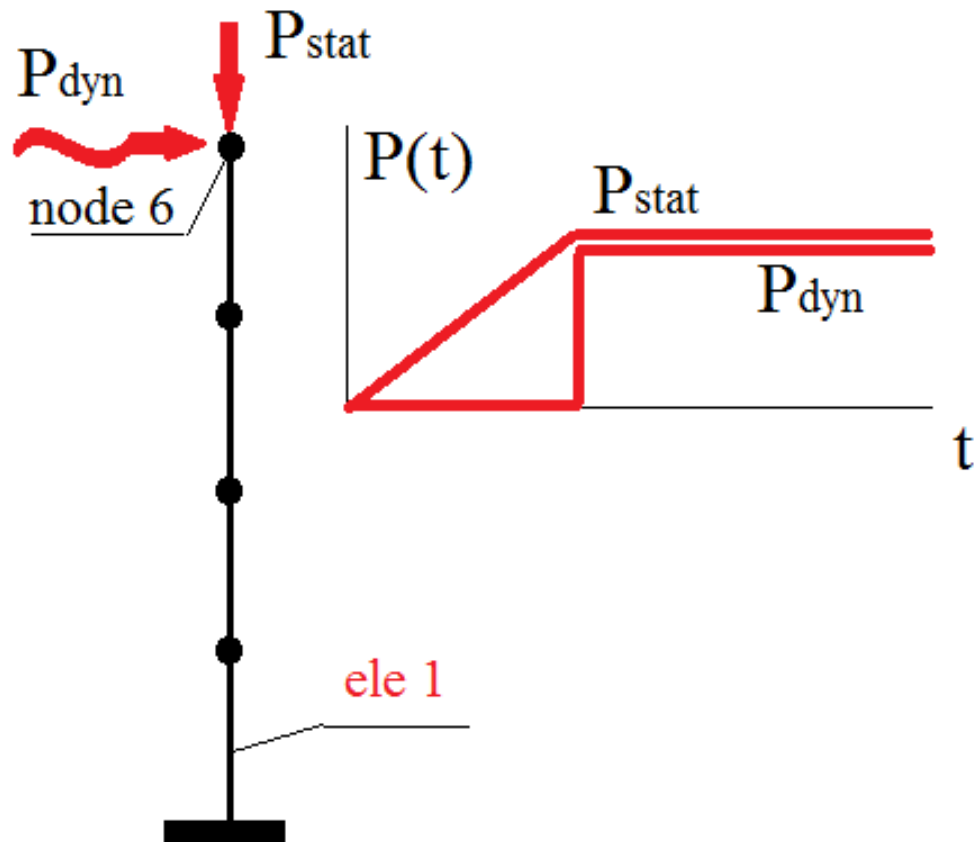
- Учитывается работа арматуры не только на растяжение-сжатие, но и на поперечный сдвиг.
- Для оболочечных элементов производится размазывание в плоскости арматурного слоя, однако сохраняется дискретность по толщине.
- Для стержневого элемента продольная арматура учитывается дискретно.
- Деформационная теория пластичности, сформулированная в терминах остаточных деформаций (СМ1), теория пластического течения фон Мизеса (СМ2, СМ3).

# Арматура

Деформационная теория пластичности    Теория пластического течения



## Особенности демпфирования колебаний для упруго-пластических моделей.



Модель диссипативная – с ростом меры пластических деформаций происходит рассеяние механической энергии, что само по себе порождает затухание колебаний при отсутствии вязкого или внутреннего трения ( $C = 0$ ):

$$M\ddot{\mathbf{u}} + N(\mathbf{u}) + \Gamma\mathbf{u} = \mathbf{f}_{ext}(t) + \Gamma\bar{\mathbf{u}},$$

# Особенности демпфирования колебаний для упруго-пластических моделей.

Перемещение, м

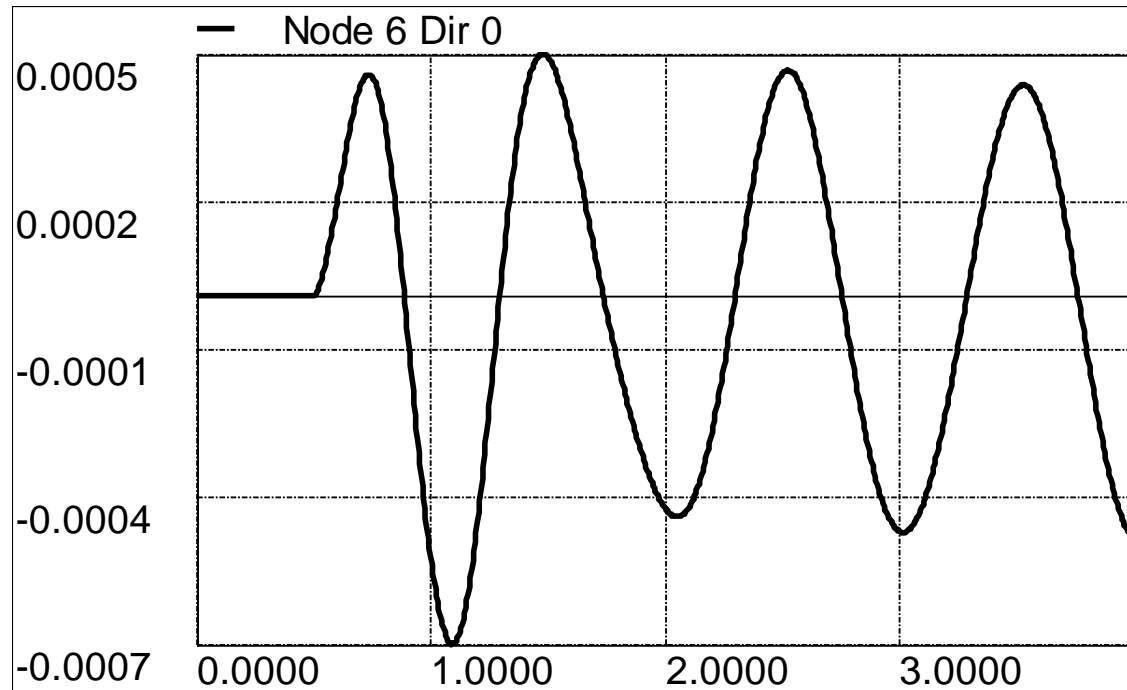
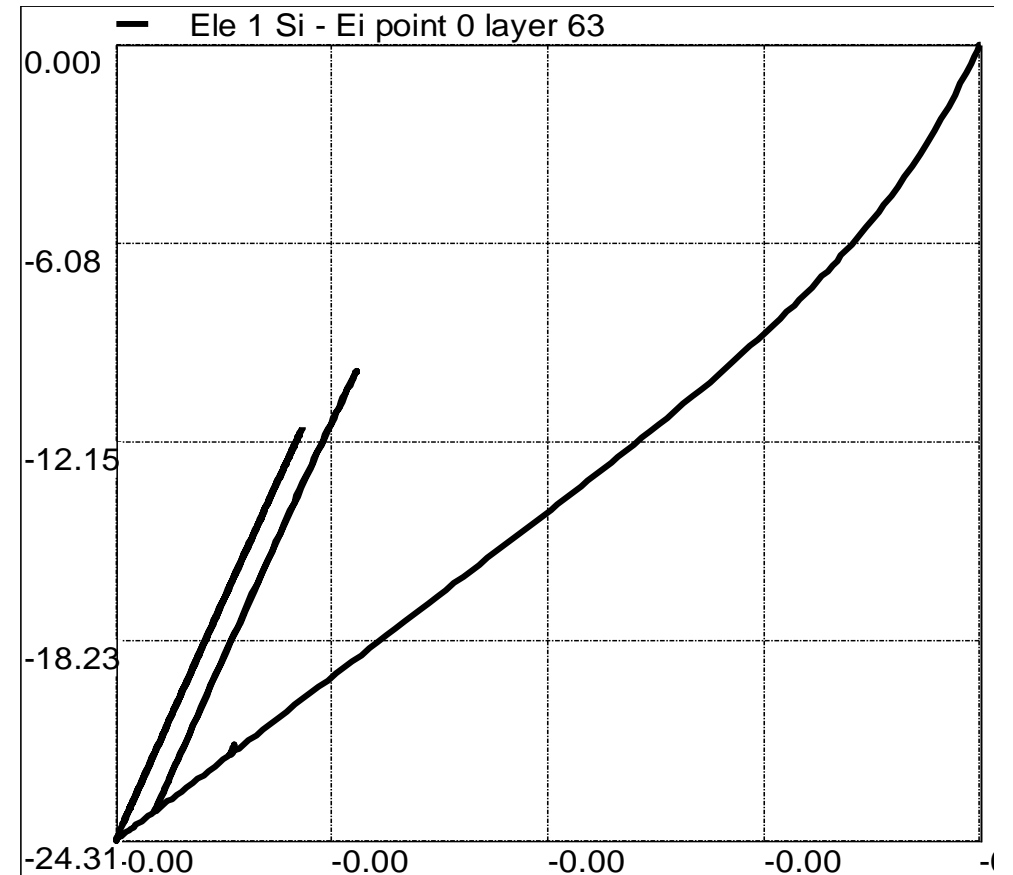
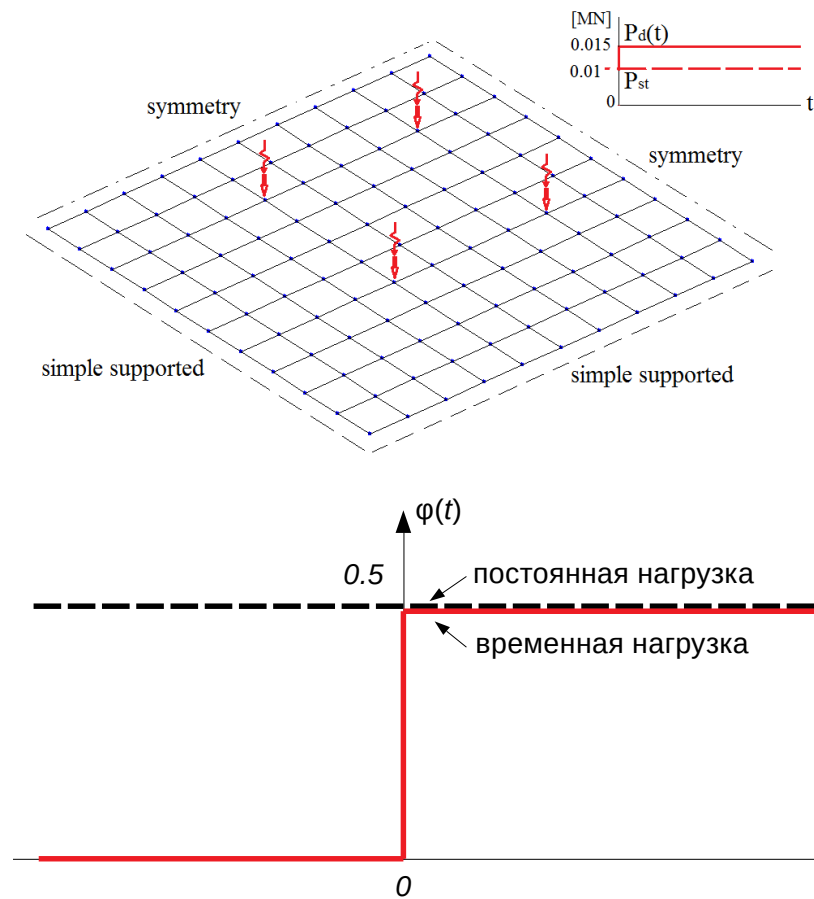
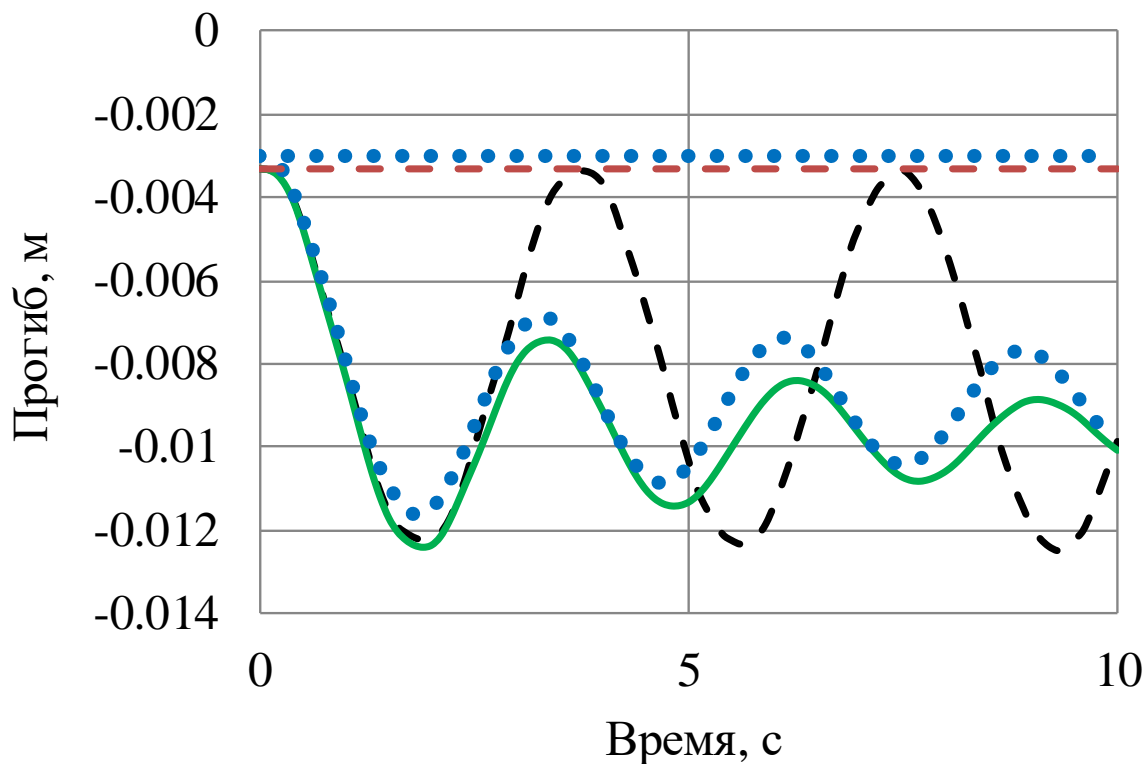


Диаграмма  $\sigma - \epsilon$



# Особенности демпфирования колебаний для упруго-пластических моделей.

- - 1 - нелинейная упругость
- 2 - CM1
- 3 - CM2
- - 4, 5 - статическое решение нелин. упр. и CM1
- 6 - статическое решение CM2



## Алгоритм решения динамической задачи.

1. Сначала решается нелинейная задача статики – прикладывается статическая нагрузка. Используется метод Ньютона-Рафсона.
2. Затем решается задача Коши. Начальные перемещения принимаются равными перемещениям от статической нагрузки. Начальные скорости равны нулю.

$$\begin{cases} \mathbf{M}\ddot{\mathbf{u}} + \mathbf{C}\dot{\mathbf{u}} + N(\mathbf{u}) + \Gamma\mathbf{u} = \mathbf{f}_{ext}(t) + \Gamma\bar{\mathbf{u}}(t) \\ \mathbf{u}(0) = \mathbf{u}_0, \quad \dot{\mathbf{u}}(0) = 0. \end{cases}$$

*С. Ю. Фиалко. Применение метода конечных элементов к анализу прочности и несущей способности тонкостенных железобетонных конструкций с учетом физической нелинейности. – М.: Издательство СКАД СОФТ, Издательский дом АСВ, 2018. – 192 с.*

## Алгоритм решения задачи динамики.

Рассматривается уравнение динамического равновесия на временном шаге  $k + 1$ . Перемещения, скорости и ускорения на предыдущем шаге  $k$  известны.

$$\mathbf{M}\mathbf{a}_{k+1} + \mathbf{C}\mathbf{v}_{k+1} + N(\mathbf{u}_{k+1}) + \Gamma\mathbf{u}_{k+1} = \mathbf{f}_{k+1}^{ext} + \Gamma\bar{\mathbf{u}}_{k+1} \quad (8)$$

Предиктор:

$$\left\{ \begin{array}{l} \tilde{\mathbf{u}}_{k+1}^0 = \mathbf{u}_k + \Delta t \cdot \mathbf{v}_k + \frac{\Delta t^2}{4} \cdot \mathbf{a}_k, \\ \tilde{\mathbf{v}}_{k+1}^0 = \mathbf{v}_k + \frac{\Delta t}{2} \cdot \mathbf{a}_k, \\ \tilde{\mathbf{a}}_{k+1}^0 = 0. \end{array} \right. \quad (9)$$

Корректор: необходимо так подобрать  $\Delta \mathbf{a}$ ,  $\Delta \mathbf{v}$ ,  $\Delta \mathbf{u}$ , чтобы обеспечить условие равновесия на шаге  $k + 1$ .

$$\mathbf{f}_{k+1}^{ext} + \Gamma \bar{\mathbf{u}}_{k+1} - \mathbf{M}(\mathbf{a}_{k+1} + \Delta \mathbf{a}) - \mathbf{C}(\mathbf{v}_{k+1} + \Delta \mathbf{v}) - N(\mathbf{u}_{k+1} + \Delta \mathbf{u}) - \Gamma(\mathbf{u}_{k+1} + \Delta \mathbf{u}) = 0 \quad (10)$$

Линеаризация (метод Ньютона): считая, что  $\Delta \mathbf{u}$  – малая величина по сравнению с  $\mathbf{u}$ , разложим нелинейный оператор  $N(\mathbf{u})$  в ряд Тейлора с удержанием только линейного члена разложения:

$$N(\mathbf{u}_{k+1} + \Delta \mathbf{u}) \approx N(\mathbf{u}_{k+1}) + \frac{\partial N}{\partial \mathbf{u}} \Delta \mathbf{u}, \quad \mathbf{K}_t(\mathbf{u}) = \frac{\partial N}{\partial \mathbf{u}} \Big|_{\mathbf{u}}. \quad (11)$$

Алгоритм:

$$\mathbf{u}_{k+1}^0 = \tilde{\mathbf{u}}_{k+1}^0, \quad \mathbf{v}_{k+1}^0 = \tilde{\mathbf{v}}_{k+1}^0, \quad \mathbf{a}_{k+1}^0 = 0, \quad i = 0.$$



*while*(*err* > *tol*)

$$\mathbf{r} = \mathbf{f}_{k+1}^{ext} + \Gamma \bar{\mathbf{u}}_{k+1} - \mathbf{M} \mathbf{a}_{k+1}^i - \mathbf{C} \mathbf{v}_{k+1}^i - N(\mathbf{u}_{k+1}^i) - \Gamma(\mathbf{u}_{k+1}^i)$$

$$err = \|\mathbf{r}\|_2 / \max \left\{ \|\mathbf{f}_{k+1}^{ext}\|_2, \|\Gamma \bar{\mathbf{u}}_{k+1}\|_2, \|\mathbf{M} \mathbf{a}_{k+1}^i\|_2 \right\}$$

*if*(*err* ≤ *tol*) *break*;

$$\mathbf{K}_{dyn}(\mathbf{u}_{k+1}^i) \Delta \mathbf{u} = \mathbf{r}, \quad \mathbf{K}_{dyn}(\mathbf{u}_{k+1}^i) = \frac{1}{\beta \Delta t^2} \mathbf{M} + \frac{\gamma}{\beta \Delta t} \mathbf{C} + \mathbf{K}_t(\mathbf{u}_{k+1}^i)$$

$$\mathbf{u}_{k+1}^{i+1} = \mathbf{u}_{k+1}^i + \Delta \mathbf{u} \quad \text{Здесь } \gamma = 1/2, \quad \beta = 1/4.$$

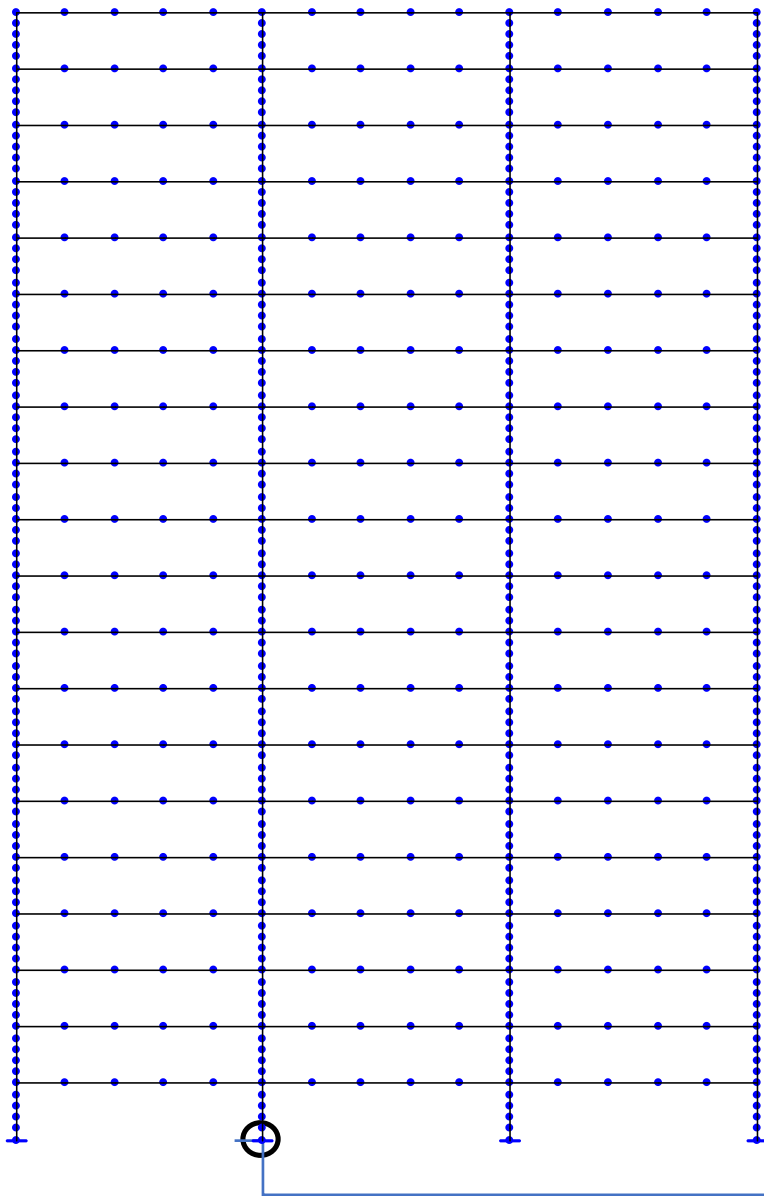
$$\mathbf{v}_{k+1}^{i+1} = \mathbf{v}_{k+1}^i + \frac{\gamma}{\beta \Delta t} \Delta \mathbf{u}$$

$$\mathbf{a}_{k+1}^{i+1} = \mathbf{a}_{k+1}^i + \frac{1}{\beta \Delta t^2} \Delta \mathbf{u}$$

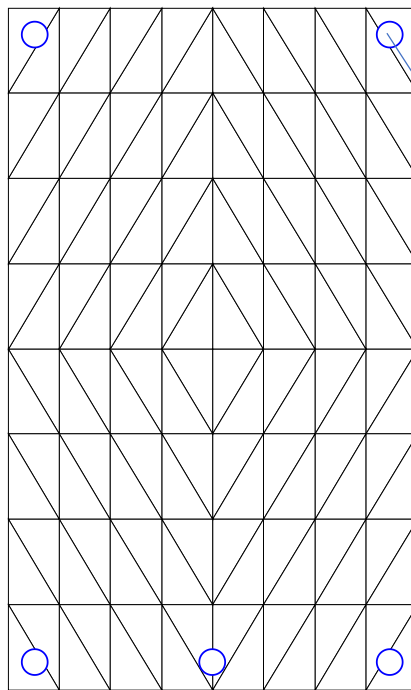
*i* = *i* + 1

*end while loop*

# Поведение плоской рамы при воздействии постоянной нагрузки и сейсмике.

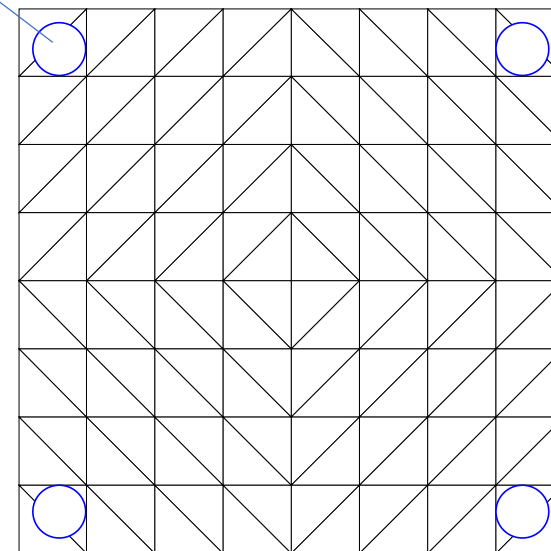


Ригель 30×50 см



Ø 20 мм  
 $\mu = 0.8\%$

Ø 40 мм  
 $\mu = 3\%$  Колонна 40×40 см



Бетон

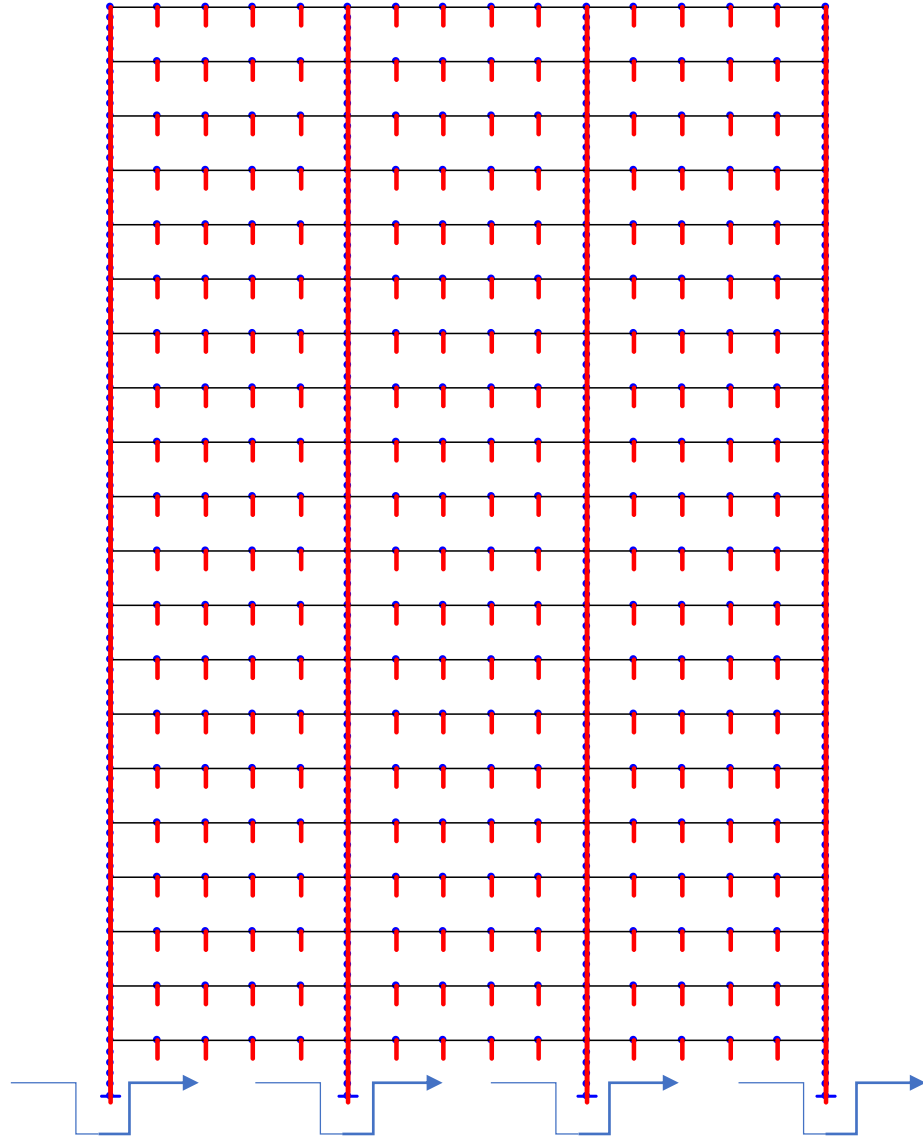
$E = 28\,000$  МПа,  $\sigma_c = 32$  МПа,  $\sigma_t = 1.5$  МПа

Арматура

$E_s = 200\,000$  МПа,  $\sigma_y = 600$  МПа,

$E'_s/E_s = 0.01$

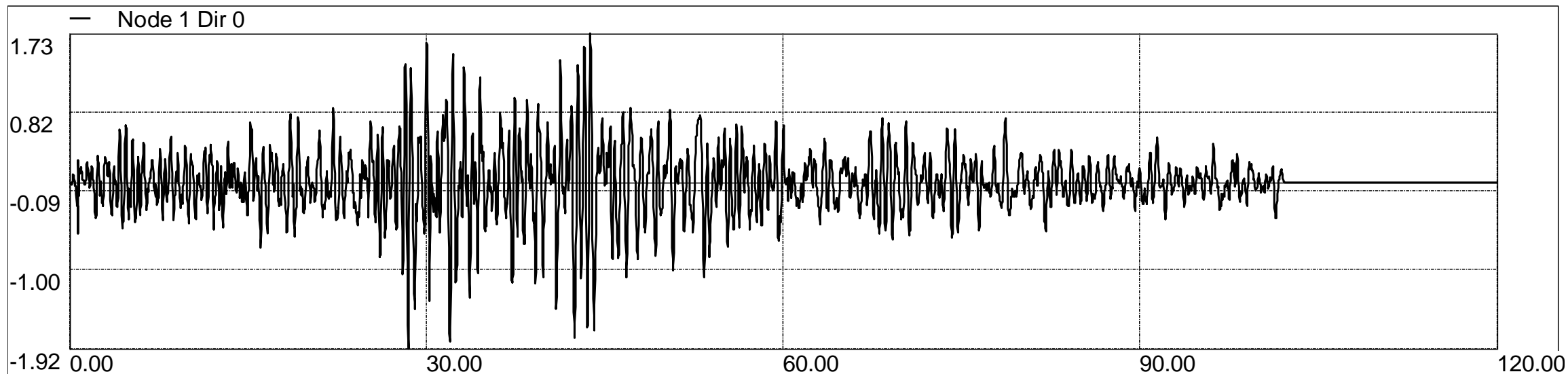
## Статическая и динамическая нагрузки



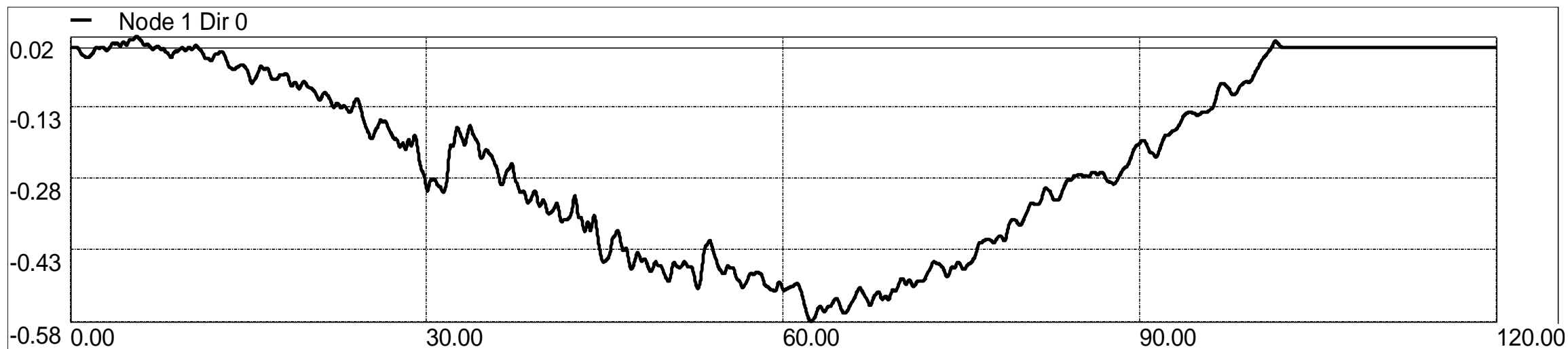
Сейсмическая нагрузка:

- Землетрясение 8 баллов,
- Горизонтальное воздействие,
- Синхронное возмущение опор,
- Рэлеевское демпфирование –  
 $\alpha = 0.438$ ,  $\beta = 0.005$ ;  
демпфирование материала –  $\gamma_e = 0.016$  ( $\xi = 0.1$  от критического).

# Акселерограмма, м/с<sup>2</sup> (приведена к землетрясению 8 баллов)



# Сейсмограмма, м



## Сглаживание вынужденных перемещений

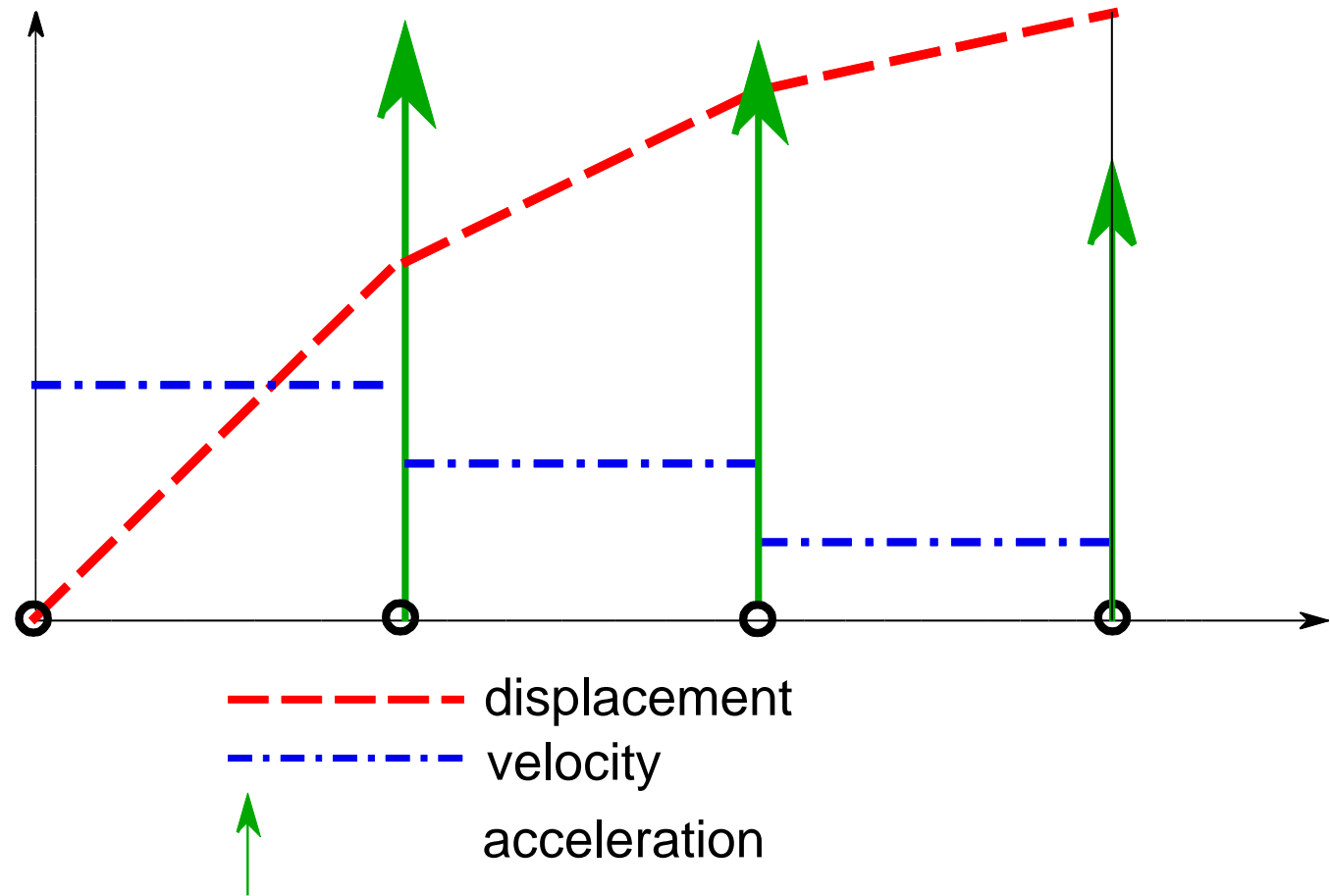
### Причина:

Использование линейной интерполяции заданных перемещений  $\bar{\mathbf{u}}(t)$ .

При этом скорость  $\dot{\bar{\mathbf{u}}}(t)$  является кусочно-постоянной функцией на отрезке

$$t \in [t_i, t_{i+1}],$$

а ускорения  $\ddot{\bar{\mathbf{u}}}(t)$  всюду на отрезке равны нулю, а в узлах интерполяции  $i, i+1$  представлены дельта-функциями Дирака.



*Fialko S., Karpilovskyi V. Time history analysis formulation in SCAD FEA software. Journal of Measurements in Engineering, Vol. 6, Issue 4, 2018, p. 173-180.*  
<https://doi.org/10.21595/jme.2018.20408>

## Критические события:

- Приведенная деформация арматуры растянутой зоны превысила  $\sigma_y/E_s$ .  
(Арматура растянутой зоны течет)
- Приведенная деформация арматуры сжатой зоны превысила  $\sigma_y/E_s$ .  
(Арматура сжатой зоны течет)
- Приведенная деформация бетона сжатой зоны превысила 0.0035.  
(Бетон сжатой зоны прошел предельную точку диаграммы  $\sigma - \varepsilon$ ).

**Конечный элемент считается поврежденным**, если произошло хотя бы одно из перечисленных выше событий.

**Конечный элемент считается разрушенным**, если:

- Арматура растянутой зоны течет.
- Арматура сжатой зоны течет и бетон сжатой зоны прошел предельную точку диаграммы  $\sigma - \varepsilon$ .

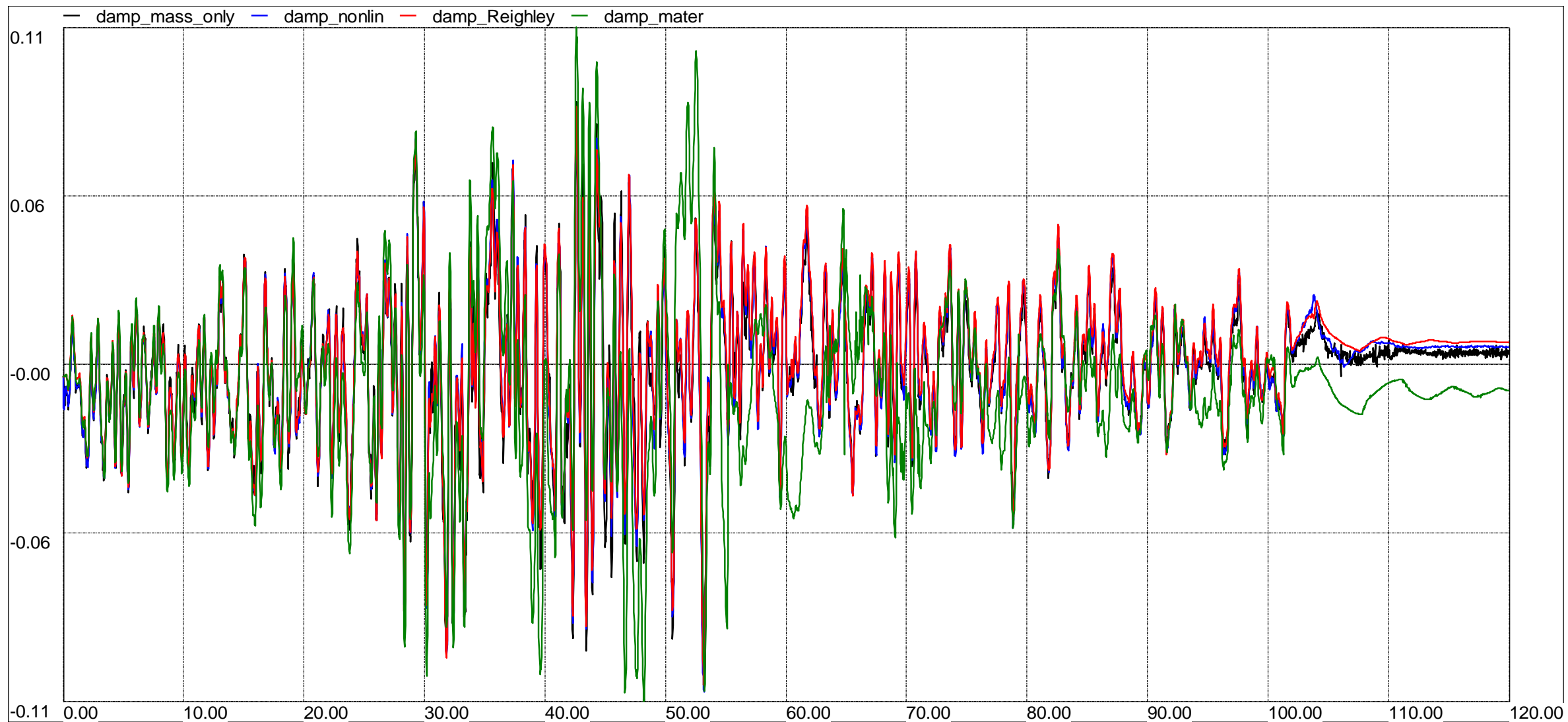
По окончании расчета выдается таблица:

### STATUS OF FINITE ELEMENTS

ele	Rebar of tensile zone yields	Rebar of compressed zone yields	Concrete of compressed zone passed the limit point
1		19023	22465
101		12081	22086
201		11700	21622
301		2098	2316
405		22364	
406	21975		

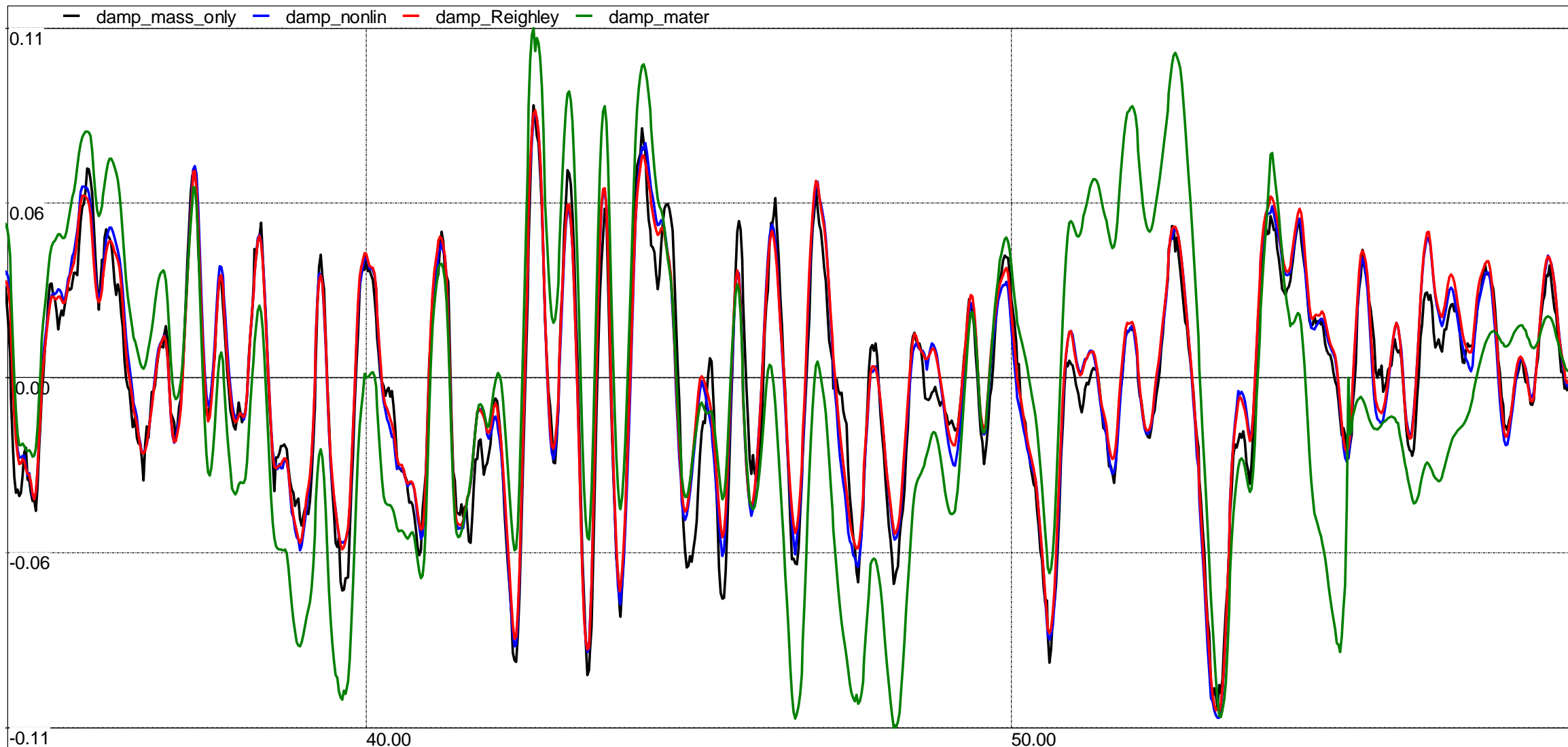
В таблице приведены номера шагов интегрирования по времени, когда произошло данное событие.

Сравнение моделей демпфирования. Поперечная сила в элементе 101, МН,  
демпфирование  $\xi = 0.1$  от критического, деформационная теория  
пластичности.

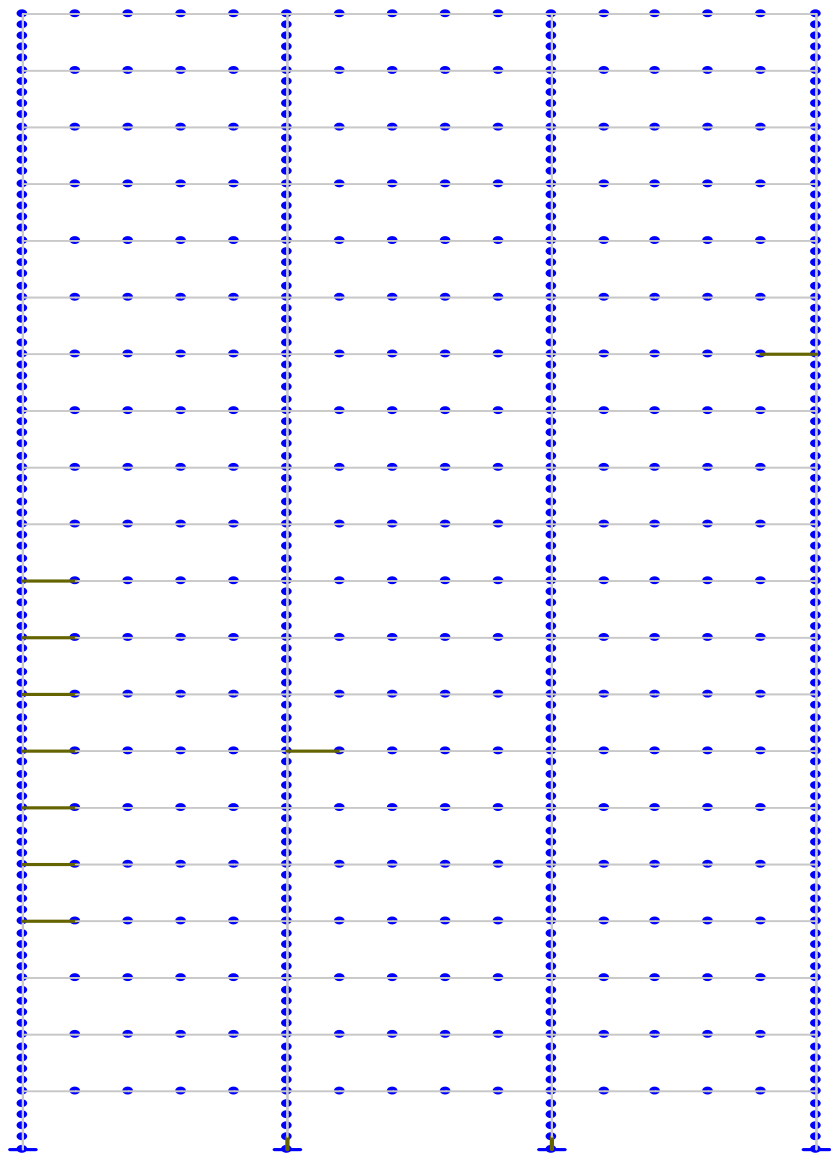




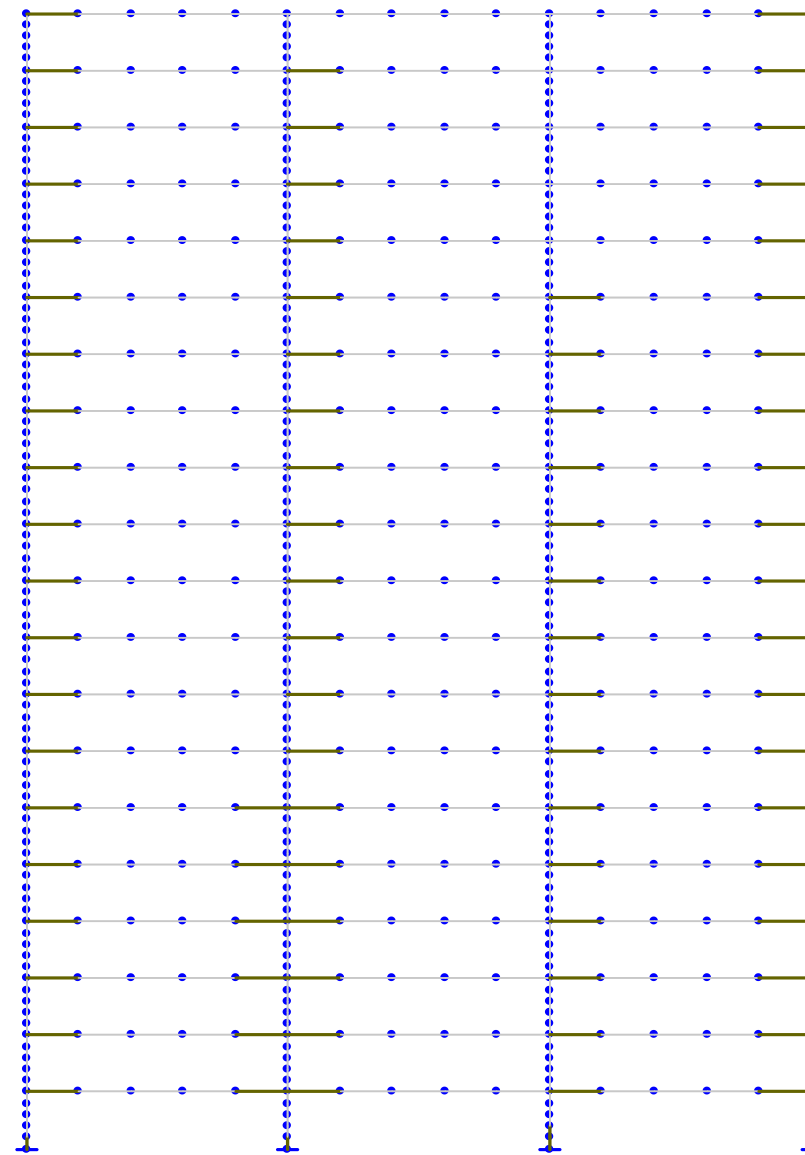
Поперечная сила в элементе 101, МН, демпфирование  $\xi = 0.1$  от критического, деформационная теория пластичности.



# Поврежденные конечные элементы. Деформационная теория пластичности.

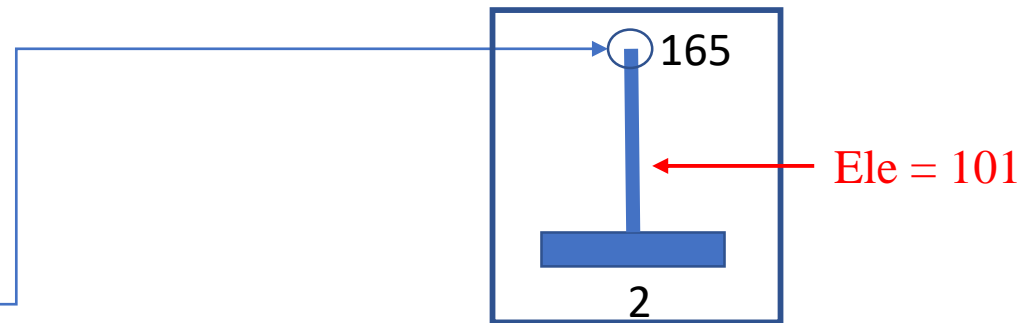
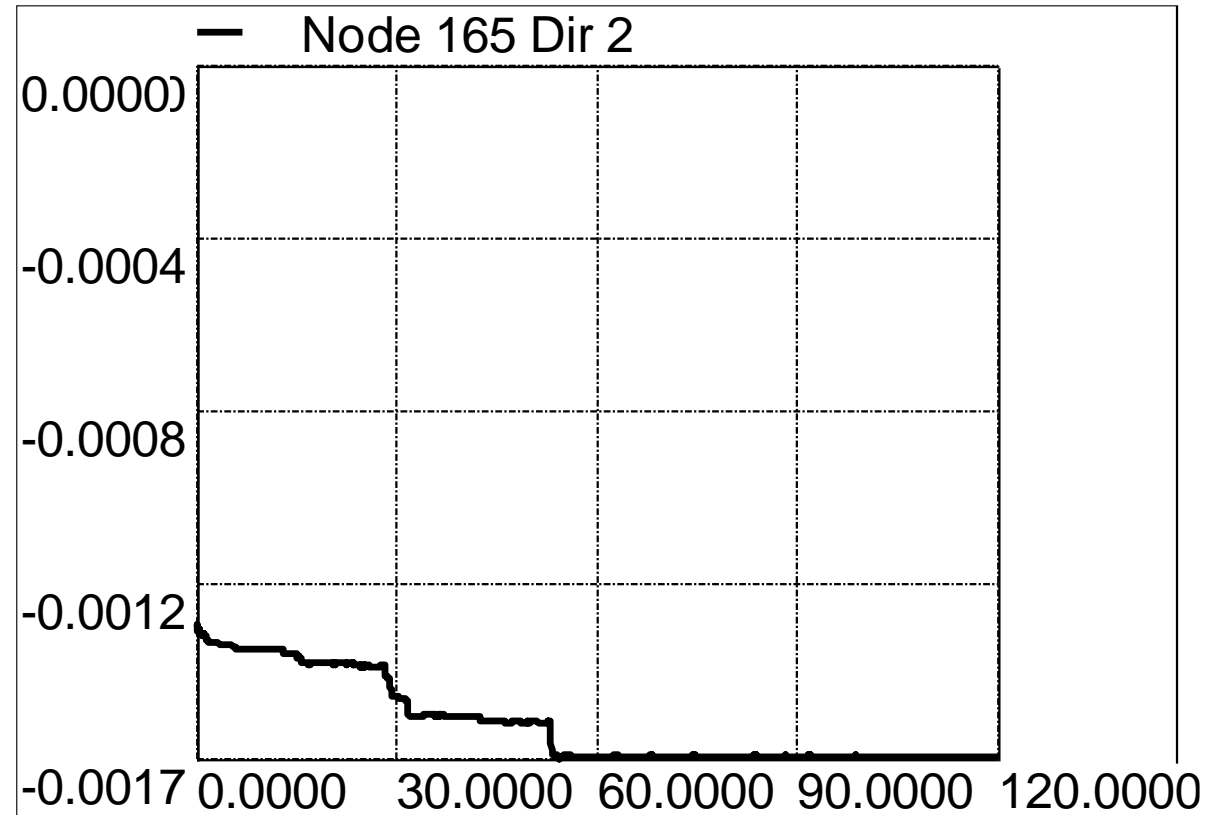
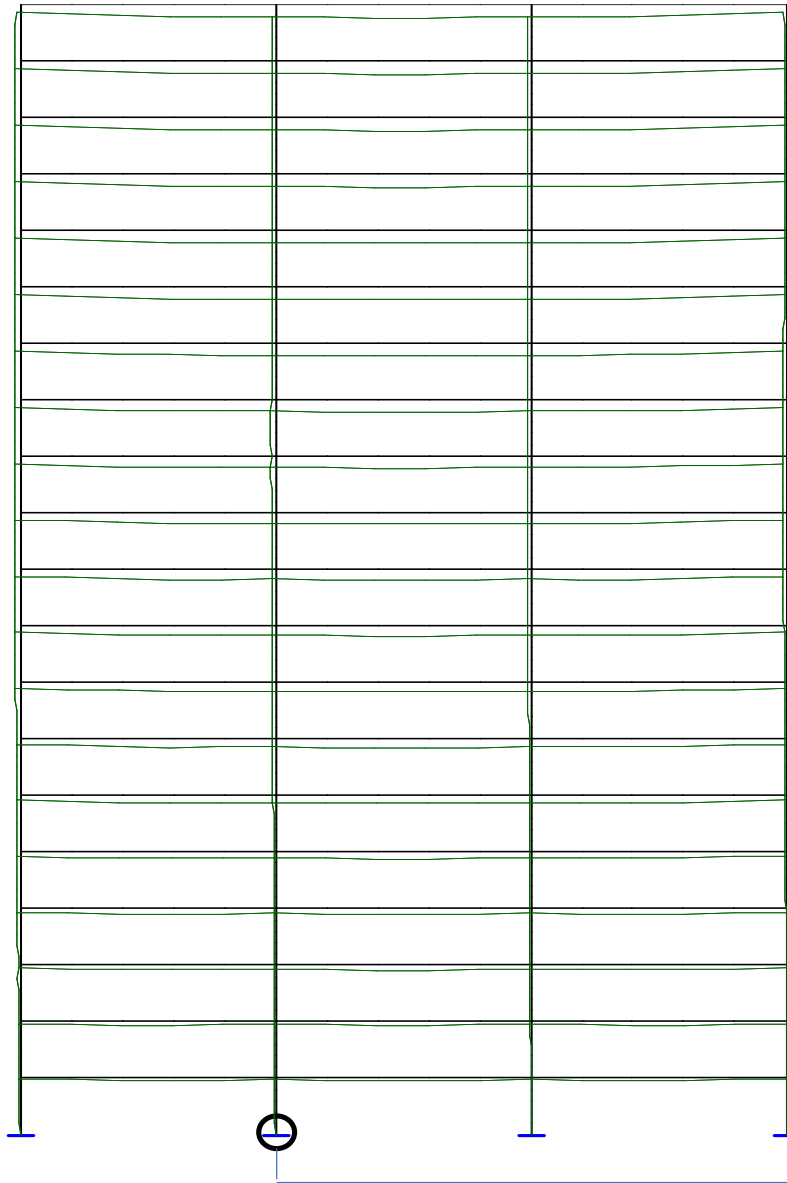


Демпфирование Рэлея

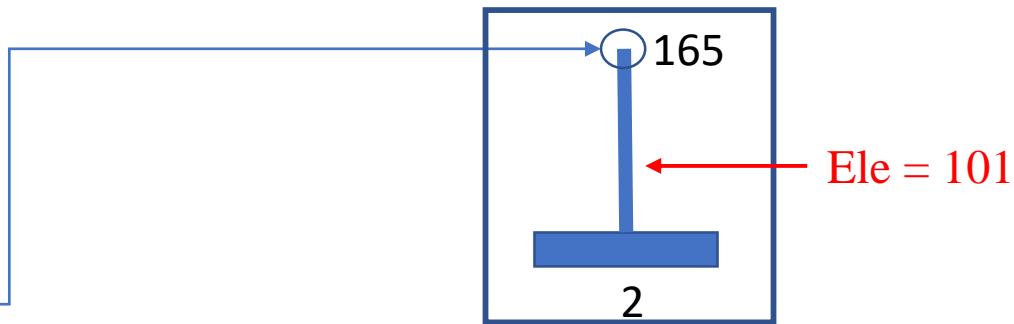
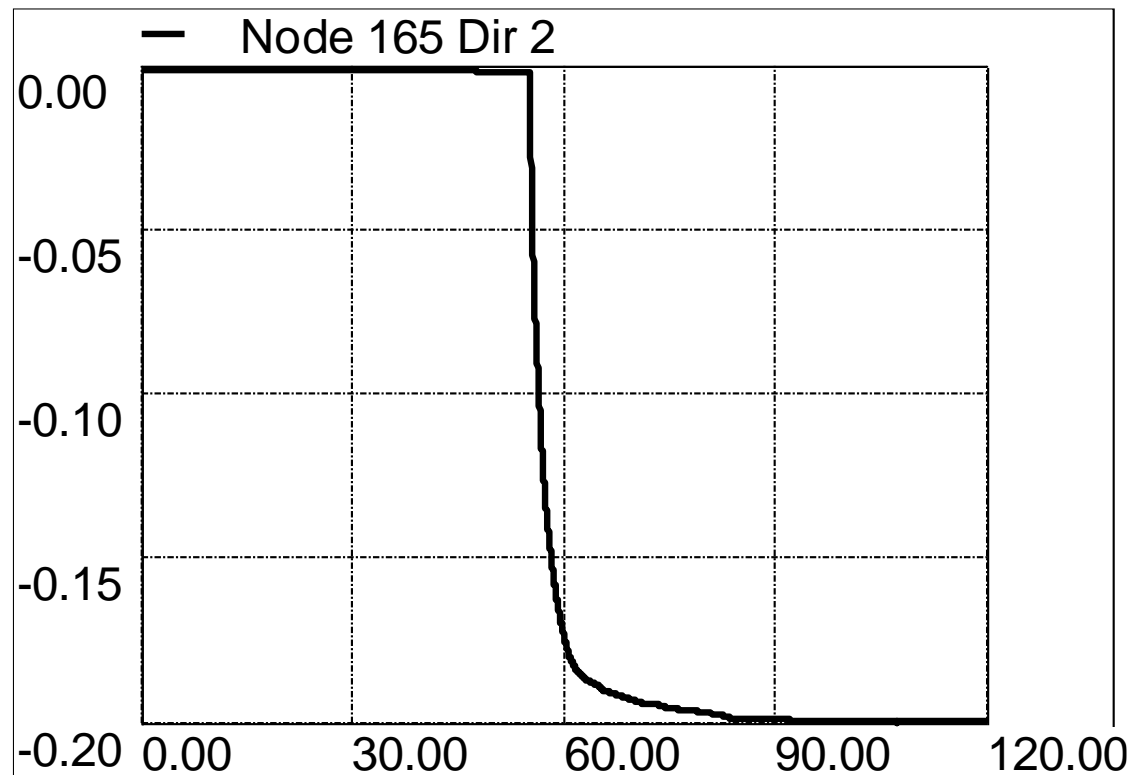
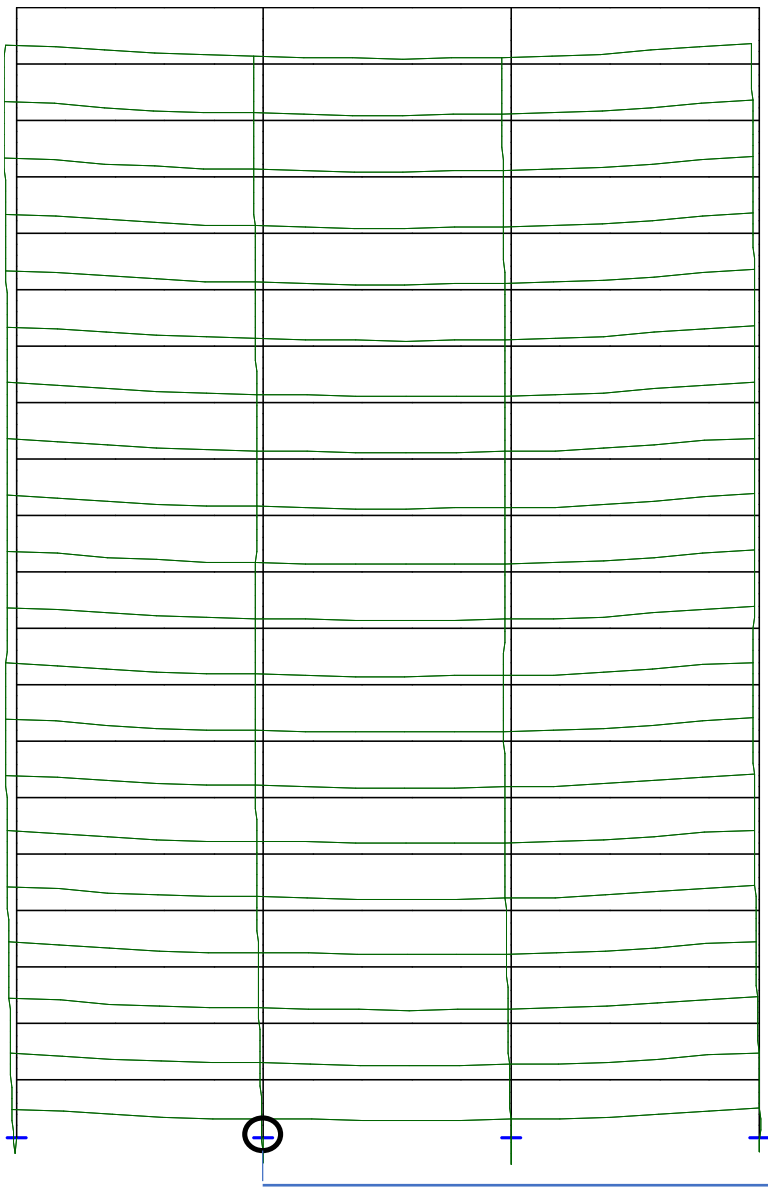


Демпфирование материала

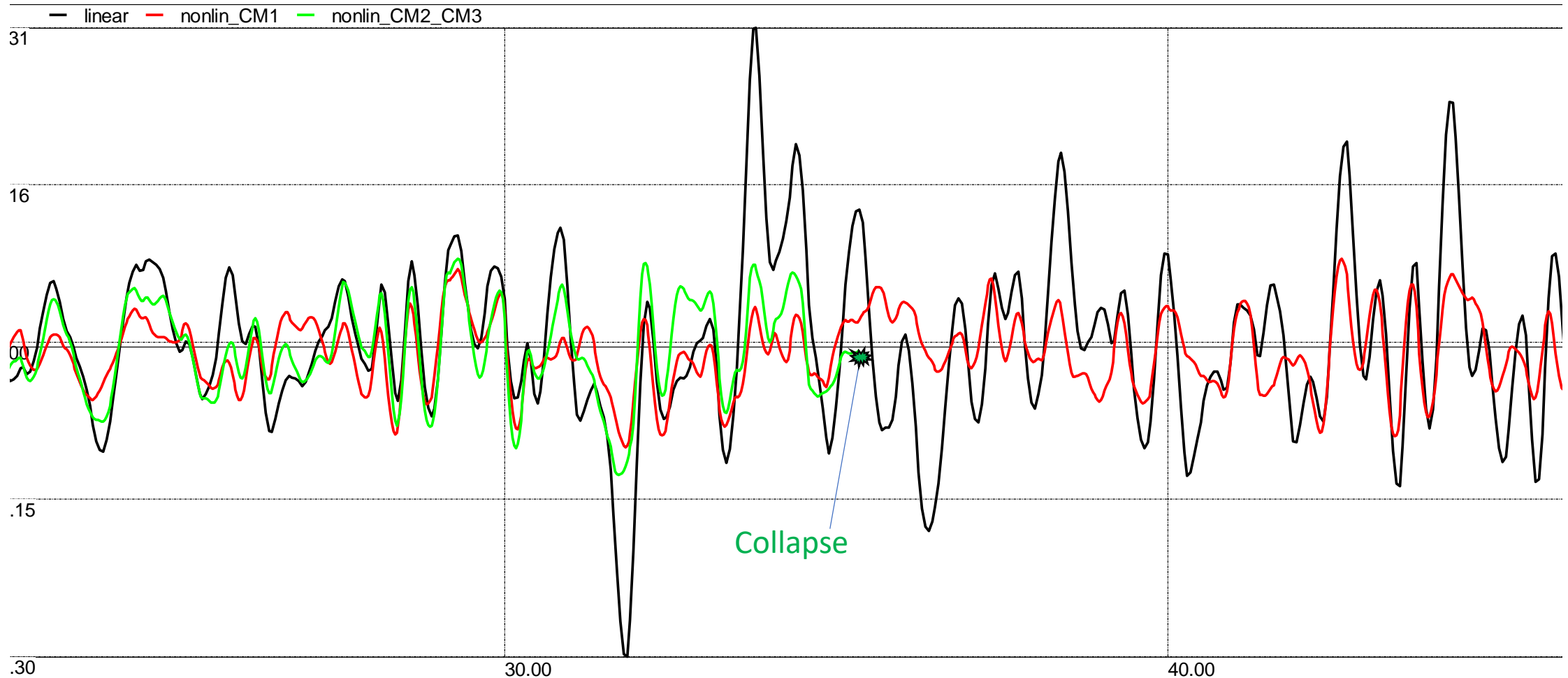
# СМ1. Демпфирование Рэля. Остаточные перемещения. Прогиб узла 165, м.



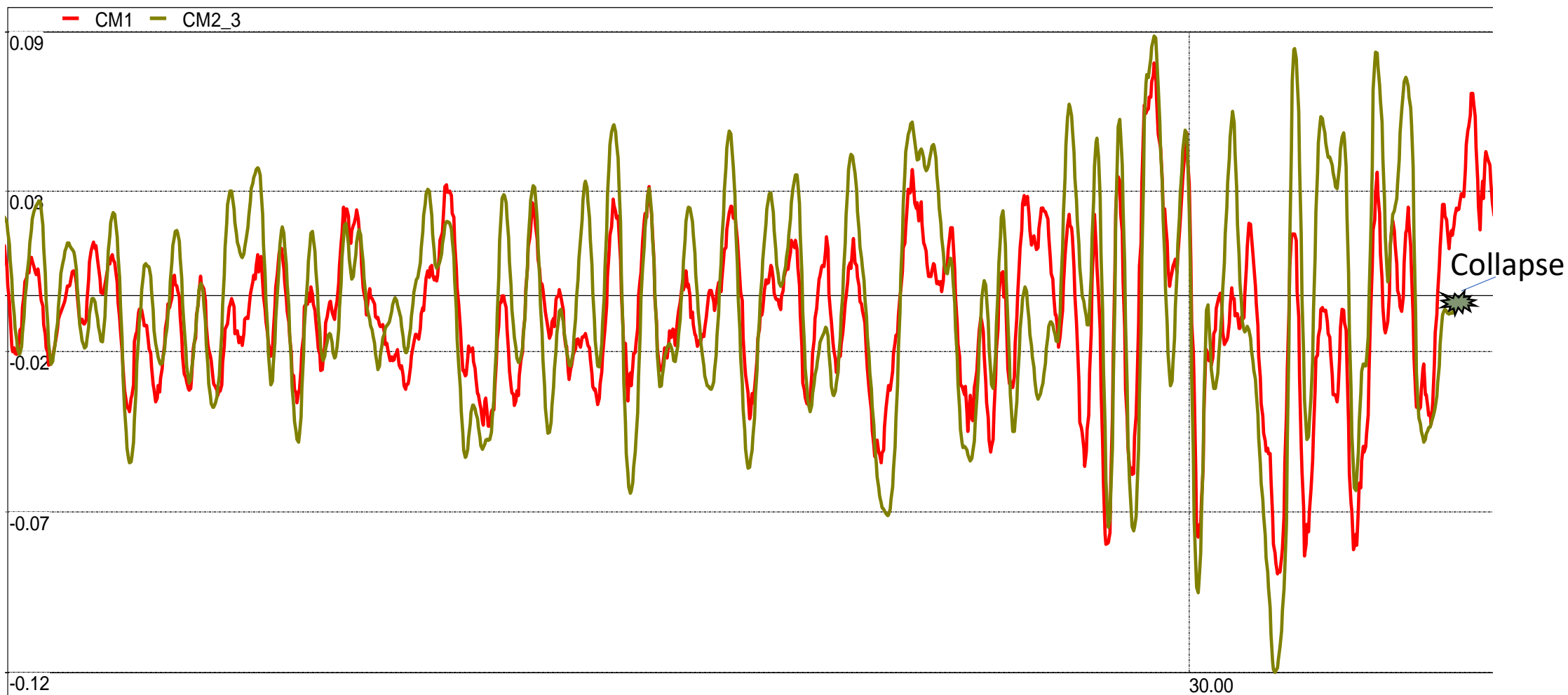
# СМ1. Демпфирование материала. Остаточные перемещения. Прогиб узла 165, м.



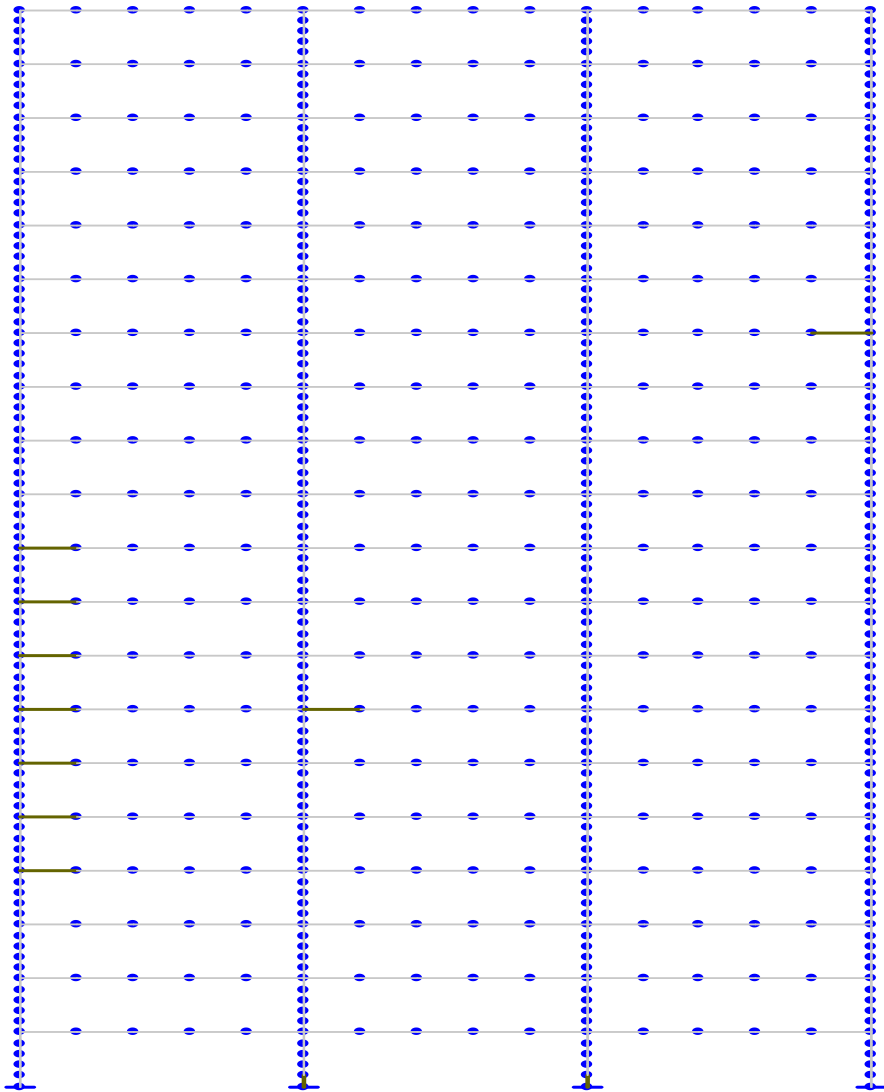
Линейный анализ vs нелинейный. Поперечная сила в элементе 101, МН, Рэлеевское демпфирование ( $\xi = 0.1$  от критического), деформационная теория, теория пластического течения (модель Друкера-Прагера для ригелей и модель Гениева – для колонн).



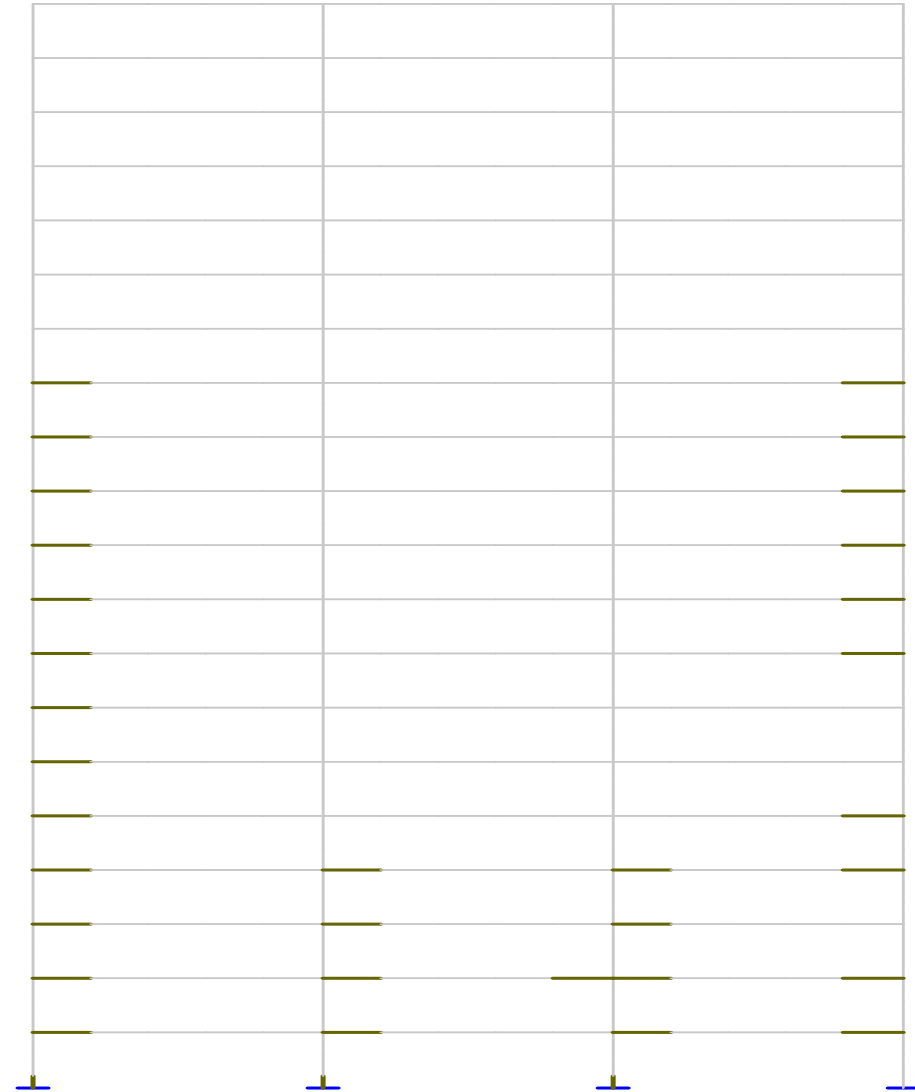
Поперечная сила в элементе 101, МН, Рэлеевское демпфирование ( $\xi = 0.1$  от критического), деформационная теория vs теория пластического течения (модель Друкера-Прагера для ригелей и модель Гениева – для колонн).



Поврежденные конечные элементы. Деформационная теория пластичности vs теория пластического течения. Рэлеевское демпфирование ( $\xi = 0.1$  от критического).



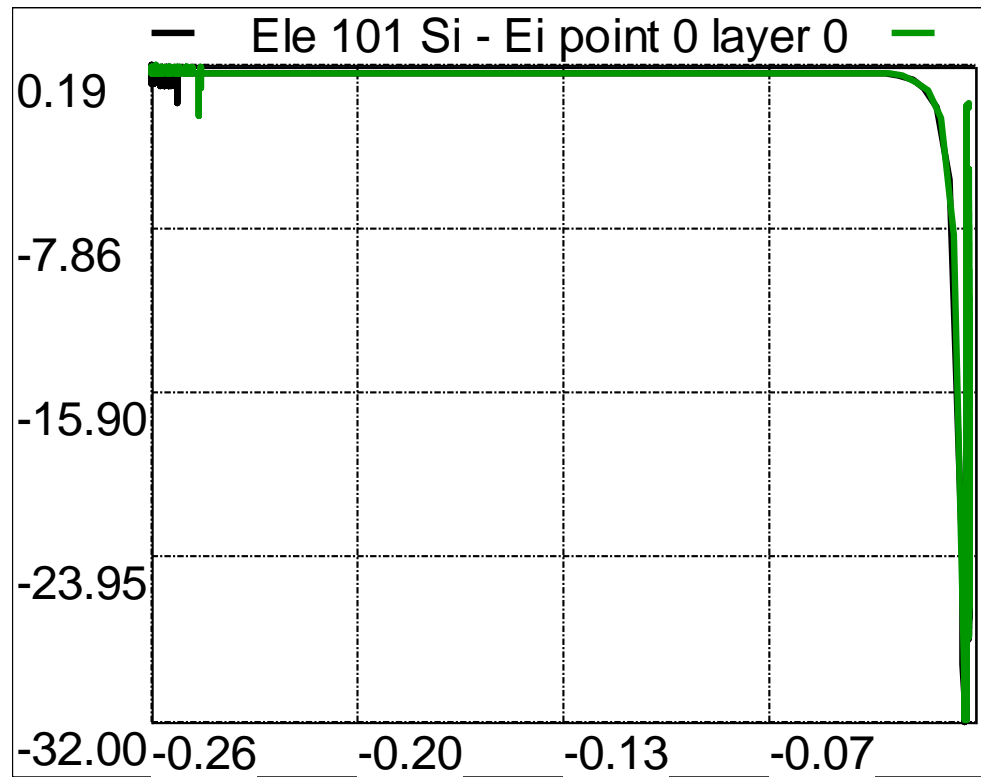
Деформационная теория



Теория пластического течения

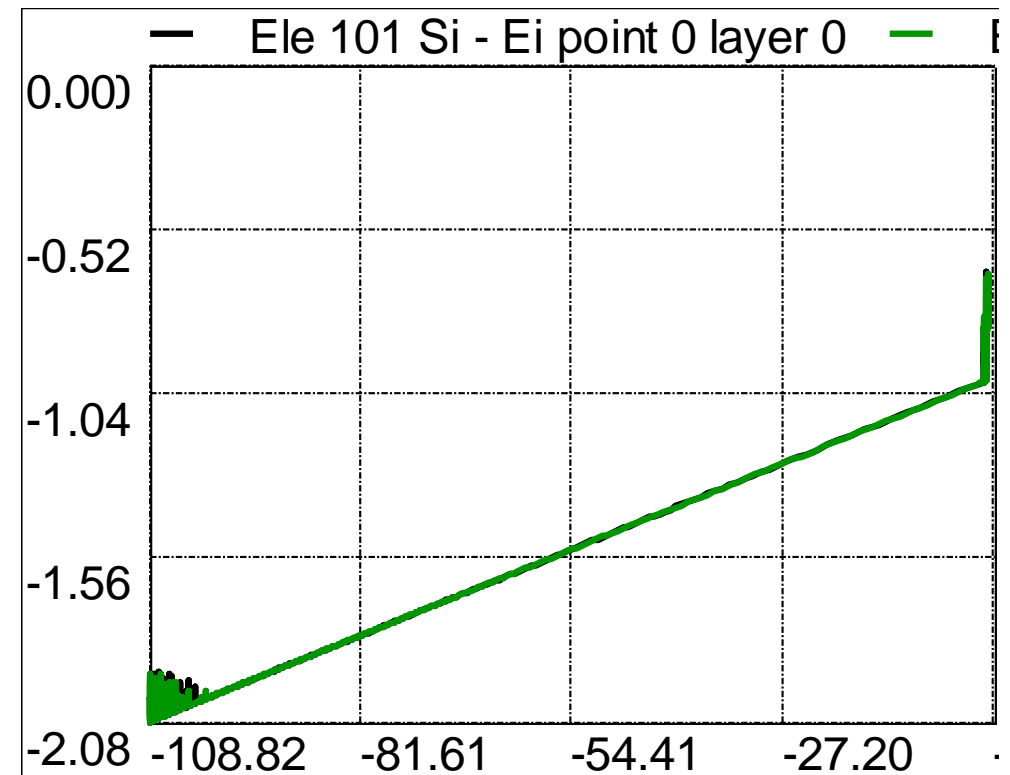
Деформационная теория пластичности. Демпфирование материала ( $\gamma_e = 0.016$ ).

Элемент 101. Диаграмма  $\sigma_e - \varepsilon_e$ .  
Бетон. Наиболее сжатое волокно.



MPa

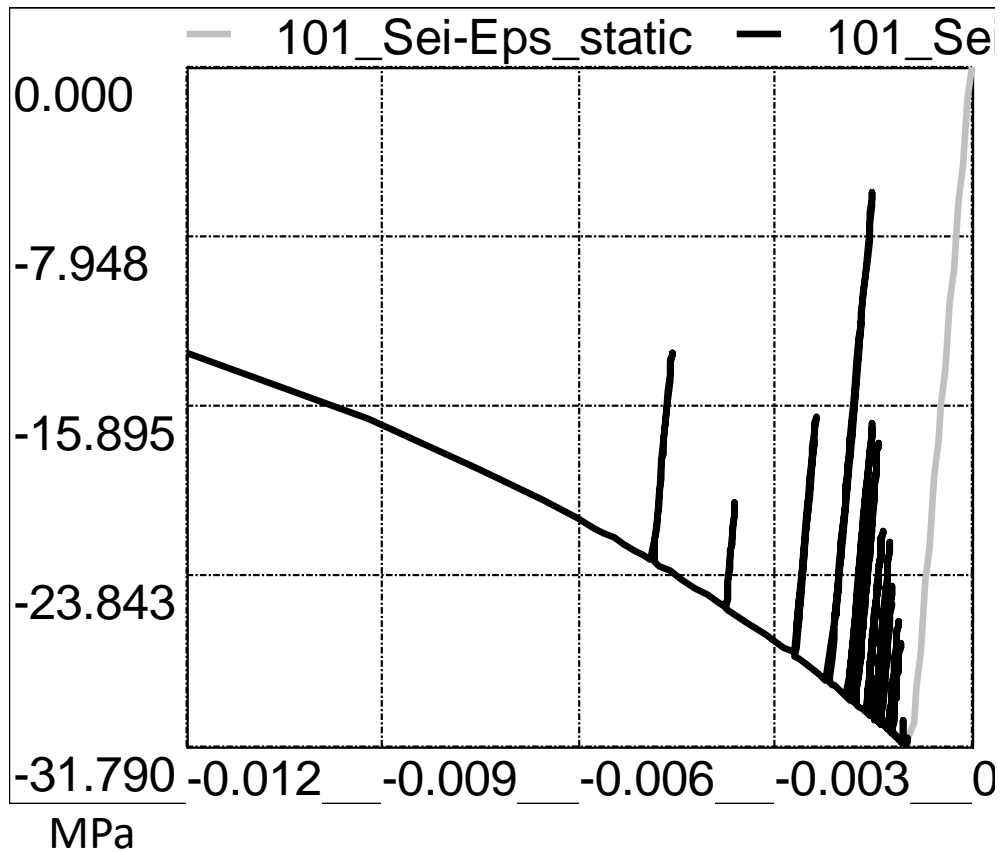
Элемент 101. Диаграмма  
 $\sigma_e/\sigma_y - E_s \varepsilon_e/\sigma_y$ . Арматура.



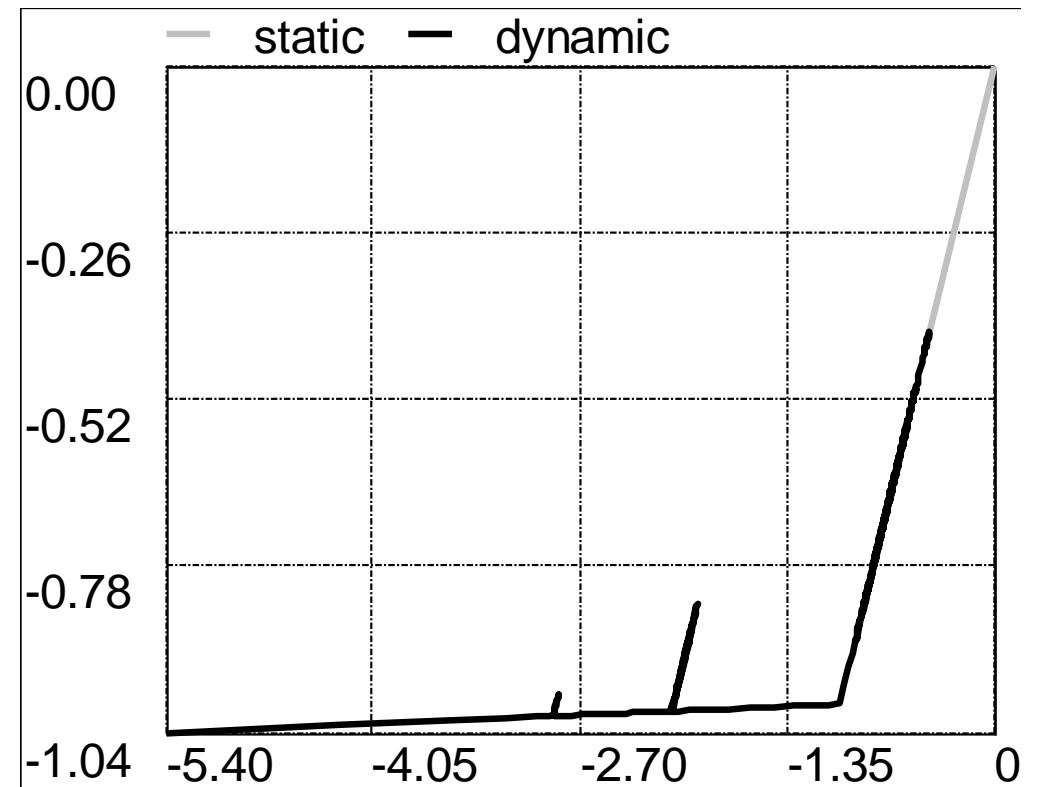


Теория пластического течения. Демпфирование Рэлея. ( $\xi = 0.1$  от критического).

Элемент 101. Колонна. Бетон.  
Диаграмма  $\sigma_e - \varepsilon_e$ . Модель Гениева.



Элемент 101. Диаграмма  $\sigma_e/\sigma_y - E_s \varepsilon_e/\sigma_y$ . Арматура.



## Заключение.

Значительное влияние на отклик системы при сейсмическом воздействии оказывает:

- Учет физической нелинейности.
- Выбор модели материала (упруго-пластическое поведение, тип теории пластичности, вид диаграммы  $\sigma - \varepsilon$ , вид поверхности текучести, учет изотропного и трансляционного разупрочнения).
- Модель диссипации.
- Уровень пластических деформаций при статическом нагружении.

К сожалению, общих рецептов, какие именно модели принимать в каждом конкретном случае, пока не существует.

Благодарю за внимание!