

2009

# 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 2009 года. Набор инструментов в более ранних версиях может отличаться от представленных. 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](http://www.tech-soft.ru)

Коллектив авторов:

Семенов В.А.

Баглаев Н.Н.

Мясумов И.А.

Сафиуллин Д.Р.

## Предисловие

Данное пособие облегчит Вам работу с комплексом ING+ 2009. Более подробную информацию Вы найдете в Online-документации. Мы будем рады видеть Вас и на обучении, которое организуем специально для Вас.

<b>1</b>	<b>Исходные данные</b> .....	<b>5</b>
1.1	Описание задачи .....	5
<b>2</b>	<b>ProjektManager</b> .....	<b>8</b>
2.1	Работа с ProjektManager.....	8
2.2	Создание FE-модели. ....	10
<b>3</b>	<b>Создание и анализ модели</b> .....	<b>12</b>
3.1	Рабочая область.....	12
3.2	Создание расчетной схемы.....	12
3.2.1	Ввод элементов по координатам .....	13
3.2.2	Построение геометрии фермы при помощи шаблона .....	15
3.2.3	Загрузка dxf-слоя.....	17
3.2.4	Построение геометрии на основе dxf-слоя .....	18
3.3	Задание краевых условий .....	19
3.4	Установка шарниров .....	21
3.5	Задание материалов.....	22
3.6	Ввод нагрузок.....	24
3.6.1	Ввод узловых нагрузок .....	24
3.6.2	Ввод равномерно-распределенных распределенных нагрузок.....	25
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 .....	30
3.8	Конструктивный расчет.....	31
3.8.1	Задание данных для конструктивных элементов .....	31
3.8.2	Просмотр результатов конструктивного расчета .....	36
<b>4</b>	<b>Библиографический список</b> .....	<b>39</b>



# 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 II<sub>5</sub>
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 27772-88	C245 ГОСТ 27772-88	C235 ГОСТ 27772-88

Проектирование рамы выполняется в соответствии с указаниями СНиП II-23-81\* «Стальные конструкции», СНиП 2.01.07-85\* «Нагрузки и воздействия»,

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

№ п/п	Наименование нагрузки	Нормативное значение	$\gamma_f$	Расчетное значение	№ нагружения	
Вес конструкции кровли и элементов связей						
1	На средние узлы, кН	7.564	средний 1.123	8.494	2	
2	На крайние узлы, кН	3.880		4.360		
Ограждающие конструкции						
3	Вес стеновых сэндвич панелей, кН/м	1.480	1,2	1,776	3	
Снеговая нагрузка						
4	На средние узлы, кН	30.240	1/0.7	43.20	4 - 9	
5	На крайние узлы, кН	15.120	1/0.7	21.60		
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	0.047	11
		10 м	0.090	1.4	0.126	
		11.65 м	0.094	1.4	0.132	

1-1

Изолятаж К ЭКМ-5  
 Минераловатные плиты Риб БИТТС В 130 мм  
 Пароизоляционный слой - Изолон С  
 Профили М57-750-87 по ГОСТ 24345-94  
 Прогон 2861

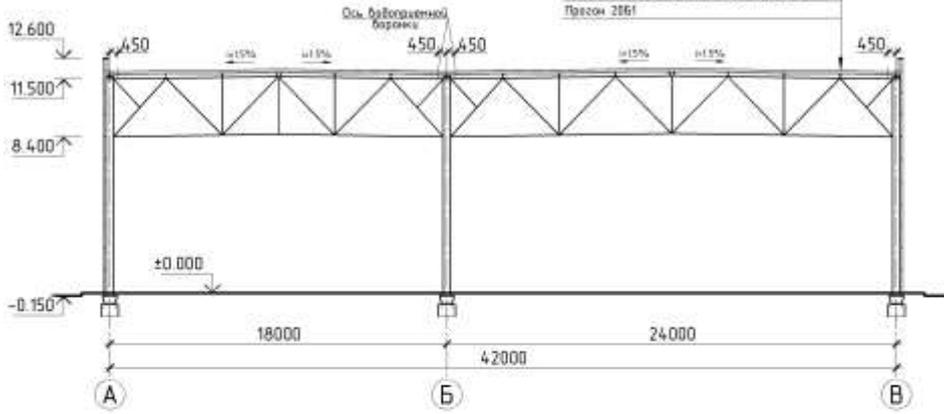


Схема связей по нижнему поясу

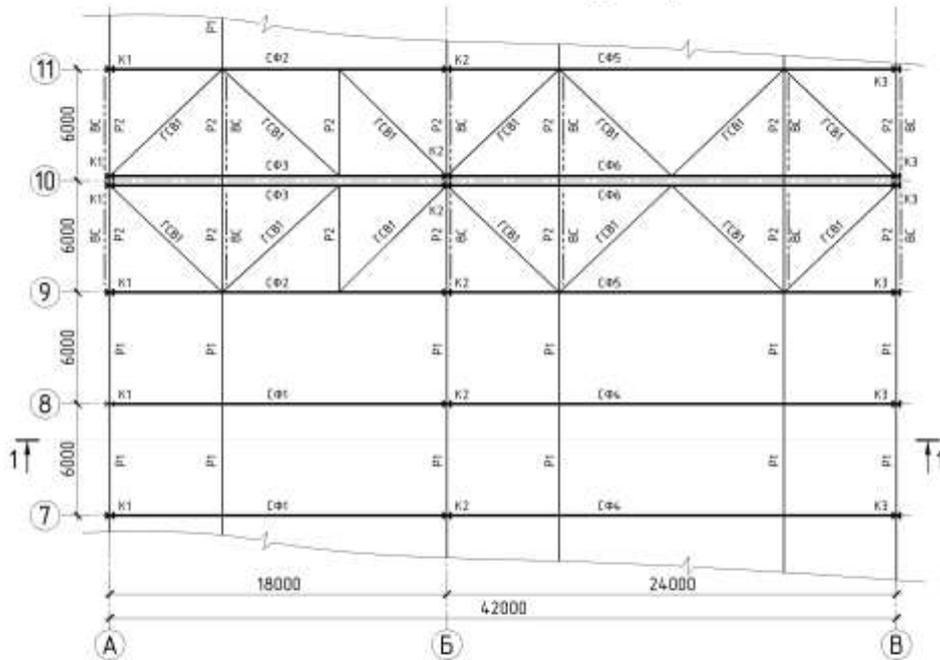
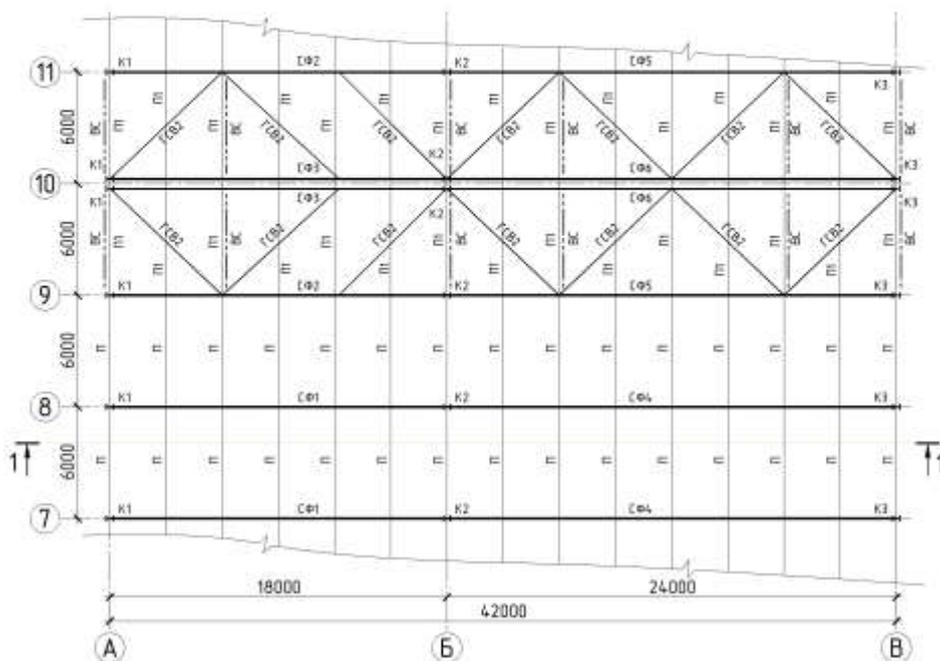
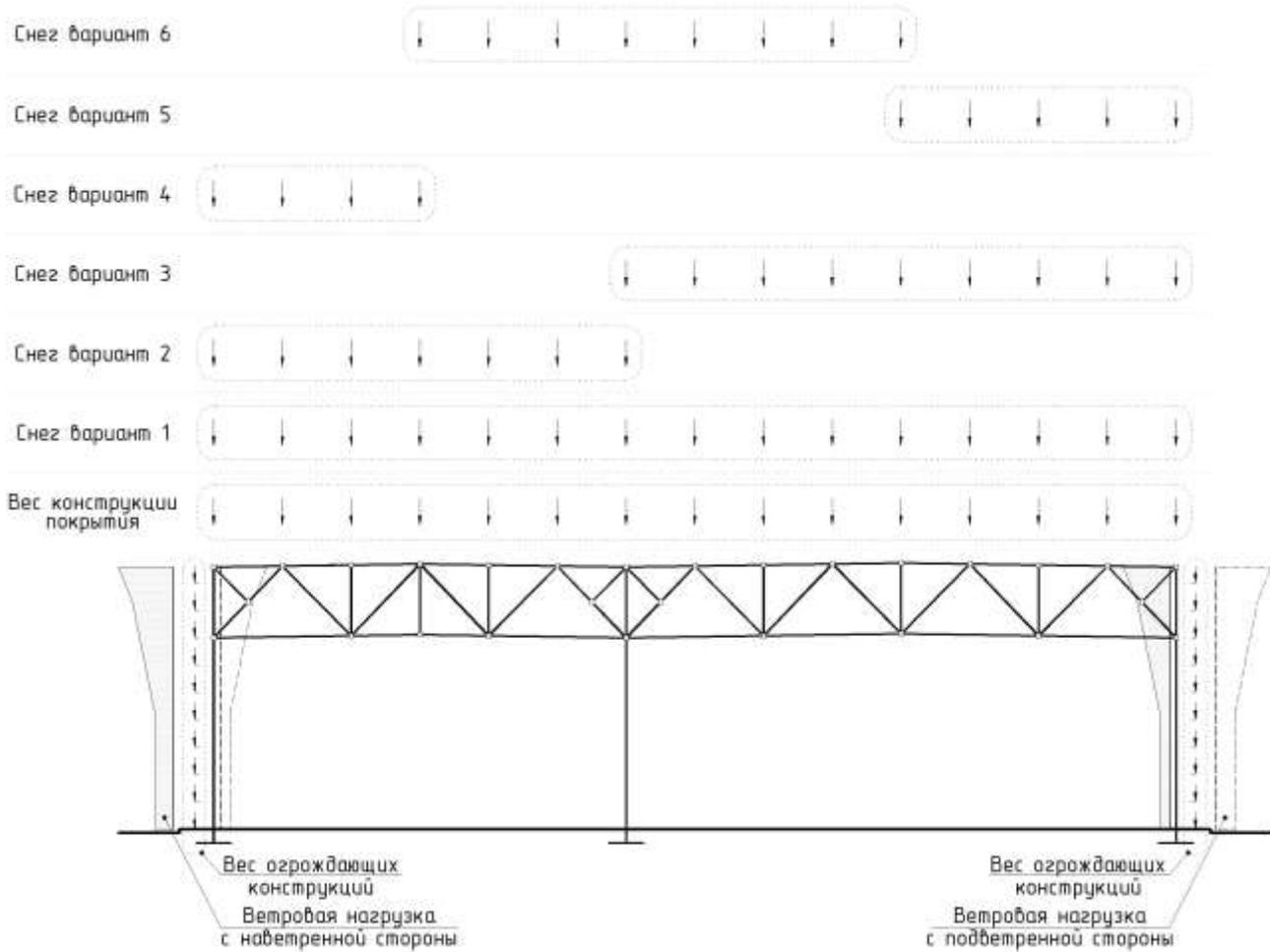


Схема связей по верхнему поясу





## 2 ProjektManager

### 2.1 Работа с ProjektManager

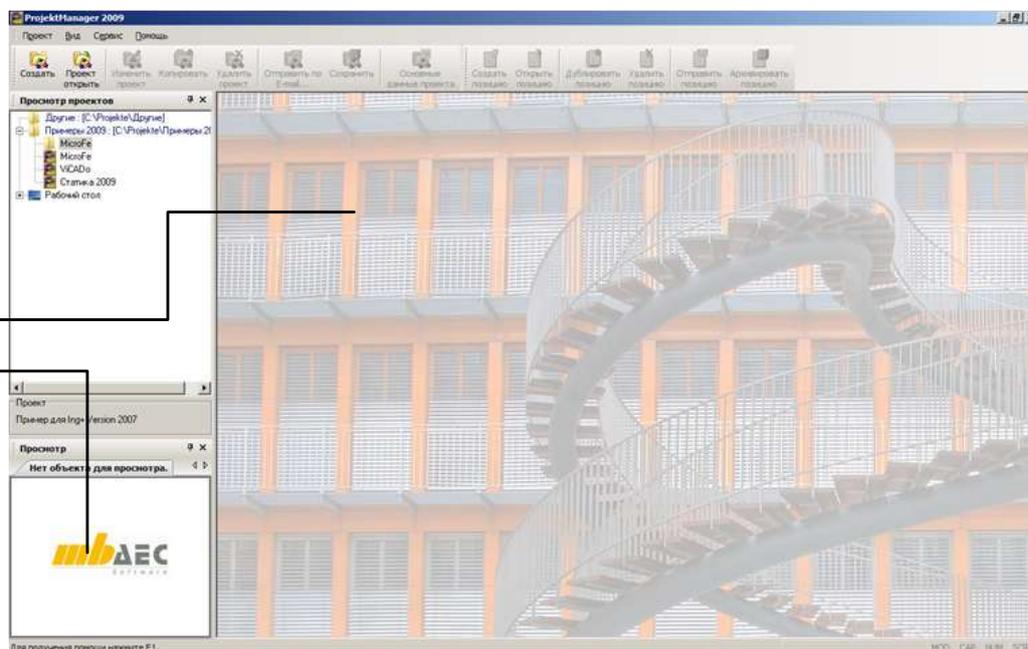
При работе над проектом используется большое количество приложений, при этом каждое приложение создает собственные данные. ProjektManager управляет этими данными. Копирование, удаление и перемещение данных для всех приложений происходит благодаря ProjektManager единообразно. Помимо этого, он позволяет 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.

#### Советы & рекомендации

- ProjektManager можно установить на любом компьютере без лицензии с сохранением доступа к отчетам и документам.

В просмотре проектов приведены все проекты в форме дерева. Директории (группы), созданные в версии Ing+ 2009, выделены синим цветом. Проекты, созданные в версии Ing+ 2009, отображаются темно-красным цветом и отмечаются соответствующей иконкой. Проекты более ранних версий выделены оранжевым цветом.



Переключение между FE-моделями происходит щелчком мыши.

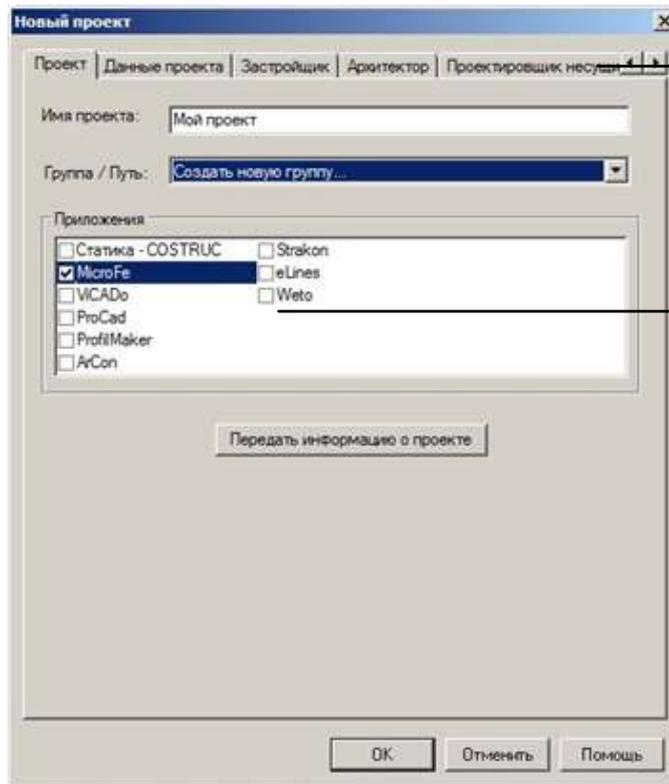
Просмотр моделей и позиций позволяет Вам ориентироваться в проекте и перемещаться по нему.

#### Шаг за шагом



5. Для начала работы запускаем ProjektManager: **Пуск > Все программы > Ing+ 2009 > ProjektManager 2009.**
6. Откроется окно программы ProjektManager 2009.
7. Выберете в меню команду **Проект > Новый**. Откроется диалог, предназначенный для ввода данных проекта и состоящий из нескольких вкладок.
8. На странице диалога **Проект** нужно указать имя проекта и группу/директорию, в которую должен сохраняться проект со своими данными.

9. Выберите **Приложения**, которые должны использоваться при редактировании проекта. Поставьте галочку перед нужными строками.
10. Перейдите к другим закладкам, чтобы ввести данные по **застройщику, архитектору** или **проектировщику**.
11. Сохраните данные, нажав на клавишу **ОК**. Проект появится в окне просмотра. Откроется окно проекта с указанными приложениями. Закладка **Проект** будет активна.



Общие данные проекта задаются централизованно. Затем они будут предоставлены в Ваше распоряжение во всех приложениях.

Здесь можно указать, какие приложения должны использоваться в данном проекте

- Проекты, созданные в предыдущих версиях **Ing+**, можно конвертировать в версию 2009. Старый проект сохраняется в виде копии.
- Проекты, созданные в **Ing+ 2009**, открыть при помощи предыдущих версий Ing+ невозможно.
- Проекты можно переименовывать и копировать, вызвав правой кнопкой мыши контекстное меню. Вся структура проекта будет сохранена.

**Советы & рекомендации**

12. После нажатия клавиши **ОК**, появится окно, в котором необходимо указать **Имя группы** и **Путь** хранения данных на Вашем компьютере. В поле **Информация** можно дать краткое описание группы.

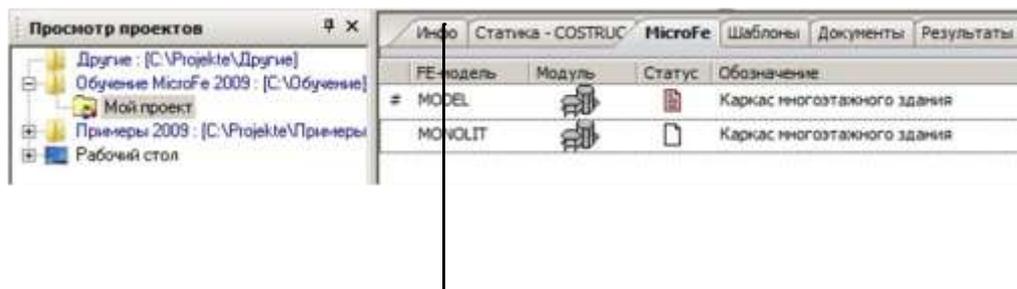


13. В окне ProjektManager 2009 появится группа **Обучение MicroFe 2009**, в ней проект под названием «Мой проект». В дальнейшем созданные

проекты будут сохраняться в группе **Обучение MicroFe 2009**. По необходимости можно задать новое имя группе, вызвав контекстное меню и выбрав **Каталог переименовать**, или создать новую группу.

Все используемые в проекте подсистемы приведены в форме закладок.

При щелчке правой кнопки мыши на панель закладок открывается контекстное меню, предназначенное для включения и выключения закладок.



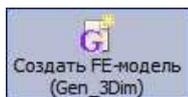
## 2.2 Создание FE-модели.

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 – FEA-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 Gen\_3Dim.

### Шаг за шагом



1. Выберите в окне проекта в ProjektManager приложение MicroFe. Для этого щелкните мышью на соответствующую закладку.
2. Создайте новую FE-модель, выбрав на панели инструментов иконку **Создать FE-модель (Gen\_3Dim)**. Запустится Gen\_3Dim, и появится диалог **Новый проект**.
3. Выберите тип проекта **FEA-проект**. В соответствующих полях укажите имя файла и название FE-модели.



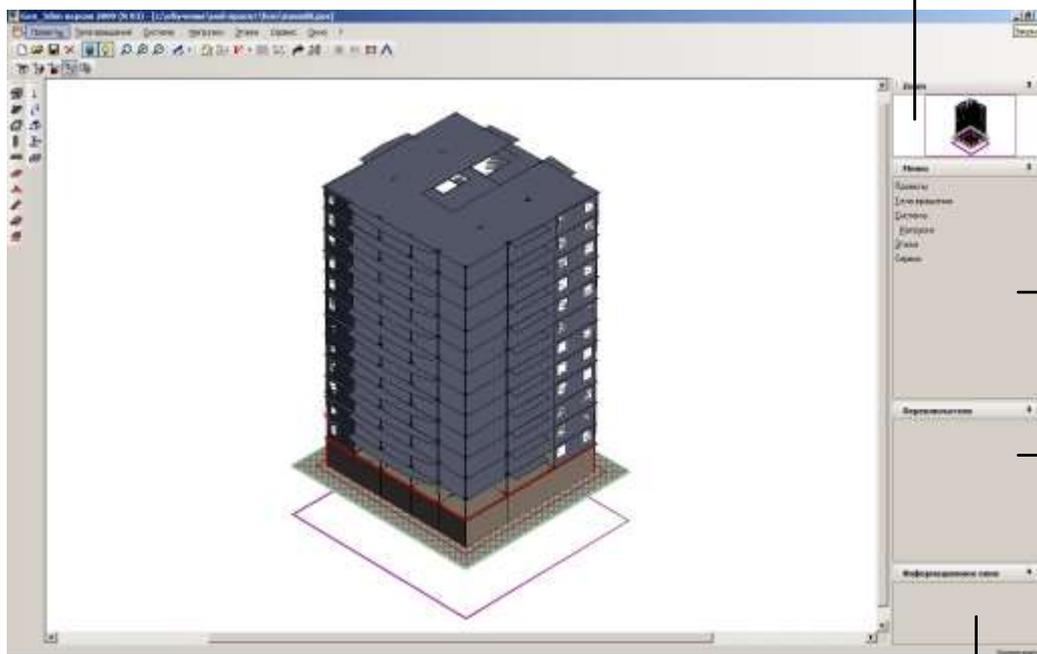
4. Подтвердите данные нажатием на кнопку **ОК**. После нажатия запустится Gen\_3Dim.

## 3 Создание и анализ модели

### 3.1 Рабочая область

Рабочая область Gen\_3Dim состоит из нескольких фрагментов, в которых содержатся известные Вам элементы Windows. Благодаря этому Вы сможете работать с программой интуитивно.

Окно **ZOOM** предназначено для графического отображения актуального проекта. Актуальный проект изображается в окне просмотра в последнем рассчитанном общем размере, а актуальный Zoom-фрагмент помечается боксом.



Наряду с главным меню программы, текущее активное подменю дублируется в области окна так называемого плавающего **Меню**. Наличие такого меню значительно упрощает работу с главным иерархическим меню программы, так как позволяет перейти вверх или вниз на один уровень иерархии, а также перемещаться в пределах пунктов активного подменю.

Управление работой программы во многих случаях осуществляется с помощью окна **Переключатели**. Это окно появляется автоматически при выборе пунктов меню.

**Информационное окно** предназначено для отображения текущей информации. Это могут быть:

- текущие значения данных, заданных пользователем в процессе редактирования проекта (например, значения жесткостей граничных условий, величины нагрузок и т.д.);
- характеристики некоторых величин при их просмотре (например, характеристики материалов, локальных систем координат, собственных форм колебаний и т.д.).

### 3.2 Создание расчетной схемы

В Gen\_3Dim 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 Gen\_3Dim, начертите схему

рамы согласно заданию в любом графическом приложении и сохраните ее в формате \*.dxf.

### 3.2.1 Ввод элементов по координатам

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**.

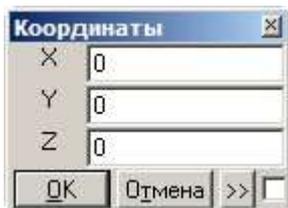
Шаг за шагом



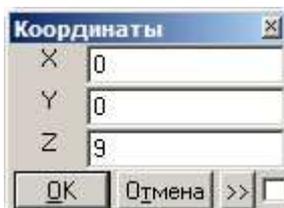
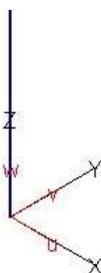
- В данном примере мы будем рассчитывать пространственную модель, хотя зададим только одну плоскую раму и введем дополнительные краевые условия в узлах крепления элементов связей.

Советы & рекомендации

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 Gen\_3Dim 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.

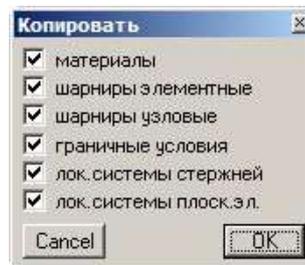


6. Кликните по верхнему узлу построенного стержня. Поскольку в верхней панели инструментов включена опция **Улавливать геометрию** начальная точка автоматически будет установлена в этот узел, не запрашивая координат.

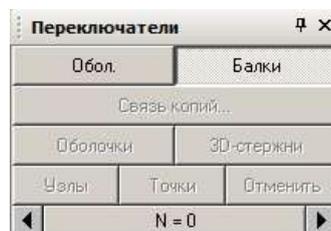




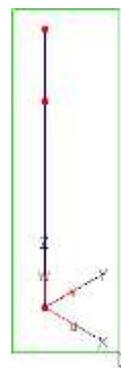
7. Снова кликните в области рабочего окна и укажите координаты конечной точки.
8. Для включения отображения узлов кликните по соответствующей иконке в верхней панели инструментов.
9. Поскольку все колонны имеют одинаковую длину, то для построения остальных колонн воспользуемся функцией копирования. Для этого не выходя из режима задания геометрии, в окне **Меню** вызовите команду **Элементы > Копировать**.
10. В появившемся диалоге укажите какие свойства элемента должны быть заимствованы от оригинала.



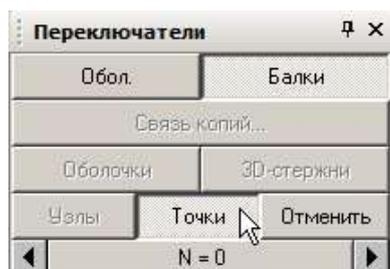
11. В окне **Переключатели** укажите тип/типы копируемых элементов.



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



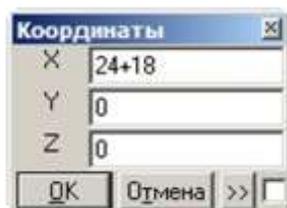
13. Для задания начальной и конечной точек вектора смещения в окне **Переключатели** нажмите на кнопку **Точки**.



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 правой клавишей мыши в области окна **Меню**.

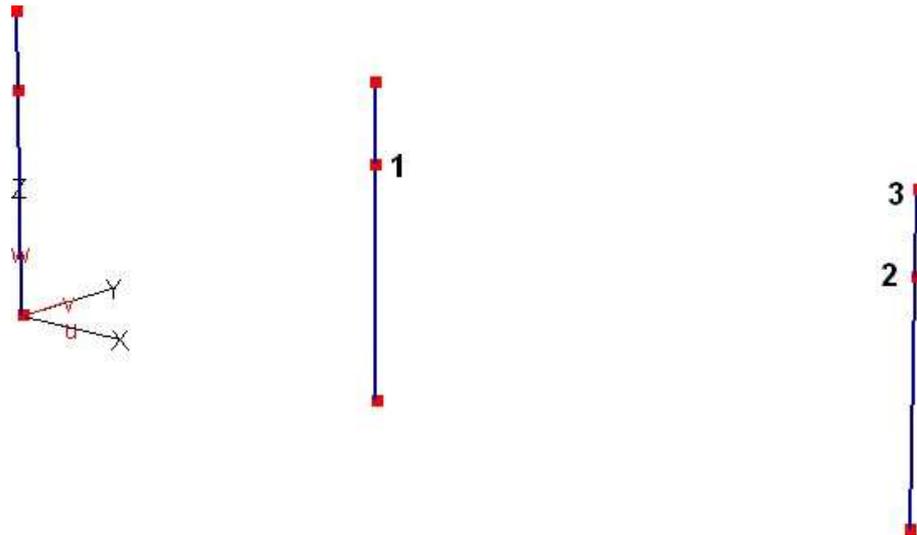
### 3.2.2 Построение геометрии фермы при помощи шаблона

1. Вызовите команду **Правка > Геометрия > Генерация > Регулярная часть** или кликните по иконке **Геометрию установить** правой клавишей мыши и в появившемся списке выберите команду **Генерация > Регулярная часть**.
2. В окне **Переключатели** в качестве регулярной части выберите **Фермы** и нажмите на кнопку **Установить**.

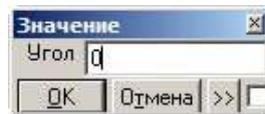
Шаг за шагом



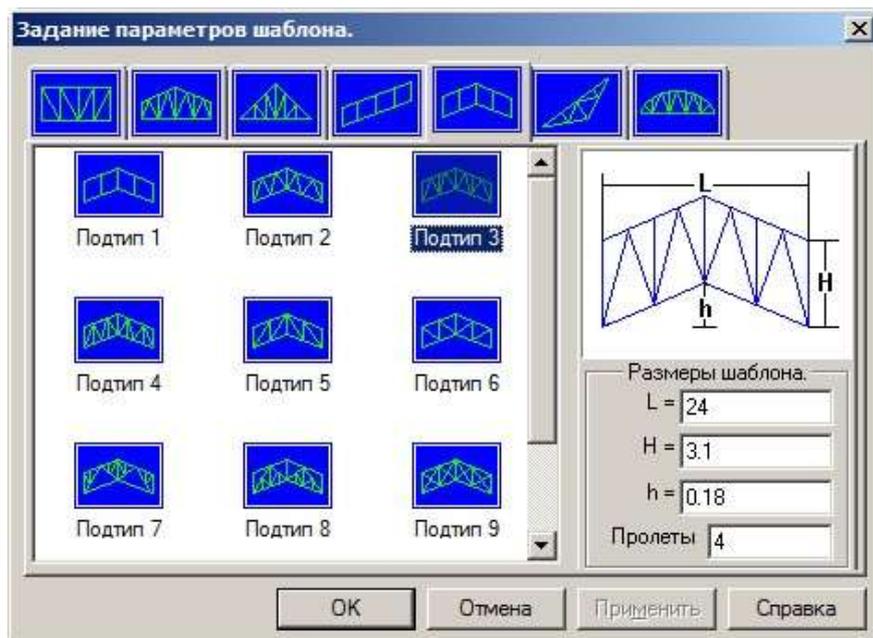
3. В рабочем окне последовательно укажите узлы привязки фермы, как показано на рисунке.



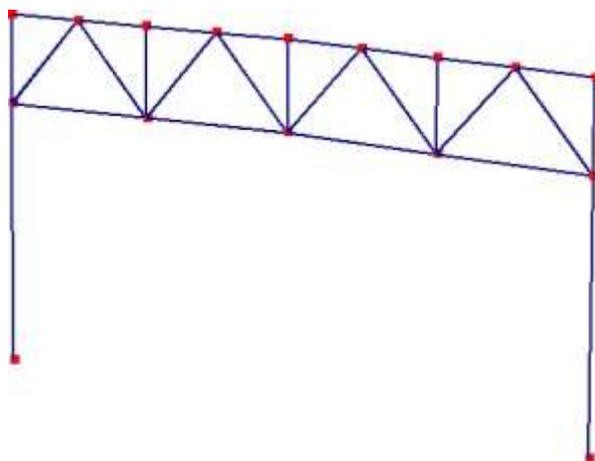
4. В появившемся диалоге укажите угол поворота фермы. Ввод данных подтвердите нажатием на кнопку **ОК**.



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**.



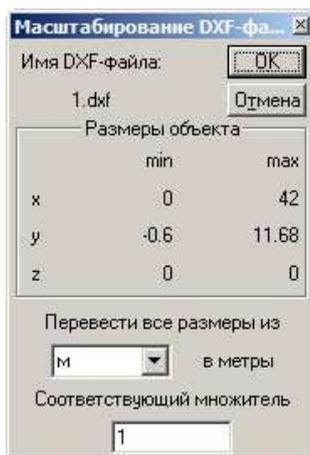
7. Завершите команду двойным кликом правой клавишей мыши в области окна **Меню**.



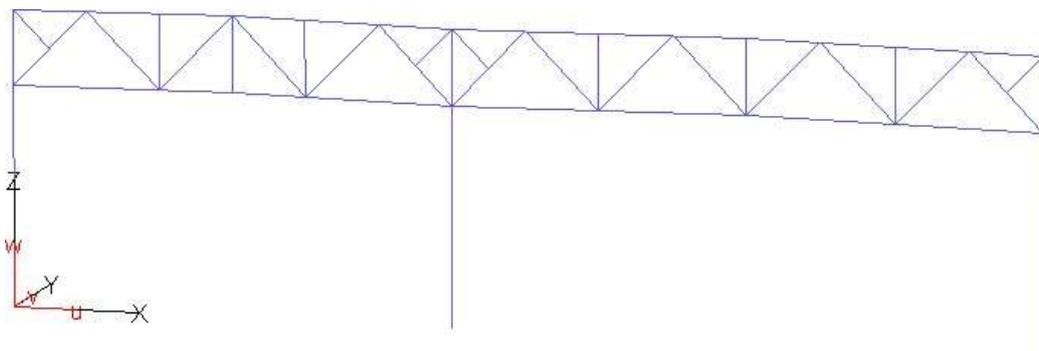
### 3.2.3 Загрузка dxf-слоя

1. Вызовите команду **Сервис > 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.

Шаг за шагом



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

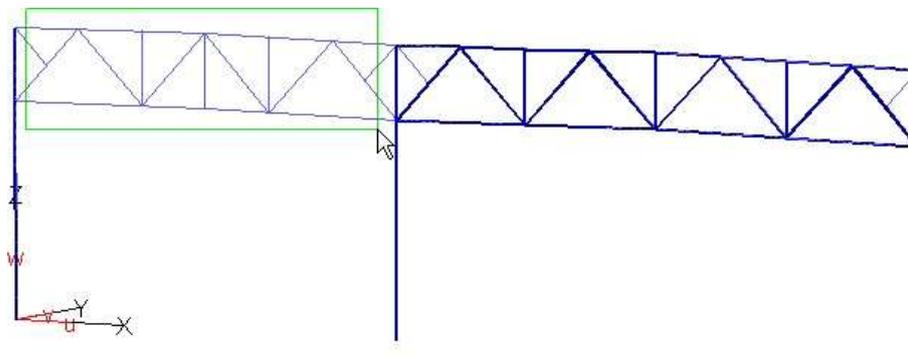
Шаг за шагом



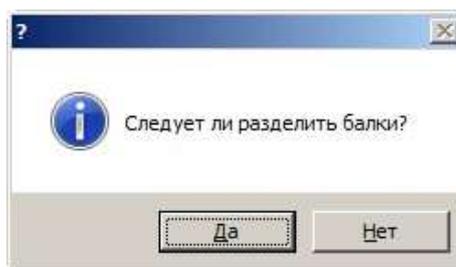
Box

Krz

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 опции **Box** и **Krz**, кликнув по соответствующим иконкам в верхней панели инструментов.
4. Секущей рамкой выделите элементы раstra, по которым необходимо построить стержни.



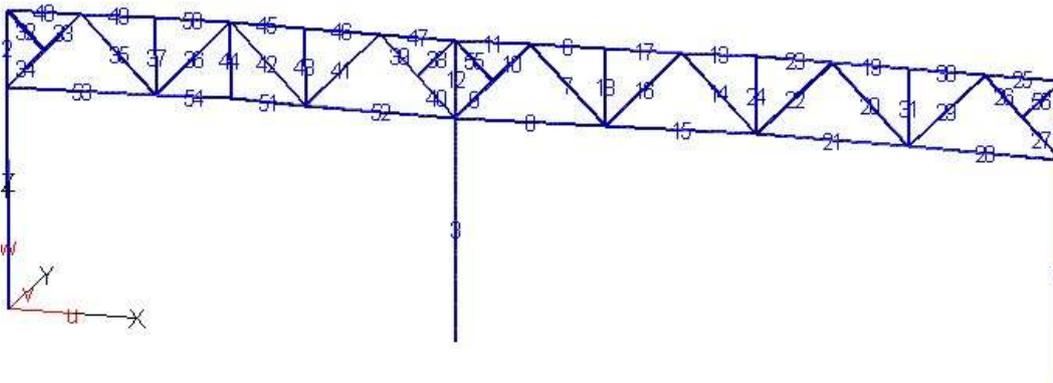
5. По окончании выделения на основе раstra будут сформированы стержни, при этом разбивка на конечные элементы будет осуществлена аналогично тому, как выполнялось построение рамы в графическом приложении, т.е. каждый отрезок будет соответствовать одному конечному элементу.
6. Для того чтобы разбить элементы в узлах пересечения вызовите команду **Правка > Геометрия > 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 диалоге на вопрос: «Следует ли разделить балки?» ответьте **Да**.



10. Завершите выполнение команды двойным кликом правой клавишей мыши в области окна **Меню**.
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

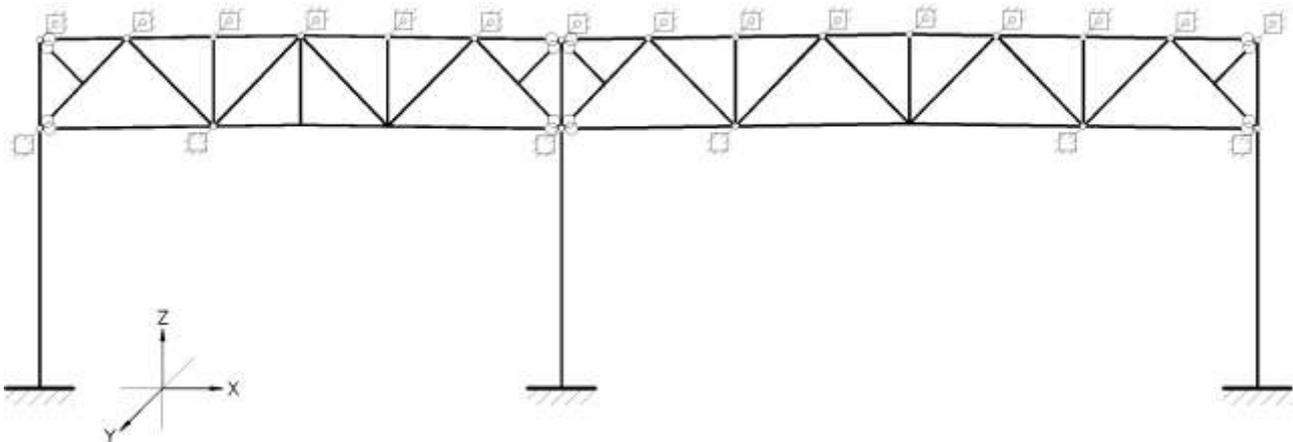


необходимости удалите совпадающие элементы, вызвав команду **Правка > Геометрия > Элементы > Удалить**.



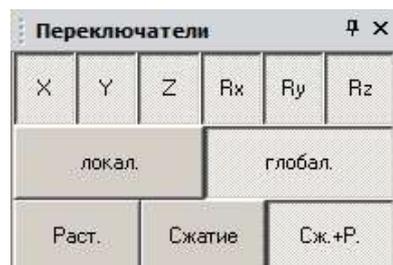
### 3.3 Задание краевых условий

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



1. Для удобства дальнейшей работы установите для модели вид спереди, кликнув по иконке **XZ-проекция** в верхней панели инструментов.
2. Вызовите команду **Правка > Кр.усл,КОPL,RIGI,RVKF... > Краевые условия > Узловые общ. типа > 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.

Шаг за шагом



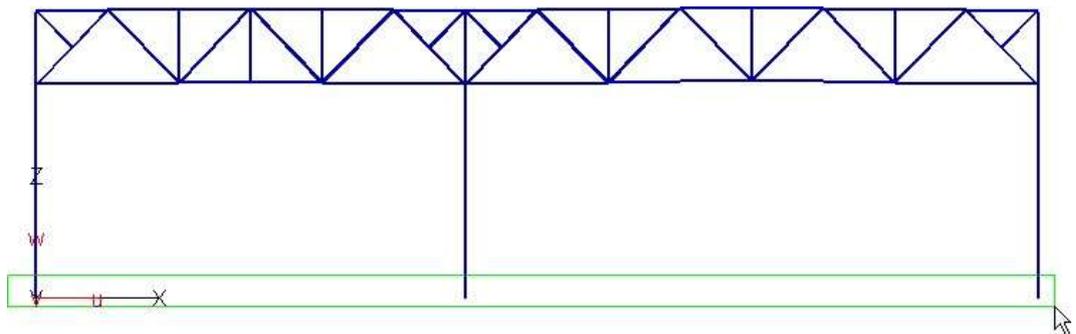
4. Для задания жесткостей связей кликните в области **Информационного окна** или вызовите **Окно редактирования**.



5. В появившемся диалоге укажите все значения равными нулю, что соответствует абсолютно жестким связям.



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



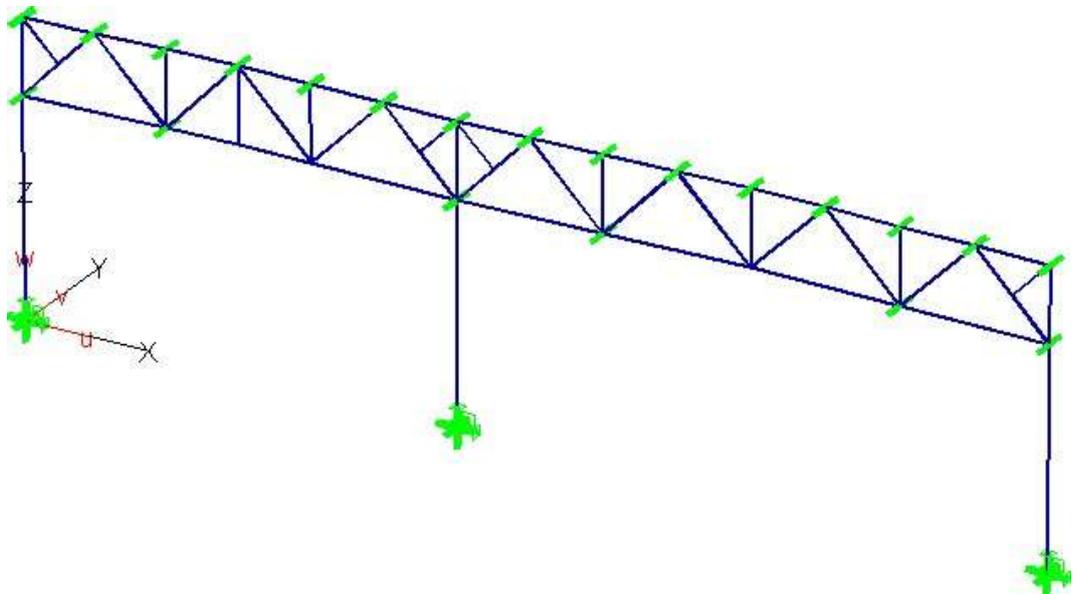
7. В окне **Переключатели** укажите направление действия связей только по оси Y и установите их согласно заданию.



8. Завершите выполнение команды, кликнув по иконке **Выход на верхний уровень меню** в верхней панели инструментов.



9. Для включения отображения связей кликните по иконке **Крайевые условия** в верхней панели инструментов.



### 3.4 Установка шарниров

При решении задач часто необходимо смоделировать соединение элементов, отличное от жесткой связи. Для моделирования различного рода соединений в MicroFe используются Шарниры. Реализованы три основных типа шарниров по виду установки – элементные, узловые и 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.

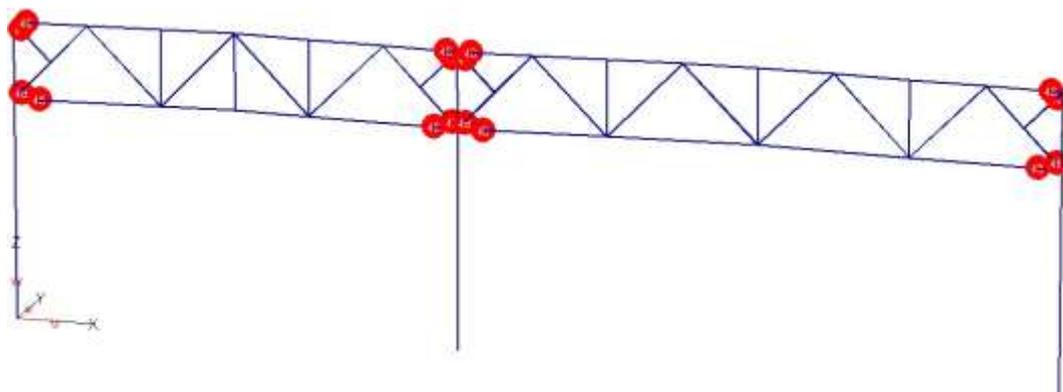
Узловые шарниры при этом изображаются желтыми кружочками с красными цифрами, а элементные - красными кружочками и белым цветом.

1. Вызовите команду **Правка > Шарниры > Элементные > Установка** или кликните по соответствующей иконке в верхней панели инструментов.
2. В окне **Переключатели** выберите тип системы координат, в которой задаются шарниры, укажите степени свободы и тип шарниров.

Шаг за шагом



3. При активной опции **Ein**z 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 **Выход на верхний уровень меню** в верхней панели инструментов.

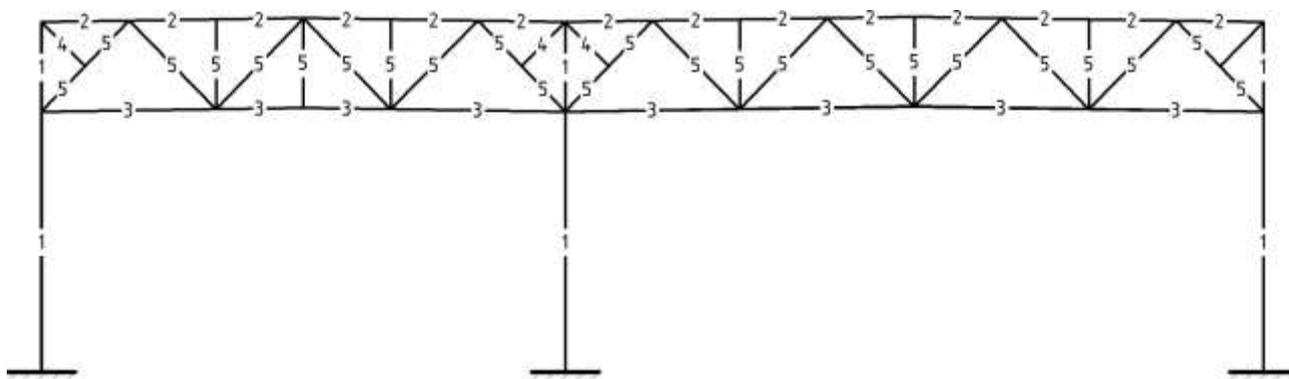
### 3.5 Задание материалов

При решении задач по методу 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.

Соответствие номеров материалов типам сечений приведено в таблице.

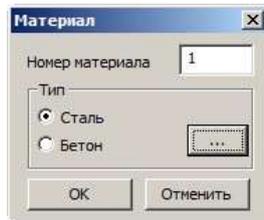
№ материала	Сечение
1	І30Ш1 по ГОСТ 26020-83
2	Г100х7 по ГОСТ 8509-93 фасонка t=10 мм
3	Л100х7 по ГОСТ 8509-93 фасонка t=10 мм
4	Л50х5 по ГОСТ 8509-93 фасонка t=10 мм
5	Г80х6 по ГОСТ 8509-93 фасонка t=10 мм

Схема рамы с указанием номеров материалов приведена на рисунке.

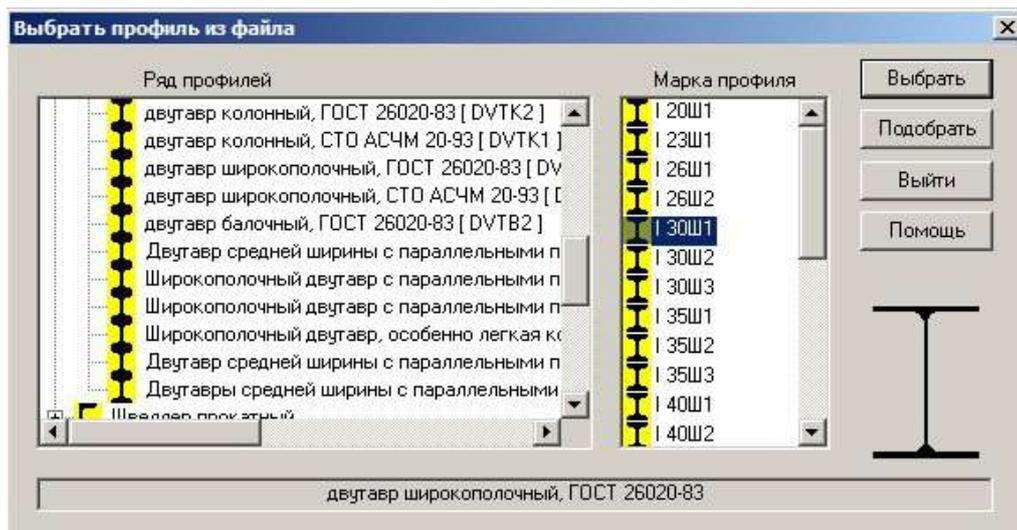


Шаг за шагом

1. Прежде чем присваивать какой-либо материал элементам его нужно создать. Для этого вызовите команду **Правка > Материал > Расчет сечений (расш.)**.
2. В появившемся диалоге укажите номер нового материала и его тип.



3. При нажатии на кнопку **ОК** запустится **Profilmaker**. Здесь Вы можете создавать любые сечения, используя прокатные профили и простейшие геометрические фигуры.
4. Для добавления в сечение прокатного профиля кликните по иконке **Стандартные** в верхней панели инструментов. 
5. В появившемся окне выберите сортамент и марку профиля, затем нажмите на кнопку **Выбрать**.



6. В рабочем окне **Profilmaker** появится выбранное Вами сечение, в левой части рабочего окна можно просмотреть характеристики задаваемого сечения.

Параметры профиля			
Прочие		Описание	
Геометрия		Жесткости	
Па...	Значение	Разм...	
A	68.30	cm <sup>2</sup>	
I <sub>y</sub>	10400.00	cm <sup>4</sup>	
I <sub>z</sub>	1470.00	cm <sup>4</sup>	
W <sub>y</sub>	714.77	cm <sup>3</sup>	
W <sub>z</sub>	146.99	cm <sup>3</sup>	
I <sub>t</sub>	29.02	cm <sup>4</sup>	
C <sub>m</sub>	283000.00	cm <sup>6</sup>	
A <sub>y</sub>	40.35	cm <sup>2</sup>	
A <sub>z</sub>	22.56	cm <sup>2</sup>	
S <sub>y</sub>	398.51	cm <sup>3</sup>	
S <sub>z</sub>	113.77	cm <sup>3</sup>	

7. Прежде чем передать созданный материал в Gen\_3Dim необходимо выполнить его расчет. Для этого кликните по соответствующей иконке в верхней панели инструментов. 
8. По окончании расчета кликните по иконке **Передать профиль** в верхней панели инструментов. 

- Закройте окно Profilmaker и аналогичным образом создайте остальные материалы. Для задания сечения из парных уголков кликните по иконке **Простейшие** и перейдите во вкладку **Составное**.

Советы & рекомендации



- В левой части рабочего окна **Profilmaker** после проведения расчета указана ориентация осей S и T.
- Для включения отображения локальных систем координат кликните по иконке **Локальные координаты** в верхней панели инструментов.

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

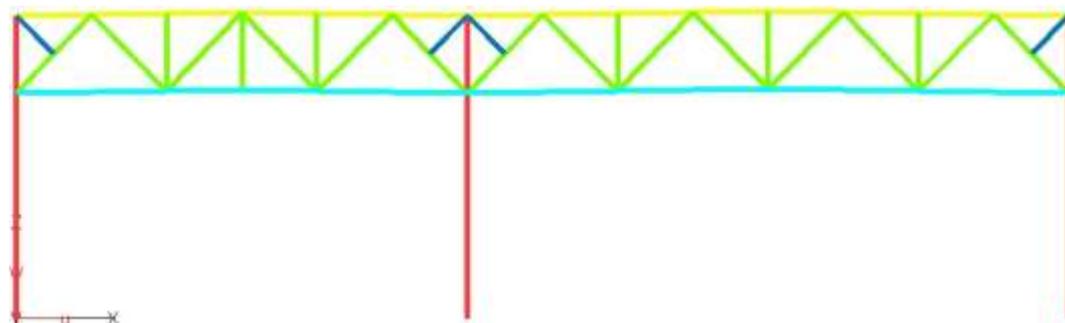
- Кликните левой клавишей мыши в области **Информационного окна**, в появившемся диалоге укажите номер материала, который Вы хотите присвоить элементам.

- В рабочем окне укажите каким элементам необходимо присвоить материал, выделив их любым удобным для Вас способом.



- Завершите выполнение команды, кликнув по иконке **Выход на верхний уровень меню** в верхней панели инструментов.

- Для включения цветового отображения материалов 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.

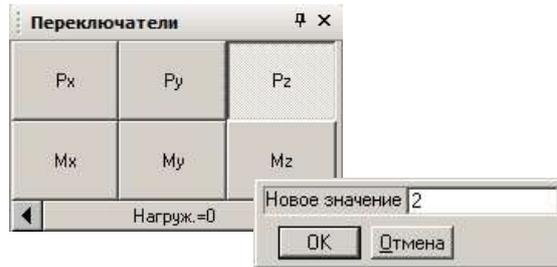
Соответствие номеров нагружений нагрузкам и схему приложения нагрузок к раме см. в задании.

### 3.6.1 Ввод узловых нагрузок

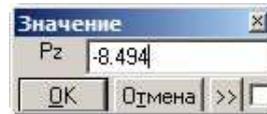
В соответствии с заданием в узлы ферм необходимо приложить следующие нагрузки: вес конструкций кровли и элементов связей и различные варианты снеговых нагрузок.

1. Вызовите команду **Правка > Нагрузки > Узловые > Установка** или кликните по соответствующей иконке в левой панели инструментов.
2. В окне **Переключатели** выберите направление действия нагрузки, нажмите на кнопку **Нагруз.=0** и в появившемся диалоге укажите номер нагружения, в который хотите добавить нагрузки.

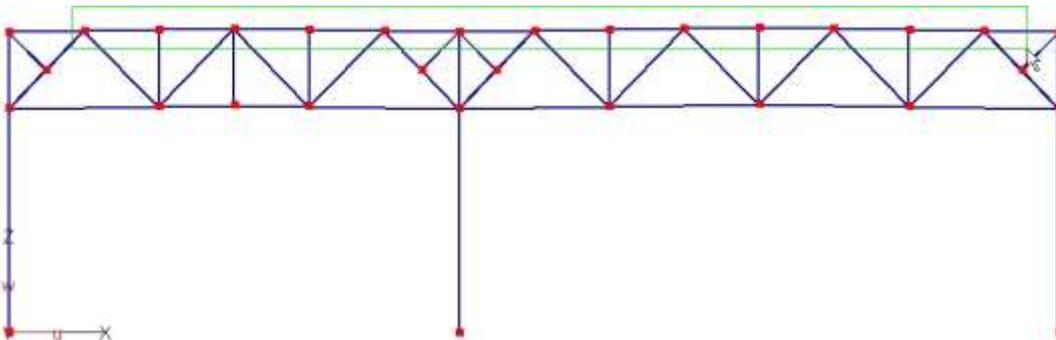
Шаг за шагом



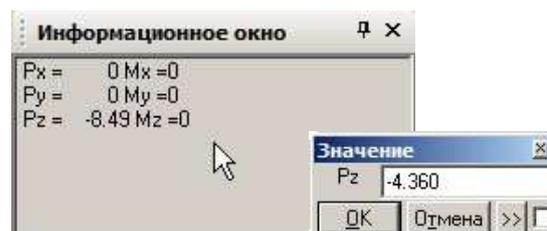
3. При нажатии на кнопку **OK** появится следующий диалог, в котором необходимо задать значение узловой нагрузки. Обратите внимание, что положительные значения нагрузок сонаправлены с положительными направлениями осей глобальной системы координат. Нагрузки задаются в кН.



4. При активной опции **Вох** рамкой выделите узлы, к которым необходимо приложить нагрузку.



5. Для того чтобы изменить значения нагрузки кликните в области **Информационного окна** и в появившемся диалоге укажите новое значение.



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

### 3.6.2 Ввод равномерно-распределенных распределенных нагрузок

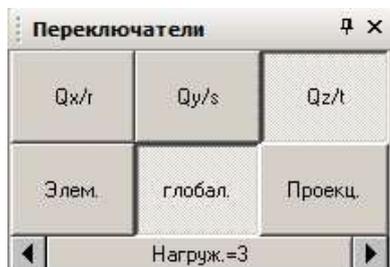
В соответствии с заданием в виде равномерно-распределенных нагрузок

Шаг за шагом

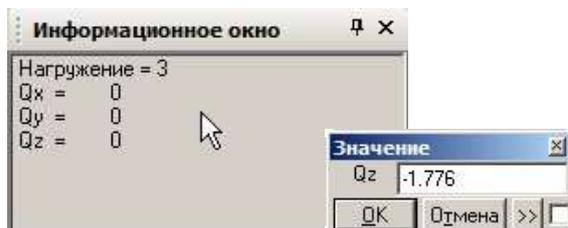


необходимо приложить нагрузки от собственного веса ограждающих конструкций (стеновых панелей).

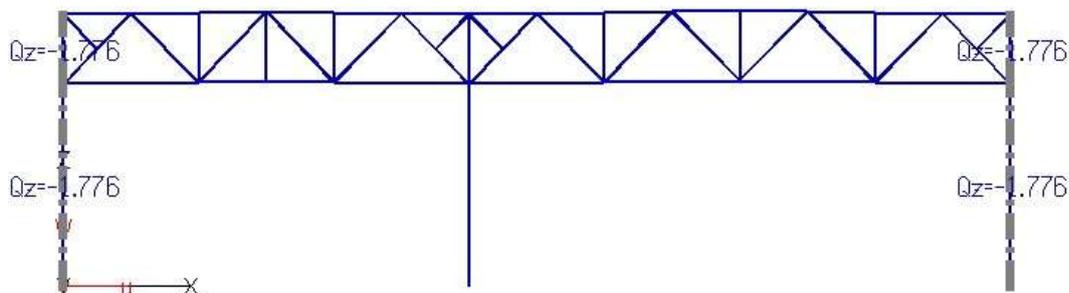
1. Вызовите команду **Правка > Нагрузки > По элементам > Равномерно-распределенные > Установка** или кликните по соответствующей иконке в левой панели инструментов.
2. В окне **Переключатели** выберите систему координат и укажите направление действия нагрузки. В линейке прокрутки установите номер нагружения, 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.



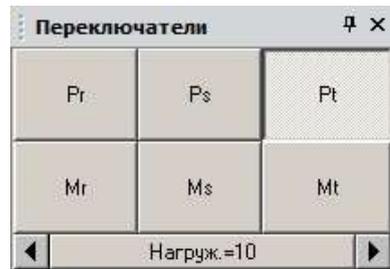
5. Завершите выполнение команды, кликнув по иконке **Выход на верхний уровень меню** в верхней панели инструментов.

### 3.6.3 Ввод трапециевидных нагрузок

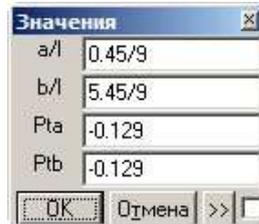
Шаг за шагом



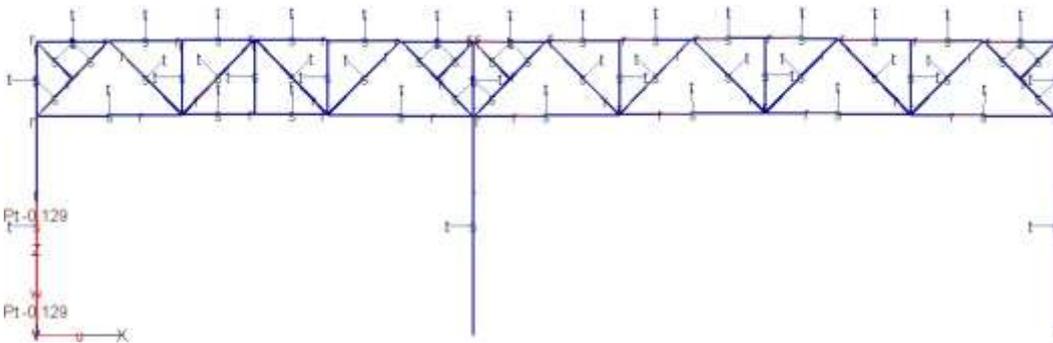
1. Для задания трапециевидных нагрузок вызовите команду **Правка > Нагрузки > По элементам > Трапециевидные > Установка** или кликните по соответствующей иконке в левой панели инструментов.
2. В окне **Переключатели** укажите направление действия нагрузки. В линейке прокрутки установите номер нагружения, в который необходимо добавить нагрузки.



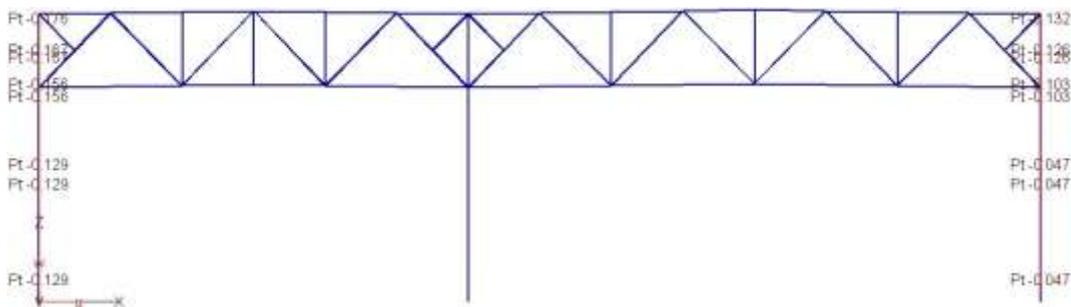
3. Кликните левой клавишей мыши в области **Информационного окна** и в появившемся диалоге введите значение нагрузки.



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 **Проекты > Сохранить**.
2. Вызовите команду **Расчет > Общий**. 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

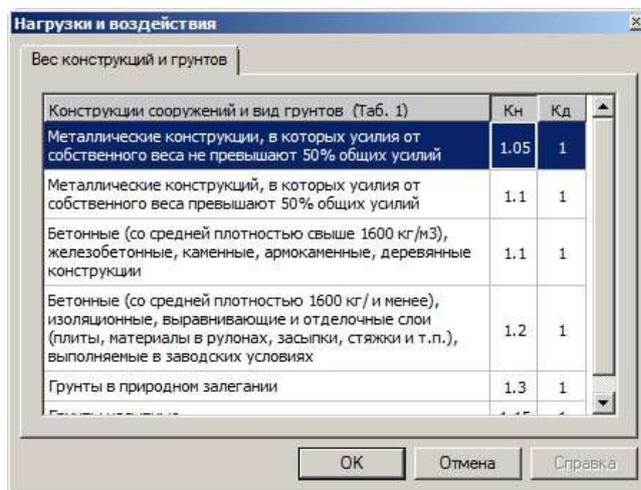
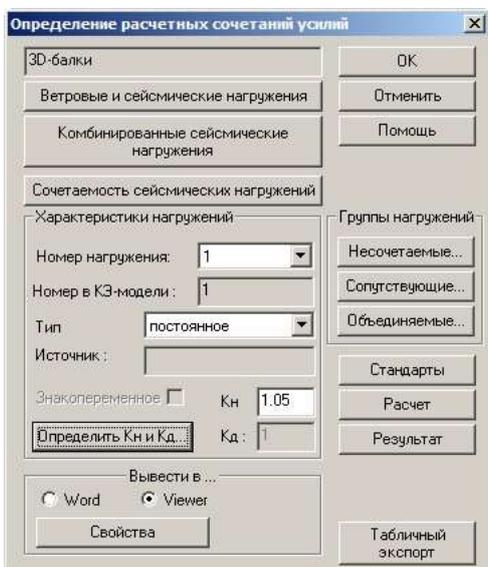
В соответствии с нормами для выполнения конструктивного расчета необходимо сформировать расчетные сочетания усилий.

Для определения расчетных сочетаний усилий сделайте следующие операции:

Шаг за шагом



1. Вызовите команду **Расчет > Конструктивный > РСУ (балки) > РСУ (СНиП)** или кликните по соответствующей иконке в левой панели инструментов.



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), нажав на кнопку **Определить Кн и Кд...** В появившемся диалоге выберите нужные значения коэффициентов для каждого нагружения соответственно. При этом нагрузки длительнодействующие нагрузки с пониженным значением интерпретируются как кратковременные.

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

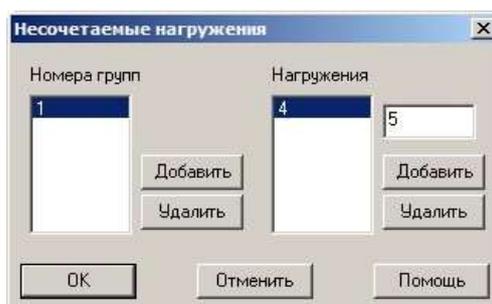
Номер нагружения	Номер в КЭ модели	Тип нагружения	Источник	Знакопеременные	Кн	Кд
1	1	Пост.	-	-	1.05	1
2	2	Пост.	-	-	1.123	1
3	3	Пост.	-	-	1.2	1
4	4	Кратковр.	Прочее	-	1.43	0.5
5	5	Кратковр.	Прочее	-	1.43	0.5
6	6	Кратковр.	Прочее	-	1.43	0.5
7	7	Кратковр.	Прочее	-	1.43	0.5
8	8	Кратковр.	Прочее	-	1.43	0.5
9	9	Кратковр.	Прочее	-	1.43	0.5
10	10	Кратковр.	Прочее	-	1.4	0
11	11	Кратковр.	Прочее	-	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** 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



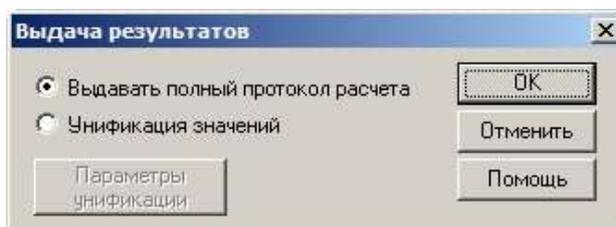
4. Задайте группы несочетаемых нагружений согласно нижеприведенной таблице.

Группа	Номера нагрузений
1	4, 5, 6, 7, 8, 9
2	10, 11

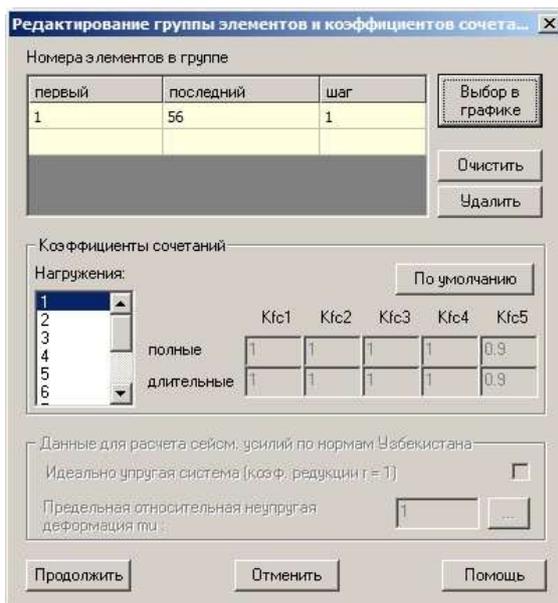
### 3.7.3 Расчет РСУ

Шаг за шагом

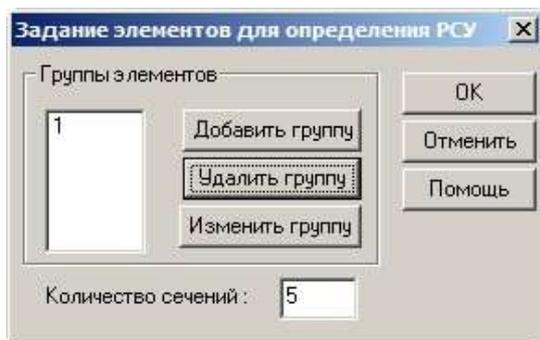
1. В активном диалоге **Определение расчетных сочетаний** усилий нажмите на кнопку **Расчет**.
2. В появившемся диалоге укажите параметры выдачи результатов.



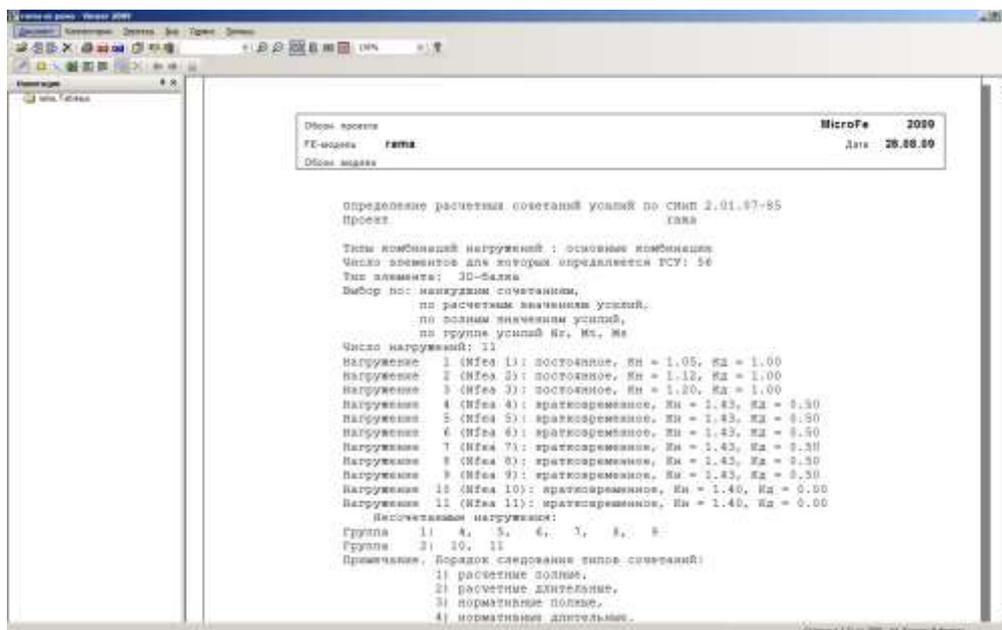
3. В окне **Задание элементов для определения РСУ** нажмите на кнопку **Добавить группу** и в появившемся диалоге нажмите на кнопку **Выбор в графике**.
4. В рабочем окне выделите все элементы рамы, для которых необходимо определить РСУ. По окончании выделения нажмите на кнопку **Расчет** в окне **Переключатели**.
5. В окне **Редактирование групп элементов и коэффициентов сочетаний** в таблице появятся номера добавленных элементов. Для завершения добавления элементов в группу нажмите на кнопку **Продолжить**.



6. Задайте в диалоге **Задание элементов для определения РСУ** количество сечений по конечному элементу, в которых будут определяться РСУ. Оно будет общим для всех элементов группы независимо от размера элемента. Для того чтобы запустить расчет, нажмите на кнопку **OK**.



7. По окончании расчета во **Viewer** будет сформирован отчет, который отобразится на дисплее.



### 3.8 Конструктивный расчет

Для выполнения конструктивных расчетов стальных конструкций в GEN\_3DIM 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.

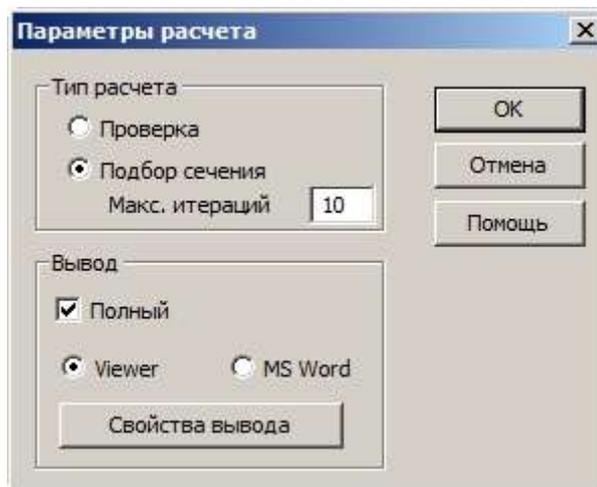
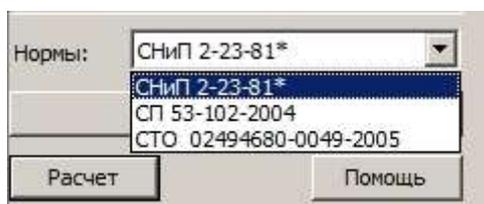
#### 3.8.1 Задание данных для конструктивных элементов

1. Вызовите команду меню **Сталь > Конструктивные стальные элементы > Задание данных** или кликните по соответствующей иконке в левой панели инструментов.

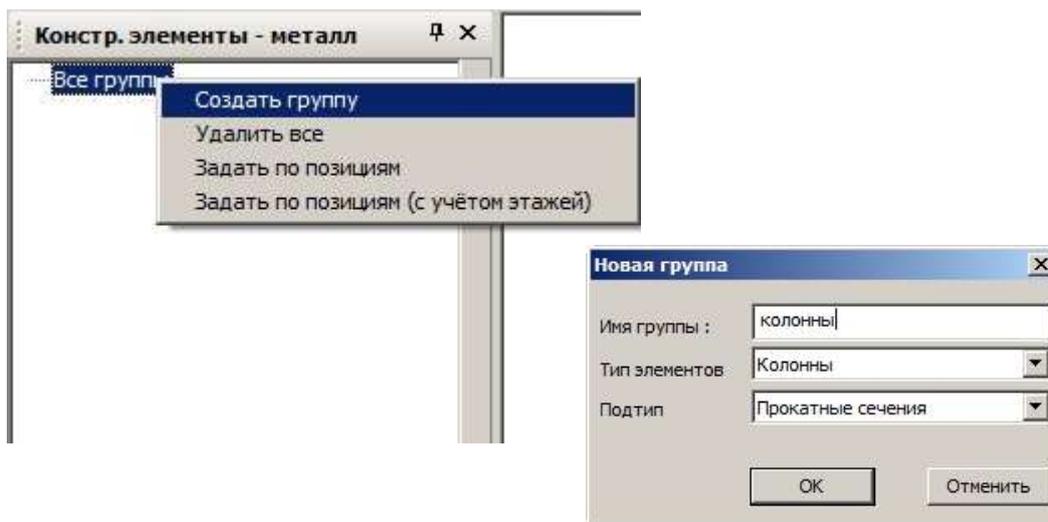


В появившемся окне **Конструктивные элементы** укажите нормы, согласно которым будет выполняться расчет, и параметры расчета. Выполнение расчета возможно по следующим нормативным документам:

СНиП II-23-81\* «Стальные конструкции», СП 53-102-2004 «Общие правила проектирования стальных конструкций» и СТО 02494680-0049-2005 «Конструкции стальные строительные. Основные принципы расчета на прочность, устойчивость, усталостную долговечность и сопротивление хрупкому разрушению». Выберите СНиП 2-23-81\*. 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**.



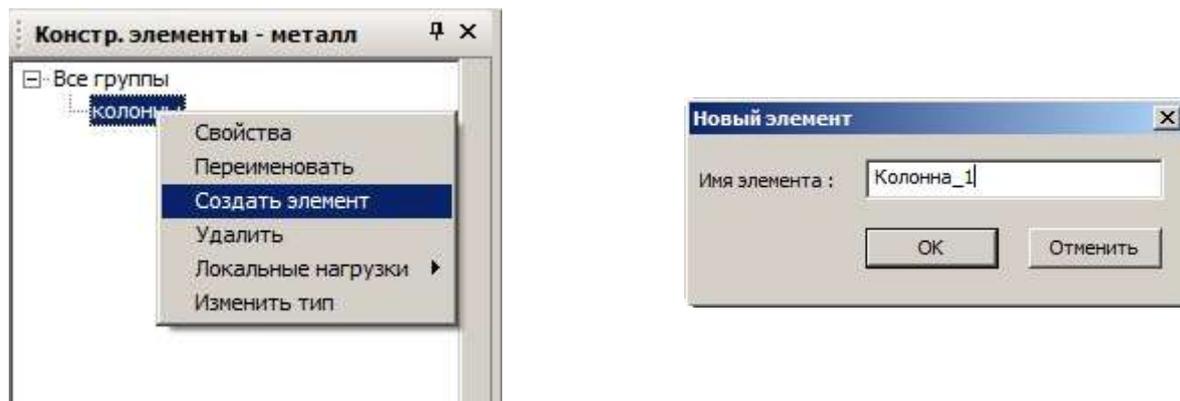
2. В поле отображения дерева конструктивных элементов кликните правой клавишей мыши по надписи **Все группы** и в появившемся списке выберите **Задать группу**. Задайте имя группы, тип элементов и подтип.



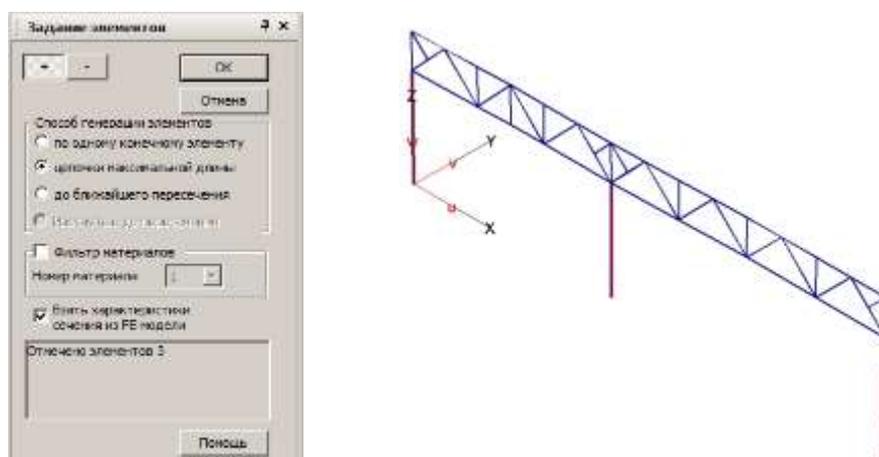
#### Советы & рекомендации

- ❑ 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, вычистить из выделения, используйте соответственно переключатели **+** и **-** в левом верхнем углу окна **Задание элементов**. Для завершения задания конструктивного элемента нажмите на кнопку **OK**.



- 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.

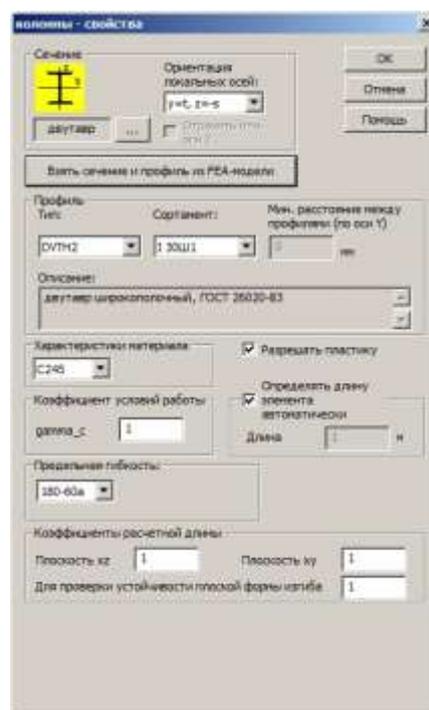
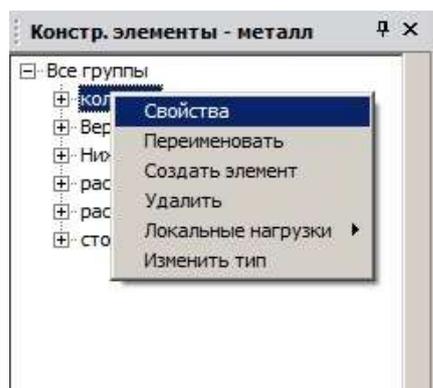
Состав групп конструктивных элементов приведен в таблице.

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_1	Опорные раскосы
Раскосы_опор_2	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.

Советы & рекомендации

- 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.

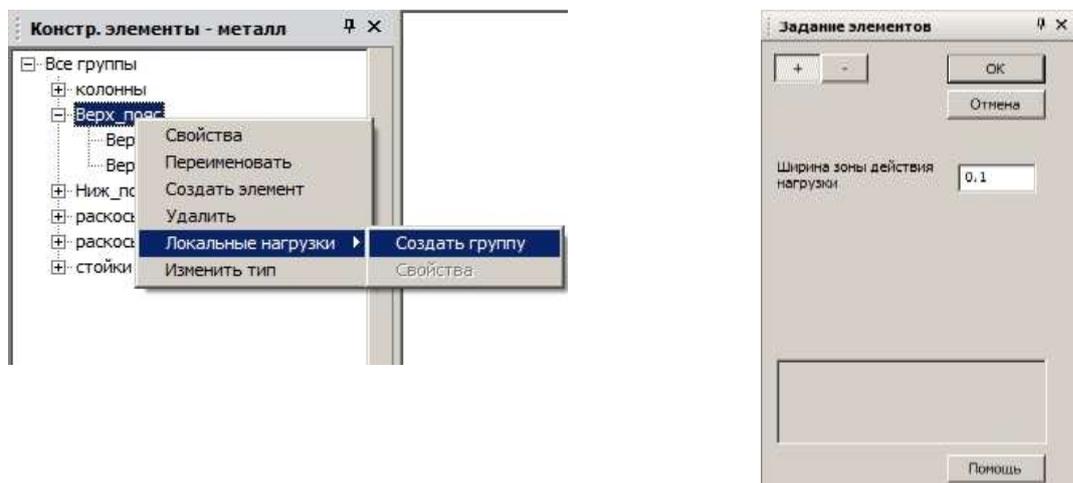


8. В поле **Характеристики материала** выберите марку стали. В поле **Пределная гибкость** выберите ограничение по гибкости для данной группы (в данном случае  $180-60\alpha$ , так как группа – основные колонны). Параметр  $\alpha$  будет вычислен программой.
9. В соответствующей зоне диалога укажите 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.**

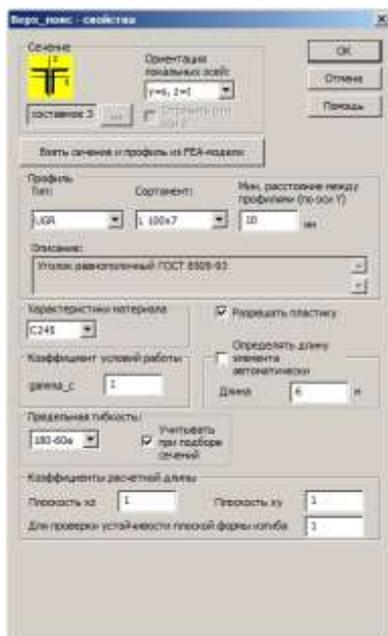
10. Вызвав контекстное меню для группы, можно задать группу узлов, в которых приложена локальная нагрузка (например, для расчета локальных напряжений при расчете сварной балки). При задании локальной нагрузки указывается зона приложения нагрузки. В данном примере указанный элемент не используется.



11. Аналогичным образом задайте свойства для всех групп.
12. Для элементов с составными сечения автоматическая передача данных в данный момент не осуществляется. Сечения такого вида нужно задать вручную. Для расчета доступны составные сечения различных типов. Задание сечения осуществляется с помощью кнопки в поле **Сечение** диалога свойств группы.



13. Для группы Верх\_пояс выберите тип сечения **Составное 3** и нажмите кнопку **Применить**. Укажите 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**.

### 3.8.2 Просмотр результатов конструктивного расчета

Шаг за шагом

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 установлена вследствие необходимости пересчета конструкции при существенном изменении характеристик сечения.

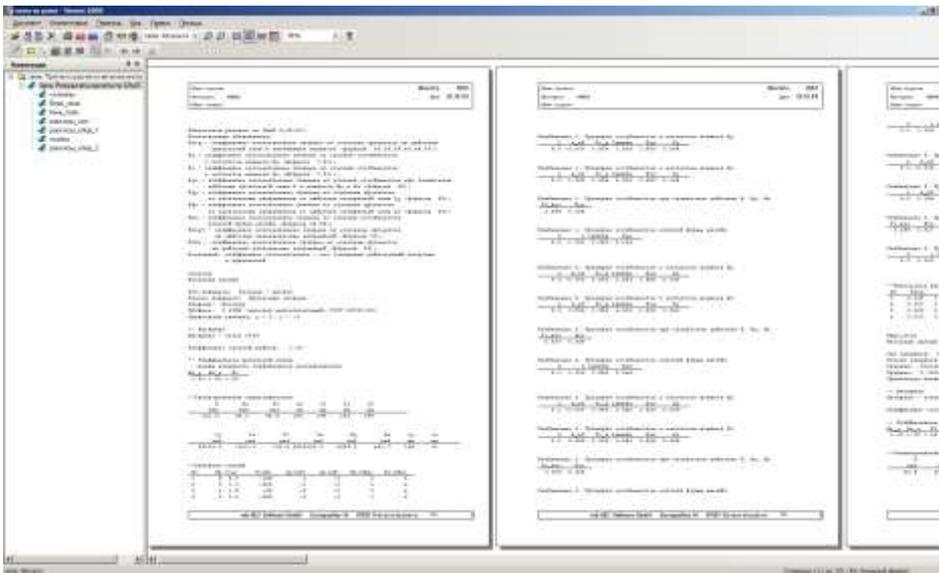
#	Группа	Сечение	Профиль	A, см2	Ay, см2	Az, см2	Iy, см4	Iz, см4	Запомнить
1	колонны	двутавр	DVTH2 I 40Ш2	141.6	96.0	54.5	39700.0	7210.0	<input checked="" type="checkbox"/>
2	Верх_пояс	состав...	UGR L 160x10	62.9	36.1	36.1	1548.4	2996.7	<input checked="" type="checkbox"/>
3	Ниж_пояс	состав...	UGR L 200x13	101.7	57.8	57.8	3922.0	7486.2	<input checked="" type="checkbox"/>
4	раскосы...	состав...	UGR L 100x6.5	25.6	15.0	15.0	244.2	503.5	<input checked="" type="checkbox"/>
5	раскосы...	состав...	UGR L 125x9	44.0	25.7	25.7	655.0	1324.8	<input checked="" type="checkbox"/>
6	стойки	состав...	UGR L 80x6	18.8	11.0	11.0	113.9	249.7	<input checked="" type="checkbox"/>
7	раскосы...	состав...	UGR L 50x5	9.6	5.6	5.6	22.4	57.8	<input checked="" type="checkbox"/>

Сохранить подобранные сечения в в данных для групп элементов  
 Сохранить характеристики сечений в материалах FE-модели

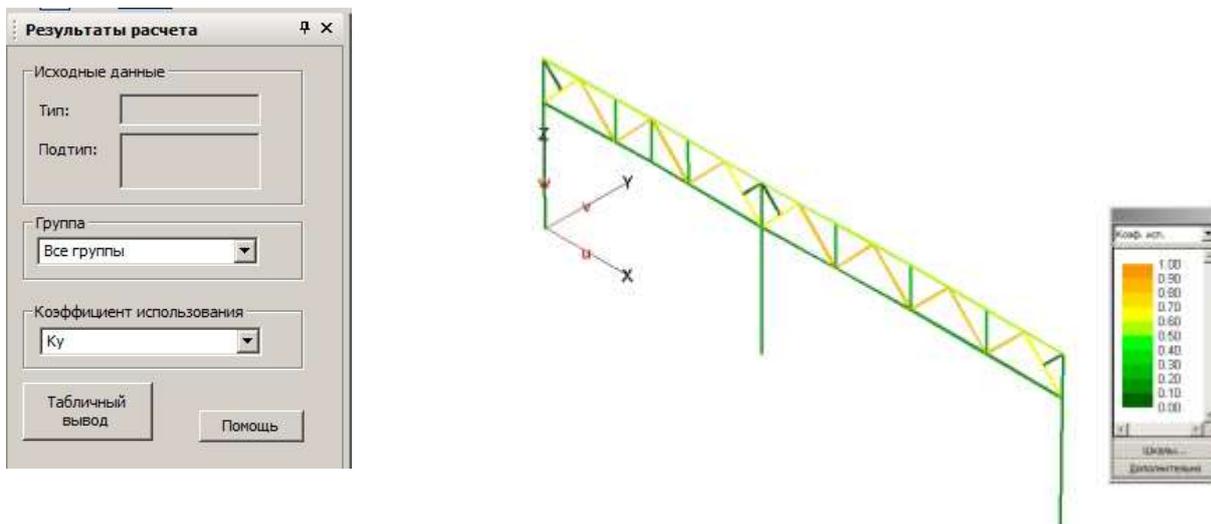
3. После нажатия кнопки **ОК** в результате замены профилей (по результатам подбора) изменилось распределение жесткостей в системе (напри-

мер, сечения нижнего и верхнего поясов различаются), поэтому проведите заново статический расчет и расчет РСУ(см. п.3.6.4 и 3.7)

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



7. 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.
8. 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 в статусной строке.



9. В окне **Результаты расчета** выберите **Группу** и **Коэффициент использования**. При проверках по СНиП 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 53-102-2004 «Общие правила проектирования стальных конструкций». М. : ФГУП ЦПП, 2005.
2. СНиП II-23-81\* «Стальные конструкции». М. : ЦИТП Госстроя России, 1990.
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. СНиП 2.01.07-85\* "Нагрузки и воздействия". М. : ФГУП ЦПП, 2003.