

Пример 8. Расчет мачты в геометрически нелинейной постановке

Цели и задачи:

- составить расчетную схему мачты;
- показать моделирование геометрической нелинейности.

Исходные данные:

Схема мачты и ее закрепление показаны на рис.8.1.

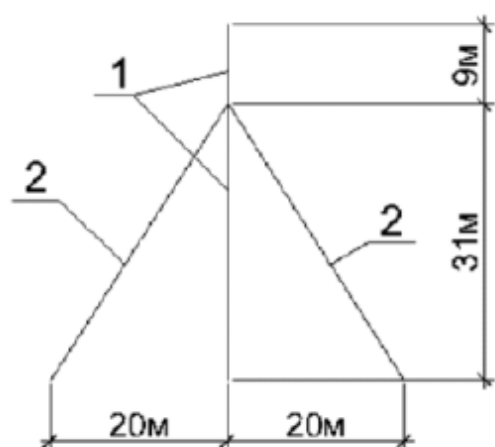
Металлическая мачта высотой 40 м.

Сечения элементов мачты:

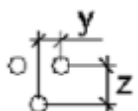
- стойка – три трубы 133 x 5;
- растяжки – канат, профиль – 20.

Нагрузки:

- загрузка 1 – собственный вес; сосредоточенная сила $P = 0.15$ т, приложенная на два верхних узла;
- загрузка 2 – ветровая нагрузка, II ветровой район, тип местности А.



1 - три трубы 133x5
2 - канат Ø 20



$y = 100$ см
 $z = 173,205$ см

Рис.8.1. Схема мачты





Создание новой задачи

Для того чтобы начать работу с ПК ЛИРА, выполните следующую команду Windows:

Пуск ⇒ Программы ⇒ Lira Soft ⇒ ЛИРА 9.4 ⇒ ЛИРА 9.4.

Этап 1. Создание новой задачи

- Для создания новой задачи выполните пункт меню **Файл** ⇒ **Новый** (кнопка  на панели инструментов).
- В появившемся диалоговом окне **Признак схемы** (рис.8.2) задайте следующие параметры:
 - имя создаваемой задачи – **Пример8** (шифр задачи по умолчанию совпадает с именем задачи);
 - признак схемы – **2 – Три степени свободы в узле (два перемещения и поворот) X0Z**.
- После этого щелкните по кнопке  – **Подтвердить**.

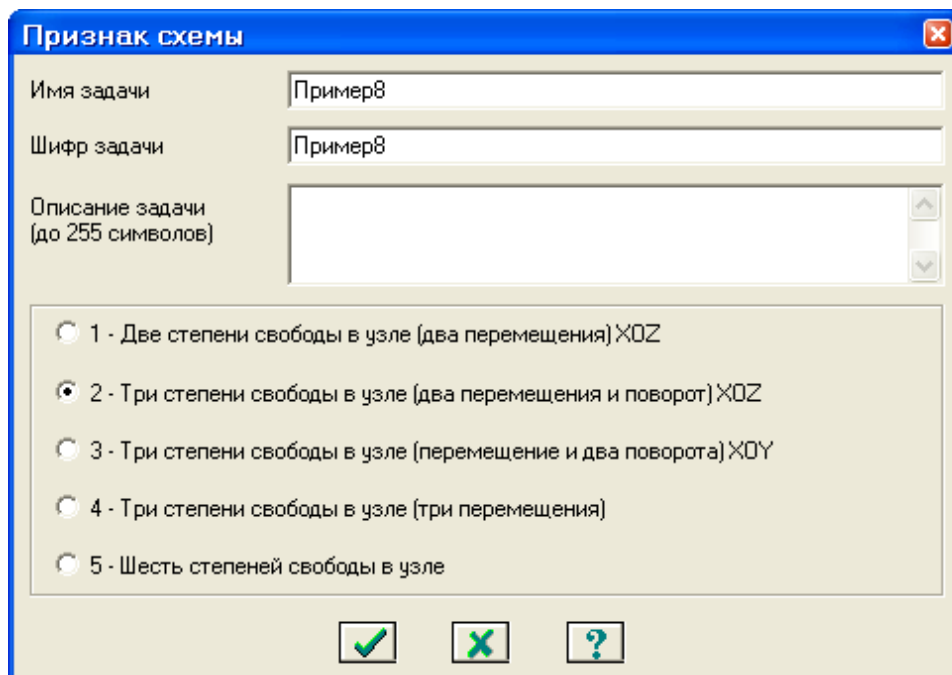




Рис.8.2. Диалоговое окно Признак схемы

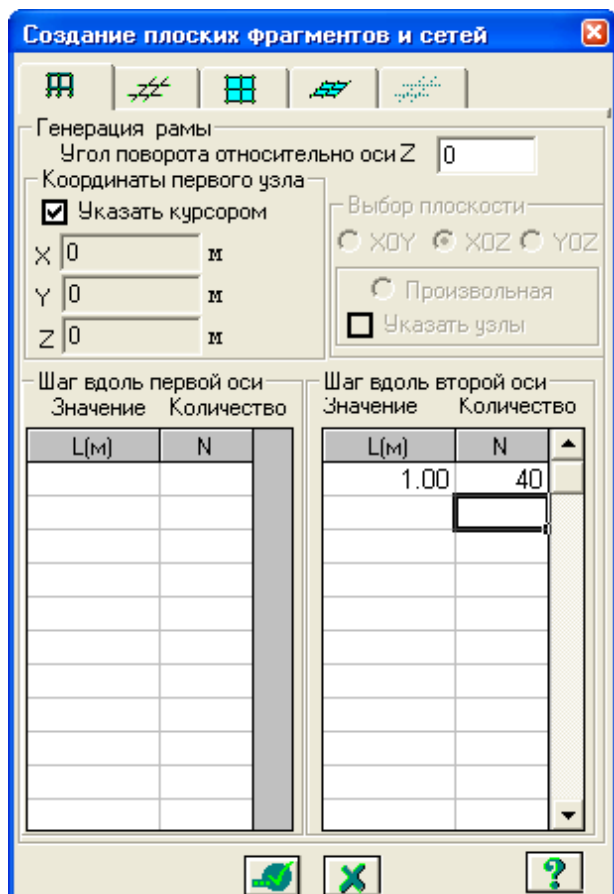




Создание геометрической схемы мачты

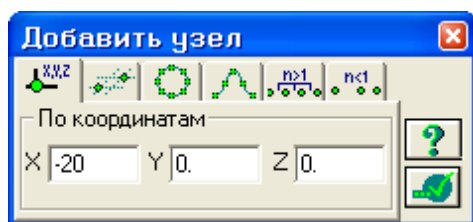
Этап 2. Создание геометрической схемы мачты


- Вызовите диалоговое окно **Создание плоских фрагментов и сетей** с помощью меню **Схема** ⇒ **Создание** ⇒ **Регулярные фрагменты и сети** (кнопка  на панели инструментов).
- В этом диалоговом окне задайте:
 - Шаг вдоль второй оси:

L(м)	N
1	40.
 - Остальные параметры принимаются по умолчанию (рис.8.3).
- После этого щелкните по кнопке  – **Применить**.



Рис.8.3. Диалоговое окно **Создание плоских фрагментов и сетей**Добавление узлов

- Вызовите диалоговое окно **Добавить узел** (рис.8.4) с помощью меню **Схема** ⇒ **Корректировка** ⇒ **Добавить узел** (кнопка  на панели инструментов).
- В этом диалоговом окне задайте координаты левого нижнего узла:
 - **X** **Y** **Z**
 - 20 0 0.
- Щелкните по кнопке  – **Применить**.

Рис.8.4. Диалоговое окно **Добавить узел**

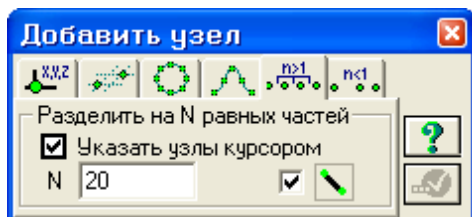
- Затем введите координаты правого нижнего узла:
 - **X** **Y** **Z**
 - 20 0 0.
- Щелкните по кнопке  – **Применить**.

Вывод на экран номеров узлов

- Выполните пункт меню **Опции** ⇒ **Флаги рисования** (кнопка  на панели инструментов).
- В диалоговом окне **Показать** перейдите на вторую закладку **Узлы** и установите флажок **Номера узлов**.
- Щелкните по кнопке  – **Перерисовать**.

Добавление стержневых элементов

- В диалоговом окне **Добавить узел** перейдите на закладку **Разделить на N равных частей** (рис.8.5).
- В поле ввода введите значение **N = 20**.
- Укажите последовательно курсором узлы № 42 и № 32, затем узлы № 43 и № 32 (при этом между ними протягивается резиновая нить).

Рис.8.5. Диалоговое окно **Добавить узел**

На рис.8.6 представлена полученная схема.

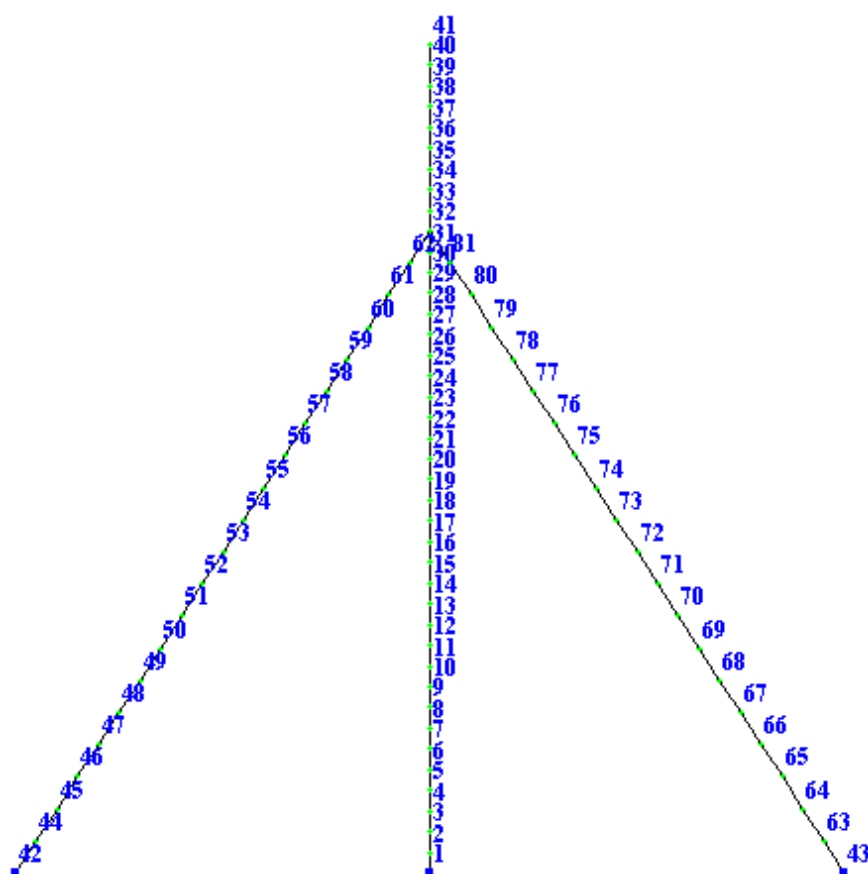



Рис.8.6. Расчетная схема с нумерацией узлов

Сохранение информации о расчетной схеме


- Для сохранения информации о расчетной схеме выполните пункт меню **Файл ⇒ Сохранить** (кнопка  на панели инструментов).
- В появившемся диалоговом окне **Сохранить как** задайте:
 - имя задачи – **Пример8**;
 - папку, в которую будет сохранена эта задача (по умолчанию выбирается папка – **LData**).
- Щелкните по кнопке **Сохранить**.



Задание граничных условий

Этап 3. Задание граничных условий



Выделение узлов № 42 и 43

- Выполните пункт меню **Выбор** ⇒ **Отметка узлов** (кнопка  на панели инструментов).
- С помощью курсора выделите узлы № 42 (нижний левый) и №43 (нижний правый) (узлы окрашиваются в красный цвет).



Отметка узлов выполняется с помощью одиночного указания курсором или растягиванием вокруг нужных узлов "резинового окна".

Задание граничных условий в узлах № 42 и 43

- С помощью пункта меню **Схема** ⇒ **Связи** (кнопка  на панели инструментов) вызовите диалоговое окно **Связи в узлах** (рис.8.7).
- В этом окне, с помощью установки флажков, отметьте направления, по которым запрещены перемещения узлов (**X, Z**).
- После этого щелкните по кнопке  – **Применить** (узлы окрашиваются в синий цвет).

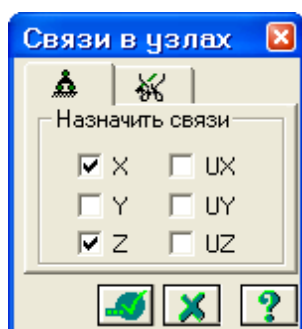




Рис.8.7. Диалоговое окно **Связи в узлах**




Задание граничных условий в узле № 1

- Выделите узел № 1.
- В диалоговом окне **Связи в узлах** отметьте направления, по которым запрещено перемещение узла (**X, Z, UY**).
- Щелкните по кнопке  – **Применить**.
- Выполните пункт меню **Выбор** ⇒ **Отметка узлов** (кнопка  на панели инструментов), чтобы снять активность с операции отметки узлов.



Смена типа КЭ

Этап 4. Смена типа конечного элемента

- Выполните пункт меню **Выбор** ⇒ **Отметка элементов** (кнопка  на панели инструментов).
- С помощью курсора выделите все элементы схемы.
- С помощью меню **Схема** ⇒ **Корректировка** ⇒ **Смена типа конечного элемента** (кнопка  на панели инструментов) вызовите диалоговое окно **Смена типа конечного элемента** (рис.8.8).
- В этом диалоговом окне с помощью курсора выделите строку **Тип 310 - геометрически нелинейный универсальный пространственный стержневой КЭ (нить)**.
- Щелкните по кнопке  – **Применить**.

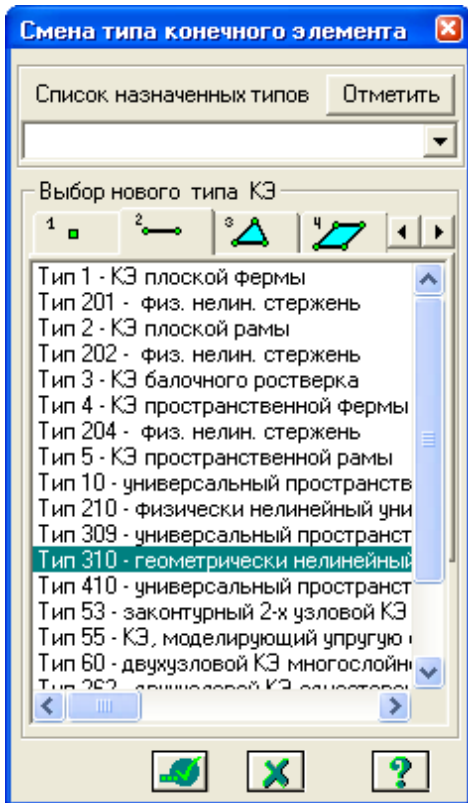



Рис.8.8. Диалоговое окно Смена типа конечного элемента



Задание жесткостных параметров элементам мачты

Этап 5. Задание жесткостных параметров элементам мачты

Формирование типов жесткости

- С помощью меню **Жесткости** ⇒ **Жесткости элементов** (кнопка  на панели инструментов) вызовите диалоговое окно **Жесткости элементов** (рис.8.9).
- В этом окне щелкните по кнопке **Добавить** и в библиотеке жесткостных характеристик щелкните по второй закладке **База металлических сечений**.

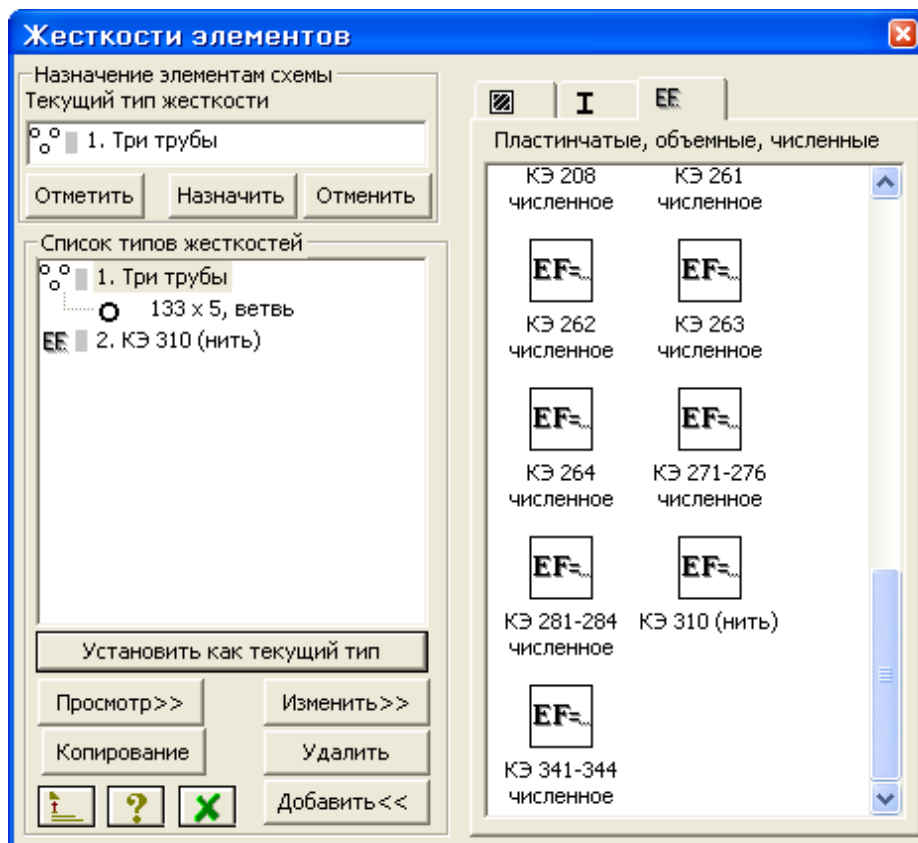
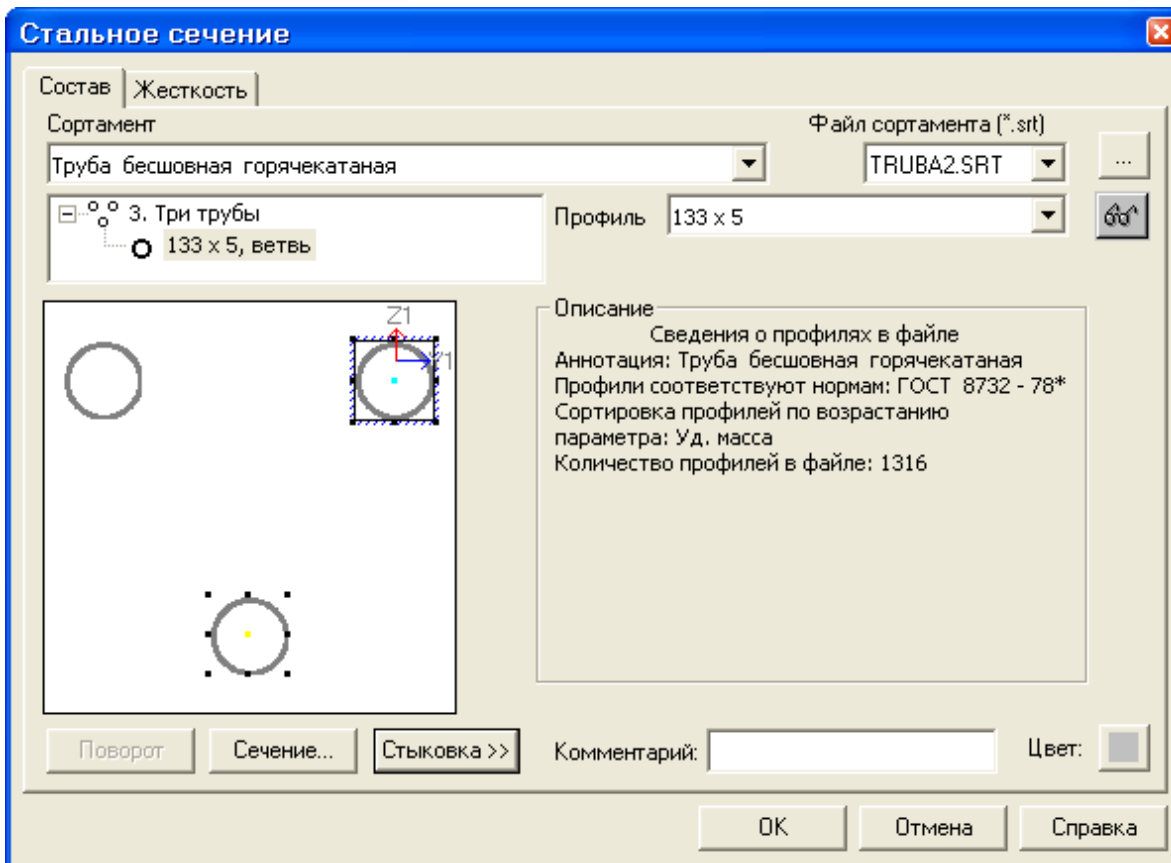
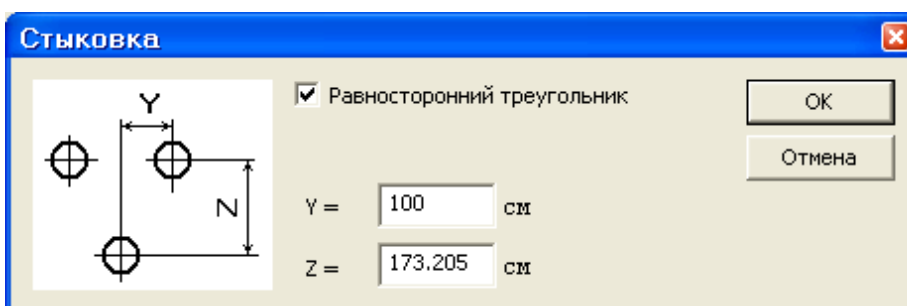


Рис.8.9 Диалоговое окно Жесткости элементов

- Выберите двойным щелчком мыши на элементе графического списка тип сечения **Три трубы**.
- В диалоговом окне **Стальное сечение** выделите курсором строку **ветвь** и задайте параметры сечения ветви (рис.8.10):
 - в раскрывающемся списке – **Сортамент** выберите позицию – **Труба бесшовная горячекатаная**;
 - в списке – **Профиль** – **133 x 5**.
- Щелкните по кнопке **Стыковка**.

Рис.8.10. Диалоговое окно **Стальное сечение**

- В диалоговом окне **Стыковка** (рис.8.11) введите значение $Y = 100$ см (значение Z при установленном флажке **Равносторонний треугольник** вычисляется автоматически).
- Для ввода данных щелкните по кнопке **ОК**.

Рис.8.11. Диалоговое окно **Стыковка**

- В диалоговом окне **Стальное сечение** щелкните по кнопке **ОК**.
- Далее в диалоговом окне **Жесткости элементов** перейдите на третью закладку численного описания жесткости.
- Выберите тип сечения **КЭ 310 (нить)**.
- В новом диалоговом окне **Численное описание КЭ 310 (нить)** включите радио-кнопку **Сортамент** (рис.8.12).

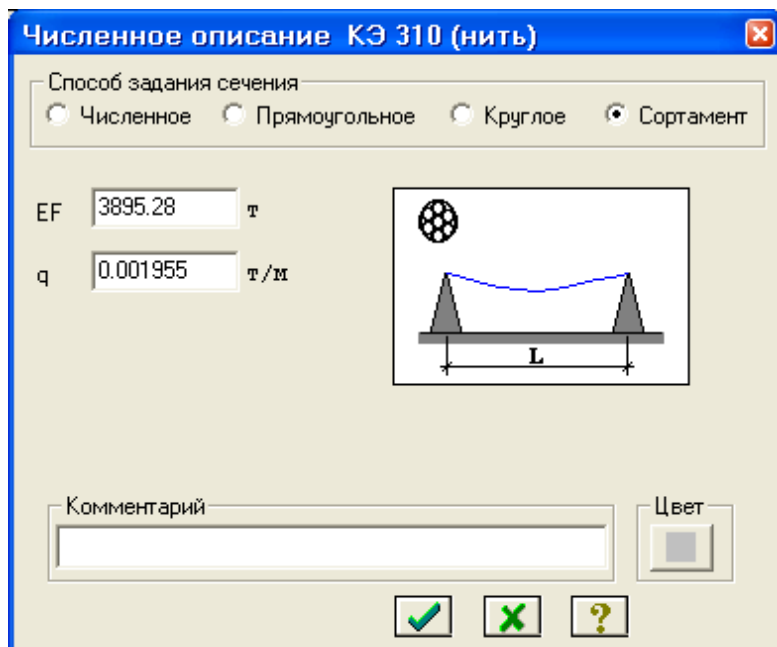


Рис.8.12. Диалоговое окно Численное описание КЭ 310 (нить)

- В появившемся диалоговом окне **Стальное сечение** (рис.8.13) задайте параметры сечения **Канат**:
 - в раскрывающемся списке – **Сортамент** выберите позицию – **Канат одинарной свивки типа ТК конструкции 1х37(1+6+12+18)**;
 - в списке – **Профиль** – **20**.
- Для ввода данных щелкните по кнопке **ОК**.

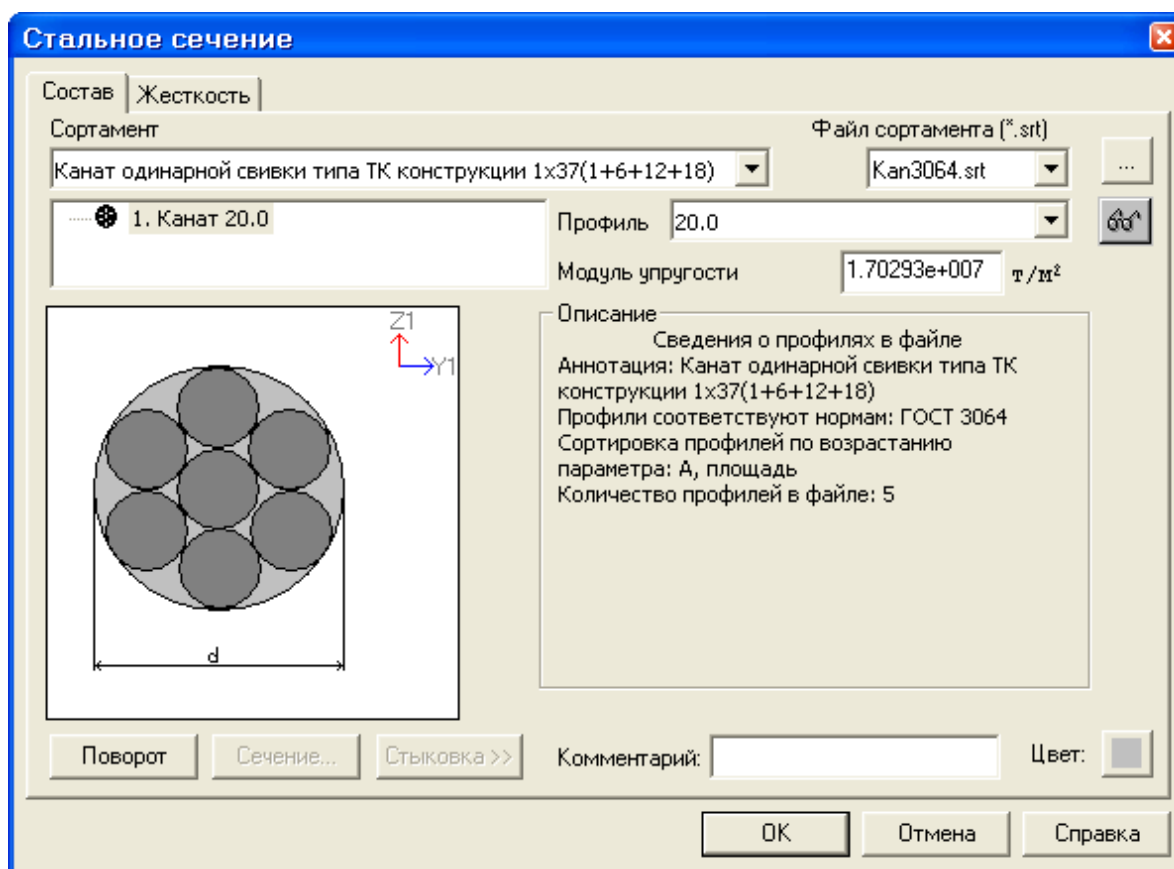





Рис.8.13. Диалоговое окно Стальное сечение



В диалоговое окно **Численное описание КЭ 310 (нить)** в поля **EF** и **q** будут внесены автоматически вычисленные значения осевой жесткости (**EF**) и погонного веса (**q**).

- В диалоговом окне **Численное описание КЭ 310 (нить)** щелкните по кнопке  – **Подтвердить**.
- Для того чтобы скрыть библиотеку жесткостных характеристик, в диалоговом окне **Жесткости элементов** щелкните по кнопке **Добавить**.

Назначение жесткостей элементам мачты


- В диалоговом окне **Жесткости элементов** в списке типов жесткостей выделите курсором тип жесткости **1.Три трубы**.
- Щелкните по кнопке **Установить как текущий тип** (при этом выбранный тип записывается в окне редактирования **Текущий тип жесткости**. Можно назначить текущий тип жесткости двойным щелчком на строке списка).
- Выполните пункт меню **Выбор ⇒ Отметка вертикальных элементов** (кнопка  на панели инструментов).
- Выделите все вертикальные элементы.
- В диалоговом окне **Жесткости элементов** щелкните по кнопке **Назначить** (с элементов снимается выделение. Это свидетельство того, что выделенным элементам присвоена текущая жесткость).
- В списке типов жесткостей выделите курсором тип жесткости **2.КЭ 310 (нить)**.
- Щелкните по кнопке **Установить как текущий тип**.
- Выделите все вертикальные элементы схемы.
- Для отображения на экране только невыделенных узлов и элементов, выполните пункт меню **Вид ⇒ Инверсная фрагментация**.
- Выполните пункт меню **Выбор ⇒ Отметка элементов** (кнопка  на панели инструментов).
- Выделите все элементы схемы.
- В диалоговом окне **Жесткости элементов** щелкните по кнопке **Назначить**.
- Для восстановления расчетной схемы в первоначальном виде, выполните пункт меню **Вид ⇒ Восстановление конструкции**.



Задание нагрузок

Этап 6. Задание нагрузок

Формирование загрузки № 1

- С помощью меню **Нагрузки ⇒ Добавить собственный вес** вызовите диалоговое окно **Добавить собственный вес** (рис.8.14).
- В этом окне, при включенной радио-кнопке **все элементы**, в поле **Кэф. надежности по нагрузке** задайте коэффициент равен **1.05** (так как в системе **ЛИР-РС** (Редактируемый сортамент) погонный вес элементов задан нормативным, то его нужно преобразовать в расчетный).
- Щелкните по кнопке  – **Применить** (всем элементам конструкции автоматически назначается равномерно распределенная нагрузка, равная погонному весу элементов).

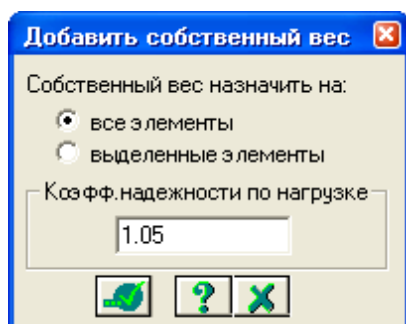


Рис.8.14. Диалоговое окно **Добавить собственный вес**




- Выполните пункт меню **Выбор** ⇒ **Отметка узлов** (кнопка  на панели инструментов).
- С помощью курсора выделите узлы № 40 и 41.
- Вызовите диалоговое окно **Задание нагрузок** (рис.8.15) с помощью меню **Нагрузки** ⇒ **Нагрузка на узлы и элементы** (кнопка  на панели инструментов).
- По умолчанию указана система координат **Глобальная**, направление – вдоль оси **Z**.



Рис.8.15. Диалоговое окно **Задание нагрузок**

- Щелчком по кнопке сосредоточенной силы вызовите диалоговое окно **Параметры нагрузки** (рис.8.16).
- В этом окне задайте величину силы **P = 0.15 т**.
- Щелкните по кнопке  – **Подтвердить**.

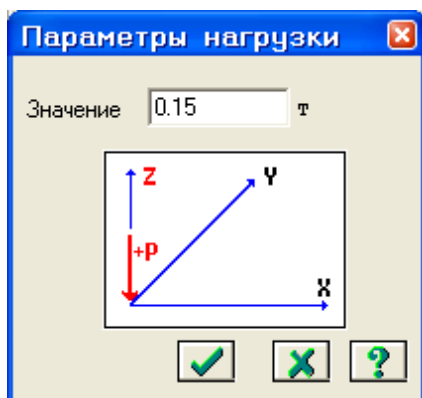


Рис.8.16. Диалоговое окно **Параметры нагрузки**



- После этого в диалоговом окне **Задание нагрузок** щелкните по кнопке  – **Применить**.

Вывод на экран номеров элементов

- В диалоговом окне **Показать** перейдите на первую закладку **Элементы** и установите флажок **Номера элементов**.

- Щелкните по кнопке  – **Перерисовать**.

Формирование загрузки № 2

- Смените номер текущего загрузки, вызвав диалоговое окно **Активное загрузке** (рис.8.17) с помощью меню **Нагрузки** ⇒ **Выбор загрузки** (кнопка  на панели инструментов).
- В этом диалоговом окне задайте номер загрузки **2**.
- Щелкните по кнопке  – **Подтвердить**.

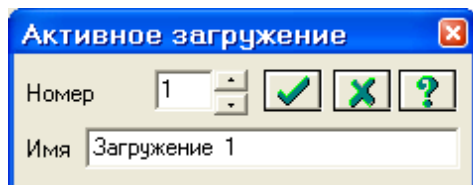




Рис.8.17. Диалоговое окно **Активное загрузке**

- С помощью меню **Выбор** ⇒ **ПолиФильтр** (кнопка  на панели инструментов) вызовите диалоговое окно **ПолиФильтр** (рис.8.18).
- В этом окне перейдите на вторую закладку **Фильтр для элементов**.
- Установите флажок **По номерам КЭ** и в соответствующем поле введите номера элементов **1 – 10**.
- Щелкните по кнопке  – **Применить**.

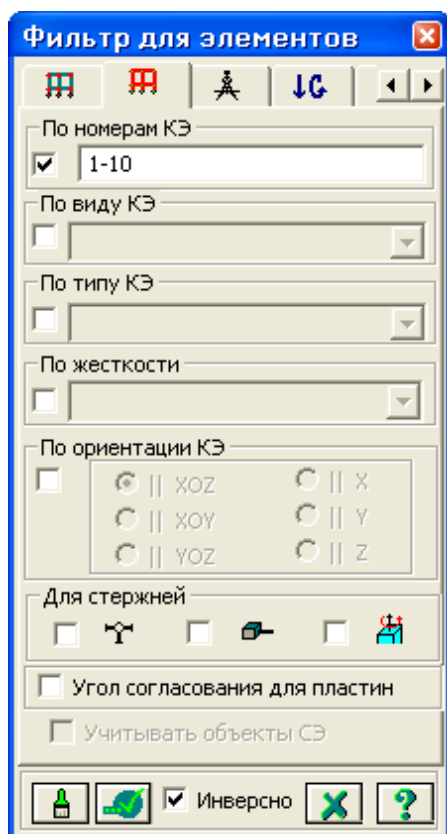
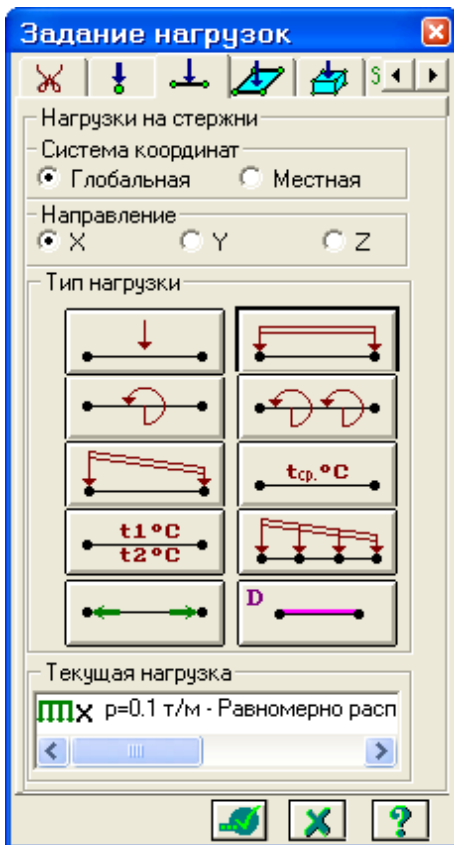
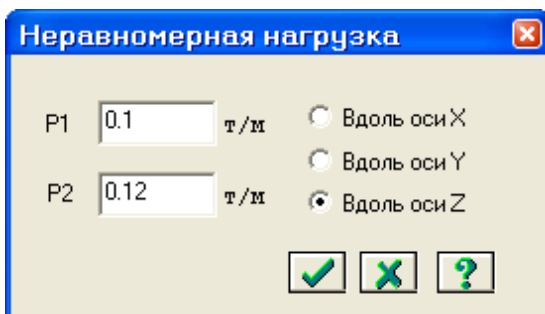


Рис.8.18. Диалоговое окно **Фильтр для элементов**




- В диалоговом окне **Задание нагрузок** перейдите на третью закладку **Нагрузки на стержни**.
- Затем включите радио-кнопку **X** для задания направление воздействия нагрузки (рис.8.19).

Рис.8.19. Диалоговое окно **Задание нагрузок**

- Щелчком по кнопке равномерно распределенной нагрузки вызовите диалоговое окно **Параметры**.
- В этом окне задайте интенсивность нагрузки $p = 0.1$ т/м.
- Щелкните по кнопке – **Подтвердить**.
- После этого в диалоговом окне **Задание нагрузок** щелкните по кнопке – **Применить**.
- В диалоговом окне **Фильтр для элементов** введите номера элементов **11 – 20**.
- Щелкните по кнопке – **Применить**.
- В диалоговом окне **Задание нагрузок** щелчком по кнопке трапециевидной нагрузки на группу стержней вызовите диалоговое окно **Неравномерная нагрузка** (рис.8.20).
- В этом окне задайте значение нагрузки в начале и в конце ее приложения: $p1 = 0.1$ т/м, $p2 = 0.12$ т/м.
- Для указания направления изменения величины нагрузки включите радио-кнопку **Вдоль оси Z**.
- Щелкните по кнопке – **Подтвердить**.

Рис.8.20. Диалоговое окно **Неравномерная нагрузка**


- После этого в диалоговом окне **Задание нагрузок** щелкните по кнопке – **Применить**.
- В диалоговом окне **Фильтр для элементов** введите номера элементов **21 – 40**.

- Щелкните по кнопке  – **Применить**.
- В диалоговом окне **Задание нагрузок** щелчком по кнопке трапециевидной нагрузки на группу стержней вызовите диалоговое окно **Неравномерная нагрузка**.
- В этом окне задайте значение нагрузки в начале и в конце ее приложения: $p_1 = 0.12$ т/м, $p_2 = 0.15$ т/м; включите радио-кнопку **Вдоль оси Z**.
- Щелкните по кнопке  – **Подтвердить**.
- После этого в диалоговом окне **Задание нагрузок** щелкните по кнопке  – **Применить**.



Моделирование нелинейных нагружений

Этап 7. Моделирование нелинейных нагружений

- С помощью меню **Нагрузки** ⇒ **Моделирование нелинейных нагружений** (кнопка  на панели инструментов) вызовите диалоговое окно **Моделирование нелинейных нагружений конструкции** (рис.8.21).
- В этом окне для первого нагружения задайте следующие параметры:
 - № нагружения – **1**;
 - в раскрывающемся списке **Метод расчета** выберите строку **(2) Автоматический выбор шага для геометрически нелинейных задач**;
 - в раскрывающемся списке **Печать** выберите строку **Перемещения и усилия после каждого шага**.
- Щелкните по кнопке **Подтвердить** (происходит автоматическое переключение на вторую строку).
- Для второго нагружения задайте следующие параметры:
 - № нагружения – **2**;
 - установите флажок **Учет предистории**;
 - в раскрывающемся списке **Метод расчета** выберите строку **(2) Автоматический выбор шага для геометрически нелинейных задач**;
 - в раскрывающемся списке **Печать** выберите строку **Перемещения и усилия после каждого шага**.
- Щелкните по кнопке **Подтвердить**.
- Для окончания моделирования нелинейных нагружений, щелкните по кнопке **Заккрыть**.

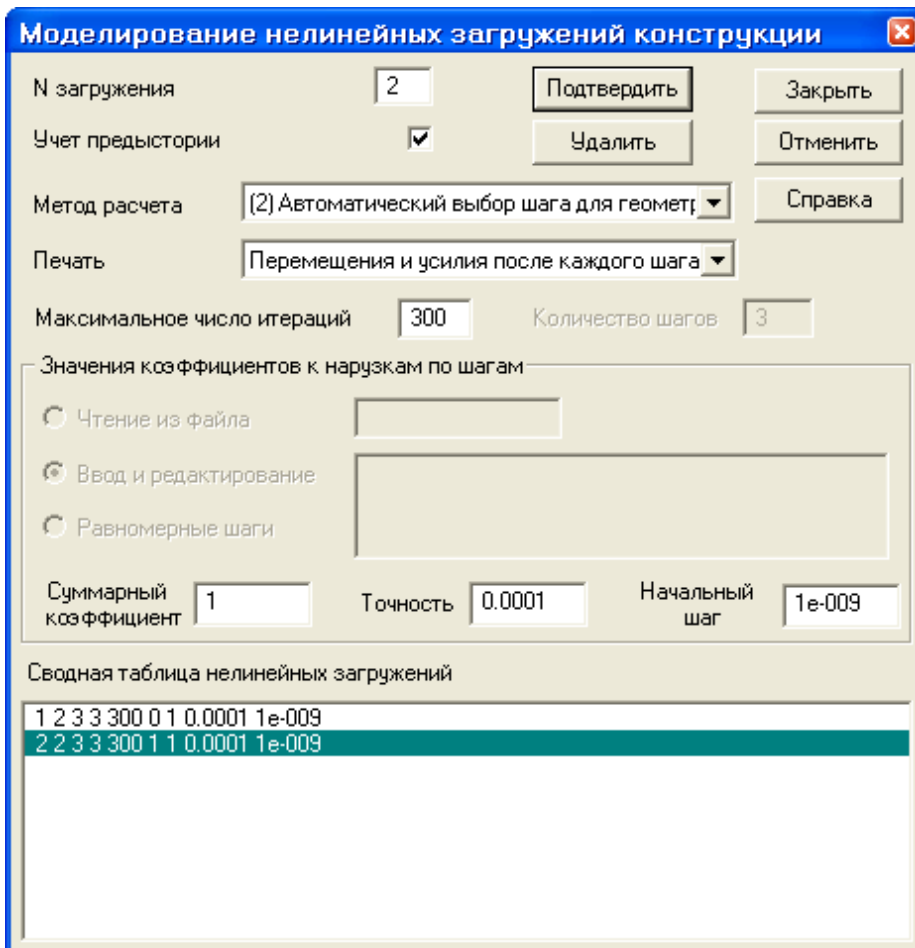


Рис.8.21. Диалоговое окно Моделирование нелинейных нагрузок конструкции



Геометрически нелинейный расчет мачты



Этап 8. Геометрически нелинейный расчет мачты

- Запустите задачу на расчет с помощью меню **Режим** ⇒ **Выполнить расчет** (кнопка  на панели инструментов).



Просмотр и анализ результатов расчета

Этап 9. Просмотр и анализ результатов расчета

- После расчета задачи, переход в режим результатов расчета осуществляется с помощью меню **Режим** ⇒ **Результаты расчета** (кнопка  на панели инструментов).
- В режиме просмотра результатов расчета по умолчанию расчетная схема отображается с учетом перемещений узлов (рис.8.22). Для отображения схемы без учета перемещений узлов выполните пункт меню **Схема** ⇒ **Исходная схема** (кнопка  на панели инструментов).

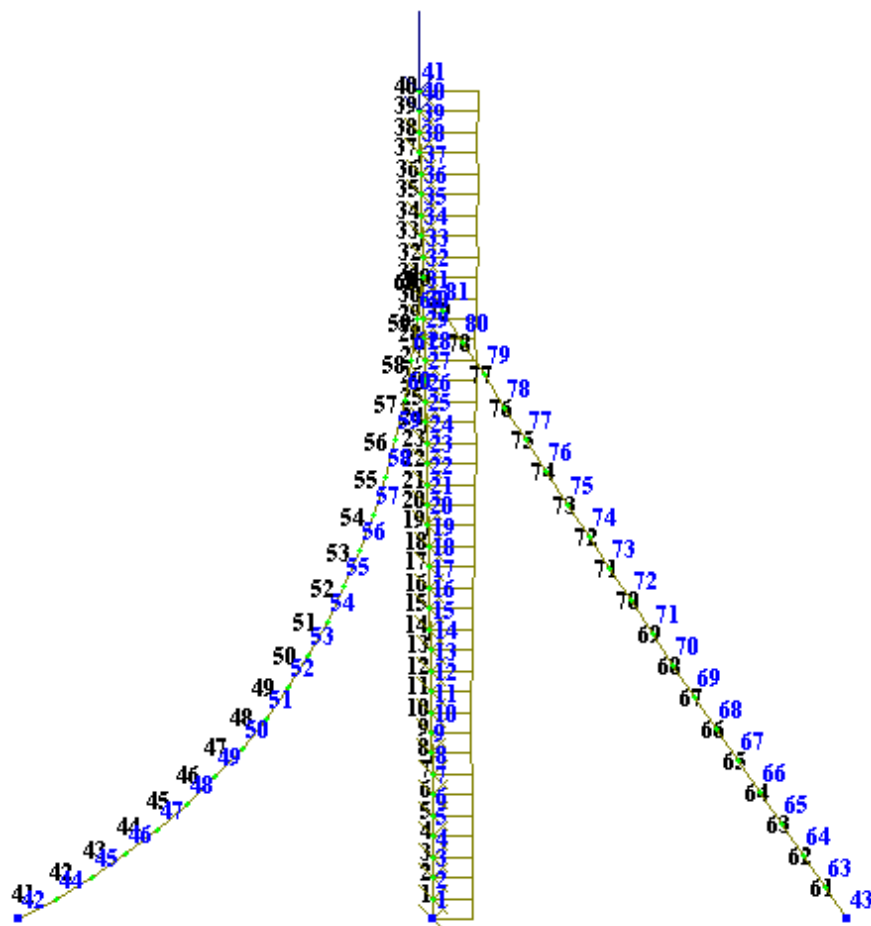







Рис.8.22. Расчетная схема с учетом перемещений узлов

Вывод на экран мозаик перемещений и усилий

- Выведите на экран мозаику перемещений по направлению **X** с помощью меню **Деформации** ⇒ **В глобальной системе** ⇒ **Узловые перемещения** ⇒ **Мозаика перемещений по X** (кнопки , а затем  на панели инструментов).
- Выведите на экран мозаику усилия **N** с помощью меню **Усилия** ⇒ **Эпюры** ⇒ **Мозаика N** (кнопки , а затем  на панели инструментов).

Вывод информации о выбранном узле

- Выполните пункт меню **Выбор** ⇒ **Информация об узле или элементе** (кнопка  на панели инструментов).
- Укажите курсором на узел № 41. Открывается диалоговое окно **Узел 41** (рис.8.23), которое содержит № узла, № загрузки и величину нагрузки на заданный узел, значения перемещений узла в глобальной системе координат.

Узел 41

Координаты		Связи	
X	0 м	<input type="checkbox"/> X	<input type="checkbox"/> UX
Y	0 м	<input type="checkbox"/> Y	<input type="checkbox"/> UY
Z	40 м	<input type="checkbox"/> Z	<input type="checkbox"/> UZ

№ узла	Блок N	№ ж.т.	<input type="checkbox"/> Отметить
41	1		

Нагрузки

☒ Загружение № загр. 1

☐ РСН

↓ z P=0.15 т · Сила вдоль глобальной c

← [] →

Новая Удалить

Перемещения в глобальной системе

X	-115.697 мм	UX	0
Y	0 мм	UY	-3.84449
Z	-1.58233 мм	UZ	0

Перемещения в локальной системе

X	0	UX	0
Y	0	UY	0
Z	0	UZ	0

✕ ?

Рис.8.23. Диалоговое окно Информация об узле № 41

[Вывод информации о выбранном элементе](#)

- Укажите курсором на элемент № 1. Открывается диалоговое окно **Элемент 1** (рис.8.24).

Рис.8.24. Диалоговое окно Информация об элементе № 1



Окно содержит номер элемента, номера его узлов на схеме, указатель отметки элемента на схеме, тип жесткости, библиотечный тип конечного элемента, количество расчетных сечений, номер блока, в который входит рассматриваемый элемент, длину и координаты центра тяжести элемента в глобальной системе координат, скроллинг номеров загрузок, скроллинг номеров сечений.

Окно содержит следующие закладки:

- список заданных нагрузок;
- параметры коэффициентов постели;
- параметры жестких вставок;
- наличие и направление шарниров;
- угол вращения местных осей;
- значения усилий в сечении стержня в текущем нагружении.

Установленный флажок **Эпюры** позволяет получить эпюры усилий и прогибов в текущем стержневом элементе, отображаемые в окне **навигатора эпюр**.

Щелчок по кнопке с наименованием эпюры в окне **навигатора эпюр** позволяет убрать или добавить соответствующую эпюру.

- Для отображения эпюр усилий и прогибов, в этом окне установите флажок **Эпюры**. Открывается диалоговое окно **навигатора эпюр** (рис.8.25).

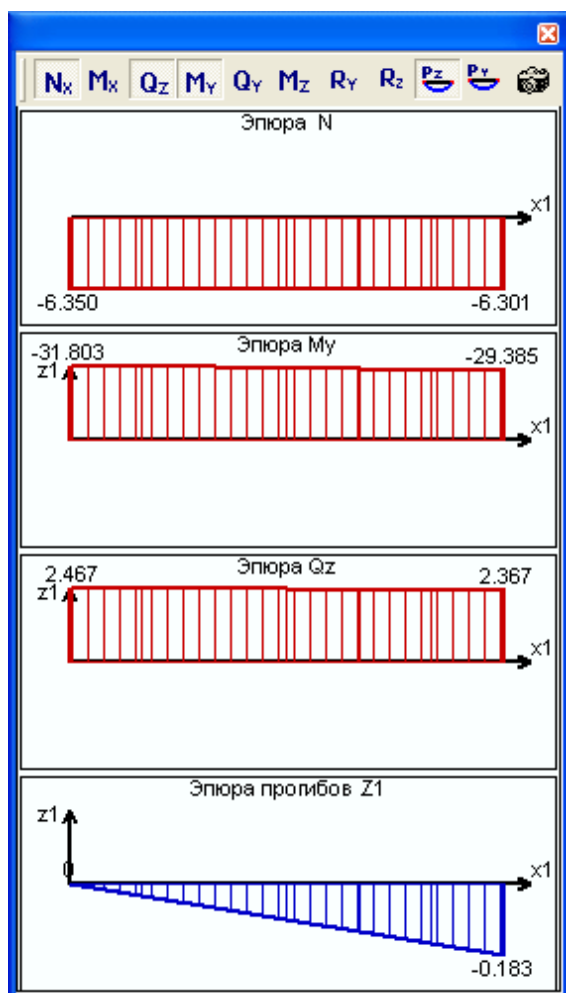


Рис.8.25. Диалоговое окно навигатора эпюр

Формирование и просмотр таблиц результатов расчета

- Для вывода протокола расчета выполните пункт меню **Окно** ⇒ **Стандартные таблицы**.
- После этого в диалоговом окне **Стандартные таблицы** (рис.8.26) выделите строку **Протокол решения**.
- Щелкните по кнопке **Просмотр**.

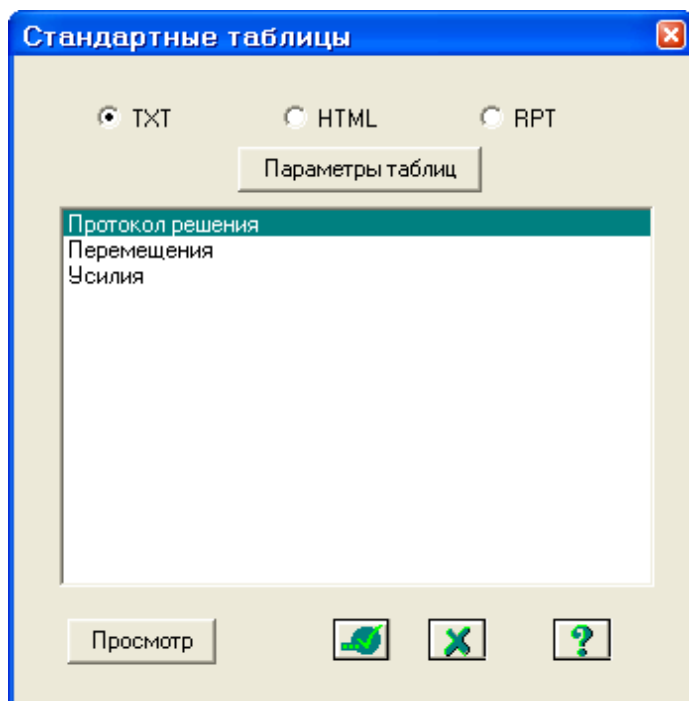


Рис.8.26. Диалоговое окно Стандартные таблицы

➤ Для того чтобы закрыть таблицу, выполните пункт меню **Файл** ⇒ **Заккрыть**.

