

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ**

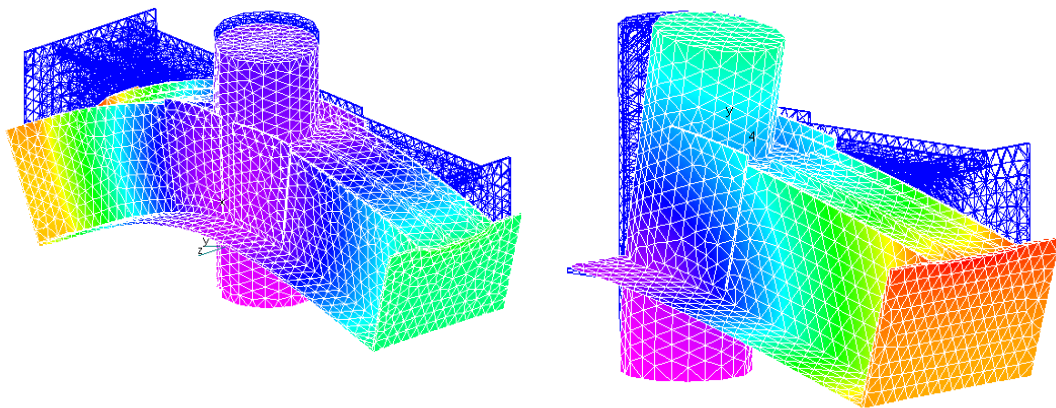
Кафедра будівельних, дорожніх машин і будівництва

“Будівельна механіка”

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

**до вивчення теми "Побудова епюр внутрішніх зусиль в ПК
ЛІРА - САПР
(трьохшарнірна арка)"**

**для здобувачів I (бакалавр) рівня вищої освіти спеціальності
192 «Будівництво та цивільна інженерія»
усіх форм навчання**



Кропивницький 2022

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ**

Кафедра будівельних, дорожніх машин і будівництва

“Будівельна механіка”

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

**до вивчення теми "Побудова епюр внутрішніх зусиль в ПК
ЛІРА - САПР
(трьохшарнірна арка)"**

**для здобувачів І (бакалавр) рівня вищої освіти спеціальності
192 «Будівництво та цивільна інженерія»
усіх форм навчання**

Затверджено
на засіданні кафедри будівельних,
дорожніх машин і будівництва.
Протокол № 8 від 12.01.2022р.

Кропивницький 2022

Рецензент

кандидат технических наук, доцент В.В. Яцун

УДК 624.04: (075.8)

“Будівельна механіка”. Методичні вказівки до вивчення теми "Побудова епюр внутрішніх зусиль в ПК ЛПА - САПР (трьохшарнірна арка)" для здобувачів І (бакалавр) рівня вищої освіти спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія» усіх форм навчання / Укл.: Портнов Г.Д., Пукалов В.В., Тихий А.А., Дарієнко В.В. – Кропивницький: ЦНТУ, 2022. – 41 с.

Представлена покрокова інструкція статичного розрахунку зусиль в елементах трьохшарнірної арки за допомогою ПК «ЛПА - САПР».

Оскільки інтерфейс програми є російськомовним, інструкції та приклад розрахунку в методичних вказівках викладено російською мовою.

Укладачі – к.т.н., доцент Портнов Г.Д., к.т.н., доцент Пукалов В.В.,
к.т.н., доцент Тихий А.А., к.т.н., доцент Дарієнко В.В.

Рецензент – к.т.н., доцент Яцун В.В.

Відповідальний за випуск – завідувач кафедри будівельних,
дорожніх машин і будівництва,
професор Настоящий В.А.

© ЦНТУ, Кропивницький, пр. Університетський, 8
© Портнов Г.Д., Пукалов В.В., Тихий А.А., Дарієнко В.В.

Введение

Метод конечных элементов (МКЕ) - основной метод современной строительной механики.

В настоящее время одной из доступных для применения в учебном процессе КНТУ при решении задач строительной механики есть демонстрационная версия программного комплекса ПК ЛИРА - САПР.

Программа ЛИРА - САПР простая для использования в учебном процессе, как при изучении строительной механики, так и при дальнейшем продолжении учебы, связанном с расчетом металлических и железобетонных конструкций.

Основы практической работы с проектно-вычислительным комплексом ЛИРА - САПР изучаются при выполнении практических работ дисциплины «Строительная механика».

Предложенные задачи могут быть выполнены в демо-версии программы ЛИРА - САПР; адрес разработчика программы www.lira.com.ua.

В данных методических указаниях использован ПК ЛИРА-САПР® 2013.

1. Постановка задачи и анализ расчетной схемы арки

Выполнить построение эпюр изгибающих моментов **Ошибка! Объект не может быть создан из кодов полей редактирования.**, поперечных сил **Ошибка! Объект не может быть создан из кодов полей редактирования.** и продольных сил N для арки, отображенной на рисунке 1:

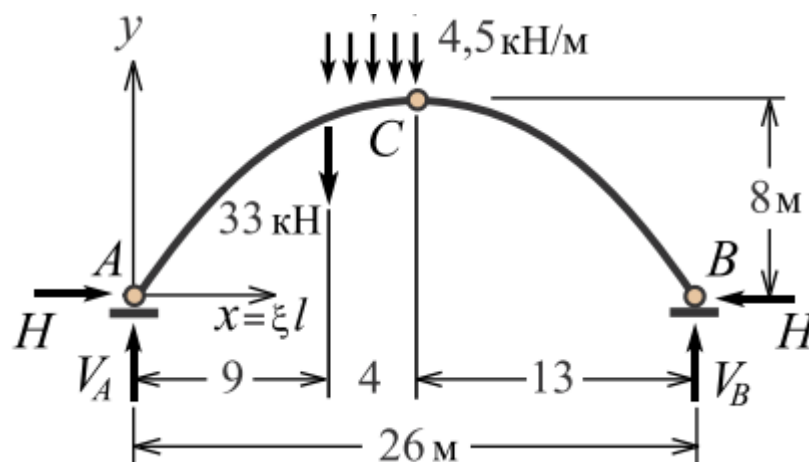


Рисунок 1а. Расчетная схема арки

Ось арки состоит из двух сопряженных в замковом шарнире кубических парабол.

Форма оси арки описывается уравнением


$$y = \frac{f}{l} x (3 - 4x^2/l^2)$$

Заданная арка является статически определимой системой. Для определения усилий в сечениях арки материал конструкции значения не имеет и может быть назначен произвольно.

1.1. Запуск программы и подготовка к созданию расчетной схемы

Интерфейс ПК ЛИРА - САПР стандартен для Windows-приложений.

Вверху окна располагается главное меню в виде текстовых панелей инструментов. Под ними – их копирующие панели с ярлыками для быстрого обращения к требуемой функции.

Условимся: знак  означает «щелчок левой клавишей мышки по виртуальной кнопке».

1.1.1 Запуск программы ЛИРА - САПР.



1.1.2 Настройка интерфейса.


- , устанавливаем галочки для «Лента», «Меню».

1.1.3. Создание нового проекта для выполнения расчета заданной стержневой системы и его наименование.



1.1.4. Задание имени файла в директории, в котором будет сохраняться вся информация по введенным исходным данным.

Выбор признака расчетной схемы № 2 (Признак 2 – схемы, располагаемые в плоскости XOZ ; каждый узел имеет 3 степени свободы – линейные перемещения вдоль осей X , Z и поворот вокруг оси Y . В этом признаке схемы рассчитываем плоские рамы (балки).).

Признак схемы можно поменять в любой момент создания и редактирования модели с помощью пиктограммы  или команды меню Схема ► Признак схемы.

Имя задачи (файла): Трехшарнирная арка.

Описание схемы

Признак схемы

2 - Три степени свободы в узле (перемещения X,Z,Uy) > ▾

Имя задачи: трехшарнирная арка

Шифр задачи: трехшарнирная арка

Описание задачи (до 255 символов)



1.1.5 Задание единиц измерения

Выполните команды меню

- Опции** ➤ **Единицы измерения.** В диалоговом окне "Единицы измерения" установите размерности, соответствующие системе СИ.

Закладка "Схема": геометрия – м, сечения – см, нагрузки – кН, параметры материала – кН и м:

Единицы измерения

Схема Результаты Арматура

Геометрия: м ▾

Сечения: см ▾

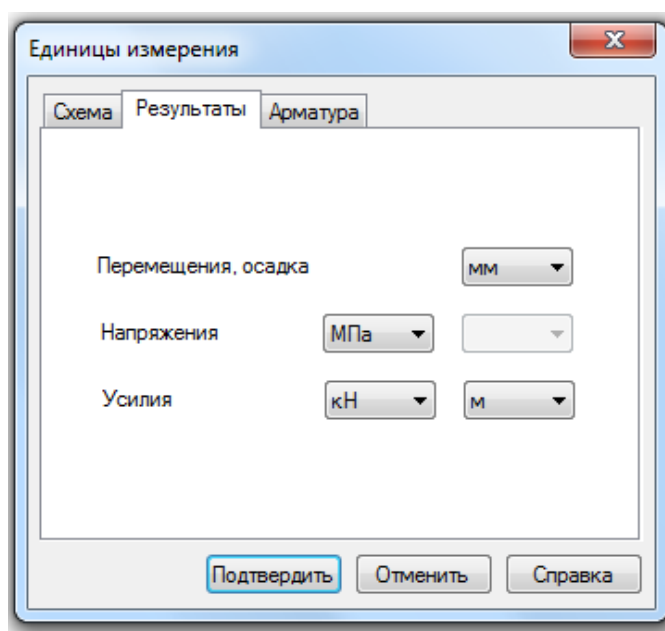
Нагрузки: кН ▾ м ▾

Параметры материала (E,G,C1,C2,sigma ...): кН ▾ м ▾

Температура: °C ▾

Подтвердить Отменить Справка

Закладка "Результаты": перемещения – $м$, сечения – $см$, усилия – $кН$ и $м$, напряжения – $МПа$:

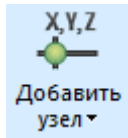



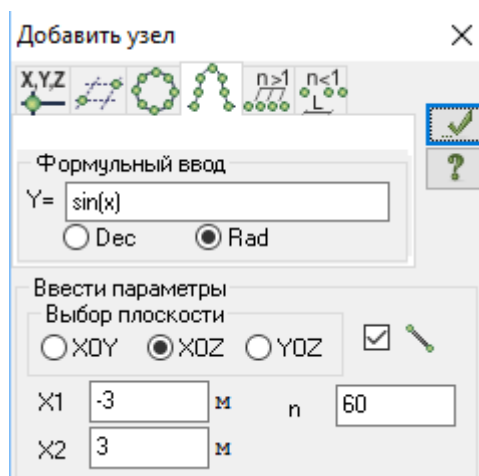
Подтвердите выбор новых размерностей, щелкнув по кнопке "Подтвердить".

2. Создание расчетной схемы

2.1 Построение полуарки

Внимание: разделитель десятичной дроби – «.».

Выбираем Добавить узел  Формульный ввод 



В поле ввода формулы образующей задается выражение, описывающее очертание арки. В качестве независимой переменной указывается x .

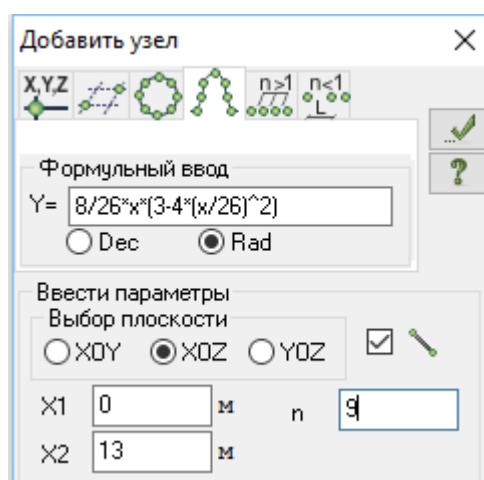
Используются традиционные знаки арифметических операций: * – умножение, ^ возведение в степень, / – деление, а также обозначения для ряда часто встречающихся функций, перечень которых приведен в справке. Аргументы функций обязательно заключены в круглые скобки. При вводе чисел в качестве десятичного разделителя всегда используется точка.



В рассматриваемом примере ось арки состоит из двух сопряженных в замковом шарнире кубических парабол. Сначала вводится формула, определяющая левую часть оси:

$$y = \frac{f}{l}x(3 - 4x^2/l^2)$$

Для заданных параметров указываются плоскость **XOZ** к которой отнесена рассматриваемая полуарка, число **n** конечных элементов, на которое последняя разбивается (принято **n = 8**), а также значения 0 и 13 для граничных абсцисс X_1 и X_2 аргумента x . Параметр **n** определяет точность геометрического представления кривой. Число узлов **n + 1 = 9** выбрано для достижения адекватной точности расчета.

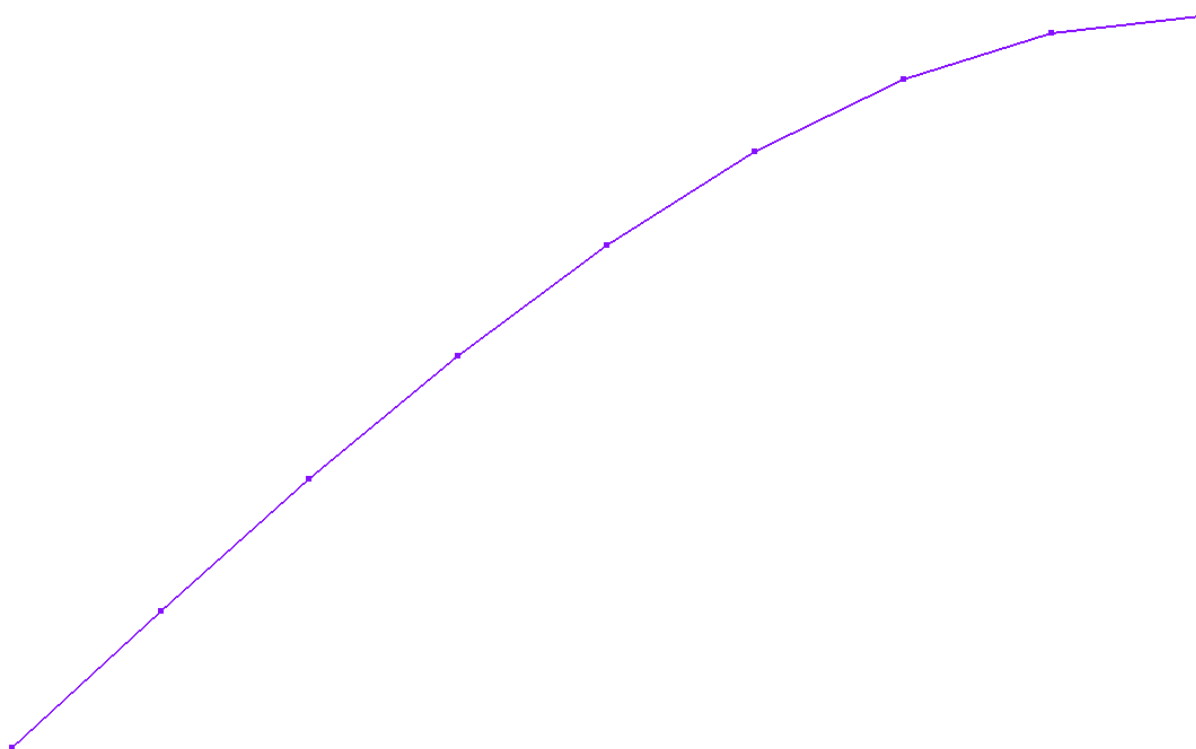
$$8/26 * x * (3 - 4 * (x/26)^2)$$



Необходимо следить за тем, чтобы в диалоговом окне «связывать узлы стержнями»   стояла галочка: при ее отсутствии узлы не будут на рисунке соединены между собой.



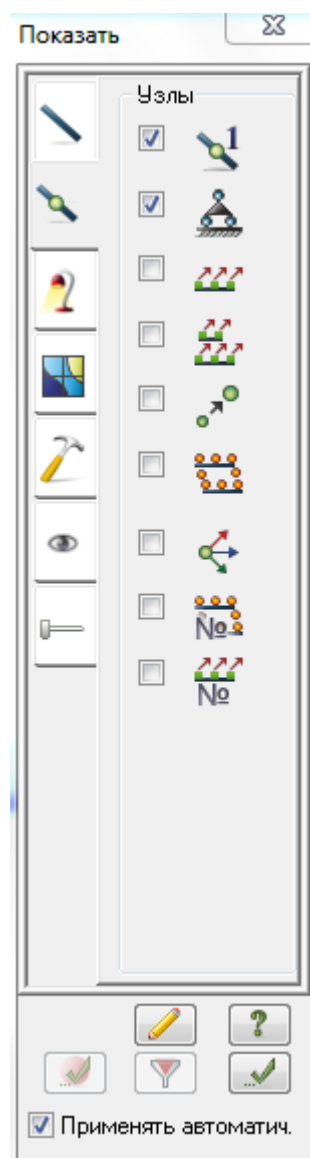
Получим:



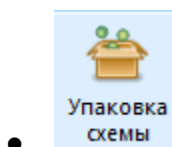
2.2.1 Вывод на экран номеров элементов и узлов

2.2.1 Щелчком на кнопку «Флаги рисования» откройте диалоговое окно «Показать». Активизируйте закладку «Элементы». После этого выберите команды **Номера элементов, Шарниры:**





2.2.3 Упорядочивание нумерации:



Упаковка

Сшивка

☒ Выполнить сшивку

0.0001 м Точность сшивки

☐ Не сшивать элементы с разными типами жесткости

☒ Не сшивать узлы с объединением перемещений

☐ Не сшивать узлы жестких тел

☐ Только для фрагмента

☐ Кроме выделенных узлов и элементов

Исключить из расчетной схемы

☐ 'Висячие' узлы ☐ Кроме выделенных

☒ Удаленные узлы и элементы

☐ Неиспользуемые жесткости




☐ Неиспользуемые группы объединения

Модульность координат узлов

☐ Привести координаты узлов к модулю

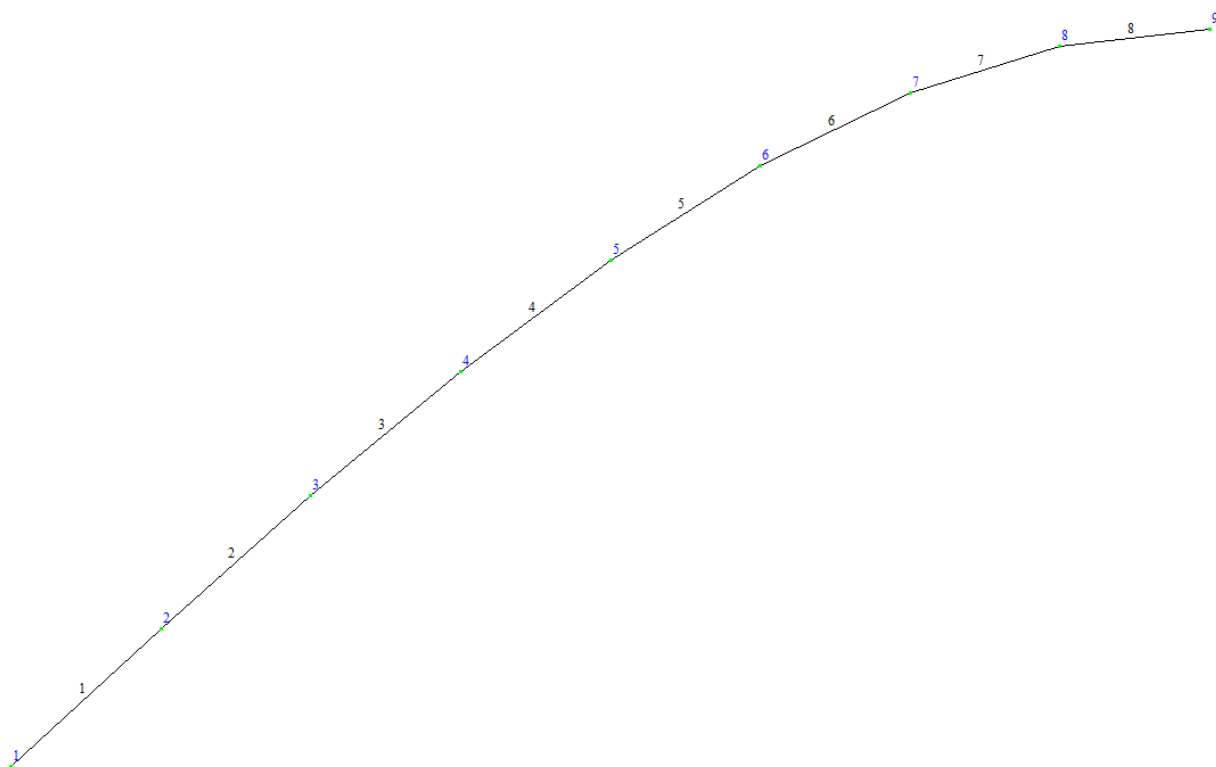
0.0001 м Величина модуля

☐ Выполнять автосохранение перед началом упаковки



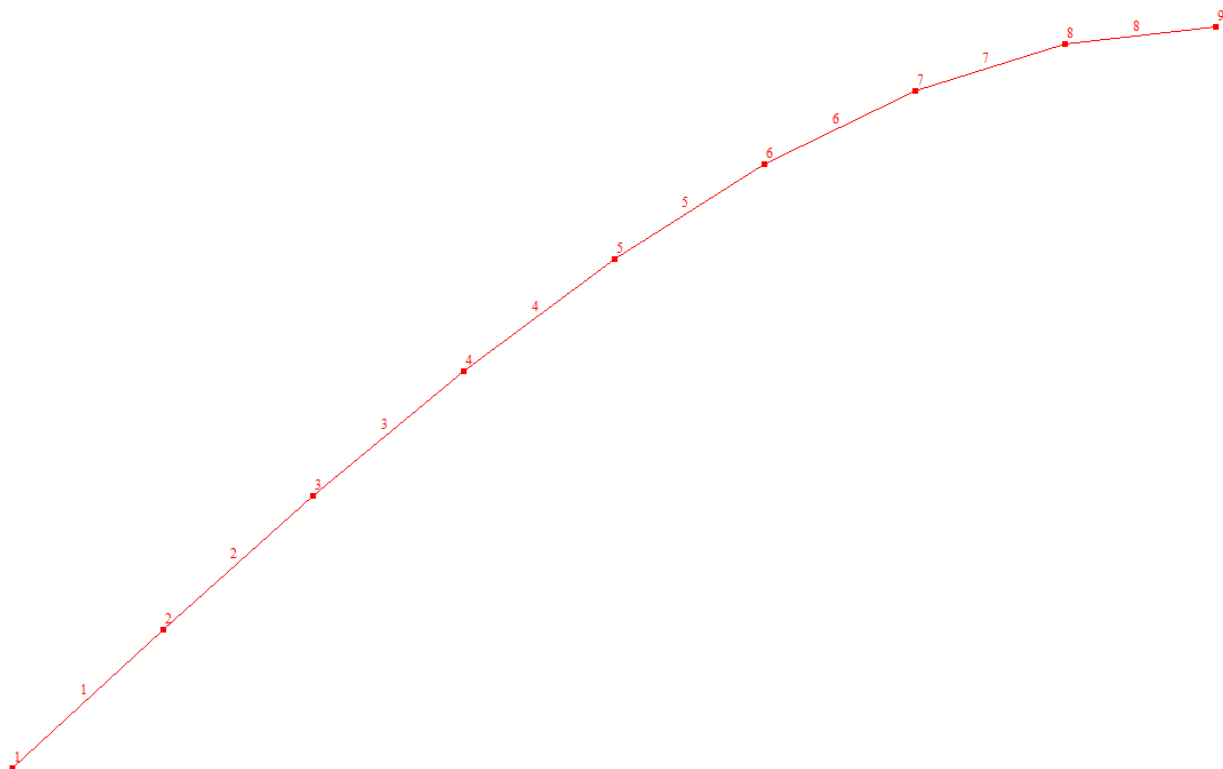
В итоге полуось арки заменяется ломаной, которая состоит из отрезков разной длины, причем проекции этих отрезков на ось X одинаковы:



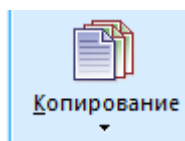
2.3 Построение арки

Далее формируется конечноэлементная сетка правой части конструкции. Для этого нужно уже созданную сетку скопировать и отразить зеркально относительно плоскости ZOY.

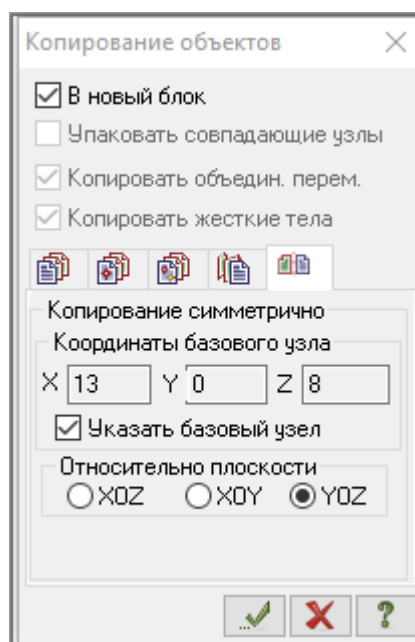
Выделить полуарку нажатием клавиш **Ctrl+A**

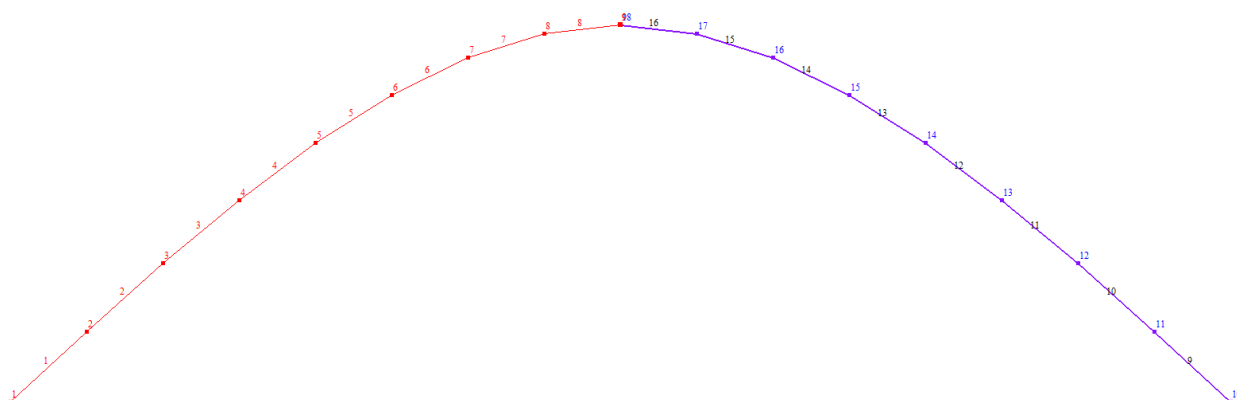


Копирование

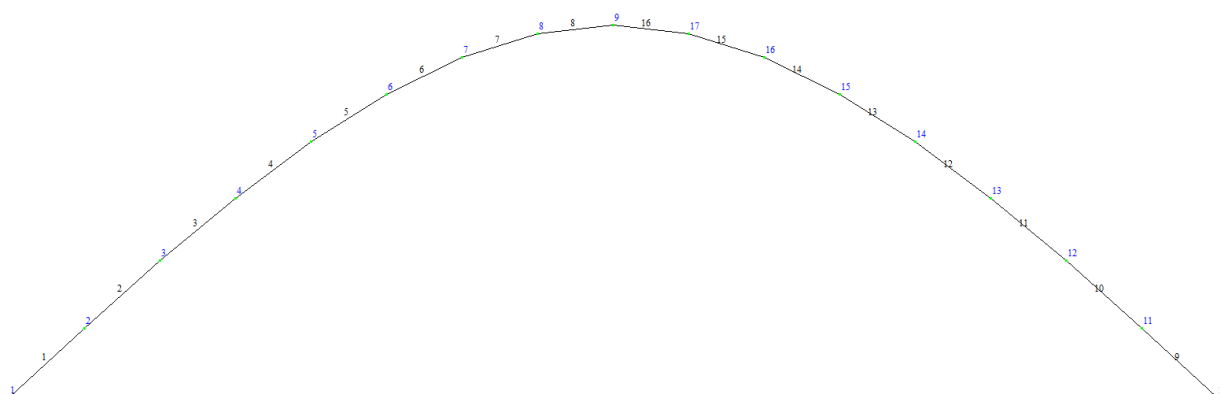
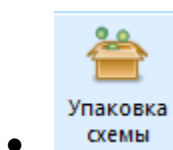


- **Копирование симметрично**
- **Указать базовый узел 9**





Упорядочивание нумерации:



2.4 Сохранение данных



С помощью открывшегося окна «Сохранить как» найдите Вашу рабочую папку и сохраните файл в эту папку.

3. Задание граничных условий

3.1 Выделение узлов № 1 и №10 (опорных):

Активизируйте режим отметки узлов:



Выделите узел № 1, щелкнув по нему левой кнопкой мыши. Узел



окрасится в красный цвет:

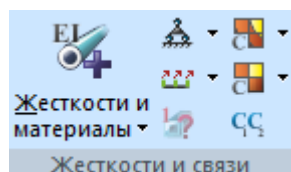
Выделите узел № 10, щелкнув по нему левой кнопкой мыши. Узел

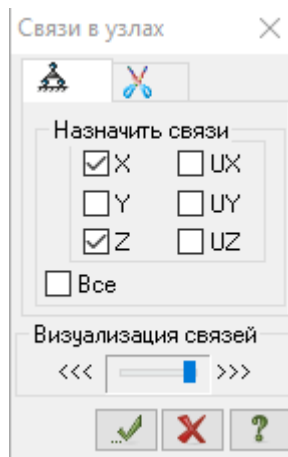


окрасится в красный цвет:

3.2 Задание граничных условий в опорных узлах № 1 и №10

В диалоговом окне «Связи в узлах» активируйте закладку «Назначить связи», отметьте направления X и Z, по которым запрещено перемещение узла и щелкните по кнопке «Применить»:





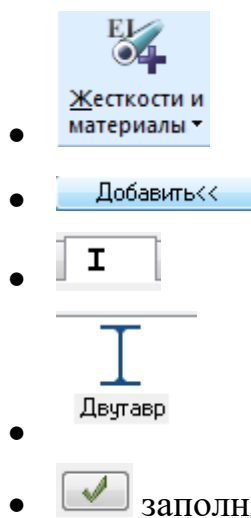
Узлы обозначаются:

Исключение двух линейных степеней свободы узла моделирует шарнирно-неподвижную опору.

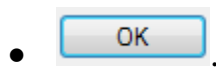
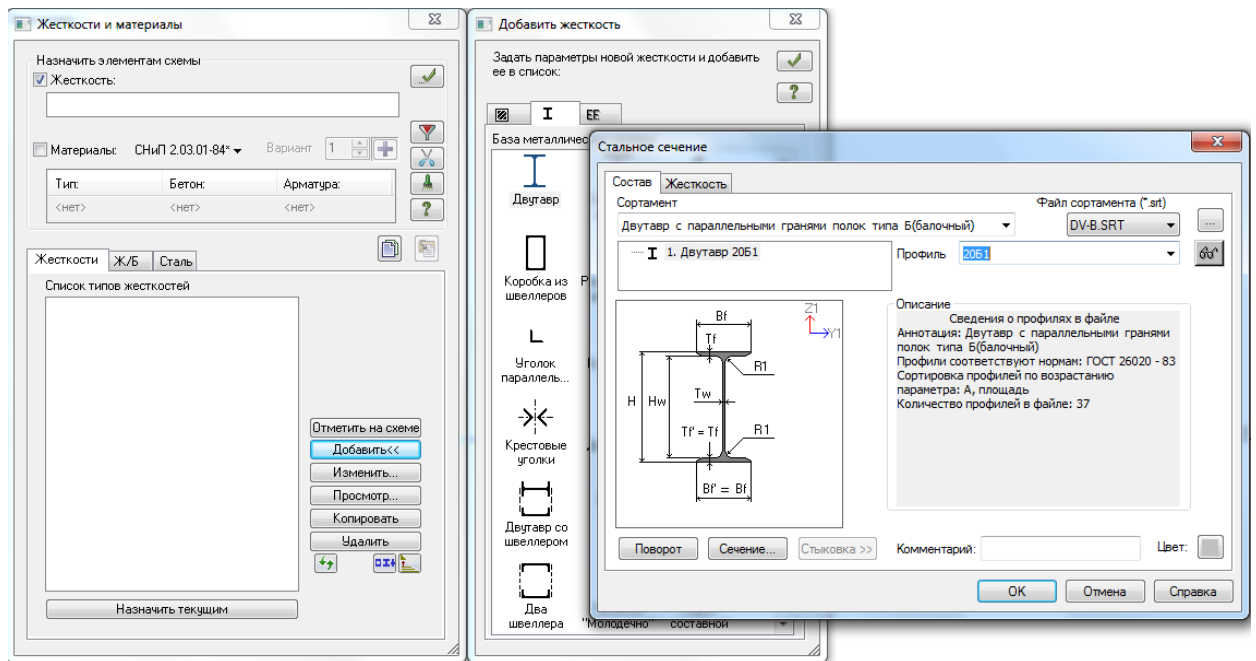
Закройте окно «Связи в узлах», щелкнув по кнопке

4. Формирование жесткости элементов из библиотеки жесткостных характеристик

Откройте диалоговое окно «Жесткости элементов»:

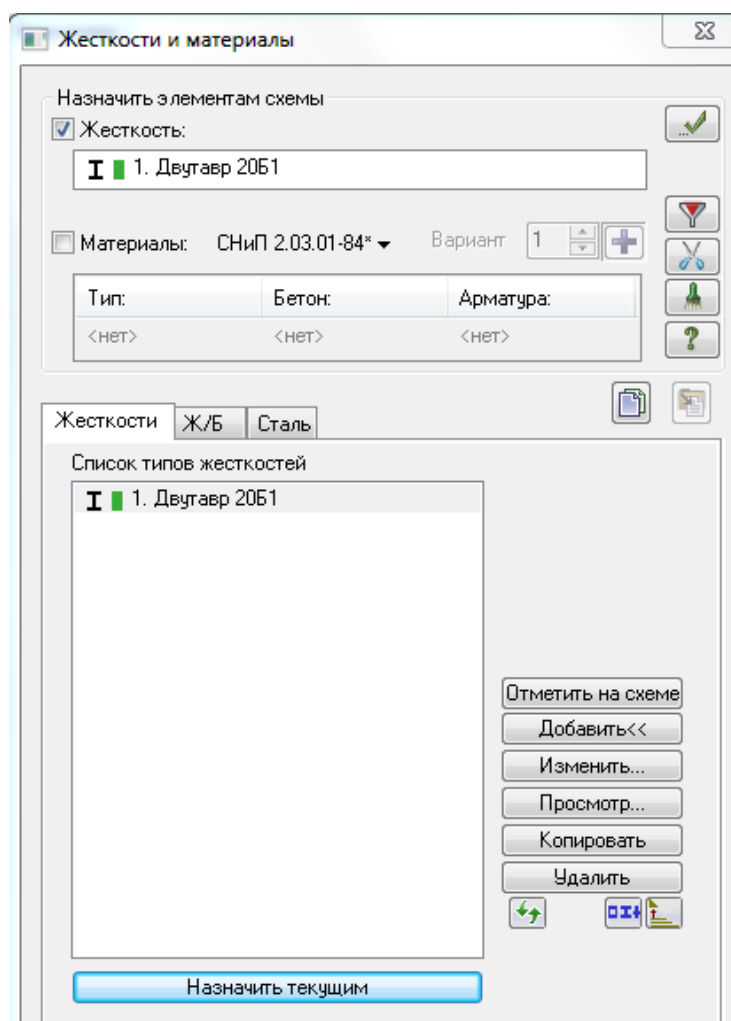


заполняем окна:



5. Назначение жесткостей элементам балки

Выделите жесткость в окне списка и щелкните по кнопке «**Назначить текущим**»:

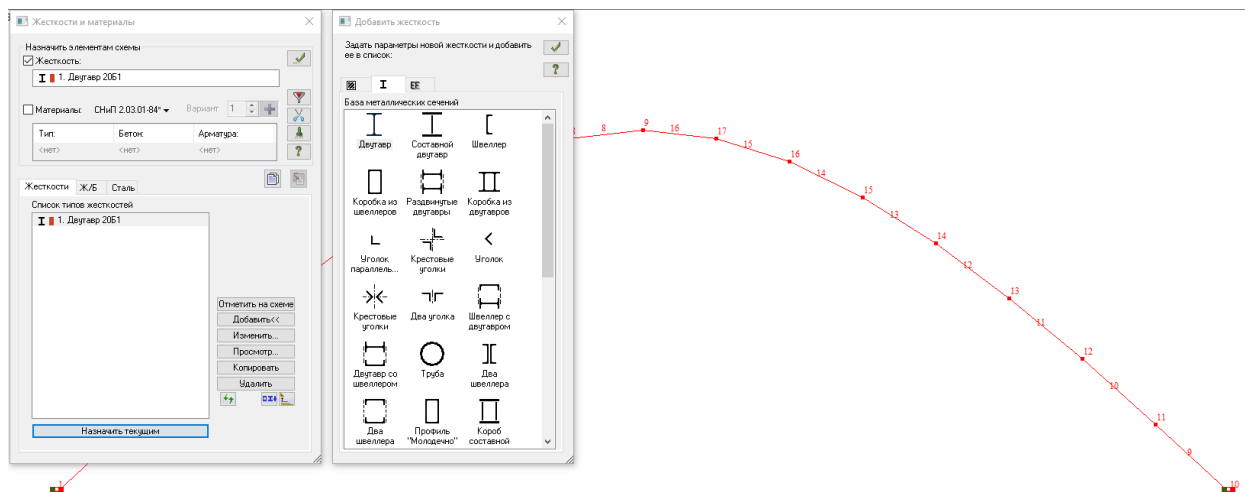


Активируйте режим отметки элементов:



Выделите все элементы арки, растянув вокруг схемы балки «резиновое окно» (другой вариант – одновременное нажатие клавиш **Ctrl + A**).

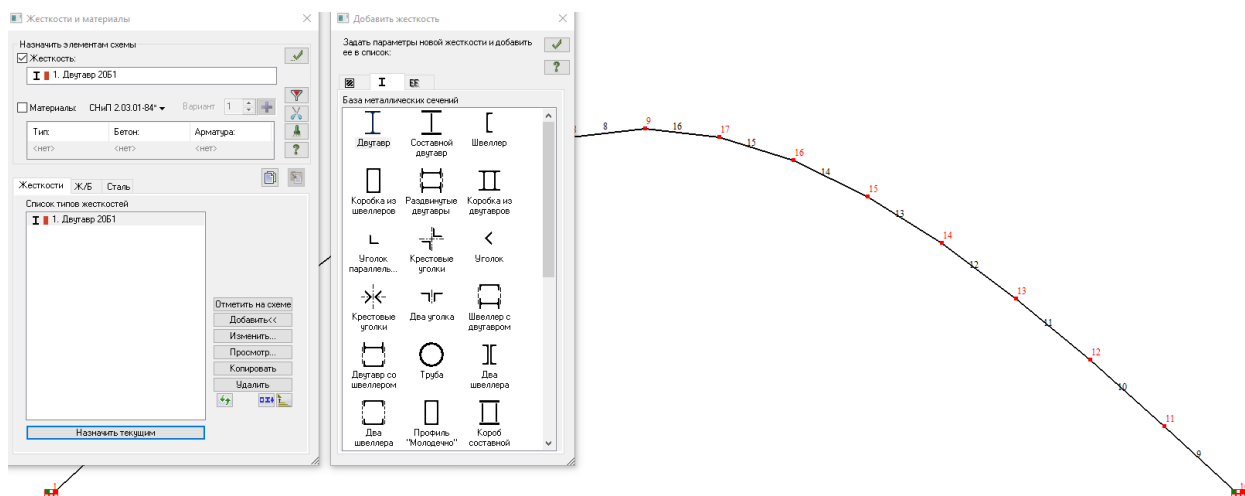
Выделенные элементы окрашиваются в красный цвет:



В диалоговом окне «Жесткости и материалы» щелкните по кнопке «Назначить»:



С элементов снимается выделение. Это свидетельство того, что выделенным элементам присвоена текущая жесткость.



В диалоговом окне «Жесткости элементов» щелкните по кнопке «Заккрыть».

6. Установка шарнира

Шарнир находится в узле 9

Отмечаем элемент 8, находящийся *слева от узла 9*:





- Жесткости


- Узлы , ставим «галочку» 2-й узел элемента 8, UY:




Шарниры

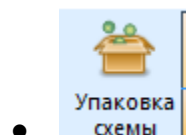
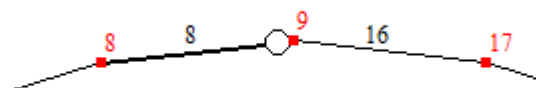
Назначить шарнир

1-й узел			2-й узел		
<input type="checkbox"/> X1	0.	кН/м	<input type="checkbox"/> X1	0.	кН/м
<input type="checkbox"/> Y1	0.	кН/м	<input type="checkbox"/> Y1	0.	кН/м
<input type="checkbox"/> Z1	0.	кН/м	<input type="checkbox"/> Z1	0.	кН/м
<input type="checkbox"/> UX	0.	кН*м	<input type="checkbox"/> UX	0.	кН*м
<input type="checkbox"/> UY	0.	кН*м	<input checked="" type="checkbox"/> UY	0.	кН*м
<input type="checkbox"/> UZ	0.	кН*м	<input type="checkbox"/> UZ	0.	кН*м
<input type="checkbox"/> Все			<input type="checkbox"/> Все		

Визуализация шарниров

<<<  >>>




7. Задание нагрузок

7.1 Загружение узлов

7.1.1 Создание узла приложения нагрузки

Наступила очередь задания внешнего воздействия. Для этой цели существует команда **Нагрузки/Нагрузка на узлы и элементы**. Но воспользоваться этой опцией без предварительной подготовки в обсуждаемой задаче не удастся. Дело в том, что оба рассматриваемых воздействия привязаны к точке, находящейся на оси элемента. Координаты этой точки не совпадают ни с одними из координат узлов.

Существуют различные способы решения возникшей проблемы. Используем способ введения дополнительного узла в том месте, где приложена сосредоточенная сила. Речь идет о постановке узла, который разделит элемент с номером 6 на две части. В этом случае потребуется указать расстояние от начального узла 6 данного элемента до вновь создаваемого узла.

Для определения абциссы узла 6 на панели **Фильтры отображения** нажмем  с указанием узла 6, **Информация об узле**:

Узел 6


Координаты		Связи	
X	8.125 м	<input type="checkbox"/> X	<input type="checkbox"/> UX
Y	0 м	<input type="checkbox"/> Y	<input type="checkbox"/> UY
Z	6.52344 м	<input type="checkbox"/> Z	<input type="checkbox"/> UZ
№ узла	Блок N	№ ж.т.	
6	1	<input type="checkbox"/> Отмеченный	
Суперузел		Добавить узел	
<input type="checkbox"/>			
Нагрузки		№ загр. 1	
<div> </div>			
Локальные оси			
<input type="checkbox"/> Установить	X	0 м	
	Y	0 м	
Fi 0 °	Z	0 м	
Объединение перемещений			
Группы,содерж.узел		Все группы	
Удалить		Добавить	

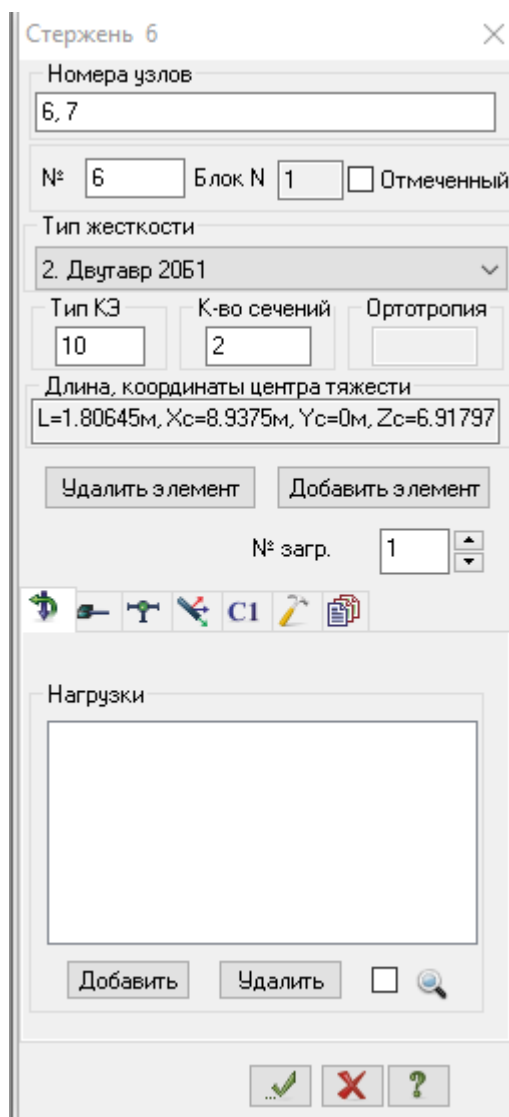
Для абциссы узла 7:

Узел 7

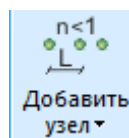
Координаты		Связи	
X	9.75 м	<input type="checkbox"/> X	<input type="checkbox"/> UX
Y	0 м	<input type="checkbox"/> Y	<input type="checkbox"/> UY
Z	7.3125 м	<input type="checkbox"/> Z	<input type="checkbox"/> UZ
№ узла	Блок N	№ ж.т.	
7	1	<input type="checkbox"/> Отмеченный	
Суперузел		Добавить узел	
<input type="checkbox"/>			
Нагрузки		№ загр. 1	
<div> </div>			
Локальные оси			
<input type="checkbox"/> Установить	X	0 м	
	Y	0 м	
Fi 0 °	Z	0 м	
Объединение перемещений			
Группы,содерж.узел		Все группы	
Удалить		Добавить	

Разница абсцисс 7-го и 6-го узлов равна $9.75\text{м} - 8.125\text{м} = 1.625\text{м}$.
 Относительное расстояние вдоль оси X от 6-го узла до силы равно
 $(9.00 - 8.125)/1.625 = 0.538$.

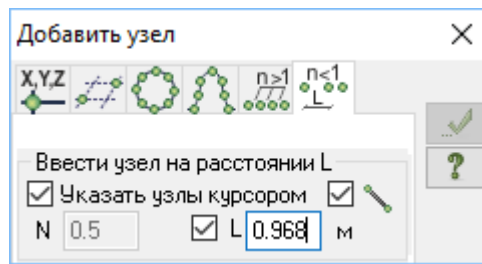
Для определения длины элемента 6 на панели **Фильтры отображения** нажмем  с указанием элемента 6, **Информация об узле**:



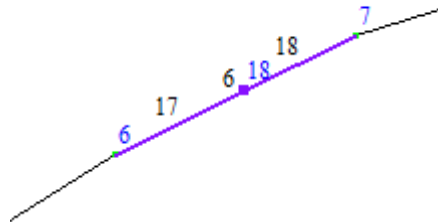
Длина элемента 6 **1,8м**. Узел приложения сосредоточенной силы находится на расстоянии $1,8\text{м} \times 0,538 = 0,968\text{м}$ от узла 6.



В окне **Создание**- **добавить узел** для выделенных узлов 6 и 7 (выделяются «резиновой нитью» курсора):

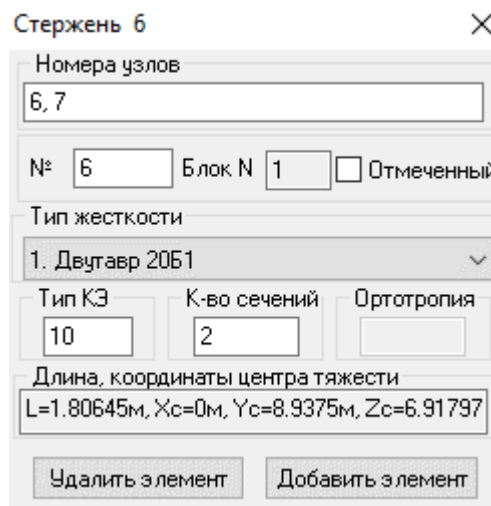
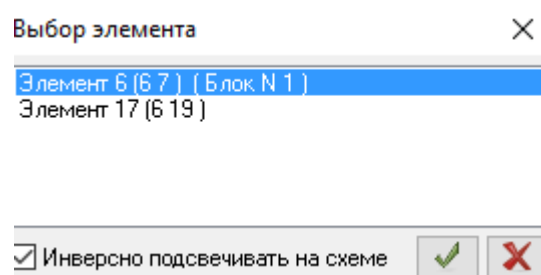


Мы создали два новых элемента (№17 и №18).

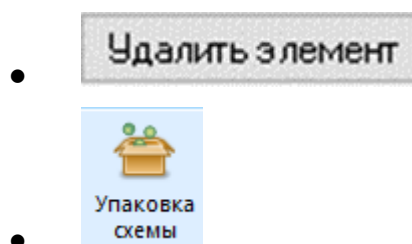


Элемент №6 стал лишним.

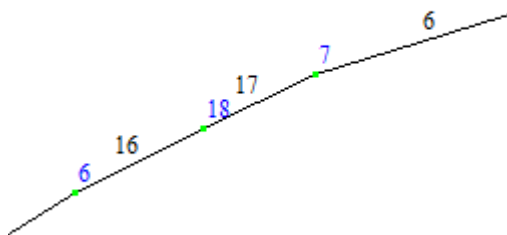
В окне выбираем элемент 6



и удаляем его



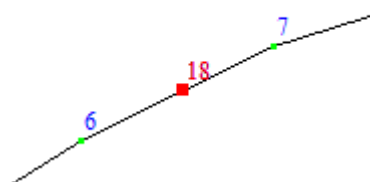
Получаем:



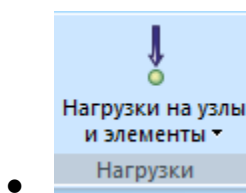
7.1.2 Активизируйте режим отметки узлов:



Выделите узел №18:

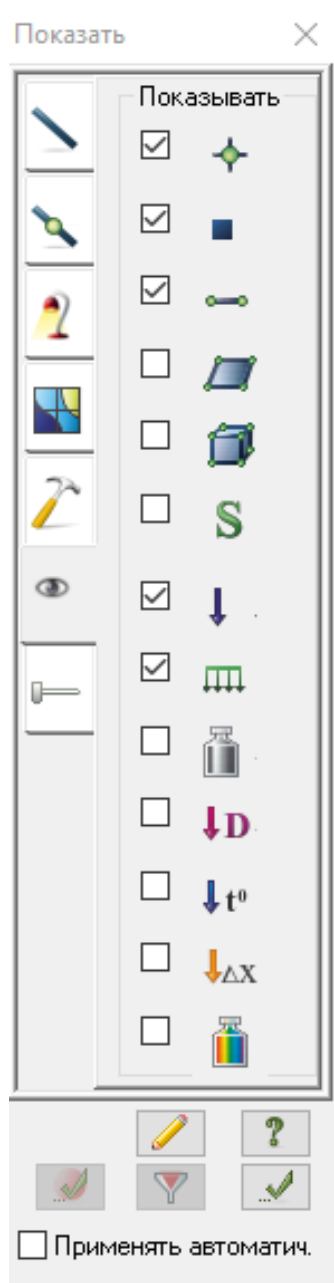


7.1.3 Задается сосредоточенная нагрузка в виде усилия, равного 33кН, действующая вдоль глобальной оси Z по направлению к центру системы координат.

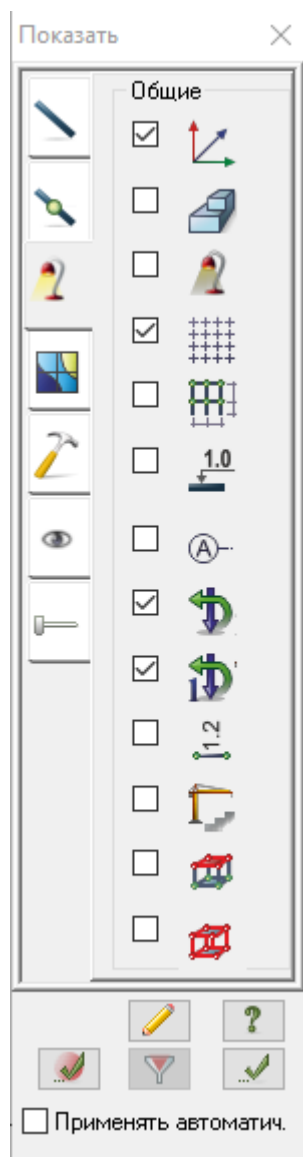


Отмечаем:

7.1.4 Щелчком на кнопку «Флаги рисования» откройте диалоговое окно «Показать». Активизируйте закладку «Усилия». После этого выберите команды **Сосредоточенные нагрузки**, **Распределенные нагрузки**:



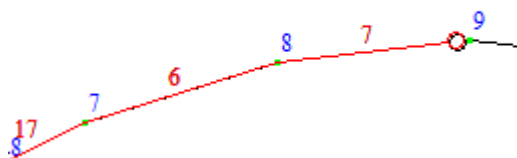
7.1.5 Щелчком на кнопку «Флаги рисования» откройте диалоговое окно «Показать». Активизируйте закладку «Значения». После этого выберите команды **Значения нагрузок**:



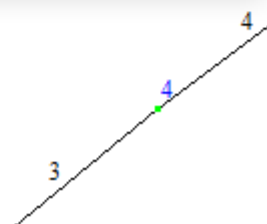
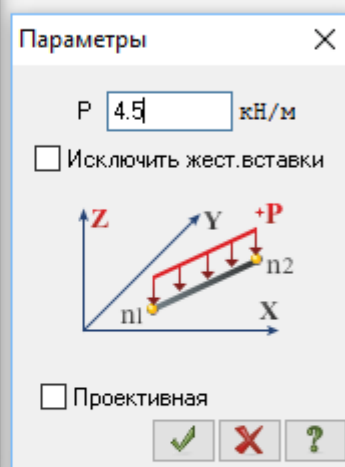
7.2 Загрузка элементов

Элементы 17, 6, 7 арки загружены равномерно распределенной нагрузкой 4,5 кН/м

Выделяем элементы



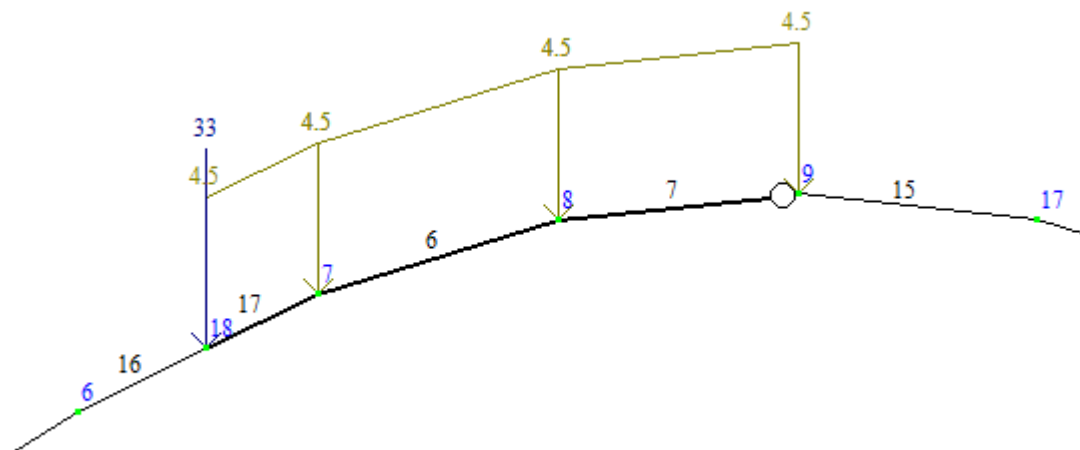
Задаем вид и значение нагрузки



Закройте диалоговое окно «Задание нагрузок».



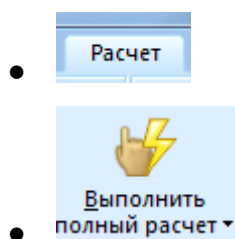
При соответствующих настройках флагов рисования получим оцифровку усилий:



Закройте диалоговое окно «Задание нагрузок».

8. Расчет арки МКЭ.

Запуск задачи на расчет:



Если в процессе формирования расчетной модели допущены ошибки, в конце расчета появится сообщение ЗАДАНИЕ НЕ ВЫПОЛНЕНО.



В этом случае необходимо закрыть текущее окно и исправить допущенные ошибки.

9. Вывод результатов расчета

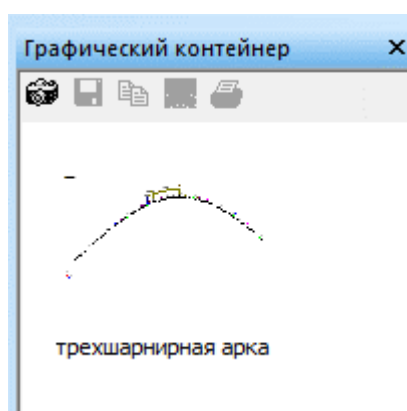
9.1 Вывод графического изображения расчетной схемы арки

Введите команды меню **Окно** ➤ **Панель инструментов** ➤

Графический контейнер

- 
- 

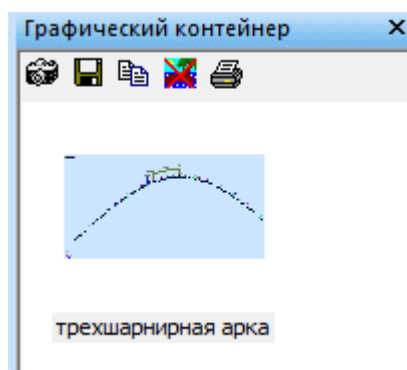
В окне **графического контейнера** появится рисунок расчетной схемы



9.1.1 Перенос изображения недеформированной расчетной схемы в буфер обмена

Сделайте изображение расчетной схемы в окне **графического контейнера** активным, щелкнув по нему левой кнопкой мыши. Далее щелкните по кнопке **копировать** в этом же окне:

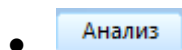
- 



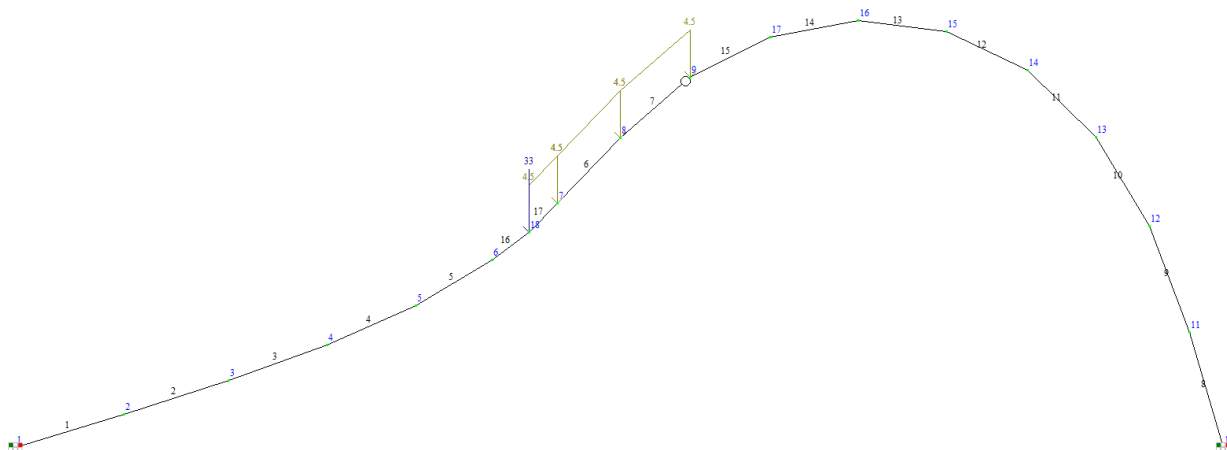
Изображение расчетной схемы нагружения 1 перенесется в буфер обмена, откуда его можно вставить в программу обработки результатов расчета

9.1.2 Просмотр и анализ результатов статического расчета

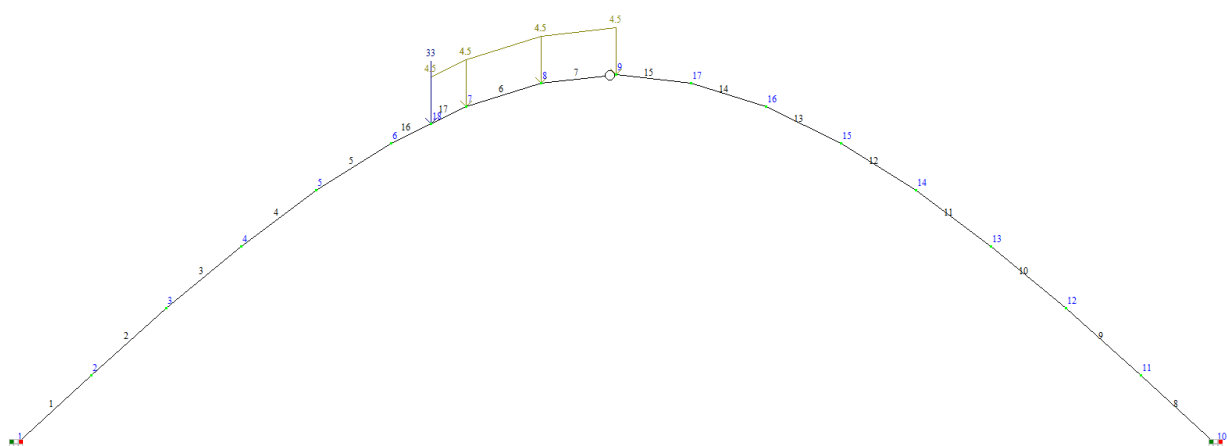
После расчета задачи, просмотр и анализ результатов статического расчета осуществляется на вкладке **Анализ**.



В режиме просмотра результатов расчета по умолчанию расчетная схема отображается с учетом перемещений узлов.

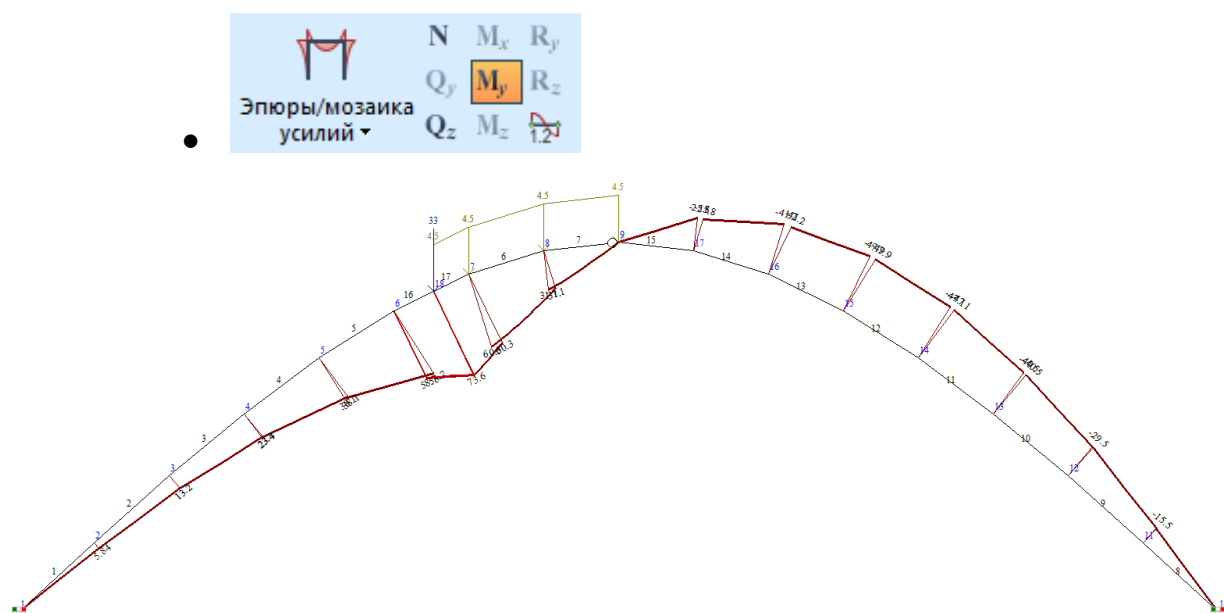


Для отображения схемы без учета перемещений узлов щелкните по кнопке – **Исходная схема** (панель **Деформации** на вкладке **Анализ**).

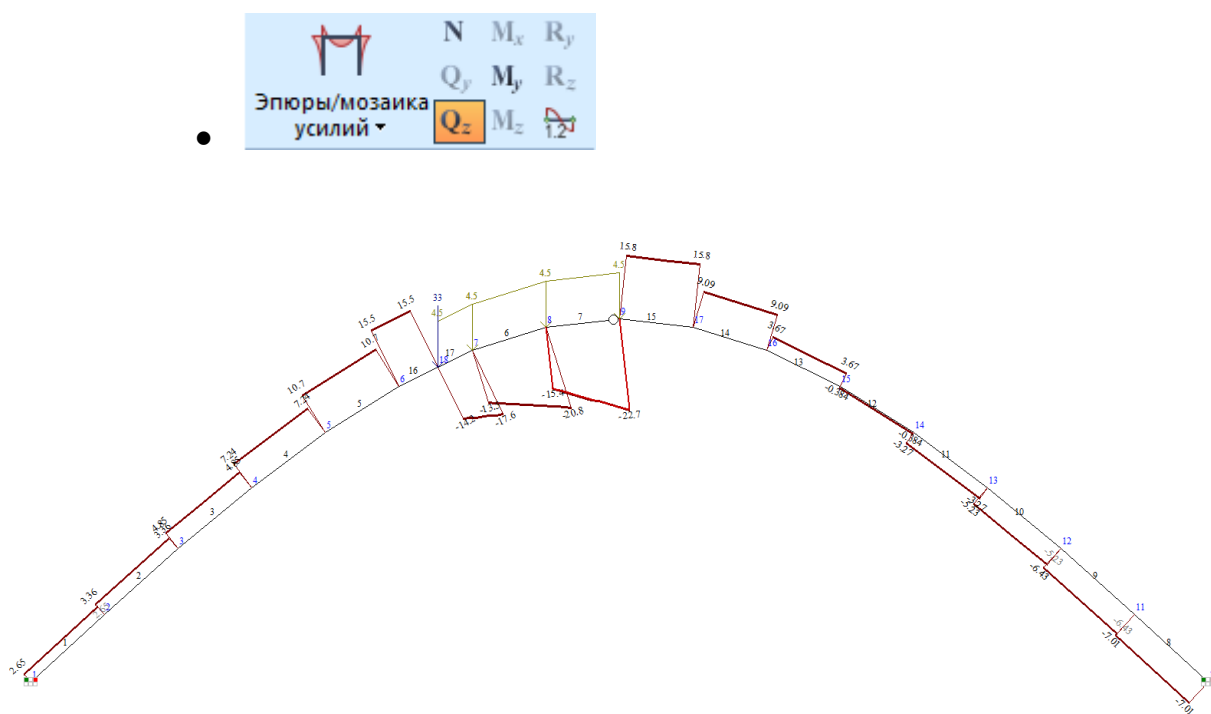


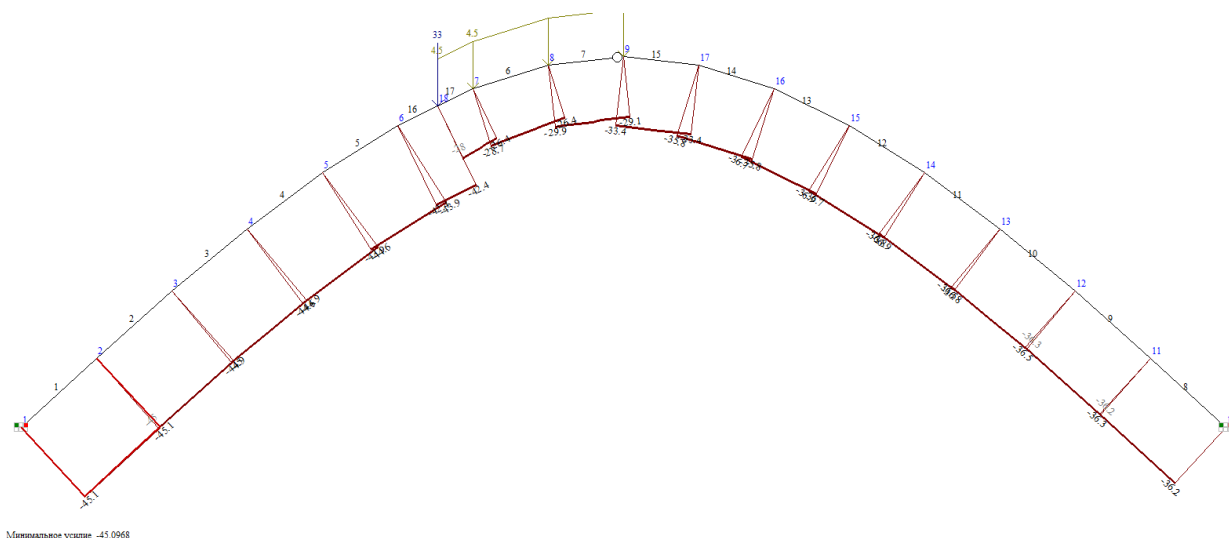
9.2 Вывод на экран эпюр внутренних усилий

9.2.1 Для эпюр изгибающих моментов:



9.2.2 Для эпюр поперечных усилий:



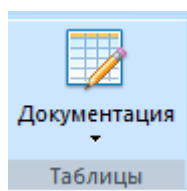


Для загрузки эпюр в отчет выполнить действия п. 9.1.

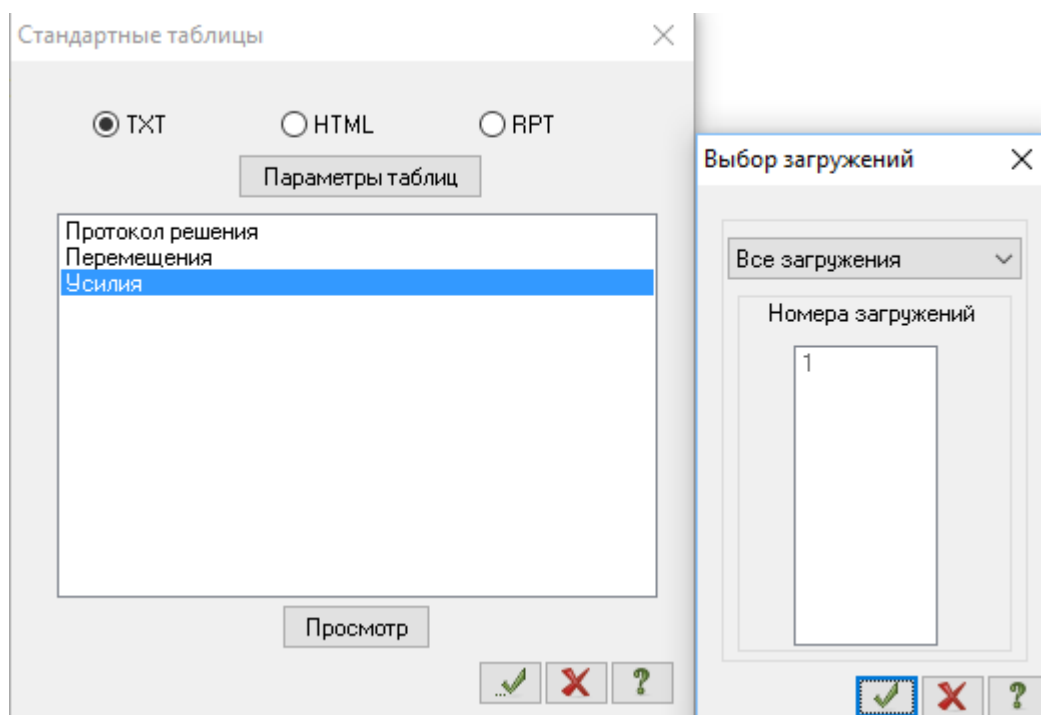
9.3 Формирование результатов расчета в табличном виде

9.3.1 Вывод на экран таблицы усилий для элементов балки

Для вывода на экран таблицы со значениями усилий в элементах схемы, выберите команду



• **Стандартные таблицы** в раскрывающемся списке **Документация**





Получим:

Единицы измерения усилий: кН
 Единицы измерения напряжений: МПа
 Единицы измерения моментов: кН*м
 Единицы измерения распределенных моментов: (кН*м)/м
 Единицы измерения распределенных перерезывающих сил: кН/м
 Единицы измерения перемещений поверхностей в элементах: м

Tue Dec 13 18:26:33 2016 трехшарнирная арка основная схема									1
У С И Л И Я /НАПРЯЖЕНИЯ/ В ЭЛЕМЕНТАХ.									
2_	1-1	1-2	2-1	2-2	3-1	3-2	4-1	4-2	
	1	1	2	2	3	3	4	4	
	2	2	3	3	4	4	5	5	
1-	ЗАГРУЖЕНИЕ 1								
N	-45.0967	-45.0967	-45.0490	-45.0490	-44.9127	-44.9127	-44.5898	-44.5898	
M		5.84217	5.84217	13.1575	13.1575	23.4191	23.4191	38.0997	
Q	2.64808	2.64808	3.36379	3.36379	4.85499	4.85499	7.24406	7.24406	
2_	5-1	5-2	6-1	6-2	7-1	7-2	8-1	8-2	
	5	5	7	7	8	8	10	10	
	6	6	8	8	9	9	11	11	
1-	ЗАГРУЖЕНИЕ 1								
N	-43.8858	-43.8858	-28.7064	-26.4212	-29.9183	-29.1097	-36.2271	-36.2271	
M	38.0997	58.6727	60.2987	31.0948	31.0948			-15.4673	
Q	10.7126	10.7126	-13.4973	-20.8098	-15.3631	-22.6756	-7.01091	-7.01091	
2_	9-1	9-2	10-1	10-2	11-1	11-2	12-1	12-2	
	11	11	12	12	13	13	14	14	
	12	12	13	13	14	14	15	15	
1-	ЗАГРУЖЕНИЕ 1								
N	-36.3339	-36.3339	-36.5272	-36.5272	-36.7540	-36.7540	-36.8973	-36.8973	
M	-15.4673	-29.4615	-29.4615	-40.5095	-40.5095	-47.1384	-47.1384	-47.8750	
Q	-6.43482	-6.43482	-5.22707	-5.22707	-3.27100	-3.27100	-.383569	-.383569	
2_	13-1	13-2	14-1	14-2	15-1	15-2	16-1	16-2	
	15	15	16	16	17	17	6	6	
	16	16	17	17	9	9	18	18	
1-	ЗАГРУЖЕНИЕ 1								
N	-36.7164	-36.7164	-35.7634	-35.7634	-33.3607	-33.3607	-42.4444	-42.4444	
M	-47.8750	-41.2461	-41.2461	-25.7787	-25.7787		58.6727	73.6439	
Q	3.66959	3.66959	9.08511	9.08511	15.7677	15.7677	15.4661	15.4661	
2_	17-1	17-2							
	18	18							
	7	7							
1-	ЗАГРУЖЕНИЕ 1								
N	-28.0299	-26.3818							
M	73.6439	60.2987							
Q	-14.2194	-17.6135							

Сохраняем таблицу в файл для последующего использования в расчете

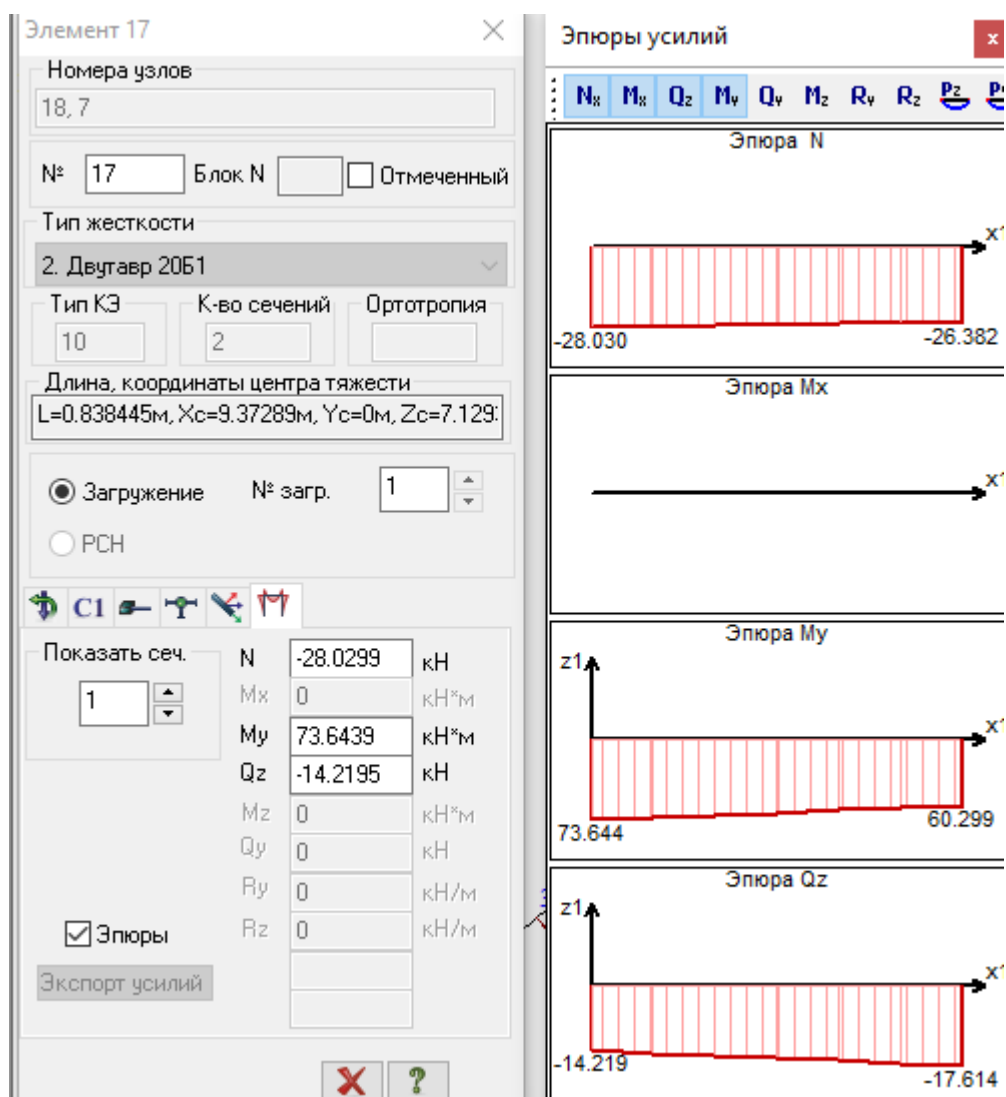


9.3.2 Вывод на экран информационного окна для элемента №17.

Щелкните сначала по кнопке «Информация об узлах и элементах», а затем по элементу №17.

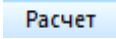



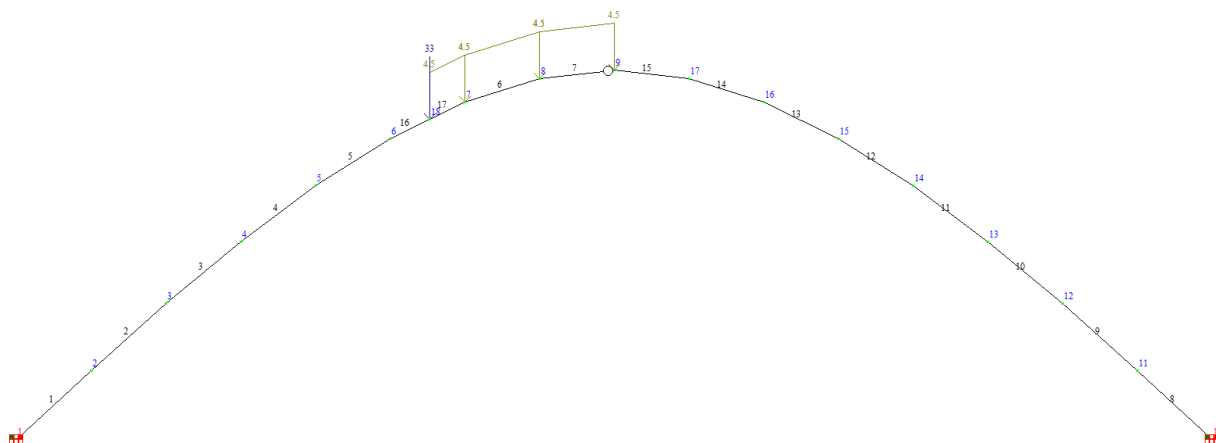
На экране отобразится окно информации для указанного элемента.



Графический контейнер позволяет собирать копии экрана из различных окон приложения для их дальнейшей обработки. Он позволяет копировать изображения в другие приложения через буфер обмена, сохранять их как графические файлы, а также распечатывать.

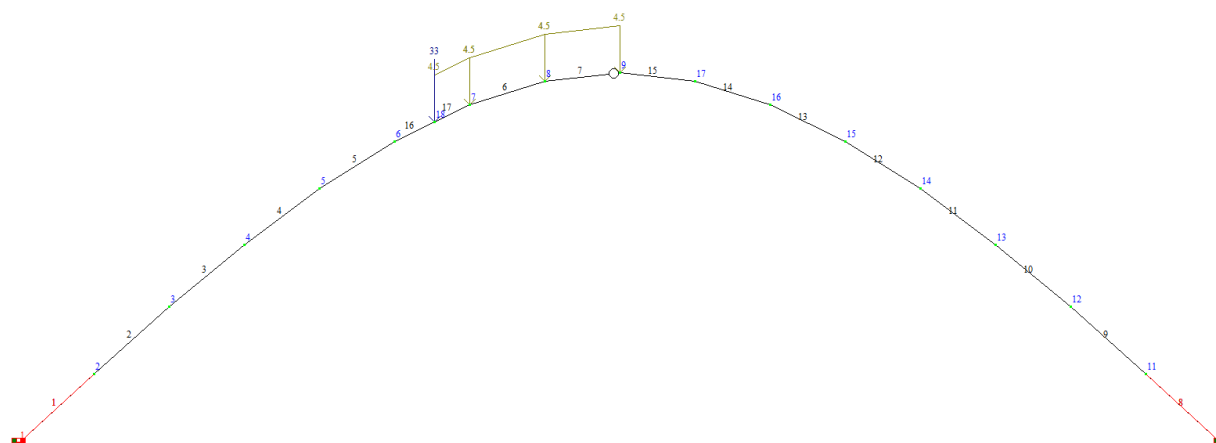
9.3.3 Определение реакций опор

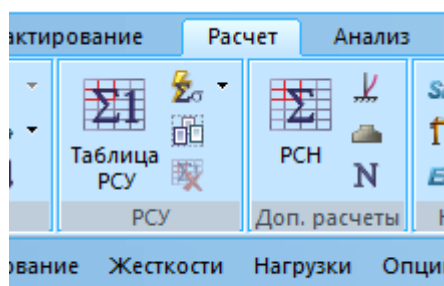
-  Расчет
-  Отмечаем опоры:



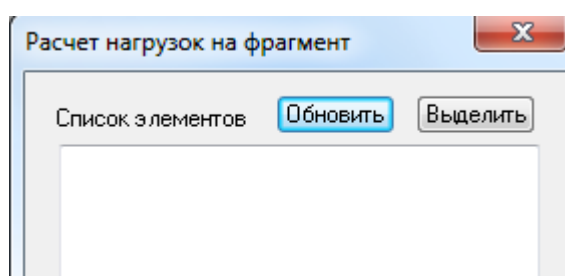
Отметить элементы, примыкающие к отмеченным узлам

- 

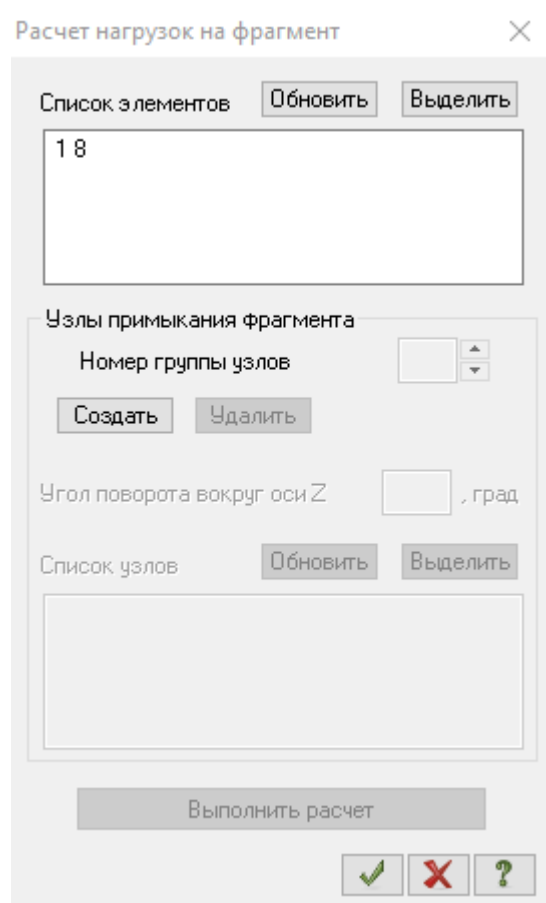




- 



- Обновить



- Создать

- Список узлов

Обновить

Расчет нагрузок на фрагмент

Список элементов

Обновить

Выделить

1 8

Узлы примыкания фрагмента

Номер группы узлов

1

Создать

Удалить

Угол поворота вокруг оси Z

, град

Список узлов

Обновить

Выделить

1 10

Выполнить расчет

✓

✗

?



- Выполнить

полный расчет ▾

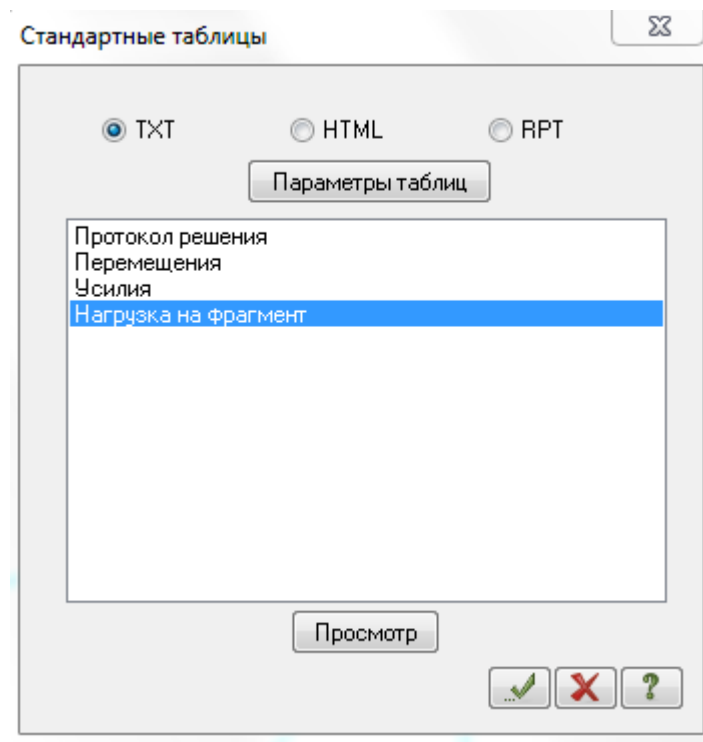
- Предупреждение

Пересчитать задачу?

Да

- Анализ

- Документация



Получим:

```

Единицы измерения усилий: кН
Единицы измерения напряжений: МПа
Единицы измерения моментов: кН*м
Единицы измерения распределенных моментов: (кН*м)/м
Единицы измерения распределенных перерезывающих сил: кН/м
Единицы измерения перемещений поверхностей в элементах: м

Список элементов, от которых вычисляются нагрузки на узлы фрагмента:
1 8
Количество групп узлов примыкания фрагмента: 1
1. Угол поворота узлов вокруг оси Z глобальной системы координат, (град): 0
Список узлов, в которых вычисляются нагрузки:
1 10
  
```

Tue Dec 13 18:40:22 2016 трехшарнирная арка основная схема

НАГРУЗКИ НА ФУНДАМЕНТ В УЗЛАХ ОСНОВНОЙ СХЕМЫ			
	1	10	
1 -	ЗАГРУЖЕНИЕ 1		
RX	31.4256	-31.4256	
RZ	32.4524	19.3388	



Библиографический список

1. Будівельна механіка”. Методичні вказівки до вивчення теми "Побудова епюр внутрішніх зусиль в ПК SCAD (трёхшарнірна арка)" для студентів спеціальності 8.06010101 –“Промислове і цивільне будівництво” / Укл.: Г.Д. Портнов, А.А. Тихий, Пукалов В.В. – Кіровоград: КНТУ, 2015. – 38с.
2. Расчет трёхшарнирной арки: Метод. указания к расчетно – проектировочной работе / Сост.: Е. Ф. Ежов, Ю. В. Юркин. – Саранск: Изд – во Мордов. ун – та, 2003. – 28с.

Содержание

Введение	3
1. Постановка задачи и анализ расчетной схемы арки	4
2. Создание расчетной схемы	7
3. Задание граничных условий	16
4. Формирование жесткости элементов из библиотеки жесткостных характеристик	17
5. Назначение жесткостей элементам балки	18
6. Установка шарнира	20
7. Задание нагрузок	22
8. Расчет арки МКЭ.	31
9. Вывод результатов расчета	32
Библиографический список	42