

## ГЛАВА 13. СИСТЕМА ДИНАМИКА+

### Общие положения

Расчетно-графическая система ДИНАМИКА + реализует метод прямого интегрирования уравнений движения по времени, что позволяет производить компьютерное моделирование отклика конструкции на динамические воздействия как во время воздействия, так и после его завершения. Система ДИНАМИКА + применяется для решения линейных и нелинейных задач.

К расчету задач динамики во времени допускаются следующие типы конечных элементов:

- все линейные элементы;
- односторонние связи (без трения);
- элементы грунта – плоские и объемные;
- физически нелинейные элементы балки-стенки;
- объемные нелинейные элементы;
- все геометрически нелинейные.

Задача линейного динамического расчета формулируется в виде:

$$b\left(\frac{\partial^2 u}{\partial t^2}, v\right) + c\left(\frac{\partial u}{\partial t}, v\right) + a(u, v) = (f(t), v), \quad t > 0,$$
$$u(0) = u_0, \quad \partial u / \partial t(0) = u_1$$

Эта задача решается методом конечных разностей по безусловно устойчивой разностной схеме второго порядка точности:

$$b(\gamma_m u, v) + c(\beta_m u, v) + a(\alpha_m u, v) = (f_m, v);$$
$$t_m = m\theta; \quad u_m = u(t_m); \quad \alpha_m u = \frac{u_{m+1} + u_{m-1}}{2};$$
$$\beta_m u = \frac{u_{m+1} - u_{m-1}}{2\theta}; \quad \gamma_m u = \frac{u_{m+1} - 2u_m + u_{m-1}}{\theta^2}.$$

Это система уравнений относительно  $u_{m+1}$ , правые части которой зависят от  $u_m, u_{m-1}$ . Матрица не зависит от  $m$ . Значения  $u_0, u_{-1}$  определяются из начальных условий.

В результате расчета определяются перемещения, скорости и ускорения узлов, а также усилия и напряжения в элементах, вычисленные во все моменты времени  $tm$ .

Для нелинейной задачи в уравнение добавляется нелинейное слагаемое  $d(u, v)$ , зависящее от характера нелинейности, а в разностную схему – слагаемое  $d(u_m, v)$ , которое попадает в правую часть.

### 13.1 Исходные данные для создания схемы

Для создания расчетной схемы, необходимо установить флажок напротив соответствующего пункта в **Параметрах проекта** (рисунок 13.1) – **В задаче будет использоваться система «ДИНАМИКА +»**.

Рисунок 13.1 Параметры проекта

Расчет с учетом динамики во времени доступен как в линейной, так и в нелинейной постановке, таким образом, для расчета нелинейных задач нужно выбрать необходимый флажок в **Параметрах проекта** (рисунок 13.1) – **В задаче будут присутствовать нелинейные элементы**.

### 13.1.1 Создание загружений

Приступая к созданию **Загружений** (рисунок 13.2), в первую очередь необходимо создать **Статическое загружение**, которое в дальнейшем может быть преобразовано в массы для формирования **Матрицы масс динамического загружения**. При необходимости добавить более одного статического загружения, следует добавить к ранее созданному **Сопутствующее статическое загружение**.

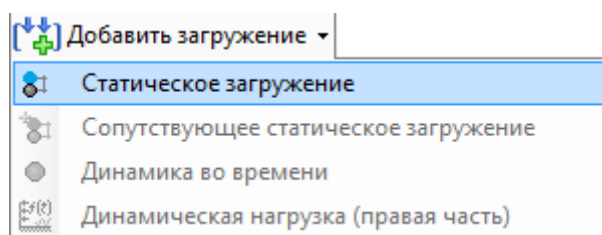



Рисунок 13.2 Добавить загружение

 *Обратите внимание на то, что **Статическое загружение** и все **сопутствующие** ему в ходе расчета будут объединены в одно загружение, таким образом в результатах расчета не будет возможности отображения результатов для каждого статического загружения отдельно.*

После добавления **Статического нагружения** становится доступным добавление **Динамики во времени**, нажатием на соответствующий пункт в выпадающем списке **Добавить загрузку** (рисунок 13.2). В появившемся окне (рисунок 13.3) задаются **Шаг** и **Время интегрирования**, на основании которых будет получено минимальное количество моментов времени, для каждого из которых будут сформированы результаты.

Параметры интегрирования			
Шаг интегрирования	0	с	Время интегрирования
Скорость распространения сейсмического воздействия	300	м/с	Результаты расчета
			Перемещения, усилия

Формирование матрицы масс для текущего динамического нагружения	
<input checked="" type="radio"/> Из загрузки	Преобразование статических нагрузок в массы
<input type="radio"/> Из плотности элементов	
Имя загрузки	Коэффициент преобразования

Рисунок 13.3 Задание данных для динамики во времени

Задание **Скорости распространения сейсмического воздействия** требуется в случае задания нагрузки типа сейсмограмма. Далее необходимо выбрать из выпадающего списка получаемые **Результаты расчета**:

- только перемещения
- перемещения и усилия
- перемещения, усилия и РСУ

Формирование матрицы масс может быть выполнено путем **Преобразования статических нагрузок в массы** или же **Получением масс из плотности элементов**. Для этого следует выбрать необходимый критерий, задать **Коэффициент преобразования** в соответствующем поле, нажать **Добавить**. При преобразовании статических нагрузок в массы требуется выбрать загрузку из выпадающего списка, для которого будет выполнено преобразование.

**Коэффициент преобразования** полученных масс может быть отредактирован. Для этого нужно выделить соответствующую строку, ввести новое значение коэффициента, нажать **Изменить**. Удаление масс производится путем выбора соответствующей записи и нажатия кнопки **Удалить**.

Загрузка **Динамка во времени** включает в себя следующие загрузки:

- **Динамическая нагрузка (узловые силы)**
- **Демпфирование**
- **Динамическая нагрузка (правая часть)**

При необходимости учета **Демпфирования** (рисунок 13.4) необходимо перейти к соответствующему пункту **Библиотеки загружений**, установить галочку **Учитывать демпфирование** и ввести значения **Логарифмического декремента** колебаний и **Частоты** в соответствующие поля.

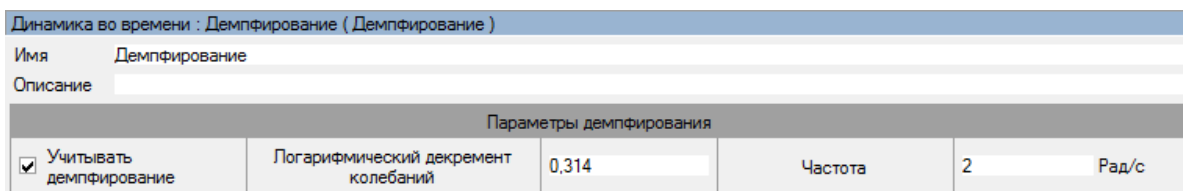


Рисунок 13.4 Демпфирование

Последней составляющей загрузки **Динамика во времени** является **Динамическая нагрузка (правая часть)**, позволяющая пользователю задать общий закон изменения сил во времени. Для задания правой части необходимо выбрать загрузку **Динамика во времени**, нажать **Добавить загрузку** (рисунок 13.2) и выбрать соответствующий пункт из выпадающего списка.

В рабочей области данного режима предоставляется возможность задать закон действия сил вручную или прочитать из файла. Для загрузки из файла необходимо нажать кнопку **Прочитать из файла** и в появившемся диалоговом окне выбрать соответствующий файл на диске. Таким же образом можно сохранить созданный закон, воспользовавшись функцией **Сохранить закон в файл**.

Для задания закона вручную доступно 3 шаблона, выбор шаблона производится из соответствующего выпадающего списка. При использовании **Произвольного шага ломаной** (рисунок 13.5) требуется указать только **Количество точек**. При этом промежутки времени между точками на графике могут быть произвольными. Для завершения формирования закона необходимо заполнить таблицу, указав в ней **Время** и **Коэффициент к правой части** для каждого момента времени.

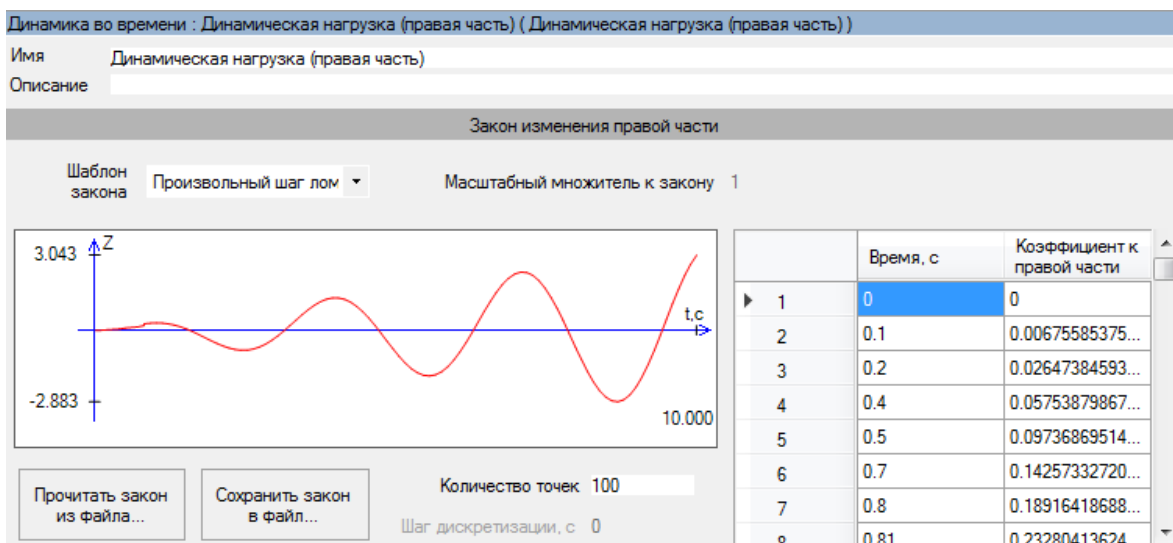


Рисунок 13.5 Произвольный шаг ломанной

При выборе **Равномерного шага ломаной** (рисунок 13.6) необходимо дополнительно указать **Шаг дискретизации**, таким образом первая колонка таблицы заполнится автоматически, в отличие от предыдущего варианта. При выборе данного шаблона появляется возможность указать **Масштабный множитель к закону**.

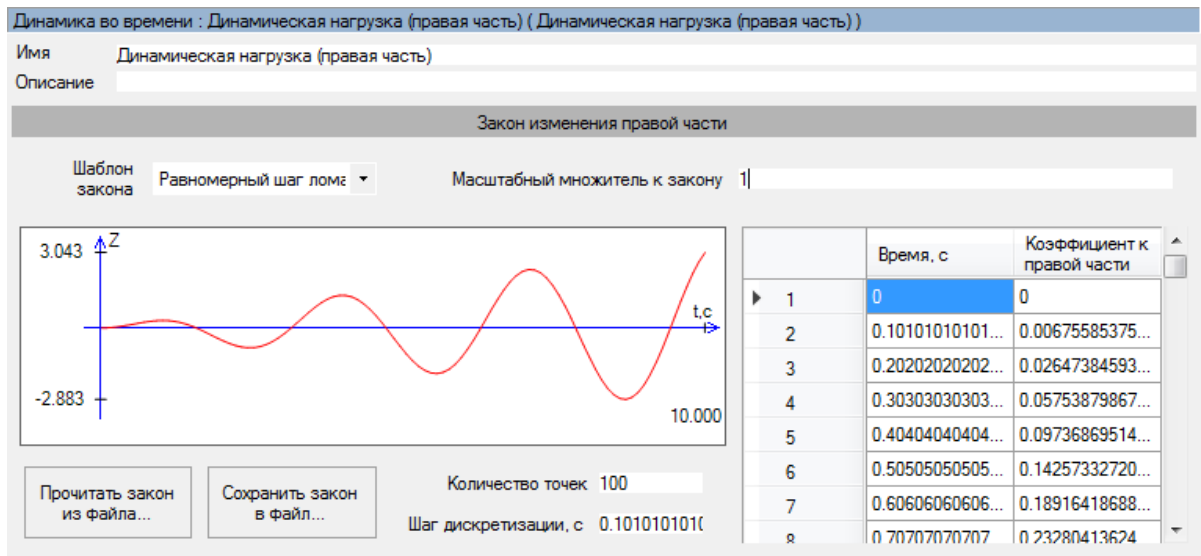


Рисунок 13.6 Равномерный шаг ломаной

Последним шаблоном задания закона является **Ломанная как функция от времени** (рисунок 13.7). Для задания закона таким образом необходимо выбрать соответствующий шаблон из выпадающего списка, задать функцию  $Z(x)$ , где  $x$  – время. Так же необходимо указать время начала функции и продолжительность. Следует обратить внимание на то, что время функции задается всегда в секундах, частоты в рад/с, углы в рад.

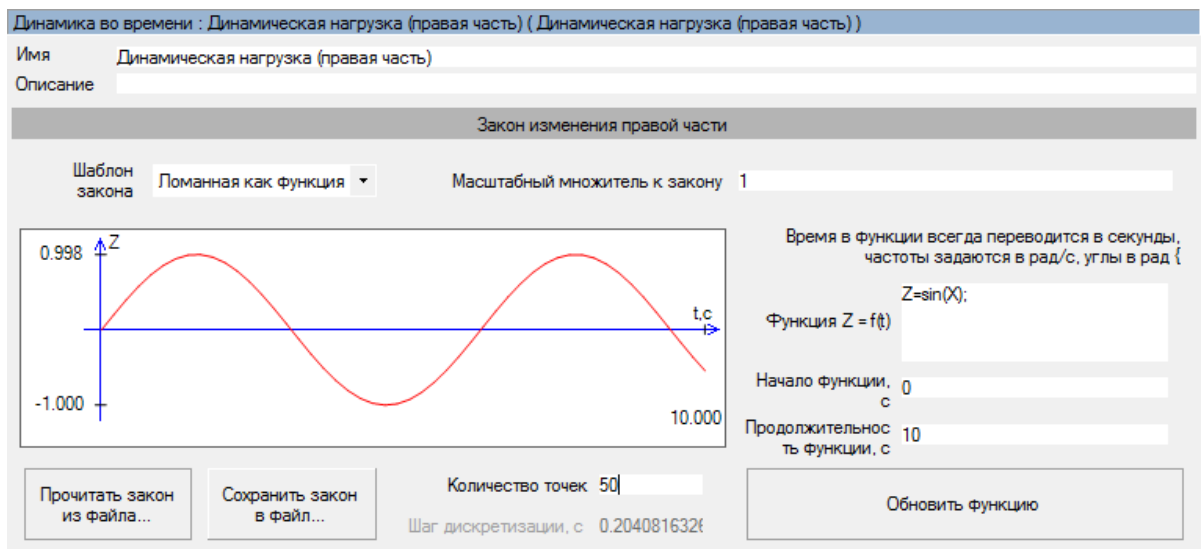


Рисунок 13.7 Ломанная как функция от времени

### 13.1.2 Назначение нагрузок

Нагрузки для статических загрузений (рисунок 13.8) аналогичны нагрузкам из статических задач, и их назначение происходит таким же образом.

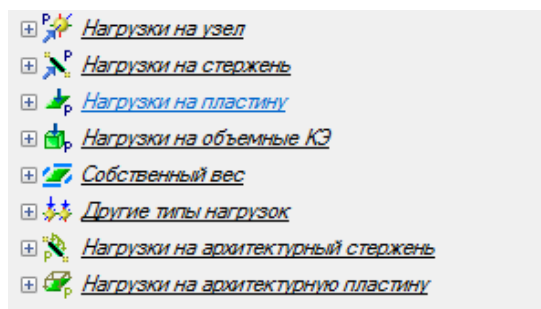


Рисунок 13.8 Статические нагрузки.

Для загрузки **Динамика во времени** (рисунок 13.9) доступно назначение элементам и узлам схемы веса динамических и узловых масс (рисунок 13.10) соответственно.

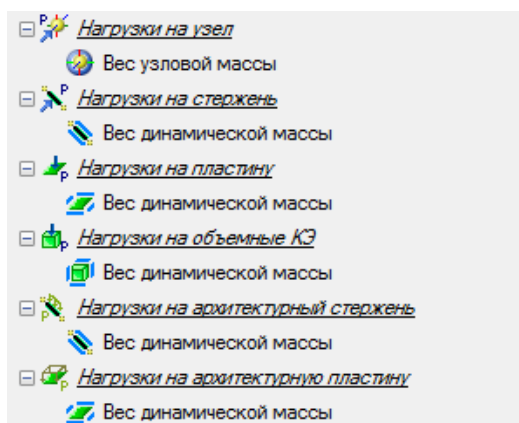


Рисунок 13.9. Нагрузки: Динамика во времени

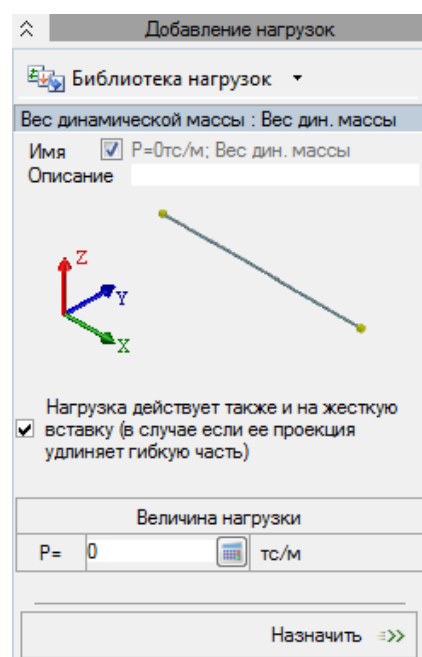


Рисунок 13.10 Назначение веса динамических масс

Для назначения веса динамических масс, в появившемся окне режима необходимо ввести значение **P**, выделить элементы, нажать **Назначить**. Так же при необходимости учета действия нагрузки на жесткую вставку (в случае если ее проекция удлиняет гибкую часть) нужно указать это в окне режима, установив флажок.

Для загрузки **Динамическая нагрузка (узловые силы)** является доступным назначение нагрузок только узлам и в виде функции от времени (рисунок 13.11). Благодаря данному загрузению предоставляется возможность задать нагрузки действующие по разным законам в отличии от задания **Правой части**.

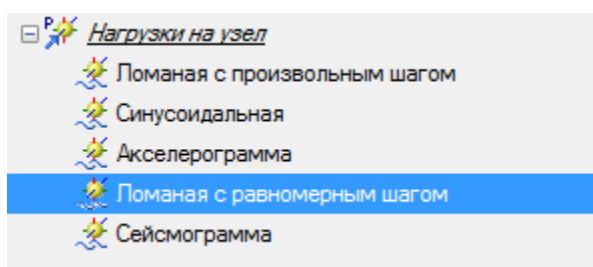


Рисунок 13.11 Нагрузки. Узловые силы.


Доступные нагрузки в загрузении **Демпфирование** аналогичны нагрузкам доступным в статическом загрузении, за исключением недопустимости назначения заданных смещений и

поворотов. Нагрузки, назначенные в данном загрузении, в ходе расчета, будут интерпритироваться как демпфера и будут включены в матрицу демпфирования.

При задании **Правой части** для назначения доступны все постоянные нагрузки, кроме заданного смещения и поворота. Не смотря на то, что данные нагрузки являются постоянными, в ходе расчета они будут изменятся по закону указанному в загрузении **Динамическая нагрузка (Правая часть)**.

## 13.2 Анализ результатов

Для статических загрузений в режиме **Результаты расчета** данные отображаются как одно суммарное из всех статических загрузений. Для полученного загрузения можно отобразить перемещения узлов, усилия в стержнях и пластинах, усилия в спец. элементах, напряжения в объемных элементах, результаты РСУ, главные и эквивалентные напряжения в пластинах и объемных элементах.

Результаты расчета **Динамики во времени** отображаются для каждого момента времени (рисунок 13.12). Помимо результатов описанных выше, имеется возможность отображения графиков **Ускорений, Скоростей, Перемещений и Построения спектра реакций** – .

Для построения спектра реакций необходимо нажать на соответствующую пиктограмму в панели инструментов. В появившемся окне (рисунок 13.13) необходимо указать узлы, для которых будет построен спектр реакции, выделив их на схеме и нажав **Пополнить список** узлов или же **Заменить список узлов**, если необходимо изменить уже существующий. Далее нужно указать **Направление**(X, Y, Z, UX, UY, UZ) и **Спектр реакции (Перемещений, Скоростей, Ускорений)**. Так же необходимо выбрать критерий затухания (**Логарифмический декремент, Параметр затухания**) и его значение, установив флажок напротив нужного значения. Последним параметром является указание величины, которая будет отложена по оси абсцисс – **Частота** или **Период**. При необходимости задания **Предельной частоты** и **Дробления стандартного шага**, следует воспользоваться вкладкой **Параметры построения**.

При построении спектра реакции для двух и более узлов, суммарная реакция всех узлов вычисляется как среднее арифметическое реакции в каждом узле.

Полученный спектр реакции (рисунок 13.14) можно импортировать MS Excel, сохранить в файл или же сохранить как изображение. Так же с помощью двух полос прокрутки можно масштабировать и перемещать спектр.

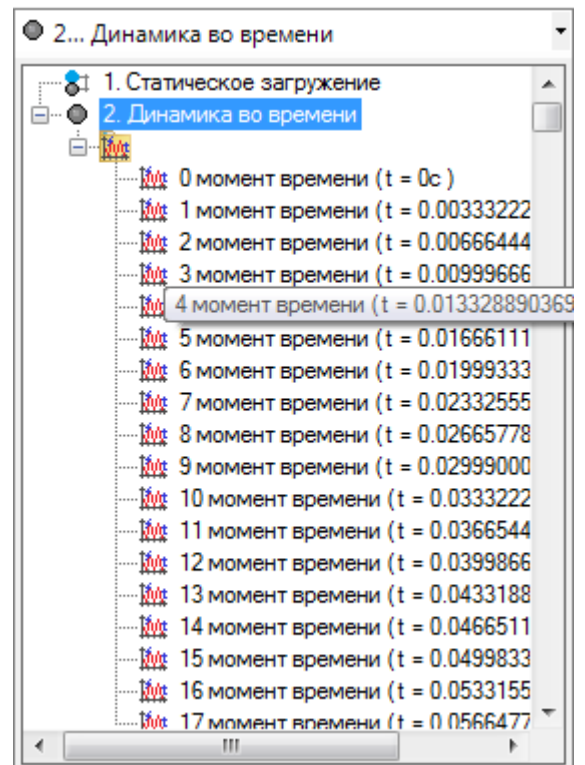



Рисунок 13.12 Построение спектра реакции



Для построения графиков зависимости ускорений, скоростей и перемещений от времени необходимо зайти в режим **Результаты по узлам** –  и перейти к вкладке **Графики** (рисунок 13.15). В появившемся окне режима, требуется указать направление и факторы вывода(перемещения, скорости, ускорения). После чего нужно выбрать узел, для которого будут отображены графики, нажав на него левой кнопкой мыши.

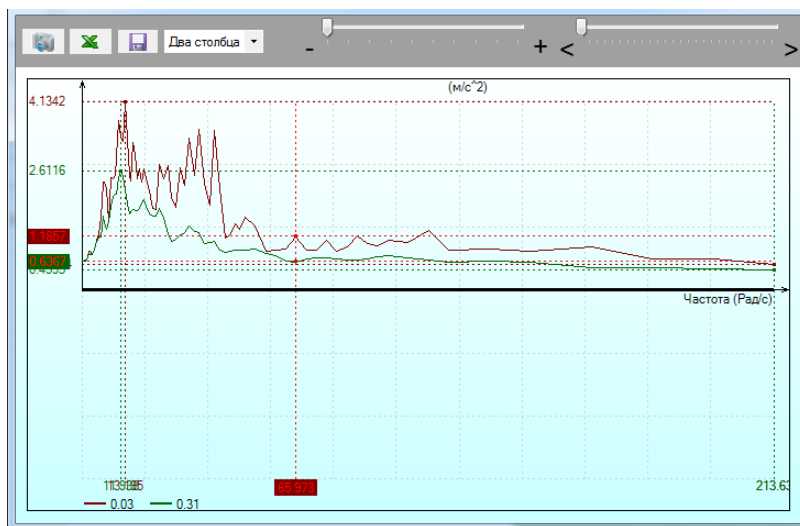


Рисунок 13.14 Спектр реакции

Построение спектра реакции

Список узлов

Индикация назначения

Пополнить список узлов <

Заменить список узлов <

Выделить на схеме >

Направление

X  Y  Z  UX  UY  UZ

Спектр реакции

Перемещений

Скоростей

Ускорений

Задание затухания

Логарифмический декремент

Параметр затухания

<input checked="" type="checkbox"/> 0.03	<input type="checkbox"/> 0.12
<input type="checkbox"/> 0.25	<input type="checkbox"/> 0.31
<input type="checkbox"/> 0.44	<input type="checkbox"/> 0.63
<input type="checkbox"/> 1.26	<input type="checkbox"/> 0

По оси абсцисс

Частота  Период

Построить =>>

---

Параметры построения

Значение предельной частоты 213.63 Рад/с

Дробление стандартного шага 2

Рисунок 13.13 Построение спектра реакции

Для построения графиков зависимости усилий от времени для стержневых, пластинчатых или объемных элементов необходимо перейти в режим **Результаты по стержням**, **Результаты по пластинам** или **Результаты по объемным КЭ**. В появившемся окне режима (рисунок 13.16), требуется перейти к вкладке **Графики**. После чего требуется отметить флажками усилия, которые будут отображены. Далее нужно кликнуть на элемент, для которого будут построены графики.



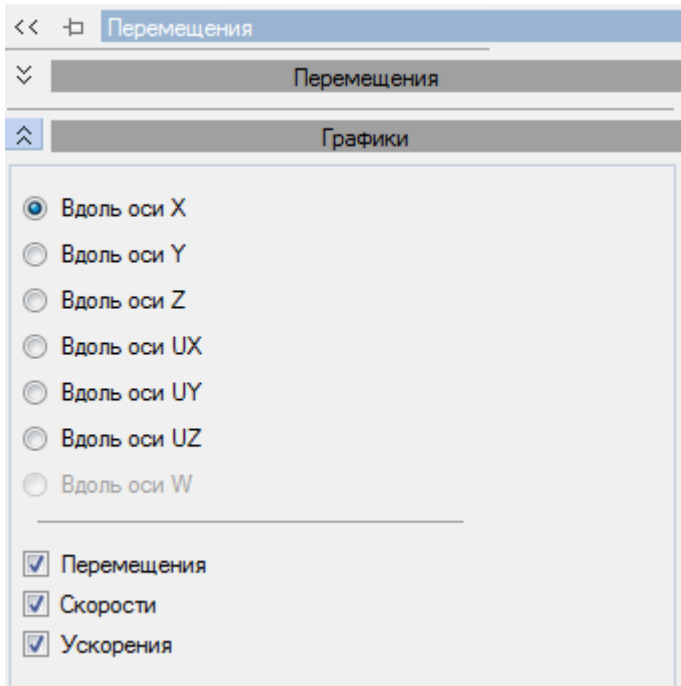


Рисунок 13.15 Построение графиков

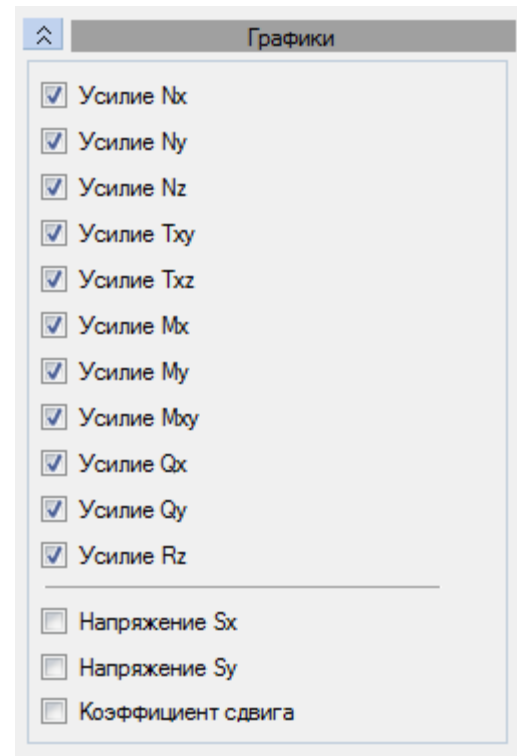


Рисунок 13.16 Усилия в пластинах