




ГЛАВА 3. ОПИСАНИЕ ГРАФИЧЕСКОГО ИНТЕРФЕЙСА ДЛЯ АНАЛИЗА РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЕТА


3.1 ИСХОДНАЯ И ДЕФОРМИРОВАННАЯ СХЕМА (ЗАГРУЖЕНИЯ, РСН, УСТОЙЧИВОСТЬ, ДИНАМИКА)

Просмотр результатов расчета можно осуществлять в двух режимах: **Исходная схема** и **Деформированная схема**.

Режим **Исходная схема** визуализирует расчетную схему без каких-либо деформационных изменений, накладывая поверх нее результаты расчета. Для отображения исходной схемы необходимо воспользоваться командой **Результаты** ⇨ **Исходная схема** либо же кнопкой  на панели инструментов.

Режим **Деформированная схема** отображает схему в деформированном виде под воздействием нагрузок. При этом все результаты расчета будут отображаться на деформированной схеме. Для визуализации деформированной схемы необходимо воспользоваться командой **Результаты** ⇨ **Деформированная схема** либо же кнопкой  на панели инструментов.

Команда **Перемещение** позволяет визуализировать перемещения расчетной схемы по глобальным осям. Для отображения перемещений необходимо выбрать команду **Результаты** ⇨ **Перемещение** либо нажать кнопку  на панели инструментов.

Команда **Колебания**, соответственно, позволяет визуализировать колебания расчетной схемы по глобальным осям. Для отображения колебаний необходимо выполнить команду **Результаты** ⇨ **Колебания** либо же нажать кнопку  на панели инструментов. Выбор формы собственных колебаний производится в раскрывающемся окне загрузений (рис. 3.1).

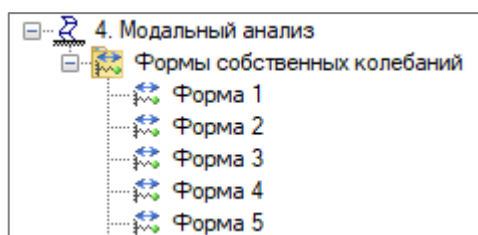



Рис. 3.1. Окно загрузений с вариантами форм собственных колебаний

Команда **Устойчивость** выводит формы потери устойчивости для расчетной схемы. Для перехода воспользуйтесь командой **Результаты** ⇨ **Устойчивость** либо же кнопкой  на панели инструментов. Выбор формы потери устойчивости производится в раскрывающемся окне загрузений (рис. 3.2).

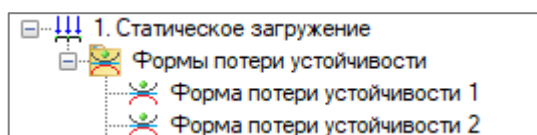



Рис. 3.2. Окно загрузений с вариантами форм потери устойчивости

Для визуализации результатов по **Чувствительности** и **Свободным длинам** нужно нажать на кнопку  (**Результаты устойчивости**), затем на панели активного режима **Устойчивость** выбрать необходимый параметр (рис. 3.3).

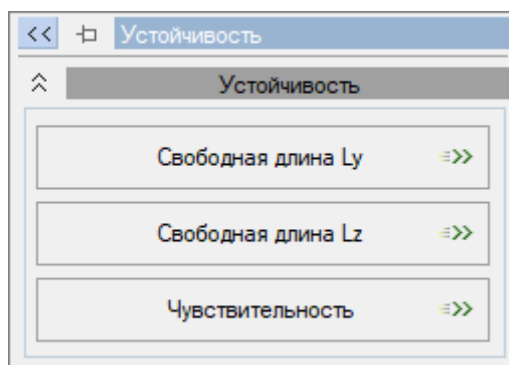



Рис. 3.3. Панель режима **Устойчивость**

Команда **Загрузки/РСН** визуализирует результаты расчета по заданным сочетаниям. Для перехода необходимо воспользоваться кнопкой  на панели инструментов либо же командой **Результаты ⇌ Загрузки/РСН**. Переключение номера сочетания выполняется в раскрывающемся окне загрузений.

3.2 ПАРАМЕТРЫ ШКАЛЫ ДЛЯ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ИЗОПОЛЕЙ И МОЗАИК

Визуализация результатов расчета доступна после выполнения расчета задачи и вызова команды **Результаты ⇌ Узлы / Стержни / Пластины / Объемные КЭ / Спец. элементы / Сочетания** с последующим отображением требуемых усилий, перемещений или эпюр с помощью соответствующих кнопок на панелях. Инструменты визуализации появляются на дополнительной вкладке **Шкала** в ленте (рис. 3.4). А также дублируются в виде кнопок на панели инструментов, которая появляется после расчета задачи.

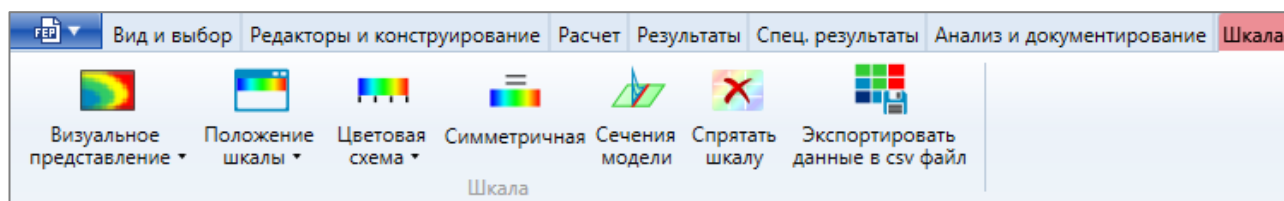


Рис. 3.4. Вкладка ленты **Шкала**

В раскрывающемся списке **Визуальное представление** (кнопка ) доступно несколько способов отображения данных:

- **Мозаика, Изополе, Изолинии, Изополе + Изолинии** (для узлов, пластинчатых и объемных элементов);
- **Мозаика, Эпюра, Эпюра контрастная** (для стержневых и специальных элементов).

По умолчанию в верхней части рабочей области находится цветовая шкала (рис. 3.5).

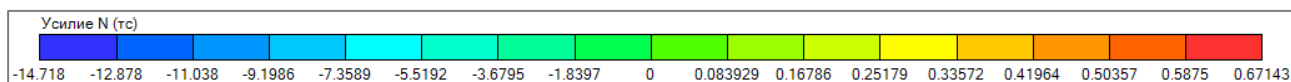




Рис. 3.5. Цветовая шкала

Имеется четыре возможных варианта расположения шкалы: **Вверху**, **Внизу**, **Слева**, **Справа**. Для изменения расположения необходимо нажать кнопку  (**Положение шкалы**) и выбрать подходящий вариант из раскрывающегося списка.

Каждому цвету шкалы соответствует определенный диапазон значений. При необходимости цвет диапазонов может быть изменен. Для этого нужно нажать кнопку  (**Цветовая схема**). После чего отобразится раскрывающийся список (рис. 3.6), из которого нужно выбрать подходящий шаблон цветовой шкалы.

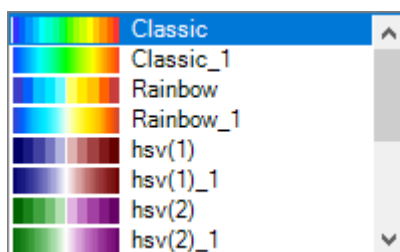



Рис. 3.6. Цветовая схема

Цветовая шкала может быть представлена **симметричной** или **асимметричной**. При асимметричной визуализации шкалы граничные значения для положительных и отрицательных значений будут получены, как определенный процент от наибольшего положительного и, соответственно, отрицательного значения на схеме. При отображении шкалы как симметричной граничные значения диапазонов будут получены, как процент от наибольшего по модулю значения на схеме. Таким образом, диапазоны будут симметричны относительно 0. На панели инструментов находится кнопка  (**Симметричная**), нажатие на которую приводит к изменению визуализации шкалы с симметричной на асимметричную и наоборот.

Для дополнительной настройки отображения шкалы необходимо вызвать контекстное меню нажатием правой кнопки мыши на шкалу (рис. 3.7). Граничные значения и длины диапазонов можно изменять, перетягивая границы влево или вправо. Также можно добавлять дополнительные границы нажатием левой кнопки мыши на шкале. Цвет диапазона может быть изменен нажатием на прямоугольник, находящийся под шкалой. Цвет будет применен для диапазона, в котором граничное значение является максимальным по модулю.

Подробное описание настройки шкалы смотрите в п. 2.2.

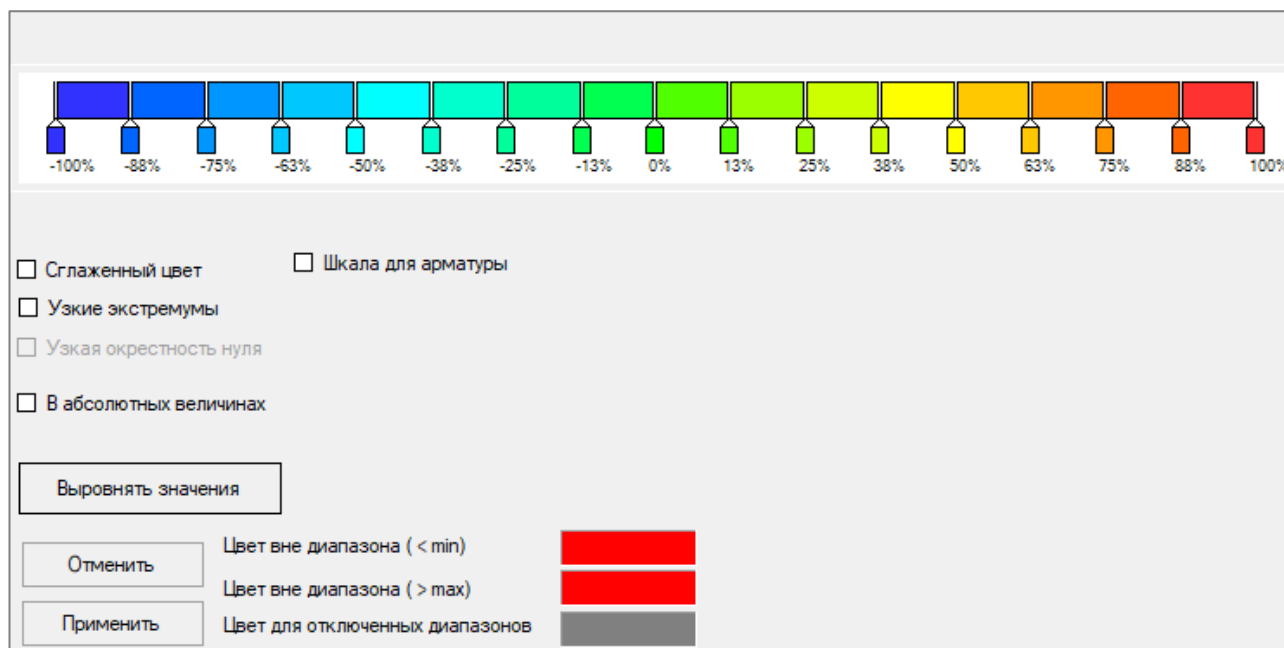



Рис. 3.7. Параметры шкалы

Для более детального анализа можно использовать режим **Сечения модели** (рис. 3.8).
 Переход в данный режим осуществляется нажатием кнопки  на панели инструментов.

Вкладка **Определить треугольником** позволяет выбрать плоскость сечения с помощью двух переключателей:

- **Перпендикулярная к экрану** — при помощи отрезка из двух точек необходимо задать на схеме секущую перпендикулярную к экрану плоскость;
- **По трем точкам** — секущая плоскость задается путем выполнения последовательных щелчков мыши на определенных узлах схемы.

Вкладка **Определить по точкам** позволяет выбрать плоскость сечения или задать ее вручную (рис. 3.9).

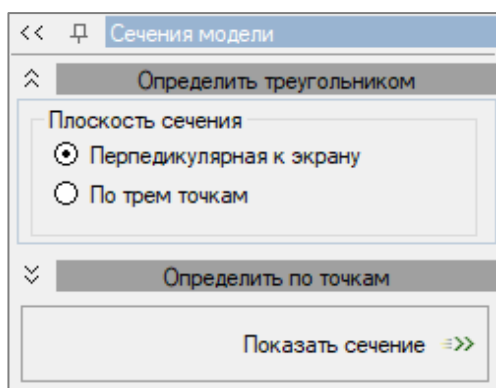


Рис. 3.8. Режим Сечения модели

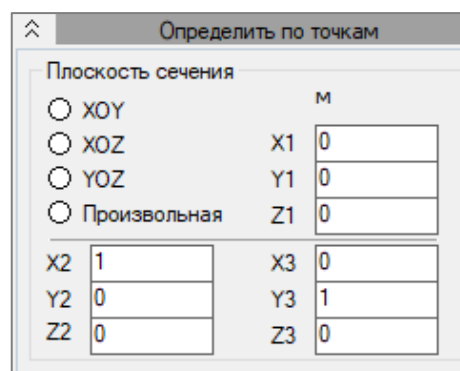
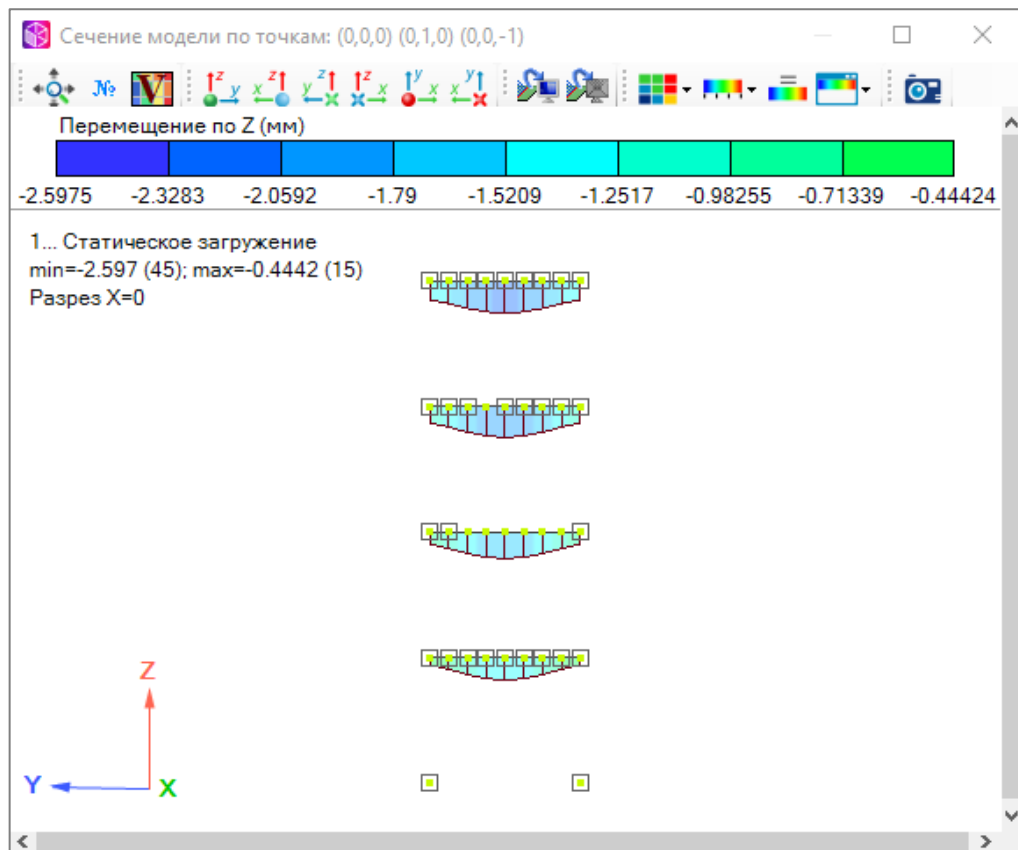


Рис. 3.9. Вкладка **Определить по точкам**

Чтобы применить выбранные параметры, необходимо нажать кнопку **Показать сечение** на панели активного режима **Сечения модели**.

Затем на экране появится диалоговое окно **Сечение модели по точкам** (рис. 3.10).







Рис. 3.10. Окно **Сечение модели по точкам**

В верхней части этого диалогового окна находится панель инструментов со следующими кнопками:

- вписать в окно (размещение расчетной схемы с наиболее рациональным использованием площади рабочего окна);
- показать номера элементов сечения;
- показать значения с мозаики для элементов;
- проекция сечения по глобальной оси X (представление расчетной схемы в проекции на плоскость YOZ, -YOZ);
- проекция сечения по глобальной оси Y (представление расчетной схемы в проекции на плоскость XOZ, -XOZ);
- проекция сечения по глобальной оси Z (представление расчетной схемы в проекции на плоскость XOY, -XOY);
- фронтальная экранная проекция сечения;
- тыльная экранная проекция сечения;
- визуальное представление;
- цветовая схема;
- симметричная;
- положение шкалы;
- изображение с экрана (фотографирует содержимое диалогового окна и автоматически переносит изображение на панель активного режима **Изображение с экрана**).

3.3 ВИЗУАЛИЗАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЕТА ДЛЯ УЗЛОВ И ЭЛЕМЕНТОВ

Чтобы посмотреть полученные результаты расчета для узлов и элементов, нужно в режиме **Результаты расчета** воспользоваться соответствующими командами в меню **Результаты** или кнопками на панели инструментов:

- Результаты по узлам ;
- Результаты по стержням ;
- Результаты по пластинам ;
- Результаты по объемным КЭ ;
- Результаты по спец. элементам ;
- Результаты по сочетаниям .


3.3.1 Результаты по узлам

В данном режиме выводятся значения перемещений и поворотов в узлах вдоль и вокруг осей X, Y, Z, а также перемещения от деформации W (рис. 3.11).

Полное линейное перемещение — длина вектора линейных перемещений (X, Y, Z).

Полное угловое перемещение — длина вектора угловых перемещений (UX, UY, UZ).

Результаты перемещений по умолчанию выводятся в локальной системе координат. Для того чтобы посмотреть значения в глобальной системе координат, нужно сбросить флажок **В локальной системе координат**.

 Если щелкнуть мышью по требуемому узлу (активна вкладка **Перемещения**), то отобразится всплывающее окно (рис. 3.12) со значениями перемещений.

Перемещения	узел № 2	Ед.Изм.
Перемещение uX	-0.00079188	рад*1e-3
Перемещение uY	0.00079188	рад*1e-3

Рис. 3.12 Окно со значениями перемещений в узле

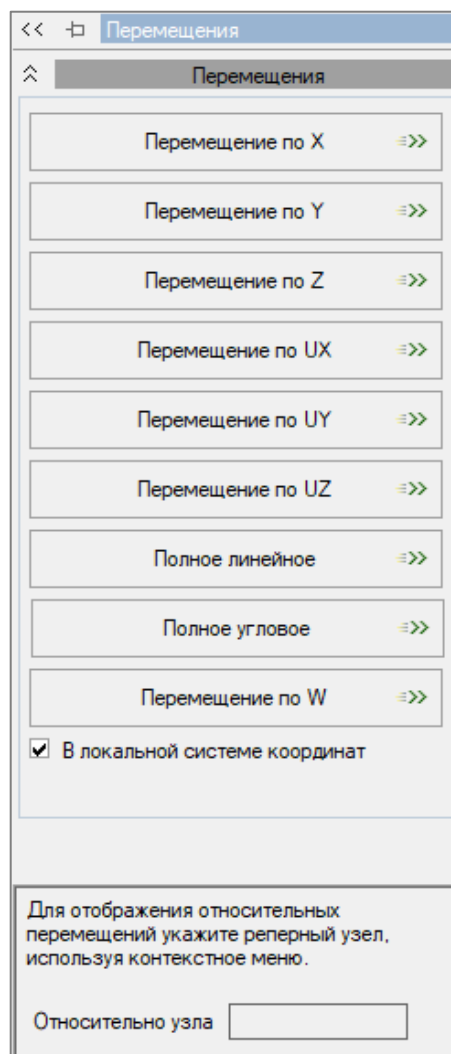


Рис. 3.11. Режим **Перемещения**

Если в задаче присутствуют нелинейные элементы, а также используются система «ДИНАМИКА+» или «PUSHOVER», то в режиме **Результаты по узлам** с помощью вкладки **Графики** (рис. 3.13) появляется возможность посмотреть графики изменения перемещений в зависимости от коэффициента к нагрузке (в задаче присутствуют нелинейные элементы или используется система «PUSHOVER») или от времени (в задаче используется система «ДИНАМИКА+»).

Для просмотра графика нужно с помощью соответствующего переключателя выбрать направление и щелкнуть мышью по интересующему узлу. Графики с перемещениями отображаются в отдельном окне (рис. 3.14).

Для задач «ДИНАМИКА+» предоставлена возможность вывода графика изменения кинетической энергии с помощью соответствующей кнопки.

Существует возможность вывода перемещений и графиков относительно реперного узла. Для этого нужно щелчком правой кнопки мыши по нужному узлу вызвать контекстное меню и выбрать команду **Установить реперный узел**.

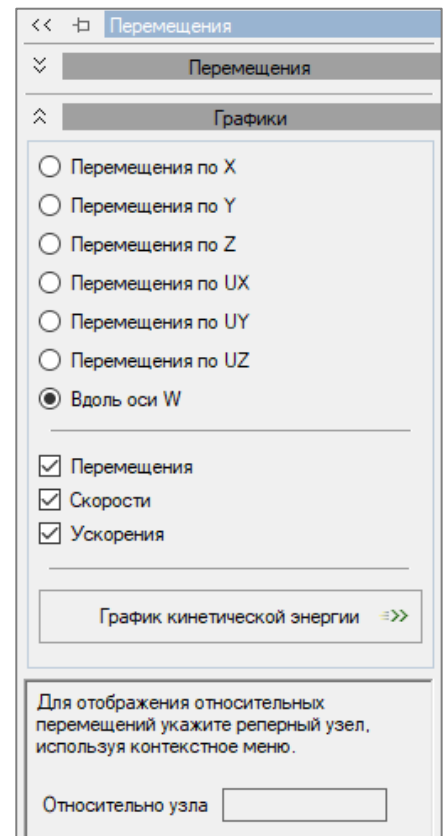


Рис. 3.13. Вкладка **Графики**

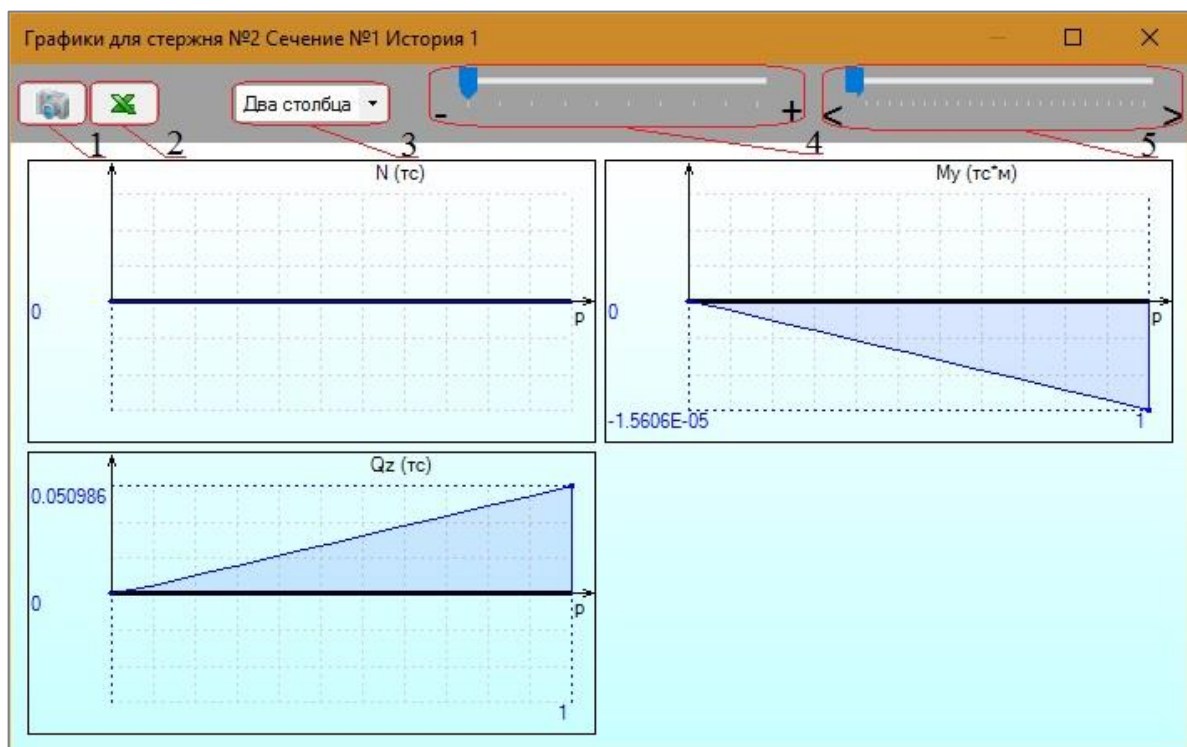



Рис. 3.14. Отдельное окно с графиками:

- 1 — копирует изображения графиков в файл с расширением *.png;
- 2 — экспортирует изображения графиков в файл Excel;
- 3 — меняет вид визуального представления графиков (**Один столбец**, **Два столбца**);
- 4 — масштабирует графики по длине;
- 5 — прокручивает изображения графиков по длине


3.3.2 Результаты по стержням

В данном режиме выводятся значения усилий в стержнях с помощью вкладок:


- Эпюры на схеме;
- Эпюры локальные;
- Графики.

 Вкладка **Графики** доступна, если в задаче присутствуют нелинейные элементы, а также используются системы «ДИНАМИКА+» или «PUSHOVER».


При необходимости установите флажок **Выводить в главных осях инерции** внизу панели режима.

 В предыдущих версиях программного комплекса усилия в стержневых элементах вычислялись исключительно в главных осях поперечного сечения стержня. В ПК ЛИРА 10.10 для стержневых элементов добавлена возможность задавать оси вычисления усилий. Система координат для вычисления усилий в стержнях использует правило: местная ось $X1$, как всегда, направлена от первого узла ко второму, пользователем задается вектор, параллельный местной оси $Y1$, которая может не совпадать с главной осью инерции, местная ось $Z1$ образует правую тройку с осями $X1$ и $Y1$. В этой системе координат задаются шарниры, жесткие вставки и местные нагрузки.

Таблицы результатов по стержневым элементам в ПК ЛИРА 10.12 можно получить как в осях выравнивания усилий, так и в главных осях инерции.

Во вкладке **Эпюры на схеме** (рис. 3.16) при выборе интересующего усилия отображаются значения этого усилия на всех стержневых элементах схемы. С помощью кнопки **Визуальное представление**  можно выбрать один из трех видов отображения результатов:

- Мозаика;
- Эпюра;
- Эпюра контрастная.

 Если щелкнуть мышью по интересующему стержневому элементу (активна вкладка **Эпюры на схеме**), то отобразится всплывающее окно (рис. 3.15) со значениями усилий в каждом сечении этого стержня.

Номер сечения

Усил...	элемент № 2	Ед.Изм.
1. My	4.9554E-05	кН*м
1. Qz	-0.27751	кН

Рис. 3.15. Значения усилий в стержневом элементе

Также есть возможность просмотра эпюры плотности энергии. **Плотность энергии деформации** — это соотношение выделяемой элементом энергии при деформации к единице объема. Графически оно может быть представлено как площадь под кривой на графике "напряжение-деформация". Это характеристика материала, которая не зависит от размеров элемента конструкции. Вычисляется по напряжениям и деформациям.

Для стержней:

- Растяжение – сжатие:
 $P_f = (N_x^2 / EF) / (2F);$
- Свободное кручение:
 $P_{kr} = (M_x^2 / GI_{kr}) / (2F);$
- Изгиб:
 $P_{iy} = (M_y^2 / EI_y) / (2F),$
 $P_{iz} = (M_z^2 / EI_z) / (2F);$
- Учет сдвига:
 $P_{sy} = (Q_z^2 / GF_y) / (2F),$
 $P_{sz} = (Q_y^2 / GF_z) / (2F);$
- Стесненное кручение:
 $P_{i\omega} = (M_\omega^2 / EI_\omega) / (2F).$

Плотность энергии деформации широко применяется при оптимизации конструкций и анализе их чувствительности. Инженер должен стремиться к тому, чтобы распределение плотности энергии по конструкции было приближенным к гомогенному.

Особо актуальную роль рассмотрение плотности энергии играет при модальном анализе, когда результаты по напряжениям недоступны. Поскольку плотность энергии является характеристикой материала, то она дает инженеру представление о том, какие элементы модели будут иметь наибольшие деформации, приведенные к объему элемента. К примеру, высокая плотность энергии деформации говорит нам, что нужно увеличить жесткость элемента и наоборот. Таким образом, инженер может оптимизировать поведение конструкции.

Во вкладке **Эпюры локальные** (рис. 3.17) для отображения результатов нужно отметить флажками интересующие усилия и щелкнуть мышью по стержневому элементу. Эпюры с усилиями отображаются в отдельном окне (рис. 3.18).



Рис. 3.16. Вкладка Эпюры на схеме

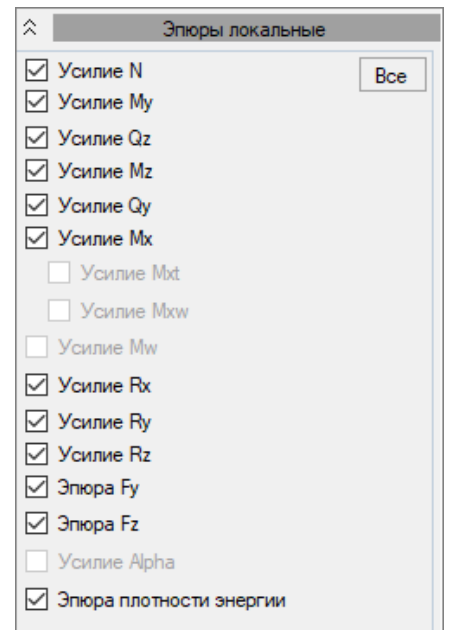


Рис. 3.17. Вкладка Эпюры локальные

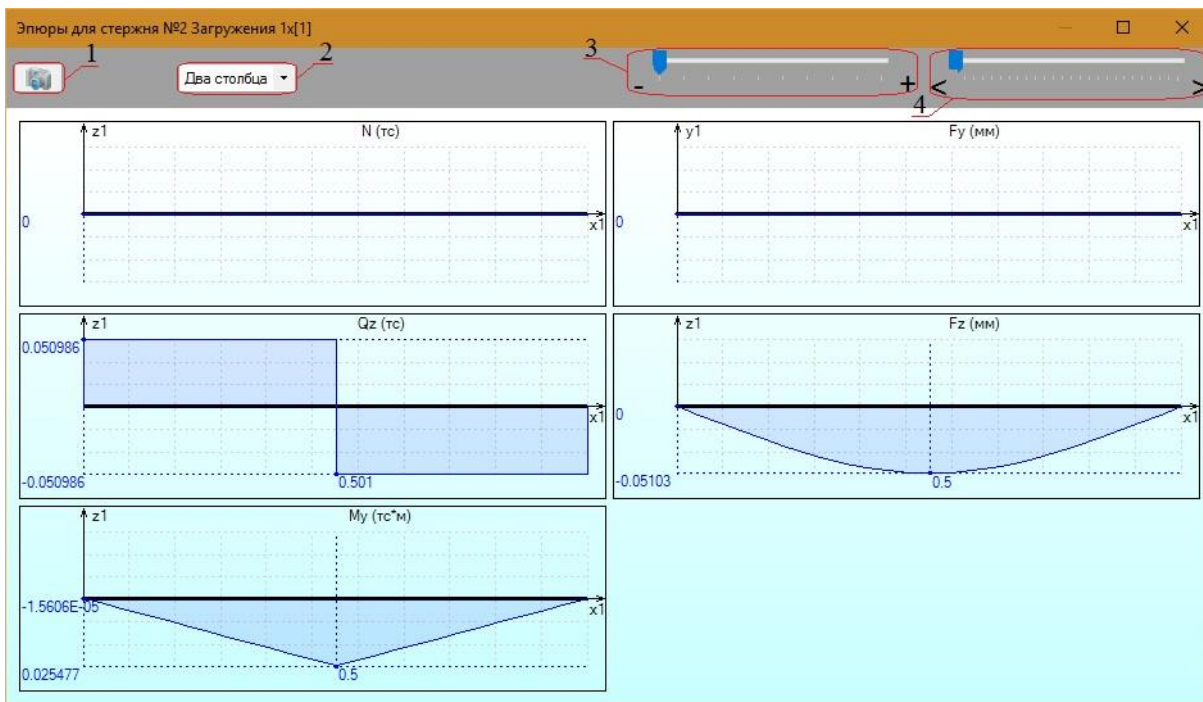


Рис. 3.18. Отдельное окно с эпюрами:

- 1 — копирует изображения эпюр в файл с расширением *.png;
- 2 — меняет вид визуального представления эпюр (**Один столбец, Два столбца**);
- 3 — масштабирует эпюры по длине;
- 4 — прокручивает изображения эпюр по длине

Во вкладке **Графики** (рис. 3.19) отображаются графики изменения усилий в сечении стержневого элемента в зависимости от коэффициента к нагрузке (в задаче присутствуют нелинейные элементы или используется система «PUSHOVER») или от времени (в задаче используется система «ДИНАМИКА+»). Для отображения результатов (по аналогии с вкладкой **Эпюры локальные**) нужно отметить флажками интересующие усилия и щелкнуть мышью по стержневому элементу. Графики с усилиями отображаются в отдельном окне. Интерфейс окна аналогичен окну с графиками для узлов (рис. 3.14). По умолчанию графики отображаются для первого сечения стержня; для изменения номера сечения нужно щелкнуть мышью по полю со списком , которое находится на вкладке **Графики** (рис. 3.19).

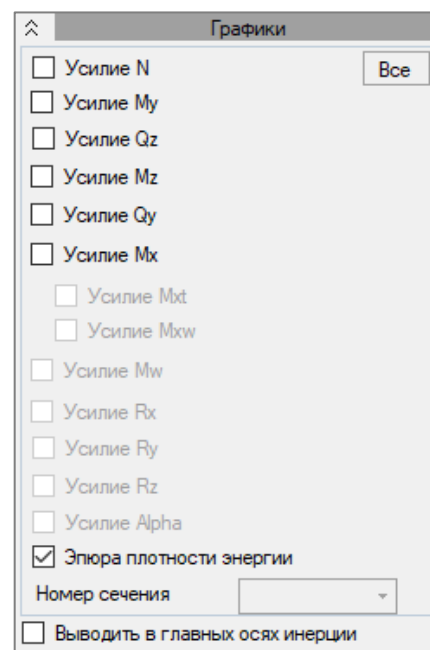




Рис. 3.19. Вкладка **Графики**


 Поле со списком **Номер сечения** активно только при открытом окне с графиками.

3.3.3 Результаты по пластинам

В данном режиме выводятся значения напряжений в пластинчатых элементах с помощью вкладок:

- **Базовые;**
- **Дополнительные;**
- **Напряжения;**
- **Графики.**

 Вкладка **Графики** доступна, если в задаче присутствуют нелинейные элементы, а также используются системы «ДИНАМИКА+» или «PUSHOVER».

Во вкладке **Базовые** (рис. 3.20) при выборе интересующего напряжения отображаются значения этого напряжения на всех пластинчатых элементах схемы. С помощью кнопки **Визуальное представление**  можно выбрать один из четырех видов отображения результатов:

- **Мозаика;**
- **Изополе;**
- **Изолинии;**
- **Изополе + Изолинии.**

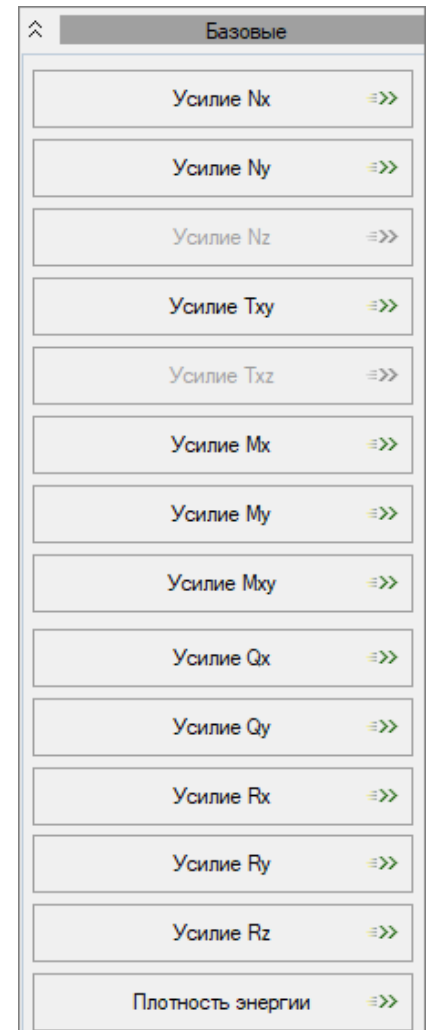


Рис. 3.20. Вкладка **Базовые**

Также есть возможность просмотра эпюры плотности энергии (подробнее см. п. 3.3.2).

Плотность энергии деформации вычисляется по напряжениям и деформациям:

- Для балок-стенок:

$$P_{bs} = (\sigma_x (\sigma_x - \mu_{21} * \sigma_y) / E_1 + \sigma_y (\sigma_y - \mu_{12} * \sigma_x) / E_2 + \tau_{xy}^2 / G_1) / 2;$$
- Для изгибаемых плит:

$$P_{pl} = 6 (M_x (M_x - \mu_{21} * M_y) / E_1 + M_y (M_y - \mu_{12} * M_x) / E_2 + M_{xy}^2 / G_1) / \delta^4,$$
 где δ — толщина;
- Для пластин (оболочек):

$$P = P_{bs} + P_{pl};$$
- При учете сдвига (толстые плиты или пластины) добавляется слагаемое:

$$P_{th} = (Q_x^2 / G_1 + Q_y^2 / G_2) / (2\delta).$$

Во вкладке **Дополнительные** (рис. 3.21) можно просмотреть значения **Напряжений** в арматуре (S_x , S_y) для физически нелинейных элементов и **Коэффициента сдвига** (k) для элементов грунта. Для этого нужно нажать на одну из кнопок во вкладке, после чего, в зависимости от выбранного вида отображения результатов, значения будут представлены в виде мозаики, изолиний, изополя или изополя с изолиниями.

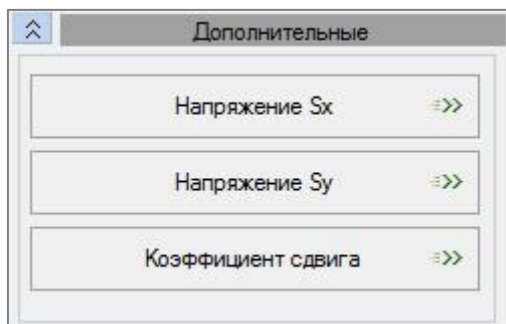



Рис. 3.21. Вкладка **Дополнительные**

Напряжен...	элемент № 5	Ед.Изм.
Mx	-0.03125	(кН*м)/м
My	-0.03125	(кН*м)/м
Mxy	-0.00044062	(кН*м)/м
Qx	0.12035	кН/м
Qy	0.12035	кН/м

Рис. 3.22. Значения усилий в пластинчатом элементе

 Если щелкнуть мышью по интересующему пластинчатому элементу (активны вкладки **Базовые**, **Дополнительные** или **Напряжения**), то отобразится всплывающее окно (рис. 3.22) со значениями усилий.

Вкладка **Напряжения** (рис. 3.23) дает возможность вывести на экран результаты по напряжениям в пластинах в осях выравнивания напряжений. Предоставлена возможность вывода результатов для верхнего, среднего и нижнего слоев пластины. Выбор осуществляется с помощью раскрывающегося списка.

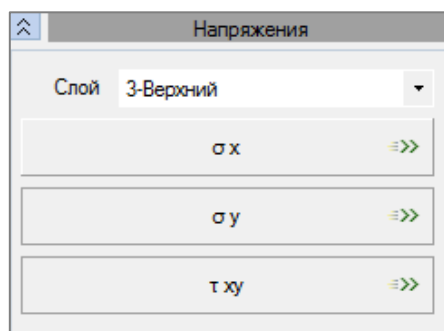


Рис. 3.23. Вкладка **Напряжения**

Во вкладке **Графики** (рис. 3.24) отображаются графики изменения усилий в пластинчатом элементе в зависимости от коэффициента к нагрузке (в задаче присутствуют нелинейные элементы или используется система «PUSHOVER») или от времени (в задаче используется система «ДИНАМИКА+»). Для отображения результатов нужно отметить флажком интересующие усилия и щелкнуть мышью по пластинчатому элементу. Графики с усилиями отображаются в отдельном окне. Интерфейс окна аналогичен окну с графиками для узлов (рис. 3.14).

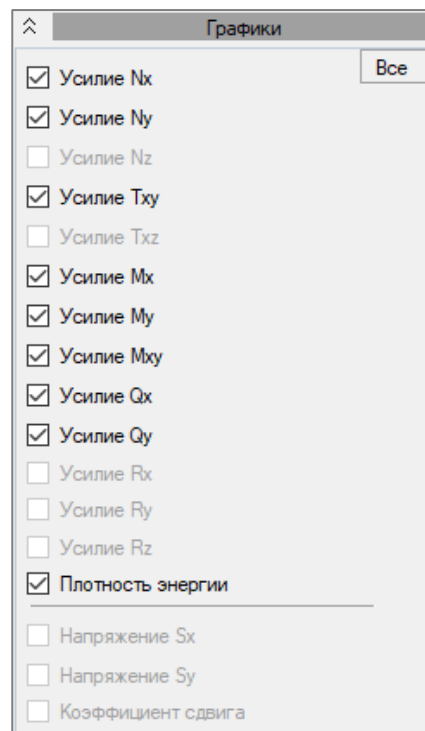




Рис. 3.24. Вкладка **Графики**

3.3.4 Результаты по объемным КЭ

В данном режиме, как и в пластинчатых элементах, выводятся значения напряжений в объемных элементах с помощью вкладок:

- Базовые;
- Дополнительные;
- Графики.

 Вкладка **Графики** доступна, если в задаче присутствуют нелинейные элементы, а также используются системы «ДИНАМИКА+» или «PUSHOVER».

Во вкладке **Базовые** (рис. 3.25) при выборе интересующего напряжения отображаются значения этого напряжения на всех объемных элементах схемы. С помощью кнопки **Визуальное представление**  можно выбрать один из четырех видов отображения результатов:

- Мозаика;
- Изополе;
- Изолинии;
- Изополе + Изолинии.

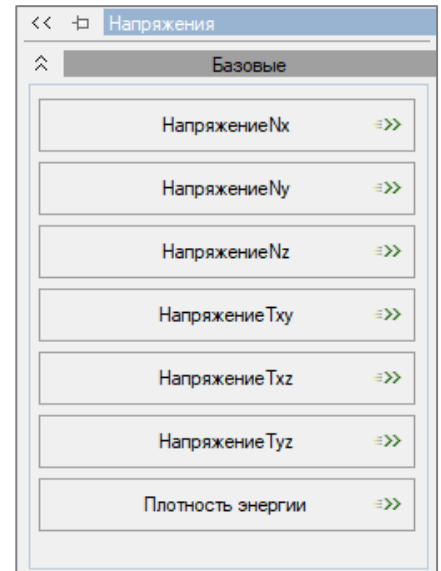


Рис. 3.25. Вкладка **Базовые**

Также есть возможность просмотра эпюры плотности энергии (подробнее см. п. 3.3.2).

Плотность энергии деформации вычисляется по напряжениям и деформациям:

$$U = (\sigma_x * \varepsilon_x + \sigma_y * \varepsilon_y + \sigma_z * \varepsilon_z + \tau_{xy} * \gamma_{xy} + \tau_{xz} * \gamma_{xz} + \tau_{yz} * \gamma_{yz}) / 2.$$

Выразив деформации через напряжения по закону Гука, получим:

$$U = (\sigma_x (\sigma_x - \mu_{21} * \sigma_y - \mu_{31} * \sigma_z) / E_1 + \sigma_y (\sigma_y - \mu_{12} * \sigma_x - \mu_{32} * \sigma_z) / E_2 + (\sigma_z (\sigma_z - \mu_{13} * \sigma_x - \mu_{23} * \sigma_y) / E_3 + \tau_{xy}^2 / G_1 + \tau_{xz}^2 / G_2 + \tau_{yz}^2 / G_3) / 2.$$

Во вкладке **Дополнительные** (рис. 3.26) можно просмотреть значения **Напряжений** в арматуре (S_x , S_y , S_z) для физически нелинейных элементов и **Коэффициента сдвига** (k) для элементов грунта. Для этого нужно нажать на одну из кнопок во вкладке, после чего, в зависимости от выбранного вида отображения результатов, значения будут представлены в виде мозаики, изолиний, изополя или изополя с изолиниями.

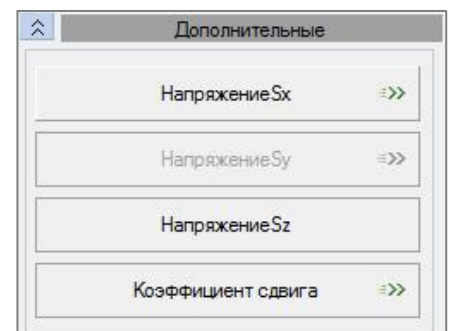



Рис. 3.26. Вкладка **Дополнительные**

 Если щелкнуть мышью по интересующему объемному элементу (активна вкладка **Базовые** или **Дополнительные**), то отобразится всплывающее окно (рис. 3.27) со значениями напряжений.

Напряжен...	элемент № 20	Ед.Изм.
Nx	0.020155	КПа
Ny	0.020155	КПа
Nz	0.20318	КПа
Txy	-0.00061626	КПа
Txz	-0.13204	КПа
Tyz	-0.13204	КПа

Рис. 3.27. Значения напряжений в объемном элементе

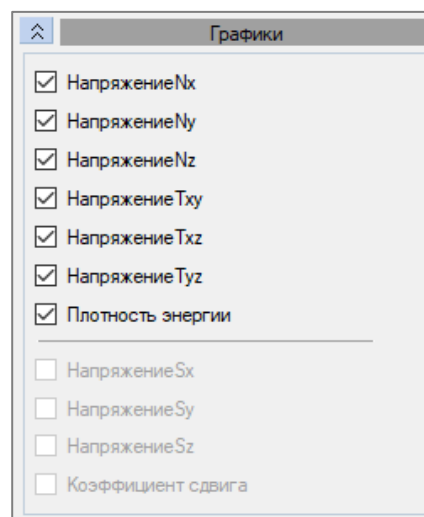



Рис. 3.28. Вкладка **Графики**

Во вкладке **Графики** (рис. 3.28) отображаются графики изменения напряжений в объемном элементе в зависимости от коэффициента к нагрузке (в задаче присутствуют нелинейные элементы или используется система «PUSHOVER») или от времени (в задаче используется система «ДИНАМИКА+»). Для отображения результатов нужно отметить флажками интересующие напряжения и щелкнуть мышью по объемному элементу. Графики с напряжениями отображаются в отдельном окне. Интерфейс окна аналогичен окну с графиками для узлов (рис. 3.14).

3.3.5 Результаты по специальным элементам


В данном режиме выводятся значения усилий в специальных элементах с помощью вкладок:

- **Одноузловые / Двухузловые;**
- **Трехузловые / Четырехузловые;**
- **Графики.**

 *Вкладка **Графики** доступна, если в задаче присутствуют нелинейные элементы, а также используются системы «ДИНАМИКА+» или «PUSHOVER».*

Во вкладке **Одноузловые / Двухузловые** (рис. 3.29) при выборе интересующего усилия отображаются значения этого усилия на всех одно- и двухузловых специальных элементах схемы.

На вкладке **Трехузловые / Четырехузловые** (рис. 3.30) показан список усилий, которые можно отобразить на схеме при наличии трех- и четырехузловых элементов.

С помощью кнопки **Визуальное представление**  можно выбрать один из трех видов отображения результатов:

- **Мозаика;**
- **Эпюра;**
- **Эпюра контрастная.**

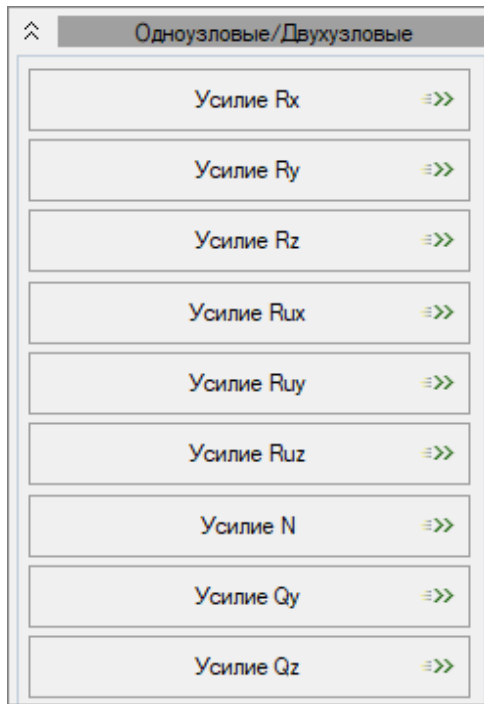


Рис. 3.29. Вкладка
Одноузловые / Двухузловые

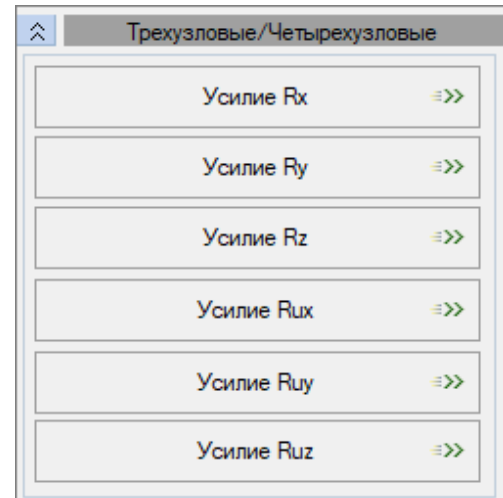



Рис. 3.30. Вкладка
Трёхузловые / Четырёхузловые

 Если щелкнуть мышью по интересующему специальному элементу (активна вкладка **Одноузловые / Двухузловые** или **Трёхузловые / Четырёхузловые**), то отобразится всплывающее окно (рис. 3.31) со значениями усилий.

Реакц...	элемент № 92	Ед.Изм.
Ry	-0.02909	кН
Rz	0.058181	кН

Рис. 3.31. Значения напряжений в специальном элементе

Во вкладке **Графики** (рис. 3.32) отображаются графики изменения усилий в специальном элементе в зависимости от коэффициента к нагрузке (в задаче присутствуют нелинейные элементы или используется система «PUSHOVER») или от времени (в задаче используется система «ДИНАМИКА+»). Для отображения результатов нужно отметить флажками интересующие усилия и щелкнуть мышью по специальному элементу. Графики с усилиями отображаются в отдельном окне. Его интерфейс аналогичен окну с графиками для узлов (рис. 3.14).

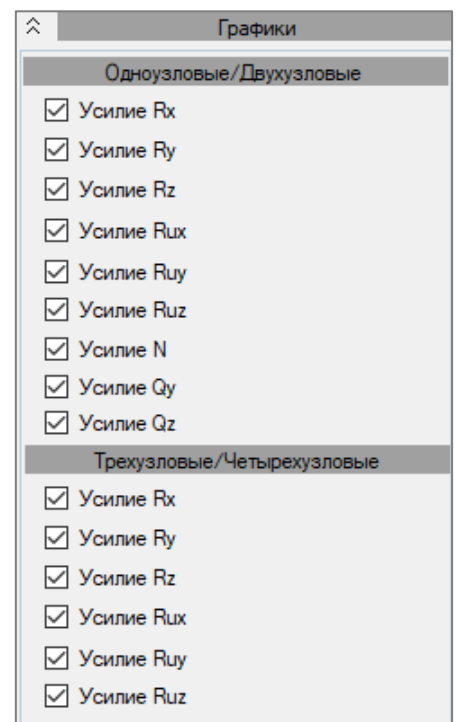


Рис. 3.32. Вкладка **Графики**

3.3.6 Результаты по сочетаниям

В данном режиме выводятся значения максимальных/минимальных усилий/напряжений/перемещений в элементах.

Данный режим содержит следующие вкладки:

- **Тип сочетания;**
- **Стержни:** эпюры на схеме;
- **Пластины:** базовые усилия;
- **Спец. элементы:** усилия;
- **Объемные элементы:** напряжения;
- **Узлы:** перемещения;
- **Стержни:** огибающие.

Во вкладке **Тип сочетания** (рис. 3.33) нужно выбрать из раскрывающегося списка необходимый тип сочетания усилий.

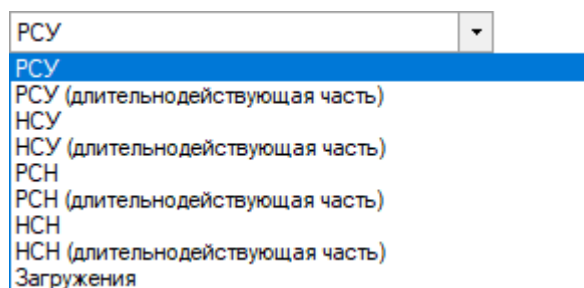



Рис. 3.33. Раскрывающийся список **Тип сочетания**

Во вкладке **Стержни: эпюры на схеме** (рис. 3.34) при выборе интересующего усилия отображаются значения этого усилия на всех стержневых элементах схемы. С помощью кнопки **Визуальное представление**  можно выбрать один из трех видов отображения результатов:

- **Мозаика;**
- **Эпюра;**
- **Эпюра контрастная.**



 Если щелкнуть мышью по интересующему стержневому элементу (активна вкладка **Стержни: эпюры на схеме**), то отобразится всплывающее окно (рис. 3.35) со значениями усилий в каждом сечении этого стержня.




Рис. 3.34. Вкладка **Стержни: эпюры на схеме**

S1	S2	S3
Сочетан...	элемент № 2	Ед.Изм.
Qz min	-0.30527	кН
Qz max	0.4897	кН

Рис. 3.35. Значения максимальных/минимальных усилий в стержневом элементе

Во вкладке **Пластины: базовые усилия** (рис. 3.36) при выборе интересующего усилия отображаются значения этого усилия на всех пластинчатых элементах схемы. С помощью кнопки **Визуальное представление**  можно выбрать один из четырех видов отображения результатов:

- Мозаика;
- Изополе;
- Изолинии;
- Изополе + Изолинии.


 Если щелкнуть мышью по интересующему пластинчатому элементу (активна вкладка **Пластины: базовые усилия**), то отобразится всплывающее окно (рис. 3.37) со значениями усилий.

Сочетан...	элемент № 5	Ед.Изм.
Nx min	-0.35	КПа
Nx max	0	КПа
Ny min	-1.75	КПа
Ny max	0	КПа
Txy min	-1.75	КПа
Txy max	0	КПа
Mx min	-0.034375	(кН*м)/м
Mx max	0.11562	(кН*м)/м
My min	-0.034375	(кН*м)/м
My max	0.11562	(кН*м)/м
Mxy min	0	(кН*м)/м
Mxy max	0.002115	(кН*м)/м
Qx min	-0.44528	кН/м
Qx max	0.13238	кН/м
Qy min	-0.44528	кН/м
Qy max	0.13238	кН/м


Рис. 3.37. Значения максимальных/минимальных усилий в пластинчатом элементе

Пластины: базовые усилия	
Nx min =>>	Nx max =>>
Ny min =>>	Ny max =>>
Nz min =>>	Nz max =>>
Txy min =>>	Txy max =>>
Txz min =>>	Txz max =>>
Mx min =>>	Mx max =>>
My min =>>	My max =>>
Mxy min =>>	Mxy max =>>
Qx min =>>	Qx max =>>
Qy min =>>	Qy max =>>
Rx min =>>	Rx max =>>
Ry min =>>	Ry max =>>
Rz min =>>	Rz max =>>

Рис. 3.36. Вкладка **Пластины: базовые усилия**

Во вкладке **Спец. элементы: усилия** (рис. 3.38) при выборе интересующего усилия отображаются значения этого усилия на всех специальных элементах схемы. С помощью кнопки **Визуальное представление**  можно выбрать один из трех видов отображения результатов:

- Мозаика;
- Эпюра;
- Эпюра контрастная.

 Если щелкнуть мышью по интересующему специальному элементу (активна вкладка **Спец. элементы: усилия**), то отобразится всплывающее окно (рис. 3.39) со значениями усилий.

Сочетан...	элемент № 92	Ед.Изм.
Ry min	-0.031999	кН
Ry max	-0.031999	кН
Rz min	0.063999	кН
Rz max	0.095999	кН

Рис. 3.39. Значения максимальных/минимальных усилий в специальном элементе

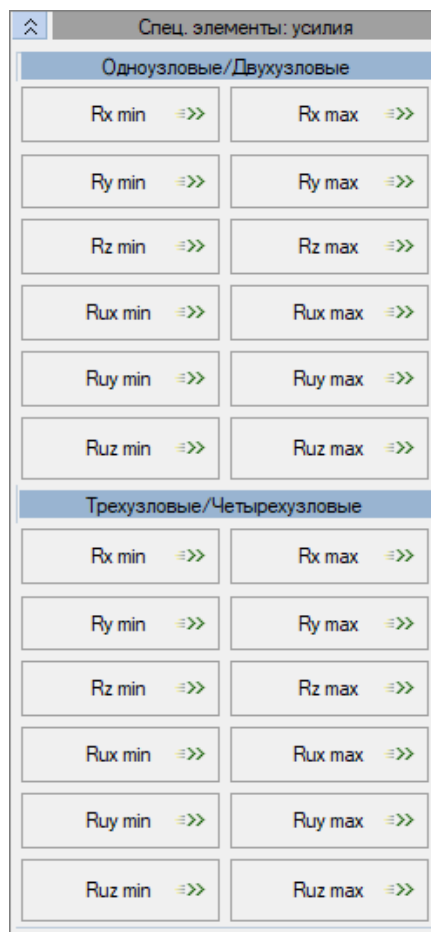




Рис. 3.38. Вкладка **Спец. элементы: усилия**

Во вкладке **Объемные элементы: напряжения** (рис. 3.40) при выборе интересующего напряжения отображаются значения этого напряжения на всех объемных элементах схемы. С помощью кнопки **Визуальное представление**  можно выбрать один из четырех видов отображения результатов:

- Мозаика;
- Изополе;
- Изолинии;
- Изополе + Изолинии.

 Если щелкнуть мышью по интересующему объемному элементу (активна вкладка **Объемные элементы: напряжения**), то отобразится всплывающее окно (рис. 3.41) со значениями напряжений.

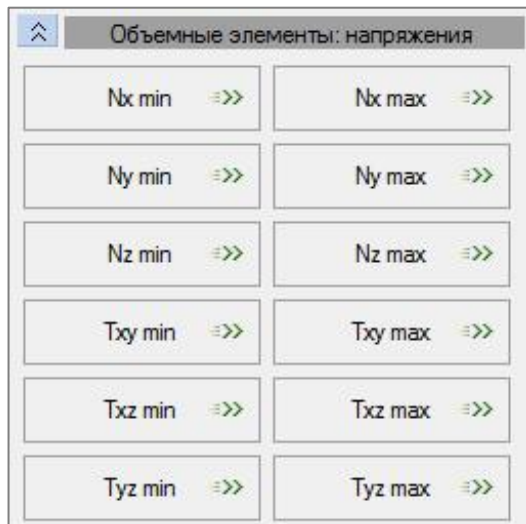



Рис. 3.40. Вкладка **Объемные элементы: напряжения**

Сочетан...	элемент № 10	Ед.Изм.
Nx min	-0.065209	КПа
Nx max	-0.0047439	КПа
Ny min	-0.12058	КПа
Ny max	-0.060116	КПа
Nz min	-0.58315	КПа
Nz max	0.0264	КПа
Txy min	0.0074162	КПа
Txy max	0.0086486	КПа
Txz min	0.11053	КПа
Txz max	0.50665	КПа
Tyz min	-0.68787	КПа
Tyz max	-0.29175	КПа

Рис. 3.41. Значения максимальных/минимальных напряжений в объемном элементе

Во вкладке **Узлы: перемещения** (рис. 3.42) при выборе интересующего перемещения отображаются значения этого перемещения на всех узлах схемы. С помощью кнопки **Визуальное представление**  можно выбрать один из четырех видов отображения результатов:

- **Мозаика;**
- **Изополе;**
- **Изолинии;**
- **Изополе + Изолинии.**

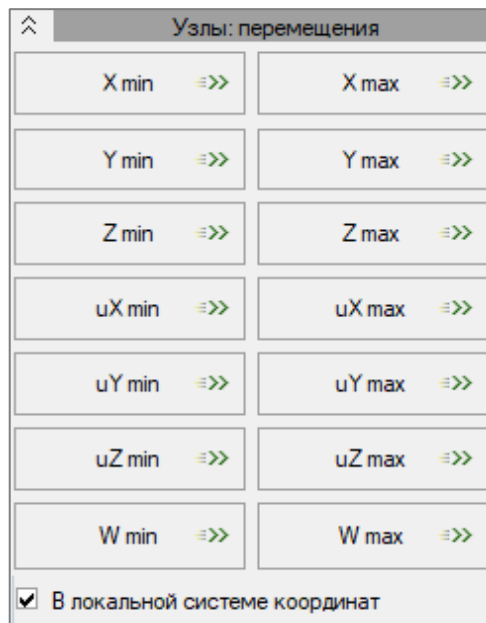


Рис. 3.42. Вкладка **Узлы: перемещения**

✎ Если щелкнуть мышью по интересующему узлу (активна вкладка **Узлы: перемещения**), то отобразится всплывающее окно (рис. 3.43) со значениями перемещений.

Сочетания	элемент № 1	Ед.Изм.	Сочетание
Перемещение X min	-269.46	мм	1
Перемещение X max	0	мм	1
Перемещение Y min	0	мм	1
Перемещение Y max	0.15205	мм	1
Перемещение Z min	0	мм	1
Перемещение Z max	0.73109	мм	1
Перемещение uX min	0	рад*1e-3	1
Перемещение uX max	0.40537	рад*1e-3	1
Перемещение uY min	-2.2994	рад*1e-3	1
Перемещение uY max	0	рад*1e-3	1
Перемещение uZ min	-0.039188	рад*1e-3	1
Перемещение uZ max	0	рад*1e-3	1
Перемещение W min	0	рад*1e-3/мм	1
Перемещение W max	0.00014557	рад*1e-3/мм	1

Рис. 3.43. Значения максимальных/минимальных перемещений в узле

Во вкладке **Стержни: огибающие** (рис. 3.44) для отображения результатов нужно отметить флажками интересующие усилия и щелкнуть мышью по стержневому элементу. Эпюры с усилиями отображаются в отдельном окне. Его интерфейс аналогичен окну с локальными эпюрами (рис. 3.18).

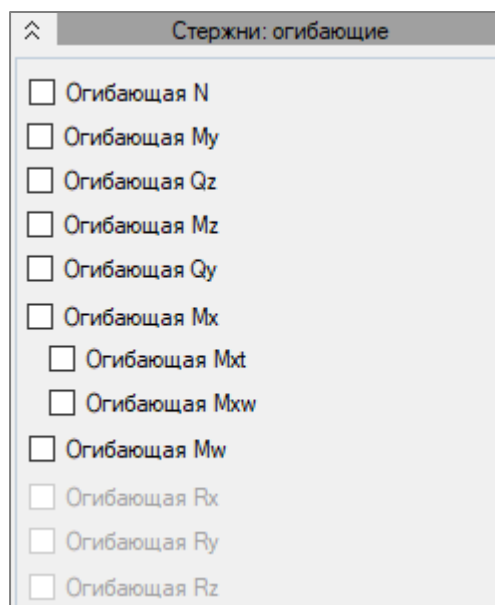



Рис. 3.44. Вкладка **Стержни: огибающие**

3.4 ГЛАВНЫЕ И ЭКВИВАЛЕНТНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ

Одной из важнейших стадий анализа результатов расчета является оценка прочности элементов конструкции. ПК ЛИРА 10 предоставляет такую возможность посредством вычисления главных и эквивалентных напряжений пластин и объемных элементов, а также нормальных напряжений стержней. Для вычисления эквивалентных напряжений используются самые распространенные теории (критерии) прочности (подробно описаны в Главе 10).

3.4.1 Нормальные напряжения в стержневых элементах

Для вызова режима просмотра нормальных напряжений в стержнях воспользуйтесь командой **Результаты** ⇨ **Напряжения в стержнях** либо кнопкой  на панели инструментов. После этого в левой части экрана появится панель активного режима **Главные и экв. напряжения**, которая представлена двумя вкладками: **Результаты по загрузкам/РСН** и **Результаты по сочетаниям**.

Вкладка **Результаты по загрузкам/РСН** (рис. 3.45) дает возможность посмотреть вычисленные нормальные напряжения и деформации по отдельным загрузкам либо по РСН. Данная вкладка включает в себя область **Нормальные напряжения**. С помощью соответствующих кнопок можно вывести на экран следующие результаты:

- минимальные нормальные напряжения σ_{min} ;
- максимальные нормальные напряжение σ_{max} ;
- абсолютное максимальное нормальное напряжение из σ_{min} и σ_{max} ;
- минимальные деформации ε_{min} ;
- максимальные деформации ε_{max} ;
- абсолютная максимальная деформация из ε_{min} и ε_{max} .

Вывод нормальных напряжений для отдельного элемента также возможен непосредственно щелчком мыши по конечному элементу. В результате этих действий появляется всплывающее окно с вычисленными по конечному элементу результатами в каждом расчетном сечении (рис. 3.46).

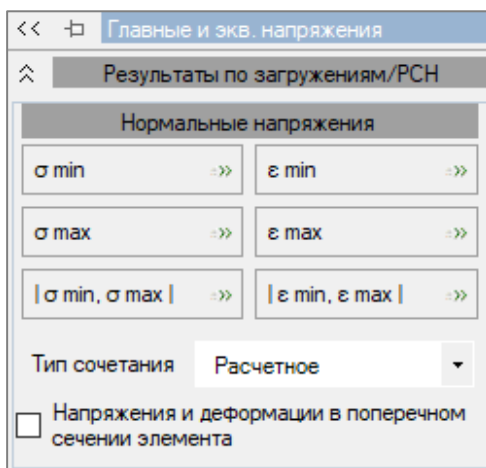


Рис. 3.45. Вкладка **Результаты по загрузкам/РСН**

Сечение 1	Сечение 2	Сече
элемент № 111		
		Ед.Изм.
σ_{min}	-6.3545	МПа
σ_{max}	6.2547	МПа
ε_{min}	-0.0002118	
ε_{max}	0.0002084	

Рис. 3.46. Значения максимальных/минимальных напряжений и деформаций в стержне

Если установлен флажок **Напряжения и деформации в поперечном сечении элемента**, то при щелчке мыши по конечному элементу будет вызываться диалоговое окно с более подробной информацией об указанном элементе (рис. 3.47):

- нормальные и касательные напряжения и деформации;
- главные напряжения;
- эквивалентные напряжения.

Как дополнение, имеется также возможность задать усилия в данном диалоговом окне. Для этого необходимо выбрать в раскрывающемся списке **Номер сечения** элемент **Задать усилия**. После чего станут активными поля ввода значений усилий.

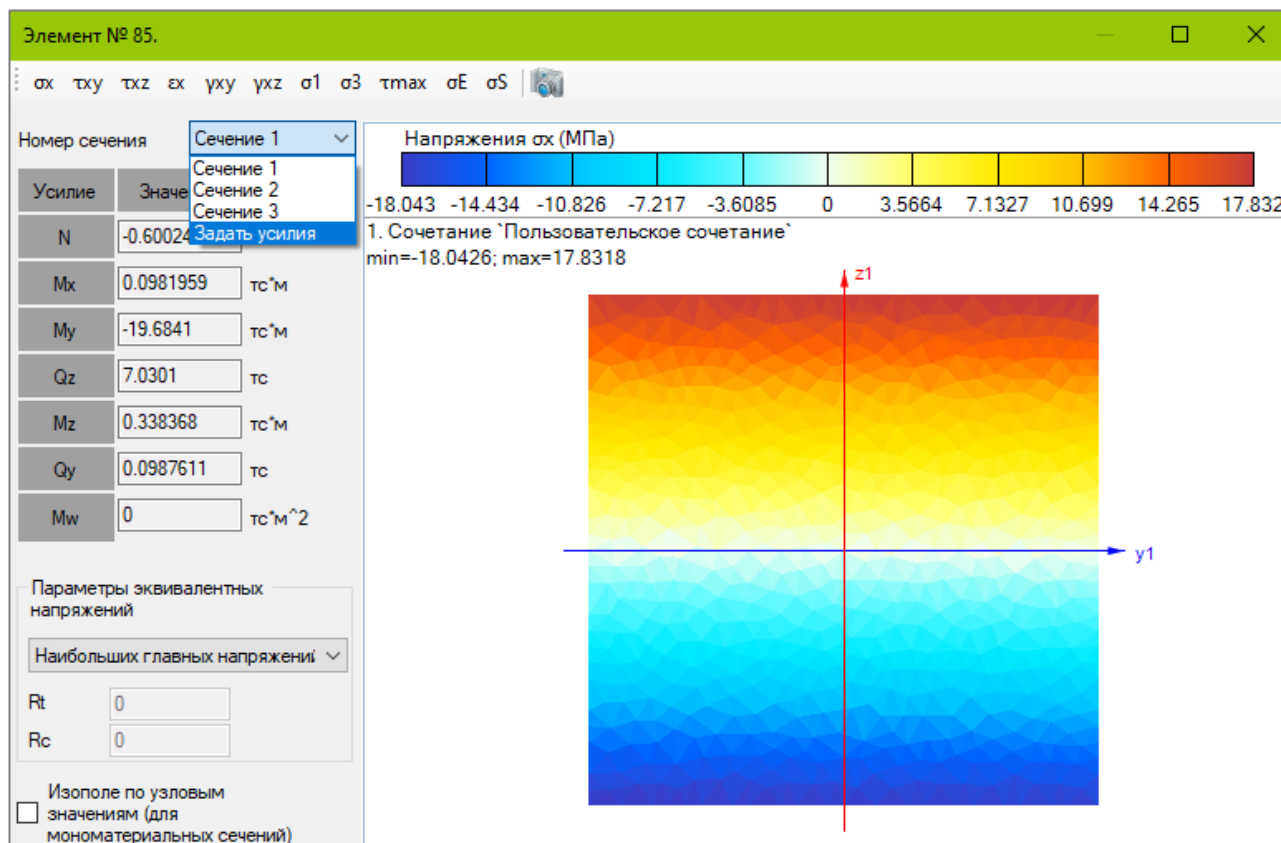


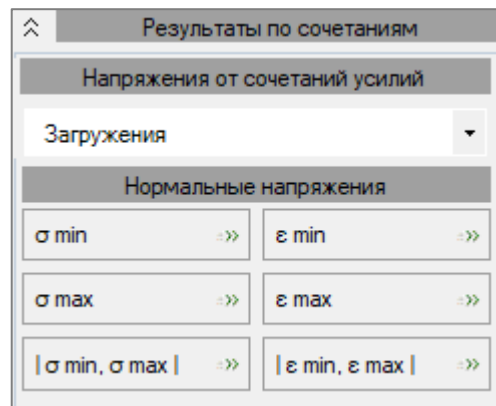
Рис. 3.47. Диалоговое окно с подробной информацией по элементу

При переходе на РСН (кнопка Σ на панели инструментов) во вкладке **Результаты по загрузкам/РСН** станет доступным раскрывающийся список **Тип сочетания**, в котором можно выбрать необходимый тип сочетания нагрузок.


Вкладка **Результаты по сочетаниям** (рис. 3.48) дает возможность выводить на экран вычисленные нормальные напряжения и деформации от различных сочетаний усилий:

- РСУ;
- РСУ (длительнодействующая часть);
- НСУ;
- НСУ (длительнодействующая часть);
- РСН;
- РСН (длительнодействующая часть);
- НСН;

- НСН (длительнодействующая часть).

Рис. 3.48. Вкладка **Результаты по сочетаниям**

3.4.2 Главные и эквивалентные напряжения пластин

Для вызова режима визуализации главных и эквивалентных напряжений пластин воспользуйтесь командой **Результаты** ⇒ **Напряжения в пластинах** либо кнопкой  на панели инструментов. После этого слева на экране появится соответствующая панель активного режима, которая состоит из двух раскрывающихся вкладок.

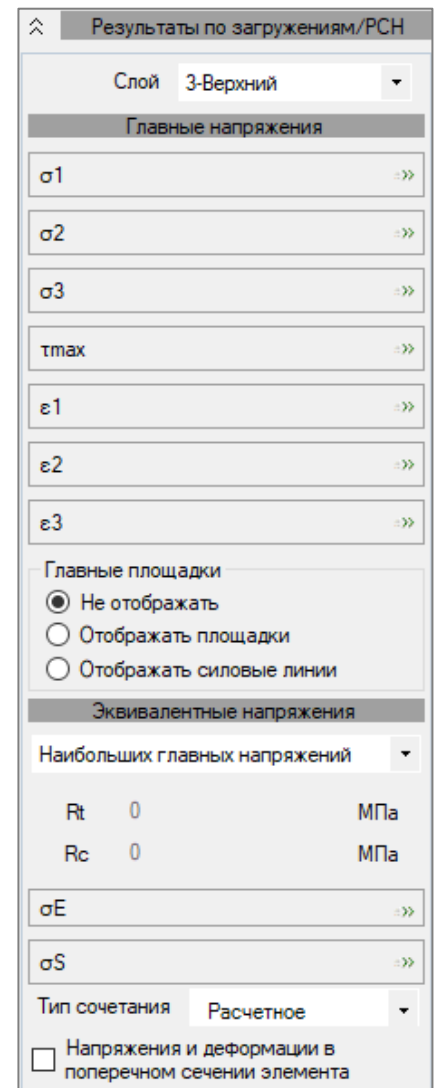
Вкладка **Результаты по загрузкам/РСН** (рис. 3.49) дает возможность просмотреть вычисленные главные и эквивалентные напряжения и деформации по отдельным загрузкам или РСН.

Визуализация напряжений в пластинах производится по слоям (верхнему, среднему и нижнему), которые выбираются с помощью раскрывающегося списка.

Данная вкладка содержит две области: **Главные напряжения** и **Эквивалентные напряжения**.

В области **Главные напряжения** имеется возможность вывести на экран следующие результаты:

- главное нормальное напряжение σ_1 ;
- главное нормальное напряжение σ_2 ;
- главное нормальное напряжение σ_3 ;
- максимальное касательное напряжение τ_{max} ;
- главная деформация ϵ_1 ;
- главная деформация ϵ_2 ;
- главная деформация ϵ_3 .

Рис. 3.49. Вкладка **Результаты по загрузкам/РСН**

Помимо вывода на экран вышеперечисленных результатов, также есть возможность отобразить направления главных площадок или силовых линий. Для этого необходимо указать при помощи переключателя желаемую опцию (**Отображать площадки** или **Отображать силовые линии**), после чего нажатием на соответствующую кнопку вывести на экран результаты по главным напряжениям или деформациям. В результате этих действий в центре конечного элемента будет нарисован отрезок, указывающий направление главной площадки/силовой линии (рис. 3.50).

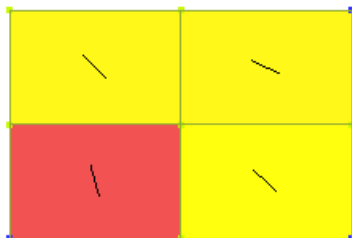


Рис. 3.50. Отображение направления главных площадок/силовых линий

Вывод главных напряжений для отдельного элемента также возможен непосредственно щелчком мыши по конечному элементу. В результате этих действий появляется всплывающее окно с вычисленными по конечному элементу результатами для трех слоев (рис. 3.51).

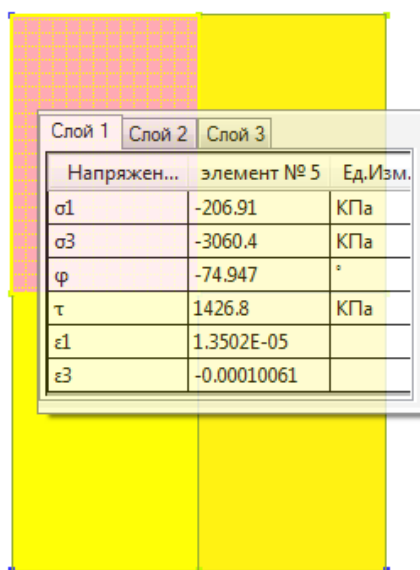


Рис. 3.51. Отображение главных напряжений

Если установлен флажок **Напряжения и деформации в поперечном сечении элемента**, то при щелчке мыши по конечному элементу будет вызываться диалоговое окно с более подробной информацией об указанном элементе (рис. 3.52):

- доступные напряжения и деформации по направлениям;
- главные напряжения и деформации;
- эквивалентные напряжения.

Как дополнение, имеется также возможность задать усилия в данном диалоговом окне. Для этого необходимо установить флажок **Задать усилия**. После чего станут активными поля ввода значений усилий.

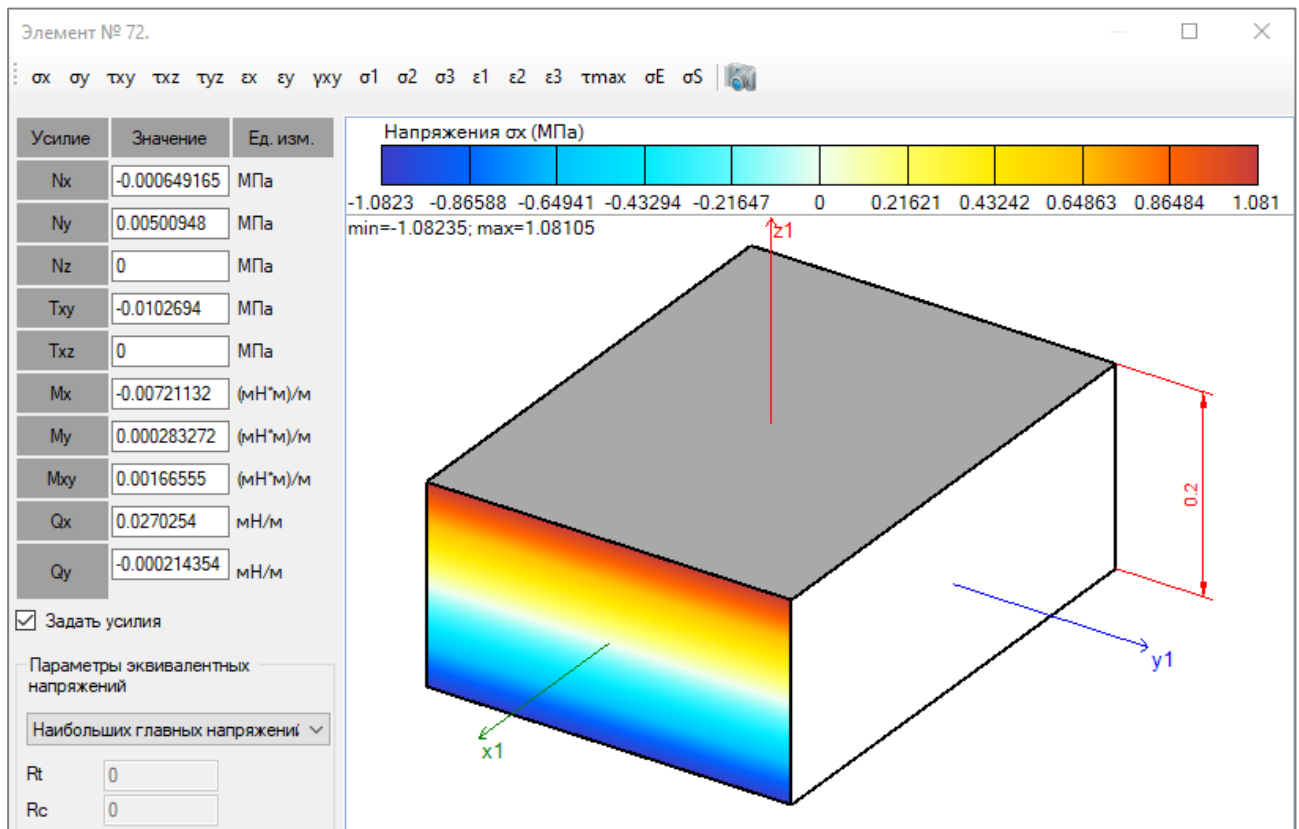



Рис. 3.52. Диалоговое окно с подробной информацией по элементу

Область параметров **Эквивалентные напряжения** позволяет вывести на экран значения эквивалентных напряжений (эквивалентное напряжение на сжатие σ_S и эквивалентное напряжение на растяжение σ_E) согласно различным теориям прочности.

В ПК ЛИРА 10 реализованы следующие теории:

- теория наибольших главных напряжений;
- теория наибольших главных деформаций;
- теория наибольших касательных напряжений;
- энергетическая теория Губера-Хенки-Мизеса;
- теория Мора;
- теория Друккера-Прагера;
- теория Писаренко-Лебедева;
- теория Гениева (для железобетона);
- теория Кулона-Мора (для грунтов);
- теория Боткина (для грунтов).

При использовании теорий Мора, Друккера-Прагера, Писаренко-Лебедева и Гениева необходимо указать предельные напряжения на растяжение и сжатие — R_t и R_c соответственно. Для теорий, по которым идет расчет эквивалентных напряжений в грунте (Кулона-Мора и Боткина), необходимо указать сцепление грунта C и угол внутреннего трения ϕ .

При переходе на РСН (кнопка  на панели инструментов) во вкладке **Результаты по загрузениям/РСН** станет доступным раскрывающийся список **Тип сочетания**, в котором можно выбрать необходимый тип сочетания нагрузок.

Вкладка **Сочетания** содержит три области: **Напряжения от сочетаний усилий**, **Главные напряжения** и **Эквивалентные напряжения** (рис. 3.53).

Как и на вкладке **Результаты по загрузениям/РСН**, предоставляется возможность вывести результаты для трех слоев элемента — верхнего, среднего и нижнего, а также от различных сочетаний усилий:

- РСУ;
- РСУ (длительнодействующая часть);
- НСУ;
- НСУ (длительнодействующая часть);
- РСН;
- РСН (длительнодействующая часть);
- НСН;
- НСН (длительнодействующая часть).


Вывод главных напряжений и деформаций, а также эквивалентных напряжений, производится аналогично выводу по отдельным загрузениям. Разница состоит в том, что в качестве результатов на экран выводятся максимальные и минимальные значения для каждого отдельного главного напряжения/деформации или эквивалентного напряжения по тому или иному расчетному или нормативному сочетанию. Еще одним отличием является то, что при вычислении главных и эквивалентных напряжений по сочетаниям усилий/нагрузок не вычисляется положение главных площадок.



Рис. 3.53. Вкладка **Сочетания**

3.4.3 Главные и эквивалентные напряжения объемных элементов

Для вызова режима просмотра главных и эквивалентных напряжений объемных элементов воспользуйтесь командой **Результаты ⇨ Напряжения в объемных КЭ** либо

кнопкой  на панели инструментов. После этого в левой части экрана появится панель активного режима, которая состоит из двух вкладок: **Результаты по загрузениям/РСН** (рис. 3.54) и **Результаты по сочетаниям** (рис. 3.55).


Работа в режиме вывода главных и эквивалентных напряжений для объемных элементов имеет много общего с операциями при выводе напряжений пластин. При этом стоит отметить несколько отличий:

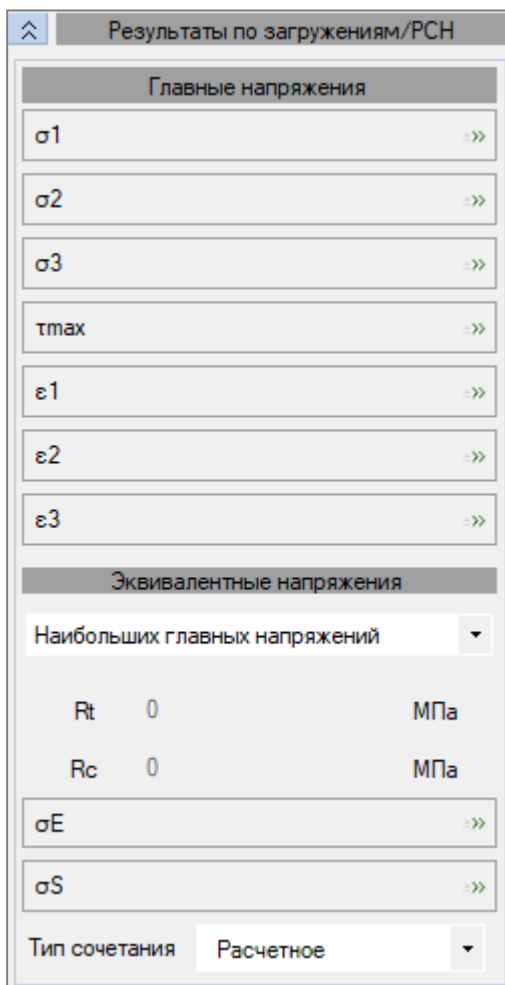
1. Напряжения выводятся по всему элементу, а не по отдельным слоям.
2. На экран не выводится положение главных площадок.

Также при просмотре результатов для отдельного конечного элемента по загрузкам во всплывающем окне приводится следующая дополнительная информация: углы Эйлера (θ , ψ и ϕ) и параметр Лоде-Надаи μ .

Эквивалентные напряжения объемных элементов вычисляются по тем же теориям прочности, как и в случае с пластинами. При использовании теорий Мора, Друккера-Прагера, Писаренко-Лебедева, Гениева, Кулона-Мора и Боткина необходимо задать требуемые дополнительные данные для расчета.

Вывод результатов по сочетаниям усилий/нагрузок происходит так же, как и при работе с пластинчатыми элементами.

 Для получения адекватных результатов главных и эквивалентных напряжений необходимо провести выравнивание осей (см. п. 2.11.6).



Результаты по загрузкам/РСН

Главные напряжения

σ_1 >>>

σ_2 >>>

σ_3 >>>

τ_{\max} >>>

ϵ_1 >>>

ϵ_2 >>>

ϵ_3 >>>

Эквивалентные напряжения

Наибольших главных напряжений

Rt 0 МПа

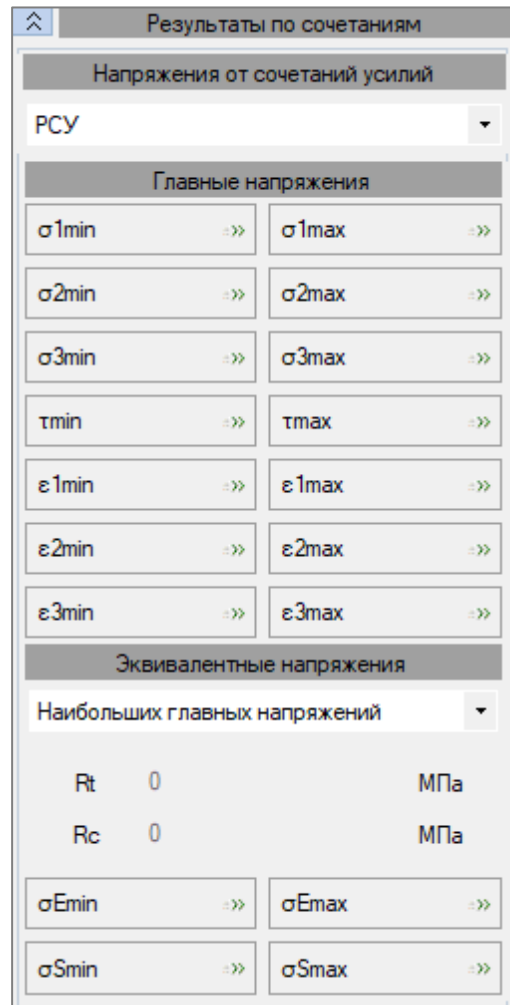
Rc 0 МПа

σ_E >>>

σ_S >>>

Тип сочетания Расчетное

Рис. 3.54. Вкладка **Результаты по загрузкам/РСН**



Результаты по сочетаниям

Напряжения от сочетаний усилий

PCU

Главные напряжения

$\sigma_{1\min}$ >>> $\sigma_{1\max}$ >>>

$\sigma_{2\min}$ >>> $\sigma_{2\max}$ >>>

$\sigma_{3\min}$ >>> $\sigma_{3\max}$ >>>

τ_{\min} >>> τ_{\max} >>>

$\epsilon_{1\min}$ >>> $\epsilon_{1\max}$ >>>

$\epsilon_{2\min}$ >>> $\epsilon_{2\max}$ >>>

$\epsilon_{3\min}$ >>> $\epsilon_{3\max}$ >>>

Эквивалентные напряжения

Наибольших главных напряжений

Rt 0 МПа

Rc 0 МПа

$\sigma_{E\min}$ >>> $\sigma_{E\max}$ >>>

$\sigma_{S\min}$ >>> $\sigma_{S\max}$ >>>

Рис. 3.55. Вкладка **Результаты по сочетаниям**


3.5 ИНЕРЦИОННЫЕ СИЛЫ И УСКОРЕНИЯ

При анализе расчетов линейных динамических задач в ПК ЛИРА 10 помимо стандартных результатов, таких как перемещения или внутренние усилия, предоставляется возможность вывода результатов узловых ускорений и инерционных сил. Инерционные силы выводятся на экран для следующих загружений:

- пульсационная составляющая ветрового воздействия;
- сейсмическое воздействие;
- импульсное воздействие;
- ударное воздействие;
- гармоническое воздействие.

Ускорения выводятся только для загрузки **Пульсационная составляющая ветрового воздействия**.

3.5.1 Инерционные силы

Для вывода на экран инерционных сил воспользуйтесь кнопкой  (**Инерционные силы**) на панели инструментов. После нажатия на нее появляется раскрывающееся меню (рис. 3.56), позволяющее выбрать составляющие инерционных сил, которые будут выведены на экран.

При щелчке на кнопке «+» будут выбраны все составляющие инерционных сил: три линейные (**X**, **Y**, **Z**), три вращательные (**UX**, **UY**, **UZ**) и депланация (**W**). Соответственно, при щелчке на кнопке «-» весь выбор будет снят.

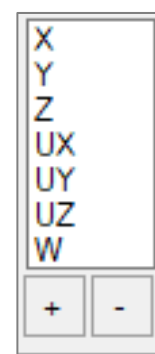


Рис. 3.56

Для вывода на экран отдельных составляющих инерционных сил необходимо при помощи мыши выделить интересующие направления.

Инерционные силы выводятся только для отдельных составляющих (форм) загрузки. Поэтому, после того как были определены составляющие инерционных сил, которые будут отображены на экране, в раскрывающемся окне загрузений необходимо выбрать интересующую составляющую (форму).

Визуализация инерционных сил происходит после того, как в раскрывающемся меню были выделены их направления, а затем был выполнен щелчок мышью в свободном пространстве рабочего окна. В итоговом результате в узлах конструкции будут выведены направления инерционных сил (рис. 3.57).

Для просмотра результатов по другим загрузениям не нужно опять пользоваться кнопкой **Инерционные силы** на панели инструментов. Достаточно лишь сменить составляющую — и на экран будут автоматически выведены направления инерционных сил по выбранным составляющим. При этом стоит отметить, что в данном случае будут визуализированы лишь те составляющие инерционных сил, которые были выбраны для предыдущего загрузки.

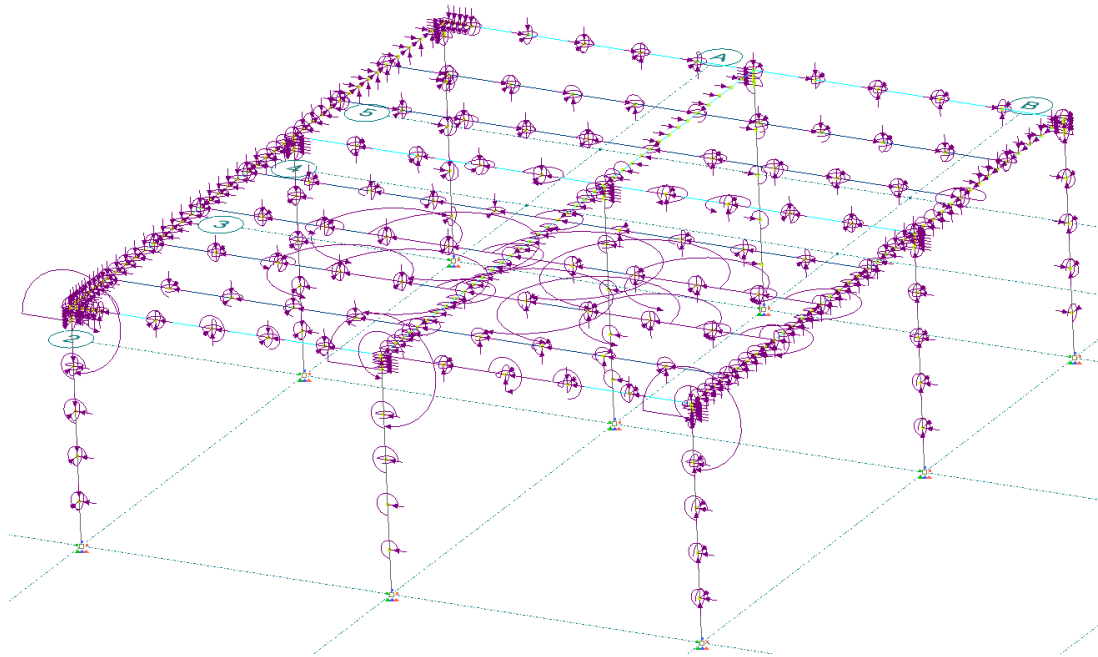

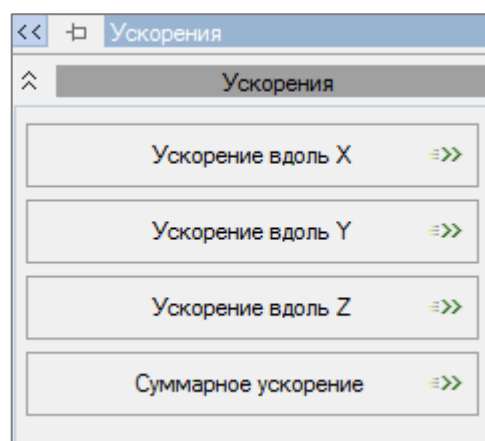


Рис. 3.57. Отображение действия инерционных сил в узлах конструкции

3.5.2 Ускорения

Визуализация результатов ускорений возможна с помощью команды **Результаты** ⇨ **Ускорения** либо с помощью кнопки  на панели инструментов. После использования этой функции на экран выводится панель активного режима **Ускорения** (рис. 3.58), которая дает возможность выбрать результаты ускорений, которые будут выведены на экран.

Данный режим позволяет визуализировать четыре типа результатов, а именно: линейные ускорения вдоль глобальных осей X, Y и Z, а также суммарное (среднеквадратическое) ускорение.

Рис. 3.58. Панель режима **Ускорения**

Просмотр результатов возможен только для загрузки **Пульсационная составляющая ветрового воздействия**. При этом стоит отметить, что вывод результатов возможен не только для отдельных составляющих данного нагружения, но, в отличие от инерционных сил, возможен просмотр результатов ускорений и для суммарной пульсационной составляющей.

Ускорения всей системы приводятся к узловым значениям, а визуализация результатов подается в виде мозаики (рис. 3.59). Просмотр результатов для отдельно взятого узла также возможен посредством щелчка мыши на нем. После этого на экране появляется всплывающее окно со всеми вычисленными ускорениями для выбранной составляющей пульсационного ветрового воздействия.

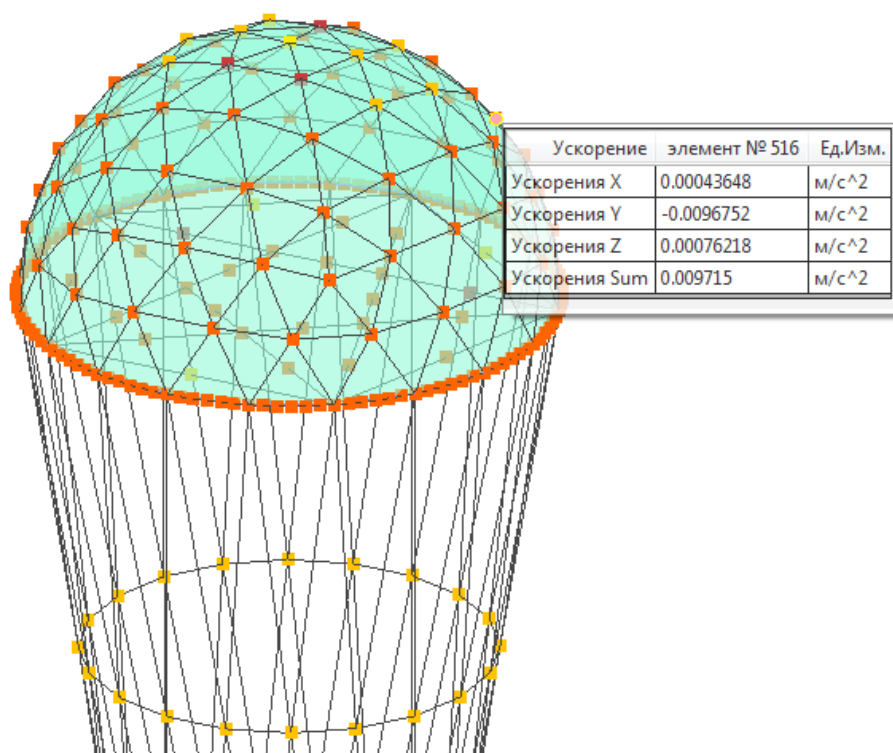



Рис. 3.59. Мозаика значений ускорений в узлах конструкции

3.6 УЗЛОВЫЕ РЕАКЦИИ

Для графического отображения реакций в узлах воспользуйтесь командой **Результаты** ⇒ **Узловые реакции** (кнопка  на панели инструментов).

Панель активного режима **Реакции** (рис. 3.60) состоит из трех вкладок, с помощью которых формируются параметры отображения узловых реакций.


Для просмотра узловых реакций нужно сформировать список узлов. Для этого во вкладке **Список узлов** есть две кнопки:

- для добавления узлов в список предварительно выделите эти узлы и нажмите кнопку **Добавить узлы в список**;
- для перезаписи списка выделите нужные узлы и нажмите кнопку **Перезаписать список узлов**.

Для выделения на схеме выбранного списка узлов воспользуйтесь кнопкой **Выделить узлы из списка**.

Далее, с помощью команд вкладки **Список элементов**, нужно выбрать элементы, от действия которых требуется определить реакции в узле. Для этого, аналогично со вкладкой **Список узлов**, воспользуйтесь кнопками **Добавить элементы в список** и **Перезаписать список элементов**.

Также после нажатия **Выделить элементы из списка** выбранные элементы выделяются на схеме.


 По умолчанию в **Список узлов** попадают узлы, в которых есть связи, а в **Список элементов** — элементы, которые примыкают к этим узлам.

Вкладка **Направления** используется для выбора направлений, по которым нужно отобразить узловые реакции, а именно:

- перемещения **X, Y, Z**;
- повороты **uX, uY, uZ**;
- депланация **W**.

Для выбора всех направлений одновременно можно воспользоваться кнопкой **Все**.

При установке флажка **В локальной системе координат** будут отображены реакции в локальной системе координат (если таковые имеются).

При переходе на **РСН** (кнопка  на панели инструментов) станет доступным раскрывающийся список **Тип сочетания**, в котором можно выбрать необходимый тип сочетания нагрузок.

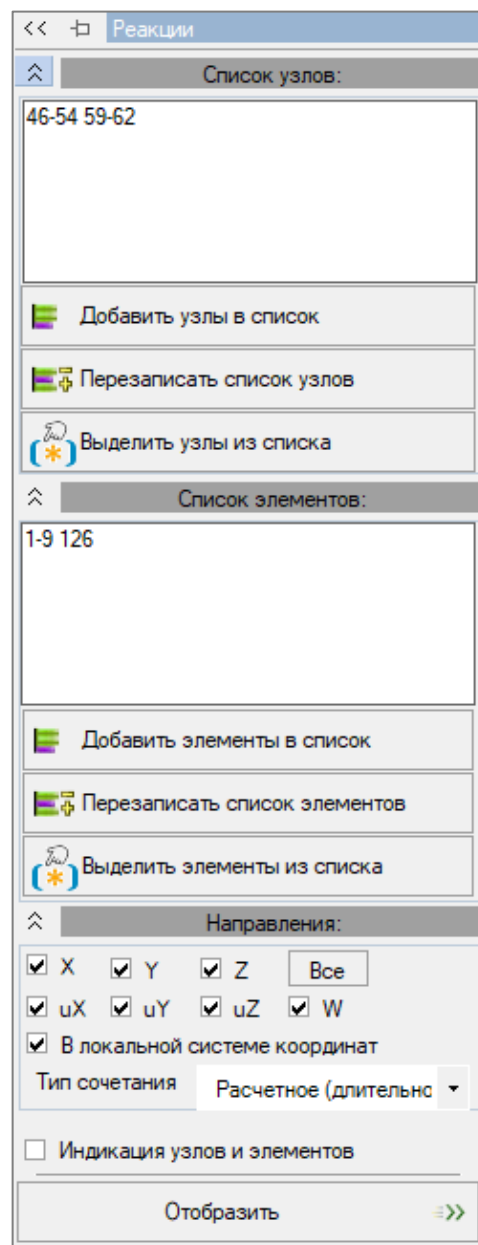


Рис. 3.60. Панель активного режима **Реакции**

Флажок **Индикация узлов и элементов** используется для отображения на схеме выбранных узлов и элементов.

После выбора всех параметров нажмите кнопку **Отобразить**, чтобы посмотреть на схеме узловые реакции для выбранных узлов (рис. 3.61).

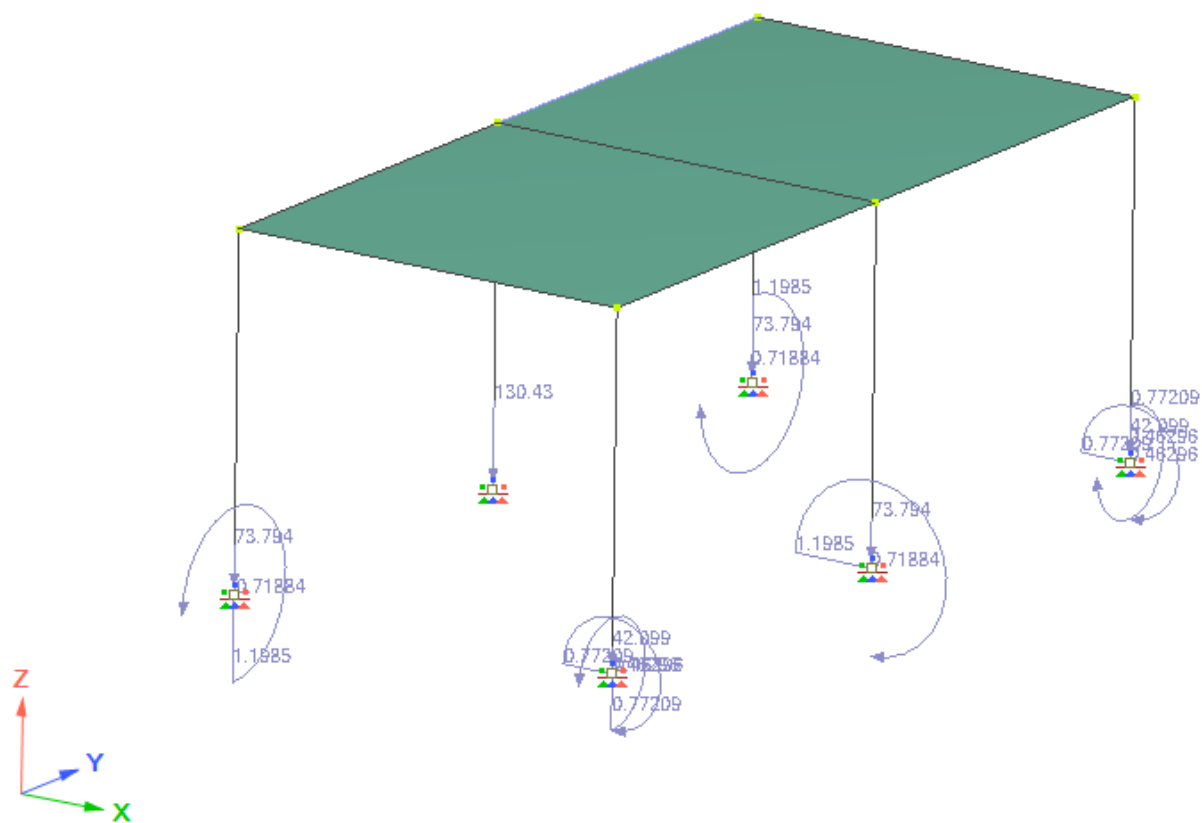



Рис. 3.61. Узловые реакции на схеме

3.7 РАЗРУШЕНИЯ

Для графического отображения разрушений воспользуйтесь командой **Результаты** ⇨ **Разрушения** (кнопка  на панели инструментов). При ее выборе появляется панель активного режима **Отображение разрушений**, которая содержит три вкладки:

- **Пластины: разрушения;**
- **Напряжения в стержнях;**
- **Напряжения в пластинах.**

На вкладке **Пластины: разрушения** (рис. 3.62) имеется раскрывающийся список **Слой**, где нужно указать слой: **3-Верхний**, **2-Средний**, **1-Нижний**.

Ниже, в списке **На фоне отображать**, необходимо выбрать интересующее напряжение.

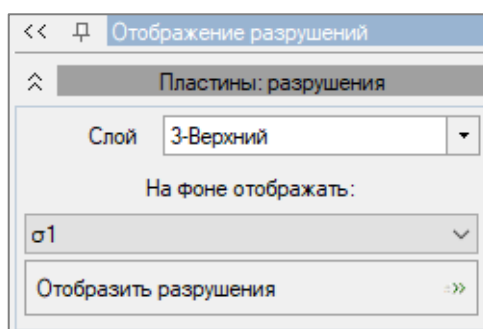


Рис. 3.62. Вкладка **Пластины: разрушения**

Затем нужно нажать кнопку **Отобразить разрушения** и на экране будет представлен результат (рис. 3.63) в одном из четырех видов отображения (Мозаика, Изополе, Изолинии, Изополе + Изолинии). Вид представления можно изменить с помощью команды **Шкала** ⇨ **Визуальное представление**.

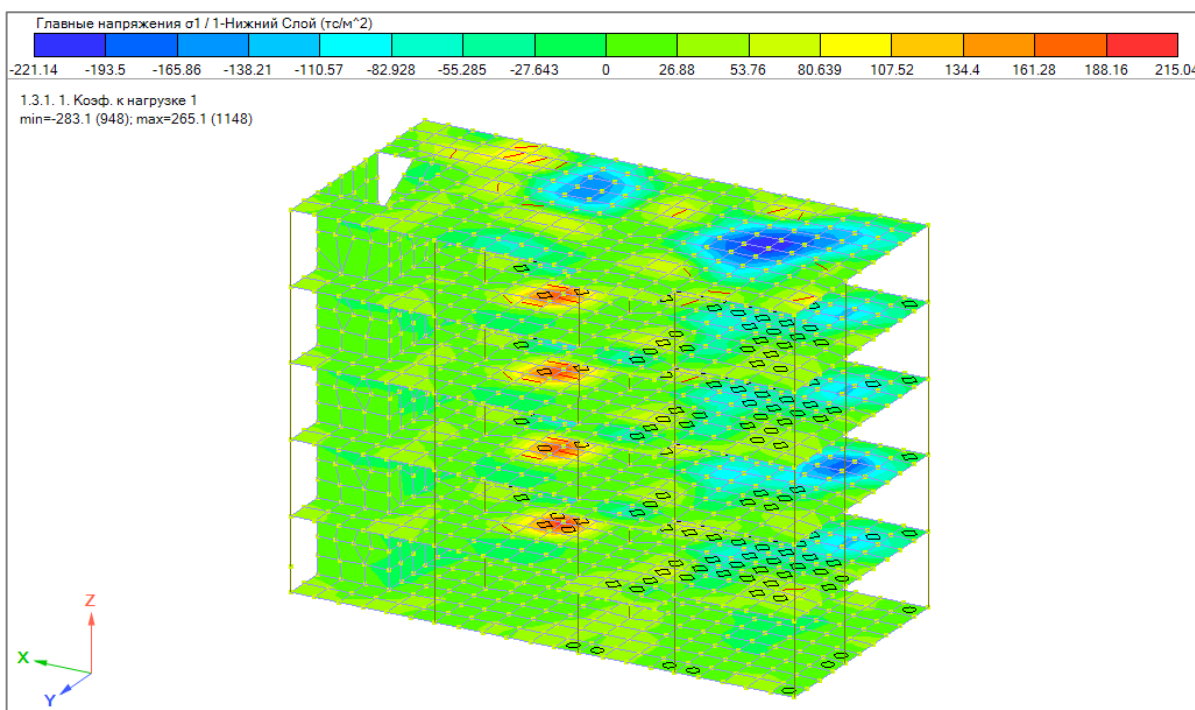


Рис. 3.63. Изополя главных напряжений

В результатах расчета на фоне напряжений отображается характер разрушения:



— трещина, возникшая при растяжении (с учетом направления развития).

Появляется, если максимальное напряжение превысило предельное напряжение на растяжение по заданной в редакторе материалов теории прочности для шаговых или итерационных оболочек. Если теория прочности не задана, то трещина будет индцироваться только для итерационной оболочки в том случае, если максимальное напряжение превысило максимальное значение на диаграмме материала.



— трещина, возникшая при сжатии (с учетом направления развития).

Появляется, если минимальное отрицательное напряжение ниже предельного напряжения на сжатие по заданной в редакторе материалов теории прочности для шаговых и итерационных оболочек. Если теория прочности не задана, то трещина будет индцироваться только для итерационной оболочки, если минимальное напряжение ниже минимального значения на диаграмме материала.



— полное разрушение.

Дополнительно, при учете пластических шарниров разрушение может индцироваться по критерию мембранной группы усилий.

Условие разрушения на мембранную группу для железобетона:

- на растяжение:

$$\frac{N}{A_s} > R_s;$$

- на сжатие:

$$-N > R_s \cdot A_s + R_b \cdot A_b,$$

где N — мембранное усилие в самой опасной проекции;

A_s — площадь арматуры в сечении по направлению действия N ;

A_b — площадь бетона;

R_s — предел прочности арматуры;

R_b — предел прочности бетона.

Условие разрушения на мембранную группу для мономатериала:

- на растяжение:

$$\frac{N}{A_b} > R_{bt};$$

- на сжатие:

$$\frac{-N}{A_b} > R_b,$$

где N — мембранное усилие в самой опасной проекции;

A_b — площадь сечения;

R_{bt} — предел прочности на растяжение;


R_b — предел прочности на сжатие.



— возникновение пластического шарнира.

Согласно СНиП 2.03.01-84* для мономатериала проверяется по полученным усилиям превышение усилий пластического шарнира с учетом заданных на диаграмме материала пределов прочности на растяжение и сжатие. Для железобетона проверка идет аналогично, но с той разницей, что предел прочности на растяжение основного материала при получении усилий пластического шарнира игнорируется.

По Еврокоду 2, СП 63.13330.2012(2018), ДСТУ Б В.2.6-156:2010 для мономатериала проверяются максимальные и минимальные деформации в элементе. Для железобетона по заданному элементу проверяются минимальные отрицательные деформации сжатия в бетоне и максимальные в арматуре. Шарнир индицируется, если хоть по одному из критериев полученные деформации больше, чем предельные деформации, заданные в редакторе материалов.

 Если процент армирования в пластине меньше 0.05%, то условия возникновения разрушений и пластических шарниров для нее будут не как для железобетона, а как для мономатериала (с учетом предела прочности бетона на растяжение).

Вкладка **Напряжения в стержнях** (рис. 3.64) содержит мозаики огибающих напряжений и деформаций в нелинейных стержнях в основном и армирующем материале (выберите нужный элемент щелчком на соответствующей кнопке).



Рис. 3.64. Вкладка **Напряжения в стержнях**

Вкладка **Напряжения в пластинах** (рис. 3.65) содержит мозаики огибающих напряжений и деформаций в нелинейных стержнях в основном и армирующем материале (выберите нужный элемент щелчком на соответствующей кнопке).

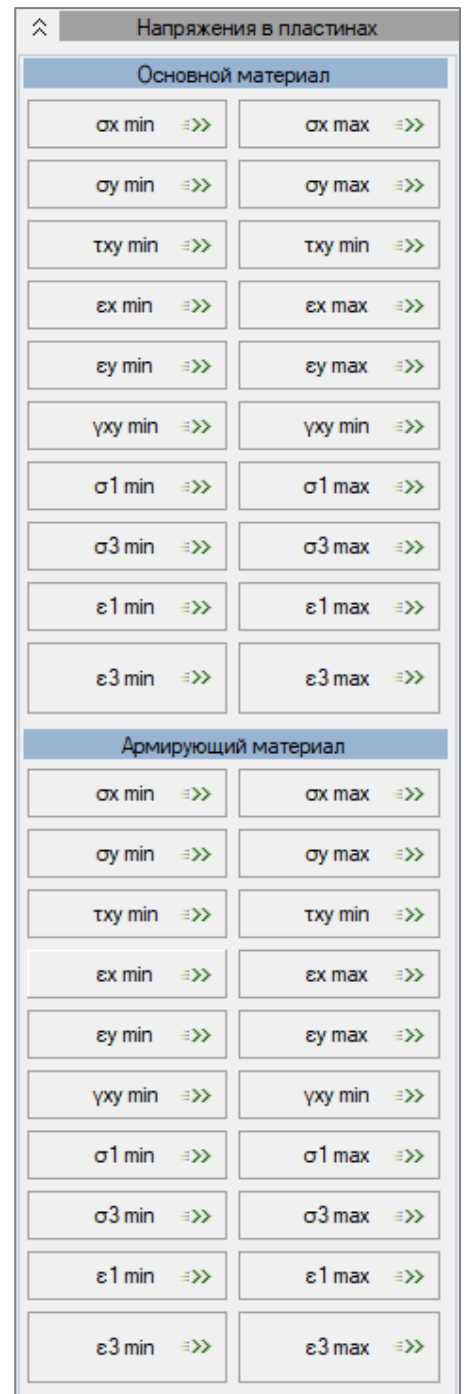



Рис. 3.65. Вкладка **Напряжения в пластинах**

Если, находясь в режиме **Разрушения**, щелкнуть на физически нелинейном стержне, раскроется диалоговое окно с подробной информацией по текущему КЭ (рис. 3.66). Здесь можно просматривать распределение напряжений и деформаций по сечению элемента в основном и армирующем материале.

Для просмотра доступны:

- σ_x — продольные напряжения;
- ε_x — продольные полные деформации;
- ε_x^o — продольные упругие деформации;
- ε_x^p — продольные пластические деформации.

Для смены сечения элемента используйте раскрывающийся список **Номер сечения**. При просмотре можно отключать/включать на мозаике результаты по основному и армирующему материалу, используя флажки **Основной материал** и **Армирующий материал**. Чтобы сформировать изображение, воспользуйтесь кнопкой .

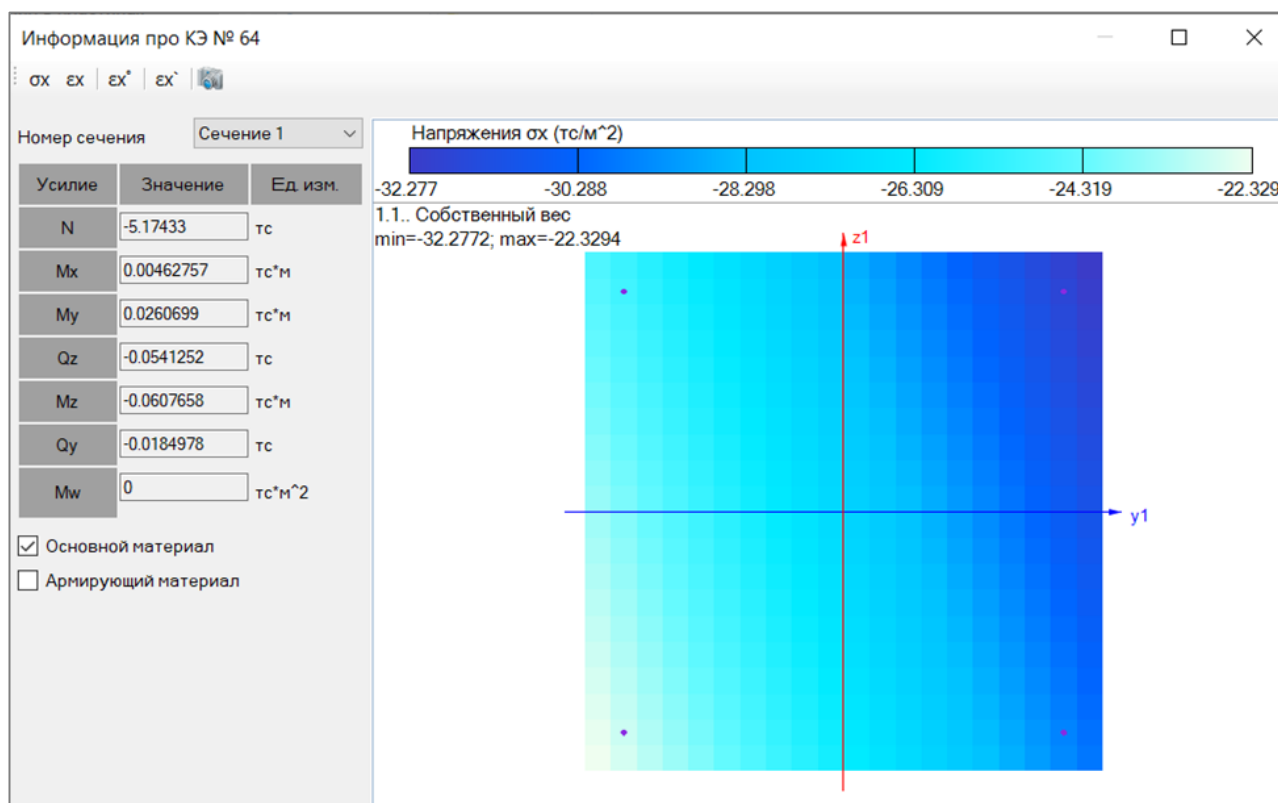


Рис. 3.66. Окно с информацией про физически нелинейный стержень

Если, находясь в режиме **Разрушения**, щелкнуть на физически нелинейной оболочке, появляется возможность просматривать распределение напряжений и деформаций по сечению элемента в основном и армирующем материале вдоль осей выравнивания и главных площадок (рис. 3.67).

Для просмотра доступны следующие результаты:


– Вдоль осей выравнивания:

- σ_x — нормальные напряжения вдоль X;
- σ_y — нормальные напряжения вдоль Y;
- τ_{xy} — касательные напряжения;

- ε_x — продольные полные деформации вдоль X;
- ε_y — продольные полные деформации вдоль Y;
- γ_{xy} — касательные полные деформации;
- ε_x^o — продольные упругие деформации вдоль X;
- ε_y^o — продольные упругие деформации вдоль Y;
- γ_{xy}^o — касательные упругие деформации;
- ε_x^{\prime} — продольные пластические деформации вдоль X;
- ε_y^{\prime} — продольные пластические деформации вдоль Y;
- γ_{xy}^{\prime} — касательные пластические деформации.

– Вдоль главных площадок:

- σ_1 — нормальные напряжения вдоль главной оси 1;
- σ_3 — нормальные напряжения вдоль главной оси 3;
- ε_1 — полные деформации вдоль главной оси 1;
- ε_3 — полные деформации вдоль главной оси 3;
- ε_1^o — упругие деформации вдоль главной оси 1;
- ε_3^o — упругие деформации вдоль главной оси 3;
- ε_1^{\prime} — пластические деформации вдоль главной оси 1;
- ε_3^{\prime} — пластические деформации вдоль главной оси 3.

При просмотре можно отключать/включать на мозаике результаты по основному и армирующему материалу, используя флажки **Основной материал** и **Армирующий материал**. Чтобы сформировать изображение, воспользуйтесь кнопкой .

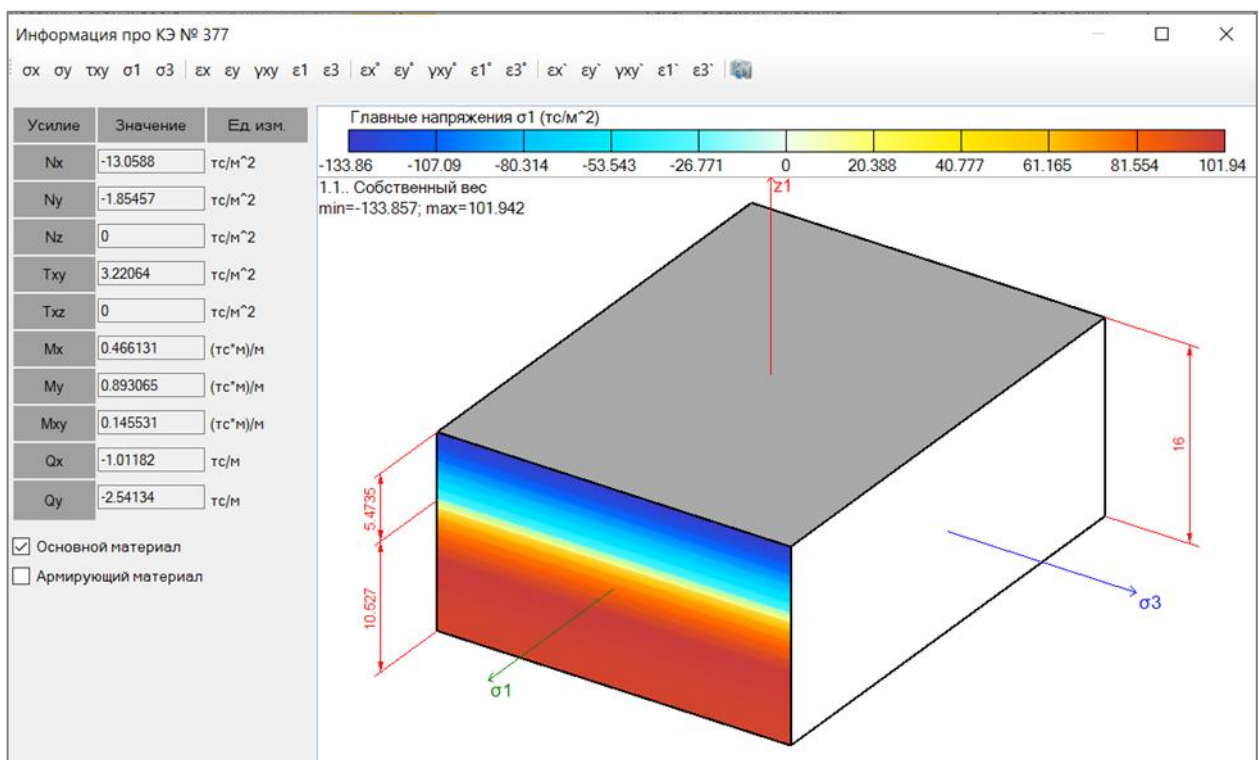




Рис. 3.67. Окно с информацией про физически нелинейную оболочку

3.8 КРЕНЫ И ПЕРЕКОСЫ

Для вычисления, отображения и анализа поэтажных кренов и перекосов, а также осадки фундаментной плиты воспользуйтесь командой **Спец. результаты** ⇒ **Крены и перекосы** (кнопка  на панели инструментов). После выполнения указанной команды появляется панель активного режима **Поле давления** (рис. 3.68).

В верхней части панели активного режима отображается таблица, включающая список этажей и количество элементов, принадлежащих соответствующим этажам.

 *Информация об этажах задается в режиме **Редактировать группы элементов** (см. п. 2.11.10).*

Если установить флажок **Индикация текущего этажа**, будет выполнено подсвечивание желтым цветом текущего (выбранного в таблице) этажа на схеме.

Кнопка **Выделить на схеме** позволяет выбрать текущий (указанный в таблице) этаж на схеме.

Чтобы задать требуемый **Способ осреднения перемещений**, выберите соответствующий переключатель:

- **Среднее;**
- **Среднее с учетом площади;**
- **Минимальных квадратов.**

В блоке **Геометрические характеристики** отображается площадь и информация о центре тяжести плиты перекрытия текущего этажа.

В блоке **Предельные и средние деформации** отображаются минимальные и максимальные деформации в плите перекрытия, а также их среднее значение в соответствии с выбранным способом осреднения.

Блок **Осадка** будет заполнен только в том случае, если текущий этаж описывает фундаментную плиту, рассчитанную с помощью редактора Грунт (см. Главу 5). В этом случае визуализируются минимальные и максимальные осадки, а также их среднее значение в соответствии с выбранным способом осреднения.

В блоке **Крены** для плит выбранного этажа визуализируются значения кренов вдоль осей X, Y.


В блоке **Перекосы** вычисляются значения перекосов для всех этажей, кроме нижнего. В таблице выводятся значения перекосов вдоль осей X и Y, а также уровень плиты перекрытия.

<< ☐ Поле давления

⤴ По плитам

Этаж	Количество элементов
5	484
6	484
7	484
8	484
9	484
10	484

Индикация текущего этажа

 Выделить на схеме >

Способ осреднения перемещений

Среднее

Среднее с учетом площади

Минимальных квадратов

Этаж: 9

Геометрические характеристики

S, м ²	Sx, м	Sy, м	Sz, м
324	-1	-1	40

Предельные и средние деформации

	min	max	Средние
X, мм	-309.09	-309.08	-0.30909
Y, мм	-173.93	173.93	-0.017827
Z, мм	-16.5	16.5	0
uX, рад*1e-3	-0.96373	0.96775	0.017945
uY, рад*1e-3	-1.7057	-0.99458	-0.078838

Осадка

Крены

X	Y
0.00031321	-0.001376

Перекосы


Нс, м	X	Y
40	-0.0019781	-0.00011423

Рис. 3.68. Панель Поле давления

3.9 ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

В процессе анализа и документирования результатов расчета нестандартного объекта может возникнуть необходимость отобразить и задокументировать изополя или эпюры расчетных данных, которые еще не реализованы в программе, но которые не сложно получить путем вычисления, опираясь на уже реализованные данные. Именно для таких случаев в ПК ЛИРА 10.12 реализован режим **Пользовательские результаты**.

Для активизации панели данного режима воспользуйтесь командой **Спец. результаты**

⇒ **Пользовательские результаты** (кнопка  на панели инструментов).

Режим состоит из трех раскрывающихся вкладок:

- **Пользовательские результаты;**
- **Графики по загрузениям;**
- **Графики по узлам/элементам.**

3.9.1 Вкладка Пользовательские результаты

На вкладке **Пользовательские результаты** выполняется задание и редактирование скриптов. В верхней части панели (рис. 3.69) расположен список с уже созданными скриптами. В нижней части — кнопки:

- **Добавить скрипт** — вызывает диалоговое окно для создания нового скрипта.
- **Изменить скрипт** — вызывает диалоговое окно для редактирования уже существующего скрипта (выбранного в списке).
- **Удалить скрипт** — позволяет удалить из списка ненужный скрипт.
- **Отобразить** — позволяет визуализировать на схеме мозаику, соответствующую выбранному в списке скрипту.

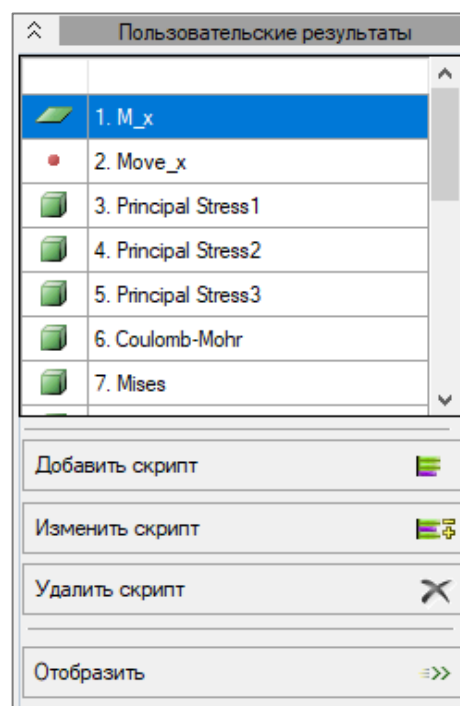


Рис. 3.69. Вкладка **Пользовательские результаты**

Диалоговое окно для создания / редактирования скрипта (рис. 3.70) содержит:

- **Имя** — поле для ввода имени скрипта.
- **Объекты**, по которым будет построена мозаика (**Узлы, Стержни, Пластины, Объемные** или **Спец. элементы**).
- **Настройки единиц измерения**, которые будут использоваться при вычислениях.
- **Метод вычисления** — поле для ввода скрипта с использованием синтаксиса языка программирования C#.
- **Доступные методы** — список доступных методов для получения данных из начальных параметров и результатов расчета ПК ЛИРА 10.
- **Стандартные методы** — список доступных дополнительно возможных функций, кроме стандартных функций C#.

При двойном щелчке мыши по строке с нужным методом, его наименование впишется в поле для ввода скрипта, в месте расположения курсора.

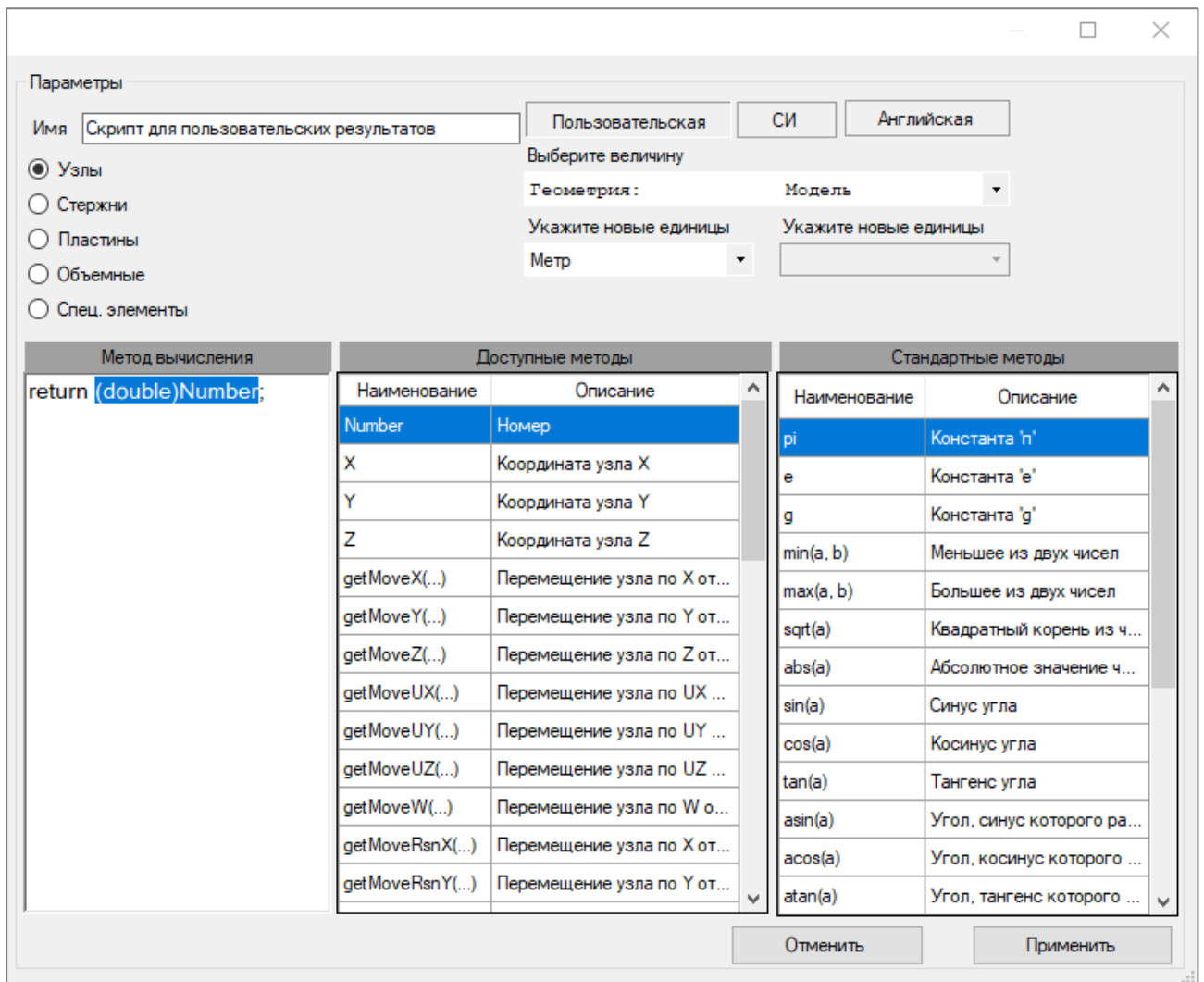


Рис. 3.70. Окно для создания / редактирования скрипта

Состав дополнительных методов зависит от того, с какими объектами будет работать скрипт.

Для узлов доступны:

- номер узла;
- координаты;
- значение перемещений от загрузки или РСН;
- значение реакций в связях от загрузки или РСН;
- значение инерционных сил для динамических загрузок;
- значение температуры для задач системы Теплопроводность.

Для стержней доступны:

- номер элемента;
- координаты центра тяжести элемента;
- номера назначенных сечения и материала;
- физические свойства материала;
- геометрические характеристики сечения;
- значение усилий от загрузки или РСН;

- значение температуры и плотности температурного потока для задач системы Теплопроводность.

Для пластин доступны:

- номер элемента;
- количество узлов в элементе;
- координаты центра тяжести элемента;
- номера назначенных сечения и материала;
- физические свойства материала;
- толщина сечения;
- значение усилий от нагружения или РСН;
- значение главных напряжений и деформаций (в верхнем, среднем и нижнем слоях) от нагружения или РСН;
- значение температуры и плотности температурного потока для задач системы Теплопроводность.

Для объемных элементов доступны:

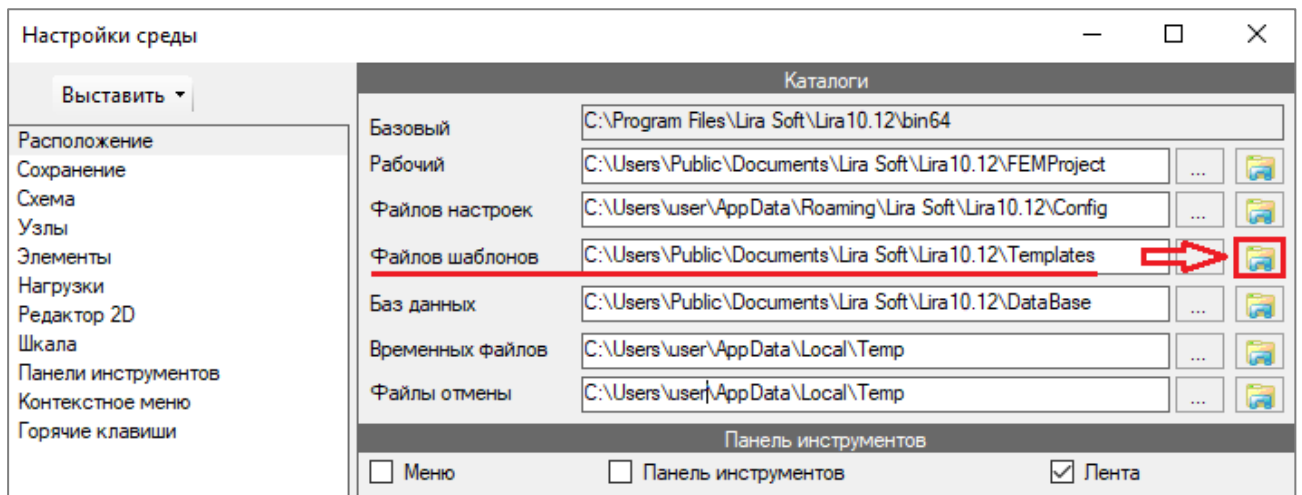
- номер элемента;
- количество узлов в элементе;
- координаты центра тяжести элемента;
- номера назначенных сечения и материала;
- физические свойства материала;
- значение усилий от нагружения или РСН;
- значение главных напряжений и деформаций от нагружения или РСН;
- значение температуры и плотности температурного потока для задач системы Теплопроводность.

Для специальных конечных элементов доступны:

- номер элемента;
- количество узлов в элементе;
- координаты центра тяжести элемента;
- номера назначенных сечения и материала;
- значение реакций от нагружения или РСН.

Файл со всеми созданными пользователем скриптами **ScaleUserData.xml** хранится в папке с файлами шаблонов (рис. 3.71) и может быть перемещен, удален или заменен.

Путь: **Сервис** ⇒ **Настройки среды** ⇒ **Расположение** ⇒ **Каталог файлов шаблонов** ⇒ **Templates** ⇒ **ScaleUserData.xml**.

Рис. 3.71. Окно **Настройки среды**

Использование доступных методов

Те данные, которые не имеют аргумента (нет скобок), используются без него. Некоторые данные имеют в качестве начального аргумента троеточие, на месте которого должен быть указан номер загрузки или РСН. Если в скобках ничего не указать, то в скрипте это будет привязано к текущему номеру загрузки.

Пример использования данных из текущего загрузки:

```
//Перемещение в узле по X:
double mX = getMoveX();
```

Если нужна привязка к конкретному номеру загрузки, то его нужно задать набором трех целых чисел (рис. 3.72), где:

- первое число — номер загрузки / номер истории загрузок / номер РСН;
- второе число — номер сопутствующего загрузки;
- третье число — номер формы (задачи с модальным анализом и потерей устойчивости) / номер шага (нелинейные статические загрузки) / номер момента времени (в Динамика+).

Пример использования номера загрузки:

```
//Перемещение в узле по X для второго загрузки:
double mX = getMoveX(2,0,0);
//Перемещение в узле по X для второго загрузки первого подзагрузки:
double mX = getMoveX(2,1,0);
//Перемещение в узле по Y для пятого сейсмического загрузки (шестая составляющая):
double mX = getMoveX(5,0,6);
```

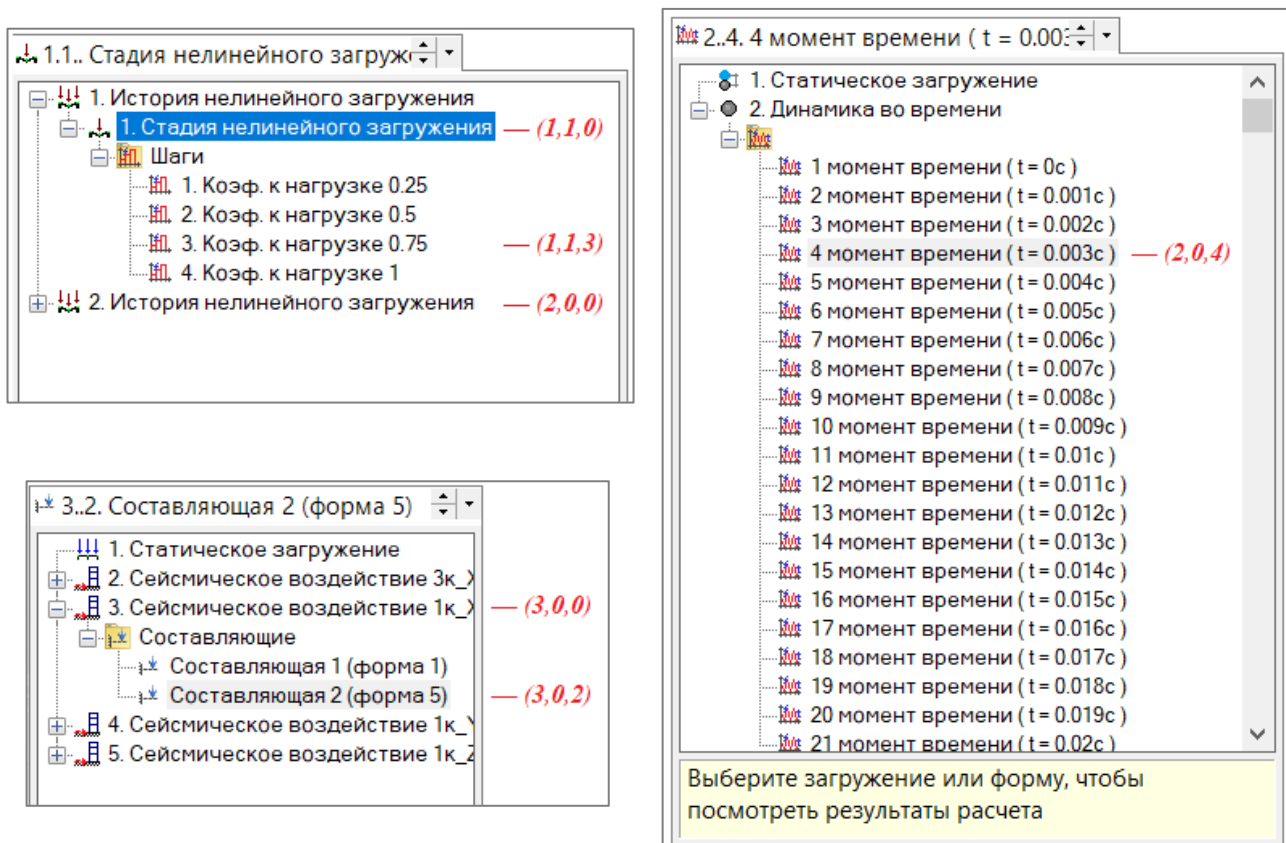



Рис. 3.72. Нумерация загрузений

 В данной инструкции представлена только часть возможностей языка C#, которые чаще всего будут использоваться для написания скриптов пользовательских результатов ПК ЛИРА 10. Однако в скрипте доступны почти все возможности стандартных методов языка программирования C#.

Описание полных возможностей языка C# можно найти в справочной системе от разработчиков этого языка программирования или на других подобных ресурсах.

Использование комментариев в скрипте

Строка, расположенная после двух символов косой черты //, не будет участвовать в коде и может быть использована в виде комментария.

Пример:

```
// Однострочный комментарий
```

Между символами /* и */ можно использовать много строк в виде комментариев. Этот инструмент, в частности, позволяет исключить некоторые строки кода из расчета, не удаляя их совсем.

Пример закомментированного участка кода:

```
/*
A=b+c;
return z;
*/
```

Типы данных и переменные

В C# используется много типов, описание которых можно найти в их справочной системе. Тип необходимо указывать для каждой объявляемой переменной. Вначале идет тип переменной, потом ее имя. В качестве имени переменной может выступать любое произвольное название, которое удовлетворяет следующим требованиям:

- Имя может содержать любые цифры, латинские буквы и символ подчеркивания, при этом первый символ в имени должен быть буквой или символом подчеркивания.
- В имени не должно быть знаков пунктуации и пробелов.
- Имя не может быть ключевым словом языка C#.

Наиболее часто используемые типы переменных:

- *double* — тип вещественного числа с плавающей запятой;
- *int* — целочисленный тип;
- *bool* — логический тип, может принимать значения *true* (истина) и *false* (ложь);
- *char* — символьный тип, может принимать один символ;
- *string* — строчный тип, может принимать строчное значение.

Пример объявления переменных:

```
double a=1.345;
double b=1;
double a2=-1.e-13;
int i=-12;
int j=0;
bool a3=true;
char a4='A';
string s='Stress';
```

На мозаику выводится значение, которое стоит после первого **return** в скрипте. До этого слова в коде могут быть произведены другие манипуляции. Пример:

```
double a = 12.1;
double b = 13.1;
double c=b-a;
return c; // на мозаику будет выведено значение 1.
```

Методы (процедуры и функции) в скрипте

Скрипт может содержать отдельные методы (процедуры и функции), которые будут использованы в других методах или главном блоке. Если используются вновь созданные методы, то главный блок необходимо взять в фигурные скобки вместе со строкой, содержащей ключевое слово **return**. Сами методы описываются ниже основного блока, отделенного фигурными скобками.

При объявлении методов должен быть указан тип возвращаемого значения. Если метод является процедурой (без возвращаемого значения), то нужно указать его тип **void**. Также в скобках, после имени метода, необходимо указать параметры и их тип, кроме тех случаев, когда у метода нет параметров. Далее в фигурных скобках идут команды метода.

Структура метода:

```

Тип_метода Имя_метода (тип_параметра1 имя_параметра1, тип_параметра2
имя_параметра2... тип_параметран имя_параметран)
{
Выражение1;
Выражение2;
...
Выражениет;
return Результат_метода; (если тип метода void, то return не используется)
}

```

Пример методов в скрипте:

```

{
/* ВОЗВРАЩАЕМ НА МОЗАИКУ РАССТОЯНИЕ К ЗАДАННОЙ ТОЧКЕ (x1,y1,z1) от
узла с координатой (X,Y,Z); */
//координаты базовой точки
double x1=0.1;
double y1=12.1;
double z1=54.1;

double a=distance_to_point (x1,y1,z1,X,Y,Z); //используем созданный ниже метод
return a;
}

//объявляем метод
double distance_to_point (double a1, double b1, double c1, double a2, double b2, double c2)
{
double dX=a1-a2;
double dY=b1-b2;
double dZ=c1-c2;
return sqrt(dX*dX+dY*dY+dZ*dZ);
}

```

Логические выражения

Логические выражения позволяют проводить операции над теми структурами, результатом которых является *ИСТИНА* или *ЛОЖЬ*. Можно выделить несколько самых используемых операций:

- > — больше;
- < — меньше;
- >= — больше равно;
- <= — меньше равно;
- == — равно;
- != — не равно.

Логическое сложение ИЛИ ||

Примеры:

bool a=(10<0)||(3>2);//будет возвращено *true*, так как $3>2$

bool b=(10<0)||(3<2);//будет возвращено *false*, так как оба выражения ложны

Логическое И &&

Примеры:

bool a=(10<0)&&(3>2);//будет возвращено *false*, так как $10<0$

bool b=(10>0)&&(3>2);//будет возвращено *true*, так как оба выражения справедливы

Условные операторы *if-else*

Конструкция *if-else*:

if (логическое_выражение)

{

Выражение1;

Выражение2;

....

Выражение*n*;

}

else

{

Выражение1;

Выражение2;

....

Выражение*m*;

}

Если после ключевых слов *if* или *else* идет только одна операция, то после них фигурные скобки можно не использовать.

Конструкция *if* может быть использована без *else*.

Пример использования конструкции *if-else*:

double a=1;

double b=12;

double c;

if (*a>b*)

{

c=a+b;

a=b;

}

else

{

c=b;

b=a;

} // в этом случае c присвоится значение 12, b присвоится значение 1

Циклы

Структура *while*

Цикл *while* проверяет некоторое логическое выражение. Если оно истинное, то операции цикла продолжают. Если ложное, то цикл прекращается.

Структура цикла:

```
while (логическое_выражение)
{
  Команда1;
  Команда2;
  ...
  Команда $n$ ;
}
```

Пример:

```
int i=0;
double a=0;
while (i<5)
{
  a=a+2;
  i=i+1;
}
//по окончании этого цикла i будет равно 5, а переменная a будет равна 10
```

Структура цикла *for*

for (*тип*, имя и начальное значение переменной; условие выполнения цикла; выражение по смене начального значения переменной)

```
{
  Команда1;
  Команда2;
  ...
  Команда $n$ ;
}
```

Пример:

```
double b=0;
for (int i=0; i<3; i+1)
{
  b=b+i*i;
}
// в итоге мы получим, что переменная b равна 0+0*0+1*1+2*2=5
```

Опционно для циклов *while* и *for* могут быть использованы команды *break* или *continue*. Первая служит для прерывания цикла. Вторая используется, если условие цикла не выполняется, но его не нужно прерывать после этой итерации.

Массивы

Массив — это набор однотипных данных. Массив имеет такую структуру:

```
тип_переменной[название_массива];
```

Пример:

```
double [disp];
```

После определения переменной массива можно присвоить ему значения.

Пример:

```
double disp=new double[3];
```

*// Здесь мы объявили массив **disp** типа **double**. Используя операцию **new**, мы выделили память для 3 элементов массива. При таком подходе все элементы массива получают значение, которое взято по умолчанию для их типа.*

Также можно указать значения массива. Пример:

```
double disp=new double[3] {1.1, 2.0, 3.2};
```

Для обращения к элементам массива используются индексы. Пример:

```
double disp=new double[3] {1.1, 2.0, 3.2};
```

```
disp[0]=1.4; // в этом случае первым элементом массива станет уже не 1.1, а 1.4
```

Обработка исключений

Бывает, что при выполнении программы возникают ошибки, которые трудно предвидеть, а иногда и вовсе невозможно. Язык C# предоставляет возможности для обработки подобных ситуаций. Для этого в C# предназначена конструкция *try...catch...finally*.

Если в блоке *try* возникает исключение, то обычный порядок выполнения останавливается, и среда начинает искать блок *catch*, который может обработать данное исключение. Если нужный блок *catch* найден, то он выполняется, и после его завершения выполняется блок *finally*.

Если нужный блок *catch* не найден, то при возникновении исключения программа аварийно завершает выполнение.

Структура:

```
try
{
Команда1;
Команда2;
...
Командаn;
}
catch
{
Команда1;
Команда2;
```

```

...
Командат;

}
finally
{
Команда1;
Команда2;
...
Командак;
}

```

Примеры использования скриптов для программы ПК ЛИРА 10

1. Вывод полного горизонтального перемещения текущего нагружения

```

double x=getMoveX(); //перемещение по X для текущего нагружения
double y=getMoveY(); //перемещение по Y для текущего нагружения
double disp_hor=sqrt(x*x+y*y); //геометрическая сумма (квадратный корень из суммы
квадратов)
return disp_hor; //возвращаем значение на мозаику

```

2. Вывод главного напряжения на мозаику объемного элемента для текущего нагружения

```

{
//Усилия по осям выравнивания получаем из программы напрямую для текущего
нагружения
double Sxx=getNx();
double Syy=getNy();
double Szz=getNz();
double Sxy=getTxy();
double Sxz=getTxz();
double Syz=getTyz();

//Инварианты тензора:
double I1=Sxx+Syy+Szz;
double I2=-Sxx*Syy-Sxx*Szz-Syy*Szz+Sxy*Sxy+Sxz*Sxz+Syz*Syz;
double I3=Sxx*Syy*Szz-Sxx*Syz*Syz-Syy*Sxz*Sxz-Szz*Sxy*Sxy+2*Sxy*Sxz*Syz;

double s1=Find_S(-I1,-I2,-I3,1e-5,1); // главное напряжение S1
return s1; // Это значение будет возвращено на мозаику элементов
}

```

```

//Функция для возведения числа в степень
double pow(double a, double x)
{

```

```

double c=exp(x*log(a));
return c;
}

//функция для поиска корней кубического уравнения вида  $x^3+a*x^2+b*x+c=0$ 
//err – погрешность при решении уравнения итерационным методом Ньютона
//s_id – индекс главного напряжения (1, 2 или 3),  $S1>S2>S3$ 
double Find_S(double a, double b, double c, double err, int s_id)
{

// начальное приближение  $x0=1$ 
double x0=1;
double x1;
double x2;
double s=0;
int i=0;
if (abs(c)<=err)
{
x0=0;
x1=(-a+sqrt(a*a-4*b))/2;
x2=(-a-sqrt(a*a-4*b))/2;
}
else
{
while (abs(x0*x0*x0+a*x0*x0+b*x0+c)>=err && i<100) //i<100 – это защита от
защипливания
{
i+=1;
//производная функции  $3*x*x+2*a*x+b$ 
double xp=3*x0*x0+2*a*x0+b;
x0=x0-(x0*x0*x0+a*x0*x0+b*x0+c)/xp;
}
x1=(-a-x0+sqrt((a+x0)*(a+x0)+4*c/x0))/2;
x2=(-a-x0-sqrt((a+x0)*(a+x0)+4*c/x0))/2;
}

double s1=max(max(x0,x1),x2);
double s3=min(min(x0,x1),x2);
double s2=x0+x1+x2-s1-s3;

if (s_id==1)
{
s=s1;
}
if (s_id==2)
{

```

```

s=s2;
}
if (s_id==3)
{
s=s3;
}
return s;
}

```

3. Получение максимальных скоростей в узлах на протяжении указанного количества шагов в Динамика+

double dt=0.01; //шаг времени в Динамика+ – нужно в скрипте откорректировать вручную один раз

int n=500; //количество шагов в Динамика+ – нужно в скрипте откорректировать вручную один раз

double Vmax=0; //пока скоростей не знаем, задаем минимально возможную

```

for (int i=1; i<n;i++)
{
double x1=getMoveX(2,0,i); // перемещение на шаге i по X
double x2=getMoveX(2,0,i+1); // перемещение на шаге i+1 по X

double y1=getMoveY(2,0,i); // перемещение на шаге i по Y
double y2=getMoveY(2,0,i+1); // перемещение на шаге i+1 по Y

double z1=getMoveZ(2,0,i); // перемещение на шаге i по Z
double z2=getMoveZ(2,0,i+1); // перемещение на шаге i+1 по Z

double Vx=(x2-x1)/dt; // скорость по X
double Vy=(y2-y1)/dt; // скорость по Y
double Vz=(z2-z1)/dt; // скорость по Z

```

*double V=sqrt(Vx*Vx+Vy*Vy+Vz*Vz); // скорость – геометрическая сумма (квадратный корень из суммы квадратов)*

```

if (V>Vmax) Vmax=V;
}

```

```

return Vmax;

```

Команда чтения результатов из CSV-файла

В поле скриптов ПК ЛИРА 10 есть возможность подгружать данные из внешних таблиц и затем использовать их при дальнейшей обработке скриптов с последующим выводом на мозаику. Это предусмотрено, поскольку не все данные можно получить из доступных методов (к примеру, данные из сторонних программ или таблицы и мозаики, которые нельзя подключить напрямую в скрипт, но они есть в программе ПК ЛИРА 10).

Для подгрузки таблицы следует воспользоваться стандартным методом *ReadFileCSV(path, r, c)*,

где *path* — полный путь к csv-файлу (во избежание возможных проблем желательно не использовать кириллицу и знаки пунктуации в пути к файлу);

r — номер строки, в которой находится число;

c — номер колонки, в которой находится число.

Нумерация строк и колонок начинается с нуля.

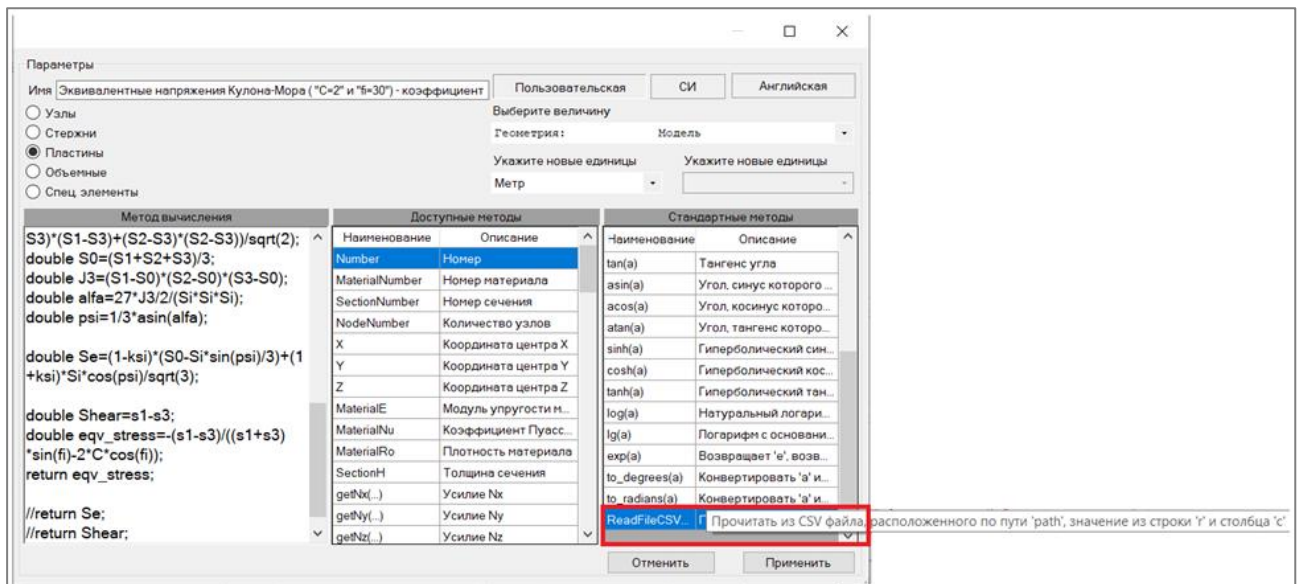


Рис. 3.73. Окно для создания / редактирования скрипта, стандартный метод *ReadFileCSV(path, r, c)*

Пример использования:

```
double Mass_X=ReadFileCSV("D:/nodal mass.csv", Number, 1);
```

```
return Mass_X;
```

// означает, что из файла **nodal mass.csv**, который расположен в корневом каталоге диска *D*, будет прочитана таблица и на мозаику будет выведено значение из первой колонки, а строка совпадает с номером элемента

3.9.2 Вкладка Графики по нагрузкам

На вкладке **Графики по нагрузкам** (рис. 3.74) выполняется визуализация графиков с перебором шагов или моментов времени.

Для осей абсцисс и ординат необходимо задать номера узла или конечного элемента (в соответствующих полях ввода) и скрипт для вычисления координаты графика (выбрать из раскрывающегося списка). Для стержней дополнительно нужно указать номер сечения.

График получается в результате перебора шагов нелинейного нагружения или моментов времени для задач системы Динамика+.

После выбора всех параметров необходимо нажать кнопку **Отобразить** и в отдельном диалоговом окне будет построен график (рис. 3.75). Перемещая курсор мыши по графику, можно посмотреть значения в любой точке.

Чтобы сохранить изображение графика, воспользуйтесь следующими кнопками:



— копирует изображение графика в файл с расширением *.png;



— экспортирует изображение графика в файл Excel.

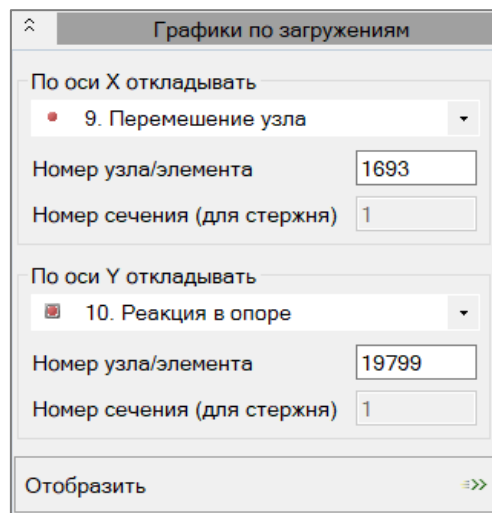


Рис. 3.74. Вкладка **Графики по нагрузкам**

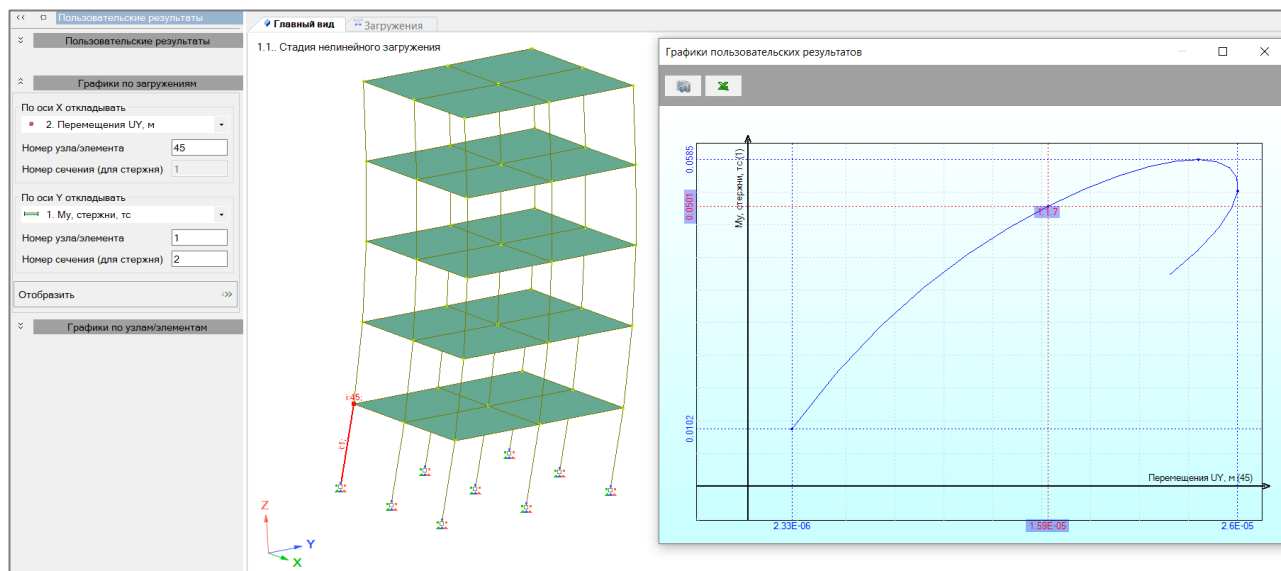


Рис. 3.75. Зависимость между двумя пользовательскими результатами по всем нагрузкам

3.9.3 Вкладка Графики по узлам/элементам

Вкладка **Графики по узлам/элементам** (рис. 3.76) позволяет отобразить посчитанную величину по цепочке узлов или элементов.

Для этого нужно выделить узлы/элементы, по которым будет строиться графическое распределение. Выделенные объекты могут сортироваться 6 способами с заданными приоритетами направлений. По оси абсцисс есть возможность задавать равномерный шаг, а также координату по одной из глобальных осей.

По оси ординат откладываются значения, полученные в результате работы выбранного скрипта для заданного набора узлов/элементов, а по оси абсцисс — координаты узлов/элементов или порядковый номер объекта, в соответствии с выбранной сортировкой.

После выбора всех параметров необходимо нажать кнопку **Отобразить** и в отдельном диалоговом окне будет построен график (рис. 3.77). Перемещая курсор мыши по графику, можно посмотреть значения в любой точке.

Чтобы сохранить изображение графика, воспользуйтесь следующими кнопками:



— копирует изображение графика в файл с расширением *.png;



— экспортирует изображение графика в файл Excel.

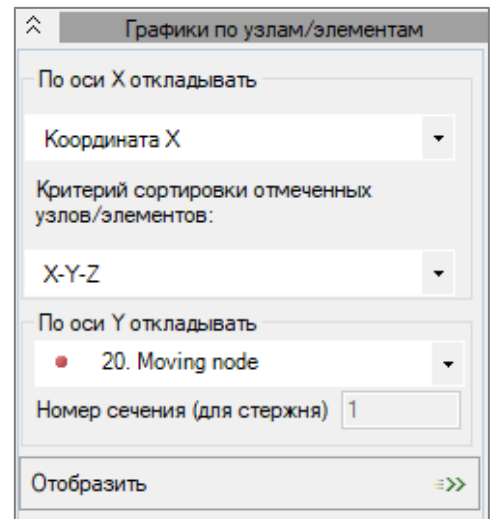


Рис. 3.76. Вкладка **Графики по узлам/элементам**

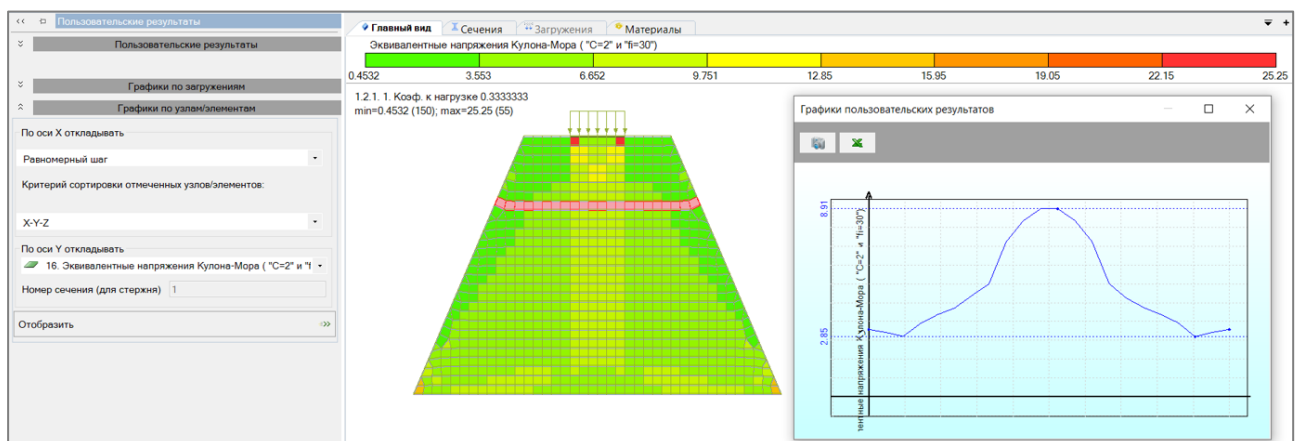


Рис. 3.77. Пример графика по элементам (распределение эквивалентного напряжения, согласно теории Кулона-Мора)


3.10 ДОКУМЕНТИРОВАНИЕ


3.10.1 Копирование изображения с экрана

Для копирования изображения с экрана в ПК ЛИРА 10 реализовано две команды:


1. **Изображение с экрана;**
2. **Быстрое изображение с экрана.**

Обе эти команды находятся в меню **Документирование** и доступны как в режиме задания исходных данных, так и в режиме просмотра результатов расчета.

Если при работе со схемой необходимо скопировать изображение, находясь в других режимах, воспользуйтесь командой меню **Документирование** ⇒ **Быстрое изображение с экрана** (кнопка  на панели инструментов).

 *Команду **Быстрое изображение с экрана** также можно вызвать с помощью комбинации горячих клавиш **Ctrl+F**. При вызове функции быстрого копирования будут использованы текущие параметры с панели активного режима **Изображение с экрана**.*

Список всех скопированных изображений будет отображен на панели активного режима **Изображение с экрана**.


Команда меню **Документирование** ⇒ **Изображение с экрана** (кнопка  на панели инструментов) позволяет детально настроить параметры копирования и сохранения изображения с экрана.

Панель активного режима **Изображение с экрана** (рис. 3.78) состоит из нескольких областей:

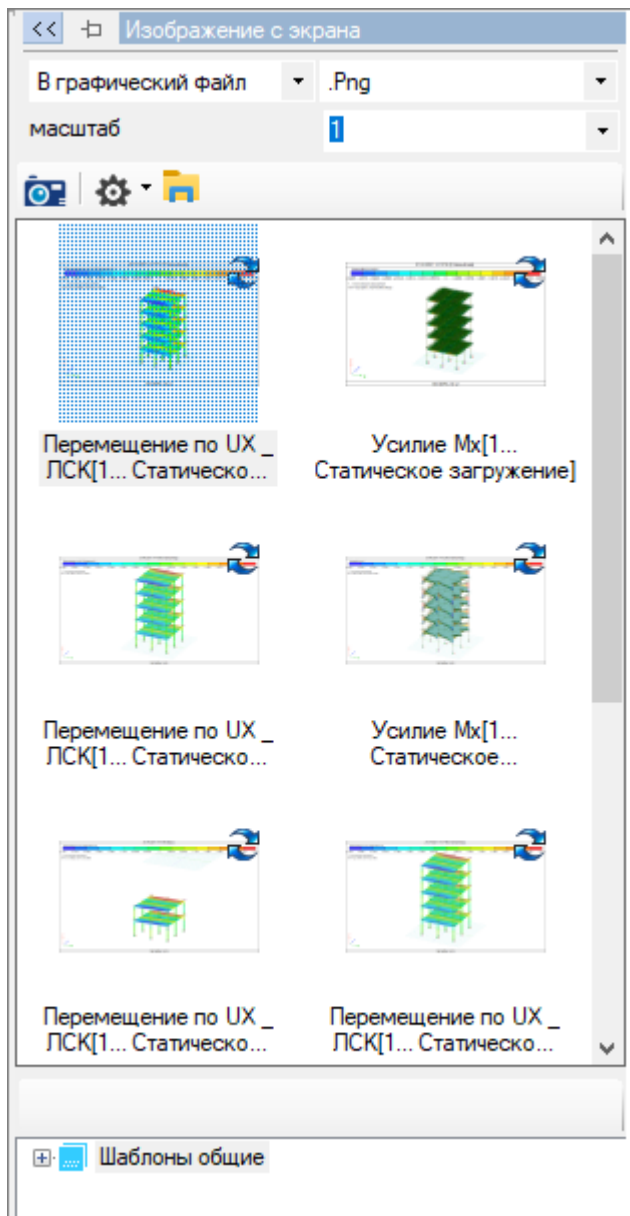
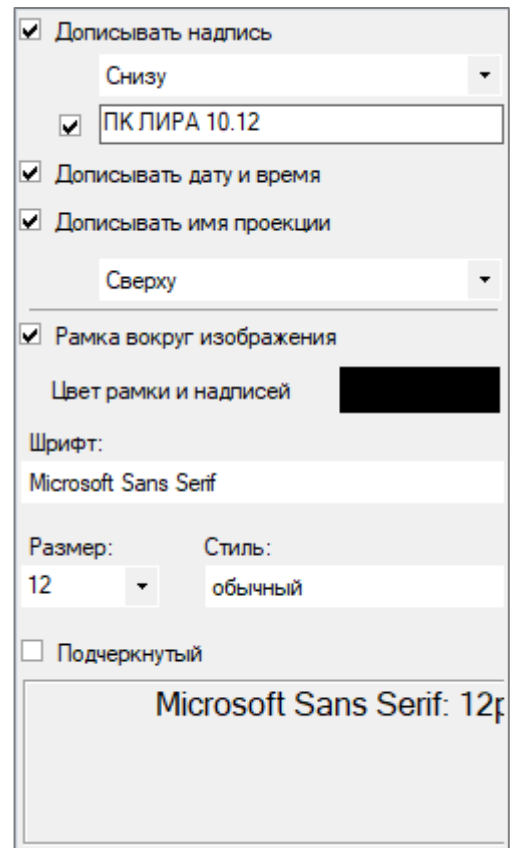
- Область задания основных параметров изображения
- Кнопки настройки дополнительных параметров изображения.
- Область отображения последних сделанных фотографий.
- Пользовательские шаблоны для динамических изображений.

Основные параметры копируемого с экрана изображения задаются в верхней части панели данного режима.

В раскрывающемся списке с вариантами сохранения изображения можно выбрать, куда следует выполнить копирование: **В графический файл; В буфер обмена; На принтер, Динамическое изображение**.


 ***Динамическое изображение** — это изображение с сохранением определенных выбранных пользователем параметров (таких как загрузка, вид перемещения, усилия). В отличие от статического, динамическое изображение можно обновить после перерасчета задачи.*

В раскрывающемся списке **масштаб** можно выбрать коэффициент масштабирования из списка (0.25, 0.5, 1, 2, 3) или задать его вручную (от 0.1 до 10).


Рис. 3.78. Панель режима **Изображение с экрана**Рис. 3.79. Окно **Настройки...**

Формат файла, в котором может быть выполнено сохранение проекта:

- *.Png;
- *.Vmp;
- *.Jpeg;
- *.Gif;
- *.Tiff
- *.Exif.

При щелчке на кнопке  (**Скопировать**), находящейся на данной панели, изображение с заданными параметрами будет скопировано и отображено в области последних сделанных фотографий.

 *На сохраненное изображение с экрана попадает только видимая часть рабочей области.*

При щелчке на кнопке  (**Настройки...**) появится диалоговое окно, где можно задать дополнительные параметры оформления изображения (рис. 3.79):


- Флажок **Дописывать надпись** используется для того, чтобы на изображение с экрана добавить нужную пользователю надпись. Тут же присутствует раскрывающийся список с параметрами размещения надписи (**Сверху** или **Снизу**) и поле для ввода самой надписи.

- При выборе флажка **Дописывать дату и время** на скопированное с экрана изображение добавится информация с текущей датой и временем.

- При выборе флажка **Дописывать имя проекции** на скопированное изображение будет добавлена информация о проекции схемы. Также здесь из раскрывающегося списка нужно выбрать параметр размещения (**Сверху** или **Снизу**).

- При выборе флажка **Рамка вокруг изображения** будет создана рамка вокруг изображения, цвет которой нужно выбрать в поле **Цвет рамки и надписей**.

- При помощи раскрывающихся списков **Шрифт**, **Размер**, **Стиль** и флажка **Подчеркнутый** можно выбрать параметры оформления текста надписей.

При щелчке на кнопке  (**Папка хранения изображений**) раскроется диалоговое окно, где указывается путь к каталогу сохранения файла. Для назначения другой папки выберите ее в дереве каталогов и нажмите **ОК**.

Список последних сделанных фотографий отображается в отдельном поле на панели.

При щелчке правой кнопкой мыши по каком-либо изображению появляется контекстное меню (рис. 3.80).

Контекстное меню содержит такие команды:

- **Список** — задает отображение изображений в виде списка названий.
- **Мелко** — задает отображение изображений в виде списка с пиктограммами небольшого размера.
- **Крупно** — задает отображение изображений в виде списка с крупными пиктограммами.
- **Скопировать в буфер** — позволяет сохранить изображение в буфер обмена.
- **Скопировать в** — позволяет задать папку, где будет сохранено изображение.
- **Печатать** — отображает диалоговое окно **Печать**, где можно задать параметры печати изображения.
- **Вернуться к виду** (команда доступна только для динамических изображений) — устанавливает камеру в положение, из которого был сделан снимок.
- **Вернуться к фрагменту** (команда доступна только для динамических изображений) — отображает часть расчетной схемы, которая зафиксирована на изображении и возвращает камеру в исходное положение.
- **Переснять** (команда доступна только для динамических изображений) — заменяет ранее зафиксированное изображение на актуальное.

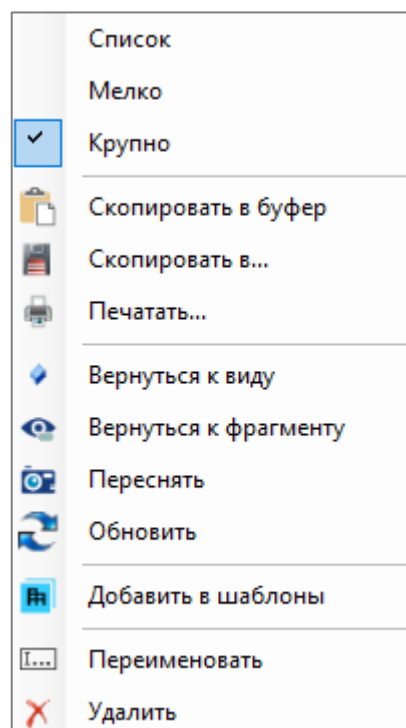



Рис. 3.80. Контекстное меню

- **Обновить** (команда доступна только для динамических изображений) — актуализирует данные на изображении.
- **Добавить в шаблоны** (доступна только для динамических изображений) — позволяет сохранить выбранное динамическое изображение в качестве шаблона.
- **Переименовать** — позволяет переименовать изображение.
- **Удалить** — позволяет удалить изображение.

ПК ЛИРА 10.12 предоставляет возможность создавать шаблоны с автогенерацией изображений для анализа и документирования результатов расчета. В шаблоне запоминается загрузка, вид перемещения, усилия, а также напряжения, для которых был сделан шаблон.

Для создания шаблона динамического изображения:

1. В раскрывающемся списке с вариантами сохранения выберите элемент **Динамическое изображение**.

2. Нажмите кнопку  (**Скопировать**), чтобы скопировать изображение с экрана с нужными данными.

3. Щелкните правой кнопкой мыши на полученном изображении (или на нескольких выделенных изображениях) в области отображения последних сделанных фотографий и выберите команду **Добавить в шаблоны**.

В результате данные изображения сохраняются в списке **Шаблоны общие** в нижней части окна, где их можно перемещать, переименовывать и применять как шаблоны для другого вида данной схемы или другой задачи. Также в этом списке можно создавать папки и применять все шаблоны, находящиеся в ней, одним нажатием мыши.

Например, можно отфрагментировать расчетную схему требуемым образом (т.е. добавить новые виды) и, отобразив на экране требуемый вид, щелкнуть правой кнопкой мыши на нужном шаблоне, а затем выбрать в контекстном меню команду **Применить шаблон** (рис. 3.81). В результате будет добавлено динамическое изображение для данного вида с сохраненными в шаблоне параметрами.

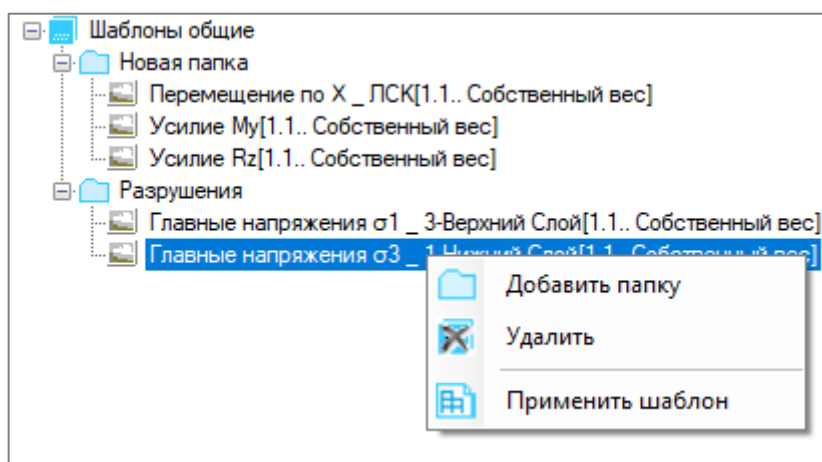



Рис. 3.81. Пользовательские шаблоны для динамических изображений

3.10.2 Создание и настройка таблиц

Для формирования таблиц исходных данных и результатов расчета задач, а также для дальнейшего документирования в ПК ЛИРА 10 реализована команда **Таблицы результатов**.

Чтобы воспользоваться этой функцией, выберите команду меню **Документирование** ⇒ **Таблицы результатов** (кнопка  на панели инструментов).

Панель активного режима **Таблицы** (рис. 3.82) состоит из трех вкладок:

- **Формирование таблиц;**
- **Параметры эквивалентных напряжений;**
- **Параметры печати.**

На вкладке **Формирование таблиц** (рис. 3.83) представлен список доступных для текущей задачи таблиц. При установке флажка **Показывать сокращенный список** будут представлены таблицы, которые используются наиболее часто. Соответственно, при сброшенном флажке будет показан полный список доступных таблиц.

Если нужно сформировать таблицу только для некоторых выбранных элементов, а не для всей схемы, установите флажок **Для выделенных элементов**.

Переключатели **Текущее загрузие** / **Все загрузия** / **Выборочно** позволяют выбрать для формирования таблицы интересующие пользователя загрузия. При выборе переключателя **Выборочно** ниже в окне появится список загрузий с возможностью отметить ненужные.

После выбора требуемых параметров формирования таблицы нажмите кнопку **Сформировать**. Сформированная таблица появится внизу рабочей области.

При установке флажка **Индикация отмеченных строк** узлы или элементы, соответствующие отмеченным строкам, будут подсвечены на схеме.

Вкладка **Параметры эквивалентных напряжений** (рис. 3.84) используется для выбора параметров при формировании таблиц главных и эквивалентных напряжений в элементах. Методика

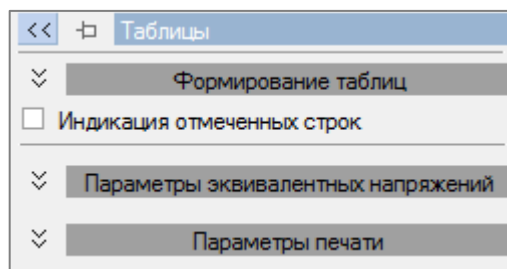


Рис. 3.82. Панель активного режима **Таблицы**

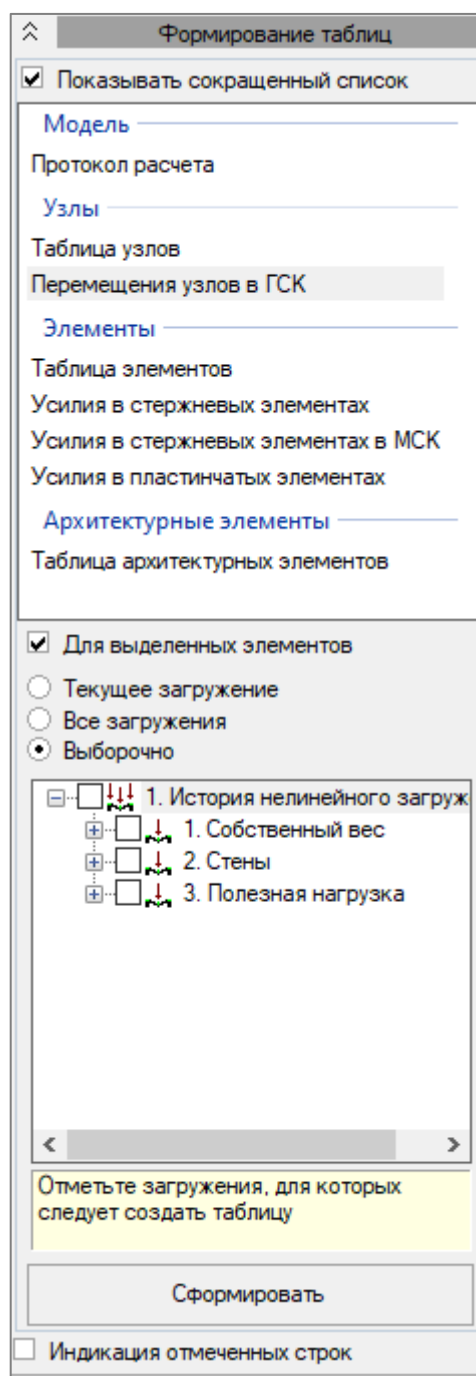



Рис. 3.83. Вкладка **Формирование таблиц**

заключается в следующем: перед формированием таблицы главных и эквивалентных напряжений нужно открыть вкладку **Параметры эквивалентных напряжений** и выбрать из списка **Теория прочности** (рис. 3.85) требуемый элемент. В зависимости от выбранной теории прочности, снизу появятся поля для ввода данных **Rc** и **Rt** или **c** и **φi**. После указания теории прочности и (при необходимости) ввода данных вернитесь на вкладку **Формирование таблиц** и выберите нужную таблицу главных и эквивалентных напряжений.

 **Rc** и **Rt** — значения предельного напряжения на сжатие и растяжение, применяются для теории Мора, Друккера-Прагера, Писаренко-Лебедева, Гениева (для железобетона).

Параметры **c** и **φi** — характеристики грунтов: сцепление грунта и угол внутреннего трения. Эти данные вводятся для теории Кулона-Мора (для грунтов) и теории Боткина (для грунтов).

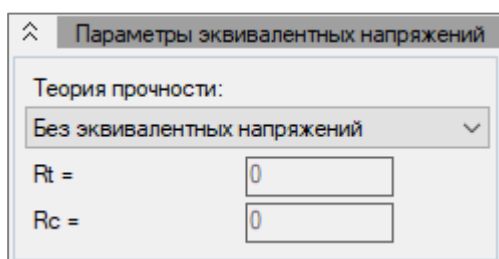


Рис. 3.84. Вкладка **Параметры эквивалентных напряжений**

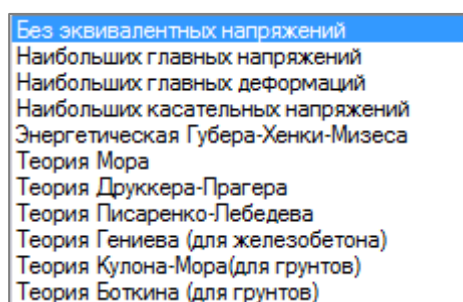


Рис. 3.85. Список для выбора теории прочности

Вкладка **Параметры печати** (рис. 3.86) применяется для выбора параметров с целью дальнейшей печати таблицы. Здесь представлено три параметра:

- **Предварительный просмотр** — возможность просмотреть сформированный файл до того, как он будет запущен на печать.
- **Выравнивать по центру страницы.**
- **Добавлять номер страницы** — номер страницы будет добавлен в верхнем правом углу.

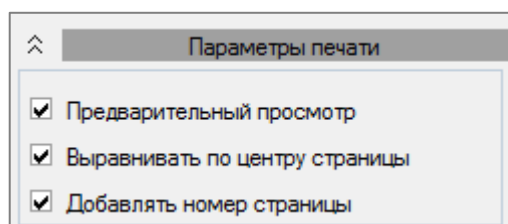




Рис. 3.86. Вкладка **Параметры печати**

Есть ряд команд, которые можно реализовать с уже сформированной таблицей (рис. 3.87). Для того чтобы их посмотреть, нажмите на значок , который находится в шапке таблицы справа от ее имени. Чтобы закрыть таблицу, воспользуйтесь кнопкой .

С таблицей, которая уже сформирована, можно выполнить следующие действия:

1. **Переименовать.** При выборе этой команды на экране появится поле для ввода нового названия таблицы. После подтверждения нового введенного названия таблица будет переименована.

2. **Печатать.** С помощью этой команды можно распечатать сформированную таблицу. Предварительные параметры печати выбираются на вкладке **Параметры печати** (описана выше). После выбора команды **Печатать** на экране появится стандартное окно с параметрами печати.

3. **Экспорт в Excel.**

4. **Экспорт в Word.**

5. **Экспорт в Html.**

6. **Сохранить изображение.** Видимая часть таблицы будет сохранена в графическом файле.

7. **Столбцы.** При выборе этой команды на экран выводится полный перечень доступных столбцов для текущей таблицы. По умолчанию столбцы, в которых отсутствуют какие-либо значения, не включаются в сформированную таблицу.

8. **Фильтр.** Используя данную команду, можно отфильтровать таблицу по значениям в столбцах с помощью цветowych индикаторов (рис. 3.88).

9. **Отметить узлы / Отметить элементы.** Все узлы/элементы, которые фигурируют в текущей таблице, будут выделены на схеме.

10. **Закрыть / Закрыть все таблицы.** Закрывает текущую таблицу или все таблицы.

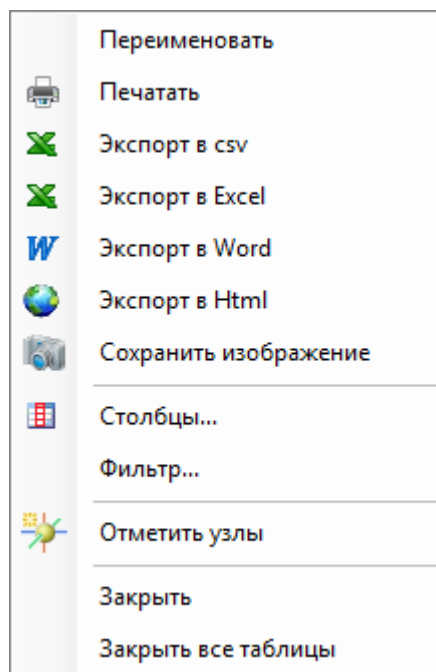



Рис. 3.87. Доступные команды для таблиц

 Например, на рис. 3.88 флажком отмечен столбец, по которому будет происходить фильтрация значений. Ниже задается интервал значений для фильтрации. После нажатия кнопки **Подтвердить** произойдет следующее: значения в столбце **Номер**, которые меньше 10, будут обозначены синим цветом, значения, попавшие в интервал от 10 до 20 — черным, значения больше 20 будут обозначены красным цветом.

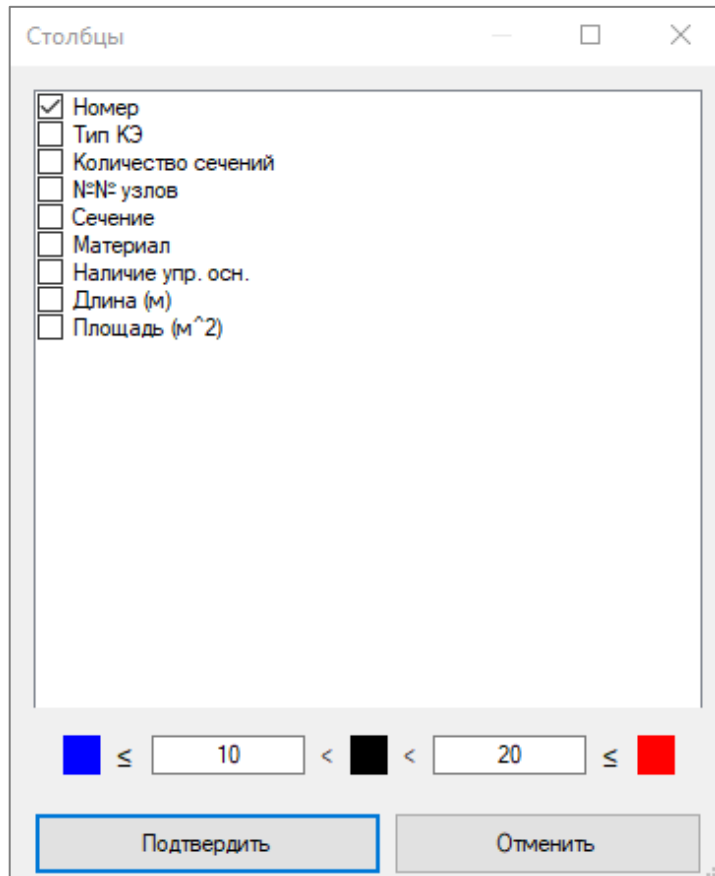



Рис. 3.88. Диалоговое окно **Столбцы**

3.10.3 Формирование отчета

Для формирования отчета по расчету задачи воспользуйтесь командой меню **Документирование** ⇒ **Сформировать отчет** (кнопка  на панели инструментов). После выбора этой команды появится диалоговое окно **Формирование отчета** (рис. 3.90).

В раскрывающемся списке **Экспортировать отчет в** (в верхней части окна) можно выбрать формат, в котором нужно создать отчет (рис. 3.89).

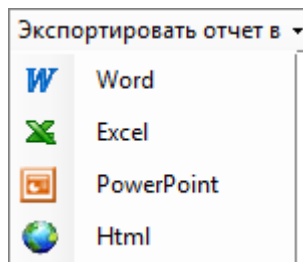


Рис. 3.89. Раскрывающийся список **Экспортировать отчет в**

Флажок **Оглавление** позволяет добавить содержание в начало отчета.

Флажок **Автоматически открыть отчет** позволяет открыть отчет сразу же после его генерирования.

Флажок **Свойства страницы** позволяет выбрать вариант оформления страницы.

Диалоговое окно **Формирование отчета** условно разделено на две части. Левая часть состоит из трех вкладок (**Изображения**, **Таблицы**, **Фрагменты**) и отображает перечень элементов, которые можно занести в отчет. Правая часть отображает структуру формируемого отчета. Для добавления нужного элемента в отчет выберите его щелчком мыши и нажмите кнопку **Добавить**. В результате этот элемент появится в правой части окна. Элементы можно добавлять в любом порядке.

Вкладка **Изображения** содержит все изображения, которые были сделаны с помощью команд **Изображение с экрана** или **Быстрое изображение с экрана**, а также сохраненные изображения таблиц результатов. Вид изображений на данной вкладке можно изменить с помощью команд **Список**, **Мелко**, **Крупно** контекстного меню, которое вызывается щелчком правой кнопки мыши в области вкладки.

Вкладка **Таблицы** отображает перечень таблиц, сформированных в **Таблицах результатов**.

Вкладка **Фрагменты** содержит данные, которые можно включить в отчет (это могут быть необходимые шаблоны, фрагменты, которые описывают правила знаков, перемещения и т.д.). Формат читаемых файлов: *.docx, *.txt.

Для отображения дополнительных файлов во вкладке **Фрагменты** нужно добавить их вручную в каталог, находящийся в корневой папке установки программы X:\...\Templates.

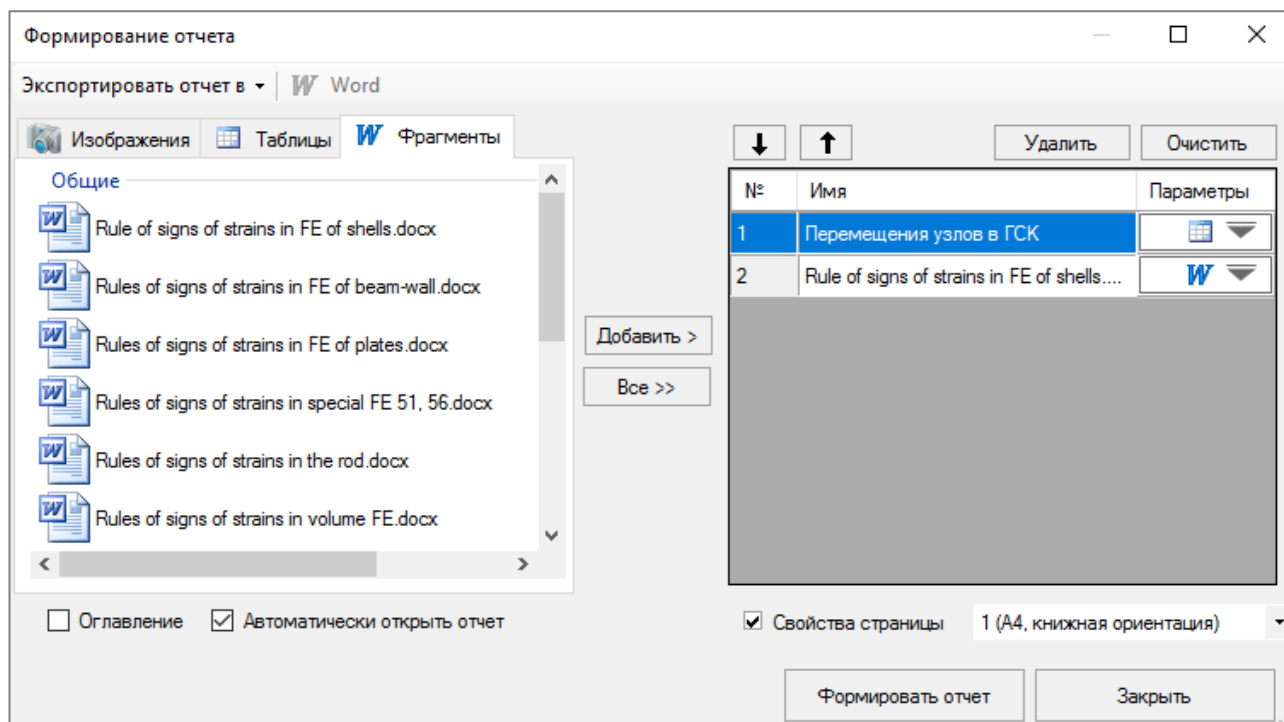







Рис. 3.90. Диалоговое окно **Формирование отчета**

В правой части диалогового окна формируется необходимая структура отчета. Все элементы, выбранные в левой части окна, отображаются здесь в виде таблицы.

При помощи кнопок  и  можно менять порядок расположения элементов в отчете.

Для удаления отдельных элементов отчета воспользуйтесь кнопкой **Удалить**. Для очистки всего списка — **Очистить**.

Для каждого добавленного элемента становится доступной кнопка, с помощью которой можно добавить к данному разделу **Заголовок**, **Примечание до** и **Примечание после** (рис. 3.91). Для таблиц это кнопка , для изображений — , для текстовых файлов —  (рис. 3.90).

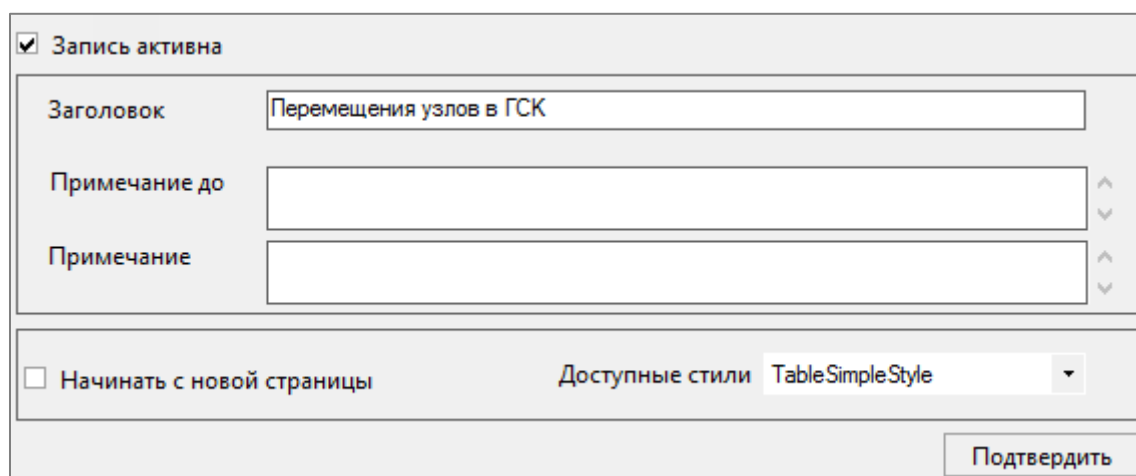


Рис. 3.91. Поля для ввода дополнительных параметров для элементов отчета

Здесь также можно выбрать такие параметры для отдельного элемента отчета:

- Флажок **Начинать с новой страницы**. При выборе этого пункта данный элемент отчета будет начинаться с новой страницы независимо от общих настроек отчета.

- Если экспорт отчета будет произведен в Word, то в раскрывающемся списке **Допустимые стили** можно выбрать стиль, в котором будет представлен раздел в отчете.

Если необходимо добавить данный файл в отчет, нужно установить флажок **Запись активна** и нажать кнопку **Подтвердить**.

Также есть возможность создания пользовательского стиля для оформления отчета. Все стили содержатся в файле **templateFile**, который находится в папке **Templates**. Ее можно найти в каталоге файлов шаблонов, если открыть настройки среды (рис. 3.92).

Путь: **Сервис** ⇨ **Настройки среды** ⇨ **Расположение** ⇨ **Каталог файлов шаблонов** ⇨ **Templates** ⇨ **templateFile**.

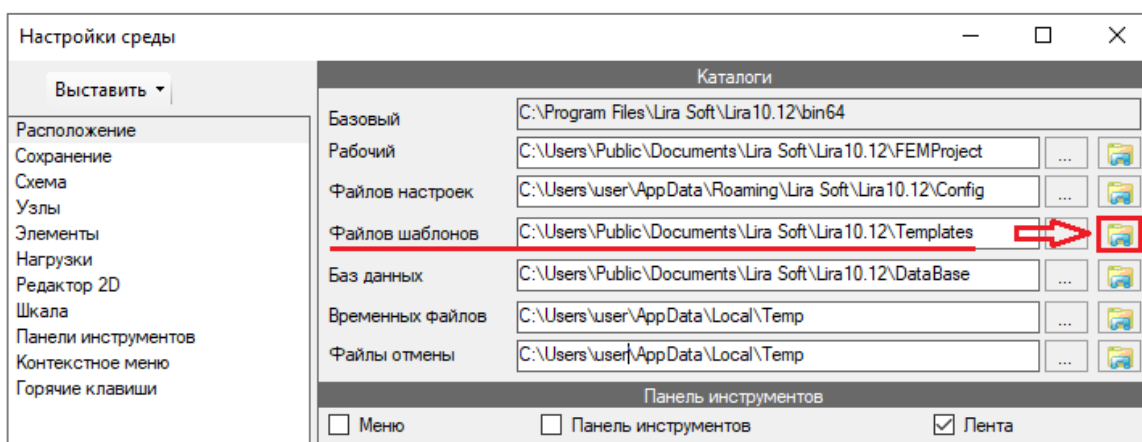


Рис. 3.92. Окно **Настройки среды**

Файл **templateFile** следует открыть в Word, после чего можно приступить к созданию стиля с необходимыми параметрами. Для этого в приложении Word на панели **Стили** нужно вызвать меню **Просмотр и настройка стилей** и выбрать в открывшемся окне команду **Создать стиль** (в зависимости от версии Word команда может быть другой).

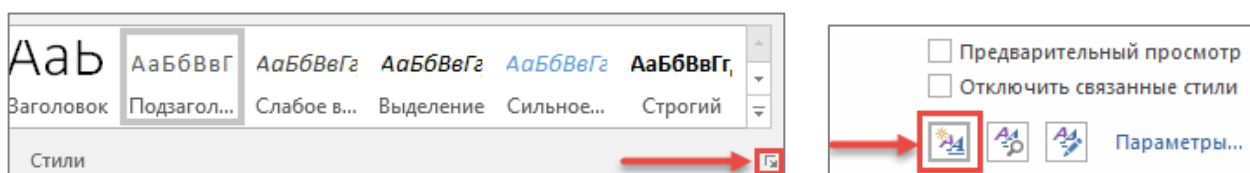


Рис. 3.93. Путь к команде **Создать стиль** в Word

В открывшемся окне **Создание стиля** необходимо указать подходящие параметры. Для корректного отображения названия стиля в параметрах формирования отчета при заполнении данного поля рекомендуется использовать латиницу. После выбора всех параметров нужно выбрать переключатель **В новых документах, использующих этот шаблон** и нажать кнопку **ОК**.

После сохранения изменений в файле **templateFile** стиль автоматически отобразится в параметрах формирования отчета в раскрывающемся списке **Доступные стили** и будет готов к использованию.

3.11 ПОСТРОЕНИЕ АЧХ


Если в задаче имеется гармоническое воздействие, то после выполнения расчета задачи становится доступен режим построения АЧХ.

Зависимость амплитудного значения перемещения по выбранной степени свободы от частоты возмущения θ называется амплитудно-частотной характеристикой (АЧХ). АЧХ определяется расчетом на гармоническое воздействие при частотах возмущающей силы, меняющейся от нуля до заданной верхней границы с указанным шагом. При этом расположение нагрузки на конструкции и амплитудные значения возмущающих сил остаются неизменными.

АЧХ касается только установившейся фазы отклика конструкции.

Чтобы отобразить панель активного режима **Построение АЧХ**:

1. Выберите требуемое гармоническое воздействие в раскрывающемся списке загрузжений (в строке заголовка программы) (рис. 3.94).

2. Активизируйте команду **Спец. результаты** \Rightarrow **Построение АЧХ** (кнопка  на панели инструментов).

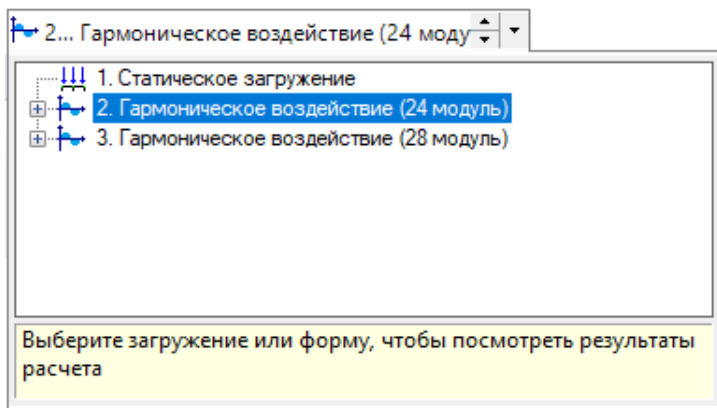


Рис. 3.94. Раскрывающийся список загрузжений

В появившемся окне (рис. 3.95) необходимо указать узлы, для которых будет построен график АЧХ, выделив их на схеме и нажав **Пополнить список узлов** или же **Заменить список узлов**, если необходимо изменить уже существующий. Далее нужно указать **Направление** при помощи переключателей (X, Y, Z, UX, UY, UZ).

Также необходимо выбрать критерий затухания (**Коэффициент неупругого сопротивления** либо **Параметр затухания**) и его значение, установив флажок напротив нужного значения. Если числовое значение критерия затухания не совпадает с предлагаемым перечнем, то его можно задать вручную: при установке флажка на значении **0** появляется возможность ввести произвольное число.

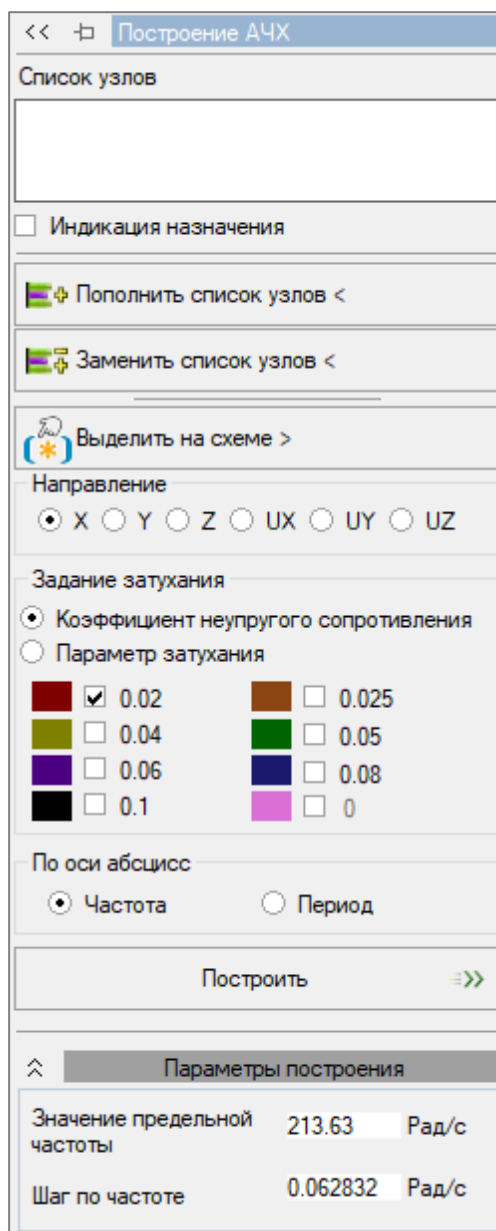




Рис. 3.95. Режим **Построение АЧХ**

Последним параметром является указание величины, которая будет отложена по оси абсцисс — **Частота** или **Период**.

При необходимости задания **Значения предельной частоты** и **Шага по частоте** следует воспользоваться вкладкой **Параметры построения**.

При нажатии кнопки **Построить** на экране появится окно с графиком АЧХ (рис. 3.96). Полученный график можно импортировать в MS Excel (кнопка ) или сохранить как изображение (кнопка ). Также с помощью двух ползунков прокрутки его можно масштабировать и перемещать.

Если выбрано несколько узлов, то АЧХ будет построена как среднее арифметическое по этим узлам. Как альтернатива, если требуется проанализировать только один узел, построение АЧХ выполняется при щелчке на этот узел на самой схеме.

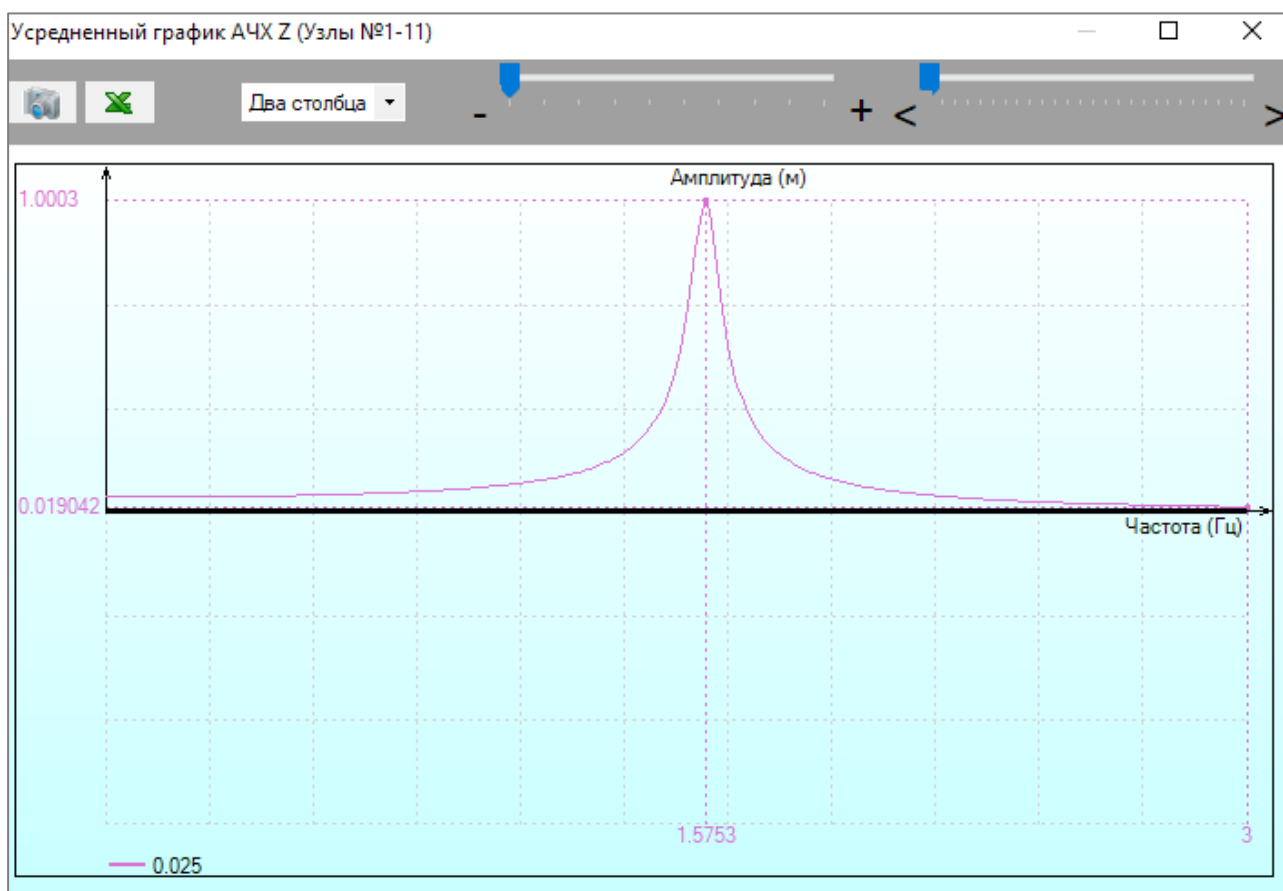


Рис. 3.96. Окно с графиком АЧХ