

2021

Краткое знакомство со СтаДиКон

Программный комплекс
конечно-элементных расчетов



Техсофт
30.06.2021



Пособие составлено сотрудниками ООО «Техсофт» - ведущим российским разработчиком программного обеспечения для архитектурно-строительного проектирования совместно с фирмами **mb AEC Software GmbH** и **Kretz Software GmbH (Германия)** представляющей сертифицированную систему архитектурно-строительного проектирования **Ing+**, реализующую сквозную технологию проектирования строительных конструкций. Данный документ описывает работу с версией 2021 года. Представленный набор инструментов может отличаться в более ранних версиях. Пособие не является полной документацией и не описывает все возможности программных средств.

Более подробная информация о программных продуктах представлена на сайте www.tech-soft.ru

Коллектив авторов:

Семенов В.А.

Сизов О.П.

Лебедев В.Л.

Шевелев С.А.

разработчик: **ООО "ТЕХСОФТ"**

www.tech-soft.ru, тел/факс +7 (495) 960 22 83, e-mail: support@tech-soft.ru

Оглавление

Оглавление	3
Введение	5
1 ProjektManager	6
1.1 Работа с ProjektManager	6
1.2 Управление проектом	7
1.3 Создание FE-модели	8
1.4 Импорт модели из MicroFe	9
2 Начало работы со СтаДиКон	10
2.1 Интерфейс	10
2.2 Вкладка вид	12
3 Фрагменты конечно-элементной модели	14
4 Начало работы с моделью в СтаДиКон	16
4.1 Построение расчетных схем	16
4.1.1 Генерация конечно-элементной сетки для POS-модели, импортированной из MicroFe	16
4.1.2 Импорт DXF - файла для построения модели	18
4.2 Построение модели для расчетной схемы на примере двухпролетной рамы	20
5 Задание материалов и сечений	24
5.1 Задание материалов модели	24
5.2 Задание сечений модели	24
6 Установка связей и контактов	27
6.1 Шарниры	27
6.2 Краевые условия	28
6.3 Специальные связи	29
6.4 Группа «Основание»	31
7 Задание и редактирование нагрузок	32
7.1 Основные нагрузки	32
7.2 Сосредоточенные нагрузки	32
7.2.1 Нагрузки независимые от сетки	32
7.2.2 Узловые нагрузки	33
7.2.3 Элементные нагрузки	34
7.3 Линейные нагрузки	34
7.3.1 Нагрузки независимые от сетки	35
7.3.2 Трапецевидные элементные нагрузки	35
7.3.3 Моменты в балках	36

7.4	Плоскостные нагрузки	37
7.5	Равномерно распределенные нагрузки.....	38
7.6	Инструменты редактирования нагрузжений и нагрузок	38
7.6.1	Независимые нагрузки	38
7.6.2	Редактирование нагрузжений.....	39
7.6.3	Табличный редактор	41
8	Расчет модели.....	42
8.1	Общий расчет	42
8.2	Комбинации нагрузжений.....	46
9	Прикладные расчеты модели.....	49
9.1	Расчет модели на ветровые нагрузки	49
9.2	Сейсмические нагрузки	51
10	Нормативные расчеты модели.....	53
10.1	Расчет сочетаний усилий	53
10.2	Результаты.....	55
10.3	Расчет арматуры для конструктивных элементов	55
10.3.1	Расчет арматуры для стержней.....	55
10.3.2	Расчет арматуры для элементов плит, стен, оболочек.....	57
11	Результаты расчета модели.....	59

Введение

Мы рады возможности приветствовать Вас в рядах наших пользователей. Выбрав **СтаДиКон** из ING+ 2021, Вы получили возможность воспользоваться программным обеспечением, включающим в себя наш многолетний опыт разработки продуктов в области строительства. Мы стремимся к тому, чтобы все приложения ING+ 2021 обладали высокой эффективностью и гибкостью в использовании.

Данная документация предназначена для ускоренного знакомства. Здесь мы шаг за шагом поясним на примерах важнейшие функции и приемы работы со **СтаДиКон**.

Для отображения различных элементов мы разработали определенные правила:

- Названия диалогов, меню, функций и иконок выделяются жирным шрифтом.
- Клавиши и комбинации клавиш заключаются в квадратные скобки, например: [Q], [Ctrl]+[A].
- Клавиши управления: компьютерные клавиатуры могут иметь отличия.

В данной документации используются следующие обозначения:

- [Shift] используется для обеих клавиш смены регистра
- [Esc] для клавиши Escape, которая чаще всего расположена слева вверху
- [Tab] для клавиши табуляции
- [Ctrl] для клавиши управления (обычно слева в самом низу)
- [Alt] для клавиши опций

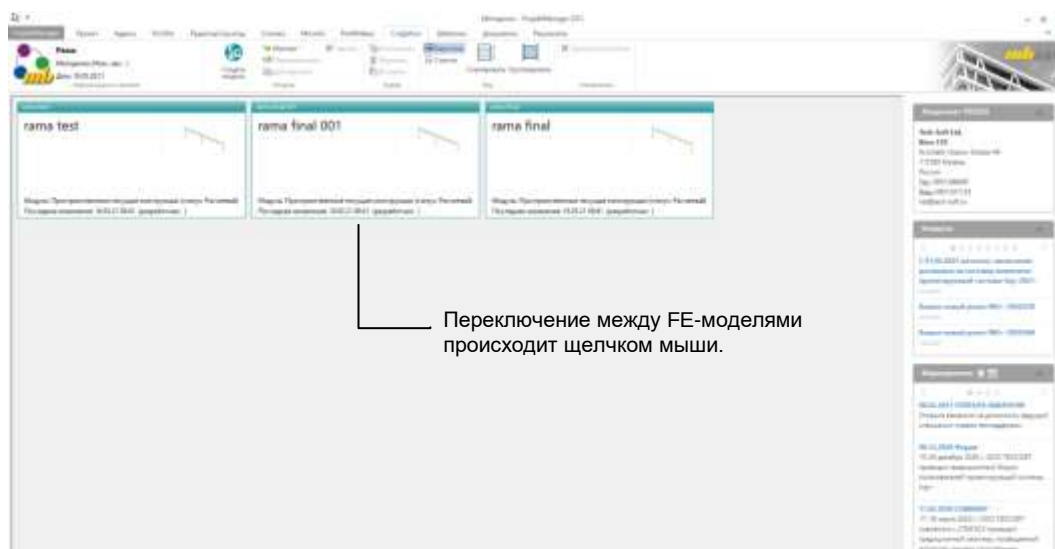
1 ProjektManager

1.1 Работа с ProjektManager

При работе над проектом используется большое количество приложений, при этом каждое приложение создает собственные данные. **ProjektManager** управляет этими данными. Копирование, удаление и перемещение данных для всех приложений происходит благодаря **ProjektManager** единообразно. Помимо этого, он позволяет объединять отдельные проекты (частичные проекты) в группы. **ProjektManager** связывает данные с соответствующим приложением.

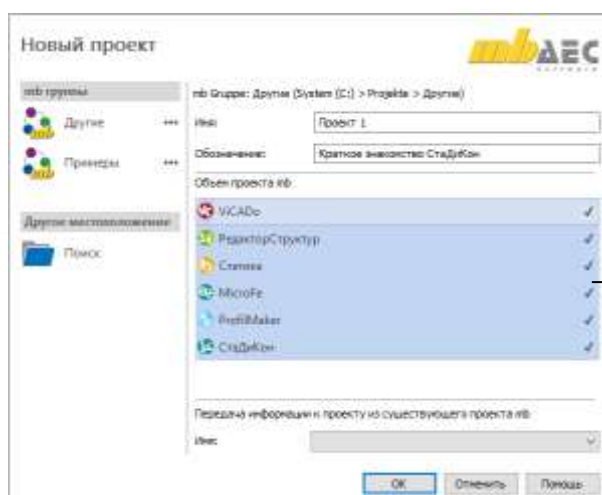
Программа **ProjektManager** предназначена для работы с проектами. Она позволяет организовать хранение документов (текстов, чертежей, расчетных позиций) по проектам и обеспечивает управление ими (удаление, копирование, печать, расчет позиций и др.), имеет функции архивирования и работы с электронной почтой, поддерживает работу нескольких пользователей в локальной сети над одним проектом.

ProjektManager координирует все необходимые для проекта работы. С его помощью Вы сможете единообразно редактировать все данные отдельных приложений. Окно **ProjektManager** состоит из трех основных частей. **ProjektManager** можно установить на любом компьютере без лицензии с сохранением доступа к отчетам и документам.



1. Вызов ProjektManager осуществляется из меню Пуск (**Пуск > Все программы > mb WorkSuite 2021**) или с помощью ярлыка на рабочем столе.
2. Откроется окно программы ProjektManager 2021.
3. Выберите в меню команду **ProjektManager > Проект создать**. Откроется диалог, предназначенный для ввода данных проекта.
4. На странице диалога **Проект** нужно указать имя проекта и группу/директорию, в которую должен сохраняться проект со своими данными.
5. Выберите **Приложения**, которые должны использоваться при редактировании проекта. Поставьте галочку перед нужными строками.

6. Сохраните данные, нажав на клавишу **ОК**. Проект появится в окне просмотра. Откроется окно проекта с указанными приложениями. Вкладка **Проект** будет активна.

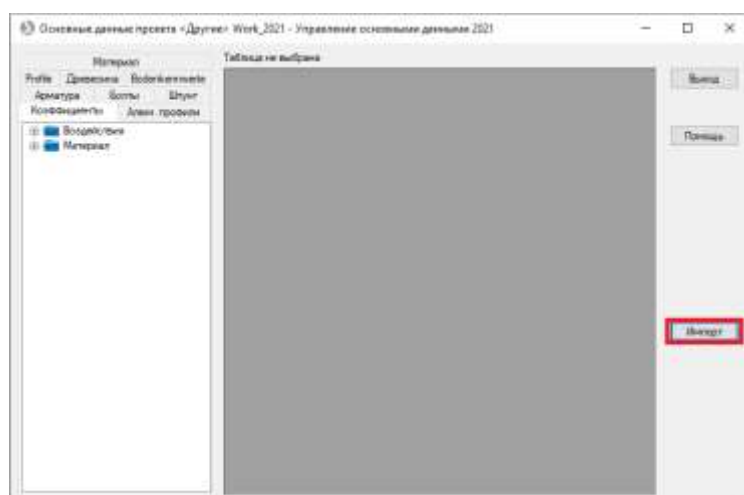


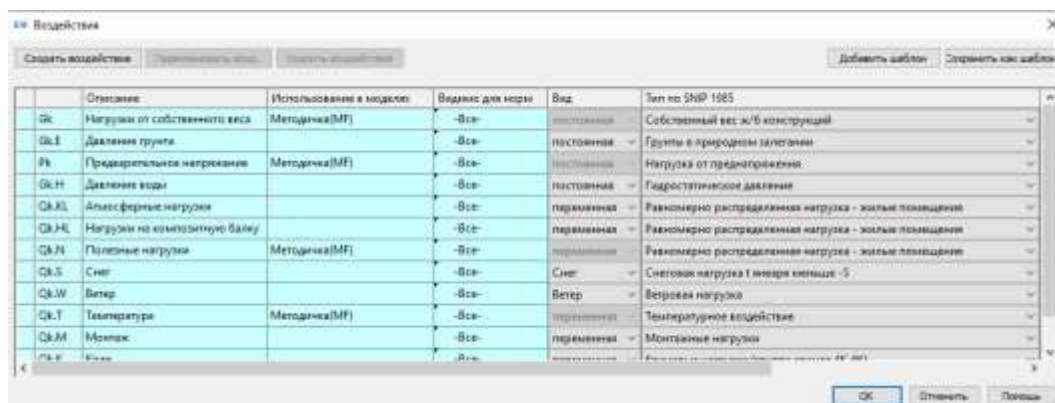
Здесь можно указать, какие приложения должны использоваться в данном проекте

Проекты, созданные в предыдущих версиях Ing+, можно конвертировать в версию 2021. Старый проект сохраняется в виде копии. Проекты, созданные в Ing+ 2021, открыть при помощи предыдущих версий Ing+ невозможно. Проекты можно переименовывать и копировать, вызвав правой кнопкой мыши контекстное меню. Вся структура проекта будет сохранена.

1.2 Управление проектом.

В **ProjektManager** осуществляется координирование всех задач проекта. С его помощью Вы сможете единообразно редактировать все данные приложений. Благодаря этому Вы будете избавлены от трудоемкого поиска файлов, так как всеми файлами можно управлять при помощи **ProjektManager**. Вкладка **Проект** позволяет создать новые воздействия, просмотреть основные данные проекта или добавить в проект дополнительные данные, используя функцию **Импорт**.





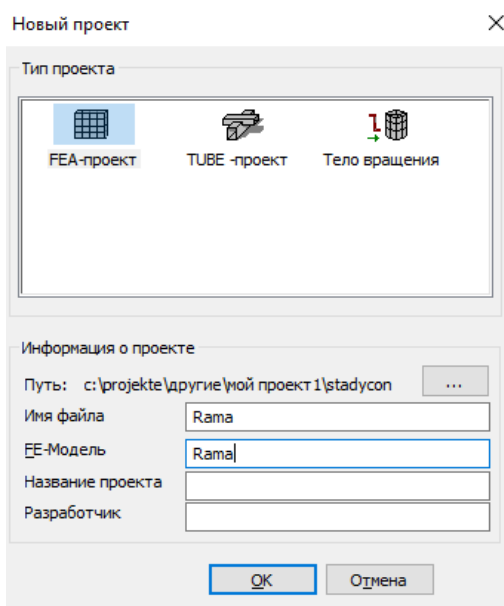
1.3 Создание FE-модели.

В конечно-элементном проекте хранятся все данные о конечно-элементной модели конструкции: данные о конечно-элементной сетке (узлы и конечные элементы), данные о жесткостях элементов (материалы), данные о связях (краевые условия, шарниры), данные о нагрузках и т.п. Файлы конечно-элементных проектов имеют расширение *.fea. В дальнейшем, для конечно-элементных проектов может использоваться сокращенное название – **FEA-проекты**.

1. Выберите в окне проекта в **ProjektManager** приложение **СтаДиКон**. Для этого щелкните мышью на соответствующую вкладку.



2. Создайте новую **FE-модель**, выбрав на ленте меню функцию **Создать модель**. Запустится **СтаДиКон**, и появится диалог **Новый проект**.
3. Выберите тип проекта **FEA-проект**. В соответствующих полях укажите имя файла и название **FE-модели**.



4. Подтвердите данные нажатием на кнопку **ОК**.

1.4 Импорт модели из MicroFe

Есть несколько различных способов задания конечно-элементных моделей.

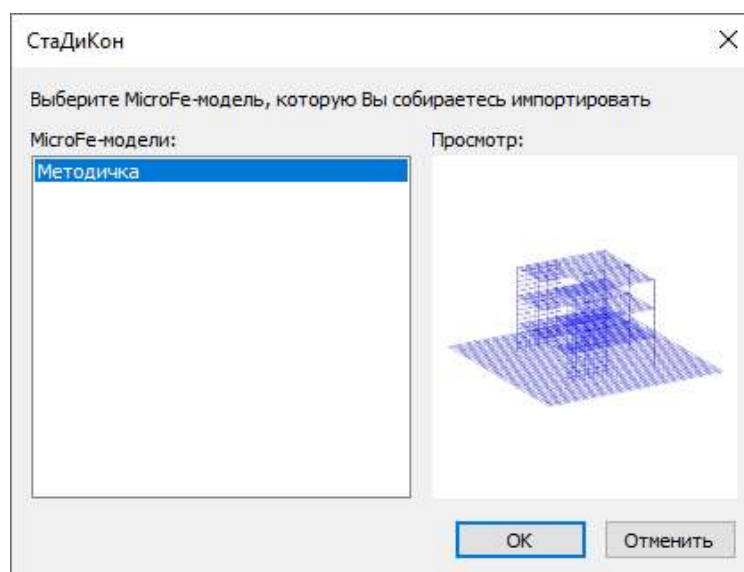
Первый из них – это непосредственная работа с конечными элементами. В чистом виде этот способ подходит для работы с маленькими конструкциями или с чисто стержневыми конструкциями. Также удобно использовать этот способ при точечном редактировании сложных конечно-элементных моделей: при подгонке сетки, корректировке материалов, нагрузок и т.п.

В общем случае, для задания сложных конструкций рекомендуется использовать концепцию позиций. Концепция позиций призвана облегчить работу по созданию и редактированию конечно-элементных моделей. При работе с позициями пользователь оперирует абстракциями более высокого уровня, чем конечные элементы, такими как плиты, отверстия, стены, балки, колонны и т.п. Из этих элементов (которые называются позициями) создается позиционный проект, для которого впоследствии генерируется, конечно-элементная, сетка. Позиционные проекты хранятся в файлах с расширением *.pos (в дальнейшем, будет использоваться сокращенное наименование позиционных проектов – **POS-проект**). Ранее созданный **POS-проект** можно отредактировать, а затем повторно сгенерировать для него сетку, или же редактировать уже непосредственно конечно-элементную модель. Различают два основных вида **POS-проектов**: плоские **2D-POS** – проекты (плиты и балки-стенки); пространственные **3D-POS** – проекты многоэтажных зданий. Так же из **MicroFe** переносятся конструктивные элементы, например, пилоны.

1. Для перехода в **СтаДиКон** следует выбрать соответствующую вкладку на панели проекта.
2. С помощью **Импорт** перенести модель из **MicroFe**.



3. Кликните правой клавишей мыши на модели **Методичка**.



4. Нажмите **ОК**.

2 Начало работы со СтаДиКон

2.1 Интерфейс

Интерфейс программы **СтаДиКон** обеспечивает интуитивно понятное управление всеми приложениями и создает основу для более эффективной работы. Программа является графической интерактивной Windows-программой, построенной на принципах **MDI**-интерфейса (многооконый)

Одновременно, в разных окнах, могут обрабатываться несколько проектов. Проект в активном **MDI**-окне называется актуальным или активным проектом. Доступ ко всем функциям **СтаДиКон** осуществляется с помощью ленты меню. Набор вкладок ленты меню зависит от типа актуального проекта.

Строка заголовка. При отсутствии загруженных проектов, строка заголовка **окна программы** содержит имя программы.

Например:

СтаДиКон 2021

При наличии загруженного проекта, строка заголовка **окна программы** содержит имя программы и информацию о проекте (имя проекта, тип проекта и путь к нему).

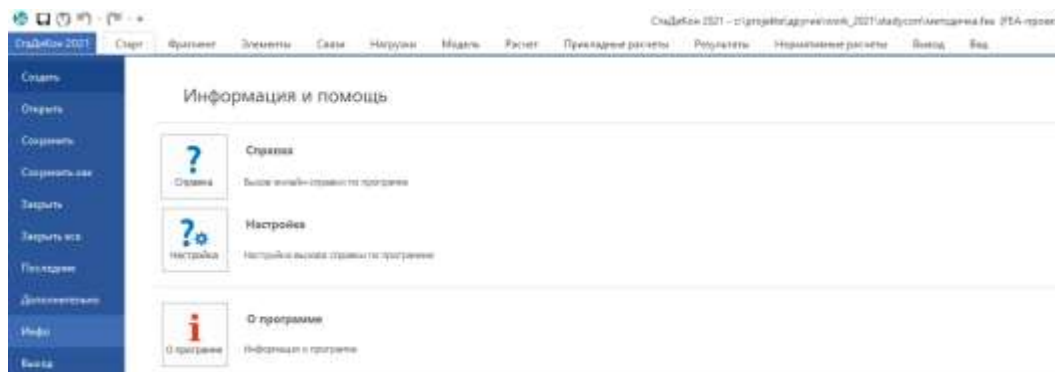
Например:

СтаДиКон 2021 - [c:\projekte\другие\work_2021\stadycon\методичка.fea (FEA-проект)]

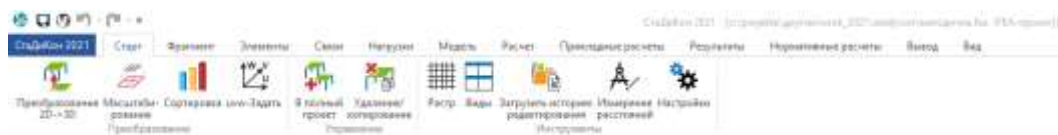
Панель инструментов. Панель инструментов быстрого доступа располагается, как правило, над вкладками ленты меню. При стандартной инсталляции **СтаДиКон**, эта панель содержит четыре кнопки: **Сохранить** (сохранение актуального проекта), **Вывод в Viewer** (вывод изображения рабочего окна во Viewer), Undo (отмена) и Redo (повтор).



Системное меню. Системное меню **СтаДиКон** или любой другой системы находится на ленте меню слева от названий вкладок. Название программы выводится белым шрифтом на цветном фоне, при этом цвет фона соответствует цвету, закрепленному за этой программой.



Доступ ко всем функциям **СтаДиКон** осуществляется с помощью лент меню.

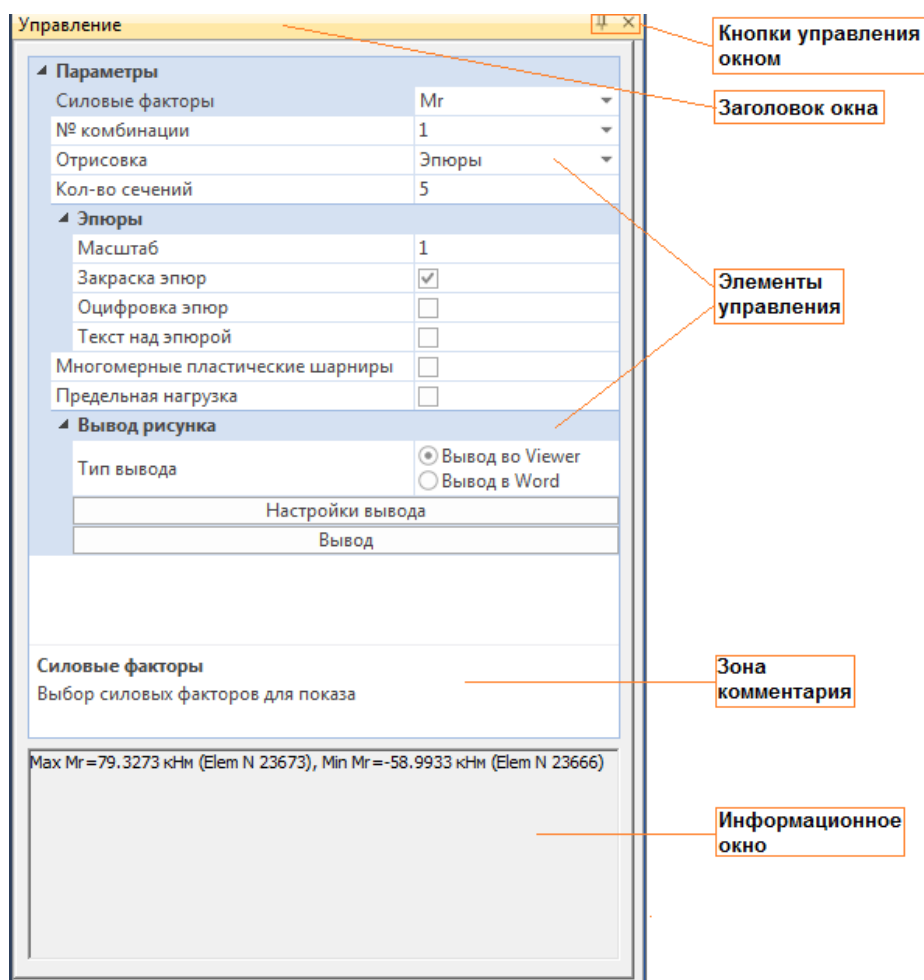


Дополнительная панель инструментов. Дополнительная панель инструментов входит в состав ленты меню и располагается в ее нижней части. Содержимое панели инструментов является контекстно-зависимым, т.е. автоматически конфигурируется, в зависимости от вида команды, выбранной на ленте меню.



Для вызова функции, необходимо щелкнуть клавишей мыши на изображении соответствующей кнопки. При наведении курсора на изображение кнопки, на экране появляется всплывающая подсказка, которая содержит название функции, краткое описание функции и, в некоторых случаях, - комбинацию клавиш, с помощью которой вызывается эта функция.

Окно управления. Для управления работой программы, в большинстве случаев, используется окно управления. Стандартное окно управления выглядит следующим образом:



По умолчанию, окно позиционируется справа от рабочего окна, и является плавающим, так как может свободно перемещаться в пределах рабочей области. Окно управления содержит таблицу свойств, с помощью которой осуществляется управление работой программы.

Поле координат. Поле координат (или окно просмотра координат курсора) предназначено для просмотра координат текущего положения курсора в окне актуального проекта. Значения координат выдаются в глобальной системе координат актуального проекта. Показ координат может находиться в 2-х состояниях:

+11.81 +11.49 +0.00 в активном

Координаты в пассивном

Рабочее окно. Рабочее окно - это центральная часть окна программы, в которой пользователь создает графическое представление расчетной модели, а затем выполняет всю работу по ее редактированию.

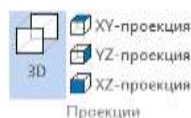
Кроме графического изображения модели, рабочее окно содержит графическое представление материалов, нагрузок, краевых условий, шарниров и т.д. В этом же окне отображается графическое представление результатов расчета. Для рабочего окна предусмотрены 2 линейки прокрутки: вертикальная (справа) и горизонтальная (внизу).

2.2 Вкладка «Вид»

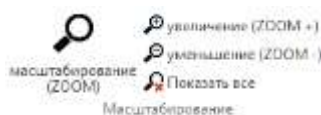


Вкладка Вид содержит в себе функции изображения активного проекта в 3D-перспективе и проекциях, функции масштабирования и опции управления объемом отображаемой информации.

Группа 'Проекция'. В группу **Проекция** объединены функции, позволяющие показать изображение активного проекта в 3D-перспективе, в проекции XOY, в проекции YOZ и в проекции XOZ.



Группа 'Масштабирование' В группу **Масштабирование** объединены функции, отвечающие за масштабирование изображения в рабочем окне.



Использование колеса прокрутки мыши:

Вращение вперед	Увеличение объекта. Масштабирование относительно текущего положения курсора.
Вращение назад	Уменьшение объекта. Масштабирование относительно текущего положения курсора.
Движение мыши с нажатым колесом	Перемещение объекта в окне.

Группа 'Показ'. Группа **Показ** содержит опции управления объемом отображаемой информации.

☒ покрытие ☐ номера узлов ☐ краевые условия ☐ координаты узлов ☐ 3D - просмотр
☐ освещённость ☐ узлы ☒ сетка/контур ☐ этажи
☐ номера элементов ☐ локальные координаты ☐ материалы ☐ группы констр. эл-тов

Показ

Покрывтие. Поверхности элементов могут изображаться закрашенными или незакрашенными.

Освещенность. Включить/выключить источник света (опция доступна только при активной опции **покрытие**). Тип источника света и другие характеристики можно определить в диалоге **Источники света**.

Номера элементов. Включить/выключить показ номеров элементов модели.

Номера узлов. Включить/выключить показ номеров узлов модели.

Узлы. Включить/выключить показ узлов модели в виде маркеров.

Локальные координаты. Включить/выключить показ локальных систем координат оболочек и стержней.

Краевые условия. Включить/выключить показ краевых условий модели.

Сетка/контур. Показ конечно-элементной сетки модели или ее контуров.

Материалы. С помощью данной опции, для моделей с заданными материалами, можно активизировать показ материалов в цветовой или цифровой форме, используя различные фильтры, которые задаются в появляющемся диалоге.

Координаты узлов. Включить/выключить просмотр координат узлов модели или номеров узлов/элементов.

При активизации этой опции, на экране появляется диалог **Показать координаты узлов**.

Этажи. Включить/выключить просмотр элементов, принадлежащих этажам.

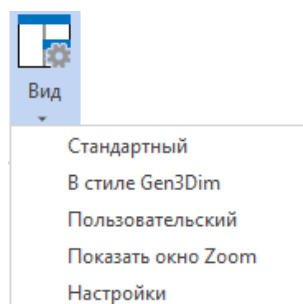
Группы конструктивных элементов. Включить/выключить просмотр групп конструктивных элементов.

3D-просмотр. Конечно-элементная модель изображается с учетом реальных размеров элементов, заданных сечений, эксцентриситетов и типа материала.

При выборе этой опции, открывается окно **3D-просмотра**.

Группа 'Окна'. В программе реализован принцип многооконности (так называемый **MDI-интерфейс**). Одновременно в программе можно работать с несколькими различными моделями, которые отображаются в разных окнах.

Группа 'Сервис'. Функция **Сервис** позволяет настроить расположение рабочих элементов приложения.



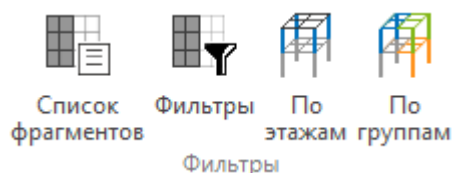
Список
окон *
Окна

3 Фрагменты конечно-элементной модели



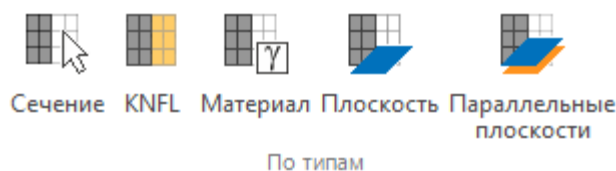
Функции данной вкладки позволяют установить фрагмент (видимую часть) конечно-элементного проекта. Весь проект как бы подразделяется на видимую и невидимую части. Вся дальнейшая работа по редактированию проекта (т.е. просмотр, удаление и установка материалов, геометрии, граничных условий, нагрузок и т. д.) осуществляется с установленным фрагментом проекта. Возможность работы с частью конечно-элементного проекта позволяет значительно ускорить процессы визуализации объекта, более детально рассмотреть отдельные его части и отредактировать их, что особенно важно при работе с проектами больших размерностей (т.е. с большим количеством узлов и элементов).

Группа 'Фильтры'. При создании и редактировании фрагментов, можно использовать специальные фильтры. Список фильтров представлен в одноименном окне. Выбор фильтра осуществляется щелчком клавишей мыши на его названии. После чего, в нижней части окна предоставляются соответствующие возможности редактирования.

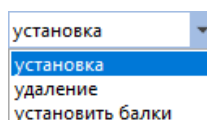


Группа 'По типам'. Для установленного фрагмента (видимой части) проекта, предусмотрены установка и удаление следующих элементов:

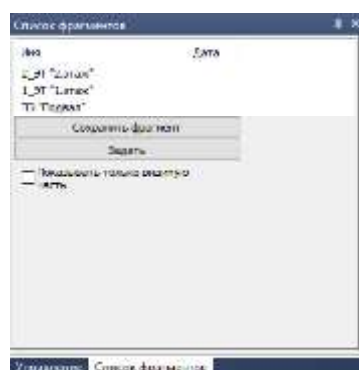
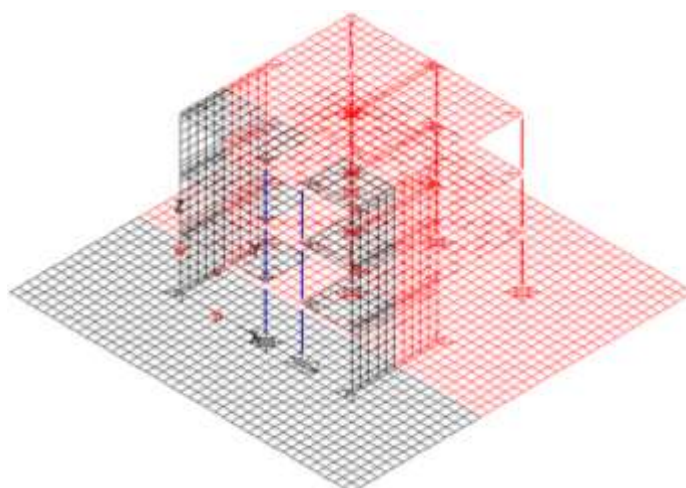
- выбранного элемента/группы элементов;
- элементов, принадлежащих его плоскостям осреднения (KNFL) ;
- элементов, имеющих один и тот же тип материала;
- элементов, принадлежащих плоскости, задаваемой пользователем 3-мя точками;
- элементов, принадлежащих плоскостям, параллельным плоскости, задаваемой пользователем.



При активной опции **установка**, выбранные пользователем элементы проекта остаются видимыми, остальная часть проекта становится невидимой. При активной опции **удаление**, видимой остается невыбранная часть проекта.



При отмене опции **Показывать только видимую часть** (окно **Список фрагментов**), невидимая часть проекта отобразится на экране красным цветом, что позволяет осуществлять операции установки и удаления и с невидимой частью проекта.



KNFL (плоскости осреднения). Функция KNFL используется для установки/удаления элементов, принадлежащих выбираемым плоскостям осреднения. Возможен выбор как в графическом окне (щелчком клавишей мыши или с помощью рамки выбора), так и в режиме диалога, при нажатии кнопки **Задать** в окне списка фрагментов. В последнем случае, в появившемся окне ввода задается общее количество KNFL, а затем вводятся номера конкретных KNFL.

Материал. Функция **Материал** используется для установки/удаления элементов, имеющих один и тот же номер материала. Возможен выбор как в графическом окне (щелчком клавишей мыши или с помощью рамки выбора), так и в режиме диалога при нажатии кнопки **Задать** в окне списка фрагментов. В последнем случае, в появившемся окне ввода задается общее количество материалов для показа во фрагменте, а затем вводятся номера конкретных материалов.

Плоскость. Функция **Плоскость** используется для установки/удаления элементов, принадлежащих плоскости, задаваемой пользователем. Задавать плоскость можно по 3-м точкам в графическом окне, или вводом координат точек при нажатии кнопки **Задать** в окне списка фрагментов.

Параллельные плоскости. Функция **Параллельные плоскости** используется для установки/удаления элементов, принадлежащих плоскостям, параллельным плоскости, задаваемой пользователем.

Группа 'Показ' При нажатии кнопки **Показать все**, все элементы проекта становятся видимыми.

4 Начало работы с моделью в СтаДиКон

4.1 Построение расчетных схем

В **СтаДиКон** существует несколько способов создания модели расчетной схемы на основе импортируемых данных:

1. создание модели при помощи импорта **POS-модели** из **MicroFe**;
2. автоматическое построение геометрии модели на основе импортированного **dxf**-слоя.

4.1.1 Генерация конечно-элементной сетки для POS-модели, импортированной из MicroFe

Самый простой способ создания конечно-элементной модели – это автоматическая генерация сетки для модели позиций (**POS-модели**), импортированной из **MicroFe**.

В общем случае, можно объединить несколько моделей в одну. Для этого используется концепция полного проекта: несколько частичных проектов (**POS-моделей** или **конечно-элементных моделей**) объединяются в единый проект через механизм вставок. При этом можно менять ориентацию исходных моделей через операции поворота и сдвига, вставлять одну и ту же модель несколько раз.

Мы рассмотрим самый простой метод, который, тем не менее, позволяет создавать сложные конечно-элементные модели, **единичную вставку POS-модели**.

Шаг за шагом

1. Откройте в **СтаДиКон** импортированную из **MicroFe POS-модель**. (**СтаДиКон** может предложить открыть одновременно и одноименную конечно-элементную модель (**FEA-модель**), её открывать необязательно)
2. Для перехода в окно редактирования полного проекта, на ленте меню вкладки **Старт** нажмите на кнопку **В полный проект**.



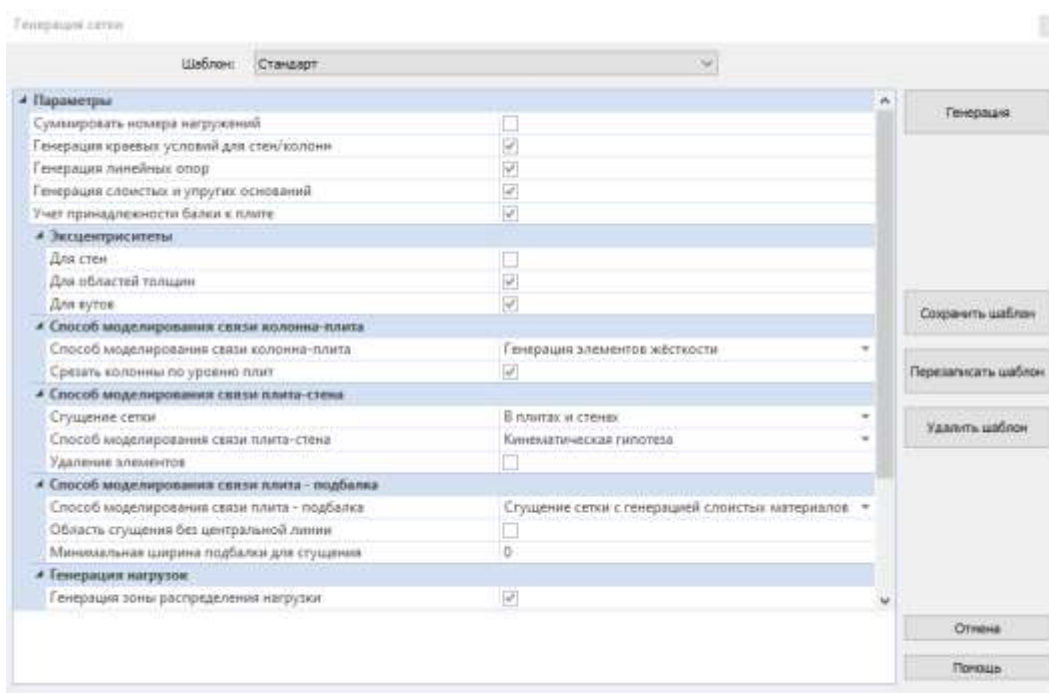
3. Чтобы добавить в полный проект имеющуюся **POS-модель**, используйте функцию **Вставка** вкладки **Старт**. После запуска функции, в рабочем окне появится изображение актуальной **POS-модели**. **СтаДиКон** позволяет задавать желаемые размеры конечных элементов для модели, но более удобный вариант – задавать эти значения в **MicroFe** при создании/редактировании исходной **POS-модели**.



4. После вставки **POS-модели** в полный проект, необходимо сгенерировать сетку.



Нажмите на кнопку **Генерация сетки** вкладки **Старт**, и на экране появится диалог управления процессом генерации:



Генератор сеток позволяет создавать сгущение сетки для плит в месте примыкания колонн, учитывать физические размеры сечений колонн, стен, а также автоматически создавать группы узлов для учета совместной работы колонн, плит и группы несогласованных сеток для учета совместной работы плит и стен. Параметры создаваемой конечно-элементной сетки задаются в диалоге при помощи нескольких групп опций.

Чтобы исключить многократный ввод повторяющихся данных, значения опций генерации можно сохранить в виде шаблона и использовать его в дальнейшей работе. Выбор необходимого шаблона осуществляется с помощью выпадающего списка **Шаблон**. Управление шаблонами осуществляется с помощью кнопок **Сохранить шаблон**, **Перезаписать шаблон** и **Удалить шаблон**.

Существует набор стандартных шаблонов генерации, которые не могут быть изменены или удалены пользователем.

В шаблоне **Учет реальных размеров** заданы значения опций, позволяющие максимально полно учитывать реальные размеры элементов и дающие возможность максимально полно учитывать связи между элементами, избегая сингулярности в НДС конструкции. Это шаблон рекомендуется для использования в обычных случаях расчета.

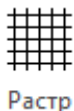
В шаблоне **Классический** опции генерации заданы так, чтобы получить стандартный вариант стыковки элементов сетки узел в узел. Обычно он не рекомендуется к использованию.

В шаблоне **Кинематические гипотезы** установлены значения опций, предусматривающие моделирование стыков элементов (колонна – плита, стена-плита) через кинематические гипотезы: создаются группы узлов, перемещающиеся как абсолютно твердое тело.

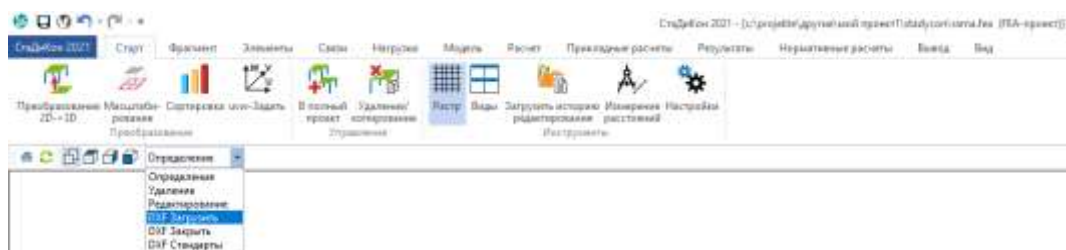
С помощью кнопки **Генерация**, запускается процесс генерации сетки. Если появляется ошибка, то выдается сообщение, и генерация прерывается. Если генерация прошла успешно, то запрашивается имя файла, под которым должна быть сохранена сгенерированная конечно-элементная модель. После запоминания модели осуществляется автоматический переход в окно частичного проекта, а сгенерированный проект становится активным.

Для редактирования полученной сетки следует использовать функции **Перенос узла**, **Сдвиг элементов** и **Смещение узлов (Элементы > Сдвиг/Перенос)**.

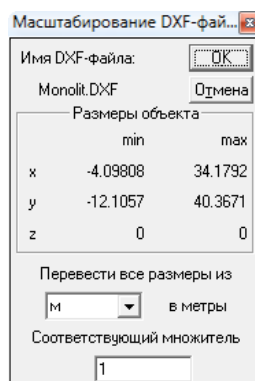
4.1.2 Импорт DXF - файла для построения модели



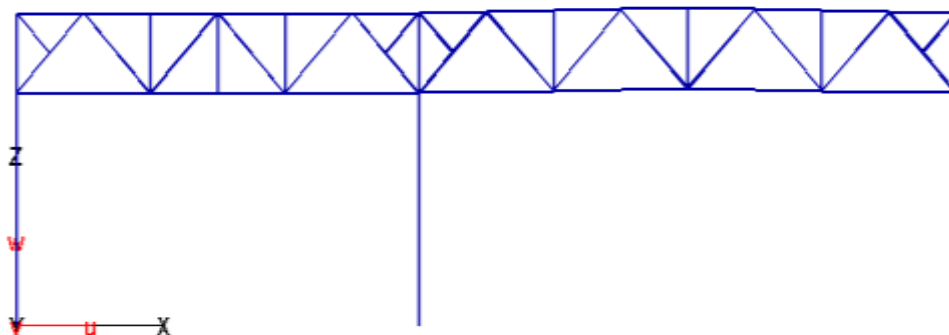
1. Вызовите команду **Старт > Растр** и в выпадающем списке дополнительной панели инструментов выберите команду **DXF Загрузить**.



2. В появившемся окне укажите путь к ранее созданному dxf-файлу.
3. Подтвердите выбор файла нажатием на кнопку **Открыть**.
4. В появившемся окне **Масштабирование dxf-файла** укажите, в каких единицах измерения задан объект или в поле **Соответствующий множитель** задайте коэффициент масштабирования.



5. Ввод данных подтвердите нажатием на кнопку **ОК**.



-

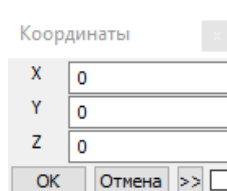


4.2 Построение модели для расчетной схемы на примере двухпролетной рамы

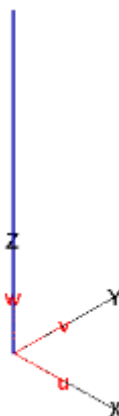
1. Вызовите команду **Элементы > Элементы > Установка**.
2. В окне **Управление** выберите тип элементов **стержни 3D**.



3. Для задания начальной точки элемента кликните левой клавишей мыши в рабочем окне, на дисплее появится диалог **Координаты**. В соответствующих полях введите координаты низа крайней колонны. Ввод данных подтвердите нажатием на кнопку **ОК**.



4. Для задания конечной точки элемента снова кликните в области рабочего окна и в появившемся диалоге **Координаты** укажите координаты верха крайней колонны. Ввод данных подтвердите нажатием на кнопку **ОК**.



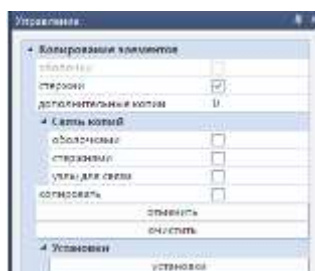
5. В рабочем окне построится стержень. Обратите внимание, что по умолчанию в **СтаДиКон** создается **2D-проект**, и в начале работы в рабочем окне в качестве вида установлена проекция на плоскость **XY**. Но как только создается элемент с ненулевой **z**-координатой, проект автоматически преобразуется в **3D-проект**. Для отображения модели в изометрии кликните по иконке **3D** в дополнительной панели инструментов.
6. Кликните по верхнему узлу построенного стержня. Так как опция **Улавливать геометрию** активна, начальная точка горизонтального стержня автоматически будет установлена в этот узел без запроса координат.



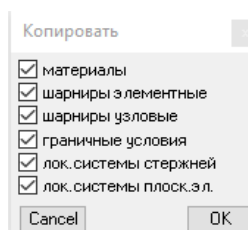
7. Снова кликните в области рабочего окна и укажите координаты конечной точки.
8. Для включения изображения узлов, перейдите на вкладку **Вид** и на ленте меню выберите опцию **Узлы**.



9. Поскольку все колонны имеют одинаковую длину, то для построения остальных колонн воспользуемся функцией копирования. Для этого снова перейдите на вкладку **Элементы** и, оставаясь в режиме **установка**, выберите на ленте меню функцию **Копирование**.
10. В окне **Управление** укажите тип/типы копируемых элементов.



11. Так же в окне **Управление** с помощью кнопки **Установки** укажите, какие свойства элемента должны быть заимствованы из оригинала.

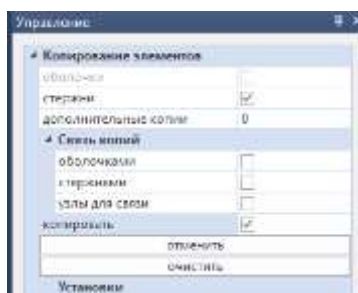


12. Активируйте опцию выделения **Выбор группы объектов**, кликнув по соответствующей иконке в дополнительной панели инструментов. В рабочем окне выделите рамкой построенные стержни.

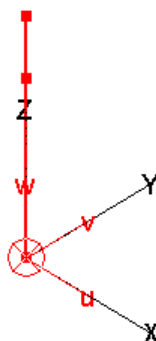




13. Для задания начальной и конечной точек вектора смещения в окне **Управление** нажмите на кнопку **Копировать**.



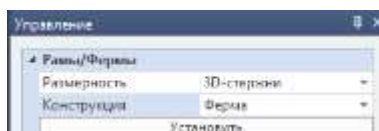
14. В качестве начальной точки укажите низ колонны, кликнув по соответствующему узлу.
15. Кликните в области рабочего окна и в появившемся диалоге укажите координаты низа средней колонны.



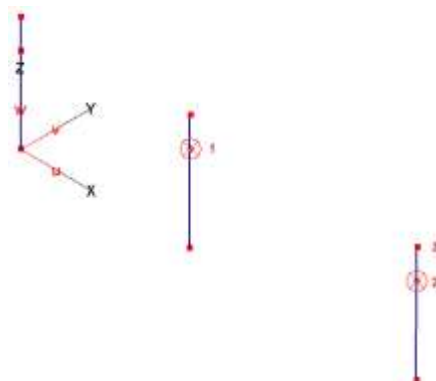
16. Снова кликните в области рабочего окна и укажите координаты правой крайней колонны. Обратите внимание, что в поля можно вводить не только числовые значения, но и арифметические выражения, которые автоматически будут посчитаны.
17. Завершите процесс копирования двойным кликом левой клавишей мыши на иконку **Домой**.



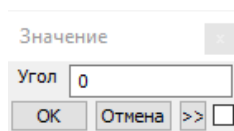
18. Вызовите команду **Элементы > Рамы/Фермы**.
19. В окне **Управление** в качестве регулярной части выберите **Фермы** и нажмите на кнопку **Установить**.



20. В рабочем окне последовательно укажите узлы привязки фермы, как показано на рисунке.

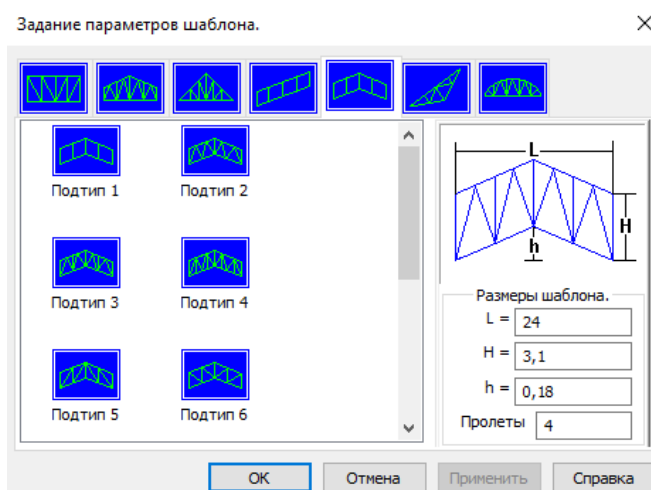


21. В появившемся диалоге укажите угол поворота фермы. Ввод данных подтвердите нажатием на кнопку **ОК**.

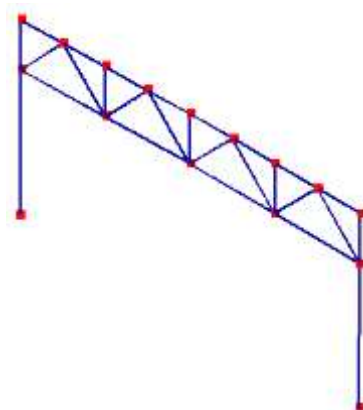


22. В окне **Задание параметров шаблона** перейдите во вкладку с шаблонами ферм с параллельными поясами и выберите **Подтип 3**.

23. Укажите размеры шаблона и нажмите на кнопку **ОК**.



24. Завершите процесс копирования двойным кликом левой клавишей мыши на иконку **Домой**.



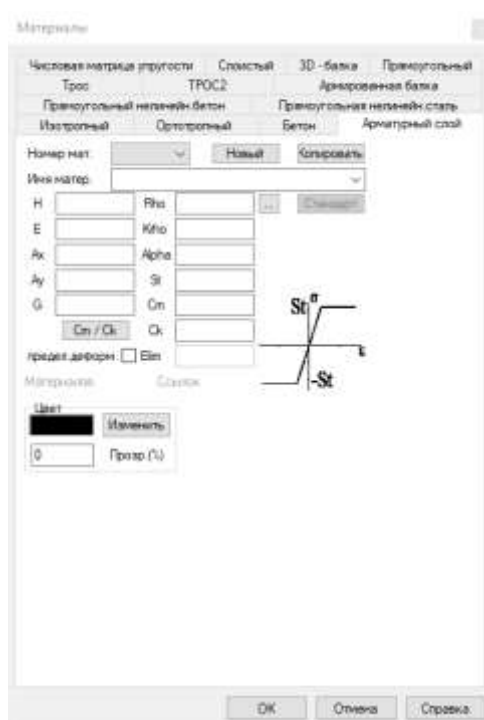
5 Задание материалов и сечений

5.1 Задание материалов модели

Совокупность параметров, характеризующих жесткостные свойства конечного элемента в **MicroFe**, называется **материалом**.

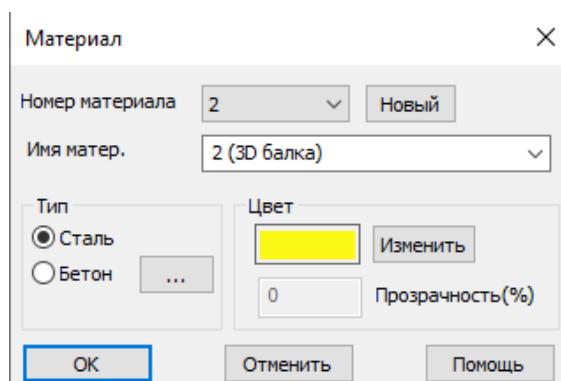
В параметры материала включаются упругие постоянные, плотность и геометрические характеристики, которые не зависят от геометрии конечного элемента (моменты инерции и площадь сечения для стержней, толщина - для оболочек).

Для каждого типа конечного элемента существует набор допустимых материалов. В конечно-элементном проекте, материалам присваиваются порядковые номера, начиная с 1. Каждому конечному элементу должен быть присвоен какой-то номер материала. Задание свойств материала осуществляется в диалоговом окне, которое вызывается с помощью пункта меню **Элементы > Редактор материалов > Редактор**.

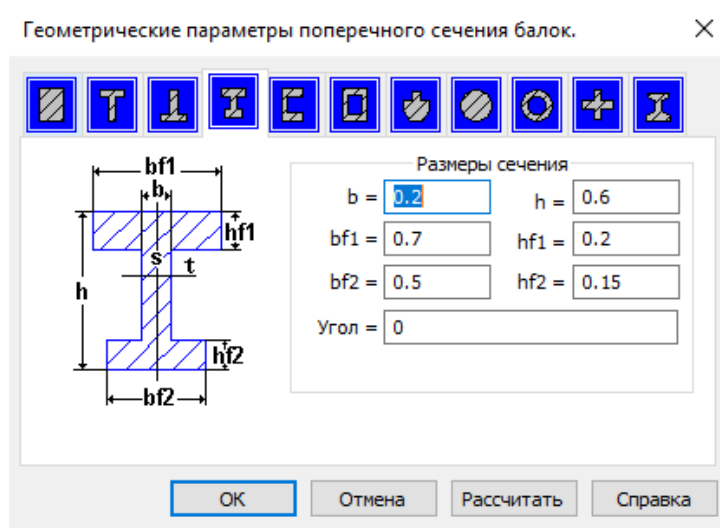


5.2 Задание сечений модели

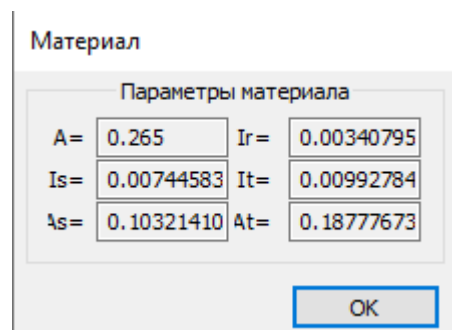
Для стандартных сечений в редакторе **Материал** задается номер материала 2D- или 3D-балок, геометрические характеристики сечения которых требуется определить.



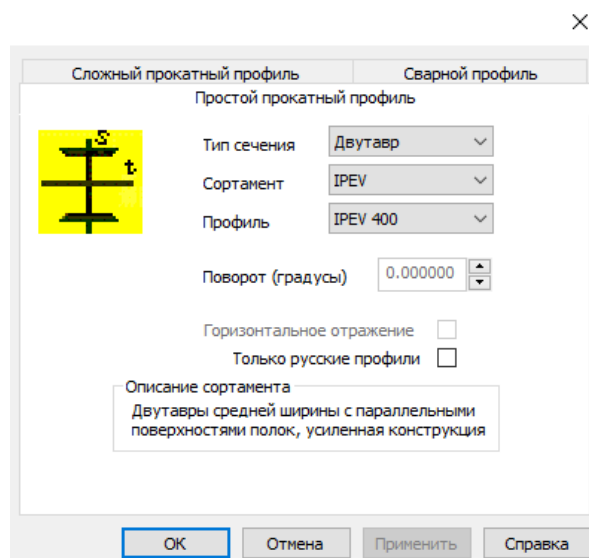
Указать можно уже существующий материал или создать новый. При выборе номера существующего материала, не являющегося материалом для балок, выдается сообщение об ошибке. В случае правильно заданного номера материала и выхода из диалога по кнопке **ОК**, на экране появляется диалог со стандартными конфигурациями поперечных сечений балок:



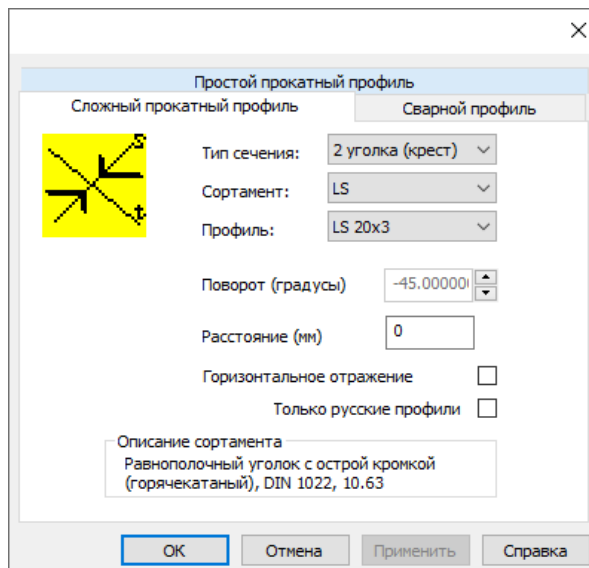
После выбора нужной конфигурации поперечного сечения и ввода размеров сечения балки (в метрах), с помощью кнопки **Рассчитать**, можно вызвать диалог и проконтролировать геометрические характеристики сечения.



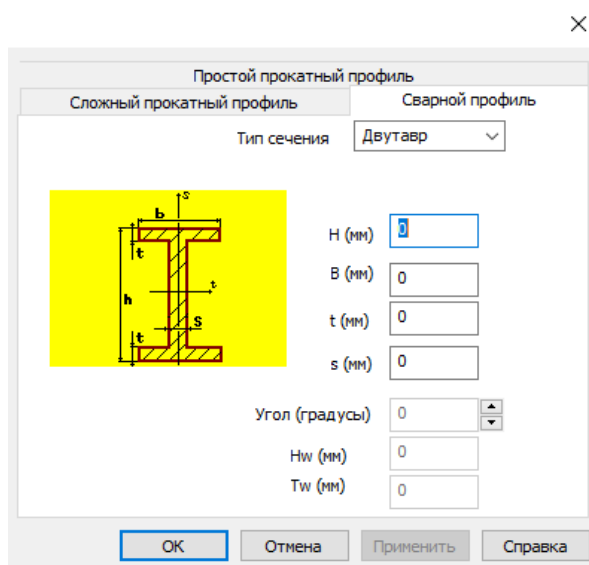
Если в редакторе **Материал**, в качестве типа материала, была выбрана **сталь**, то на экране появляется диалог задания стальных профилей различного вида.



Страница диалога **Простой прокатный профиль** позволяет задавать стальные сечения из стандартных сортаментов. Для выбора предлагаются следующие типы сечений: двутавр, квадратное сечение, короб, круглое сечение, плита, Z-образный профиль, рельс, тавр, труба, уголок, швеллер. После определения типа сечения, можно выбрать соответствующий этому типу сечения сортамент и соответствующий выбранному сортаменту профиль. Дополнительные возможности позволяют задать угол поворота сечения, горизонтальное отражение для уголкового профиля (графически иллюстрируется), а также задействовать выбор только российских профилей.



Страница диалога **Сложный прокатный профиль** позволяет задавать составные сечения из стандартных прокатных профилей. Тип сечения выбирается из заданного списка и отображается графически. Можно задать расстояние **a** между стандартными профилями и, определив угол поворота, изменить ориентацию составного сечения.

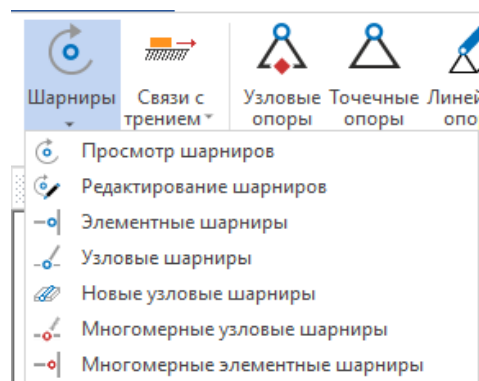


Задается сварной двутавр или два сварных двутавра, соединенных перемычкой.

6 Установка связей и контактов

6.1 Шарниры

В конечно-элементных проектах обычные **шарниры** моделируются освобождением связей по одной или нескольким степеням свободы между элементом и принадлежащим ему узлом конечно-элементной схемы. Таким образом, перемещение элемента с шарниром в узле отличается от перемещений других элементов, примыкающих к этому узлу (при отсутствии шарниров, перемещения всех элементов, примыкающих к узлу, одинаковы).



В более сложных случаях, связь освобождается не полностью, а есть некоторый закон, который устанавливает зависимость между усилием в шарнире и взаимным перемещением узла и отсоединенного от него элемента. Таким образом можно моделировать шарниры с пружиной, упруго-пластические шарниры, односторонние шарниры и т.д.

В программе реализовано несколько видов и подвидов шарниров, которые моделируют ряд способов соединения элементов в конструкциях:

- простые шарниры;
- шарниры с пружиной;
- односторонние шарниры;
- упруго-пластические шарниры;
- шарниры с внутренним трением;
- шарниры с ограниченными взаимными перемещениями.

Так как в программе реализованы достаточно сложные механизмы работы шарниров, понимание этих механизмов может потребовать некоторых усилий.

Простейший вариант реализации шарниров в программе - это элементные шарниры. Такие шарниры рекомендуется использовать, в основном, для стержневых систем. Элементные шарниры характеризуются тремя параметрами:

- степени свободы, по которым освобождаются связи;
- жесткость;
- тип.

Узловые шарниры работают аналогично элементным. Узловые шарниры, как следует из названия, привязываются к узлу и моделируют ситуацию, когда все примыкающие к этому узлу элементы могут перемещаться относительно друг друга. То есть, если к узлу примыкает n элементов, то узловой шарнир эквивалентен установке $n-1$ элементных шарниров в этом узле.

Узловые шарниры могут быть заданы в глобальной и локальной системах координат. Все параметры узловых шарниров задаются аналогично элементным шарнирам типа 0.

Примечание. Не допускается использование узловых шарниров в задачах на поиск собственных значений (задачи на определение форм собственных колебаний системы и задачи устойчивости).

"Новые" узловые шарниры предназначены, в первую очередь, для работы с плитами, оболочками и балками-стенками. Узлы, в которых установлены такие шарниры, дублируются, то есть возникает несколько узлов с одинаковыми координатами.

Перемещения этих дублирующихся узлов полностью совпадают, за исключением тех степеней свободы, по которым установлены шарниры.

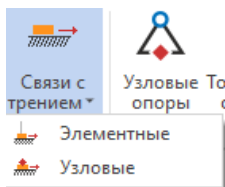
Использование обычных шарниров в оболочечных системах не позволяет адекватно смоделировать ситуацию с разделением системы на две части вдоль какой-либо линии.

Для элементных и "новых" узловых шарниров может быть задана более сложная зависимость между усилием и относительным перемещением в шарнире. Возможно задание двух вариантов зависимости: кусочно-линейная и кусочно-квадратичная.

Примечание. В областях текучести и разрушения, сходимость расчета не гарантирована.

Связь с трением – это шарнир, жесткость которого зависит от усилия в другом направлении.

Например, связь по X, жесткость которой зависит от реакции в узле по Z.



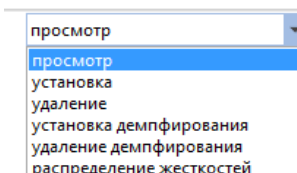
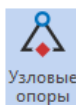
6.2 Краевые условия

Краевые условия в **FEA-проектах** могут быть установлены для:

- Узлов (узловые краевые условия и узловые краевые условия общего типа). При установке выбираются узлы **FEA-проектов**.
- Сторон плоских элементов (плит и оболочек). При установке выбираются стороны плоских элементов.
- Самих плоских элементов (плит и оболочек). При установке выбираются плоские элементы.

Узловые краевые условия устанавливаются только для одного узла, узловые краевые условия общего типа могут устанавливаться для группы узлов.

Узловые опоры используются для задания краевых условий в узле.



При выборе операции **установка**, на экране появляется окно **Управление**, позволяющее задать степени свободы и соответствующие жесткости, тип опоры и систему координат.

После чего, в рабочем окне выбираются узлы, которым присваиваются заданные краевые условия. Можно задать несколько направлений, один тип системы координат и один тип краевого условия.

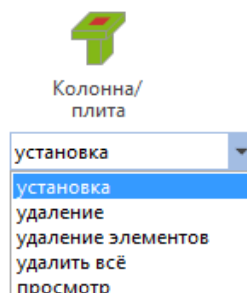
Точечные опоры. В отличие от узловых опор, привязываемых к узлу, **точечные опоры** привязываются к элементу, и при редактировании геометрии элемента, краевые условия для угла или конца элемента сохраняются.

Линейные опоры. Функция **линейные опоры** предназначена для установки, редактирования и удаления краевых условий на сторонах плоских элементов **FEA-проектов**.

Поверхностные опоры. Функция **поверхностные опоры** предназначена для установки, редактирования и удаления краевых условий в элементе для **FEA-проектов**.

6.3 Специальные связи

Колонна/плита. Функция **колонна/плита** служит для установки, редактирования и удаления связей для учета совместной работы пластины/плиты и колонны (**CLPL / RBKF**).



Несогласованные сетки предназначены для выполнения условий совместности обобщенных перемещений и обобщенных напряжений плоских элементов, не обязательно примыкающих друг к другу геометрически. Использование несогласованных сеток позволяет упростить генерацию конечно-элементных сеток для сложных конструкций (независимая генерация конечно-элементных сеток для простых областей конструкции с их последующим объединением с использованием несогласованных сеток), а также объединять области с разным шагом конечно-элементных сеток. Использование шарниров для несогласованных сеток модифицирует условия совместности обобщенных перемещений и обобщенных напряжений.



Несогласованные
сетки

Объединение перемещений. Функция **объединение перемещений** позволяет осуществлять установку, редактирование и удаление групп узлов, у которых перемещения по тем или иным направлениям, в тех или иных системах координат, совпадают (**KOPL**).



Объединение
перемещений

Кинематическая гипотеза. Функция **кинематическая гипотеза** позволяет осуществлять установку, редактирование и удаление групп узлов, перемещающихся как абсолютно твердое тело **RIGI** (так называемая *кинематическая гипотеза*).

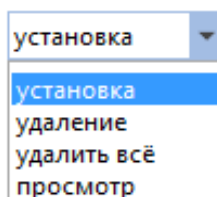


Кинематическая
гипотеза

Балка/стена. Функция **балка/стена** используется для установки, редактирования и удаления групп балок, с прилегающими к ним элементами стен, для учета совместной работы при расчете (**CLWL**).

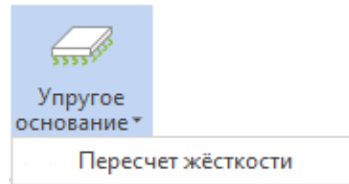


Балка/
стена

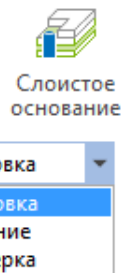


6.4 Группа «Основание»

Упругое основание. Функция **упругое основание** служит для установки, редактирования и удаления упругих оснований для **FEA-проектов**. Разные упругие основания изображаются различными цветами. Опция **Пересчет жёсткости** позволяет, по заданным аналитическим формулам, пересчитать жёсткости в узлах упругого основания.



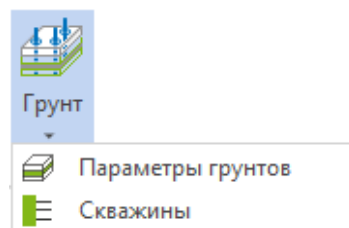
Слоистое основание. Функция **слоистое основание** позволяет смоделировать слоистое основание для конечно-элементных (**FEA-проектов**). С помощью операции **удаление**, удаляются заданные ранее слоистые основания. Операция **проверка** позволяет проанализировать корректность параметров заданных оснований по критериям возможности формирования массива грунта. При возникновении конфликтов, указываются координаты места конфликта.



Сваи. Функция **сваи** служит для установки и удаления свай.



Грунт. Функция **грунт** позволяет задавать скважины и характеристики грунтов.



При выполнении статического расчета, если задана опция **Характеристики по скважинам**, материалам сгенерированных объемных элементов слоистого основания будут назначены характеристики (жёсткости) грунтов в скважинах, согласно алгоритму генерации. Если опция не выбрана, материалам объемных элементов слоистого основания будут присвоены характеристики слоёв грунта, заданных с помощью функции **Слоистые основания**.

7 Задание и редактирование нагрузок

7.1 Основные нагрузки

Данная лента меню позволяет просматривать и редактировать нагрузки для конечно-элементных проектов.



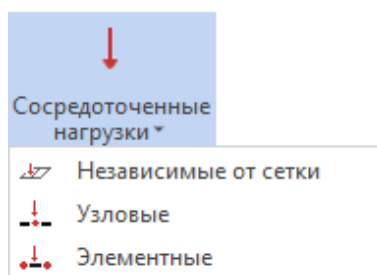
В программе поддерживается использование следующих типов нагрузок:

- Узловые нагрузки;
- Элементные нагрузки конечно-элементных проектов (сосредоточенные, равномерно-распределенные, температурные, независимые от сетки и т.д.);
- Свободные нагрузки на конечные элементы;
- Несовершенства балочных элементов (отклонения оси элементов от прямолинейной оси);
- Осадки (деформационные нагрузки) опор и элементов для конечно-элементных проектов;
- Нагрузки преднапряжения для стержневых и оболочечных конечных элементов.

Заданные нагрузки присваиваются разным группам, которые называются **случаями нагружения** или просто **нагружениями**. Ввод нулевого номера нагружения, при удалении нагрузок, означает удаление нагрузок во всех нагружениях. В программе предусмотрено масштабирование изображения нагрузок относительно размеров проекта или размеров экрана.

7.2 Сосредоточенные нагрузки

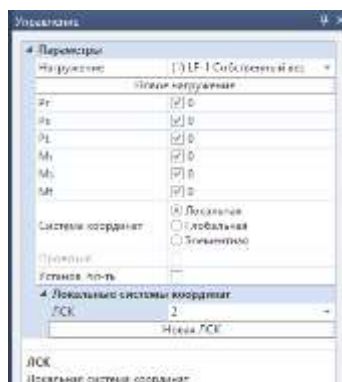
Сосредоточенными нагрузками являются силы и моменты.



7.2.1 Нагрузки независимые от сетки

Функция **независимые от сетки точечные нагрузки** предназначена для установки, редактирования и удаления, независимых от сетки, приложенных в точке (точечных) нагрузок.

При выборе операции **установка**, на экране появляется окно следующего вида:



Для установки **точечной нагрузки**, необходимо:

- с помощью опций **Pr**, **Ps**, **Pt**, **Mr**, **Ms**, **Mt**, выбрать требуемое направление нагрузки;
- используя опции **Локальная**, **Глобальная**, **Элементная**, задать нужную систему координат (если выбрана локальная система координат, необходимо указать ее номер);
- в выпадающем списке указать номер нагружения;
- используя поле редактора ввода, задать значение нагрузки;
- для пространственных конструкций, по 3-м точкам, задать плоскость для показа нагружаемых элементов.
- установить точку приложения нагрузки в этой плоскости, отметив ее в рабочем окне проекта, или задав ее координаты в окне редактора ввода.

Нагрузку можно установить только на оболочечные элементы.

Операция **удалить** позволяет удалить ранее введенные нагрузки, при этом на экране появляется диалог, аналогичный диалогу **установки**. Выбор удаляемых нагрузок осуществляется щелчком левой клавишей мыши в рабочем окне. Предлагаемые для удаления нагрузки выделены красным цветом.

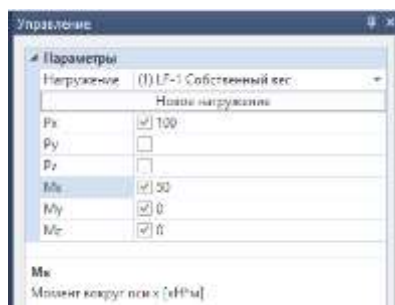
Режим **просмотр** позволяет просмотреть местоположение и значение установленных нагрузок. Выбор нагрузок для показа осуществляется с помощью диалога, аналогичного диалогу **установки**.

Расширенный просмотр осуществляет показ нагрузок только для зоны или точки, выбранной в рабочем окне с помощью рамки или одиночного выбора. Дополнительно на экране отображается информация о параметрах системы координат, в которой установлена нагрузка.

7.2.2 Узловые нагрузки

Функция **узловые нагрузки** предназначена для установки, редактирования и удаления узловых нагрузок.

При выборе операции **установка**, на экране появляется окно, позволяющее установить направление действия узловых нагрузок и номер нагружения:



После выбора направления действия **узловой нагрузки**, справа от 'галочки' активизируется поле ввода, в котором можно задать значение нагрузки. После ввода всех нагрузок, в рабочем окне необходимо отметить узлы, в которых должны устанавливаться нагрузки. Если в узлах для актуального номера нагружения в заданных направлениях уже заданы узловые нагрузки, то они заменяются новыми значениями.

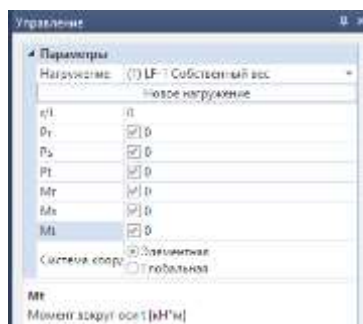
Операция **удаление** позволяет удалить ранее введенные нагрузки. При этом на экране появляется диалог, аналогичный диалогу **установки**, позволяющий установить направления и номер нагружения для удаляемых нагрузок. При выборе нулевого номера нагружения, удаляются нагрузки в отмеченных узлах, в заданных направлениях, во всех нагружениях. В противном случае, удаляются все узловые нагрузки в отмеченных узлах, для заданного номера нагружения.

Режим **просмотр** позволяет просмотреть местоположение и значение установленных нагрузок. Выбор нагрузок для показа осуществляется с помощью диалога, аналогичного диалогу **установки**.

7.2.3 Элементные нагрузки

Функция **элементные нагрузки** предназначена для установки, редактирования и удаления сосредоточенных сил и моментов для балочных элементов **FEA-проектов**.

При выборе операции **установка**, на экране появляется окно следующего вида:

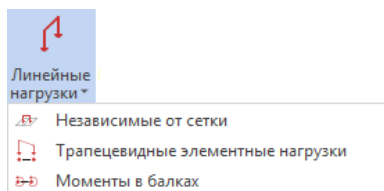


После выбора номера нагружения и направлений действия нагрузок, справа от соответствующих 'галочек' активизируются поля ввода, в которых задаются значения нагрузок. Указав точку приложения нагрузки, необходимо перейти в рабочее окно и выбрать балочные элементы, на которые действуют заданные силы и моменты.

Для **удаления** нагрузки в рабочем окне отмечаются балочные элементы, в которых для заданного номера нагружения и в заданных направлениях удаляются сосредоточенные силы и моменты. Задание нулевого номера нагружения означает удаление сосредоточенных нагрузок во всех нагружениях.

7.3 Линейные нагрузки

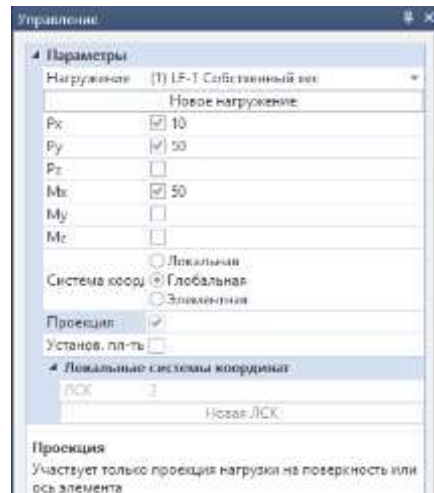
Линейными нагрузками являются силы и моменты, распределённые по длине.



7.3.1 Нагрузки независимые от сетки

Функция **независимые от сетки распределенные нагрузки** предназначена для установки, редактирования и удаления независимых от сетки, распределенных по длине (линейных) нагрузок.

При выборе операции **установка**, на экране появляется окно следующего вида:



В отличие от ввода сосредоточенных нагрузок, при вводе линейных нагрузок, в каждой вершине полилинии могут задаваться различные значения и направления нагрузки. Задание очередной полилинии завершается повторным вводом последней введенной точки. Для удобства, последняя точка помечается красным кружочком. Щелчком левой клавишей мыши в этом кружочке завершается ввод полилинии. Отмена ввода последней точки осуществляется с помощью правой клавиши мыши. Примечание. При активизации опции **Проекция**, в расчете будет участвовать только проекция этой нагрузки.

7.3.2 Трапециевидные элементные нагрузки

Функция **трапециевидные элементные нагрузки** предназначена для установки, редактирования и удаления трапециевидных нагрузок балочных элементов.

При выборе операции **установка**, на экране появляется окно следующего вида:



Нагружение - задается номер нагружения, в котором действуют нагрузки.

Нагрузка - выпадающий список выбора направления действия нагрузки. В зависимости от типа элемента (типа проекта), не все направления действия нагрузок являются доступными. Выбор заблокированного направления не

вызывает никаких действий.

a/l, b/l - начальная и конечная точки приложения трапецевидной нагрузки. Задаются как отношение расстояния от начала/конца стержня до точки действия нагрузки к длине стержня. Эти значения должны располагаться между нулем и единицей.

Pra, Prb, Psa, Psb, Pta, Ptb, Mra, Mrb, Msa, Msb, Mta, Mtb - значения сил [кН/м] и моментов [кН*м/м] в начальной и конечной точках трапецевидной нагрузки.

После определения всех необходимых параметров, в рабочем окне выбираются элементы, в которых должны устанавливаться нагрузки. Если на выбранном элементе нагрузка уже установлена, то на экране появляется сообщение, позволяющее пользователю выбрать нужное действие.

7.3.3 Моменты в балках

Операция **моменты в балках** используется для установки, редактирования и удаления равномерно распределенных моментов на балочных элементах.

При выборе операции установка, на экране появляется окно следующего вида:

Параметры	
Нагружение	(1) LF-1 Собственный вес
Новое нагружение	
Mr	☒ 100
Ms	☒ 50
Mt	☐
Mr	
Момент вокруг оси г [кН*м/м]	

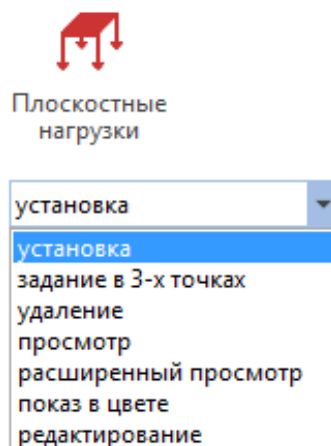
После задания всех необходимых значений, в рабочем окне выбираются балочные элементы, на которых должны устанавливаться нагрузки.

Операция **удаление** позволяет удалить ранее введенные моменты в балках. При этом на экране появляется диалог, аналогичный диалогу **установки**, позволяющий установить направления и номер нагружения для удаляемых моментов. Выбор удаляемых моментов осуществляется в рабочем окне с помощью рамки или одиночного выбора.

При выборе нулевого номера нагружения, удаляются указанные моменты во всех нагружениях. В противном случае, удаляются все указанные моменты для заданного номера нагружения.

7.4 Плоскостные нагрузки

Функция **плоскостные нагрузки** предназначена для установки, редактирования и удаления нагрузок, распределённых по плоскости (плоскостных). Плоскостная нагрузка задается в виде плоского полигона, значения нагрузки задаются в точках этого полигона. Если значения нагрузки совпадают во всех точках, то нагрузка является постоянной поверхностной нагрузкой, в противном случае, нагрузка является трапецеидальной (или неравномерной). В случае трапецеидальной нагрузки, значения нагрузки в произвольной точке полигона определяется по плоскостному закону.



При выборе операции **установка**, на экране появляется окно следующего вида:

Управление

Параметры

Нагружение: (1) LF-1 Собственный вес

Новое нагружение

Pr: ☒ 10

Ps: ☒ 50

Pt: ☒ 0

Система координат: ☒ Локальная, ☐ Глобальная, ☐ Элементная

Проекция: ☐

Установ. пл-ть: ☐

Локальные системы координат

ЛСК: 2

Новая ЛСК

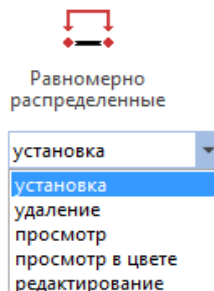
Система координат

Система координат, в которой задаются нагрузки

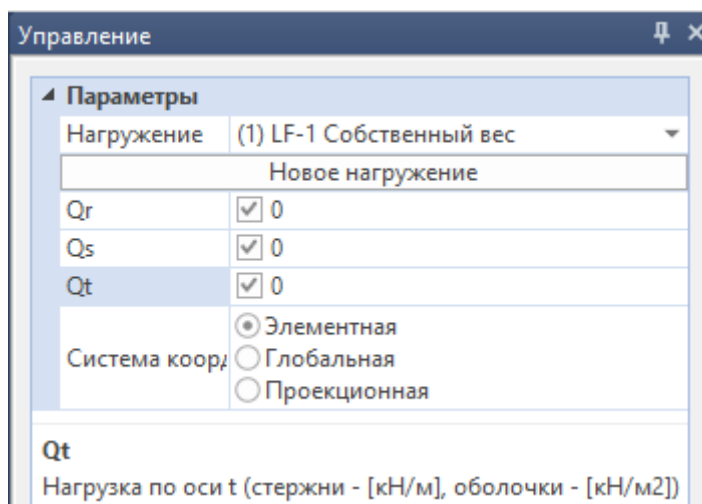
Установить нагрузки в пространственных конструкциях можно только после задания **секущей плоскости**. Активизация опции **Установить плоскость**, позволяет для пространственных конструкций, в режиме установки нагрузок, задать секущую плоскость по **3-м точкам**.

7.5 Равномерно распределенные нагрузки

Распределенная нагрузка, имеющая постоянную интенсивность по всей длине участка, называется равномерно распределенной. Данная функция предназначена для установки, редактирования и удаления равномерно распределенных нагрузок.



При выборе операции **установка**, на экране появляется окно следующего вида:

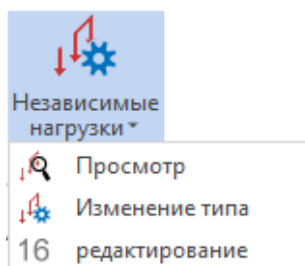


После выбора номера нагружения, системы координат и направления действия нагрузки, справа от 'галочки' активизируется поле ввода, в котором можно задать значение нагрузки. После этого в рабочем окне отмечаются элементы, на которые действуют заданные нагрузки.

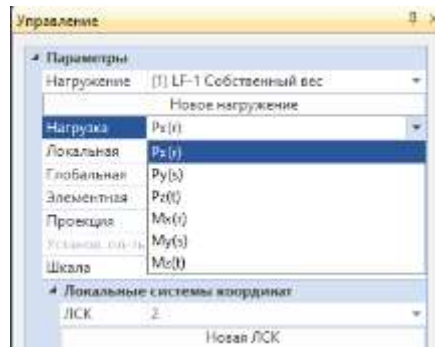
7.6 Инструменты редактирования нагружений и нагрузок

7.6.1 Независимые нагрузки

Данная вариантная кнопка объединяет сервисные функции для независимых нагрузок.



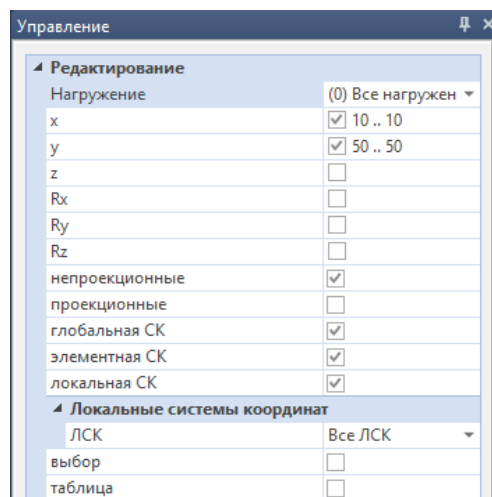
При выборе операции **Просмотр**, на экране появляется диалог, позволяющий управлять установками просмотра независимых нагрузок.



Здесь можно выбрать направление нагрузки, указать систему координат, обеспечить показ только тех нагрузок, для которых в расчетах участвуют проекции нагрузок, и, наконец, отобразить нагрузки в цвете.

При выборе операции **Изменение типа**, на экране появляется диалог, позволяющий изменить тип нагрузки (проеекционная/непроеекционная) и выбрать другую систему координат.

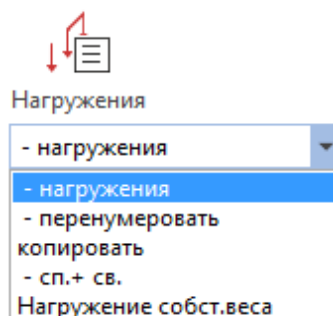
При выборе операции **Редактирование**, на экране появляется диалог, позволяющий изменить значение нагрузок.



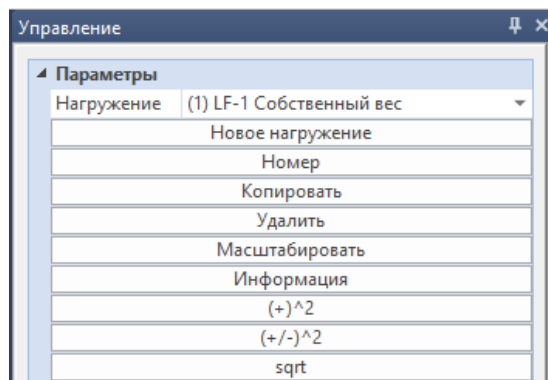
При активной опции **выбор**, редактируемая нагрузка выбирается в рабочем окне.

7.6.2 Редактирование нагрузений

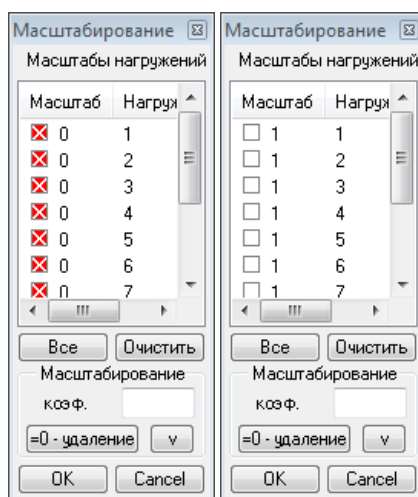
Функция **нагружения** позволяет обрабатывать нагружения как единое целое, а не как совокупность отдельных нагрузок.



При выборе операции **нагружения**, на экране появляется диалог следующего вида:

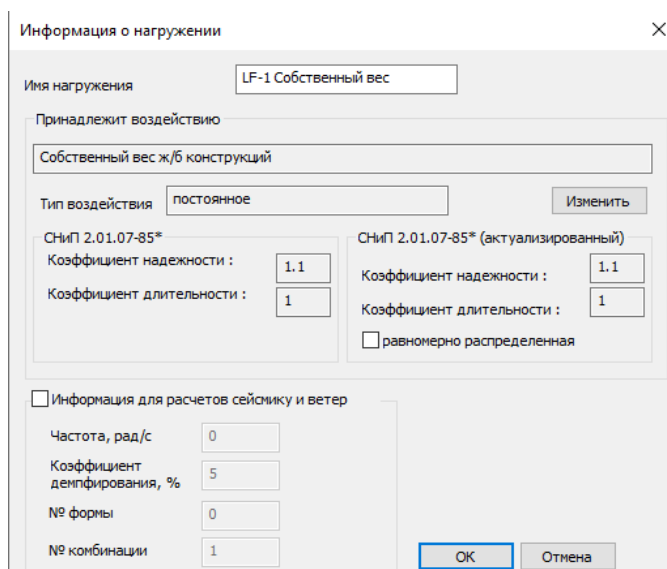


Если актуальным является нулевое нагружение, то при выборе функции **Удалить** или **Масштабировать**, появляется соответствующий диалог:

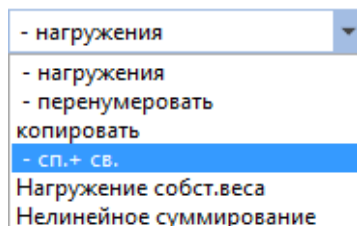


В диалоге выведен список масштабов для всех нагружений, в которых есть хотя бы одна нагрузка (первоначально **0** - для функции **Удалить** и **1** - для функции **Масштабировать**).

Редактирование имени нагружения и информации для расчетов сейсмики и ветра осуществляется в диалоге **Информация о нагружении**, который вызывается кнопкой **Информация** диалога **Управление**.



Операция сложение сейсмических воздействий (сп. + св.) позволяет формировать новые нагрузки как результат сложения нагрузок (с произвольными коэффициентами) разных сейсмических воздействий по формам.



7.6.3 Табличный редактор

Функция **Табличный редактор** позволяет редактировать и обрабатывать нагрузки с помощью таблицы.



При вызове данной функции, на экране появляется диалог **Редактор нагрузений**.

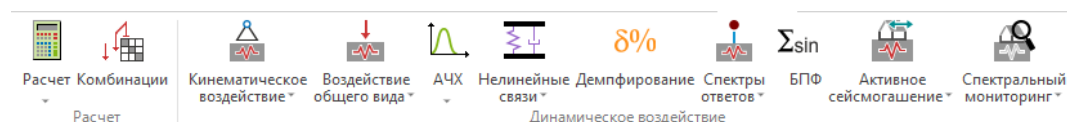
Скриншот диалога 'Редактор нагрузений'. Вверху есть выпадающий список 'Нормы по нагрузкам и воздействиям' со значением 'СП 20.13330-2016'. Ниже расположена таблица с 7 столбцами: '№', 'Нагружение', 'Увели воздействия', 'Тип воздействия', 'Кн...', 'Кд...', 'Дополнительно'. В таблице 5 записей. Внизу диалога расположены кнопки: 'Новое нагружение', 'Изменить тип воздействия', 'Копировать', 'Перенумеровать нагружение', 'Масштабировать нагружение', 'Удалить нагружение', 'ОК', 'Отмена', 'Помощь'.

№	Нагружение	Увели воздействия	Тип воздействия	Кн...	Кд...	Дополнительно
1	LF-1 Собственный вес	Собственный вес ж/б конструкций	Постоянное	1.1	1	
2	(1_ЭПДБ-1)-1 Нагружение автоматическое созд	Равномерно распределенная нагрузка - жилые помещ.	Кратковремен...	1.3	0.35	
3	(2_ЭПДБ-1)-1 Нагружение автоматическое созд	Равномерно распределенная нагрузка - жилые помещ.	Кратковремен...	1.3	0.35	
4	(3_ЭПДБ-1)-1 Нагружение автоматическое созд	Равномерно распределенная нагрузка - жилые помещ.	Кратковремен...	1.3	0.35	
5	(4_ЭПДБ-2)-1 Нагружение автоматическое созд	Равномерно распределенная нагрузка - жилые помещ.	Кратковремен...	1.3	0.35	

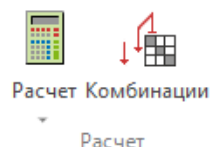
В табличном редакторе возможно:

- Задать новое нагружение
- Изменить тип воздействия
- Копировать нагружение
- Перенумеровать нагружения
- Масштабировать нагружения
- Удалять нагружения

8 Расчет модели



8.1 Общий расчет



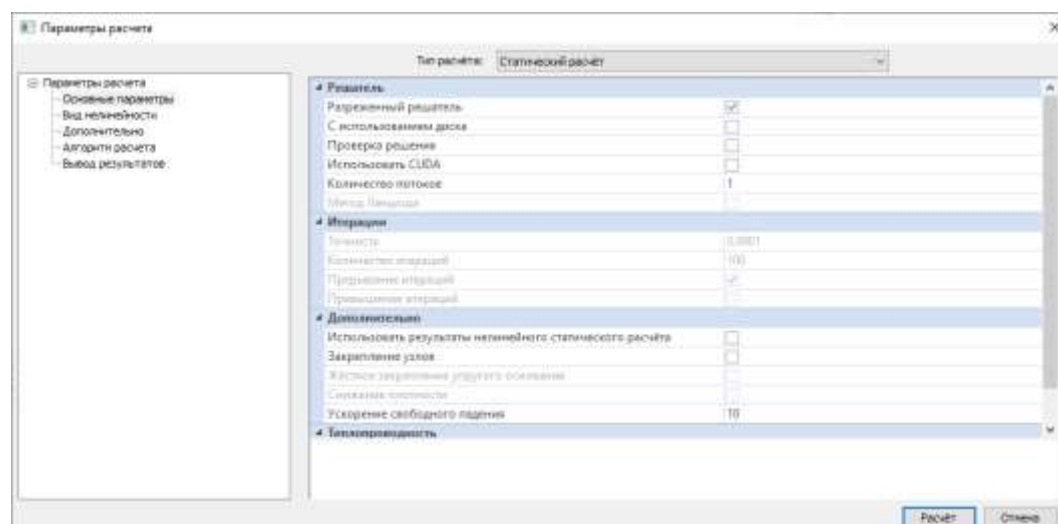
Функция **расчет** используется для запуска общего расчета для конечно-элементной модели. Нагрузки вводятся в программе по случаям нагружения. Для обработки результатов расчета необходимо задание **комбинаций** случаев нагружения.

При **линейных расчетах** справедлив принцип суперпозиции, поскольку существует линейная зависимость между нагружением несущей конструкции и результатами расчета (перемещениями в узлах, усилиями в сечениях и т. д.). Поэтому деформации, усилия в опорах и усилия в сечениях рассчитываются и записываются по случаям нагружения. При просмотре результатов и проведении конструктивных расчетов, результаты по случаям нагружения свободно комбинируются.

Кроме линейных расчетов, в программе предоставлена возможность проведения **нелинейных расчетов**:

- расчет по нелинейным теориям;
- расчет конструкций с нелинейными связями (пружины, работающие только на растяжение или сжатие, стержни, работающие только на растяжение, односторонние шарниры).

При вызове функции **расчет**, на экране появляется диалог **выбора типа расчета**:



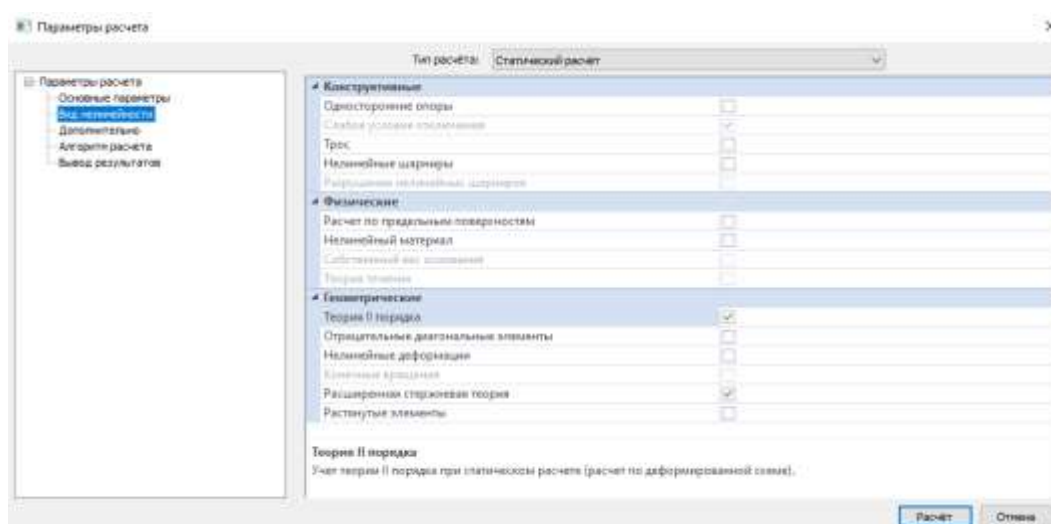
Нелинейные расчеты проводятся итерационно. Если для заданного максимального количества итераций (поле ввода **Количество итерации**) точность не достигнута, то расчет, в любом случае, прекращается. При активной опции **Превышение итераций**, результаты расчета на последней итерации сохраняются. Если эта опция отключена, - не сохраняются.

Точность проверяется по каждой степени свободы. Максимальная разность между перемещениями, вычисленными для последней и предпоследней итерации, не должна превышать указанного значения точности (поле ввода **Точность**).

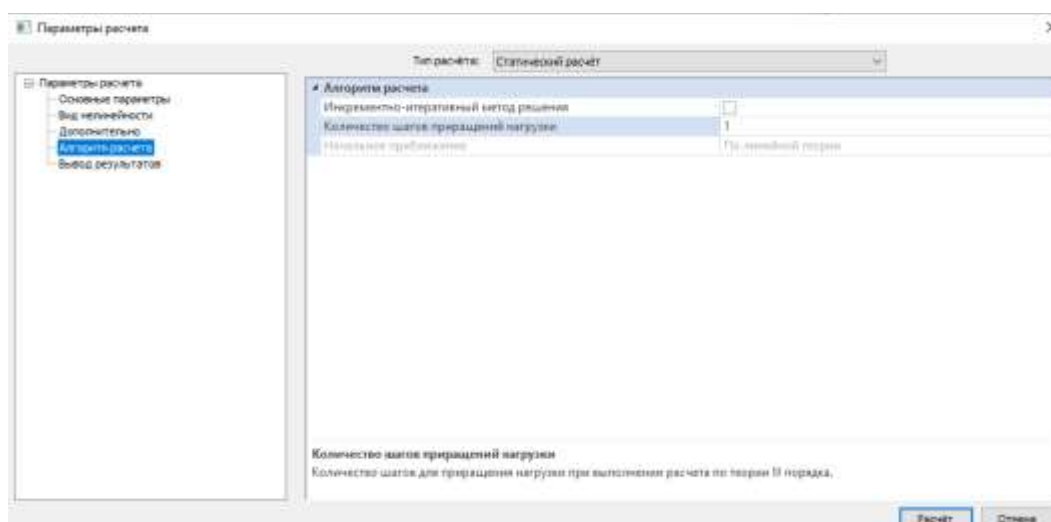
При изменении комбинаций нагрузжений потребуется провести расчет повторно. Опция **Прерывание итераций** управляет проведением расчета при возникновении нештатных ситуаций. Если в процессе расчета выясняется, что результаты для какой-либо комбинации, в принципе, не могут быть получены, то при активной опции **Прерывание итераций**, расчет прекращается, и результаты для других комбинаций не записываются. Если эта опция отключена, то расчет для других комбинаций продолжается, а для комбинации, при расчете которой возникла ошибка, записываются нулевые результаты.

При выборе параметра расчета **Вид нелинейности**, на экране появляется диалог позволяющий выбрать опцию **Теория II порядка**, при которой выполняется расчет с учетом влияния продольных усилий на изгиб (расчет по деформированной схеме – теория больших перемещений и малых деформаций).

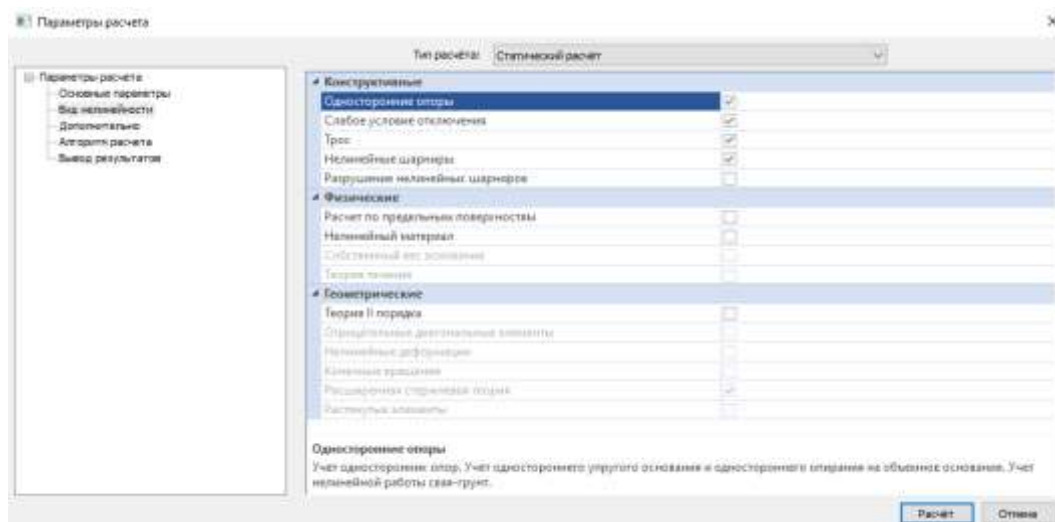
При активной опции **Нелинейные деформации**, возможен расчет конструкций (например, гибких оболочек-мембран) **по теории III порядка (геометрически нелинейный расчет - теория больших перемещений и больших деформаций)**.



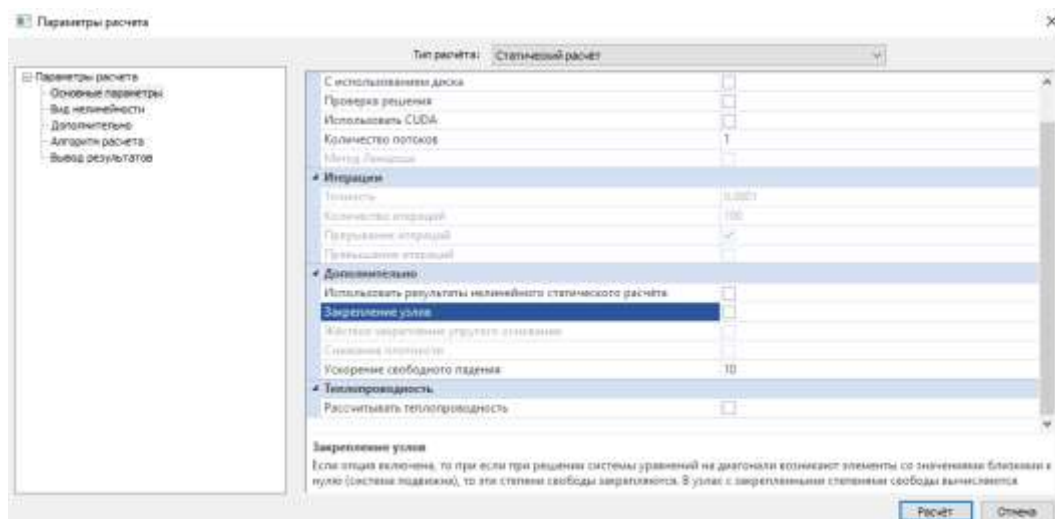
При расчете, можно использовать шаговое изменение нагрузок, задав количество шагов в поле ввода **Количество шагов приращений нагрузки**.



Использование опций **Трос**, **Односторонние опоры**, **Нелинейные шарниры** позволяет выполнять нелинейный расчет с учетом односторонне работающих элементов, односторонних краевых условий, односторонних шарниров, если такие свойства системы были использованы при задании расчетной схемы.



В процессе расчета может появиться сообщение о том, что система является подвижной. Если при этом опция **Закрепление узлов** отключена, то процесс расчета будет прерван. При активной опции **Закрепление узлов**, процесс расчета будет продолжен.

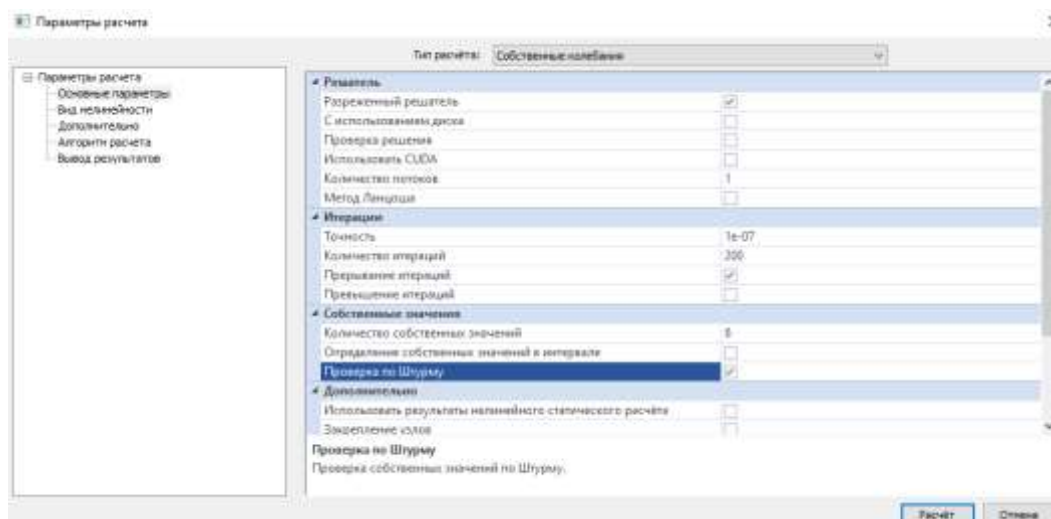


При использовании метода конечных элементов, для решения систем линейных алгебраических уравнений, везде применяется вариант алгоритма Гаусса для схемы профильного или разреженного хранения матрицы жесткости системы.

Опция **разреженный решатель** позволяет провести расчет с высокой скоростью, но требует большого количества оперативной памяти. Возможен расчет **с использованием диска** в случае, когда решение систем уравнений превышает требуемое количество RAM-памяти. Так же возможно **использовать CUDA** для решения систем уравнений. Опция позволяет использовать ресурсы мощных видеокарт NVidia.

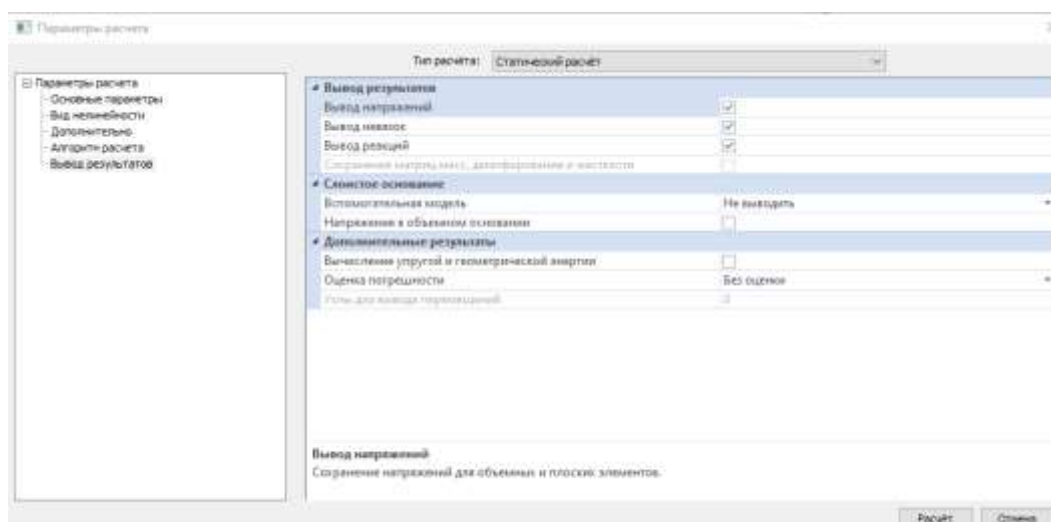
Количество потоков позволяет определить количество используемых ядер процессоров при расчете. При задании количества потоков равных нулю, количество потоков определяется автоматически.

В задачах на собственные значения (собственные колебания, устойчивость, спектральный сдвиг), если не выбран Метод Ланцоша, задача решается методом итераций подпространства, и может возникнуть ситуация, когда будет пропущено одно или несколько собственных значений. **Проверка по Штурму** позволяет отследить такую ситуацию.



Вывод результатов. В некоторых случаях, когда не требуется знать все результаты расчета, можно ограничить вывод результатов и тем самым сэкономить место на жестком диске. Область диалога **Вывод результатов** позволяет отключить **Вывод напряжений** в элементах, **Вывод реакций** и **Вывод невязок**. При расчете конструкций с учетом поэтапного возведения, можно включить вывод результатов (напряжений, перемещений, реакций) для промежуточных этапов. При включенной функции **вспомогательная модель** произойдет формирование вспомогательного файла для просмотра геометрии, распределения материалов и напряжений в массиве грунта. **Оценка погрешности** позволяет по результатам статического расчета провести оценку по одному из критериев оценки погрешности.

Оценка погрешности	Без оценки
Узлы для вывода перемещений	Без оценки
	Критерий 1
	Критерий 2
	Критерий 3
	Все критерии



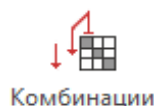
Собственные значения. В задаче линейного динамического анализа реализована возможность находить все собственные пары, собственные числа которых лежат в заданном интервале. Полученные собственные числа упорядочены по расстоянию до середины заданного интервала.

В задаче линейного спектрального анализа реализована возможность находить все собственные пары, собственные числа в которых меньше наперед заданного значения.

Задача идентификации - это задача определения жесткостных характеристик элементов системы по частотам собственных колебаний. Для их определения используется алгоритм Постнова. Для решения задачи идентификации, надо выбрать опцию **Тип расчета > Задача идентификации**.

8.2 Комбинации нагрузжений

Функция **комбинации** используется для ввода, редактирования комбинаций нагрузжений.



При вызове функции, на экране появляется диалог, содержащий страницы для задания разных типов комбинаций.

Задание и корректировка комбинаций

Комбинации Собств. колебания Доп. комбинации Несовершенства

	K-1
1.LF-1 Собственный вес	1
2.(1_ЭТПП-1)-1 Нагружение автоматически созд	1
3.(2_ЭТПП-1)-1 Нагружение автоматически созд	1
4.(ПЭПП-1)-1 Нагружение автоматически созд	1
5.(ПЭПП-2)-1 Нагружение автоматически созд	1

Новая Удалить Восстановить

Задать свойства нелинейных комбинаций ... Лин./нелин. 1 Задать

Нелинейные комбинации для сейсмических воздействий

Вывод комбинаций

☒ Word ☐ Viewer Вывести Свойства

Импорт Экспорт

OK Отменить Помощь

Страница **комбинации** используется для задания обычных комбинаций и нелинейных комбинаций для результатов статического расчета.

Комбинация – это набор коэффициентов для нагрузений, на которые умножаются нагрузочные эффекты при показе результатов для линейного расчета или при нелинейном расчете, а также - расчете на устойчивость.

Нелинейные комбинации – это комбинации, в которых есть зона нелинейного суммирования (выделяется голубым цветом). Эта зона определяется через диалог задания свойств **нелинейных комбинаций**.

В каждой **нелинейной комбинации** может быть только одна непрерывная зона (то есть нагружения, для которых задано нелинейное суммирование, должны идти подряд). **Нелинейные комбинации** могут быть использованы только для результатов линейных расчетов.

Страница **собственные колебания** используется для задания комбинации коэффициентов для преобразования нагрузок в массы. Коэффициенты применяются ко всем типам нагрузок, входящих в соответствующие нагружения. Также могут быть заданы коэффициенты демпфирования по массе для масс, полученных из нагружений. Коэффициент для нагружения 1 не влияет на формирование масс от собственного веса, полученного из свойств материала. Должна быть задана только одна комбинация.

Страница **дополнительные комбинации** позволяет задать комбинации для расчета на устойчивость с учетом сложного нагружения. Нагружения, участвующие в **дополнительных комбинациях**, не меняются при расчете на устойчивость.

Нагружения, использованные в **дополнительной комбинации**, не должны входить в обычную комбинацию. Дополнительных комбинаций должно быть столько же, сколько и обычных комбинаций (в расчете на устойчивость используется пара: обычная - дополнительная комбинации).

Страница **несовершенства** позволяет задать комбинацию коэффициентов для несовершенств. На основе заданной комбинации, формируется новая геометрия начального состояния системы. Должна быть задана только одна комбинация.

Коэффициенты комбинаций задаются в таблице. Строки таблицы соответствуют нагружениям, столбцы – комбинациям. Комбинации обозначаются **К-п**, где п – номер комбинации. Звездочка в обозначении комбинаций (например, **К-1***) соответствует нелинейным комбинациям. Для обозначения нагружения используется номер нагружения и имя.

Новая комбинация задается при нажатии на кнопку **Новая**. С помощью кнопки **Удалить**, удаляется выбранная комбинация. Выбор комбинации осуществляется щелчком левой клавишей мыши в соответствующем столбце. Кнопка **Восстановить** позволяет вернуть значения таблицы комбинаций к состоянию до редактирования. Кнопки ,  и  позволяют быстро задавать стандартные значения для отмеченного блока в таблице комбинаций. Отметка блока производится при помощи мыши.

При двойном щелчке левой клавишей мыши на имени нагружения, на экране появляется диалог, с помощью которого можно изменить имя нагружения и отредактировать информацию для расчетов сейсмики и ветра.

✕

Информация о нагружении

Имя нагружения LF-1 Собственный вес

Принадлежит воздействию

Собственный вес ж/б конструкций

Тип воздействия постоянное Изменить

СНиП 2.01.07-85*

Коэффициент надежности : 1.1

Коэффициент длительности : 1

СНиП 2.01.07-85* (актуализированный)

Коэффициент надежности : 1.1

Коэффициент длительности : 1

☐ равномерно распределенная

☐ Информация для расчетов сейсмике и ветер

Частота, рад/с 0

Коэффициент демпфирования, % 5

№ формы 0

№ комбинации 1

OK

Отмена

Кнопка **Лин./Нелин.** позволяет делать отмеченную комбинацию линейной или нелинейной. Если есть хотя бы одна нелинейная комбинация, то становится активной кнопка **Задать свойства нелинейных комбинаций**.

9 Прикладные расчеты модели

9.1 Расчет модели на ветровые нагрузки



Функция предназначена для определения пульсационных составляющих **ветровой нагрузки** для пространственных конструкций, в соответствии со СНиП 2.01.07-85* “Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция (СП 20.13330.2016)”, М.: 2016. Перед расчетом пульсационных составляющих **ветровой нагрузки** должен быть проведен расчет на собственные колебания. При этом необходимо, чтобы было задано статическое нагружение, состоящее из приложенных к узлам системы расчетных значений средних составляющих ветровой нагрузки.

При вызове функции, на экране появляется диалог **Расчет пульсационной составляющей ветровой нагрузки по СП 20.13330-2016**.

Параметры	
Номер нагружения	1
Использовать результаты расчета	собственные колебания
Ветровой район	Ia
Тип местности	A
Логарифмический декремент	0.3
Точность, кН	0.01
Точность, кН*м	0.01
Преобразовать все нагрузки в узловые	☒
Размеры конструкции	
Высота конструкции	100
Поперек направления ветра	5
Вдоль направления ветра	5
Башенное сооружение	☒
Значение R0 по оси X	20
Значение R0 по оси Y	20
Значение R0 по оси Z	20
Значение Hi по оси X	20
Значение Hi по оси Y	20
Значение Hi по оси Z	20
Информация о формах	
Автоматический расчет числа форм	☒
Количество форм	0
Задать номера форм	☐
Номера форм	12
Предельная частота (Гц)	0.974757
Первая частота больше предельной	☒

Задание параметров:

Номер нагружения - номер статического нагружения, содержащего расчетные значения средних составляющих ветровой нагрузки.

Использовать результаты расчета - можно выбрать, данные какого расчета (на собственные колебания или “деформированные” колебания, т.е. с учетом нелинейности), будут использоваться для определения пульсаций ветра, при условии, что эти расчеты были выполнены.

Ветровой район - задается номер ветрового района модели.

Тип местности - задается значение типа местности модели.

Логарифмический декремент - безразмерная величина, применяемая для описывания затухания амплитуды колебаний.

Точности для ветровых нагрузок - определение степени близости результата расчета к истинным значениям. В областях диалога отдельно задается точность для сил и моментов.

Преобразовать все нагрузки в узловые - данная опция активизируется в том случае, если статическое нагружение ветра задается не узловыми, а элементными нагрузками.

R0 - значения R0 по осям X, Y и Z определяют направление нормали потока ветра, значение которой равно размеру здания в перпендикулярном направлении потоку ветра.

Hi - высота сооружения от уровня земли до верха ограждающих конструкций.

Автоматический расчет числа форм - количество используемых для расчета форм и их номера, определяются автоматически.

В случае ручного ввода данных:

- **Количество форм** - количество форм, используемых для расчета пульсаций ветра.
- **Задать номера форм** - расчет пульсационных составляющих ветровых нагрузок можно проводить не для всех форм из числа учитываемых, которые были заданы в диалоге, а только для тех, номера которых задает пользователь. Номера форм вводятся через запятую или тире, без пробелов (1,2,3 или 1-3).

После выполнения расчета, на экране появляется диалог задания информации о сформированных нагружениях. Добавьте в **Шаблон имени** информацию о номере статического ветра и нажмите на кнопку **Применить**.

Новые нагружения X

Создано нагружений: 2

Задайте имена для созданных нагружений:

нагружение	комбинация	форма	частота	Имя
11	1	1	6.28	ветер (7) ф.1
12	1	2	8.42	ветер (7) ф.2

Шаблон имени:

9.2 Сейсмические нагрузки

Функция предназначена для определения расчетных значений сейсмических нагрузок.



Расчет на сейсмические воздействия выполняется в соответствии со СНиП II-7-81* "Строительство в сейсмических районах. Актуализированная редакция. (СП 14.13330-2018), " М.: 2018. Результатом расчета являются расчетные значения сейсмических нагрузок в узлах системы. Перед определением сейсмических воздействий, должен быть проведен расчет на **собственные колебания**. При вызове функции, на экране появляется диалог Определение **сейсмических нагрузок**.

Нагрузки по СП 14.13330-2018

Сейсмичность пл-ки: 7

Категория грунта: 1

☐ Учет нелинейного деформирования грунтов

Тип расчета

☒ Проектный расчет

☐ Поверочный расчет

Таблица 5.3 Таблица 5.4 Таблица 5.5

Амплитуда = 0.3 м/с²

Количество исследуемых собственных значений: 3

Задать формы ☐ 1,4

Направление сейсм. воздействия

☒ Задать углами

☐ Задать направляющими косинусами

Угол в градусах между воздействием и осью ОХ: 0 и плоскостью ХОУ: 0

☒ Определять нагрузки от неучтенных форм

☐ Задать коэф. динамичности: 1

Точности сейсмических нагрузок ...

Используемые результаты

Свободные колебания

Исходными данными для расчета являются:

- расчетная сейсмичность (7, 8 или 9) (под расчетной сейсмичностью следует понимать сейсмичность площадки строительства);
- категория грунта (I, II или III);
- учитывать или нет нелинейное деформирование грунтов (см. примечание 1 к п. 5.5 СНиП);
- коэффициент K_0 , учитывающий назначение сооружения, принимается по Таблице 5.3;
- коэффициент K_1 , учитывающий допускаемые повреждения здания и сооружения, принимается по Таблице 5.4;
- количество исследуемых собственных значений с указанными номерами форм, если необходимо (см. п. 5.9 СНиП);
- направление сейсмического воздействия, которое задается либо углами с осью OX и плоскостью XOY , либо направляющими косинусами;
- учитывать или нет остаточный член от отброшенных форм колебаний с указанием отдельного коэффициента динамичности для него, если необходимо (см. п. 5.9 СНиП).
- точность сейсмических нагрузок (см. рис.).

Точность сейсм. нагрузок

Силы

Моменты

Сейсмический фактор (%)

ПРИМЕЧАНИЕ:
значения ниже указанных
считаются нулевыми!

Отмена

При нажатии на кнопку **Расчет**, введенные данные сохраняются, и запускается расчет. В результате будет сформировано n дополнительных статических нагружений, соответствующих n собственным формам.

Новые нагружения

Создано нагружений: 4

Задайте имена для созданных нагружений:

нагружение	комбинация	форма	частота	Имя
19	1	1	6.92	сейсм. (пост.) ф.1
20	1	2	9.24	сейсм. (пост.) ф.2
21	1	3	10.78	сейсм. (пост.) ф.3
22	1	0	578.17	сейсм. (пост.) ф.0

Шаблон имени:

10 Нормативные расчеты модели

10.1 Расчет сочетаний усилий

Данная функция используется для определения РСУ (расчетных сочетаний усилий) для стержневых элементов по СНиП.



При вызове функции, на экране появляется диалог **Определение расчетных сочетаний усилий СНиП**.

Определение расчетных сочетаний усилий СНиП

№	Имя	Тип	Источник	±/∓	Нагрузка	К.н.	К.д.	Включить/Исключить	И.о.
1	LF-1 Собствен...	Постоянное	Простое		1	1.10			
2	000-W По центр...	Постоянное	Простое		2	1.10			
3	090-W По центр...	Постоянное	Простое		3	1.10			
4	180-W По центр...	Постоянное	Простое		4	1.10			
5	270-W По центр...	Постоянное	Простое		5	1.10			
6	LF-3 Нагруз.	Кратковремен...	Простое		7	1.30	0.20		
7	LF-6 Нагруз.	Кратковремен...	Простое		8	1.43	0.30		
8	Воздействие 8	Постоянное	Простое		9	1.10			
9	ветер (30) ф.1	Постоянное	Простое		10	1.10			
10	Воздействие 10	Постоянное	Простое		11	1.10			
11	Воздействие 11	Постоянное	Простое		12	1.10			
12	Воздействие 12	Постоянное	Простое		13	1.10			
13	сейсм. (вр.) ф.2	Постоянное	Простое		14	1.10			
14	сейсм. (вр.) ф.3	Постоянное	Простое		15	1.10			

Учитывать статус воздействия

Свойства воздействия

Коэффициенты сочетаний

ИЗ РЕ-модели

Количество сочетаний: 5

OK Отмена Помощь

При первом запуске программа генерирует воздействия по данным из нагрузений. Для каждого нагружения создается воздействие, имя воздействия создается по имени нагружения, тип воздействия берется из информации о нагружении. В диалоге требуется задать соответствие нагружений и воздействий, свойства воздействий, параметры расчета РСУ и выбрать нормы для расчета. При первом входе в диалог, когда свойства воздействий для проекта не задавались, воздействия генерируются автоматически. При этом каждому нагружению ставится в соответствие воздействие. Все воздействия по умолчанию задаются постоянными. Если требуется изменить взаимосвязь между воздействиями и нагружениями (появились новые нагружения, требуется задать сейсмику или ветер), следует нажать на кнопку **Соответствие воздействий и нагружений**, чтобы вызвать одноименный диалог.

Отдельным нагружением называется нагружение, обусловленное одним источником или несколькими источниками нагрузок (если известно, что эти нагрузки всегда действуют совместно друг с другом). Нагружение может включать всевозможные типы нагрузок (сосредоточенные и распределенные силы и моменты, приложенные в различных точках рассчитываемой системы).

В том случае, когда совместное действие нагрузок от нескольких источников учтено в нормативном и расчетном значении нагрузок, эти нагрузки должны быть разнесены по разным нагружениям. Совместное действие нагрузок должно в этом случае учитываться через включение их в одну группу объединяемых нагружений с соответствующими коэффициентами (см. ниже описание задания данных).

Генерация допустимых комбинаций проводится с учетом требований СНиП, а также с учетом заданных пользователем групп нагрузений.

В программе учитываются следующие типы нагрузений:

- постоянные нагрузения;
- временные (длительные и кратковременные) нагрузения;
- особые нагрузения.

Выбор РСУ из множества сочетаний усилий, возникающих в данном сечении элемента стержневой системы (или в узле плиты, балки-стенки или оболочки), при действии допустимых комбинаций нагрузений, может осуществляться по двум критериям:

- выбор наихудших сочетаний,
- выбор экстремальных сочетаний.

Управляющие элементы диалога «**Определение расчетных сочетаний усилий СНиП**»:

Таблица воздействий - задаются имена воздействий, их типы, коэффициенты надежности, длительности и прочие свойства.

Соответствие воздействий и нагрузений - с помощью данной кнопки, вызывается диалог для создания воздействий и их взаимосвязи с нагрузениями.

Несочетаемые воздействия - при нажатии этой кнопки, вызывается диалог для задания групп несочетаемости воздействий

Параметры расчета - появляющийся диалог позволяет определять параметры расчета РСУ (используемые критерии, точность и прочие общие параметры).

Свойства воздействий - в появляющемся диалоге, для отмеченного в таблице воздействия (или группы воздействий), задаются их свойства, такие как: тип воздействия, коэффициент надежности, коэффициент длительности.

Коэффициенты сочетаний - кнопка работает только для расчета по актуализированной версии СНиП. При ее нажатии, вызывается диалог, в котором можно исправить действующие по умолчанию коэффициенты сочетаний для воздействий.

Количество сечений - в поле ввода задается количество сечений для конечного элемента, в которых будут определяться усилия.
Конечные элементы равномерно разбиваются по длине.

При определении РСУ возможно учесть ситуации, когда два или более нагрузений не могут вместе встречаться в одной комбинации или, наоборот, одно нагружение присутствует только тогда, когда присутствует другое. Эти случаи учитываются при помощи задания групп нагрузений:

Несочетаемые воздействия и Сопутствующие воздействия.

Для плит, оболочек и балок-стенок расчет РСУ осуществляется автоматически перед расчетом арматуры, если при задании данных для армирования включена соответствующая опция. Диалоги задания данных аналогичны диалогам для определения РСУ в стержнях.

10.2 Результаты

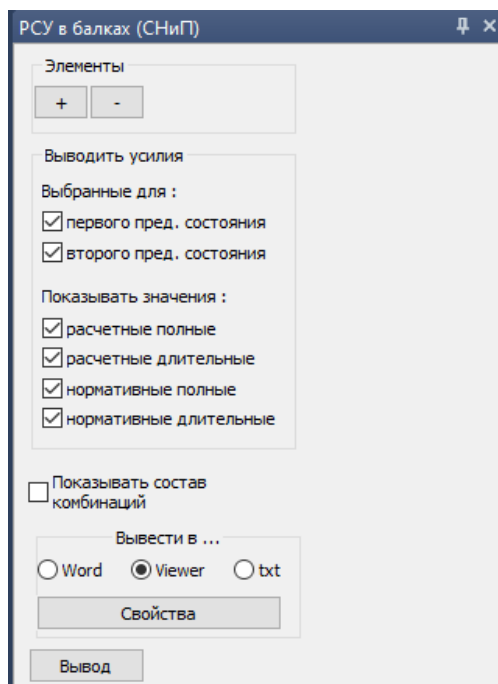
Результаты. Данная функция используется для вывода РСУ (расчетных сочетаний усилий) для стержневых элементов.



К моменту вызова функции, **PCY** должны быть уже рассчитаны.

Элементы, для которых **PCY** рассчитаны, подсвечиваются в рабочем окне синим цветом, а стержневые элементы, для которых **PCY** не рассчитывались, отображаются голубым.

При вызове функции, на экране появляется диалог, позволяющий управлять настройками вывода **PCY**.



10.3 Расчет арматуры для конструктивных элементов

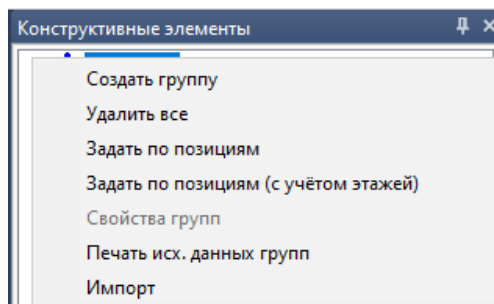
10.3.1 Расчет арматуры для стержней

Проводится расчет арматуры для конструктивных элементов - балок и колонн, согласно нормам. В данной версии программы реализованы следующие расчеты:

- расчет продольной и поперечной теоретической арматуры для балок и колонн по первому предельному состоянию;
- расчет продольной и поперечной теоретической арматуры для балок и колонн с кручением;
- расчет продольной арматуры для балок и колонн по второму предельному состоянию.

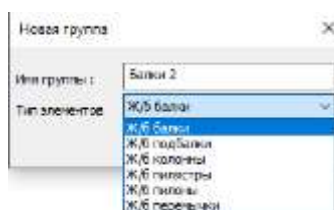
На первом этапе работы задаются группы конструктивных элементов. Конструктивные элементы (балки и колонны) могут состоять из одного или нескольких конечных элементов. В группу объединяются конструктивные элементы одного типа (т.е. имеющие одинаковые характеристики сечения, схему армирования и одинаковые характеристики бетона и арматуры).

Переход к созданию групп осуществляется с помощью пункта меню **Стержни > Задание групп**.



В программе также реализовано и автоматическое задание групп конструктивных элементов с помощью функции **Задать по позициям**. Этот способ рекомендуется использовать, если модель была сгенерирована на основе **POS-модели**, импортированной из **MicroFe**. Каждой позиции будет поставлен в соответствие один конструктивный элемент. Возможно также задание элементов вручную.

В программе различается 6 типов конструктивных элементов: балки, колонны, подбалки, пилястры, пилоны и перемычки.



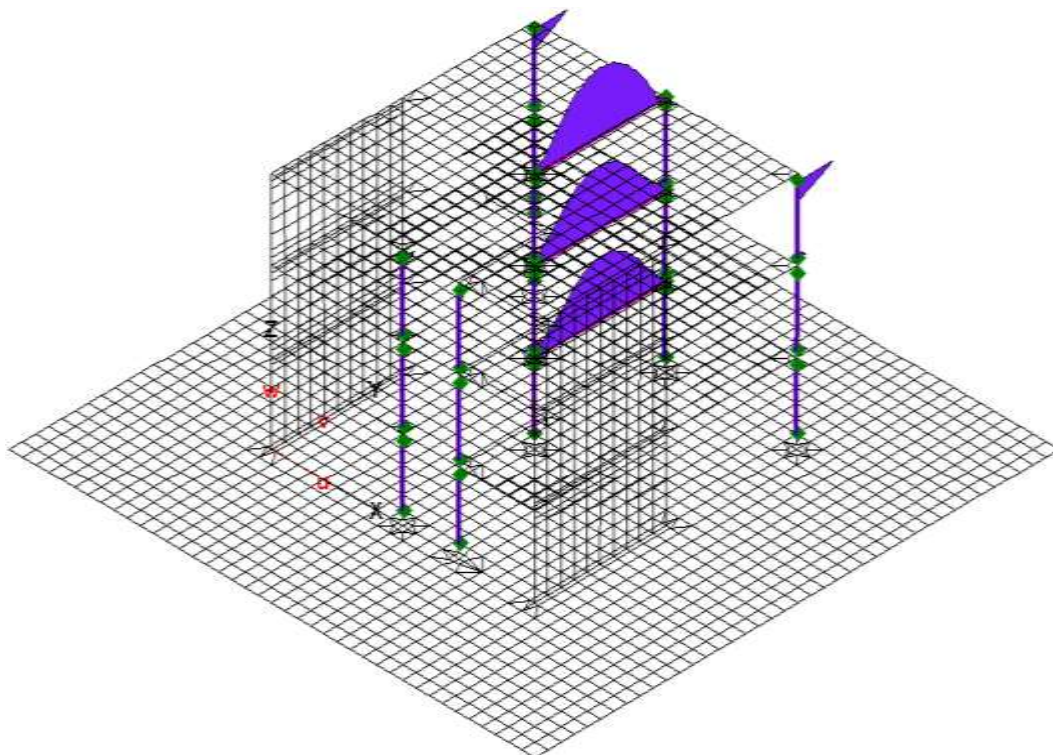
Балки и колонны – традиционный тип конструктивных элементов, составленный из одного или нескольких стержневых конечных элементов.

Подбалка, пилястра, пилон и перемычка – конструктивные элементы, которые составлены только из конечных элементов типа **оболочка** или из сочетания конечных элементов **оболочка** и **стержень**. При этом армируются эти конструктивные элементы как стержневые элементы, и представление результатов армирования осуществляется как для стержневых элементов. Для рассматриваемых сечений этих элементов в процессе расчета проводится интегрирование напряжений по площади сечения, и вычисляются силовые факторы как для стержней. После вычисления усилий, алгоритм армирования не отличается от алгоритма для обычных балок и колонн.

Элемент типа **подбалка** позволяет армировать ребра жесткости совместно с прилегающим к ним участком плиты. Можно рассматривать **подбалку** как тавровое сечение (при этом полка тавра соответствует примыкающему к ребру участку плиты) или как прямоугольное сечение, образованное из ребра и участка плиты над ребром. В зависимости от способа генерации сетки, **подбалка** может быть составлена из стержневых и оболочечных элементов или же только из элементов оболочки (в случае, если **подбалка** генерируется элементами оболочки со слоистым материалом). После автоматической генерации требуется задать в параметрах сечения **подбалки** ширину полки таврового сечения, которую нужно принимать в расчет. Остальные параметры формируются автоматически на основе геометрии **подбалки** (плиты и ребра).

Пилястра – элемент, похожий на подбалку и отличается тем, что предназначен для моделирования колонны, примыкающей к стене.

Элементы **пилон** и **перемычка** предназначены для расчета армирования конструктивных элементов, составленных из конечных элементов оболочки, как стержневых элементов. При автоматическом задании по позициям, **пилоны** образуются из позиций стен, если в **MicroFe** для стены была задана соответствующая опция.



10.3.2 Расчет арматуры для элементов плит, стен, оболочек.

Использование конструктивных элементов облегчает ввод исходных данных для армирования и организацию вывода результатов.

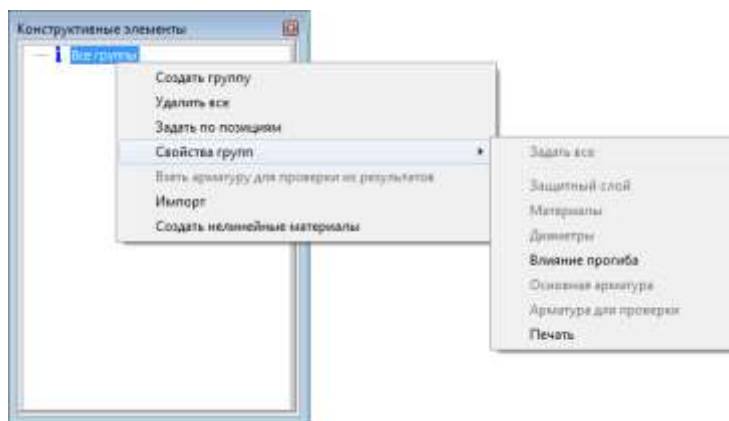
Под конструктивным элементом понимается совокупность конечных элементов, соответствующая моделируемому строительному элементу (плите, стене и т.п.).

Обычно, конструктивные элементы рекомендуется создавать в соответствии с позициями (каждому конструктивному элементу соответствует одна позиция), но это не обязательно.

Для каждого конструктивного элемента может быть задано несколько непересекающихся зон армирования со своими исходными данными (класс бетона, класс арматуры, толщина защитных слоев и т.п.). Зоны армирования можно не задавать или задавать так, что они не полностью покрывают конструктивный элемент.

Значения арматуры вычисляются в узлах. Для узлов, лежащих на границе двух элементов (или двух зон армирования), арматура вычисляется дважды. При построении изополей или изолиний, для каждого элемента используются вычисленные для него значения арматуры. При показе на экране числовых значений в узлах, выводится максимум из двух вычисленных значений.

На первом этапе работы, задаются группы конструктивных элементов. Вызов функции осуществляется с помощью пункта меню **Нормативные расчеты > Плиты, стены, оболочки > Задание групп**.



Группы конструктивных элементов проекта отображаются в диалоге в виде структуры (дерева), узлами которой являются **группы, конструктивные элементы и зоны армирования**.

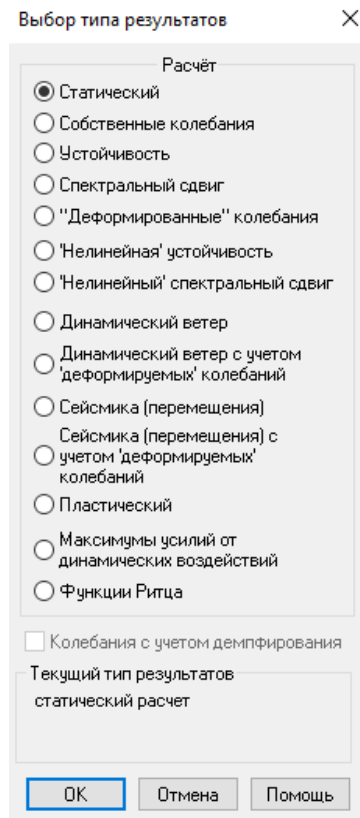
Верхний узел дерева обозначается как **Все группы**. Если группы конструктивных элементов еще не задавались, то в дереве отображается только этот единственный узел.

Возможно автоматическое задание групп по позициям, с помощью клавиши **Задать по позициям**.

После задания групп конструктивных элементов и исходных данных для армирования, проводится расчет. После завершения расчета, следует выбрать пункт меню **Нормативные расчеты > Плиты, стены, оболочки > Результаты армирования**.

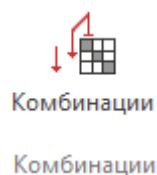
11 Результаты расчета модели

В программе предусмотрен графический и табличный вывод результатов расчёта. Результаты выводятся только на конечно-элементном уровне (по узлам или по сечениям балок), а потому их просмотр доступен в окне соответствующего конечно-элементного проекта (**FEA-проекта**). Если для проекта были выполнены разные виды расчетов (статический, на устойчивость, собственные колебания и т.д.), то при просмотре результатов, нужно с помощью кнопки **Результаты > Тип результатов** переключаться на результаты того или иного расчета.

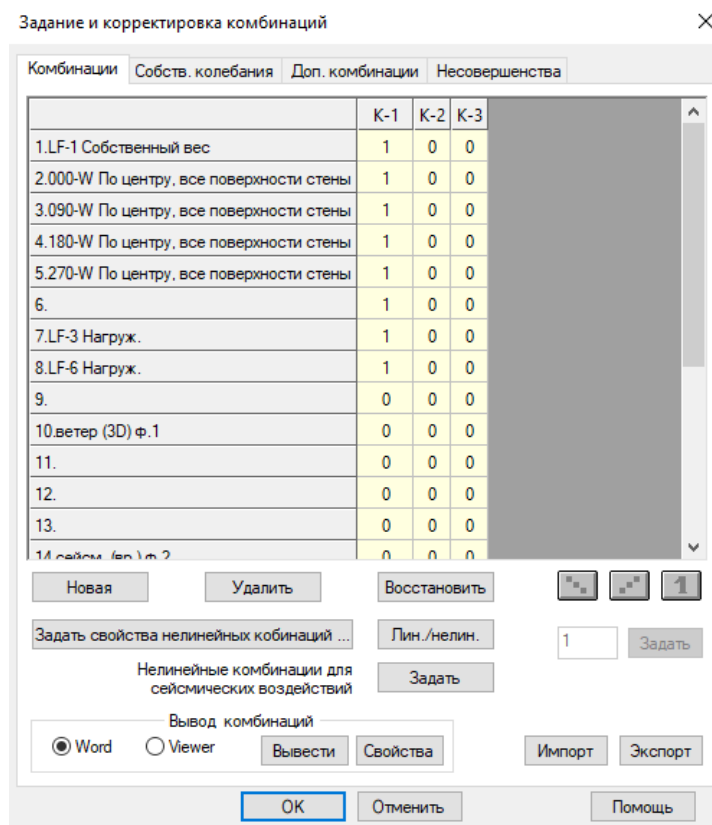


При изменении проекта (при корректировке геометрии, материалов и т.д.) результаты устаревают, и расчет должен производиться заново.

Функция **комбинации** используется для ввода, редактирования и вывода комбинаций нагрузжений.



При вызове функции, на экране появляется диалог следующего вида:



Свойства и функции данного окна были описаны выше в разделе **Комбинации нагрузений**.

Функция **перемещения** используется для показа перемещений, определенных по результатам конечно-элементного расчета.



Перемещения хранятся в файлах <имя проекта>.df и <имя проекта>.fg. В зависимости от типа расчета, перемещения отображаются по комбинациям нагрузений, формам колебаний, этапам возведения и т.п. Размерность перемещений - [мм], размерности углов поворота - [рад*1.e-3]. Перекосы являются безразмерными величинами.

Так же возможен **выборочный вывод** результатов путем указания соответствующего узла.

Для построения изополей и изолиний, а также для определения критических точек при отображении результатов, можно использовать **Редактор шкал**.

