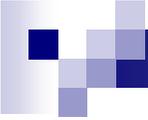


НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

# Спецкурс по поверочным работам

Применение программного комплекса SCAD Office для расчета стержневых  
конструкций

Москва 2023, Сизов Д.К.



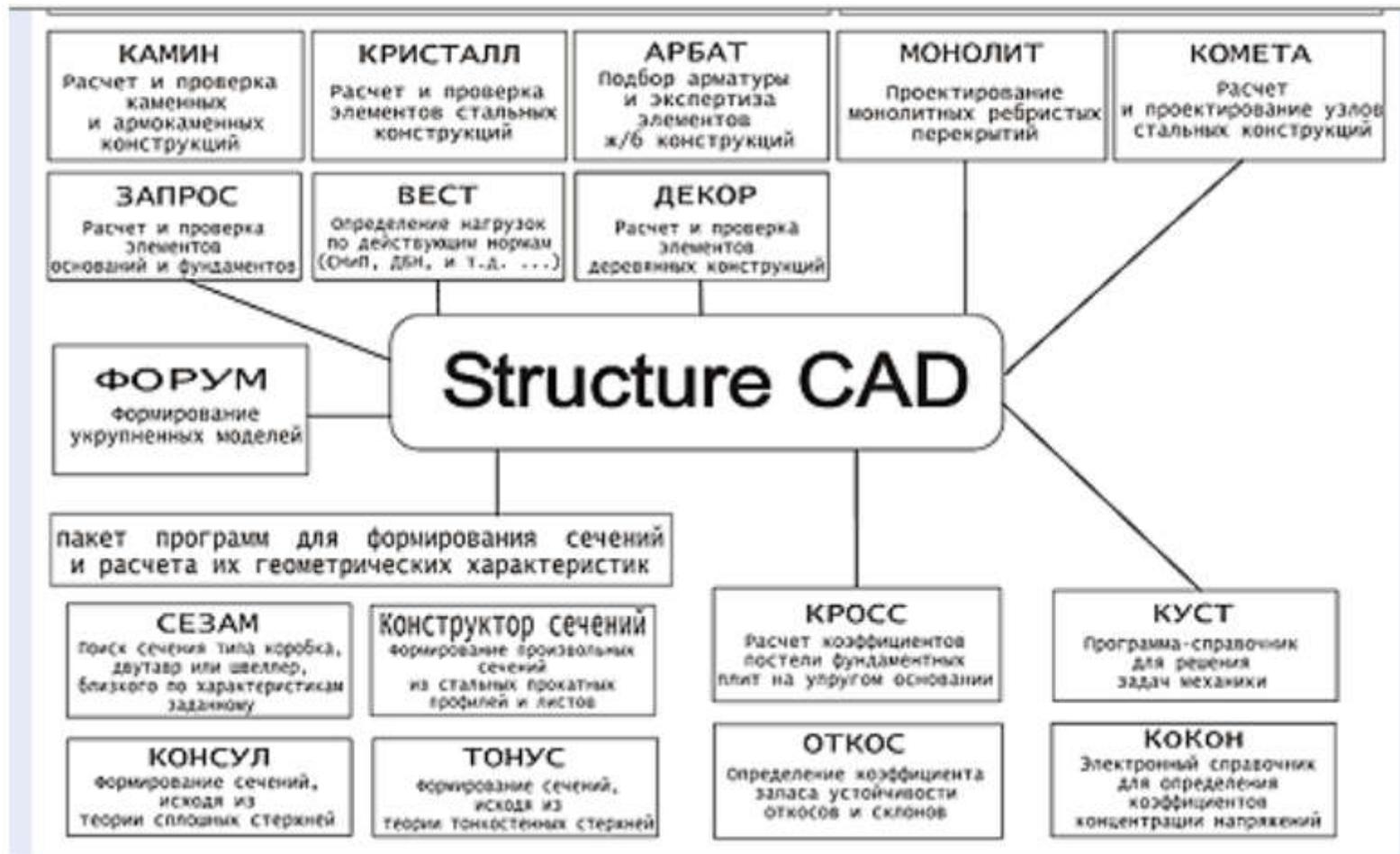
# Основы расчета в SCAD

В основу комплекса положена система функциональных модулей, связанная между собой единой информационной средой. Эта среда называется **проектом** и содержит полную информацию о расчетной схеме, сохраняется как файл с расширением **SPR** по умолчанию в папке **SDATA**. **Расчетная схема (РС)** – это идеализированное описание конструкции в виде узлов, линий, связей, назначений жесткостей, нагрузок.

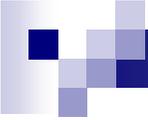
## Функциональные модули SCAD:

- 1) **Графический препроцессор** – ввод исходных данных в интерактивном графическом режиме, и **Графический постпроцессор** – графический анализ результатов расчета.
- 2) **Процессор** – выполнение статического и динамического расчетов, а также вычисления РСУ, комбинаций загружений и т.д.
- 3) **Документирование** расчетов.
- 4) **Проектирующие постпроцессоры** – подбор арматуры, проверка сопротивлений и подбор сечений элементов стальных конструкций.

# Ориентировочная структура сателлитов SCAD



Основные программы, входящие в SCAD



# Типы конечных элементов

Все применяемые в настоящее время для расчета сооружений и конструкций программные комплексы построены на использовании МКЭ. В МКЭ расчетная схема сооружения или конструкции представляется как совокупность некоторых типовых конечных элементов (КЭ), соединенных между собой и с основанием в жестких узлах. Библиотека КЭ содержит:

1. различные виды **стержневых систем**, они характеризуются тем, что размер поперечного сечения много больше его длины (колонны, балки, ригели), к ним относятся шарнирно-стержневые элементы, рамные, балочного роставерка на упругом основании,
2. **пластинчатые (плоские)**, они характеризуются тем, что – их толщина много больше остальных размеров (стена, фундаментная плита, перекрытие), к ним относятся плиты, оболочки, балки-стенки,
3. **объемные элементы**, в которых сопоставимы геометрические размеры,
4. **специальные** – моделируют условия, а не конструкцию, например, упругую связь, упруго-податливое соединение.

# Таблица типов конечных элементов

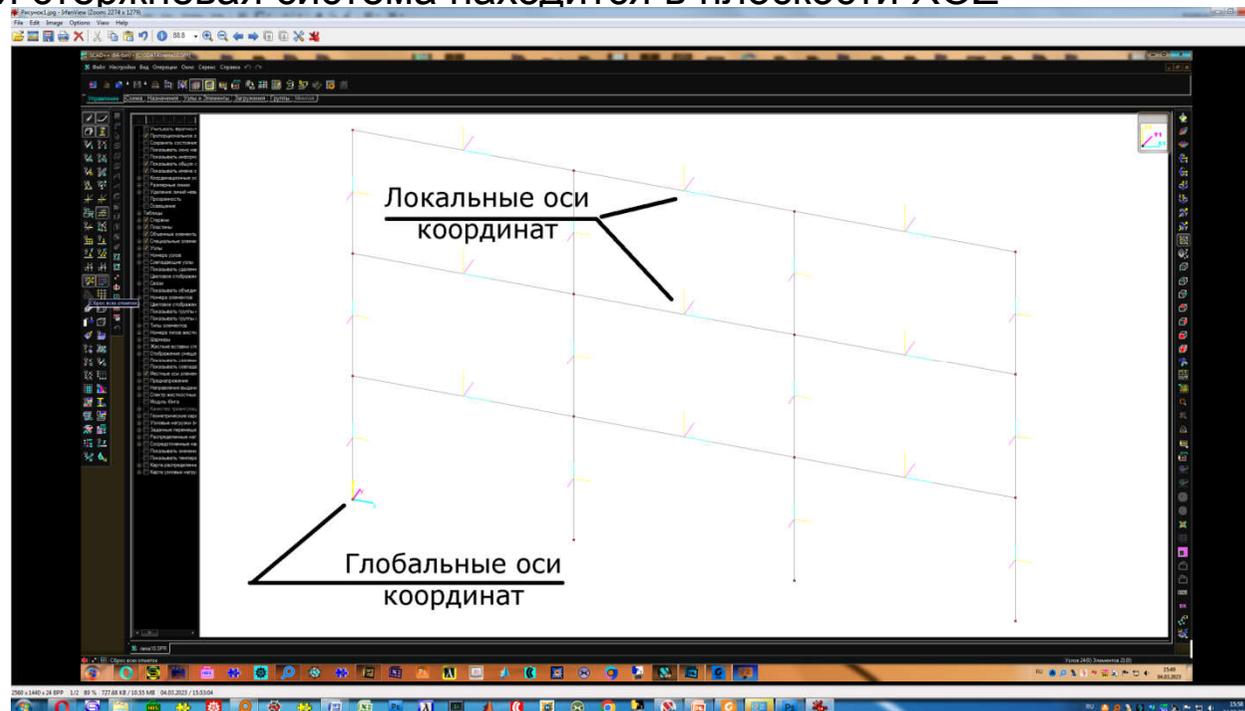
Тип КЭ	Содержание	Допустимые признаки схемы	Вычисляемые усилия
1-10	<b>Стержни</b> 1 - плоской фермы 2 - плоской рамы 3 - балочного ростверка 4 - пространственной фермы 5 - пространственный 6 - пространственный с учетом сдвига 7 - балочного ростверка на упругом основании 10 - универсальный	1, 2, 4, 5 2, 5 3, 5 4, 5 5 5 3, 5 1-5	N N, M (My), Q(Qz) Mx(Mx), My, Qz N N, Mx, My, Qz, Mz, Qy N, Mx, My, Qz, Mz, Qy Mx(Mx), My, Qz в зависимости от типа схемы
11-20	<b>Пластины</b>	3, 5	Mx, My, Mxy, Qx, Qy
21-30	<b>Элементы</b> для решения <b>плоско-напряженной</b> задачи теории упругости (балка-стенка) и расчет плоского деформированного состояния 21, 22, 29, 30, 23, 24, 27	1, 2, 4, 5 4, 5	Для плоско-напряженной задачи: Nx, Ny, Txz; Для плоской деформации: Nx, Ny, Nz, Txz
31-40	<b>Элементы</b> для решения <b>объемной задачи</b> теории упругости	4, 5	Nx, Ny, Nz, Txy, Txz, Tyz
41-50	<b>Оболочки</b>	5	Nx, Ny, Txy, Mx, My, Mxy, Qx, Qy
51-60	Упруго-податливые связи		
61-70	Элементы для решения осесимметричной задачи теории упругости	11	Nx(r), Ny(), Nz(z), Txz(Trz)
71-80	Элементы для расчета многослойных пологих пластин и оболочек, <i>учитывающие поперечный сдвиг, обжатие слоев и кривизну</i>	8	Nx, Ny, Nz, Txy, Txz, Tyz, вертикальное перемещение на границах слоев
81-90	Элементы для расчета многослойных пологих пластин и оболочек, <i>учитывающие межслоевые сдвиги и кривизну</i>	9	
150-160	Нуль-элементы для расчета на заданные перемещения	1-5	
200	Пустой элемент	любой	

Приводится таблица типов КЭ, включенная в руководство по одной из версий **5**  
**SCAD**

## Связь между локальными и глобальными осями координат (на примере стержневых элементов)

В МКЭ каждый КЭ рассматривается не только к общей системе координат, но и в своей собственной (местной) системе координат. **В местной системе координат выдаются результаты расчета по определению усилий  $M$ ,  $Q$ ,  $N$  в узлах элементов и в его сечениях.**

Вся стержневая система рассматривается в общей системе осей координат. Общая система используется при назначении нагрузки на расчетную схему, и в этой системе определяются перемещения узлов расчетной схемы. В SCAD используется правая система осей координат XYZ. Плоская стержневая система находится в плоскости XOZ



# Описание жесткостей стержневых элементов

## *Жесткостные характеристики стержневых КЭ*

Для универсального пространственного конечного элемента задаются следующие жесткостные характеристики упругой части в соответствии с типом стержневой процедуры, описанной в таблице на слайде 3:

**EF** - продольная жесткость ( $\tau$ );

**EI<sub>y</sub>** - изгибная жесткость относительно оси Y1 ( $\tau\text{м}^2$ ).

**EI<sub>z</sub>** - изгибная жесткость относительно оси Z1 ( $\tau\text{м}^2$ );

**GIk** - крутильная жесткость ( $\tau\text{м}^2$ ).

**GF<sub>y</sub>** - сдвиговая жесткость относительно оси Y ( $\tau$ ).

**GF<sub>z</sub>** - сдвиговая жесткость относительно оси Z ( $\tau$ );

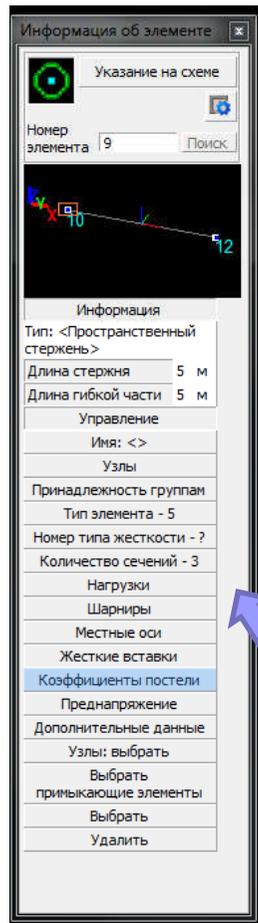
Далее в таблице приводится номер типа КЭ и задаваемые жесткостные характеристики элемента

Тип стержневой процедуры	Перечень задаваемых жесткостей
1	EF
2	EF EI <sub>y</sub> [GF <sub>y</sub> )
3, 7	EI <sub>y</sub> Gik
4	EF
5, 6	EF EI <sub>y</sub> EI <sub>z</sub> Gik [GF <sub>y</sub> GF <sub>z</sub> ]
10	По признаку схемы

# Описание усилий стержневых элементов

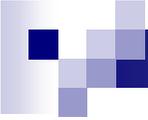
В зависимости от типа конечного элемента (его номера) возможен о возникновение следующих усилий:

Тип КЭ	Краткое название	Плоскость (или параллельная ей)	Перемещения узлов	Усилия
1	Шарнирный стержень плоской фермы	XOZ	X, Y	N
2	Стержень плоской рамы	XOZ	X, Y, UY	N, MY, QZ
3	Плоская изгибаемая балка	XOY	Z, UX, Y	Mкр, MY, QZ
7	То же, на упругом основании	XOY	Z, UX, UY	Mкр, MY, QZ, Rz
4	Шарнирный стержень пространственной фермы	произвольно	X, Y, Z	N
5,10	Пространственный рамный стержень	произвольно	X, Y, Z UX, UY, UZ	N, Mкр, MY, QZ, MZ, QY



Использование кнопки : «Информация об элементе» позволяет определить тип назначенного элемента, его жесткостные характеристики, коэффициент постели, а также наличие жестких вставок у узлов конечного элемента. Свойства конечного элемента могут быть интерактивно изменены в процессе пользования палитрой «Информация об элементе»

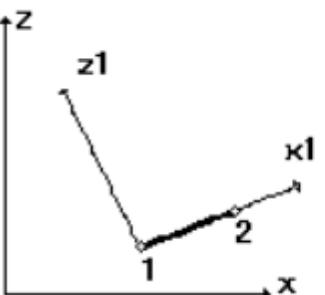
Интерактивные кнопки для просмотра и изменения свойств конечного элемента



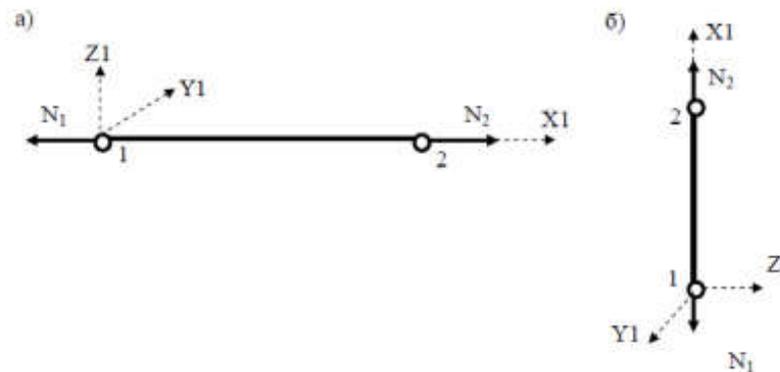
## Усилия в стержневых элементах

1. **N** - продольная сила ( $\tau$ ),
2. **M<sub>кр</sub>** (или **M<sub>x</sub>**) - крутящий момент ( $\tau \cdot m$ ), вращение относительно продольной оси X1 стержня,
3. **M<sub>y</sub>** - изгибающий момент ( $\tau \cdot m$ ), вращение относительно оси Y1, вызывает растяжение-сжатие нижних и верхних (по высоте сечения, по направлению оси Z1) волокон сечения,
4. **Q<sub>z</sub>** - перерезывающая сила в направлении оси Z1 ( $\tau$ ) по высоте сечения и соответствующая моменту **M<sub>y</sub>**,
5. **M<sub>z</sub>** - изгибающий момент ( $\tau \cdot m$ ), вращение относительно оси Z1. вызывает сжатиерастяжение правых и левых (по ширине сечения, по направлению оси Y1) волокон сечения,
6. **Q<sub>y</sub>** - перерезывающая сила в направлении оси Y1 ( $\tau$ ) по ширине сечения и соответствующая моменту **M<sub>z</sub>**.
7. **R<sub>z</sub>** - отпор грунта ( $\tau$ )

## Тип 1 конечного элемента (стержень плоской фермы)

	Признак системы	Плоскость расположения	Степени свободы
	1, 2, 4, 5	XOZ	X, Z

В пределах элемента этого типа отсутствует любая нагрузка (нагрузка на ферму приводится к ее узлам). Элемент предназначен для расчета плоских стержневых систем с учетом только линейных деформаций (сжатие, растяжение), расположен в плоскости XOZ, шарнирно соединен с другими КЭ. В результате расчета определяются только продольные усилия  $N$ , постоянные по длине стержня (остальные отсутствуют): при  $N > 0$  - растяжение, при  $N < 0$  - сжатие.



**Усилия и расположение локальных осей для конечного элемента Тип 1**

# Расчетная схема фермы

Жесткостная характеристика – только  $EF$  – продольная жесткость, где  $E$  – модуль упругости,  $F$  – площадь поперечного сечения.

Ниже приведена расчетная схема плоской фермы, состоящая из 25 таких конечных элементов, соединенных между собой в 14 узлах. Ферма соединена с жестким основанием тремя связями (двумя в узле 1 и одной в узле 7)

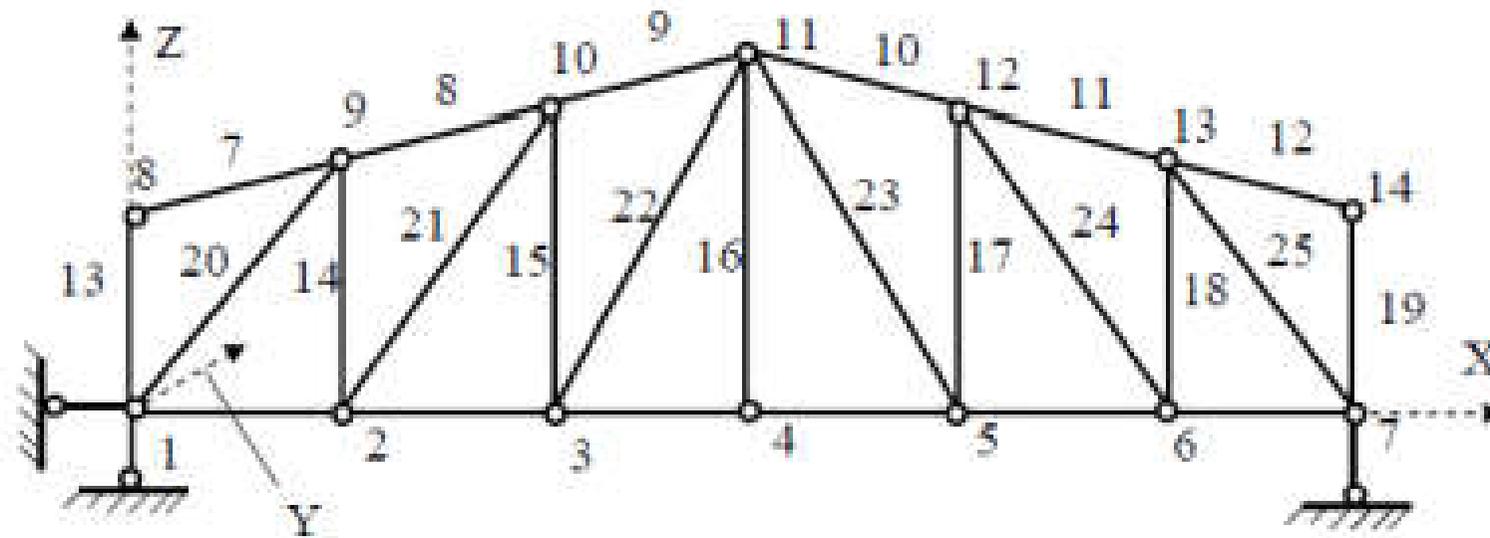
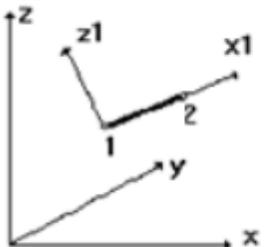


Схема фермы с изображенными номерами конечных элементов, номерами узлов и глобальными осями координат

## Тип 2 Стержень плоской рамы

	Признак системы	Плоскость расположения	Степени свободы
	2, 4, 5	XOZ	X, Z, Uy

Конечный элемент предназначен для расчета плоских стержневых систем без учета сдвиговых деформаций (только сжатие и изгиб), расположен в плоскости XOZ, жёстко соединен с другими КЭ. В отличие от элемента фермы в поперечных сечениях КЭ типа 2 и по его концам (1 и 2) возникают не только продольные усилия  $N$ , но и изгибающие моменты  $M_y$  и поперечные силы  $Q_z$ .

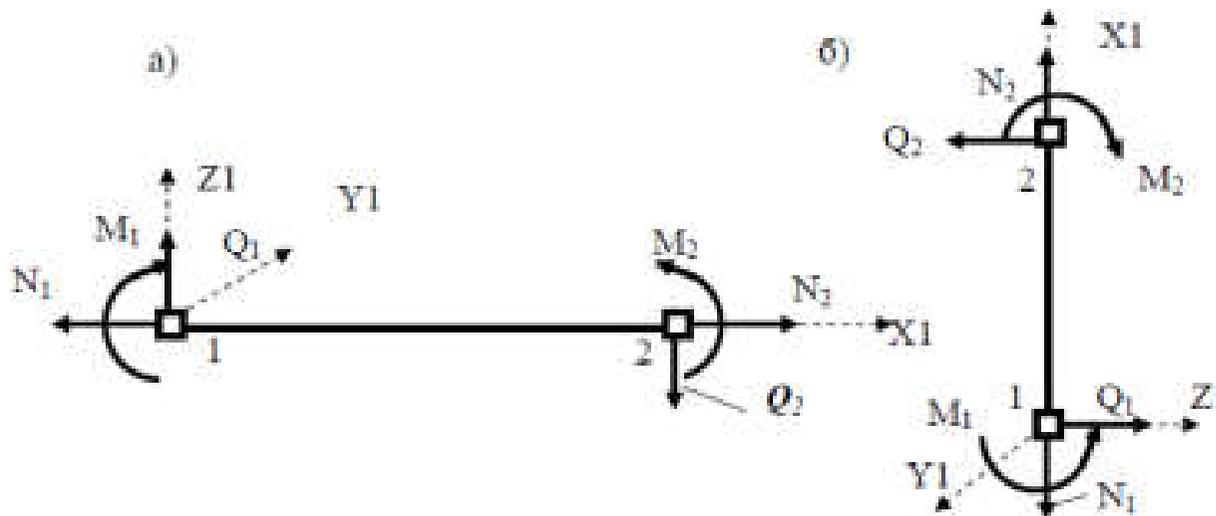
### Жесткостные характеристики:

1.  $EF$  – продольная жесткость (жесткость стержня на растяжение/сжатие),
2.  $EI$  – изгибная жёсткость относительно оси  $OY$ , где  $I$  - момент инерции сечения

## Усилия, возникающие в элементе Типа 2

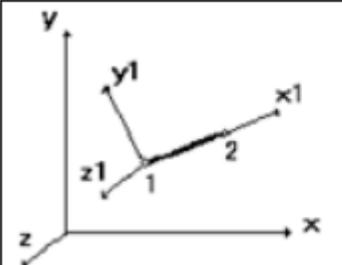
В рассчитываемой плоской раме в пределах элемента типа 2 могут действовать любые сосредоточенные и распределенные нагрузки, находящиеся в той же плоскости.

Ниже элемент типа 2 показан в общем случае, когда он в расчетной схеме присоединяется к жесткому узлу тремя жесткими связями, в которых и возникают указанные усилия. Возможно присоединение этого элемента к узлам и меньшим числом связей, обеспечивающим его присоединение к стержневой системе. Тогда и число ненулевых усилий по его концам будет соответствующим. Например, если в узле 1 имеется шарнирное соединение с узлом совокупности элементов, то усилие  $M_1$  будет нулевым (в шарнире изгибающий момент равен нулю).



## Тип 3 Конечный элемент балочного ростверка

Признак схемы и степени свободы данного КЭ представлены в таблице:

	Признак системы	Плоскость расположения	Степени свободы
	3, 5	XOY	Z, U <sub>x</sub> , U <sub>y</sub>

Признак схемы 3- балочный ростверк, тип 5- схема общего вида

Конечный элемент предназначен для расчета плоских стержневых систем с учетом изгибных и крутильных деформаций и используется, если нужно **учесть кручение** (на сжатие, растяжение не работает), расположен в плоскости XOY, жестко соединен с другими КЭ.

Жесткостные характеристики:

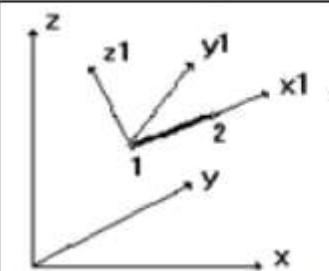
$EI_y$  – изгибная жёсткость,

**$G I_{кр}$**  - **крутильная жесткость**, ( $I_{кр}$  – полярный момент инерции)

В результате расчета определяются  $M_y$ ,  $Q_z$ ,  **$M_{кр}=M_x$**

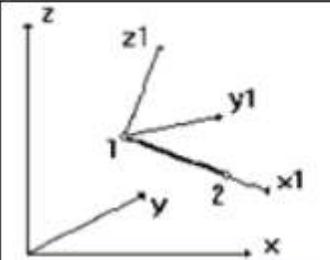
## Конечные элементы Тип 4 и Тип 5

Конечный элемент Тип 4 описывает поведение пространственной фермы, его степени свободы и признак схемы приводятся в таблице:

	Признак системы	Плоскость расположения	Степени свободы
	4, 5	произвольно	X, Y, Z

Тип схемы 4- пространственная шарнирно-стержневая схема, тип схемы 5- схема общего вида

Конечный элемент Тип 5 описывает поведение пространственной рамы, его степени свободы и признак схемы приводятся в таблице:

	Признак системы	Плоскость расположения	Степени свободы
	5	произвольно	X, Y, Z, Ux, Uy, Uz

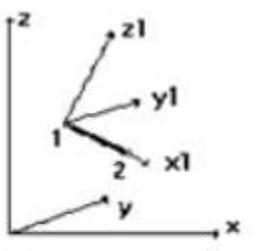
Работает на сжатие, изгиб, кручение.

Жесткостные характеристики  $EF$ ,  $EI_y$ ,  $EI_z$ ,  $GI_{кр}$

В результате расчета определяются  $N$ ,  $M_x$ ,  $M_y$ ,  $Q_z$ ,  $M_z$ ,  $Q_y$

## Тип 10 Универсальный стержень

Связь между признаком схемы и степенями свободы конечного элемента представлена в таблице:

	Признак системы	Плоскость расположения	Степени свободы
	1	XOZ	X, Z,
	2	XOZ	X, Z, Uy
	3	XOY	Z, Ux, Uy
	4	произвольно	X, Y, Z,
5	X, Y, Z, Ux, Uy, Uz		

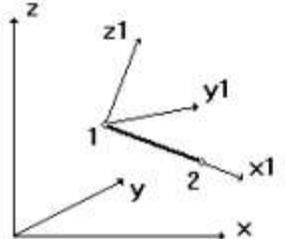
Все представленные ранее типы конечных элементов – частные случаи конечного элемента Типа 10.

Пространственный элемент с учетом сдвига:

Пространственный стержень с учетом сдвига

Конечный элемент 6

Признак схемы 5

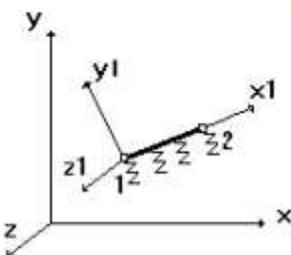


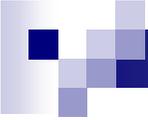
Стержень балочного роставерка на упругом основании:

Стержень балочного роставерка на упругом основании

Конечный элемент 7

Признак схемы 3, 5





## Этапы выполнения расчета SCAD

Работа в SCAD условно разделена на следующие этапы.

**Этап 1.** *Запуск программы SCAD и подготовка к созданию расчетной схемы*

1) Запуск программы SCAD.

2) Создание нового проекта для выполнения расчета заданной стержневой системы и

его наименование.

3) Задание имени файла в директории SDATA, в котором будет сохраняться вся информация по введенным исходным данным. Выход на схему «Дерево проекта» для начала работы.

4) Открытие окна «Расчетная схема» для формирования РС рассматриваемой стержневой системы.

**Этап 2.** *Создание расчетной схемы стержневой системы*

1) Графическое представление РС в общей системе координат для всей стержневой системы с нумерацией узлов и элементов и местных систем координат для каждого элемента отдельно.

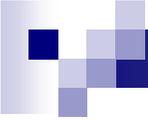
2) Назначение типа КЭ.

3) Назначение жесткости элементов.

4) Назначение опорных связей.

5) Назначение шарниров в узлах элементов.

6) Печать или сохранение расчетной схемы



## Этапы выполнения расчета в SCAD (продолжение)

### **Этап 3. Создание загружений РС**

- 1) Задание узловой нагрузки.
  - 2) Задание нагрузки на элемент.
  - 3) Создание и сохранение загружений.
- 12
- 4) Печать или сохранение РС с созданными загружениями.

### **Этап 4. Выполнение линейного расчета и представление его результатов**

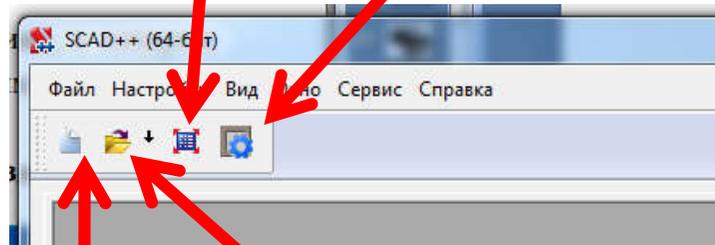
- 1) Выполнение линейного расчета, в котором реализуется алгоритм решения задачи МКЭ по определению перемещений узлов (в общей для стержневой конструкции системе координат) и усилий в намеченных для расчета сечениях элементов (в местной системе координат).
- 2) Представление полученных результатов расчета стержневой системы в виде эпюр усилий в ее элементах и картины перемещений узлов. Их сохранение и печать.
- 3) Представление полученных результатов расчета стержневой системы в виде таблицы с усилиями в намеченных сечениях элементов и таблицы перемещений узлов расчетной схемы. Их сохранение и печать.

# Этап 1 (Запуск программы SCAD)

На слайде приводятся основные окна программы, появляющиеся на первоначальном этапе разработки МКЭ модели исследуемого объекта.

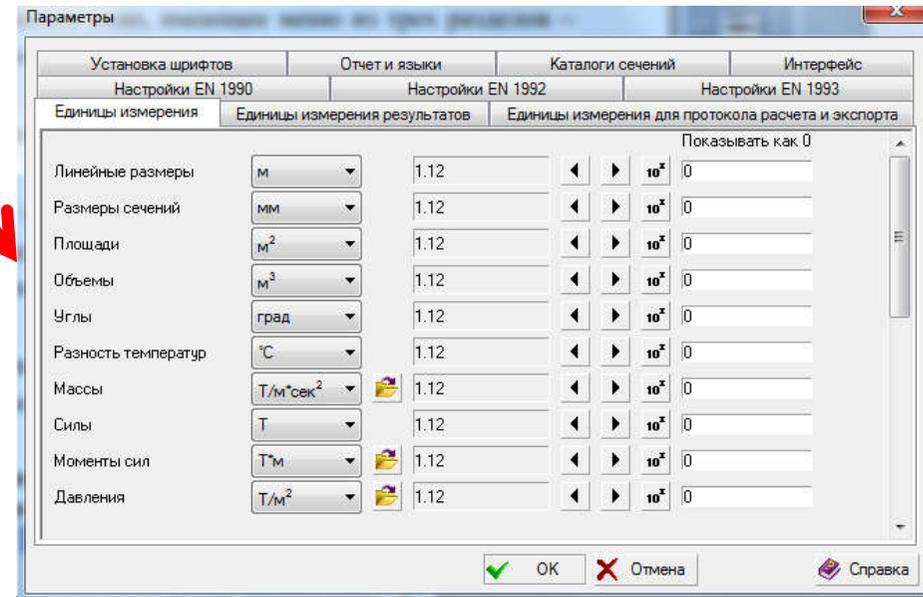
Полноэкранный режим

Настройка



Новый проект

Открыть проект



Окно настройки проекта, вкладка выбора единиц измерений в результатах (можно настроить точность представления величин)

## Выбор типа схемы в зависимости от числа степеней свободы рассматриваемой конструкции

Положение в пространстве	Перемещения в узле по направлениям общей системы	Характеристики конструкций
Любое	Линейные по X, Y, Z; повороты UX, UY и UZ вокруг осей X, Y и Z	Признак схемы общего вида. Позволяет рассчитывать пространственные конструкции зданий, оболочки. Любая конструкция с признаками схемы 1-4 может быть посчитана с признаком 5

В окне создания нового проекта можно выбрать тип схемы:

**Признак 1** – схемы, располагаемые в плоскости XOZ, каждый узел имеет две степени свободы- линейные перемещения вдоль осей X, Z (плоская шарнирно стержневая схема)

**Признак 2** – схемы, располагаемой в плоскости XOZ, каждый узел имеет 3 степени свободы – линейные перемещения вдоль осей X, Z или X2, Z2 и поворот вокруг оси Y, Y2.

**Признак 3**-Балочный ростверк

**Признак 4** – пространственная шарнирно-стержневая схема

**Признак 8**- конструкции многослойных оболочек

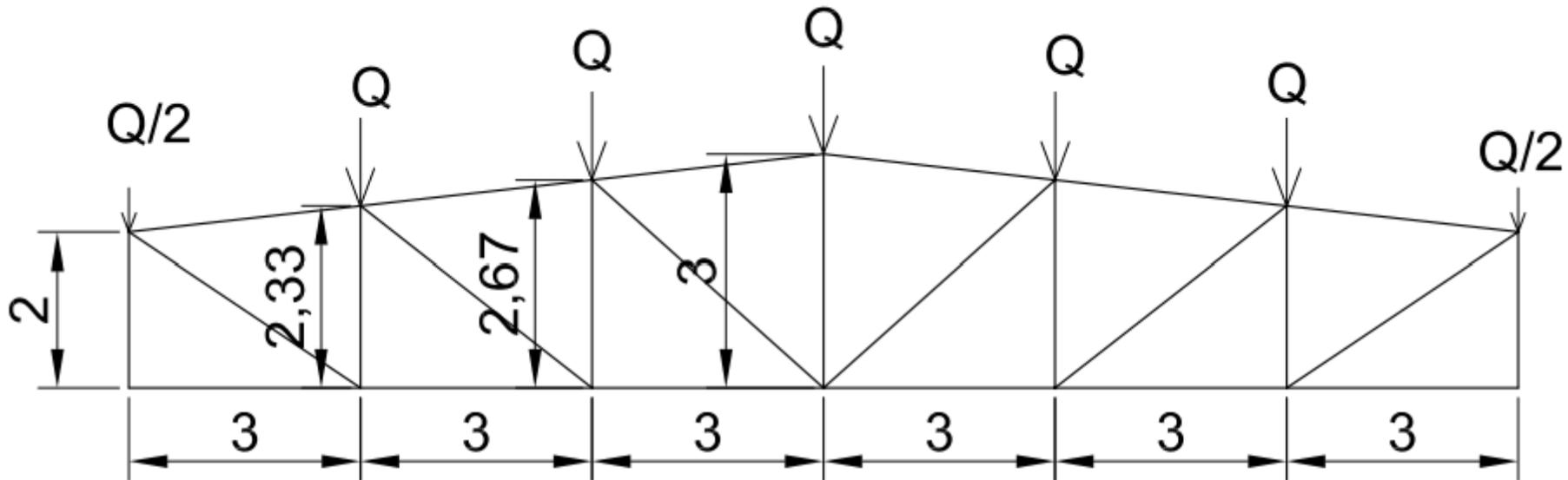
**Признак 9** – конструкции многослойных оболочек с учетом сдвига

**Признак 11** -- Осесимметричные задачи

## Пример 1

Расчет плоской фермы в программном комплексе SCAD

Пусть требуется рассчитать плоскую ферму с использованием программного комплекса SCAD на заданную нагрузку, приложенную в узлах верхнего пояса



Расчетная схема фермы

Примем два нагружения:

1. От собственного веса
2. От веса конструкций ж/б конструкций кровли  $Q$

## Расчет фермы (продолжение)

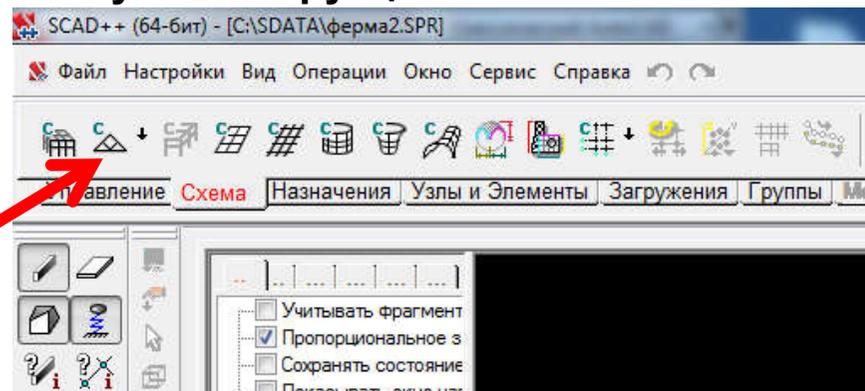
В программном комплексе SCAD создадим новый проект с типом схемы 1 «Плоская шарнирно-стержневая система». Далее существует несколько возможных вариантов действий:

1. Генерация прототипа схема с использованием «заготовок», предоставляемых программным комплексом в виде параметрически задаваемых ферменных конструкций
2. Постепенный ввод узлов и последовательное их соединение отдельными стержнями

В рамках рассматриваемого задания будем исходить из возможности создания фермы на основе параметрического задания ее конструкции средствами программного комплекса. Из менеджера проекта заходим в подменю «Расчетная схема», открывается окно для ввода расчетной схемы. По умолчанию все стержни в данном проекте будут шарнирными стержнями плоской фермы (так как выбран тип схемы 1).

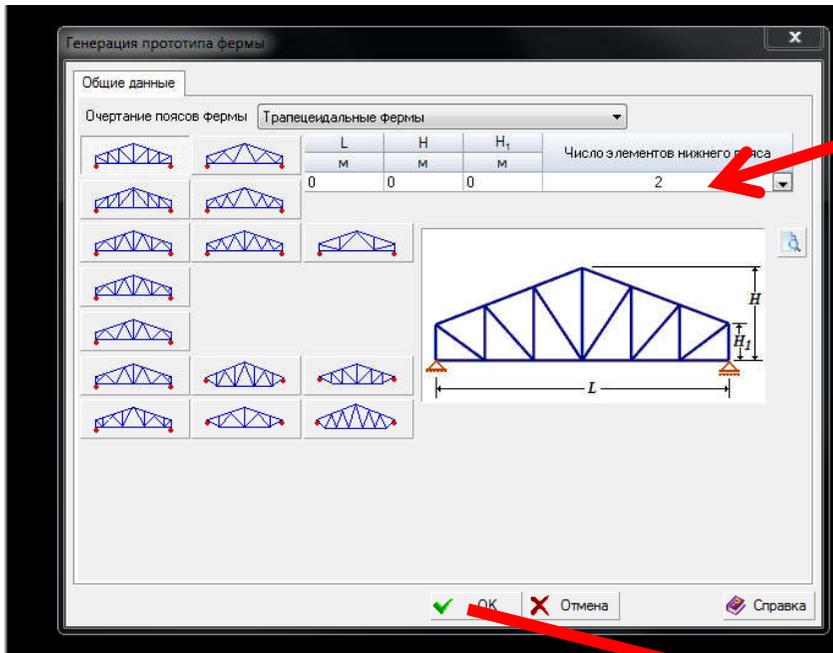
**Заходим в подменю Схема → Генерация прототипа схемы и выбираем близкую по очертаниям к требуемой ферменную конструкцию**

Выбираем Генерация прототипа фермы



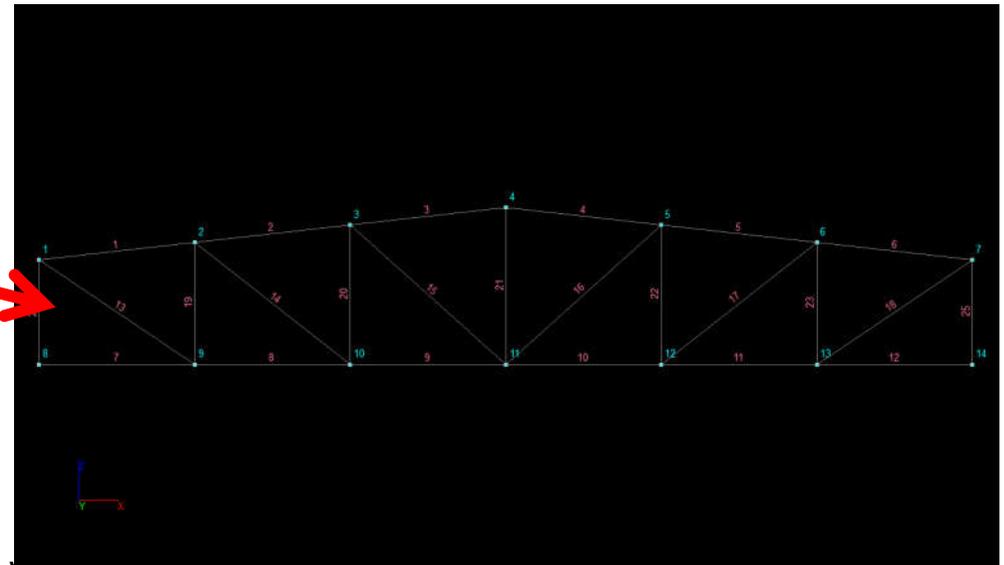
## Расчет фермы (продолжение)

Далее в открывшемся окне выбираем → «Трапецеидальные фермы»



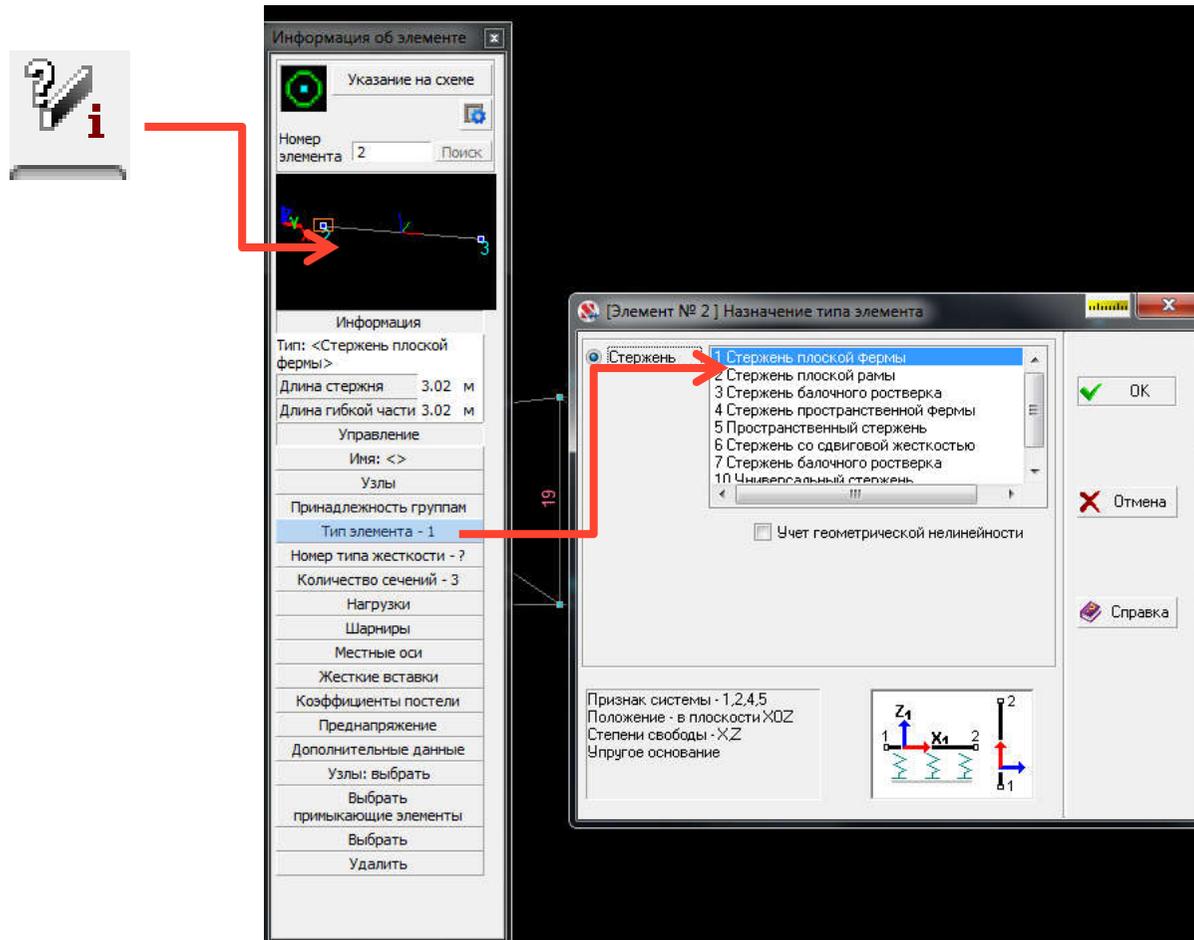
1. Задаем параметры фермы, нажимаем Ок
2. Схема сформирована

3. Найдем на панели инструментов слева кнопки, позволяющие изобразить номера узлов и элементов, а также локальных осей

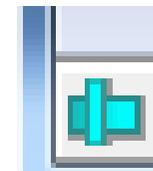


## Расчет фермы (продолжение)

Посмотрим информацию о каком-либо элементе, убедимся, что задан именно конечный элемент Тип 1, для этого воспользуемся кнопкой с пиктограммой



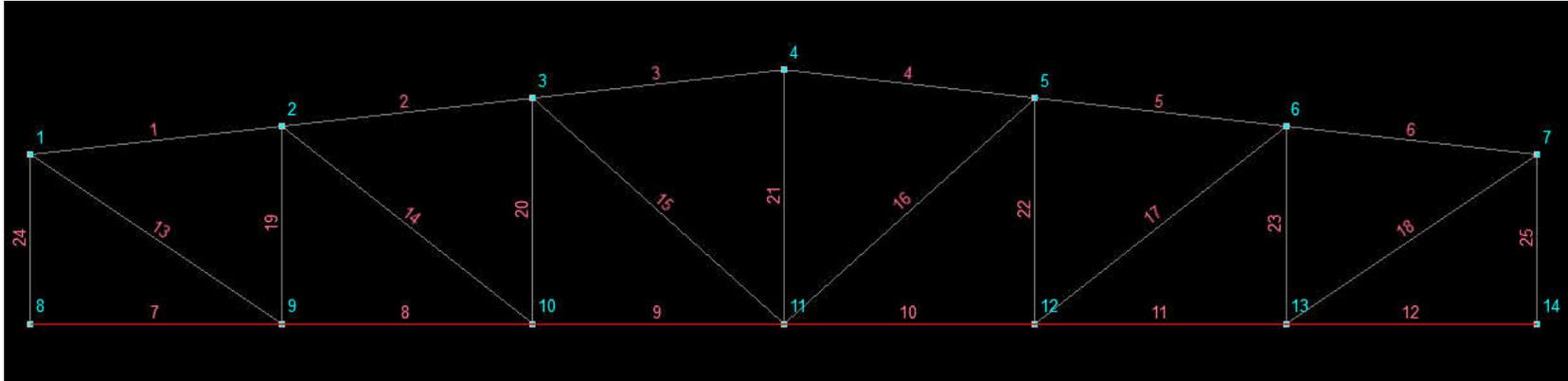
Как мы видим, элементам не назначена жесткость. Для назначения жесткостей выберем отдельно элементы нижнего пояса с использованием кнопки с пиктограммой вида:



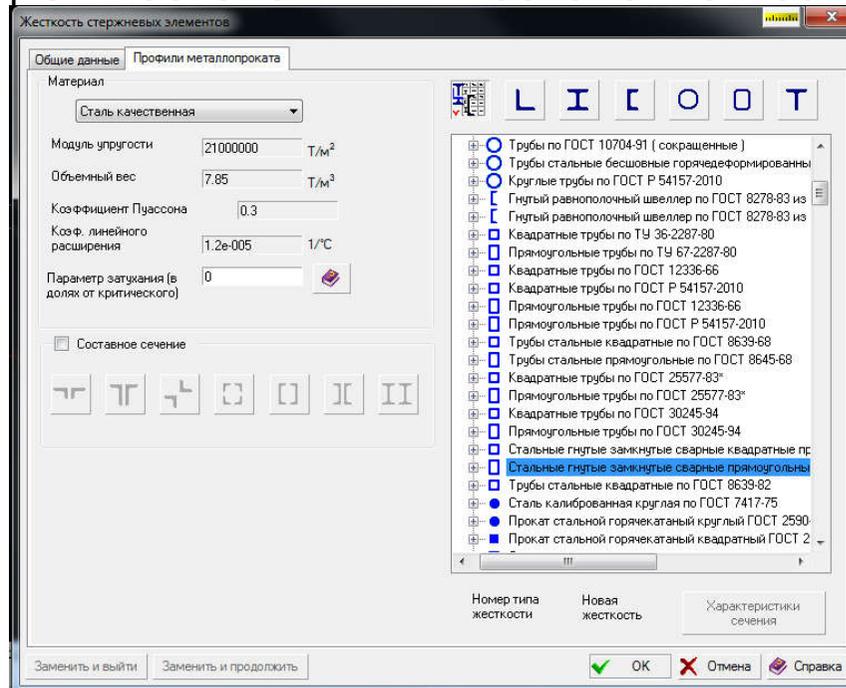
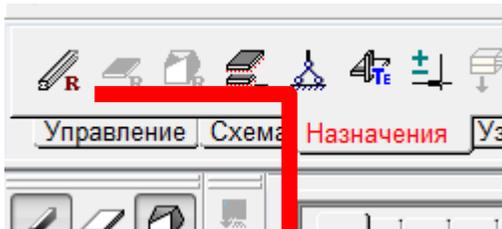
расположена в левом нижнем углу экрана. Выделенные элементы будут отображаться на расчетной схеме красным цветом

# Расчет фермы (продолжение)

Внешний вид фермы с отмеченными стержнями нижнего пояса:



Далее переходим к вкладке «Назначения» → Назначение жесткостей стержням



Выберем сварные гнутые замкнутые сварные прямоугольные профили по ГОСТ 30245-2003

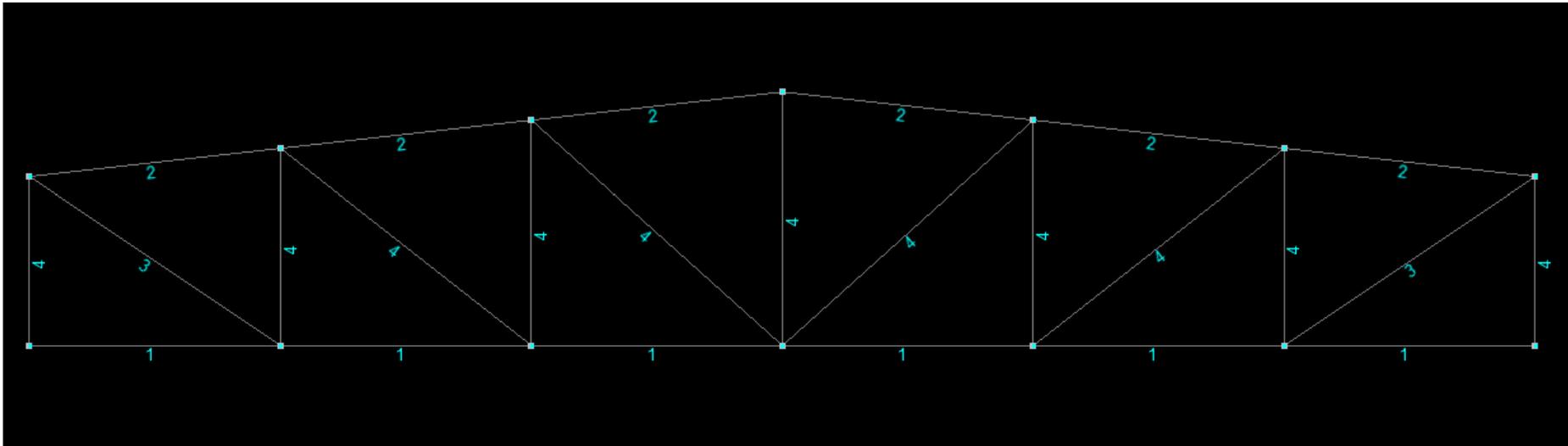
## Расчет фермы (продолжение)

Для нижнего пояса выберем квадратное сечение 120x5 мм

Для верхнего пояса выберем сечение 140x100x5 мм

Для опорного раскоса 100x5 мм

Для остальных элементов решетки 80x5 мм



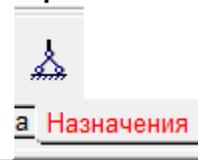
Внешний вид фермы с отображением номера жесткостей после нажатия на кнопку с пиктограммой вида:



## Расчет фермы (продолжение)

Следующим этапом является закрепление фермы. Выберем два опорных узла и зададим закрепления. Для этого выделим левый нижний узел фермы с использованием кнопки:  в левом нижнем углу экрана.

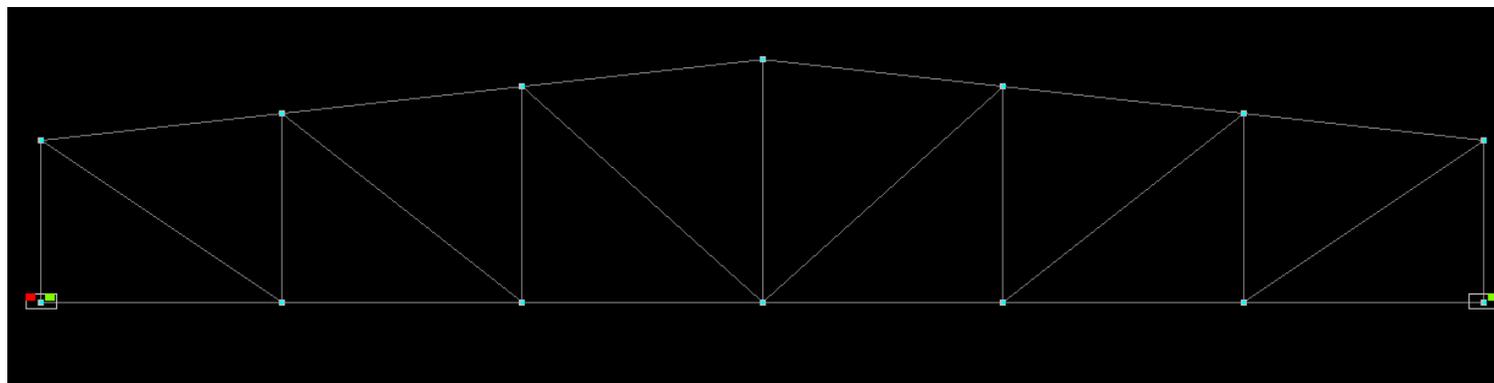
Далее назначения → Установка связей в узла



Устанавливаем слева шарнирно-неподвижное закрепление фермы, а справа шарнирно-подвижное опирание. Внешний вид фермы после включения отображения закреплений кнопкой  (красная точка на кнопке появляется после того как

осуществлен выбор масштабного

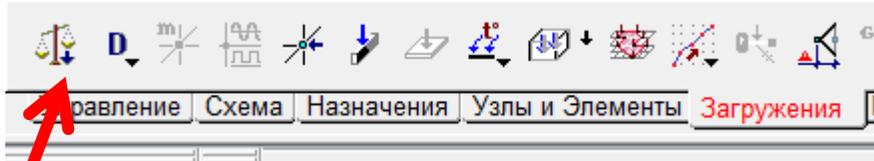
Увеличения отображаемых опорных за  ий. Увеличить масштаб отображения связей можно путем нажатия правой кнопки мыши на данной кнопке и дальнейшего выбора масштабного множителя отображения большего единице. Ферма с закреплениями представлена на рисунке



Кнопки используются для подтверждения, либо отказа от назначения закрепления предварительно выбранным узлам

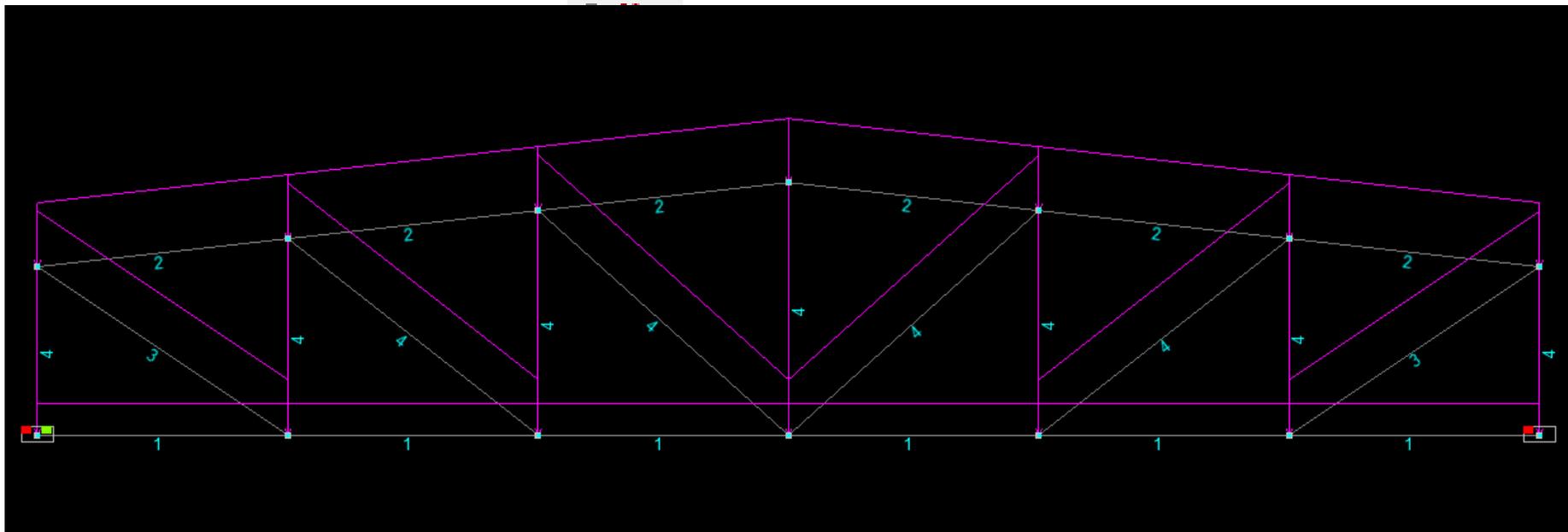
## Расчет фермы (продолжение)

Назначение нагрузок, начнем с собственного веса, перейдем на вкладку загрузки, нажмем на кнопку с пиктограммой:



Собственный вес, зададим с коэффициентом **1,05**

После нажатия на кнопку  расчетная схема примет вид:



## Расчет фермы (продолжение)

Далее данное загрузение записывается в расчетную схему с использованием кнопки:



Выбрать тип загрузки

Записать как новое

Сохранение загрузки

№: 1, Имя: Собст вес

Тип загрузки: Постоянные, Вид нагрузки: Вес металлы,  Нормативная нагрузка

Коэффициент надежности по нагрузке: 1.05, Доля длительности: 1

№	Загружения	Тип загрузки	Вид нагрузки	Коэффициент надежности по нагрузке	Доля длительности	Нормативное загрузение
1	Собст вес	Постоянные нагрузки	Вес металлы	1.05	1	

Buttons: + Записать как новое, Заменить, Отменить запись, OK, Отмена, Справка

Radio buttons:  Сохранить и продолжить задание нагрузок,  Сохранить и перейти к созданию нового загрузения

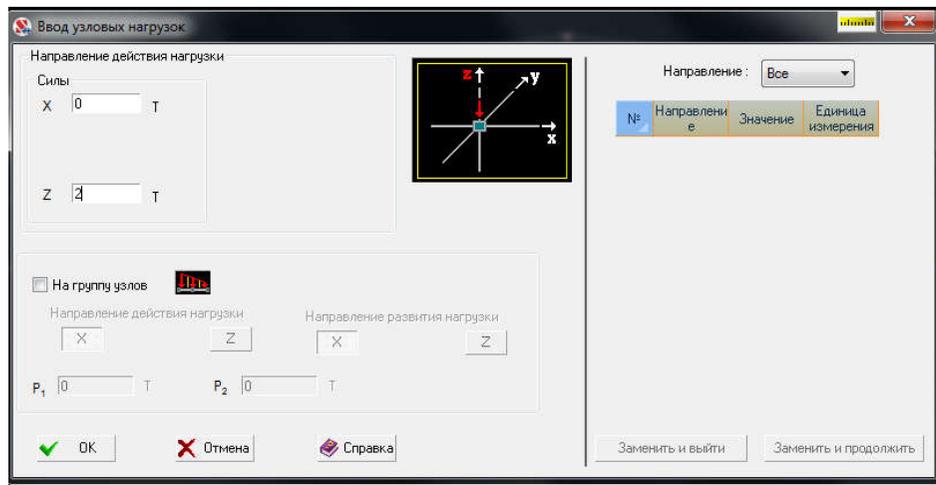
2016

Вид окна формирования загрузений перед нажатием на кнопку Ok.

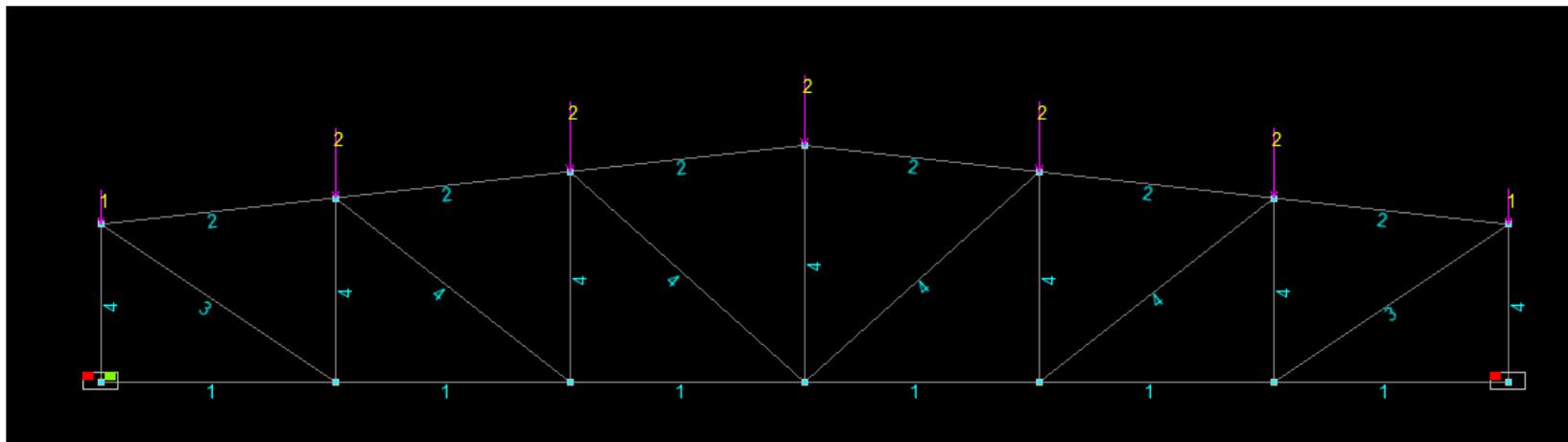
## Расчет фермы (продолжение)

Добавим второе нагружение, предварительно добавив в расчетную схему узловую нагрузку в верхний пояс  (будем считать, что на средние узлы

фермы верхнего пояса действует 2 т, а на крайние только 1 т:



Для присвоения нагрузок выбранным узлам схемы не забываем пользоваться кнопками



# Расчет фермы (продолжение)

Запомним данное загрузение



Сохранение загрузки

№: 2    Имя: Полезная

Тип загрузки: Длительные    Вид нагрузки: Вес времени     Нормативная нагрузка

Коэффициент надежности по нагрузке: 1.2    Доля длительности: 1

№	Загружения	Тип загрузки	Вид нагрузки	Коэффициент надежности по нагрузке	Доля длительности	Нормативное загрузение
1	Собст вес	Постоянные нагрузки	Вес металл	1.05	1	<input type="checkbox"/>
2	Полезная	Длительные нагрузки	Вес времени	1.2	1	<input type="checkbox"/>

2016

Сохранить и продолжить задание нагрузок    Сохранить и перейти к созданию нового загрузения

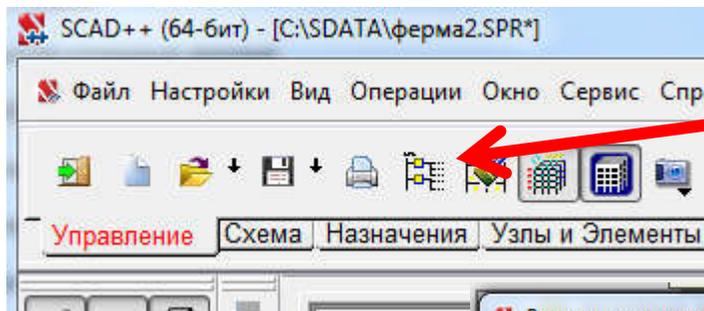
Записать как новое    Заменить    Отменить запись

OK    Отмена    Справка

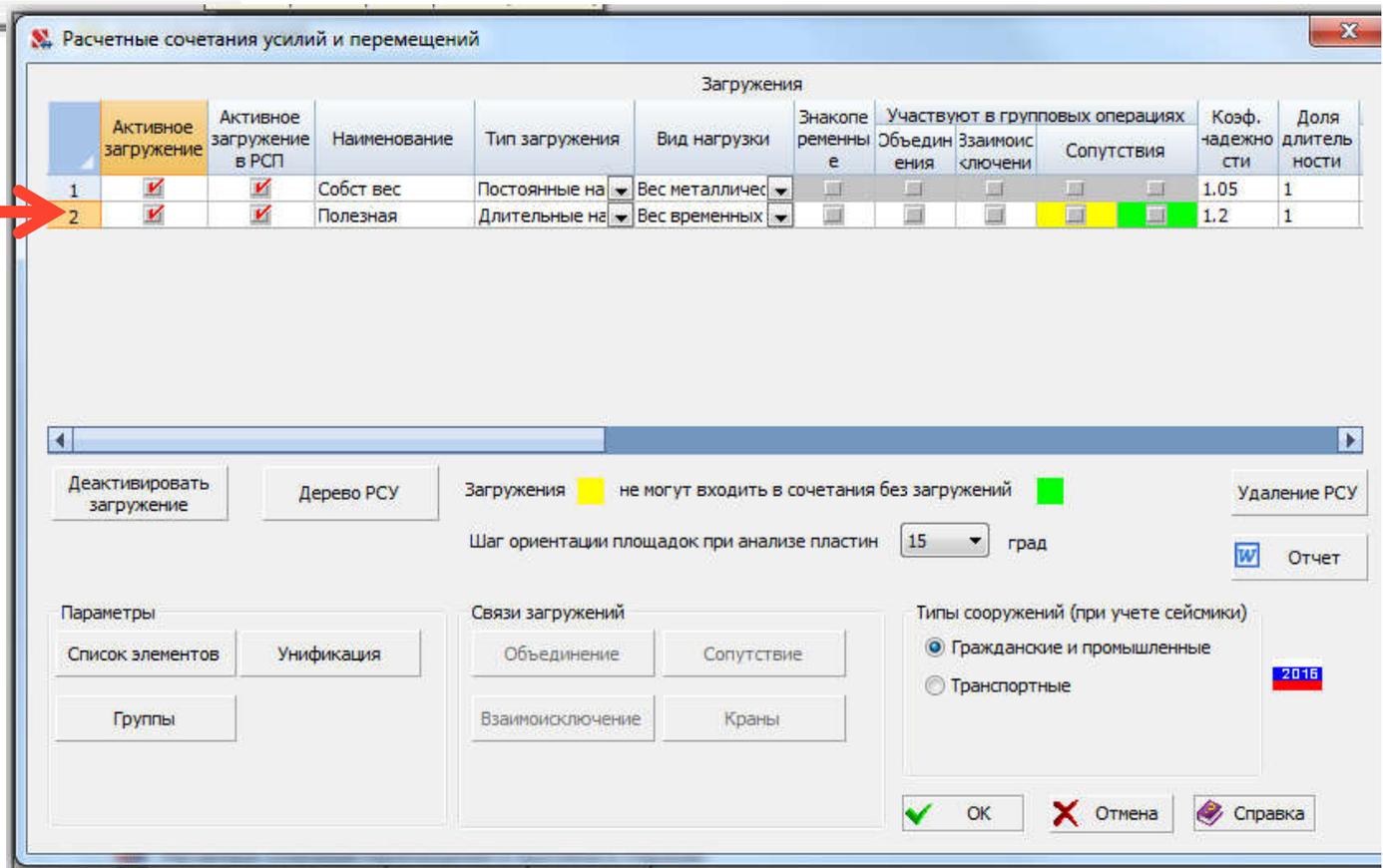
Коэффициент надежности по нагрузке будет назначен автоматически, после выбора Типа загрузки

# Расчет фермы (продолжение)

Создадим РСУ, для этого выйдем в дерево проекта с использованием кнопки:

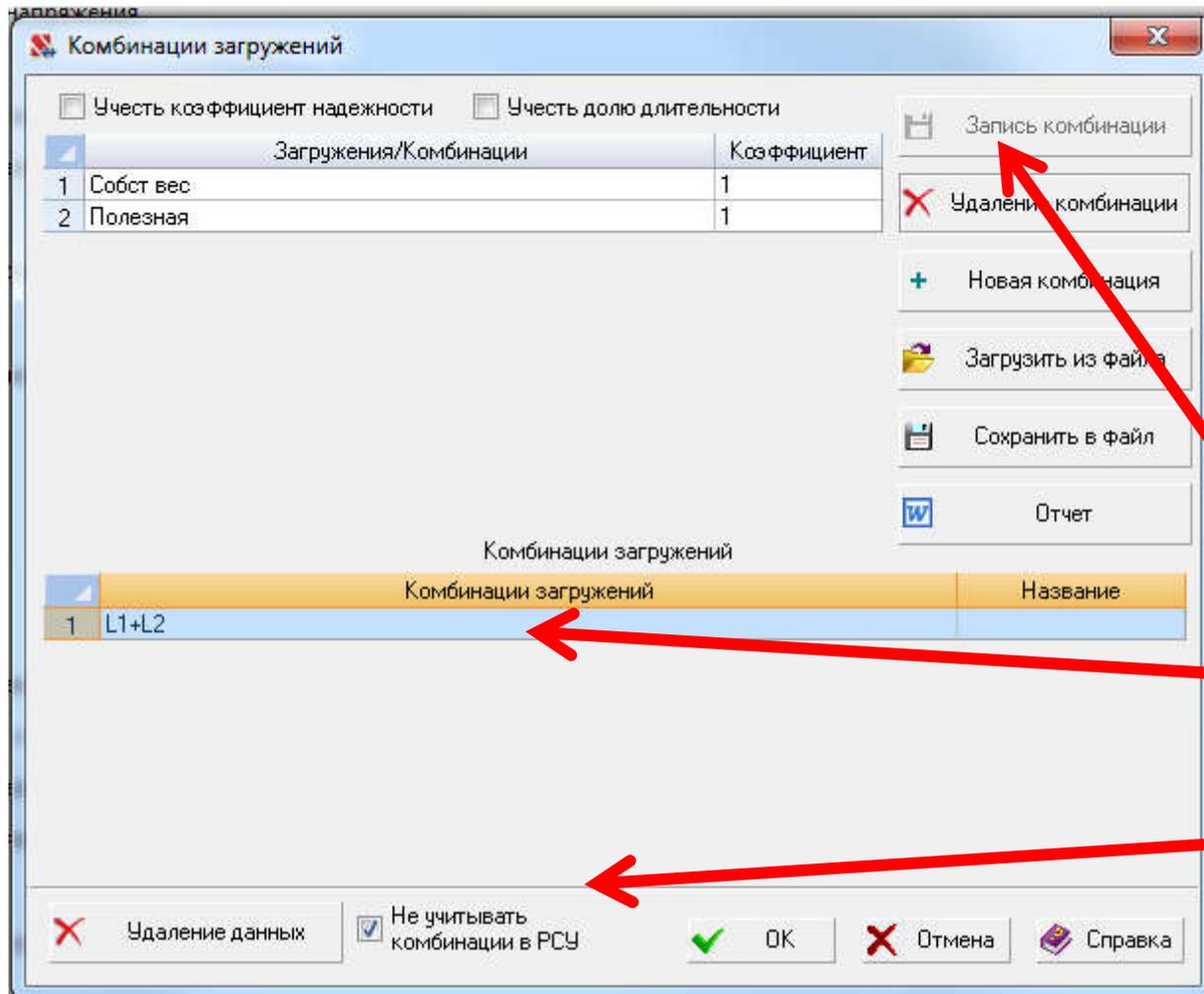


В дереве проектов выберем «Специальные расчетные данные» → Расчетные сочетания усилий и перемещений, выберем два нагружения:



# Расчет фермы (продолжение)

Создадим комбинацию загружений для возможности получения суммарных усилий для отображение в постпроцессоре (также из дерева проекта):



Возможность учета коэффициентов учета загрузки и перечень загружений появляется после нажатия на кнопку «Новая комбинация»

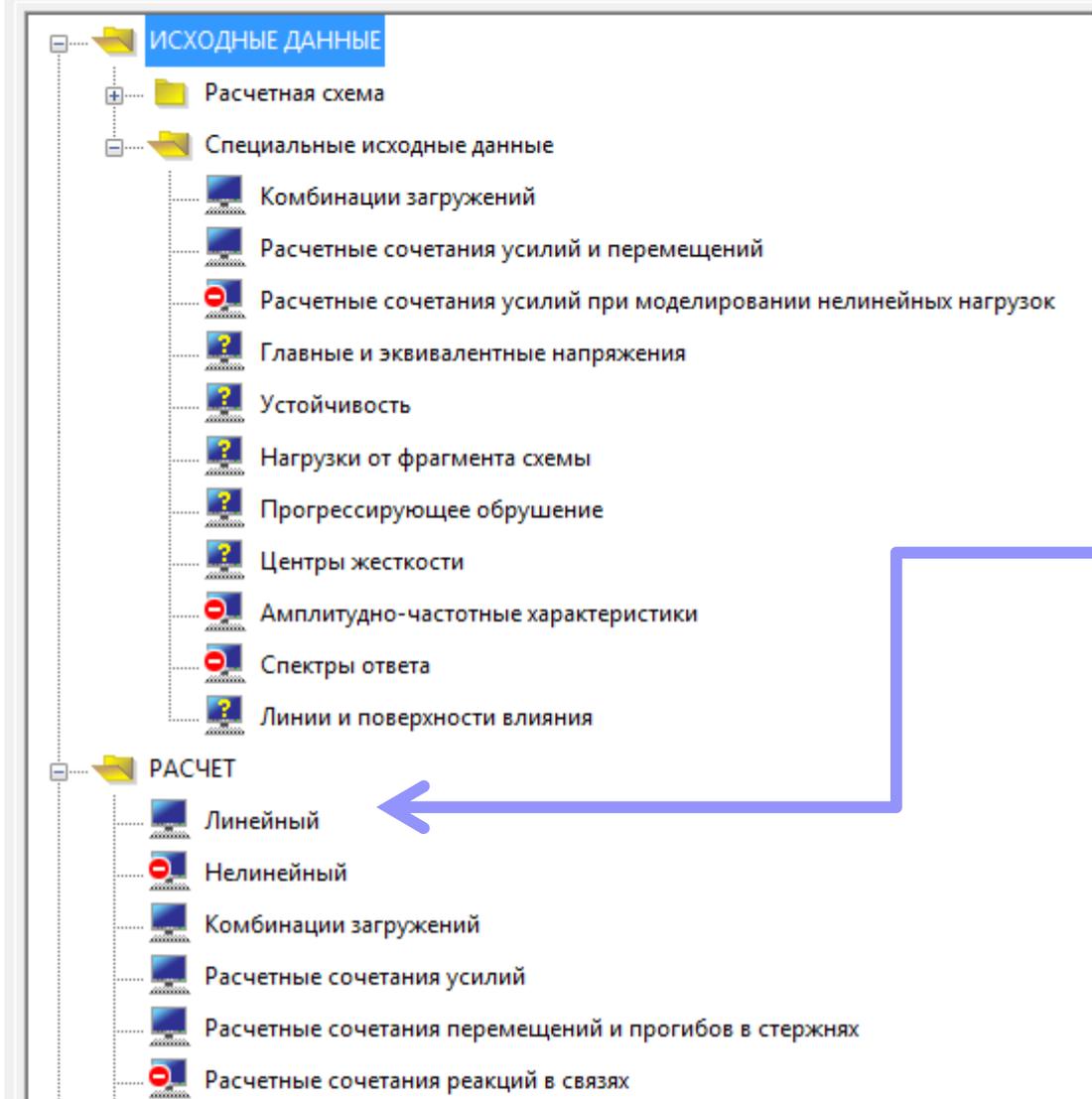
Обязательно нажать Запись комбинации

Появится сумма загружений

Важно поставить галочку, чтобы не учитывать комбинацию в РСУ33

# Расчет фермы (продолжение)

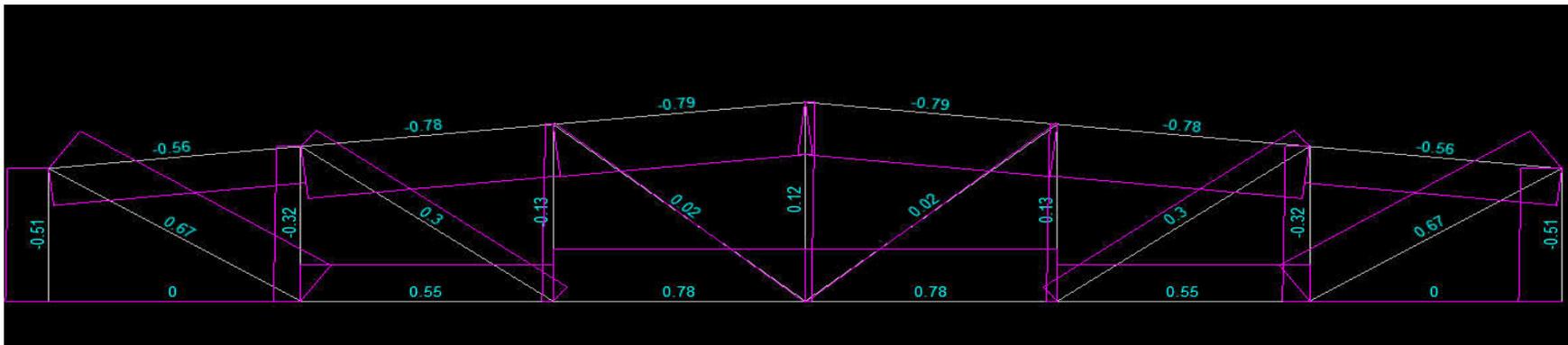
Выполним линейный расчет (опять кнопка из дерева проектов)



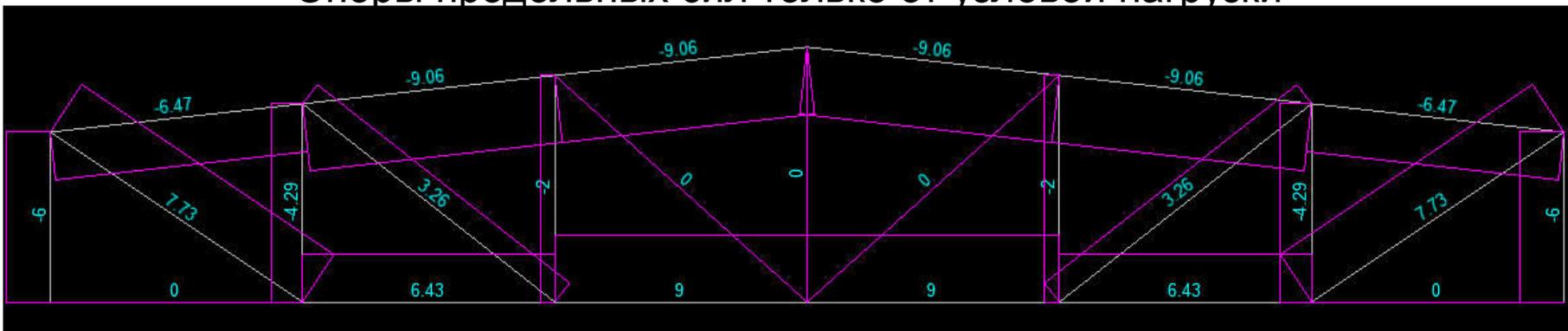
Выбор пункта с опциями по умолчанию

# Расчет фермы (продолжение)

Эпоры моментов только от собственного веса



Эпоры продольных сил только от узловой нагрузки



Получены после нажатия на кнопки

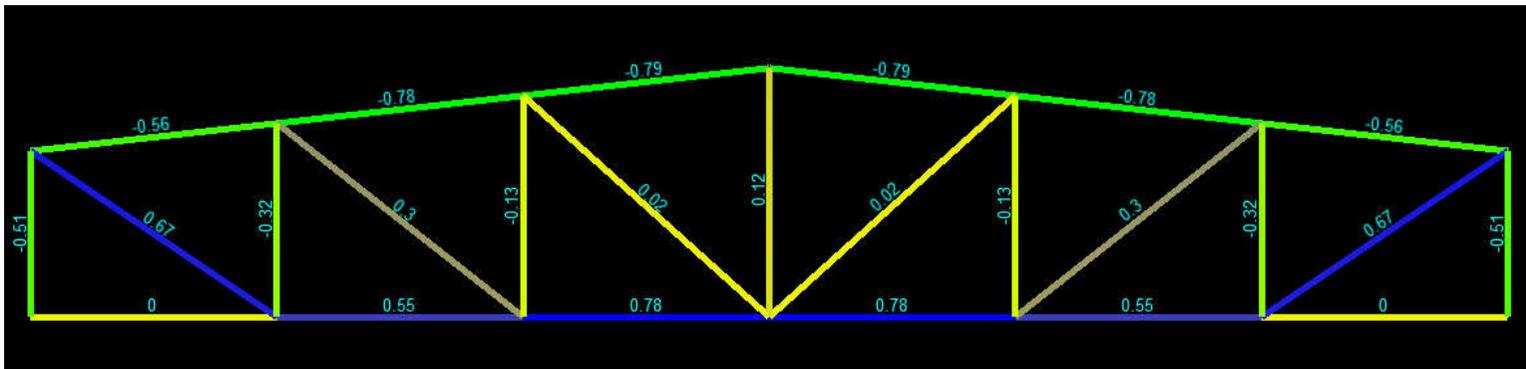


с учетом действия кнопки

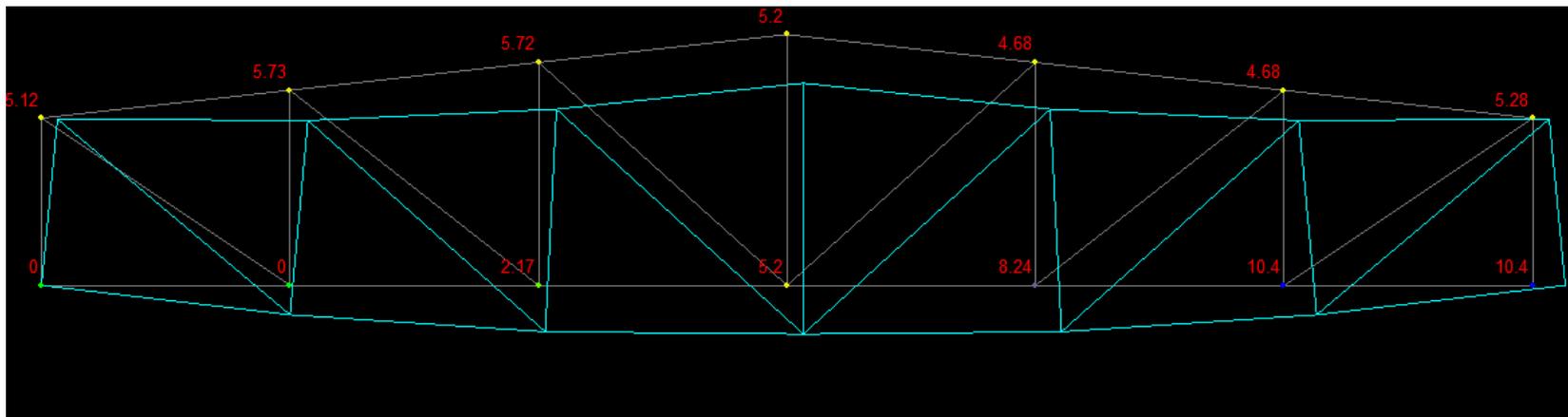


# Расчет фермы (продолжение)

Либо вместо эпюр можно рассматривать цветное изображение усилий



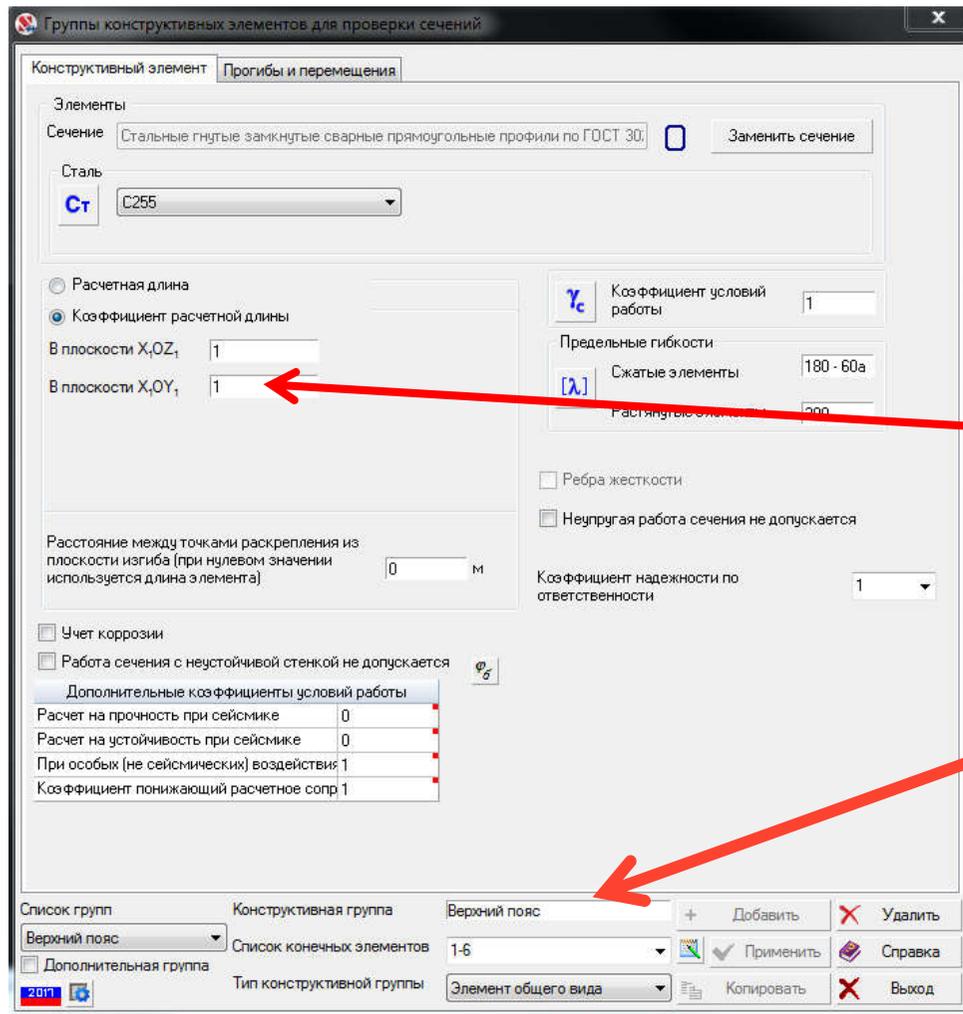
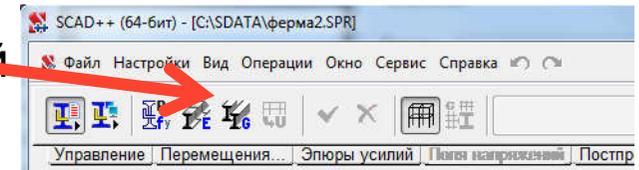
Видно, что верхний пояс растянут, а нижний сжат



Деформированная и недеформированная схемы фермы

# Расчет фермы (продолжение)

Перейдем на вкладку сталь и воспользуемся кнопкой



Назначение групп конструктивных элементов.  
Выберем элементы верхнего пояса, зададим коэффициенты расчетной длины в плоскости фермы и из плоскости фермы (с учетом расположения прогонов)

Введем наименование конструктивной группы элементов

# Расчет фермы (продолжение)

Аналогично для нижнего пояса, учтем, что длина из плоскости в этом случае обычно равна половине пролета фермы, в данном случае – три панели

Группы конструктивных элементов для проверки сечений

Конструктивный элемент Прогибы и перемещения

Элементы

Сечение: Стальные гнутые замкнутые сварные квадратные профили по ГОСТ 30245- [ ] Заменить сечение

Сталь: Ст C245

Расчетная длина

Коэффициент расчетной длины

В плоскости  $X_1OZ_1$ : 1

В плоскости  $X_1OY_1$ : 3

Коэффициент условий работы: 1

Предельные гибкости

Сжатые элементы: 180 - 60a

Растянутые элементы: 300

Ребра жесткости

Неупругая работа сечения не допускается

Расстояние между точками раскрепления из плоскости изгиба (при нулевом значении используется длина элемента): 0 м

Учет коррозии

Работа сечения с неустойчивой стенкой не допускается

Дополнительные коэффициенты условий работы

Расчет на прочность при сейсмике	0
Расчет на устойчивость при сейсмике	0
При особом (не сейсмическом) воздействии	1
Коэффициент понижающий расчетное сопр	1

Список групп: Конструктивная группа: Нижний пояс

Список конечных элементов: 7-12

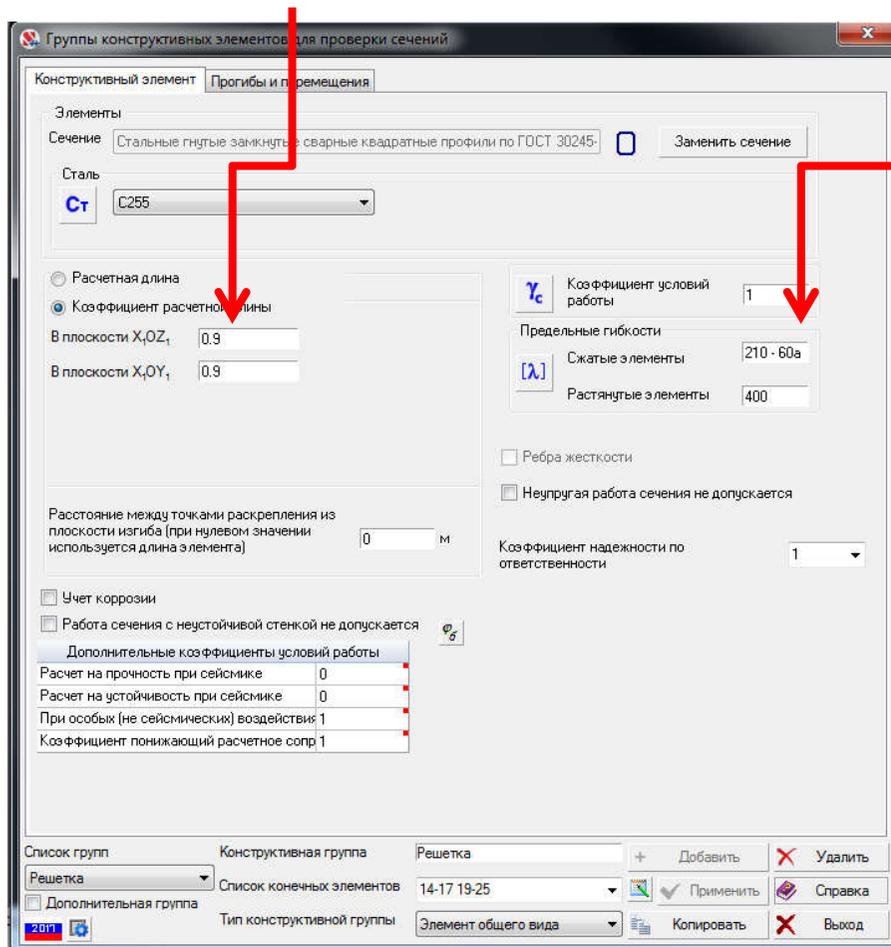
Тип конструктивной группы: Элемент общего вида

Кнопки: + Добавить, - Удалить, Применить, Справка, Копировать, Выход

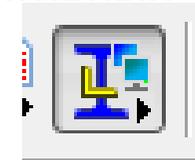
Введем наименование конструктивной группы элементов

# Расчет фермы (продолжение)

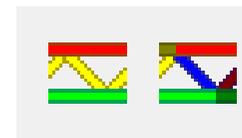
Аналогично поступаем с опорным раскосом и остальной решеткой фермы (иными раскосами и стойками). Для элементов решетки коэфф. расчетной длины принимаем 0,9, а предельные гибкости 210-60а



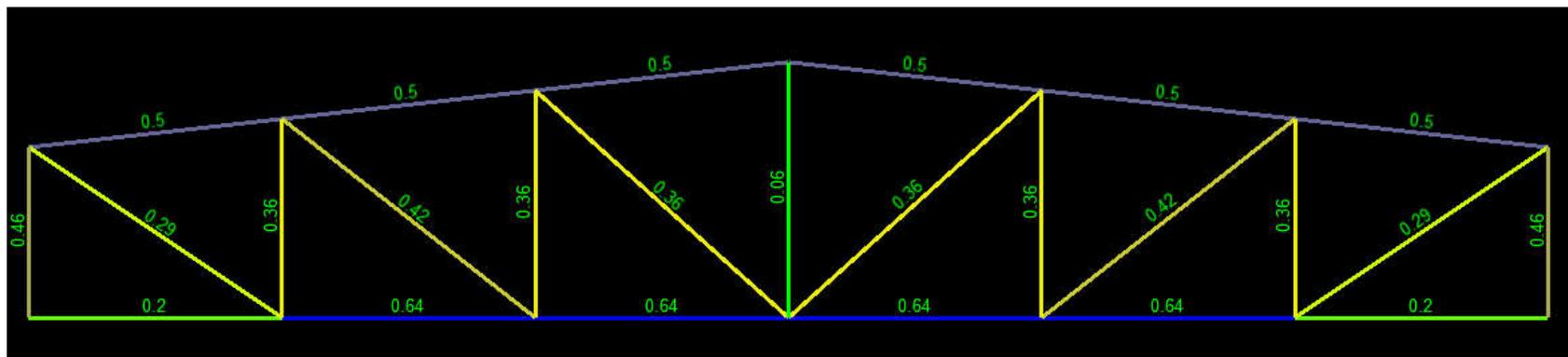
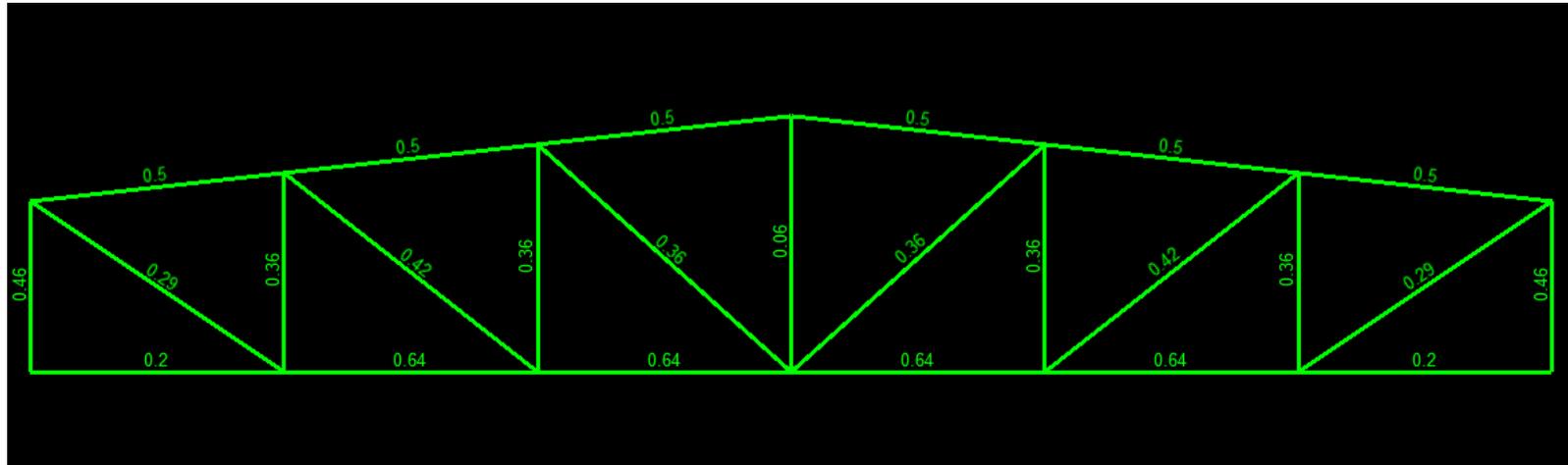
Далее выполним конструктивный расчет с помощью кнопки



Результаты (с коэффициентами использования сечения фермы) можно увидеть, после нажатия на одну из кнопок



# Расчет фермы (окончание)

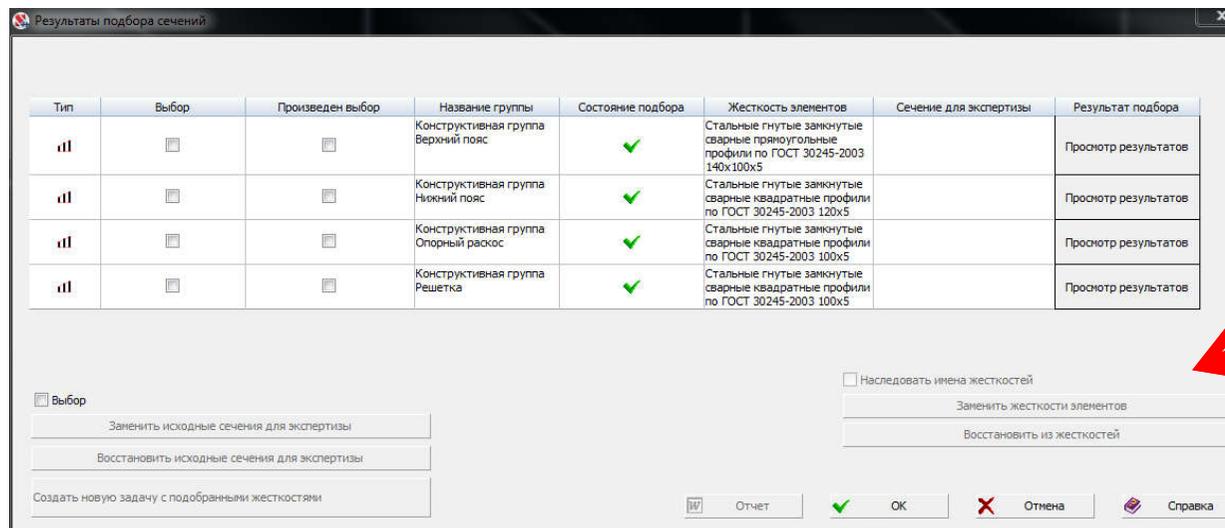


# Расчет фермы (автоматизированный подбор сечений)



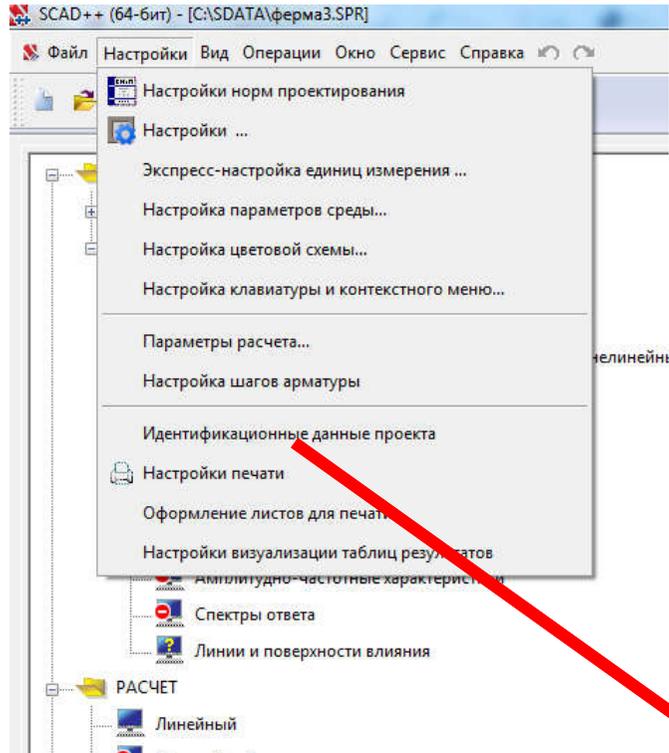
Далее выберем следующую последовательность  
«Сталь→ Результаты по стали→ Подбор сечений»

После выполнения расчета открывается окно, в котором подобраны элементы вместо ранее назначенных. Далее появляется возможность назначить вместо ранее использованных жесткостей рекомендованные программным комплексом. После замены стержней требуется вновь выполнить линейный расчет, пересчитать РСУ и комбинации

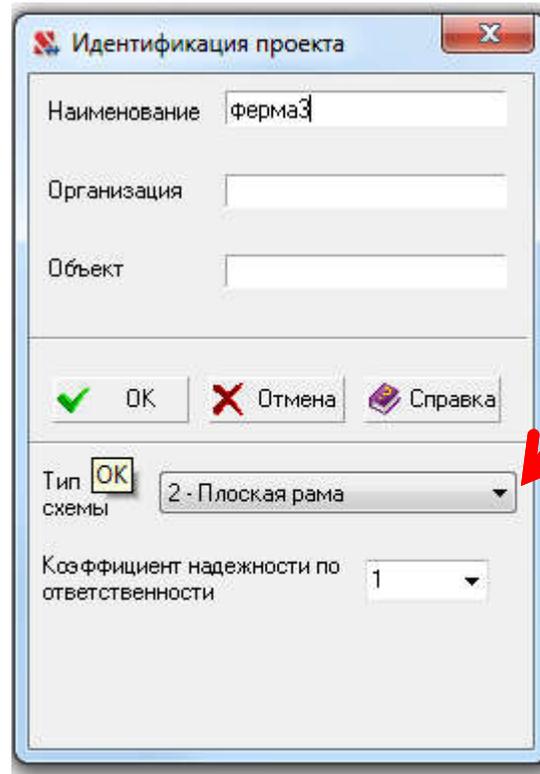


Окно с результатами подбора сечений программным комплексом

# Некоторые дополнительные моменты



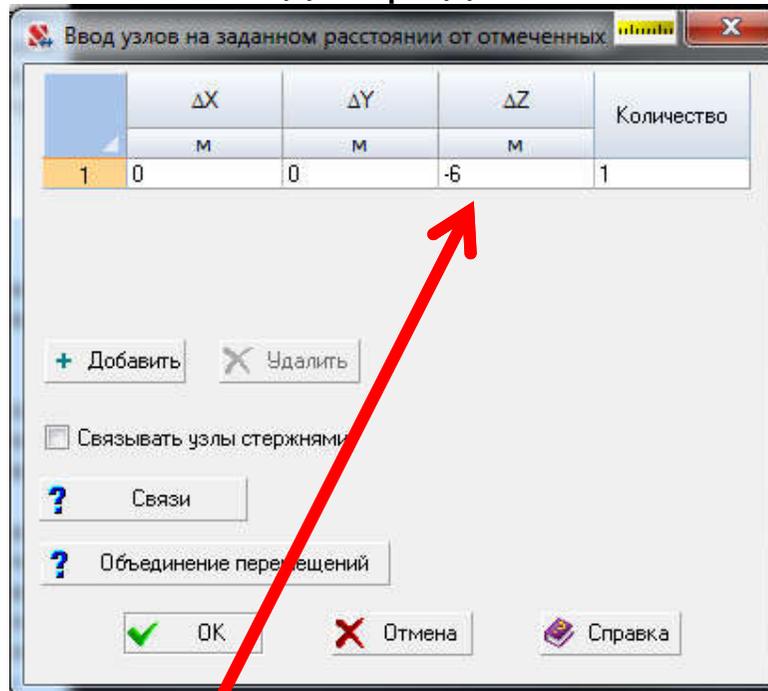
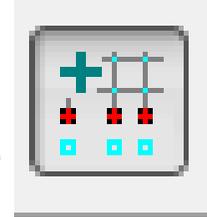
Для моделирования связи рассматриваемой фермы с колоннами поменяем тип схемы, для этого зайдём в «дерево проекта» в меню «Настройка» → «Идентификационные данные проекта», поменяем тип проекта на Тип 2. «Плоская рама»



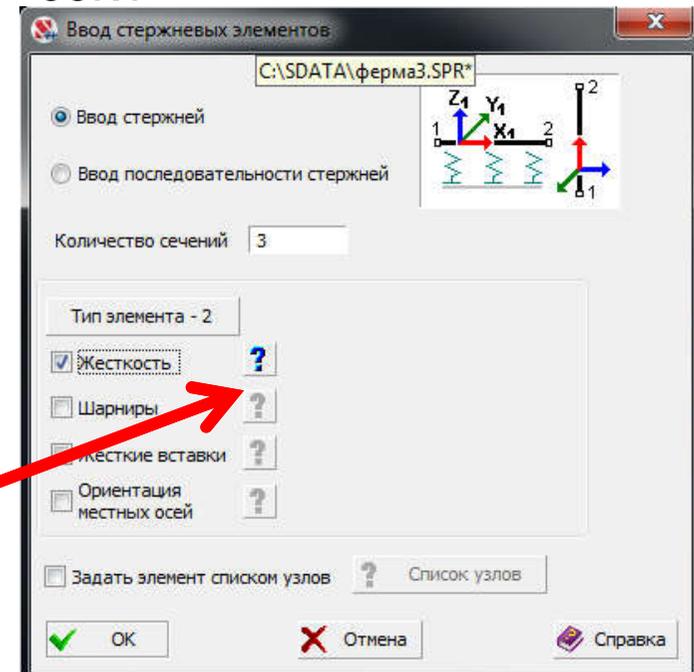
Который позволяет учитывать моменты узлах

# Моделирование колонн, примыкающих к ферме

Используя кнопку ввод узлов на заданном расстоянии от заданных создадим два узла, на расстоянии 6 м от двух опорных узлов фермы. Для подтверждения создания узлов не забываем пользоваться кнопками подтверждения и отказа



А далее соединим новые узлы и опорные узлы фермы стержнями с назначенной жесткостью 35К1



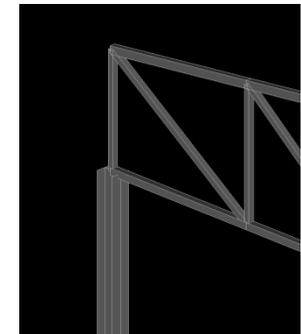
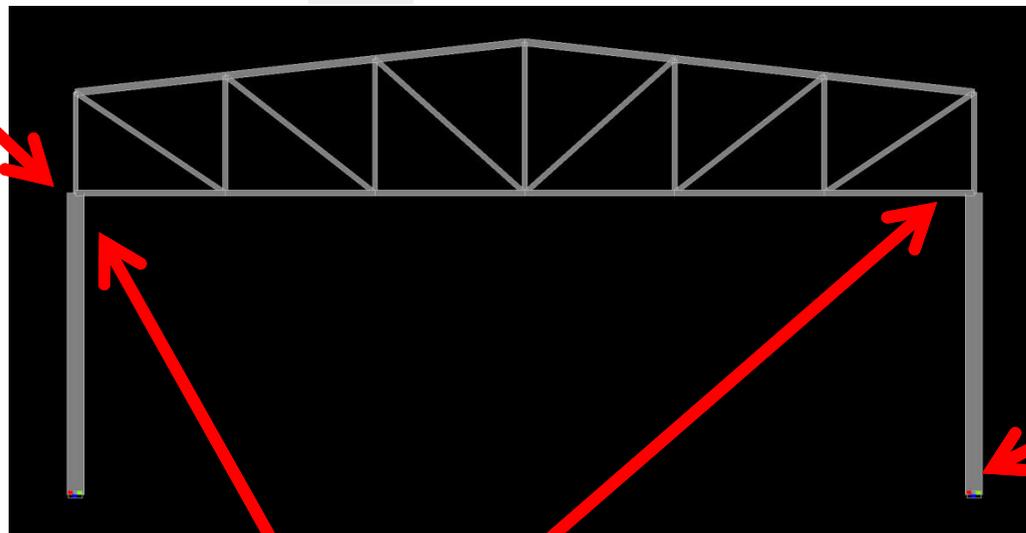
Зададим величину смещения двух узлов

Зададим жесткость

# Моделирование колонн, примыкающих к ферме

Окончательно вид расчетной схемы с двумя колоннами с местными осями координат показан на рисунке

В опорных узлах фермы необходимо убрать закрепления Для этого узлы выбираются и вновь производится назначение связей (их отсутствия) путем кнопки

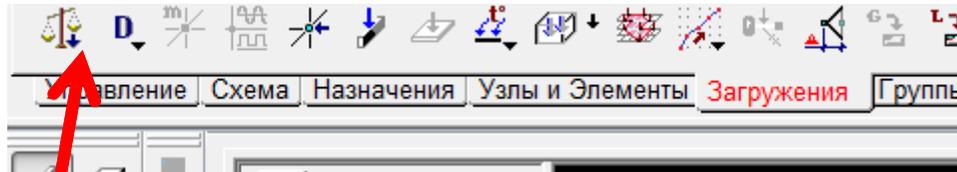


Колонны жестко заделаны в основание

Предполагается (в рамках рассматриваемой задачи) крепление фермы к колонне

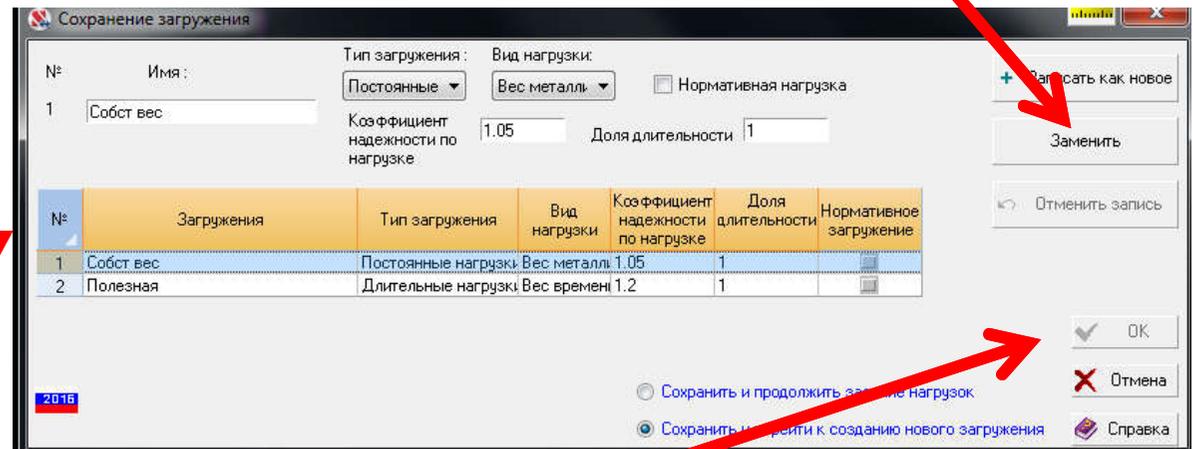
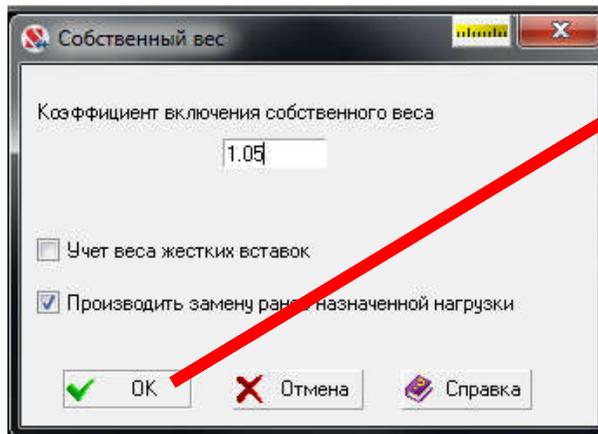
# Приложение собственного веса к колоннам

Изменение текущего нагружения произведем путем замены первого нагружения от Собственного веса (только ферма) на собственный вес от фермы и колонн



Нажмем на кнопку заменить

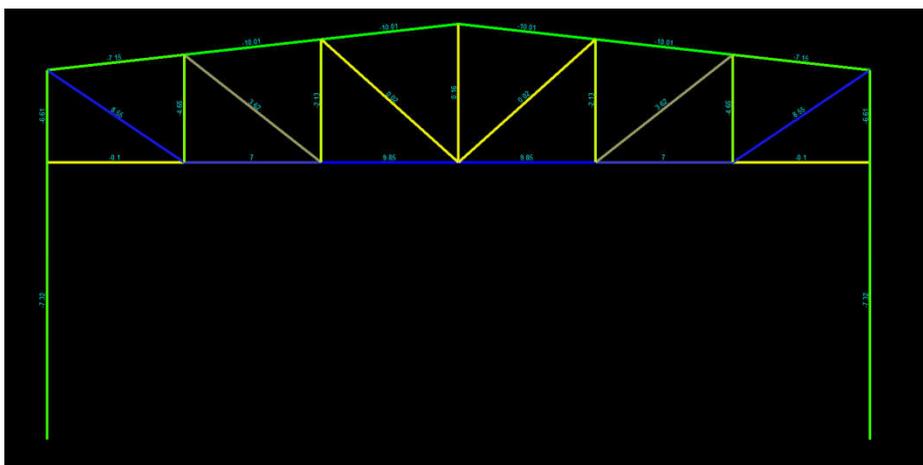
Вновь зададим собственный вес системы



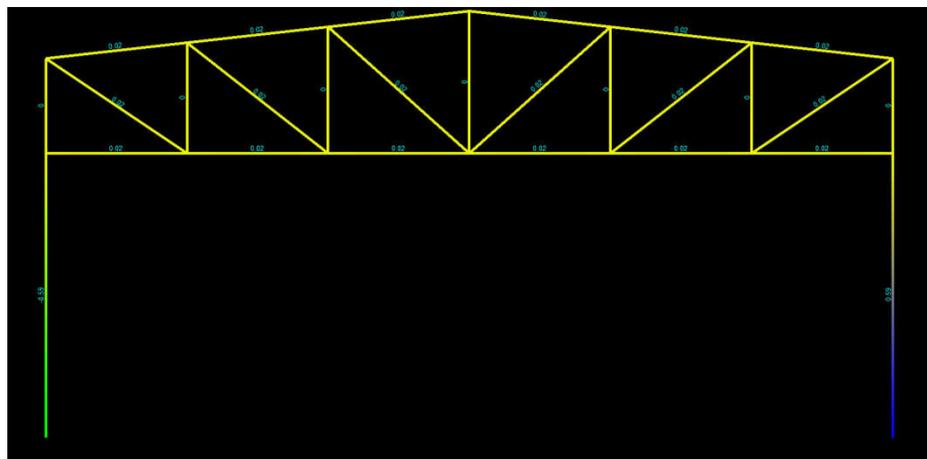
Далее Ok

# Результаты расчета рамы

На рисунках показаны результаты расчета рамы с числовыми значениями силовых факторов для ферменных элементов и элементов колонны



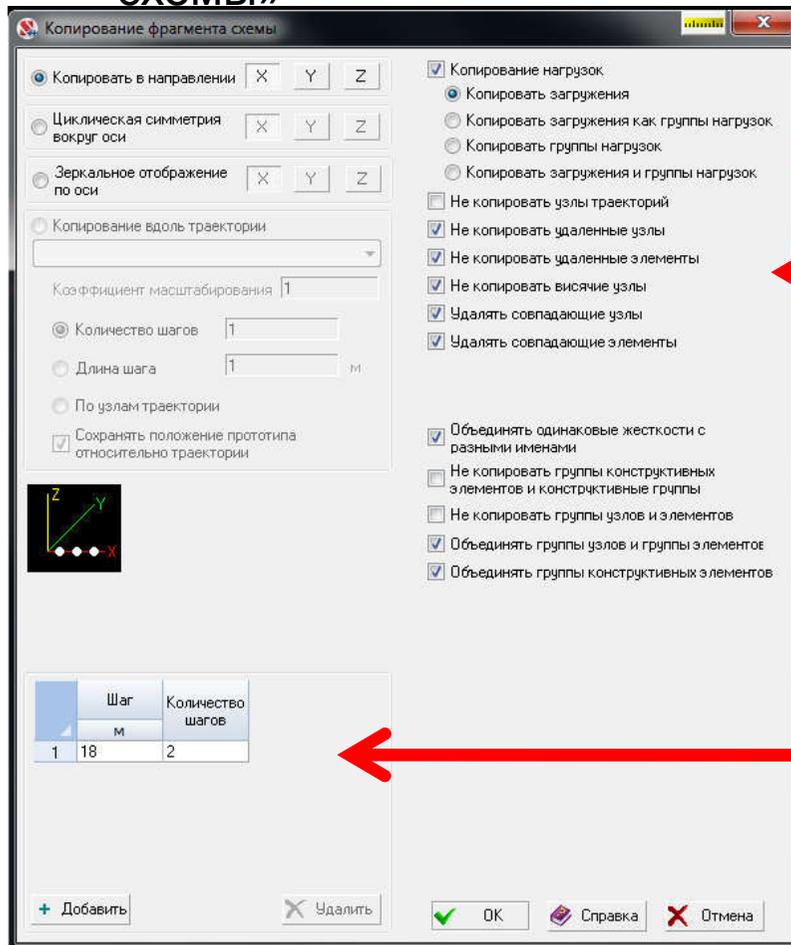
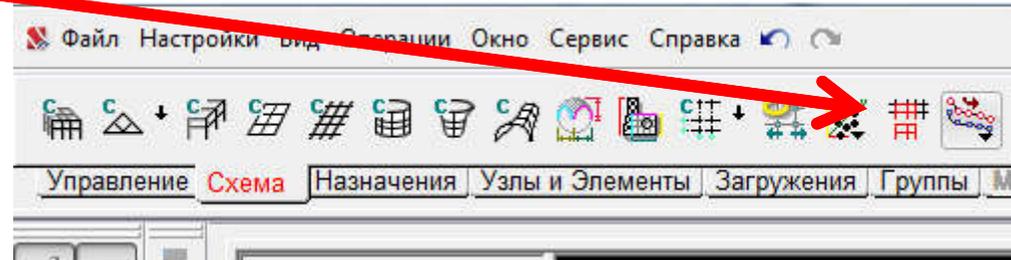
Продольные силы (нижний пояс растянут, верхний сжат)



Изгибающие моменты (наибольшие значения у опор колонн)

## Особенности моделирования работы конструкций фермы в многопролетных рамах

Произведем размножение исходной схемы вдоль оси X дважды с использованием кнопки «Копирование фрагмента схемы»

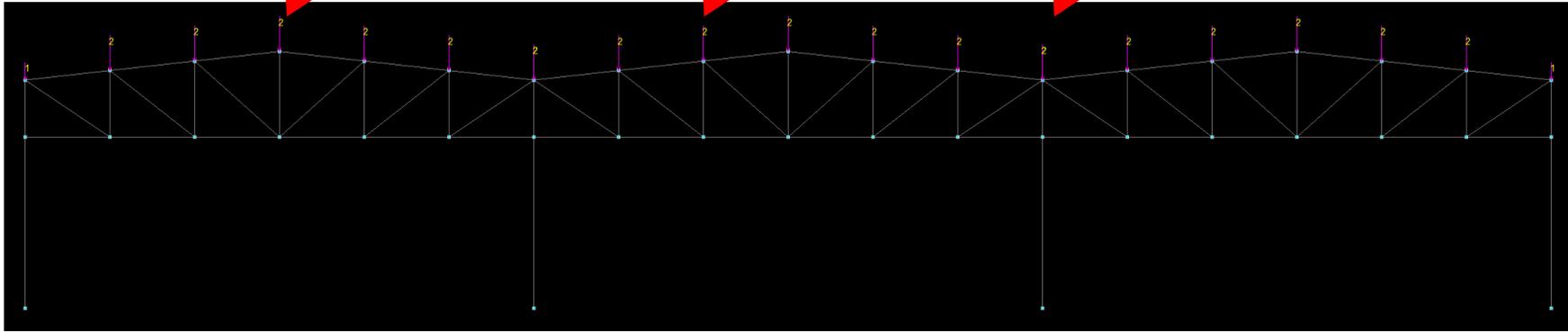


Опции окна копирования Копируют нагрузки, загрузки и закрепления

Число копий и шаг копирования

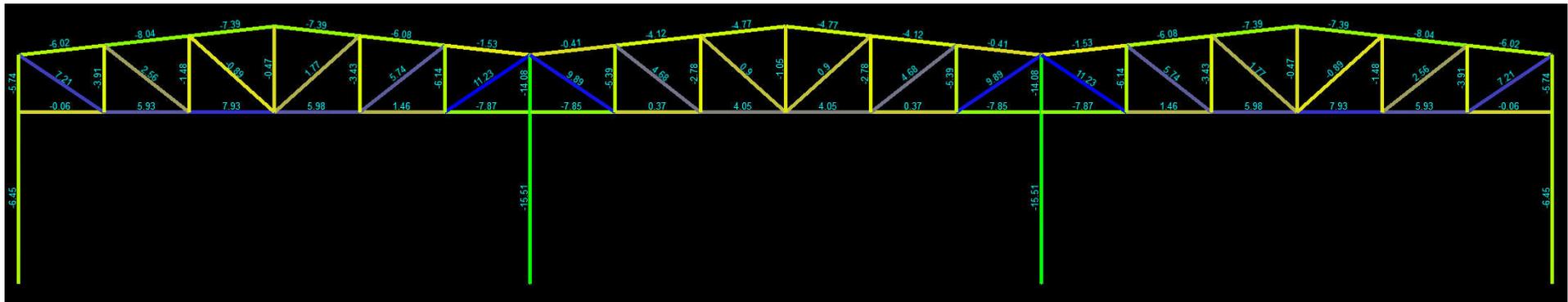
# Многопролетная рама с фермами

Нагрузки также размножены по узлам новой системы



Колонны жестко заделаны в основание

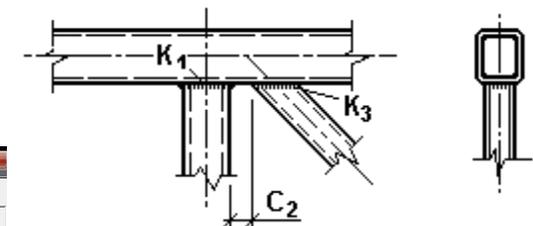
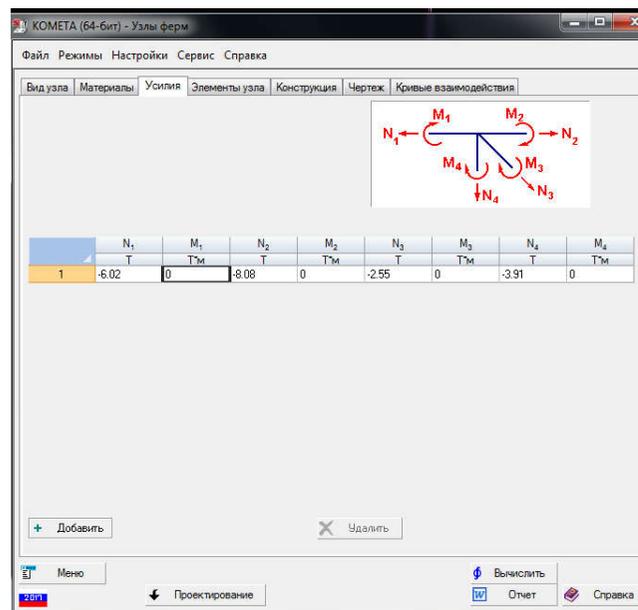
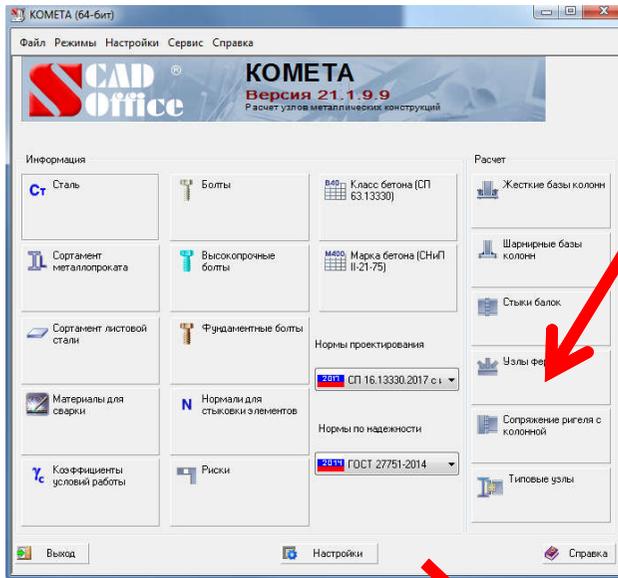
Изображения продольных усилий в стержнях:



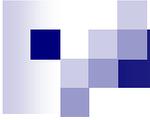
# Проектирование узлов ферм с использованием модуля Комета-2

Выберем модуль расчета узлов фермы в Комета-2

В качестве результата получим чертеж узла



Зададим усилия в стержнях, подобранные сечения



# Литература

1. Карпиловский В.С., Крискунов Э.З., Перельмутер А.В., Перельмутер М.А., Трофимчук А.Н. SCAD для пользователя. – Киев.: ВВП «Компас», 2000. – 332 с.
2. Семенов А.,А., Габитов А.И. Проектно-вычислительный комплекс SCAD в учебном процессе. Часть 1. Статический расчет : Учебное пособие. – М.: Издательство АСВ, 2005. 152 с.
3. Шапошников Н.Н., Кристалинский Р.Е., Дарков А.В. Строительная механика. М.2012. - 703 с. Доступ из ЭБС «Лань».
4. Перельмутер А.В. Расчетные модели сооружений и возможность их анализа [Электронный ресурс]/ Перельмутер А.В., Сливкер В.И.— Электрон. текстовые данные.— М.: ДМК Пресс, 2009.— 456 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/7880>.— ЭБС «IPRbooks».
5. SCAD Office. Вычислительный комплекс SCAD.: [учеб. пособие по направлению 653500 «Стр-во» /В.С. Карпиловский и др.] М.: Изд-во Ассоц. Строит. Вузов, 2008