

2021

Расчет стальной рамы

Пример расчета стальной рамы с пролетными элементами в виде ферм



Пособие составлено сотрудниками ООО «Техсофт» - производителя системы сквозного архитектурно-строительного проектирования **Ing+**. 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.

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

купить можно: **ООО «Эксим-проект»**

www.eximpro.ru, тел./факс +7 (495) 633-24-50, e-mail: mail@eximpro.ru

Предисловие

Данное пособие облегчит Вам работу с комплексом ING+2021. Более подробную информацию Вы найдете в Online-документации. Мы будем рады видеть Вас и на обучении, которое организуем специально для Вас.

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | Исходные данные | 4 |
| 1.1 | Описание задачи | 4 |
| 2 | ProjektManager | 7 |
| 2.1 | Работа с ProjektManager | 7 |
| 2.2 | Создание FE-модели | 8 |
| 3 | Создание и анализ модели | 10 |
| 3.1 | Рабочая область | 10 |
| 3.2 | Создание расчетной схемы | 10 |
| 3.2.1 | Ввод элементов по координатам | 10 |
| 3.2.2 | Построение геометрии фермы при помощи шаблона | 14 |
| 3.2.3 | Загрузка dxf-слоя | 16 |
| 3.2.4 | Построение геометрии на основе dxf-слоя | 17 |
| 3.3 | Задание краевых условий | 18 |
| 3.4 | Установка шарниров | 20 |
| 3.5 | Задание материалов | 21 |
| 3.6 | Ввод нагрузок | 24 |
| 3.6.1 | Ввод узловых нагрузок | 24 |
| 3.6.2 | Ввод равномерно-распределенных распределенных нагрузок | 26 |
| 3.6.3 | Ввод трапециевидных нагрузок | 26 |
| 3.6.4 | Расчет | 27 |
| 3.7 | Задание расчетных сочетаний усилий | 28 |
| 3.7.1 | Определение характеристик нагружений | 28 |
| 3.7.2 | Несочетаемые нагружения | 29 |
| 3.7.3 | Расчет РСУ | 29 |
| 3.8 | Конструктивный расчет | 31 |
| 3.8.1 | Задание данных для конструктивных элементов | 31 |
| 3.8.2 | Просмотр результатов конструктивного расчета | 35 |
| 4 | Библиографический список | 39 |

1 Исходные данные

1.1 Описание задачи

Рассмотрим расчет стальной двух пролетной рамы складского здания пролетами 18 и 24 метра. Район строительства город Нижний Новгород:

1. Климатический район II₅
2. Ветровой район I
3. Тип местности B
4. Снеговой район IV

Материал конструкции:

| | Фасонки ферм | Стержни ферм | Колонны |
|--------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Группа конструкции | 1 | 2 | 3 |
| Марка стали | C255 ГОСТ 27772-2015 | C245 ГОСТ 27772-2015 | C235 ГОСТ 27772-2015 |

Проектирование рамы выполняется в соответствии с указаниями СП 16.13330.2017, СП 20.13330.2016.

Информация о статических нагрузках, которые должны быть заданы пользователем, приведена в таблице.

| № п/п | Наименование нагрузки | Нормативное значение | γ_f | Расчетное значение | № нагружения | |
|---|------------------------------------|----------------------|------------|--------------------|--------------|----|
| Вес конструкции кровли и элементов связей | | | | | | |
| 1 | На средние узлы, кН | 7.564 | 1.123 | 8.494 | 2 | |
| 2 | На крайние узлы, кН | 3.880 | | 4.656 | | |
| Ограждающие конструкции | | | | | | |
| 3 | Вес стеновых сэндвич панелей, кН/м | 1.480 | 1.2 | 1.776 | 3 | |
| Снеговая нагрузка | | | | | | |
| 4 | На средние узлы, кН | 22.8 | 1.4 | 31.92 | 4 - 9 | |
| 5 | На крайние узлы, кН | 11.4 | 1.4 | 15.96 | | |
| Ветровая нагрузка | | | | | | |
| 6 | С наветренной стороны, кН/м | до 5 м | 0.092 | 1.4 | 0.129 | 10 |
| | | 10 м | 0.119 | 1.4 | 0.167 | |
| | | 11.65 м | 0.126 | 1.4 | 0.176 | |
| 7 | С подветренной стороны, кН/м | до 5 м | 0.034 | 1.4 | 0.048 | 11 |
| | | 10 м | 0.090 | 1.4 | 0.126 | |
| | | 11.65 м | 0.094 | 1.4 | 0.132 | |

1-1

ИзоПлост К ЭКМ-5
 Минераловатные плиты РУФ БАТТС В 130 мм
 Пароизоляционный слой - ИзоСпан С
 Профлист Н57-750-0.7 по ГОСТ 24045-94
 Прозон 20Б1

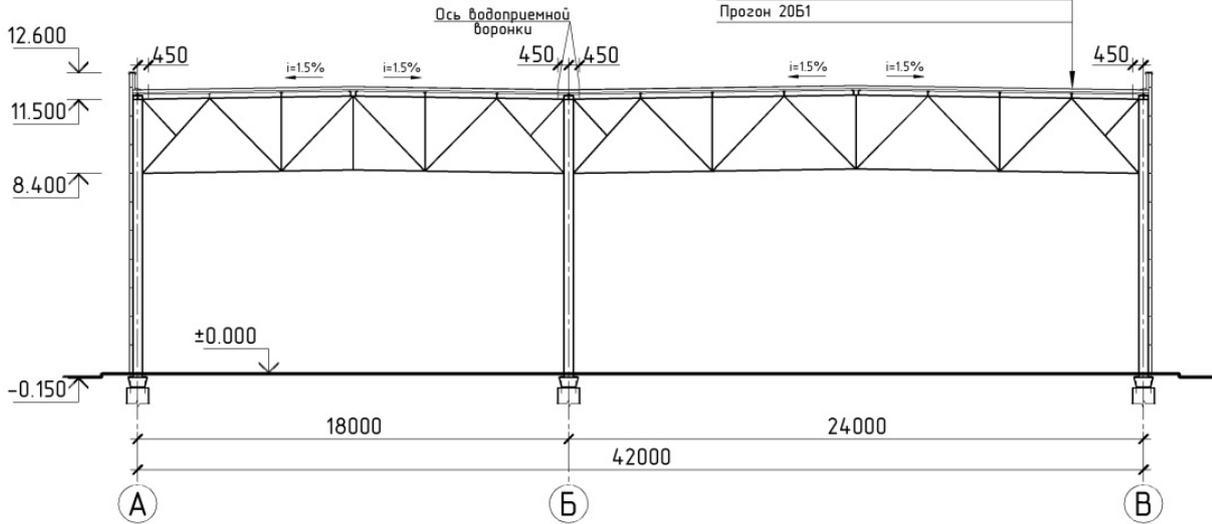


Схема связей по нижнему поясу

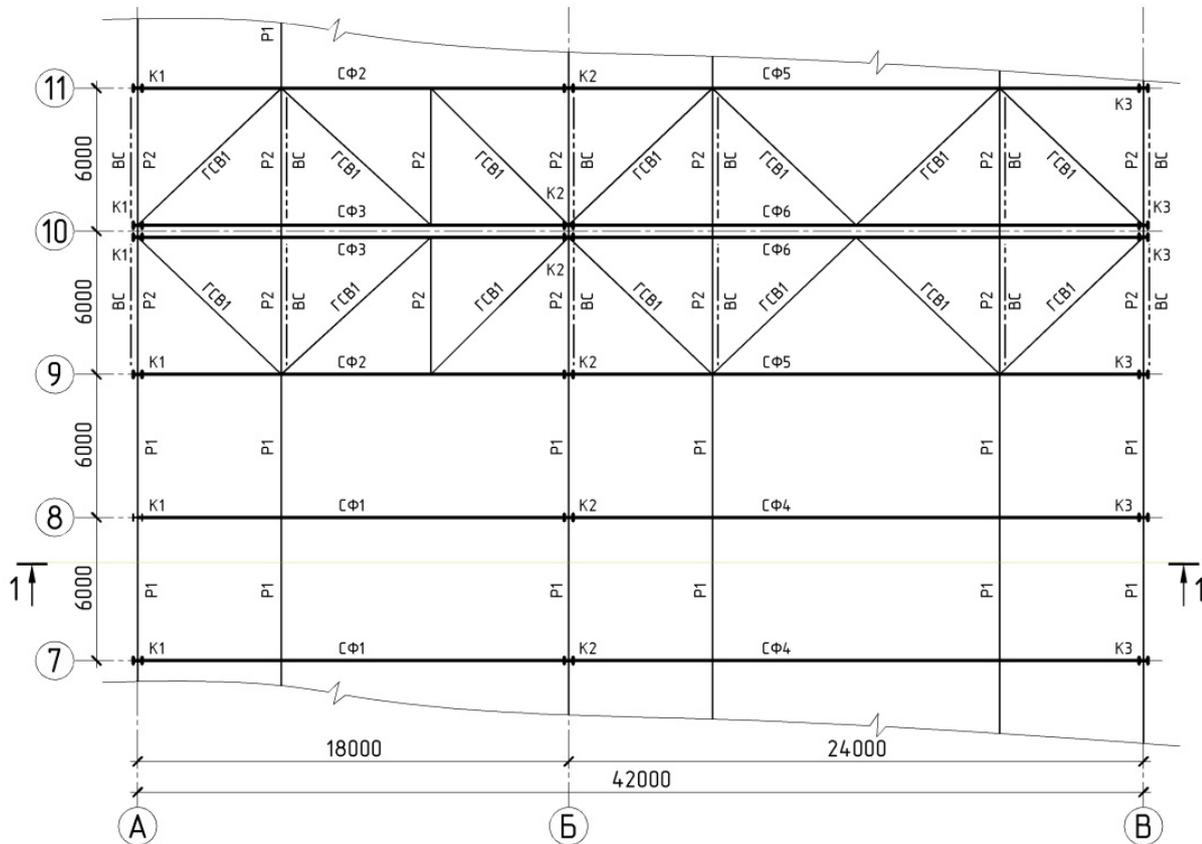
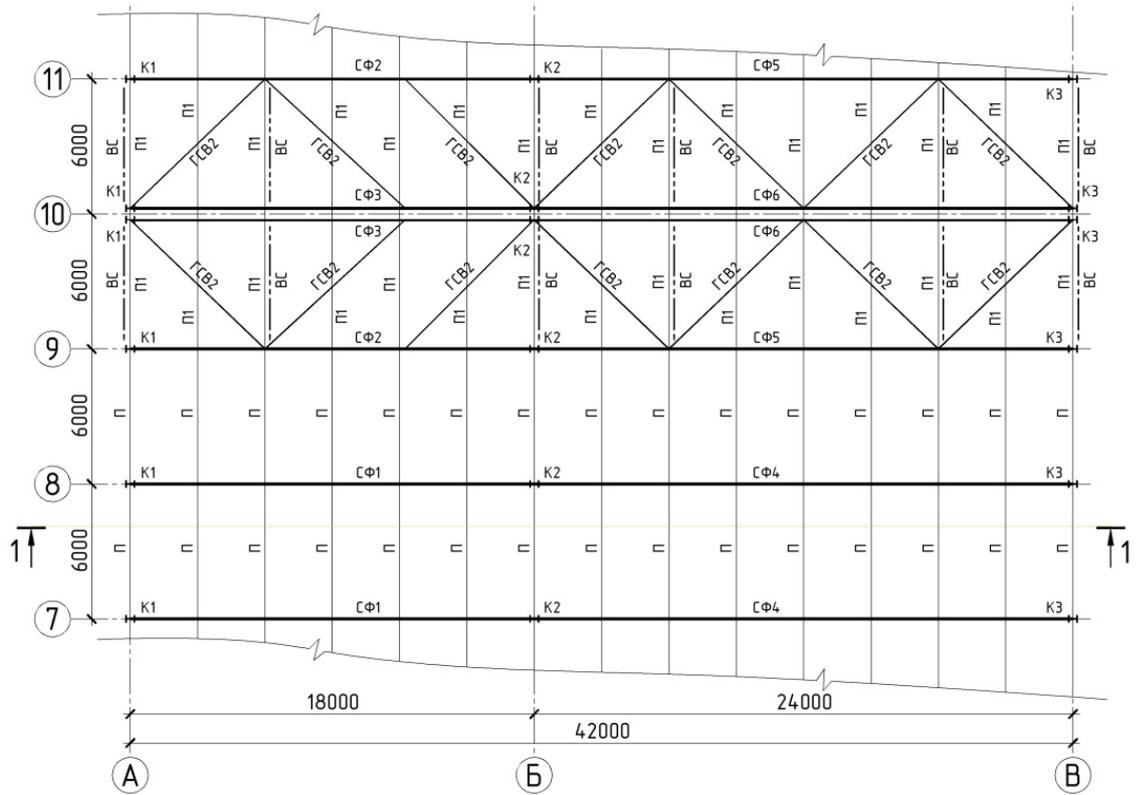


Схема связей по верхнему поясу



Снег вариант 6



Снег вариант 5



Снег вариант 4



Снег вариант 3



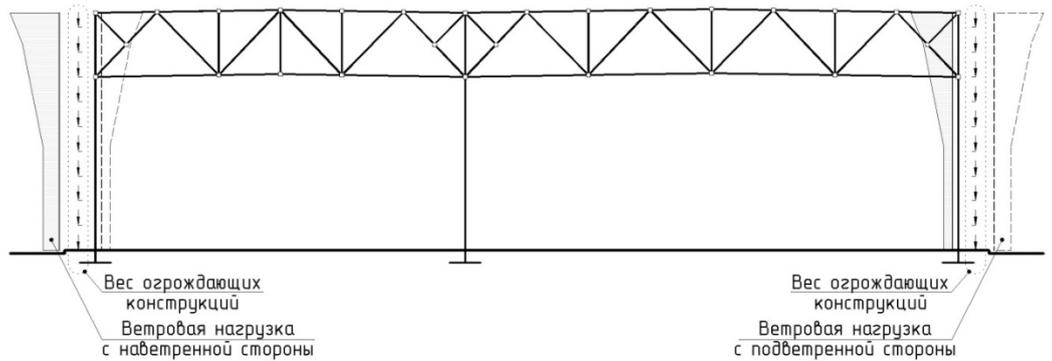
Снег вариант 2



Снег вариант 1



Вес конструкции
покрытия



2 ProjektManager

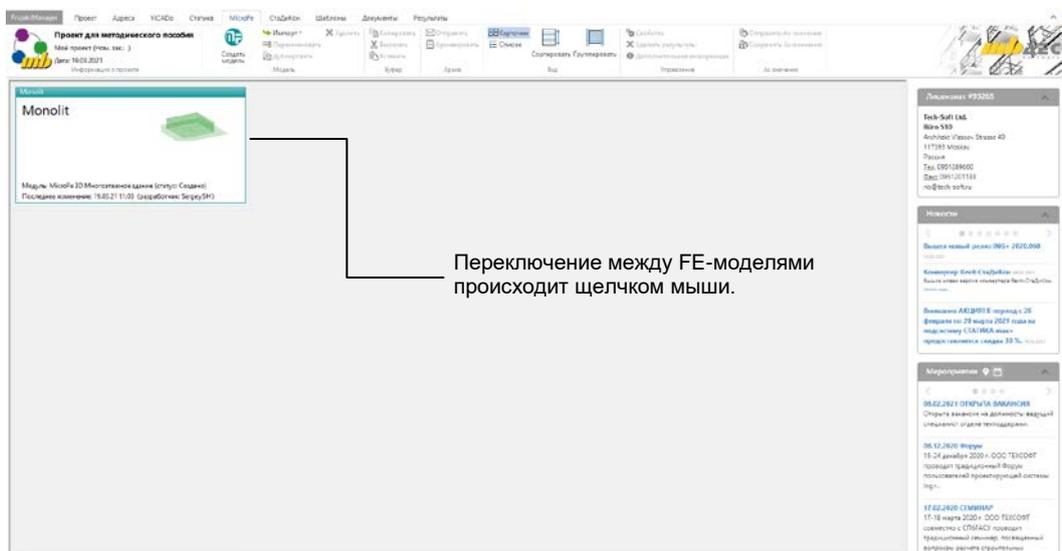
2.1 Работа с ProjektManager

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.

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.

Советы & рекомендации

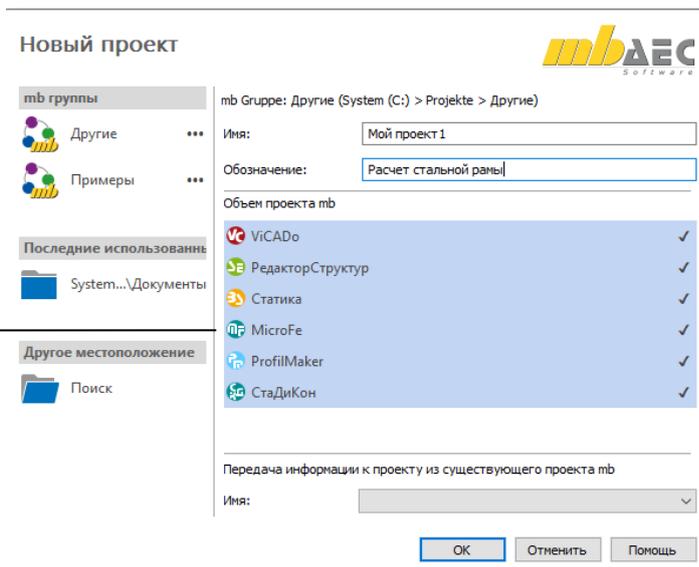


1. Для начала работы запускаем ProjektManager: **Пуск > Все программы > Ing+ 2021 > ProjektManager 2021**.
2. Откроется окно программы ProjektManager 2021.
3. Выберете в меню команду **ProjektManager > Проект создать**. Откроется диалог, предназначенный для ввода данных проекта.
4. На странице диалога **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. Закладка **Проект** будет активной.

Шаг за шагом



Здесь можно указать, какие приложения должны использоваться в данном проекте



Советы & рекомендации

- 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.

2.2 Создание FE-модели.

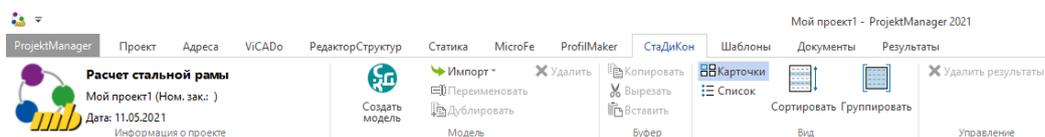
В конечно-элементном проекте хранятся все данные о конечно-элементной модели конструкции: данные о конечно-элементной сетке (узлы и конечные элементы), данные о жесткостях элементов (материалы), данные о связях (краевые условия, шарниры), данные о нагрузках и т.п. Файлы конечно-элементных проектов имеют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

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.

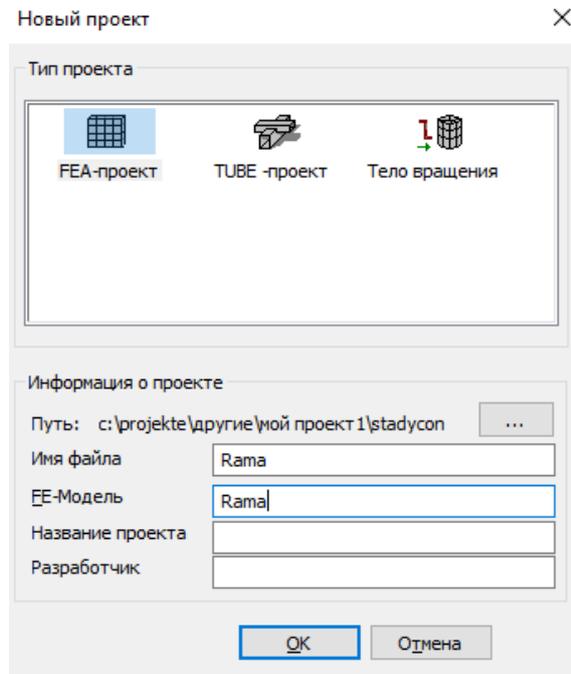
В рассматриваемом примере расчетная модель достаточно простая и состоит из малого количества конечных элементов, поэтому мы сразу перейдем к созданию конечно-элементной модели в СтаДиКон.

Шаг за шагом

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



2. Создайте новую FE-модель, выбрав на панели инструментов иконке **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.

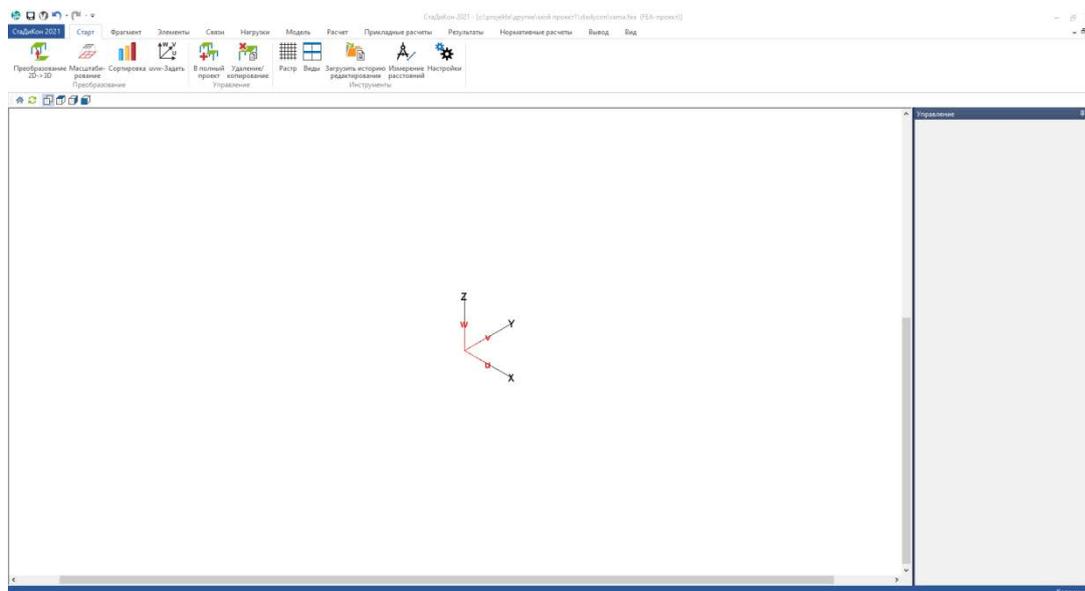


4. Подтвердите данные нажатием на кнопку **ОК**. После нажатия запустится СтаДиКон.

3 Создание и анализ модели

3.1 Рабочая область

Рабочая область СтаДиКон состоит из нескольких фрагментов, в которых содержатся известные Вам элементы Windows. Благодаря этому Вы сможете работать с программой интуитивно.



3.2 Создание расчетной схемы

В СтаДиКон существует несколько способов задания геометрии расчетной модели фермы:

1. Ввод элементов по координатам;
2. Создание модели при помощи готовых шаблонов;
3. Автоматическое построение геометрии модели на основе dxf-слоя.

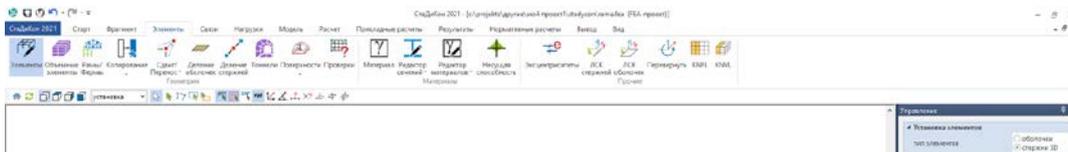
В качестве примера рассмотрим все три способа формирования геометрии модели. Колонны зададим при помощи координатного ввода, 24-метровую ферму построим при помощи шаблона, а 18-метровую ферму сформируем на основе dxf-слоя. В действительности при построении геометрии модели Вы можете воспользоваться любым удобным для Вас способом.

Прежде чем приступить к построению модели в СтаДиКон, начертите схему рамы согласно заданию в любом графическом приложении и сохраните ее в формате *.dxf.

3.2.1 Ввод элементов по координатам

Шаг за шагом

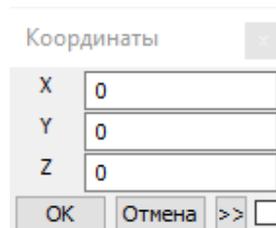
1. Вызовите команду **Элементы > Элементы > Установка** или кликните по соответствующей иконке в левой панели инструментов.
2. В окне **Переключатели** выберите тип элементов **3D-балки**.



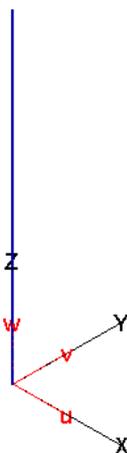
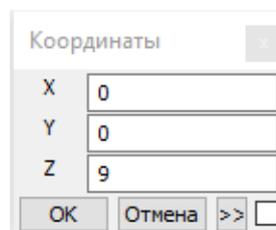
Советы & рекомендации

□ В данном примере мы будем рассчитывать пространственную модель, хотя зададим только одну плоскую раму и введем дополнительные краевые условия в узлах крепления элементов связей.

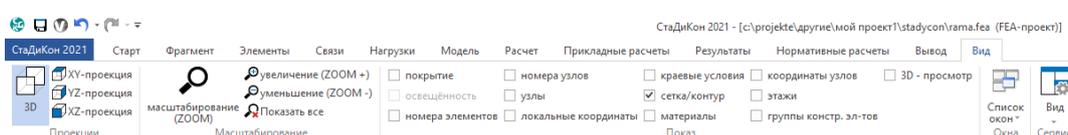
3. Для задания начальной точки элемента кликните левой клавишей мыши в рабочем окне, на дисплее появится диалог **Координаты**. В соответствующих полях введите координаты низа крайней колонны. Ввод данных подтвердите нажатием на кнопку **ОК**.



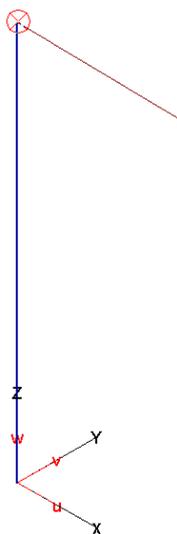
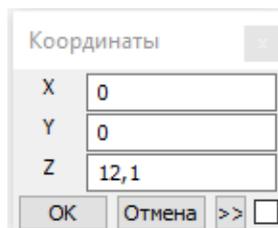
4. Для задания конечной точки элемента снова кликните области рабочего окна и в появившемся диалоге **Координаты** укажите координаты верха крайней колонны. Ввод данных подтвердите нажатием на кнопку **ОК**.



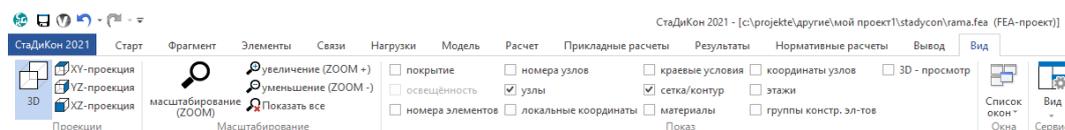
5. В рабочем окне построится стержень. Обратите внимание, что по умолчанию в СтаДиКон создается 2D проект, и в начале работы в рабочем окне в качестве вида установлена проекция на плоскость XY. Но как только создается элемент с ненулевой z координатой, проект автоматически преобразуется в 3D-проект. Для отображения модели в изометрии кликните по иконке **3D** в верхней панели инструментов.



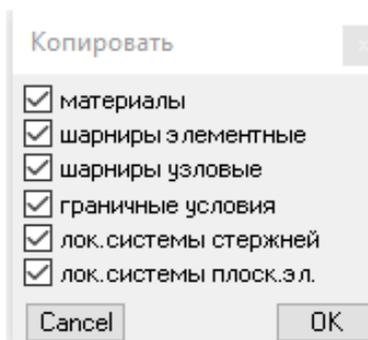
6. Кликните по верхнему узлу построенного стержня. Поскольку в верхней панели инструментов включена опция **Улавливать геометрию** начальная точка автоматически будет установлена в этот узел, не запрашивая координат.



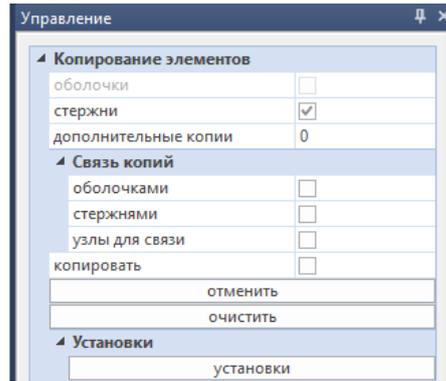
7. Снова кликните в области рабочего окна и укажите координаты конечной точки.
8. Для включения отображения узлов кликните на вкладке **Вид > Узлы**.



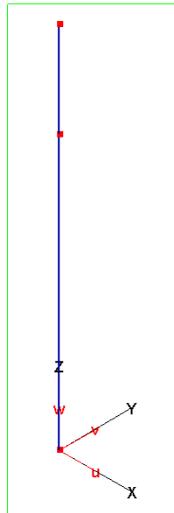
9. Поскольку все колонны имеют одинаковую длину, то для построения остальных колонн воспользуемся функцией копирования. Для этого не выходя из режима задания геометрии, на вкладке **Элементы > Копировать**.
10. В появившемся диалоге укажите, какие свойства элемента должны быть заимствованы от оригинала.



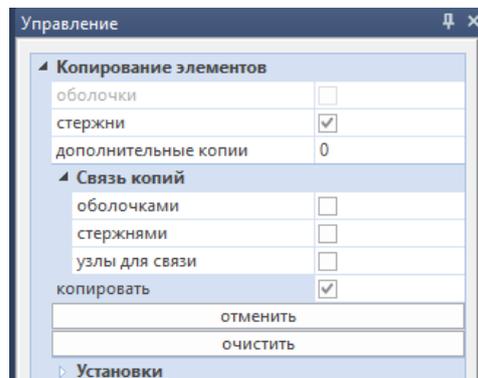
11. В окне **Управление** укажите тип/типы копируемых элементов.



12. Активируйте опцию выделения **Box**, кликнув по соответствующей иконке в верхней панели инструментов. В рабочем окне выделите рамкой построенные стержни.

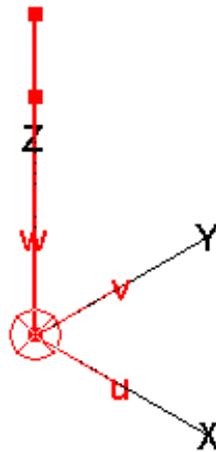


13. Для задания начальной и конечной точек вектора смещения в окне **Управление** нажмите на кнопку **Копировать**.



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.



| Координаты | |
|--|----|
| X | 18 |
| Y | 0 |
| Z | 0 |
| <input type="button" value="OK"/> <input type="button" value="Отмена"/> <input type="button" value=""/> >> | |

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.

| Координаты | |
|--|-------|
| X | 18+24 |
| Y | 0 |
| Z | 0 |
| <input type="button" value="OK"/> <input type="button" value="Отмена"/> <input type="button" value=""/> >> | |

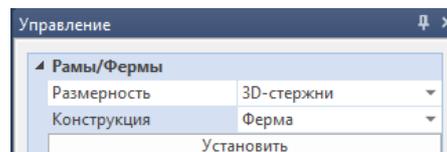
17. Завершите процесс копирования двойным кликом левой клавишей мыши на иконку **Домой**.



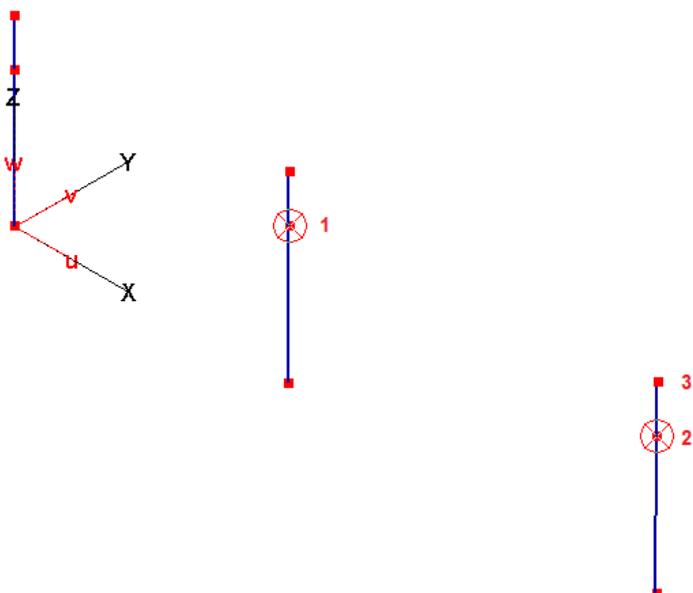
3.2.2 Построение геометрии фермы при помощи шаблона

Шаг за шагом

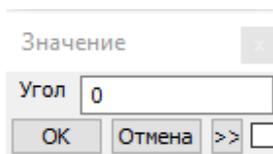
1. Вызовите команду **Элементы > Рамы/Фермы**.
2. В окне **Управление** в качестве регулярной части выберите **Фермы** и нажмите на кнопку **Установить**.



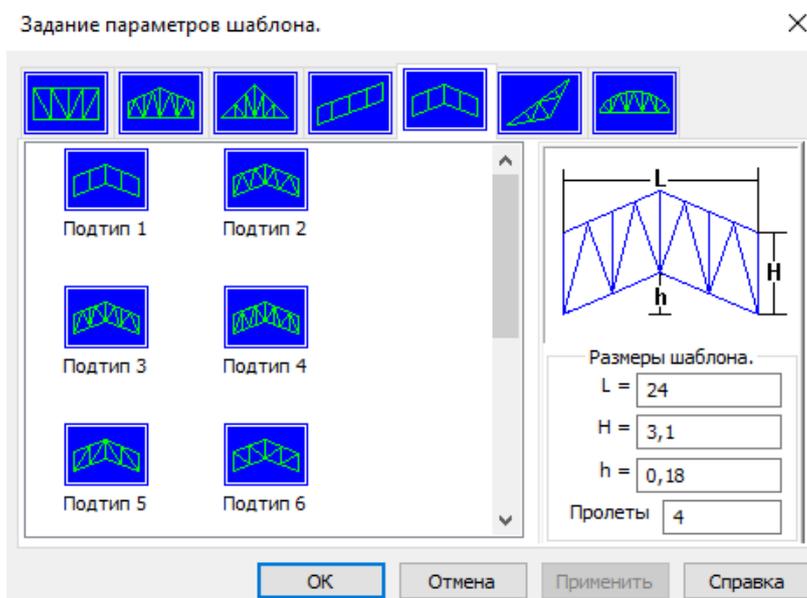
3. В рабочем окне последовательно укажите узлы привязки фермы, как показано на рисунке.



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

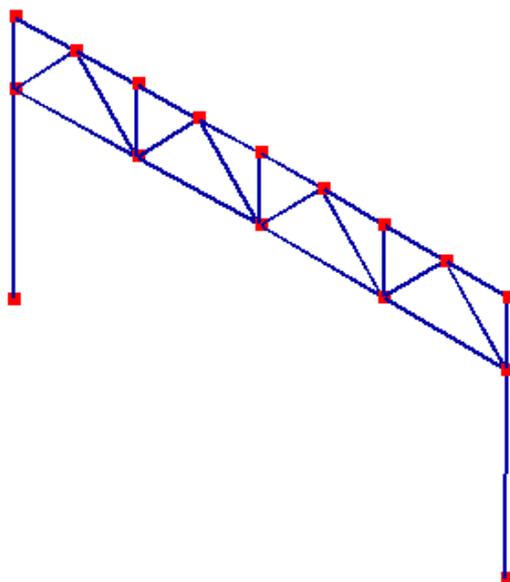


5. В окне **Задание параметров шаблона** перейдите во вкладку с шаблонами ферм с параллельными поясами и выберите **Подтип 3**.
6. Укажите размеры шаблона и нажмите на кнопку **ОК**.



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





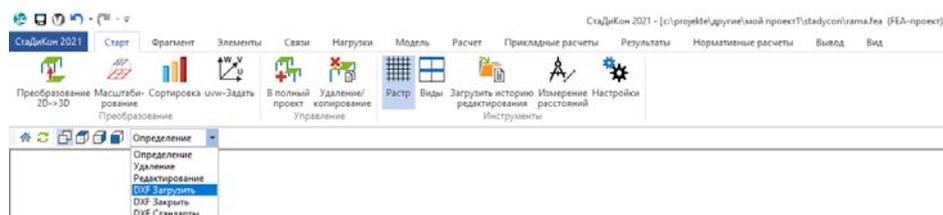
3.2.3 Загрузка dxf-слоя

Шаг за шагом

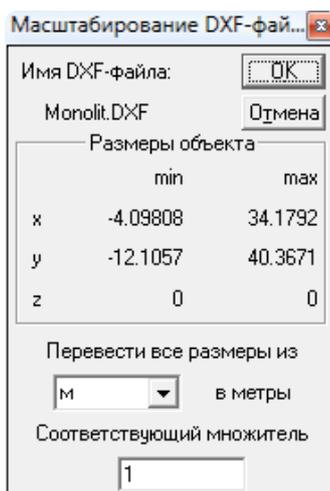


Растр

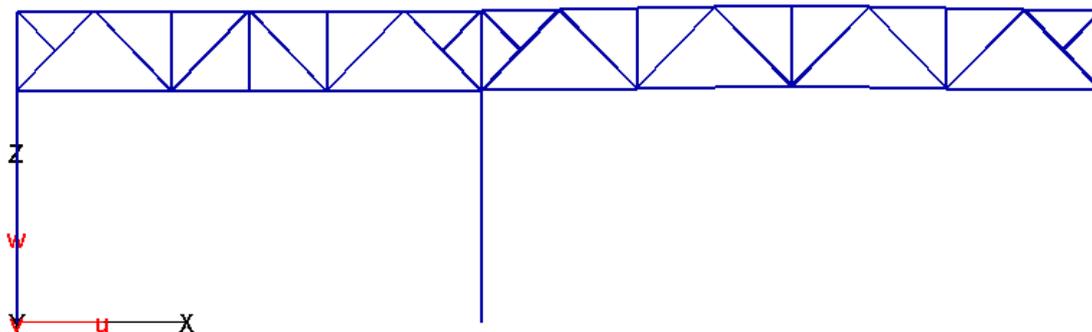
1. Вызовите команду **Старт > Растр > DXF Загрузить** или нажмите на соответствующую иконку на панели инструментов и в окне **Меню** выберите команду **DXF Загрузить**.



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 вычерчивалась схема фермы и, при необходимости, в поле **Соответствующий множитель** задайте коэффициент масштабирования.



5. Ввод данных подтвердите нажатием на кнопку **ОК**. В рабочем окне отобразится dxf-слой с той же привязкой к началу координат, что и в графическом приложении.



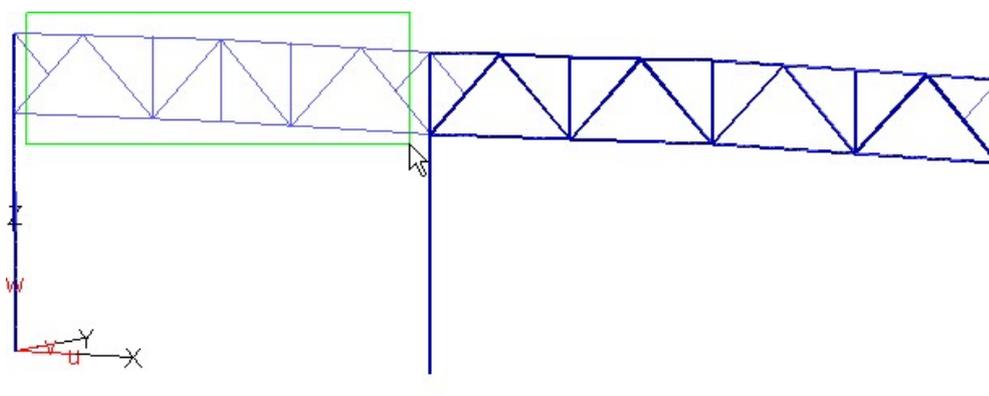
3.2.4 Построение геометрии на основе dxf-слоя

1. Вызовите команду **Правка > Геометрия > Элементы > Установка** или кликните по соответствующей иконке в левой панели инструментов.
2. В окне **Переключатели** выберите тип элементов **3D-балки**.
3. Активируйте опцию **Вох**, кликнув по соответствующим иконкам в верхней панели инструментов.
4. Секущей рамкой выделите элементы раstra, по которым необходимо построить стержни.

Шаг за шагом



Элементы

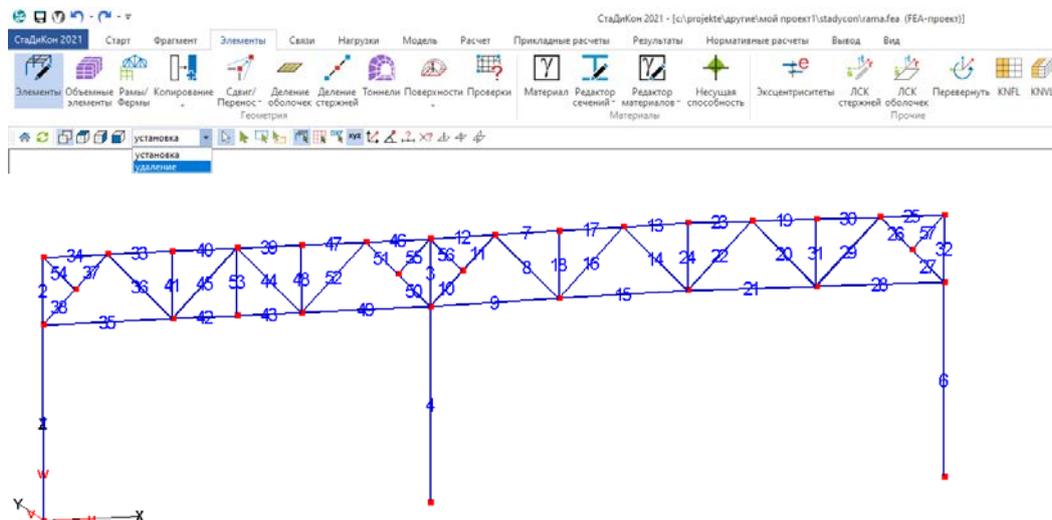


5. По окончании выделения на основе раstra будут сформированы стержни, при этом разбивка на конечные элементы будет осуществлена аналогично тому, как выполнялось построение рамы в графическом приложении, т.е. каждый отрезок будет соответствовать одному конечному элементу.
6. Для того чтобы разбить элементы в узлах пересечения вызовите команду **Элементы > Деление балок**.
7. Рамкой выделите все элементы. По окончании выделения кликните правой клавишей мыши в рабочем окне.
8. Снова выделите рамкой все элементы и кликните правой клавишей мыши в рабочем окне.
9. В появившемся окне управление нажмите **Делить**.



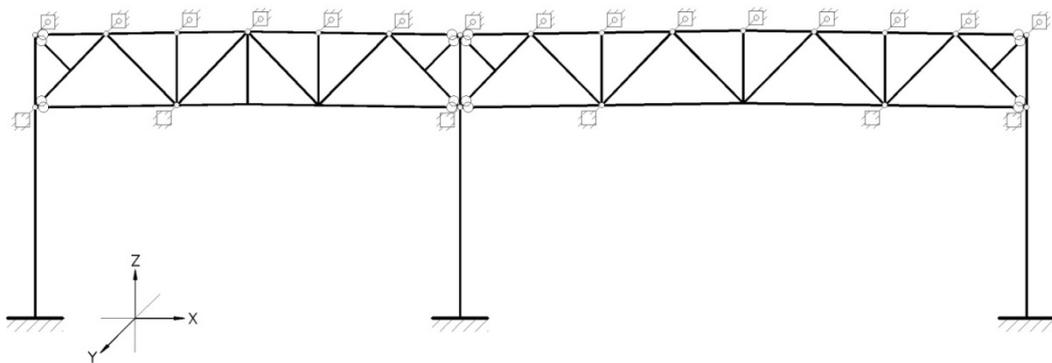
10. Завершите выполнение команды нажатием на кнопку домой.

11. Для просмотра номеров конечных элементов кликните по соответствующей иконке в верхней панели инструментов. Проследите чтобы все элементы прерывались в узлах и не было совпадающих элементов. При необходимости удалите совпадающие элементы, вызвав команду **Элементы > Элементы > Удаление**.



3.3 Задание краевых условий

Поскольку плоская рама будет решаться как пространственная задача, то необходимо задать связи из плоскости в местах крепления элементов связей. Схема с обозначением краевых условий представлена на рисунке.



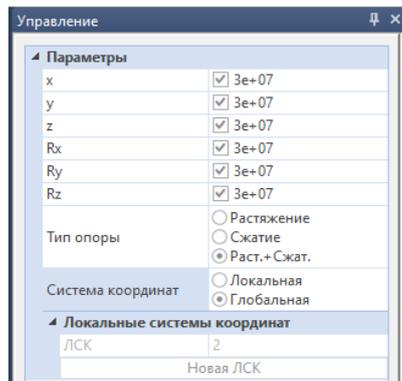
Шаг за шагом



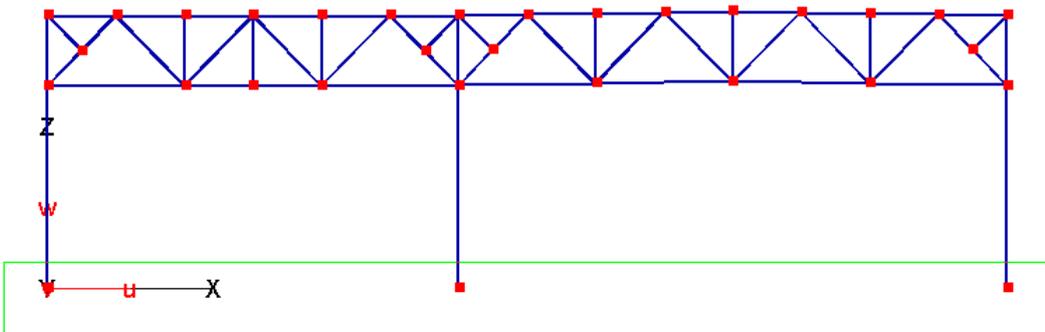
1. Для удобства дальнейшей работы установите для модели вид спереди, кликнув по иконке **XZ-проекция** в верхней панели инструментов.
2. Вызовите команду **Связи > Краевые условия > Узловые опоры > Установка** или кликните по соответствующей иконке в левой панели инструментов.



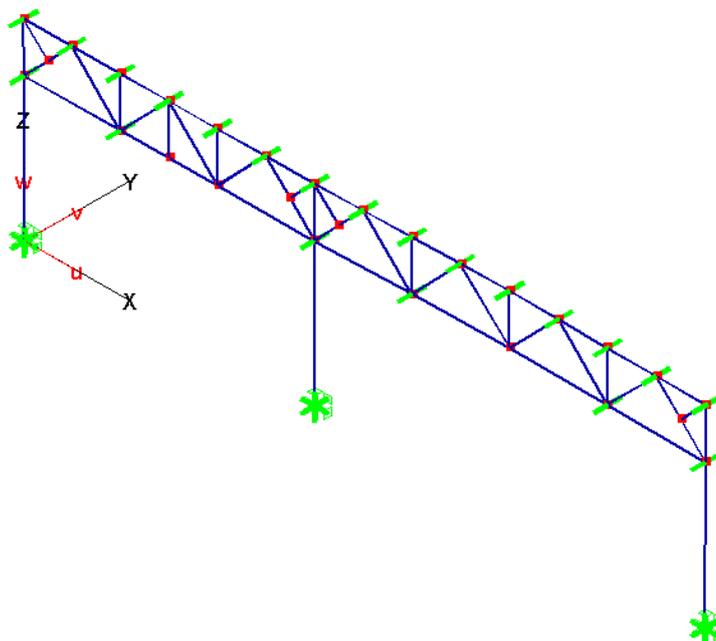
3. В окне **Переключатели** выберите систему координат и укажите по каким направлениям необходимо ввести связи. Также можно выбрать на какие усилия будет работать связь.



4. При активной опции **Box** рамкой выделите все нижние узлы колонн, чтобы установить в них жесткое защемление.



5. В окне **Переключатели** укажите направление действия связей только по оси Y и установите их согласно заданию.
6. Завершите выполнение команды, кликнув по иконке **Домой**.
7. Для включения отображения связей кликните на вкладке **Вид > Краевые условия**.



3.4 Установка шарниров

При решении задач часто необходимо смоделировать соединение элементов, отличное от жесткой связи. Для моделирования различного рода соединений в СтаДиКон используются Шарниры. Реализованы основных типа шарниров по виду установки – элементные, узловые, новые узловые, многомерные узловые, многомерные новые узловые. Информация о типах шарниров и возможностях их использования есть в online-Помощи.

В рабочем окне степени свободы узловых и элементных шарниров изображаются при помощи кодирования числами.

Изображаемое число образуется в результате суммирования для каждой степени свободы шарнира числа 2, возведенного в степень:

| | |
|---|--------------------------|
| 0 | для перемещения вдоль OX |
| 1 | для перемещения вдоль OY |
| 2 | для перемещения вдоль OZ |
| 3 | для поворота вокруг OX |
| 4 | для поворота вокруг OY |
| 5 | для поворота вокруг OZ |

Например, если установлен шарнир для поворота вокруг оси OZ, то будет показано число 32:

2 в степени $5 = 32$.

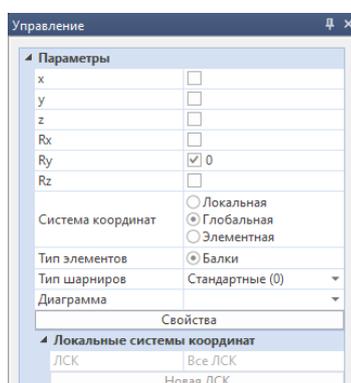
Если установлены шарниры для поворота вокруг оси OX и для поворота вокруг оси OZ, то будет показано число 40:

2 в степени $3 = 8$, 2 в степени $5 = 32$, $32 + 8 = 40$.

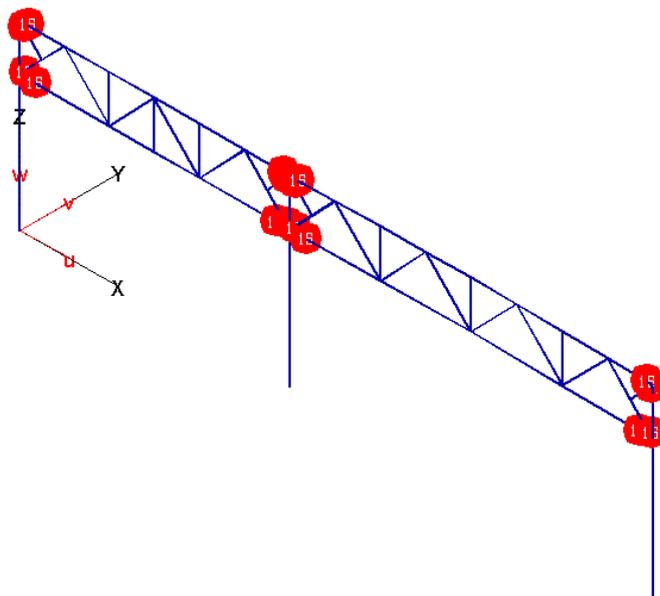
Узловые шарниры при этом изображаются желтыми кружочками с красными цифрами, а элементные - красными кружочками и белым цветом.

Шаг за шагом

1. Вызовите команду **Связи > Шарниры > Элементные шарниры > Установка**.
2. В окне **Переключатели** выберите тип системы координат, в которой задаются шарниры, укажите степени свободы и тип шарниров.



3. При активной опции **Einz** кликните по элементу около узла, в который необходимо установить шарнир.
4. Аналогичным образом задайте все шарниры согласно заданию.



5. Завершите выполнение команды, кликнув по иконке **Домой**.

3.5 Задание материалов

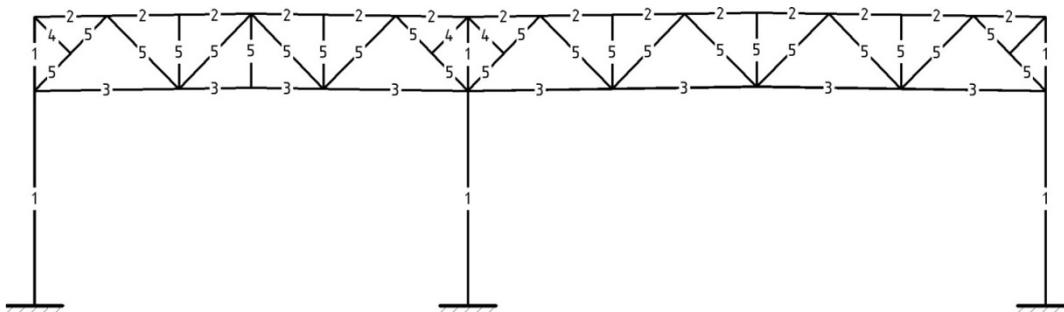
При решении задач с использованием метода конечных элементов для выполнения расчета изначально необходимо каждому элементу назначить материал. Под материалом в данном случае понимается совокупность параметров, характеризующих жесткостные свойства конечного элемента. В случае если действительные жесткости неизвестны, то их можно назначить условно на основе опыта проектирования подобных конструкций, а впоследствии отредактировать по результатам конструктивного расчета.

В **СтаДиКон** для задания материалов существует несколько возможностей: для стандартных составных и сварных сечений можно использовать специальный режим **Расчет сечений**, для более сложных – **Расчет сечений расширенный**. Расчет сечений расширенный – это использование редактора сечений Profilmaker, предназначенного для формирования и расчета сечений любой формы (в том числе тонкостенных).

Соответствие номеров материалов типам сечений приведено в таблице.

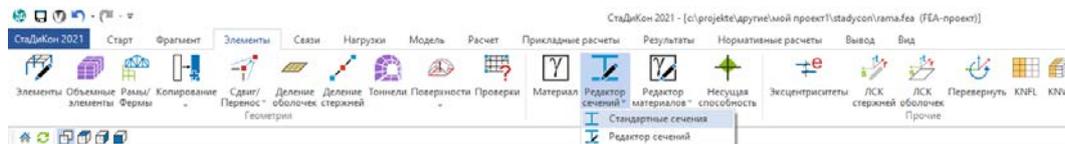
| № материала | Сечение |
|-------------|---|
| 1 | Сварной двутавр (полки 300*12 стенка 280*8) |
| 2 | Г100x7 по ГОСТ 8509-93 фасонка t=10 мм |
| 3 | Л100x7 по ГОСТ 8509-93 фасонка t=10 мм |
| 4 | Л50x5 по ГОСТ 8509-93 фасонка t=10 мм |
| 5 | Г80x6 по ГОСТ 8509-93 фасонка t=10 мм |

Схема рамы с указанием номеров материалов приведена на рисунке.

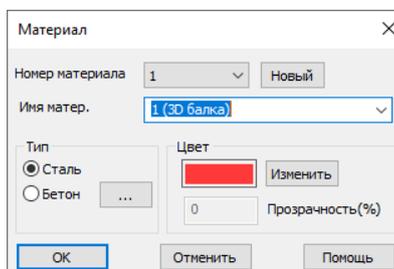


Шаг за шагом

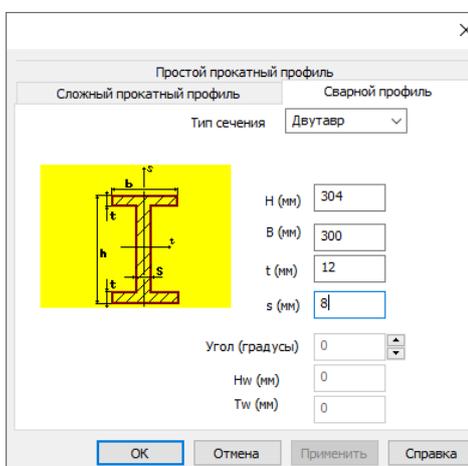
1. Прежде чем присваивать какой-либо материал элементам его нужно создать. Для этого вызовите команду **Элементы > Материалы > Стандартные сечений**.



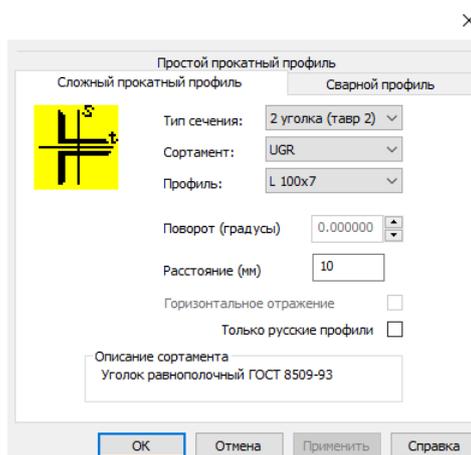
2. В появившемся диалоге укажите номер нового материала, имя материала, его тип и цвет.



3. После нажатия ОК появится окно задания сечения. Выберите тип сечения, сортамент и номер профиля.

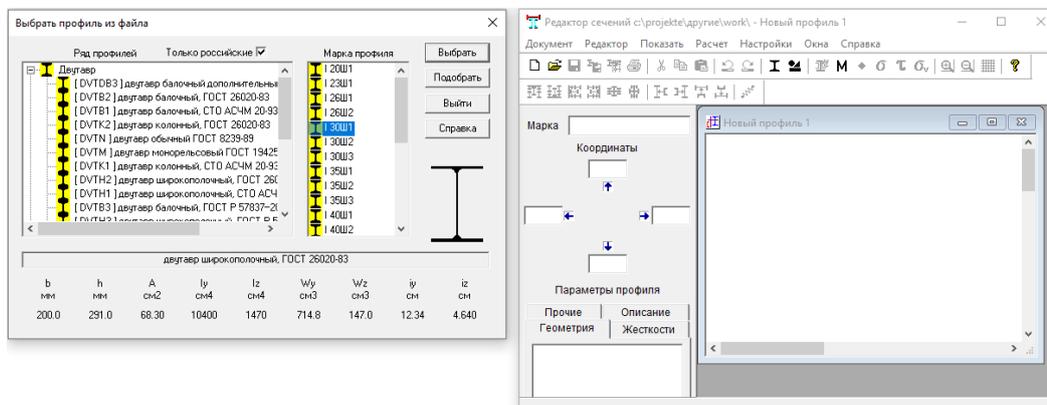


4. Аналогично с использованием закладки **Сложный прокатный профиль** задайте материалы для других стержней. Проконтролируйте положение сечения относительно элементных систем координат (направление осей указаны на пояснительном рисунке).



Рассмотрим также вариант задание сечение с использованием программы **Редактор сечений**. Здесь Вы можете создавать любые сечения, используя прокатные профили и простейшие геометрические фигуры.

1. Для этого вызовите команду **Элементы > Материалы > Редактор сечений**. Выберите номер материала и тип материала.
2. Для добавления в сечение прокатного профиля кликните по иконке **Редактор > Стандартный профиль** в верхней панели инструментов.
3. В появившемся окне выберите сортament и марку профиля, затем нажмите на кнопку **Выбрать**.



4. В рабочем окне появится выбранное Вами сечение, в нижней части рабочего окна можно просмотреть характеристики задаваемого сечения.
5. Прежде чем передать созданный материал в СтаДиКон необходимо выполнить его расчет. Для этого кликните по соответствующей иконке в верхней панели инструментов.
6. По окончании расчета кликните по иконке **Передать профиль** в верхней панели инструментов.

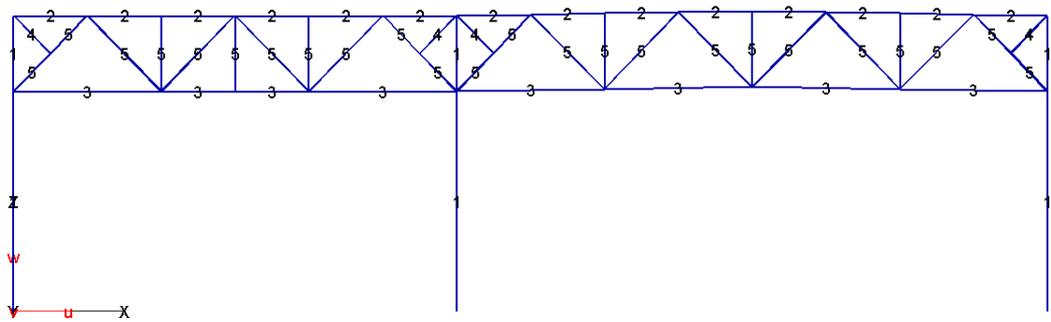
В левой части рабочего окна после проведения расчета указана ориентация осей S и T.

Советы & рекомендации

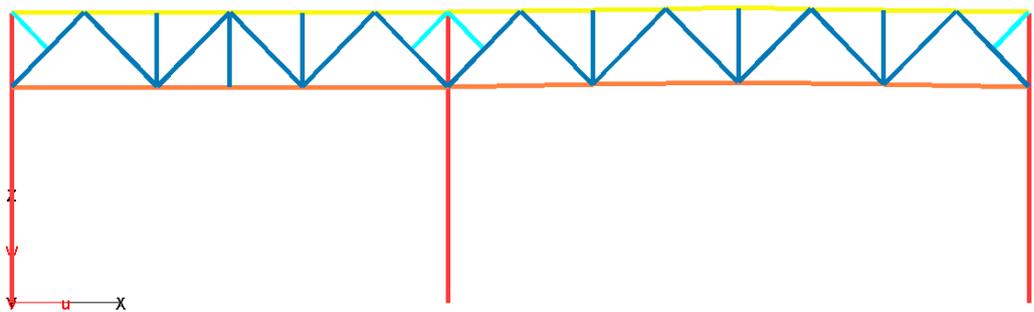
1. Чтобы присвоить материал элементу вызовите команду **Элементы > Материал > Установка** или кликните по соответствующей иконке в левой панели инструментов.



2. Кликните левой клавишей мыши в области окна **Управление**, в появившемся диалоге укажите номер материала, который Вы хотите присвоить элементам.
3. В рабочем окне укажите, каким элементам необходимо присвоить материал, выделив их любым удобным для Вас способом.



4. Завершите выполнение команды, кликнув по иконке **Домой**.
5. Для включения цветового отображения материалов перейдите на вкладку **Вид** кликните по иконке **Материалы** в верхней панели инструментов и в появившемся диалоге выберите тип отображения **Цветовое**.



При задании сечения из одиночного уголка следует помнить, что все проверки в нормах относятся к главным осям. Для корректности выполнения расчетов при определении характеристик сечения в Profilmaker уголок автоматически поворачивается.

3.6 Ввод нагрузок

Для удобства последующего формирования РСУ все нагрузки необходимо задать в различных нагружениях. Собственный вес несущих конструкций задается автоматически при назначении материалов и хранится в нагружении 1. Соответствие номеров нагружений нагрузкам и схему приложения нагрузок к раме см. в задании.

3.6.1 Ввод узловых нагрузок

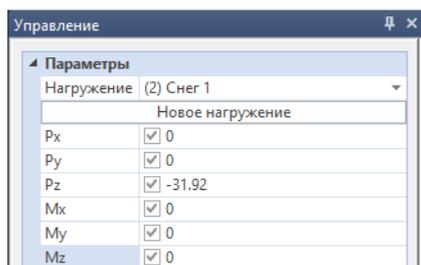
В соответствии с заданием в узлы ферм необходимо приложить следующие нагрузки: вес конструкций кровли и элементов связей и различные варианты снеговых нагрузок.

Шаг за шагом

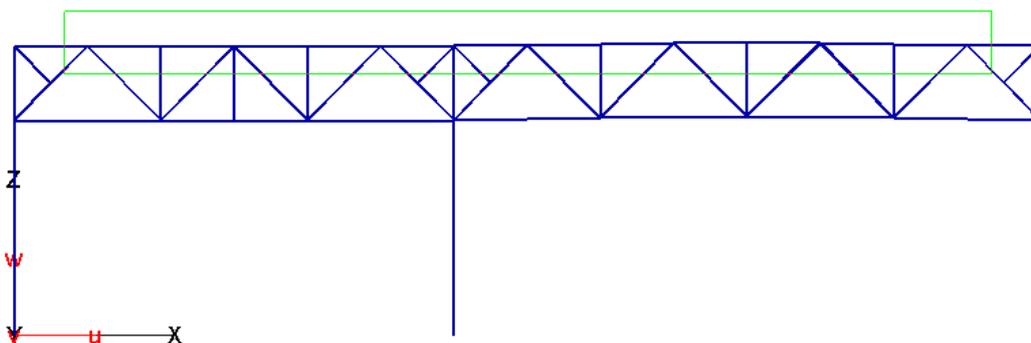
1. Вызовите команду **Нагрузки > Сосредоточенные нагрузки > Узловые > Установка**.



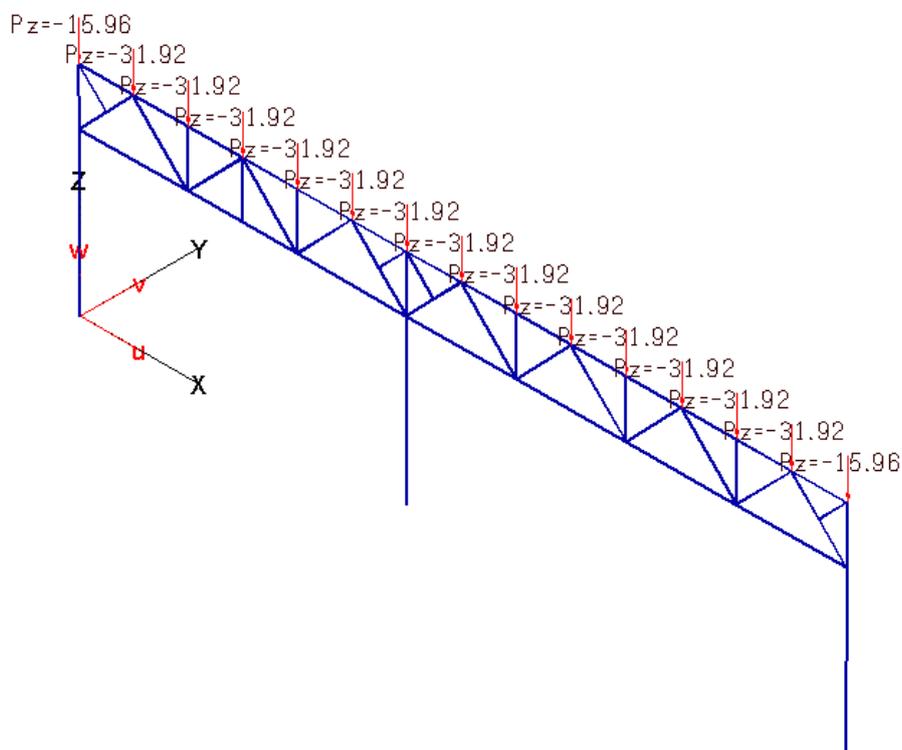
- В окне **Переключатели** выберите направление действия нагрузки, нажмите на кнопку **Нагруж.=0** и в появившемся диалоге укажите номер нагрузки, в который хотите добавить нагрузки.



- При нажатии на кнопку **ОК** появится следующий диалог, в котором необходимо задать значение узловой нагрузки. Обратите внимание, что положительные значения нагрузок сонаправлены с положительными направлениями осей глобальной системы координат. Нагрузки задаются в кН.
- При активной опции **Вох** рамкой выделите узлы, к которым необходимо приложить нагрузку.



- Аналогичным образом приложите все узловые нагрузки на раму в соответствии с заданием.



3.6.2 Ввод равномерно-распределенных распределенных нагрузок

В соответствии с заданием в виде равномерно-распределенных нагрузок необходимо приложить нагрузки от собственного веса ограждающих конструкций (стеновых панелей).

Шаг за шагом

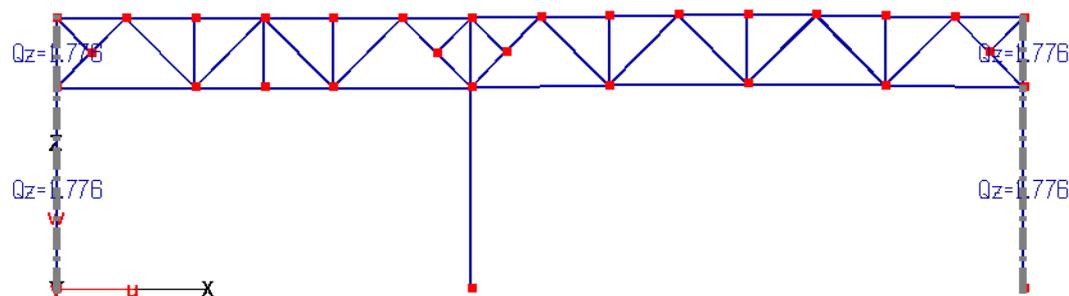
1. Вызовите команду **Нагрузки > Равномерно-распределенные > Установка**.



2. В окне **Управление** выберите систему координат и укажите направление действия нагрузки. В линейке прокрутки установите номер нагружения, в который необходимо добавить нагрузки.



3. Любым удобным для Вас способом выделите элементы, к которым необходимо приложить нагрузку.

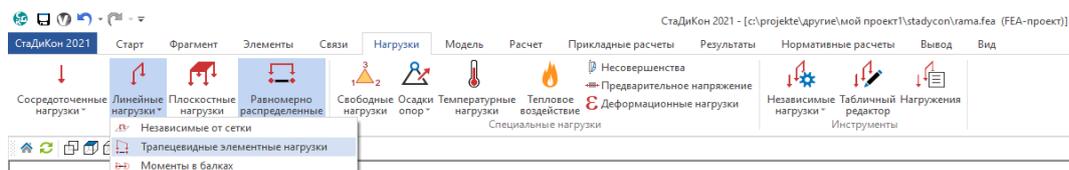


4. Завершите выполнение команды, кликнув по иконке **Домой**.

3.6.3 Ввод трапециевидных нагрузок

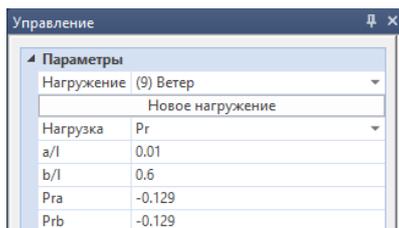
Шаг за шагом

1. Для задания трапециевидных нагрузок вызовите команду **Нагрузки > Линейные нагрузки > Трапециевидные элементы нагрузки > Установка**.

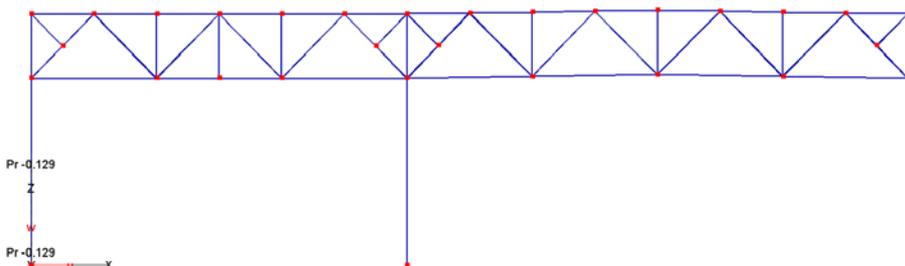


2. В окне **Управление** укажите направление действия нагрузки. В линейке прокрутки установите номер нагружения, в который необходимо добавить нагрузки.

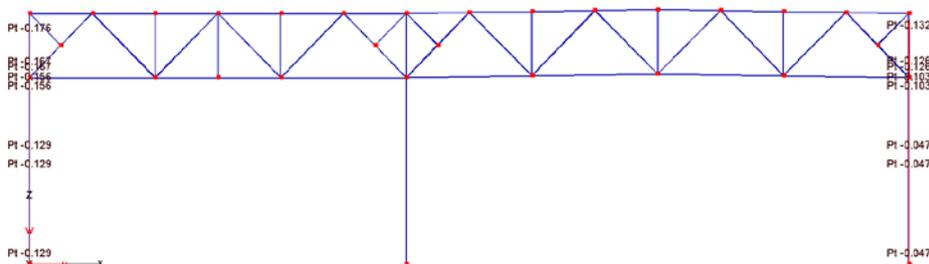
3. Кликните левой клавишей мыши в области **Информационного окна** и в появившемся диалоге введите значение нагрузки.



4. Любым удобным для Вас способом выделите элементы, к которым необходимо приложить нагрузку.

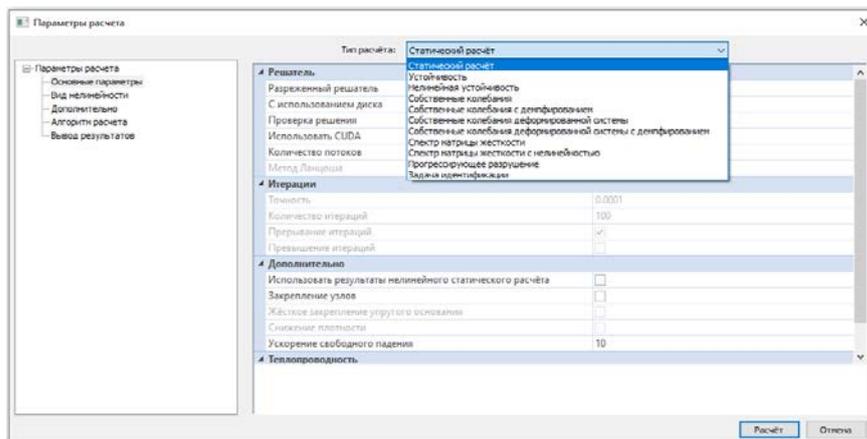


5. Аналогичным образом задайте остальные нагрузки.



3.6.4 Расчет

1. Сохраните модель, выбрав команду **СтаДиКон 2021 > Сохранить**.
2. Перейдите на вкладку **Расчет > Расчет**. В диалоге **Выбор типа расчета** выберите расчет **Статический** и нажатием кнопки **ОК** запустите расчет. После выполнения расчета модель загрузится автоматически.



При запуске на расчет проконтролируйте Стандарты расчета. Для вызова диалога стандартов нажмите кнопку **Стандарты**.

3.7 Задание расчетных сочетаний усилий

3.7.1 Определение характеристик нагружений

В соответствии с нормами для выполнения конструктивного расчета необходимо сформировать расчетные сочетания усилий.



Шаг за шагом

Для определения расчетных сочетаний усилий проделайте следующие операции:

1. Перейдите на вкладку **Нормативные расчеты > РСУ (СНиП)**.
2. В диалоге **Определение расчетных сочетаний усилий** задайте параметры для нагружений, переключая номера нагружений, укажите **Тип** нагрузки и укажите коэффициенты **Кн** (коэффициент надежности по нагрузке) и **Кд** (коэффициент длительной части). В появившемся диалоге выберите нужные значения коэффициентов для каждого нагружения соответственно. При этом длительно-действующие нагрузки с пониженным значением интерпретируются как кратковременные.

3. Необходимые для ввода параметры сведены в нижеследующую таблицу. Сверьте правильность заданных параметров.

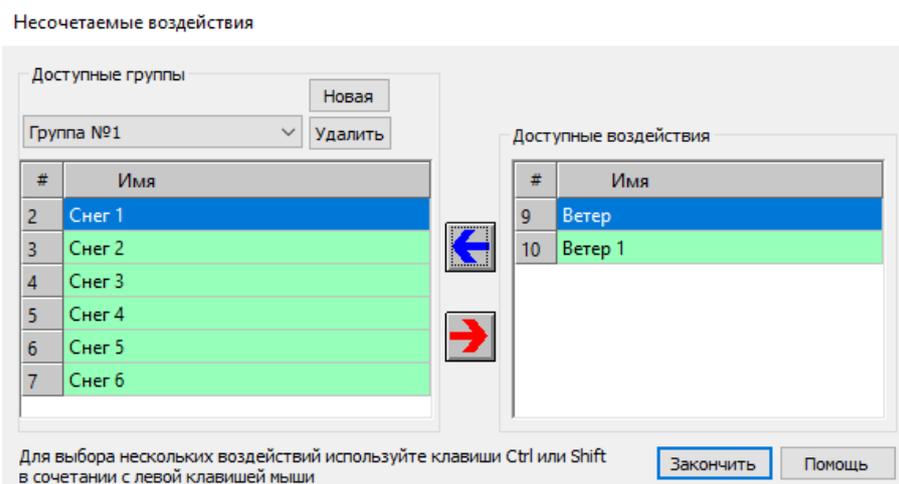
| Номер нагружения | Номер в КЭ модели | Тип нагружения | Источник | Знакопеременные | Кн | Кд |
|------------------|-------------------|----------------|----------|-----------------|-------|-----|
| 1 | 0 | Пост. | Простое | - | 1.05 | 1 |
| 2 | 1 | Пост. | Простое | - | 1.123 | 1 |
| 3 | 8 | Пост. | Простое | - | 1.2 | 1 |
| 4 | 2 | Кратковр. | Простое | - | 1.4 | 0.5 |
| 5 | 3 | Кратковр. | Простое | - | 1.4 | 0.5 |
| 6 | 4 | Кратковр. | Простое | - | 1.4 | 0.5 |
| 7 | 5 | Кратковр. | Простое | - | 1.4 | 0.5 |
| 8 | 6 | Кратковр. | Простое | - | 1.4 | 0.5 |
| 9 | 7 | Кратковр. | Простое | - | 1.4 | 0.5 |
| 10 | 9 | Кратковр. | Простое | - | 1.4 | 0 |
| 11 | 10 | Кратковр. | Простое | - | 1.4 | 0 |

3.7.2 Несочетаемые нагружения

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

1. Нажмите кнопку **Несочетаемые воздействия** в активном диалоге.
2. В появившемся диалоге сначала необходимо создать группу, а затем в созданную группу добавлять номера несочетаемых нагружений данной группы. Нажмите **Добавить** новую группу. Автоматически будет присвоен порядковый номер.
3. Далее введите номера несочетаемых нагружений нажимая после каждого номера нагружения **Добавить** для добавления его в группу.

Шаг за шагом



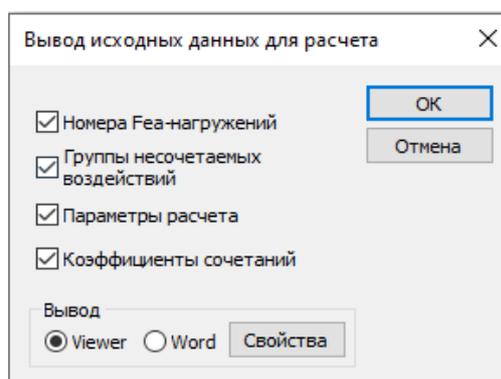
4. Задайте группы несочетаемых нагружений согласно нижеприведенной таблице.

| Группа | Номера нагружений |
|--------|-------------------|
| 1 | 4, 5, 6, 7, 8, 9 |
| 2 | 10, 11 |

3.7.3 Расчет РСУ

1. В активном диалоге **Определение расчетных сочетаний усилий СНИП** можно получить исходные данные, в виде файла нажав **Вывод на печать исх. данных**.

Шаг за шагом



| | | |
|----------------|---------------|----------|
| Обозн. проекта | MicroFe | 2021 |
| FE-модель | Новая позиция | Дата |
| Обозн. модели | | 18.05.21 |

Исходные данные для определения расчетных сочетаний усилий СНИП

Используемые обозначения:

К.н. - коэффициент надежности воздействия.

К.д. - коэффициент длительности воздействия.

+/- - знакопеременность воздействия.

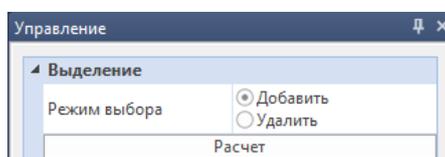
Н.о. - несочетаемость с особыми воздействиями.

№ Г.н. - номер группы несочетаемости (если есть).

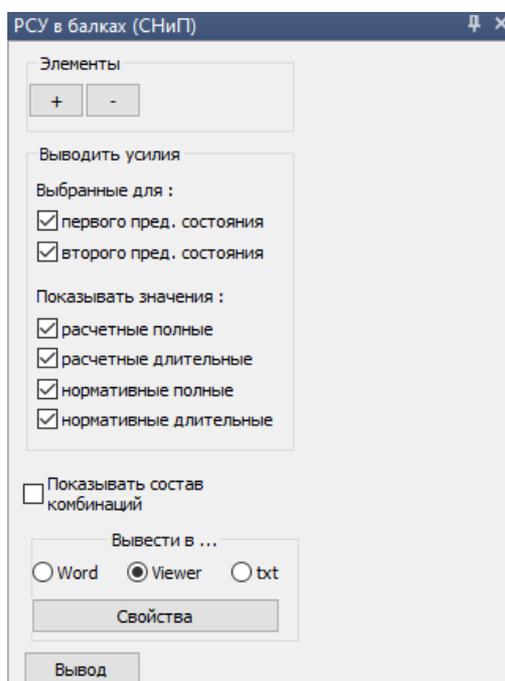
== Воздействия ==

| Имя | Тип | Источник | +/- | К.н. | К.д. | Н.о. | № Г.н. |
|-------------------------------|-----------------|----------|------|------|------|------|--------|
| Вес кровли и элементов связей | Постоянное | Простое | 1.12 | | | | |
| Снег 1 | Кратковременное | Простое | Нет | 1.42 | 0.50 | Нет | 1 |
| Снег 2 | Кратковременное | Простое | Нет | 1.43 | 0.50 | Нет | 1 |
| Снег 3 | Кратковременное | Простое | Нет | 1.43 | 0.50 | Нет | 1 |
| Снег 4 | Кратковременное | Простое | Нет | 1.43 | 0.50 | Нет | 1 |
| Снег 5 | Кратковременное | Простое | Нет | 1.43 | 0.50 | Нет | 1 |
| Снег 6 | Кратковременное | Простое | Нет | 1.43 | 0.50 | Нет | 1 |
| Ограждающие конструкции | Постоянное | Простое | 1.20 | | | | |

2. В активном диалоге **Определение расчетных сочетаний усилий СНИП** нажмите на кнопку **ОК**.
3. В окне **Управление** нажмите на кнопку **Добавить** и выделите нужные элементы расчета. По окончании выделения нажмите на кнопку **Расчет**.



4. Для вывода результатов расчета перейдите на вкладку **Нормативные расчеты > Результаты**.
5. В окне **PCY в балках (СНИП)** выберите нужные настройки вывода результатов. Нажмите на кнопку **Вывод**.



| | | | |
|----------------|----------------|---------|----------|
| Обозн. проекта | Рама | MicroFe | 2021 |
| FE-модель | rama final 001 | Дата | 18.05.21 |
| Обозн. модели | | | |

| Результаты расчета РСУ по нормам СНиП 2.01.07-85 | | | | | | | | | |
|--|--------|----|-----|------|----|----|-----|-----|-----|
| Элем. | Коорд. | Nk | Тип | N | Qz | Qt | Mr | Ms | Mt |
| | м | | | кН | кН | кН | кНм | кНм | кНм |
| 1 | 0.0 | 1 | рп | -106 | 0 | -1 | 0 | 2 | 0 |
| | | | рд | -60 | 0 | -0 | 0 | 2 | 0 |
| | | | нп | -72 | 0 | -1 | 0 | 2 | 0 |
| 2 | | | рд | -40 | 0 | -0 | 0 | 1 | 0 |
| | | | рп | 20 | 0 | -0 | 0 | 2 | 0 |
| | | | рд | 6 | 0 | -0 | 0 | 1 | 0 |
| 3 | | | нп | 11 | 0 | -0 | 0 | 1 | 0 |
| | | | нп | 2 | 0 | -0 | 0 | 1 | 0 |
| | | | рд | -132 | 0 | -1 | 0 | 3 | 0 |
| 4 | | | рд | -73 | 0 | -1 | 0 | 2 | 0 |
| | | | нп | -91 | 0 | -1 | 0 | 3 | 0 |
| | | | нп | -49 | 0 | -0 | 0 | 2 | 0 |
| | | | рд | -98 | 0 | -1 | 0 | 4 | 0 |
| 5 | | | рд | -53 | 0 | -1 | 0 | 3 | 0 |
| | | | нп | -72 | 0 | -1 | 0 | 3 | 0 |
| | | | нп | -40 | 0 | -1 | 0 | 2 | 0 |
| | | | рп | -105 | 0 | -1 | 0 | 4 | 0 |
| 6 | | | рд | -59 | 0 | -1 | 0 | 3 | 0 |
| | | | нп | -72 | 0 | -1 | 0 | 3 | 0 |
| | | | нп | -40 | 0 | -1 | 0 | 2 | 0 |
| | | | рп | -0 | 0 | -0 | 0 | 1 | 0 |
| | | | рд | -0 | 0 | -0 | 0 | 1 | 0 |
| | | | нп | -8 | 0 | -0 | 0 | 1 | 0 |
| | | | нп | -8 | 0 | -0 | 0 | 1 | 0 |

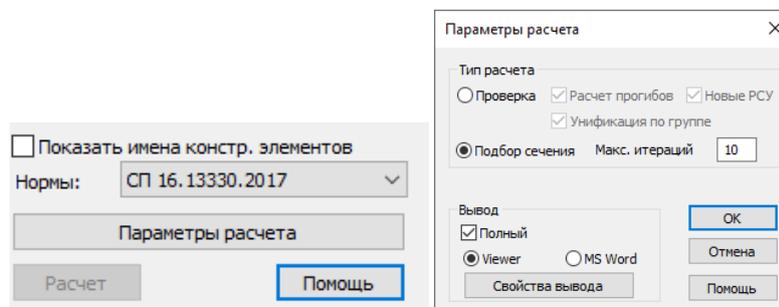
3.8 Конструктивный расчет

Для выполнения конструктивных расчетов стальных конструкций в СтаДи-Кон реализовано 2 подхода. Первый – с использованием имеющейся информации о конечных элементах. В этом случае рассматриваются указанные группы конечных элементов в виде списка. Данный подход является устаревшим, в настоящее время не развивается, и в данном примере рассматриваться не будет. Второй – через создание специальных групп конечных элементов – конструктивных элементов. Конструктивный элемент позволяет оптимизировать задание данных для конструктивного расчета (например, автоматически определить длину элемента), упростить документирование и обладает рядом дополнительных достоинств. В данном примере мы рассмотрим выполнение конструктивных расчетов с использованием конструктивных элементов.

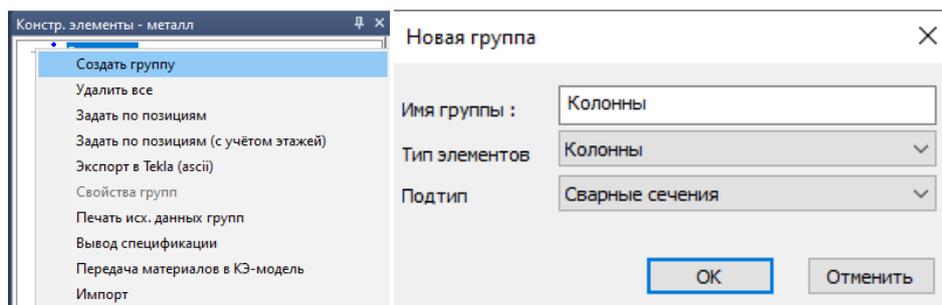
3.8.1 Задание данных для конструктивных элементов

1. Перейдите на вкладку **Нормативные расчеты > Конструктивные стальные элементы > Задание данных** или кликните по соответствующей иконке в левой панели инструментов.

В появившемся окне **Конструктивные элементы - металл** укажите нормы, согласно которым будет выполняться расчет, и параметры расчета. Выполнение расчета возможно по следующим нормативным документам: **СНиП II-23-81* «Стальные конструкции», СП 53-102-2004 «Общие правила проектирования стальных конструкций», СТО 02494680-0049-2005 "Конструкции стальные строительные. Основные принципы расчета на прочность, устойчивость, усталостную долговечность и сопротивление хрупкому разрушению" и СП 16.13330.2017.** Выберите СП 16.13330.2017. Возможен подбор сечения - в этом случае результатом расчета является сечение, или проверка – в этом случае выдаются результаты проверок для заданного сечения. Установим **Тип расчета Подбор сечения.**

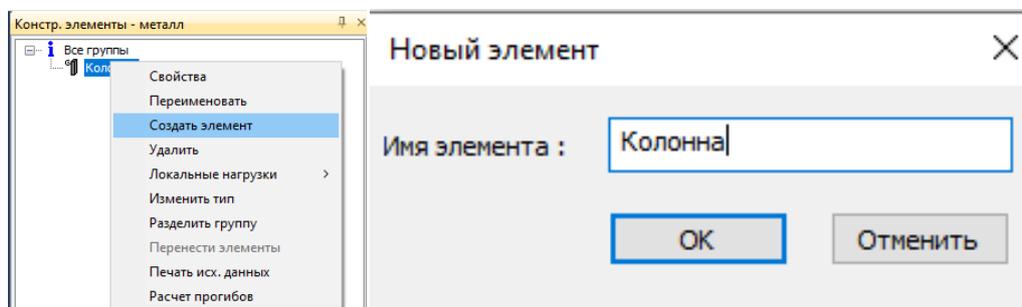


2. В поле отображения дерева конструктивных элементов кликните правой клавишей мыши по надписи **Все группы** и в появившемся списке выберите **Задать группу**. Задайте имя группы, тип элементов и подтип.



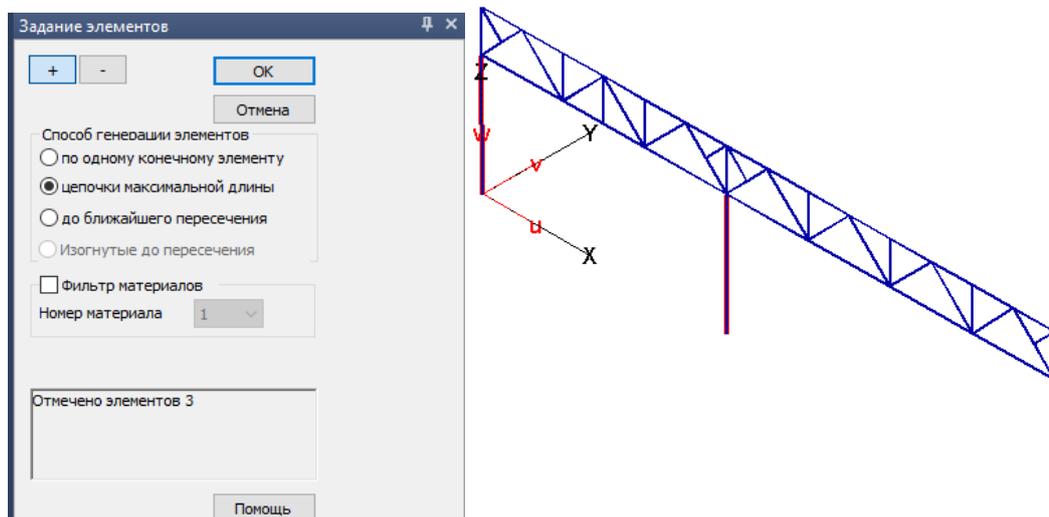
- Группа конструктивных элементов должна включать в себя конструктивные элементы с абсолютно одинаковыми расчетными характеристиками (например, для колонн это коэффициент расчетной длины, тип и размеры поперечного сечения и пр.). Если конструктивные элементы различаются хотя бы по одному параметру, то их необходимо отнести к разным группам.
- Доступны следующие типы элементов: колонны, балки, пояс фермы, стойка фермы, раскос фермы. Типы элементов в группе можно менять после определения.

3. После создания группы необходимо определить, какие элементы будут отнесены к данной группе. Кликните по названию группы правой кнопкой мыши и в контекстном меню выберите **Создать элемент**. В появившемся окне задайте имя первого элемента.



4. В рабочем окне выделите конечные элементы, которые необходимо отнести к колоннам. Обратите внимание, что конечные элементы, входящие в состав других конструктивных элементов не могут быть выделены. Для того чтобы добавить конечные элементы в выделение или, наоборот, вычесть из выделения, используйте соответственно переключатели **+** и **-** в левом верхнем углу окна **Задание элементов**. Для завершения задания конструктивного элемента нажмите на кнопку **ОК**.

Советы & рекомендации



При генерации элементов может быть использован фильтр по материалу для исключения ошибочного создания элементов с различными характеристиками в одной группе. Характеристики сечения могут быть автоматически перенесены из данных по материалу.

Советы & рекомендации

5. Аналогичным образом определите остальные группы.

Состав групп конструктивных элементов приведен в таблице.

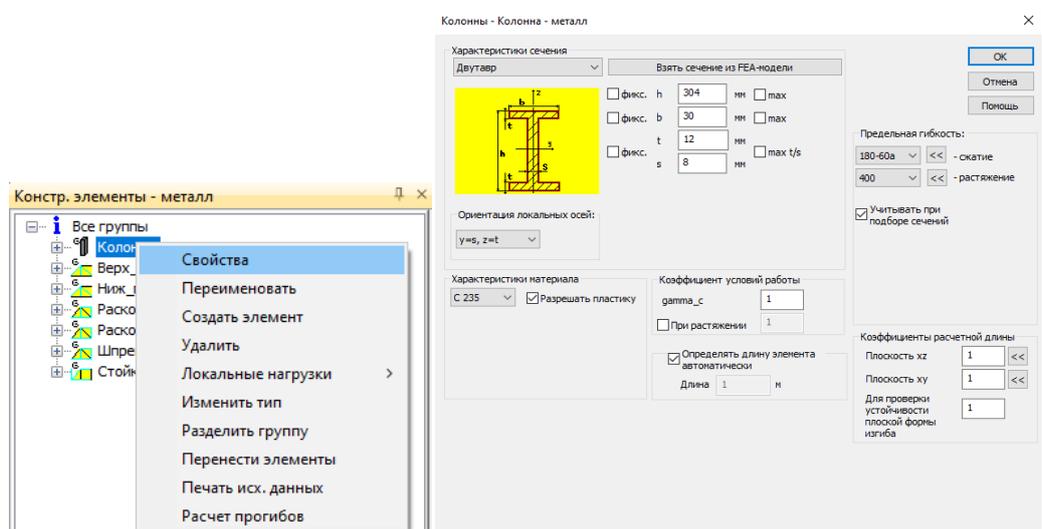
| Группа конструктивных элементов | Состав группы |
|---------------------------------|---------------------------------|
| Колонны | Основные колонны сечением |
| Верх_пояс | Верхний пояс |
| Ниж_пояс | Нижний пояс |
| Раскосы_основ | Раскосы, за исключением опорных |
| Раскосы_опор | Опорные раскосы |
| Шпренгель | Дополнительные опорные раскосы |
| Стойки | Стойки |

6. В поле отображения дерева конструктивных элементов кликните правой клавишей мыши по названию первой группы и в появившемся списке выберите команду **Свойства**.

7. В появившемся окне изображается сечение элементов, приведены все характеристики, заданные для стержней на этапе формирования модели, которые необходимы для выполнения конструктивного расчета.

Особое внимание должно быть уделено заданию данных для расчета на устойчивость – коэффициентам расчетной длины. Они должны назначаться в зависимости от закреплений. Особенно это важно для поясов, так как весь пояс является единым конструктивным элементом.

Советы & рекомендации

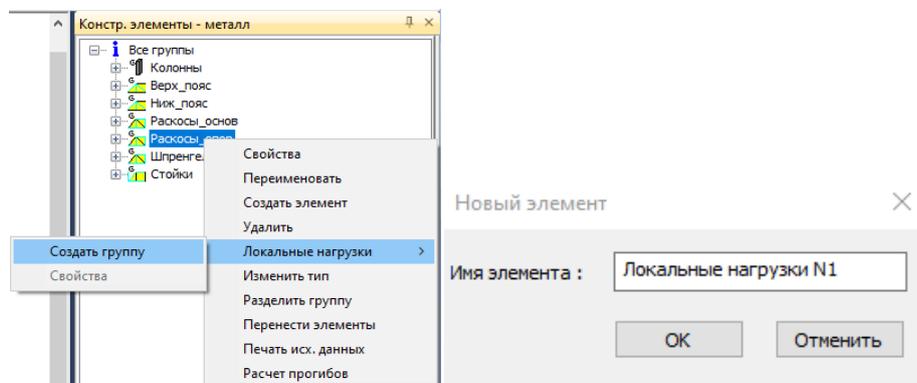


8. В поле **Характеристики материала** выберите марку стали. В поле **Пределная гибкость** выберите ограничение по гибкости для данной группы (в данном случае $180-60\alpha$, так как группа – основные колонны). Параметр α будет вычислен программой.
9. В соответствующей зоне диалога укажите коэффициенты для определения расчетной длины элементов группы. Установите опцию **Определять длину элемента автоматически**. Также можно задать длину элемента вручную.

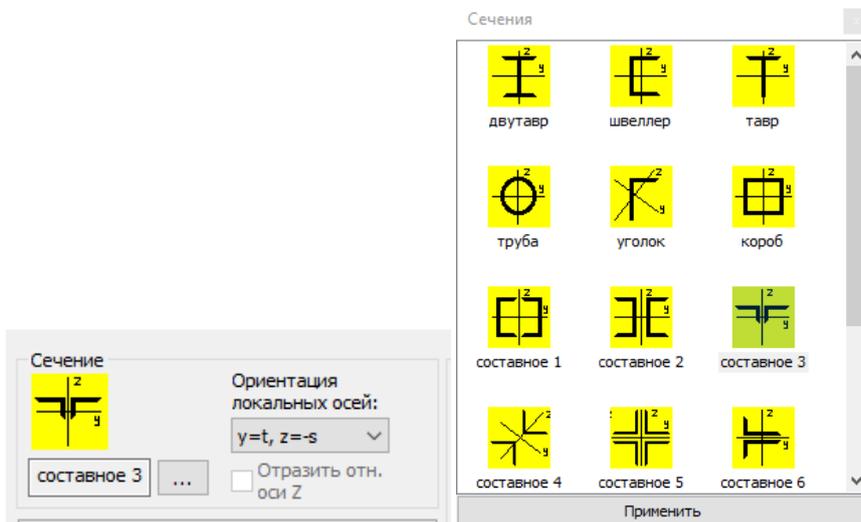
Советы & рекомендации

Всегда контролируйте правильность ориентации сечения (область диалога Сечение) и соответствие коэффициентов расчетной длины по осям. Неверная ориентация сечения может привести к некорректным результатам.

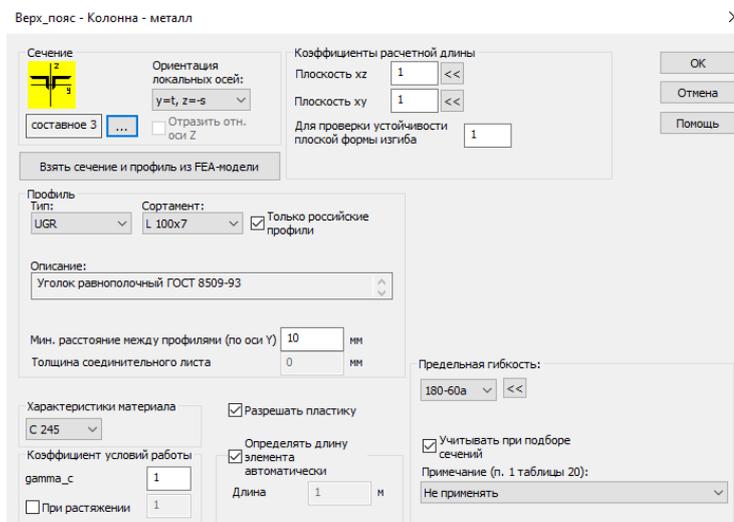
10. Вызвав контекстное меню для группы, можно задать группу узлов, в которых приложена локальная нагрузка (например, для расчета локальных напряжений при расчете сварной балки). При задании локальной нагрузки указывается зона приложения нагрузки. В данном примере указанный элемент не используется.



11. Аналогичным образом задайте свойства для всех групп.
12. Для составных сечений информация о сечении также может быть взята из данных материала или их можно задать вручную. Для расчета доступны составные сечения различных типов. Задание сечения осуществляется с помощью кнопки в поле **Сечение** диалога свойств группы.



13. Для группы Верхн_пояс проконтролируйте тип сечения, ряд профилей и профиль, а также толщину фасонки в поле **Мин. расстояние между профилями**. Задайте остальные свойства группы: **Характеристики материала, Гибкость, Расчетные длины** и др.



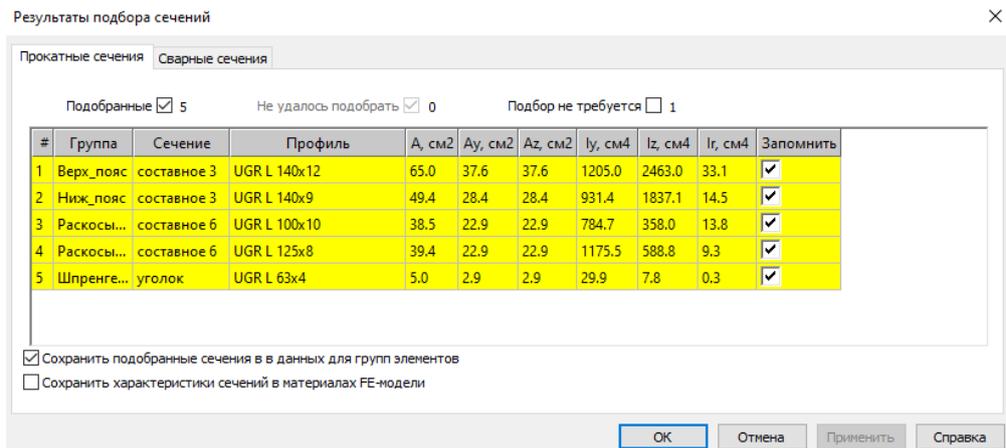
14. Аналогичным образом задайте свойства оставшихся групп.
15. Нажмите кнопку **Расчет**. Вы можете выбрать группы, для которых будет выполнен расчет.

3.8.2 Просмотр результатов конструктивного расчета

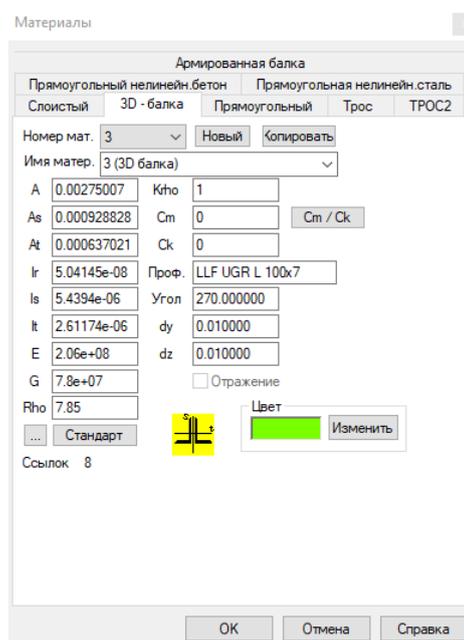
1. После выполнения расчета появится диалог с указанием выбранного сечения и его характеристик для каждой из групп. Данные по выбранному сечению можно перенести в **Свойства групп** для проверки и, в случае необходимости, передать в **Материалы** для выполнения уточненного статического расчета с учетом изменившихся жесткостных характеристик.
2. В появившемся окне установите опцию **Запомнить для групп** и выберите каким образом нужно запомнить подобранные сечения: **Сохранить подобранные сечения в данных для групп элементов** и **Сохранить характеристики сечений в материалах FE-модели**. Вторая опция ус-

Шаг за шагом

тановлена вследствие необходимости пересчета конструкции при существенном изменении характеристик сечения.



- После нажатия кнопки **ОК** в результате замены профилей (по результатам подбора) изменилось распределение жесткостей в системе (например, сечения нижнего и верхнего поясов различаются), поэтому проведите заново статический расчет и расчет РСУ (см. п.3.6.4 и 3.7). Проконтролировать данные о материале можно в диалоге свойств материала **Элементы > Материал > Редактировать**.



- Перейдите в режим **Задания данных** для конструктивного расчета стальных конструкций. Все данные для конструктивных элементов заданы, после выполнения подбора автоматически устанавливается режим расчета **Проверка**.
- Нажмите кнопку **Расчет**.
- В результате расчета будет сформирован документ, содержащий результаты проверок групп конструктивных элементов. Результат проверок представлен в виде набора коэффициентов использования.

| | | | |
|---------------|--------|---------|----------|
| Обоз. проекта | Рама | MicroFe | 2021 |
| FE-модель | gama11 | Дата | 18.05.21 |
| Обоз. модели | | | |

Результаты расчета по СНиП 2-23-81*

Используемые обозначения:

K_{t1q} – коэффициент использования сечения по условиям прочности на действие продольной силы и изгибающих моментов (формула 28,38,39,40,49,50);
 K_{t1qv} – коэффициент использования сечения по условиям прочности на действие эквивалентных напряжений (формула 33);
 K_{t1a} – коэффициент использования сечения по условиям прочности на действие касательных напряжений (формула 29);
 K_u – коэффициент использования сечения по условию устойчивости в плоскости момента M_y (для труб – суммарный момент) (формула 7,51);
 K_x – коэффициент использования сечения по условию устойчивости в плоскости момента M_x (для труб – из плоскости действия момента) (формула 7,51);
 K_{ux} – коэффициент использования сечения по условию устойчивости при совместном действии продольной силы N и момента M_x (формула 62);
 K_{ux} – коэффициент использования сечения по условию устойчивости плоской формы изгиба (формула 34,56);
 K_{wf} – коэффициент использования сечения по условию прочности по металлу вала (формула 126);
 K_{wz} – коэффициент использования сечения по условию прочности по границе сплавления (формула 126);
 K_{ht} – коэффициент использования сечения по условию устойчивости ступни двутавра (без учета местной нагрузки) (формула 74,98);
 K_{ht} – коэффициент использования сечения по условию устойчивости полки двутавра (пункт 7.23, 7.24);
 K_{htw} – коэффициент использования сечения по условию устойчивости соединительного листа (формула 90);
 Пояснение: коэффициент использования – это отношение действующей нагрузки к предельной

Колонны

Исходные данные

Тип элемента: Колонна – металл
 Подтип элемента: Сварные сечения

-- Геометрия сечения
 Сечение: Двутавр



| b (мм) | h (мм) | t (мм) | z (мм) |
|--------|--------|--------|--------|
| 230,0 | 604,0 | 12,0 | 8,0 |

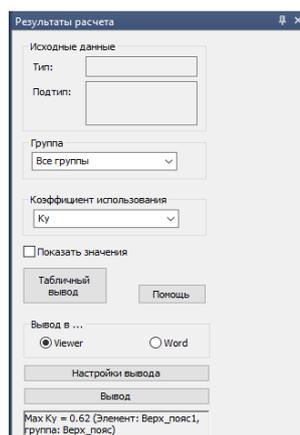
Ориентация сечения: $y - z, x - t$

-- Коэффициенты расчетной длины
 (длины элементов определяется автоматически)

| M_y | M_x | N | M_x | M_y | N |
|-------|-------|------|-------|-------|-----|
| 1,00 | 1,00 | 1,00 | | | |

-- Материал
 Материал – сталь С 235

- В результате замены профилей (по результатам подбора) изменилось распределение жесткостей в системе (например, сечения нижнего и верхнего поясов различаются), поэтому проведите заново статический расчет и расчет РСУ.
- Для облегчения восприятия информации и общей оценки прочности конструкции удобен режим графического представления результатов конструктивного расчета. Вызовите команду меню **Сталь > Конструктивные стальные элементы > Результаты расчета**. В рабочем окне распределение коэффициентов использования будет показано в виде заливки. Стержни, для которых коэффициент использования превышает 1, будут выделены красным цветом. Для остальных стержней применяются цвета от зеленого (наименьший коэффициент использования) до оранжевого (коэффициент использования 1). Максимальный коэффициент использования будет указан информационном окне результатов расчета.



9. В окне **Результаты расчета** выберите **Группу** и **Коэффициент использования**. Коэффициент использования - это отношение действующей нагрузки к предельной или отношение действующих усилий в элементе к предельным. При значениях коэффициента использования меньше или равных 1, элемент несет нагрузку. При больших значениях - нет. Для изображения коэффициентов использования в программе существует специальная цветовая шкала с цветами от зеленого до оранжевого для допустимых значений (от 0 до 1) и красным цветом для значения коэффициента использования больше 1. При проверках по СП вычисляются следующие коэффициенты использования:

Ksig – коэффициент использования сечения по условиям прочности на действие продольной силы и изгибающих моментов (формула 28, 38, 39, 40, 49, 50);

Ky – коэффициент использования сечения по условию устойчивости в плоскости момента M_y (формула 7,51);

Kz – коэффициент использования сечения по условию устойчивости в плоскости момента M_z (формула 7,51);

Kyz – коэффициент использования сечения по условию устойчивости при совместном действии продольной силы N и моментов M_y и M_z (формула 62);

Kqy – коэффициент использования сечения по условиям прочности по касательным напряжениям от действия поперечной силы Q_y (формула 29);

Kqz – коэффициент использования сечения по условиям прочности по касательным напряжениям от действия поперечной силы Q_z (формула 29);

Kик – коэффициент использования сечения по условию устойчивости плоской формы изгиба (формула 34, 56);

Ksigv – коэффициент использования сечения по условиям прочности на действие эквивалентных напряжений (формула 33);

Ktau – коэффициент использования сечения по условиям прочности на действие касательных напряжений (формула 29);

Пояснение: коэффициент использования - это отношение действующей нагрузки к предельной.



4 Библиографический список

1. СП 294.1325800.2017 «Общие правила проектирования стальных конструкций». М. : ЦНИИСК им. Кучеренко, 2017.
2. СП 16.13330.2017 «Стальные конструкции». М. : ЦНИИСК им. Кучеренко, 2017.
3. СТО 02494680-0049-2005 "Конструкции стальные строительные. Основные принципы расчета на прочность, устойчивость, усталостную долговечность и сопротивление хрупкому разрушению". М. : ЦНИИПСК им. Мельникова, 2005.
4. СП 20.13330.2016 "Нагрузки и воздействия". М. : ЦНИИСК им. Кучеренко, 2017.

разработчик: **ООО "ТЕХСОФТ"**

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

купить можно: **ООО «Эксим-проект»**

www.eximpro.ru, тел./факс +7 (495) 633-24-50, e-mail: mail@eximpro.ru