

Пример 7. Нелинейный расчет двухпролетной балки

Цели и задачи:

- составить расчетную схему двухпролётной балки;
- сформировать таблицу моделирования нелинейных нагрузжений.

Исходные данные:

Схема балки и ее закрепление показаны на рис.7.1.

Сечения элементов балки показаны на рис.7.2.

Материал балки – железобетон В25, арматура А-III.

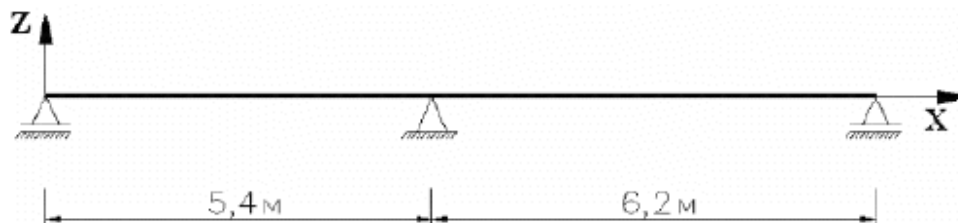


Рис.7.1. Схема балки

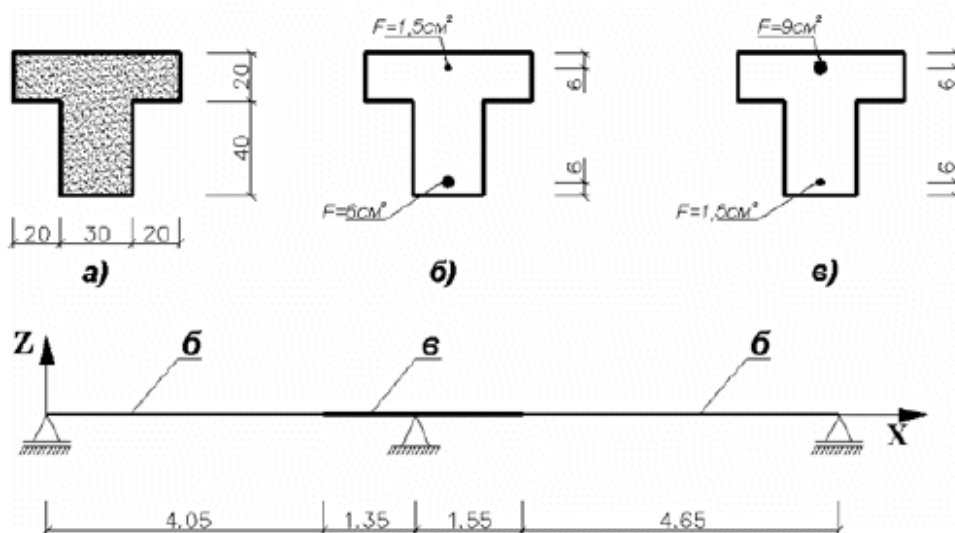


Рис.7.2. Сечения элементов балки: а) размеры сечения; б) пролётное сечение; в) опорное сечение.

Нагрузки:

- загрузка 1 – собственный вес (рис.7.3);

Загрузка 1

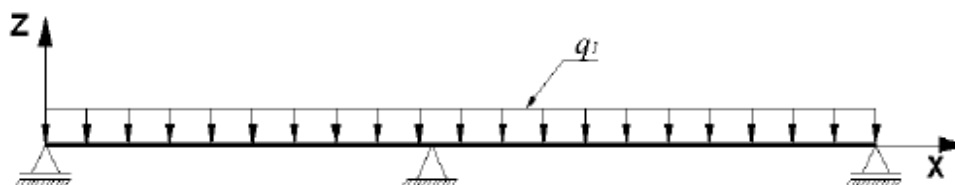


Рис.7.3. Схема загрузки 1 балки

- загрузка 2 – равномерно распределенная $q_2 = 0.3$ т/м (рис.7.4);

Загрузка 2

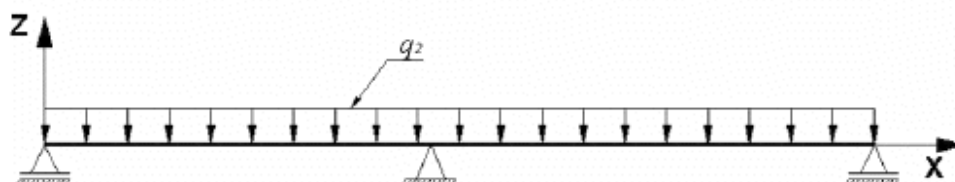


Рис.7.4. Схема загрузки 2 балки

- загрузка 3 – равномерно распределенная в первом пролете $q_3 = 0.87$ т/м (рис.7.5);

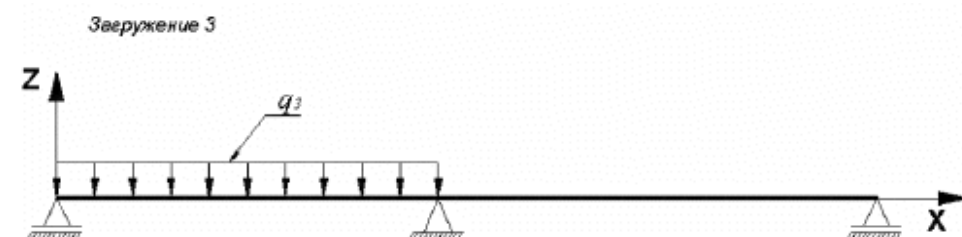


Рис.7.5. Схема загрузки 3 балки

- загрузка 4 – равномерно распределенная во втором пролете $q_4 = 0.87$ т/м (рис.7.6);

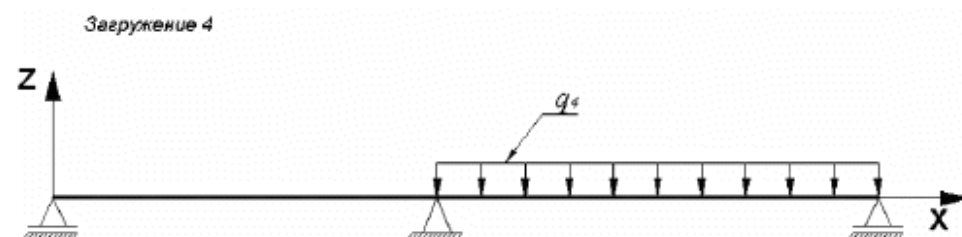


Рис.7.6 Схема загрузки 4 балки



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.7.7) задайте следующие параметры:
 - имя создаваемой задачи – **Пример7** (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.7.7. Диалоговое окно **Признак схемы**



Создание геометрической схемы балки

Этап 2. Создание геометрической схемы балки

- Вызовите диалоговое окно **Создание плоских фрагментов и сетей** с помощью меню **Схема ⇒ Создание ⇒ Регулярные фрагменты и сети** (кнопка  на панели инструментов).
- Принимаем деление пролетов балки на 4 части. Поэтому в этом диалоговом окне задайте следующие параметры:
 - Шаг вдоль первой оси:

L(м)	N
1.35	4
1.55	4
 - Остальные параметры принимаются по умолчанию (рис.7.8).
- После этого щелкните по кнопке  – **Применить**.

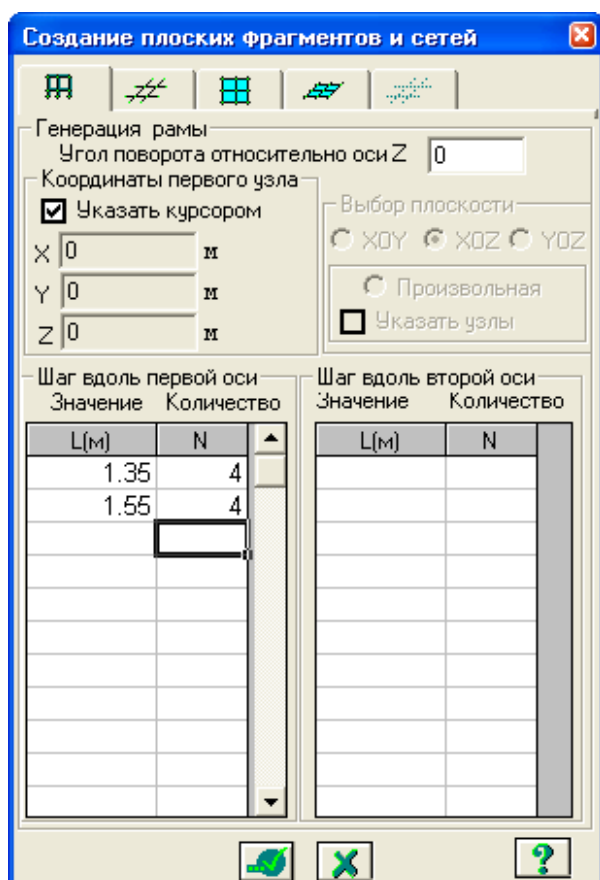



Рис.7.8. Диалоговое окно **Создание плоских фрагментов и сетей**

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 – **Пример7**;
 - папку, в которую будет сохранена эта задача (по умолчанию выбирается папка – **LData**).
- Щелкните по кнопке **Сохранить**.



Задание граничных условий

Этап 3. Задание граничных условий

Вывод на экран номеров узлов и элементов


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

На рис.7.9 представлена полученная схема.





Рис.7.9. Нумерация узлов и элементов расчетной схемы

Выделение узлов № 1 и 9

- Выполните пункт меню **Выбор** ⇒ **Отметка узлов** (кнопка  на панели инструментов).
- С помощью курсора выделите узлы № 1 и 9 (узлы окрашиваются в красный цвет).

Задание граничных условий в узлах № 1 и 9

- С помощью пункта меню **Схема** ⇒ **Связи** (кнопка  на панели инструментов) вызовите диалоговое окно **Связи в узлах** (рис.7.10).
- В этом окне, с помощью установки флажков, отметьте направления, по которым запрещены перемещения узлов (**Z**).
- После этого щелкните по кнопке  – **Применить** (узлы окрашиваются в синий цвет).

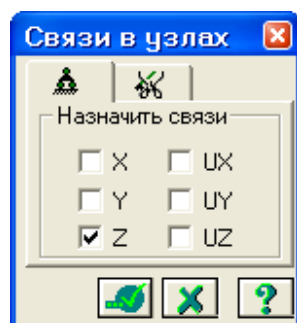




Рис.7.10. Диалоговое окно **Связи в узлах**

Задание граничных условий в узле № 5


- Выделите с помощью курсора узел № 5.
- В диалоговом окне **Связи в узлах** отметьте направления, по которым запрещено перемещение узла (**X, Z**). Для этого необходимо установить флажок по направлению **X**.
- Щелкните по кнопке  – **Применить**.
- Выполните пункт меню **Выбор** ⇒ **Отметка узлов** (кнопка  на панели инструментов), чтобы снять активность с операции выделения узлов.



Задание жесткостных параметров элементам балки

Этап 4. Задание жесткостных параметров элементам балки

Формирование типов жесткости

- С помощью меню **Жесткости** ⇒ **Жесткости элементов** (кнопка  на панели инструментов) вызовите диалоговое окно **Жесткости элементов** (рис.7.11).
- В этом окне щелкните по кнопке **Добавить** для того, чтобы вывести список стандартных типов сечений.

- Выберите двойным щелчком мыши на элементе графического списка тип сечения **Тавр_Т**.

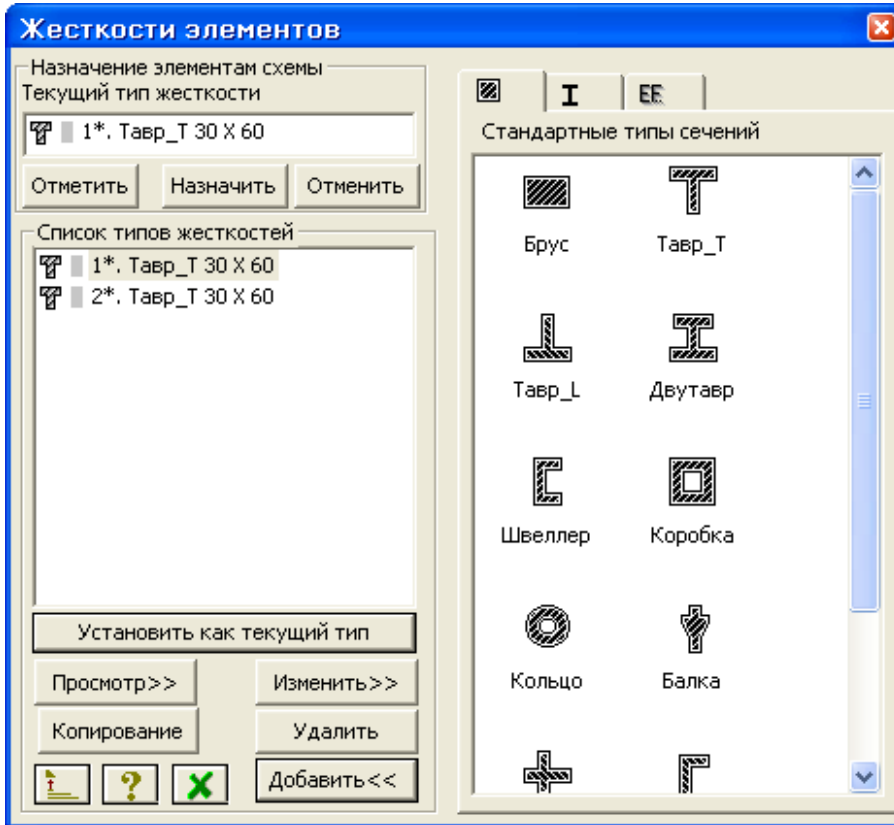


Рис.7.11. Диалоговое окно Жесткости элементов

- В диалоговом окне **Задание стандартного сечения** (рис.7.12) задайте параметры сечения **Тавр_Т**:
- геометрические размеры – **B** = 30 см; **H** = 60 см; **B1** = 70 см; **H1** = 20 см;
 - удельный вес материала – **Ro** = 2.75 т/м³.
- Далее установите флажок **Учет нелинейности**.

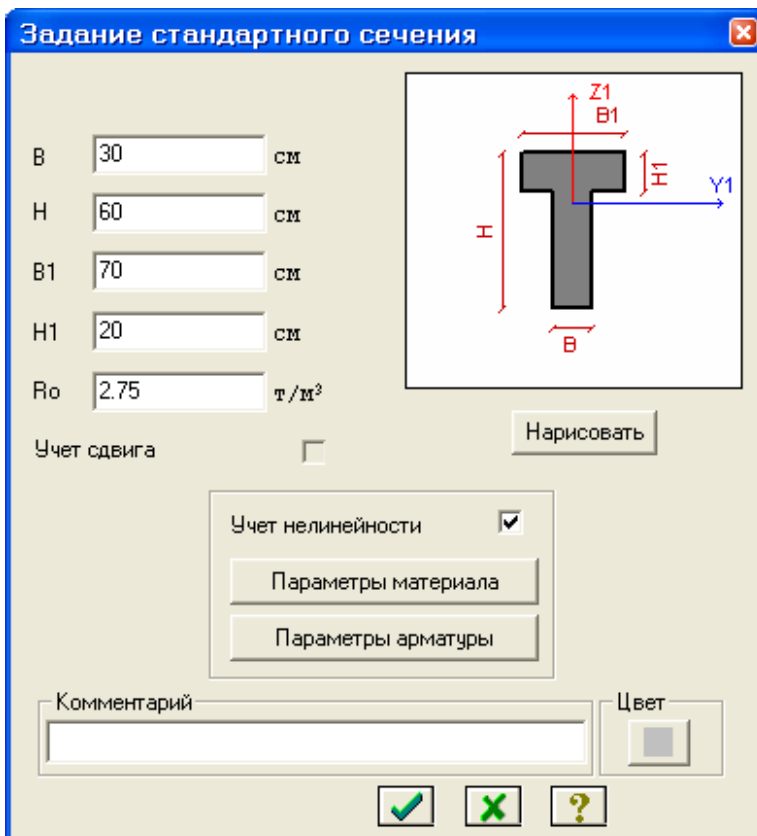


Рис.7.12. Диалоговое окно Задание стандартного сечения

- Для задания материала щелкните по кнопке **Параметры материала**. Вызывается диалоговое окно **Законы нелинейного деформирования материалов** (рис.7.13).
- В этом окне, для основного материала, в раскрывающемся списке **Закон нелинейного деформирования** выберите строку **25 – экспоненциальный (нормативная прочность) закон деформирования**.
- В таблице **Параметры закона нелинейного деформирования**, после двойного щелчка по ячейке значений задайте параметры основного материала (бетона):
 - класс бетона – **B25**;
 - тип бетона – **ТБ**.

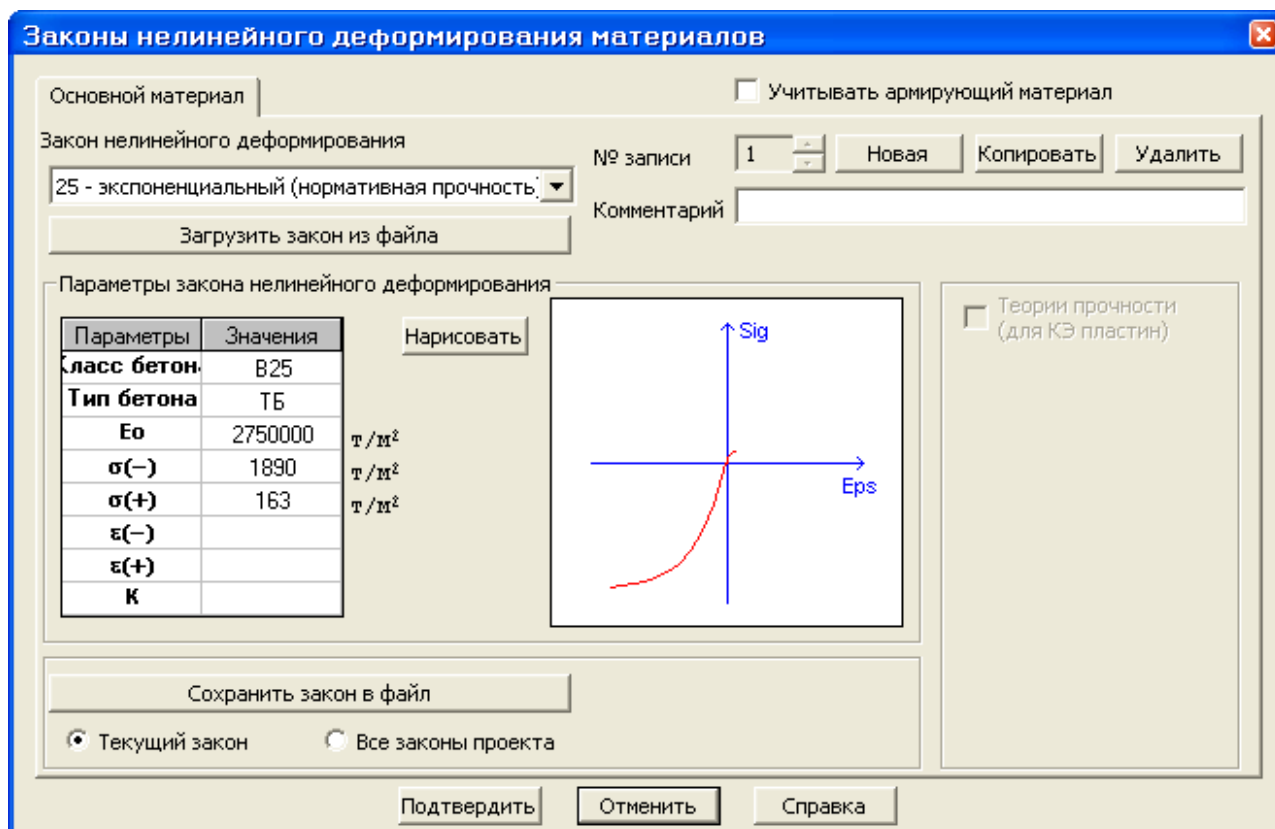


Рис.7.13. Диалоговое окно **Законы нелинейного деформирования материалов** для основного материала

- Далее в этом же окне установите флажок **Учитывать армирующий материал** (рис.7.14) и перейдите на закладку **Армирующий материал**.
- В таблице **Параметры закона нелинейного деформирования** задайте следующие параметры (при английской раскладке клавиатуры):
 - модуль упругости – **Ео(-)** = 2e7 т/м²;
 - модуль упругости – **Ео(+)** = 2e7 т/м²;
 - предельное напряжение **s(-)** = -36000 т/м²;
 - предельное напряжение **s(+)** = 36000 т/м².
- Для ввода данных щелкните по кнопке **Подтвердить**.

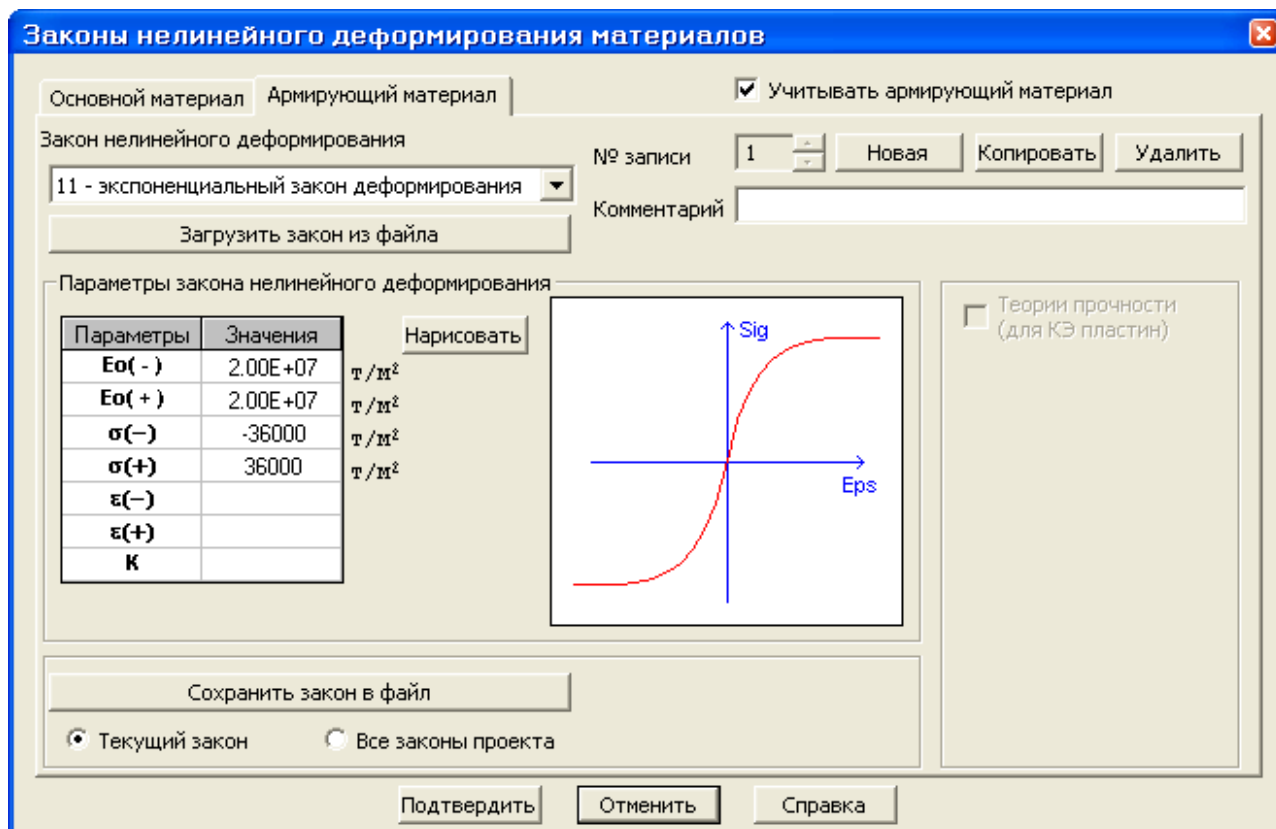


Рис.7.14. Диалоговое окно **Закон нелинейного деформирования материалов** для армирующего материала

- Для задания расположения и площади арматуры, в диалоговом окне **Задание стандартного сечения** (рис.7.12) щелкните по кнопке **Параметры арматуры**. Вызывается диалоговое окно **Характеристики физической нелинейности стержней** (рис.7.15).
- В этом окне, для выбора арматурных включений, щелкните по кнопке **Точечная арматура**.
- Задайте параметры арматуры для первого слоя арматуры:
 - площадь арматуры – $F_a = 6 \text{ см}^2$;
 - координаты привязки – $y = 0 \text{ см}$; $z = 6 \text{ см}$.
- В раскрывающемся списке **Номер слоя арматуры** выберите номер **2**.
- Задайте параметры арматуры для второго слоя арматуры:
 - площадь арматуры – $F_a = 1.5 \text{ см}^2$;
 - координаты привязки – $y = 0 \text{ см}$; $z = 54 \text{ см}$.
- Для выбора типа дробления поперечного сечения, щелкните по кнопке **Дробление на элементарные полосы**.
- Чтобы увидеть эскиз сечения щелкните по кнопке **Нарисовать**.
- Для ввода данных щелкните по кнопке **Подтвердить**.

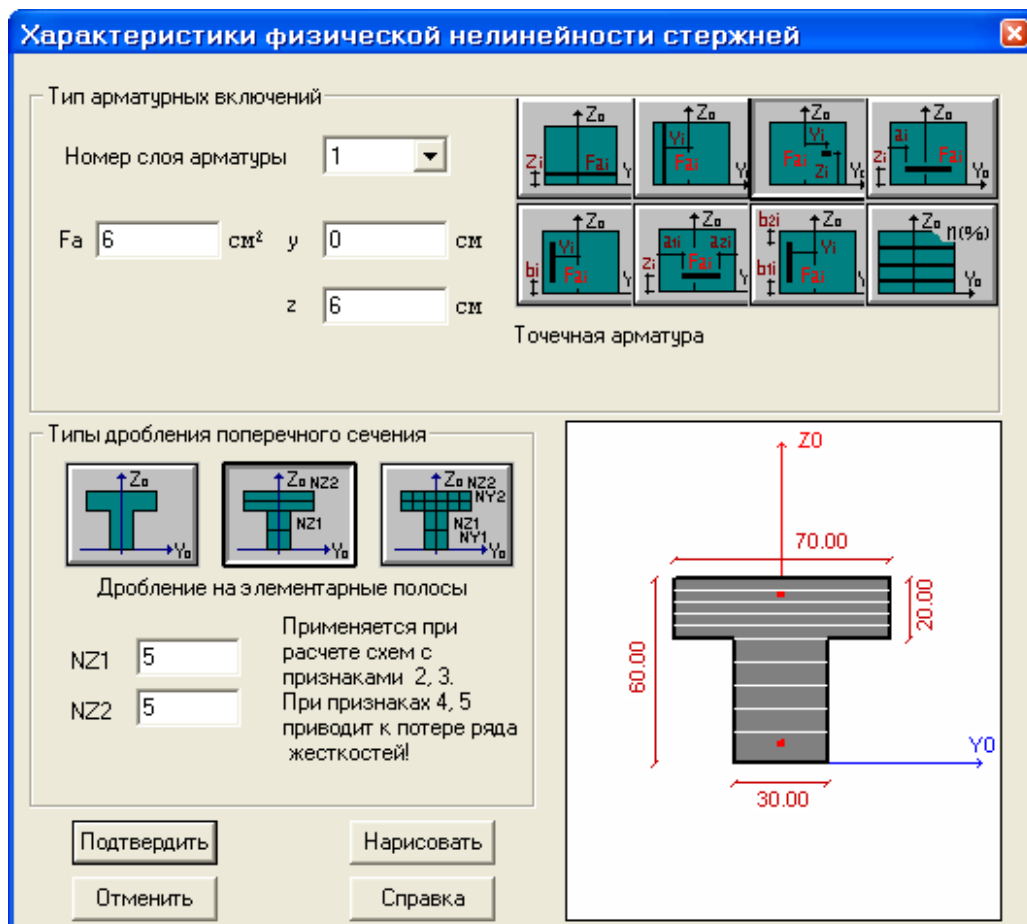



Рис.7.15. Диалоговое окно Характеристики физической нелинейности стержней

- После этого в диалоговом окне **Задание стандартного сечения** щелкните по кнопке  – **Подтвердить**.
- В диалоговом окне **Жесткости элементов** (рис.7.11) в списке типов жесткостей с помощью курсора выделите строку **1*.Тавр_Т 30х60** и щелкните по кнопке **Копирование**.
- После этого в списке типов жесткостей выделите строку **2*.Тавр_Т 30х60** и щелкните по кнопке **Изменить**.
- В диалоговом окне **Задание стандартного сечения** щелкните по кнопке **Параметры арматуры**. Вызывается диалоговое окно **Характеристики физической нелинейности стержней** (рис.7.16).
- В закладке **Тип арматурных включений** выбран тип **Точечная арматура**.
- Задайте параметры арматуры для первого слоя арматуры:
 - площадь арматуры – $F_a = 1.5 \text{ см}^2$;
 - координаты привязки – $y = 0 \text{ см}$; $z = 6 \text{ см}$.
- В раскрывающемся списке **Номер слоя арматуры** выберите номер **2**.
- Задайте параметры арматуры для второго слоя арматуры:
 - площадь арматуры – $F_a = 9 \text{ см}^2$;
 - координаты привязки – $y = 0 \text{ см}$; $z = 54 \text{ см}$.
- Для ввода данных щелкните по кнопке **Подтвердить**.

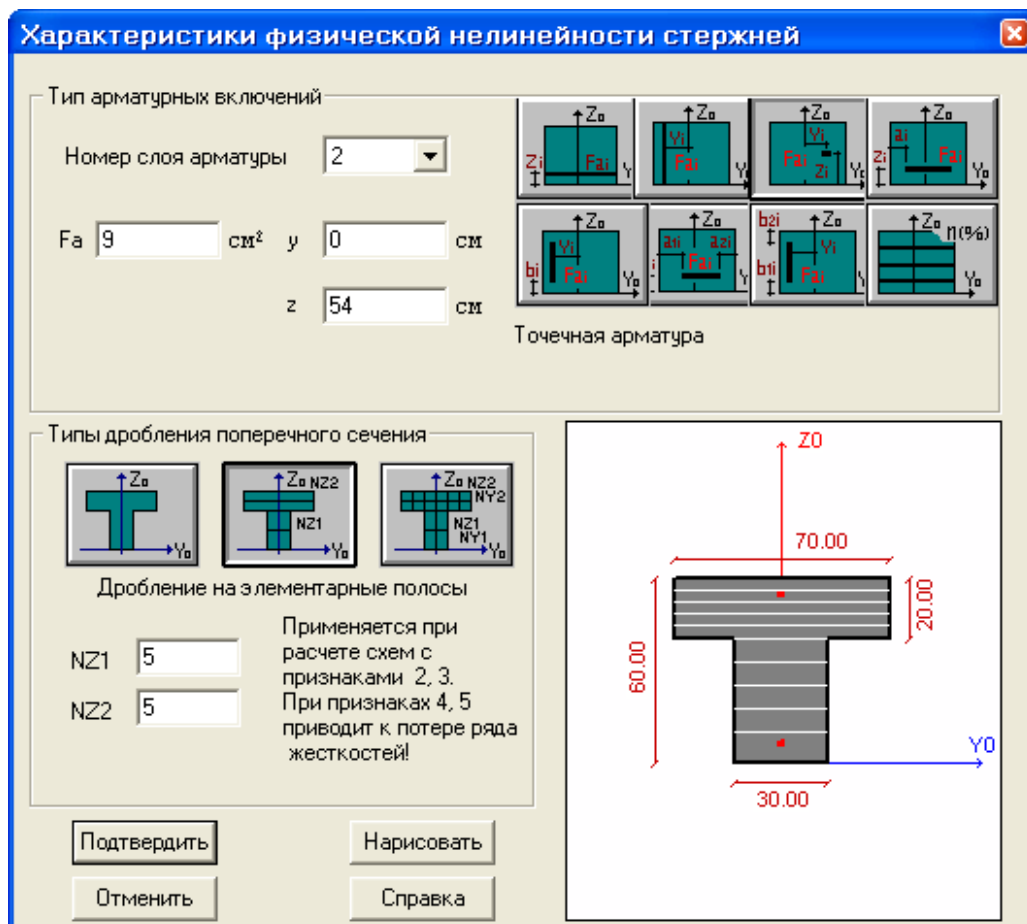





Рис.7.16. Диалоговое окно Характеристики физической нелинейности стержней

- После этого в диалоговом окне **Задание стандартного сечения** щелкните по кнопке  – **Подтвердить**.

Смена типа конечных элементов

- Выполните пункт меню **Выбор** ⇒ **Отметка горизонтальных элементов** (кнопка  на панели инструментов).
- С помощью курсора выделите все элементы балки.
- Выполните пункт меню **Схема** ⇒ **Корректировка** ⇒ **Смена типа конечного элемента** (кнопка  на панели инструментов).
- В диалоговом окне **Смена типа конечного элемента** (рис.7.17) с помощью курсора выделите строку **Тип 210 – физически нелинейный универсальный пространственный стержневой КЭ**.
- Щелкните по кнопке  – **Применить**.

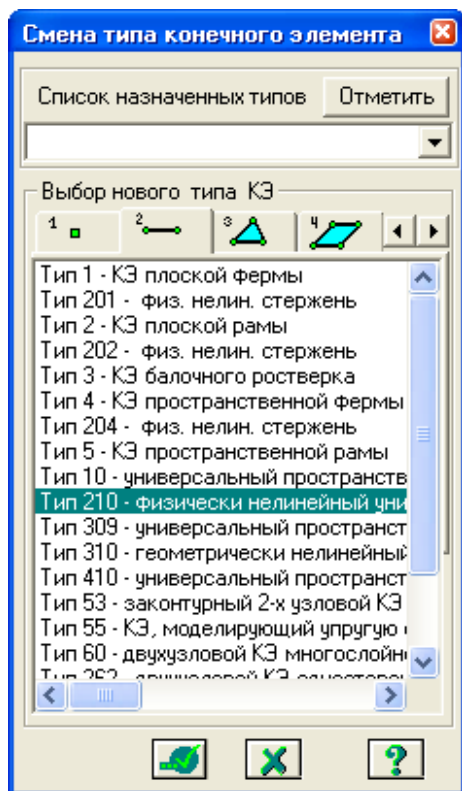



Рис.7.17. Диалоговое окно Смена типа конечного элемента

Назначение жесткостей элементам балки


- Выполните пункт меню **Жесткости** ⇒ **Жесткости элементов** (кнопка  на панели инструментов).
- В диалоговом окне **Жесткости элементов** в списке типов жесткостей выделите курсором тип жесткости **1*.Тавр_Т 30х60**.
- 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).
- С помощью курсора выделите элементы № 1, 2, 3, 6, 7 и 8.
- В диалоговом окне **Жесткости элементов** щелкните по кнопке **Назначить**.
- В диалоговом окне **Жесткости элементов** в списке типов жесткостей выделите курсором тип жесткости **2*.Тавр_Т 30х60**.
- Щелкните по кнопке **Установить как текущий тип**.
- С помощью курсора выделите элементы № 4 и 5.
- В диалоговом окне **Жесткости элементов** щелкните по кнопке **Назначить**.

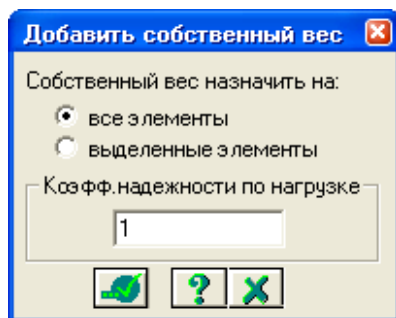


Задание нагрузок



Этап 5. Задание нагрузок

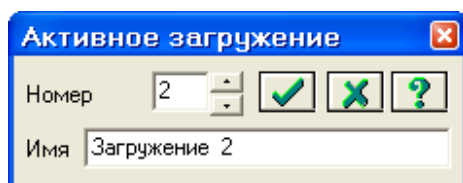
Формирование загрузки № 1


- Выполните пункт меню **Нагрузки** ⇒ **Добавить собственный вес**.
- В диалоговом окне **Добавить собственный вес** (рис.7.18), при включенной радио-кнопке **все элементы** и заданном коэф. надежности по нагрузке равном 1, щелкните по кнопке  – **Применить**.

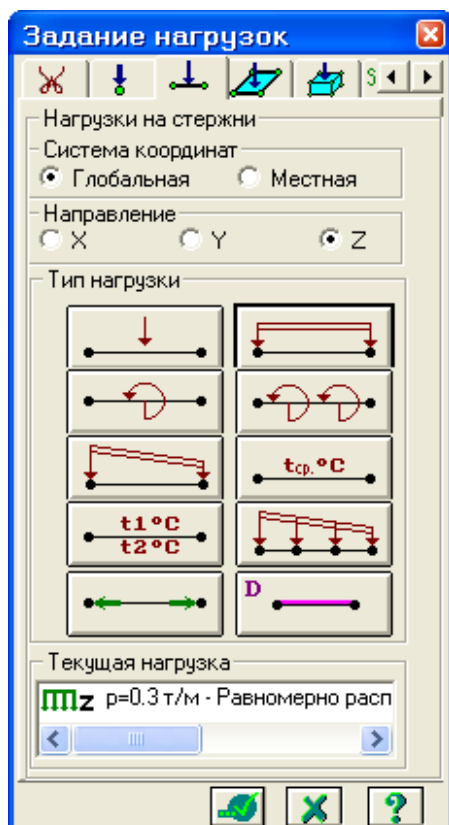
Рис.7.18. Диалоговое окно **Добавить собственный вес**

Формирование загрузки № 2

- Смените номер текущего загрузки, вызвав диалоговое окно **Активное загрузке** (рис.7.19) с помощью меню **Нагрузки** ⇒ **Выбор загрузки** (кнопка  на панели инструментов).
- В этом диалоговом окне задайте номер загрузки **2**.
- Щелкните по кнопке  – **Подтвердить**.

Рис.7.19. Диалоговое окно **Активное загрузке**

- Выделите все элементы.
- Вызовите диалоговое окно **Задание нагрузок** (рис.7.20) с помощью меню **Нагрузки** ⇒ **Нагрузка на узлы и элементы** (кнопка  на панели инструментов).
- В этом окне перейдите на закладку **Нагрузки на стержни** (по умолчанию указана система координат **Глобальная**, направление – вдоль оси **Z**).

Рис.7.20. Диалоговое окно **Задание нагрузок**






- Щелчком по кнопке равномерно распределенной нагрузки вызовите диалоговое окно **Параметры**.
- В этом окне задайте интенсивность нагрузки $p = 0.3$ т/м (рис.7.21).
- Щелкните по кнопке  – **Подтвердить**.




Рис.7.21. Диалоговое окно **Параметры**

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

Формирование загрузки № 3

- Смените номер текущего загрузки, вызвав диалоговое окно **Активное загрузение** с помощью меню **Нагрузки** ⇒ **Выбор загрузки** (кнопка  на панели инструментов).
- В этом диалоговом окне смените номер загрузки на **3**.
- Щелкните по кнопке  – **Подтвердить**.
- С помощью курсора выделите элементы первого пролета № 1, 2, 3 и 4.
- В диалоговом окне **Задание нагрузок** щелчком по кнопке равномерно распределенной нагрузки вызовите диалоговое окно **Параметры**.
- В этом окне задайте интенсивность нагрузки $p = 0.87$ т/м.
- Щелкните по кнопке  – **Подтвердить**.
- После этого в диалоговом окне **Задание нагрузок** щелкните по кнопке  – **Применить**.

Формирование загрузки № 4

- Смените номер текущего загрузки, вызвав диалоговое окно **Активное загрузение** с помощью меню **Нагрузки** ⇒ **Выбор загрузки** (кнопка  на панели инструментов).
- В этом диалоговом окне смените номер загрузки на **4**.
- Щелкните по кнопке  – **Подтвердить**.
- С помощью курсора выделите элементы второго пролета № 5, 6, 7 и 8.
- В диалоговом окне **Задание нагрузок** щелкните по кнопке  – **Применить**.



Моделирование нелинейных загрузений

Этап 6. Моделирование нелинейных загрузений



Для того чтобы получить расчет балки с полезной нагрузкой в разных пролетах необходимо выполнить две последовательности приложения нагрузок.

- при включенной радио-кнопке **Равномерные шаги** задайте количество шагов **30**.

➤ Щелкните по кнопке **Подтвердить** (происходит автоматическое переключение на четвертую строку).

Формирование второй последовательности

➤ Чтобы получить вторую последовательность 1, 2 и 4 загрузки (полезная нагрузка во втором пролете), в диалоговом окне **Моделирование нелинейных нагружений конструкции** (рис.7.23) для первого нагружения задайте следующие параметры:

- № загрузки – **1**;
- в раскрывающемся списке **Метод расчета** выберите строку **(1) Простой шаговый**;
- в раскрывающемся списке **Печать** выберите строку **Перемещения и усилия после каждого шага**;
- при включенной радио-кнопке **Равномерные шаги** задайте количество шагов **5**.

➤ Щелкните по кнопке **Подтвердить** (происходит автоматическое переключение на пятую строку).

Моделирование нелинейных нагружений конструкции

N загрузки: 4 Подтвердить Закреть

Учет предыстории: ☒ Удалить Отменить

Метод расчета: (1) Простой шаговый Справка

Печать: Перемещения и усилия после каждого шага

Максимальное число итераций: 300 Количество шагов: 30

Значения коэффициентов к нагрузкам по шагам

☐ Чтение из файла

☐ Ввод и редактирование

☒ Равномерные шаги

Суммарный коэффициент: 1 Точность: 0.0001 Начальный шаг: 1e-009

Сводная таблица нелинейных нагружений

1	1	5	3	300	0	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
2	1	30	3	300	1	0.0333333	0.0333333	0.0333333	0.0333333	0.0333333
3	1	30	3	300	1	0.0333333	0.0333333	0.0333333	0.0333333	0.0333333
1	1	5	3	300	0	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
2	1	30	3	300	1	0.0333333	0.0333333	0.0333333	0.0333333	0.0333333

Рис.7.23. Диалоговое окно **Моделирование нелинейных нагружений конструкции**

➤ Для второго нагружения задайте следующие параметры:

- № загрузки – **2**;
- установите флажок **Учет предыстории**;
- в раскрывающемся списке **Метод расчета** выберите строку **(1) Простой шаговый**;
- в раскрывающемся списке **Печать** выберите строку **Перемещения и усилия после каждого шага**;
- при включенной радио-кнопке **Равномерные шаги** задайте количество шагов **30**.

➤ Щелкните по кнопке **Подтвердить** (происходит автоматическое переключение на шестую строку).

➤ Для четвертого нагружения задайте следующие параметры:

- № загрузки – **4**;
- установите флажок **Учет предыстории**;
- в раскрывающемся списке **Метод расчета** выберите строку **(1) Простой шаговый**;

- в раскрывающемся списке **Печать** выберите строку **Перемещения и усилия после каждого шага**;
 - при включенной радио-кнопке **Равномерные шаги** задайте количество шагов **30**.
- Щелкните по кнопке **Подтвердить**.
- Для окончания моделирования нелинейных загрузок, щелкните по кнопке **Заккрыть**.



Физически нелинейный расчет балки



Этап 7. Физически нелинейный расчет балки

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



Просмотр и анализ результатов расчета

Этап 8. 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.7.24). Для отображения схемы без учета перемещений узлов выполните пункт меню **Схема** ⇒ **Исходная схема** (кнопка  на панели инструментов).

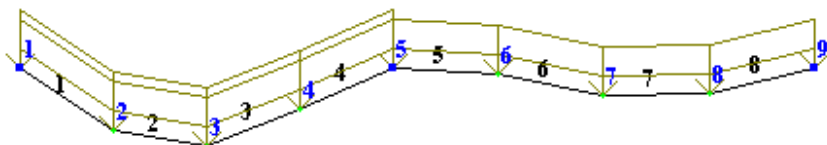






Рис.7.24. Расчетная схема балки с учетом перемещений узлов

Отключение отображения номеров узлов, номеров элементов и нагрузок на расчетной схеме

- Выполните пункт меню **Опции** ⇒ **Флаги рисования** (кнопка  на панели инструментов).
- В диалоговом окне **Показать** при активной закладке **Элементы** снимите флажок **Номера элементов**.
- После этого перейдите на вторую закладку **Узлы** и снимите флажок **Номера узлов**.
- Далее перейдите на третью закладку **Общие** и снимите флажок **Нагрузки**.
- Щелкните по кнопке  – **Перерисовать**.

Вывод на экран эпюр внутренних усилий

- Выведите на экран эпюру **M_y** (рис.7.25) с помощью меню **Усилия** ⇒ **Эпюры** ⇒ **Эпюры изгибающих моментов (M_y)** (кнопки  , а затем  на панели инструментов).

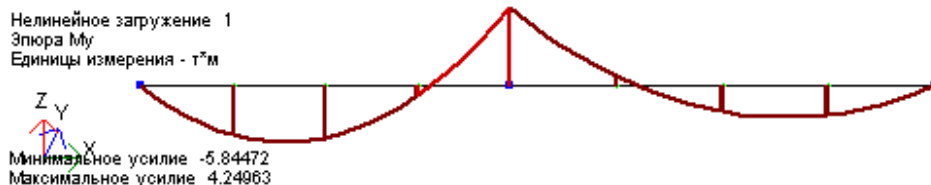



Рис.7.25. Эпюры изгибающих моментов M_y

- Для вывода эпюры **Q_z** (рис.7.26), выполните пункт меню **Усилия** ⇒ **Эпюры** ⇒ **Эпюры поперечных сил (Q_z)** (кнопка  на панели инструментов).

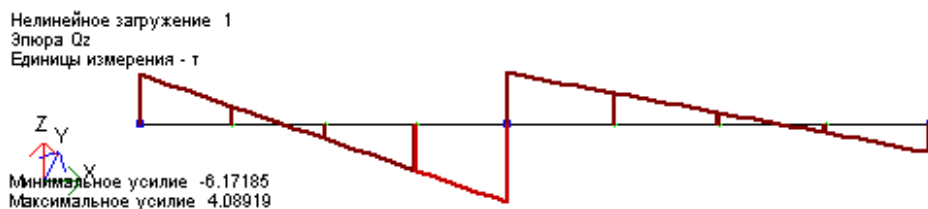



Рис.7.26. Эпюры поперечных сил Qz

- Чтобы вывести мозаику усилия **My**, выполните пункт меню **Усилия** ⇒ **Эпюры** ⇒ **Мозаика My** (кнопка  на панели инструментов).

Смена номера текущего нагружения

- На панели инструментов **Загружения**  смените номер нагружения на **2** и щелкните по кнопке  – **Применить**.

Формирование и просмотр таблицы сведений о состоянии материала

- Для того чтобы вызвать расчетный процессор, закройте все рабочие окна в системе **ЛИР-ВИЗОР** с помощью пункта меню **Файл** ⇒ **Заккрыть**. При этом программа переключается на режим начальной загрузки.
- Выполните пункт меню **Расчет** ⇒ **Расчетный процессор** (кнопка  на панели инструментов).
- В диалоговом окне **Параметры расчетного процессора** (рис.7.27) щелкните по кнопке **Таблицы результатов**.

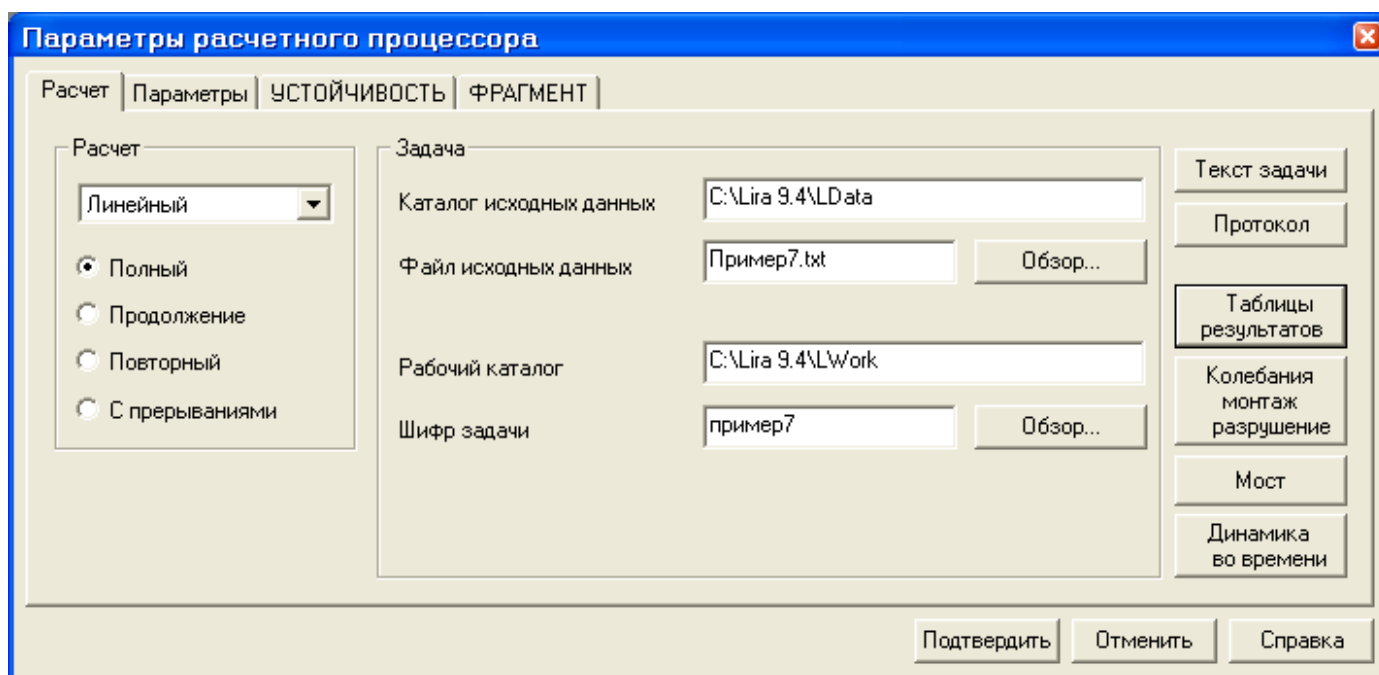


Рис.7.27. Диалоговое окно Параметры расчетного процессора

- В диалоговом окне **Открыть** (рис.7.28) в раскрывающемся списке выберите тип файлов **Состояние материалов (*_13.*)**.
- Выделите файл **Пример7_13.пример 7**.
- Щелкните по кнопке **Открыть**.

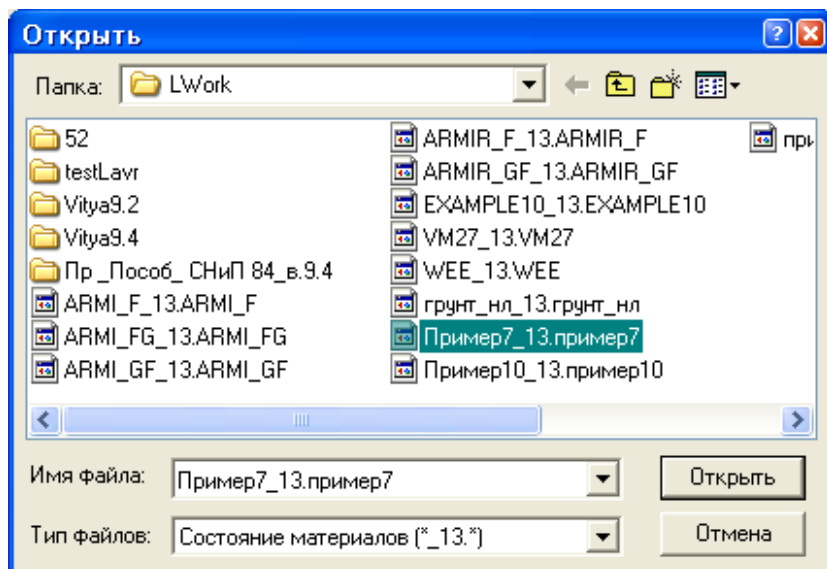


Рис.7.28. Диалоговое окно Открыть

➤ Для того чтобы закрыть таблицу, выполните пункт меню **Файл ⇒ Выход**.
В шапке таблицы **Состояние материалов** (рис.7.29) имеются такие позиции:

- 1 – Номер цепочки.
- 2 – Номер загрузки, при котором произошло разрушение конструкции.
- 3 – Номер шага, на котором произошло разрушение конструкции.
- 4 – Доля нагрузки, соответствующей этому номеру шага.
- 5 – Сведения о состоянии материалов.

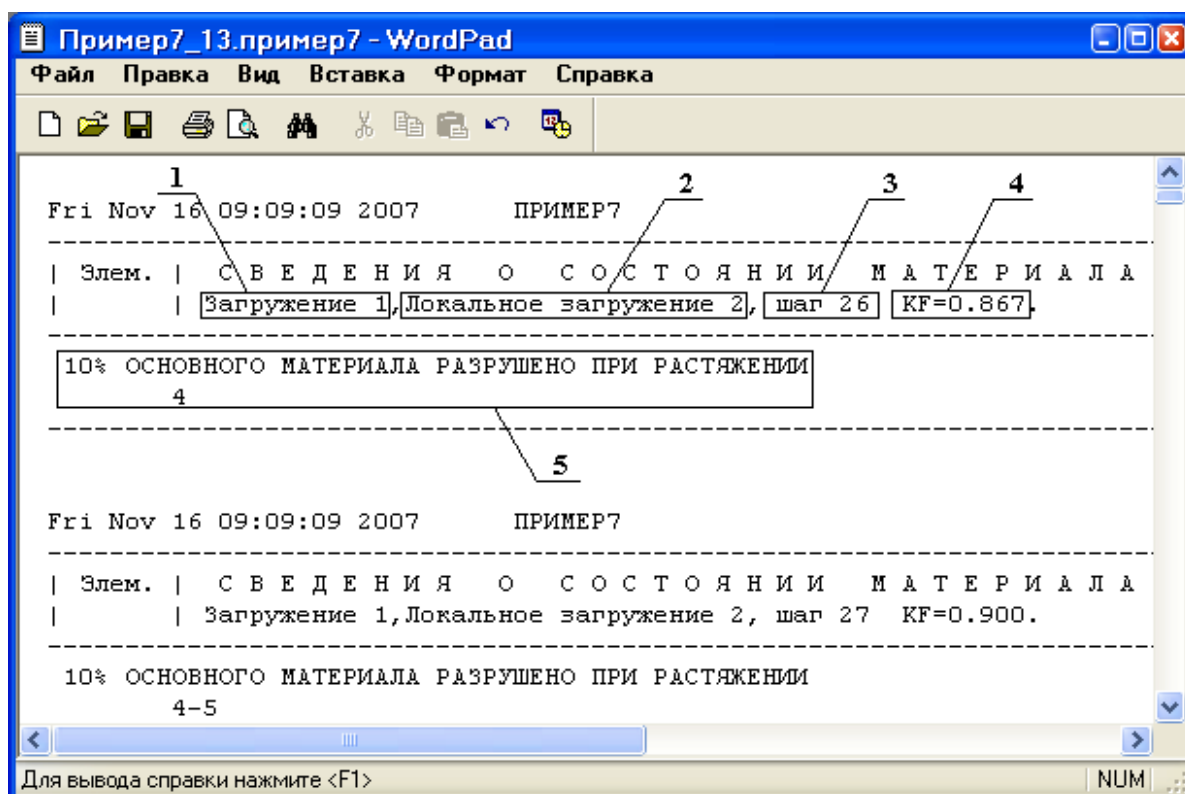


Рис.7.29. Таблица Состояние материалов

Формирование и просмотр таблицы перемещений по шагам

- В диалоговом окне **Параметры расчетного процессора** (рис.7.27) щелкните по кнопке **Таблицы результатов**.
 - В диалоговом окне **Открыть** (рис.7.28) в раскрывающемся списке выберите тип файлов **Перемещения по шагам (*.35.*)**.
 - Выделите файл **Пример7_35.пример 7**.
 - Щелкните по кнопке **Открыть**.
- В шапке таблицы **Перемещения по шагам** (рис.7.30) имеются такие позиции:

- 1 – Номер загрузки.
- 2 – Номер шага.
- 3 – Доля нагрузки, соответствующей этому номеру шага.
- 4 – Направления перемещения узлов.
- 5 – Нумерация узлов.

Пример7_35.пример7 - WordPad

Файл Правка Вид Вставка Формат Справка

Fri Nov 16 09:09 ПРИМЕР7 основная схема

П Е Р Е М Е Щ Е Н И Я У З Л О В .

1 2 3 1 2 3 4 5 6 7 8 9

1- 2 0.20000

UY -0.0191 -0.0209 -0.0069 -0.0300 -0.0568 -0.0461

0.0172 0.0088 -0.0060 -0.0118 0.0070 0.0240 0.0069 -0.0205 -0.0349

Fri Nov 16 09:09 ПРИМЕР7 основная схема

П Е Р Е М Е Щ Е Н И Я У З Л О В .

1 2 3 4 5 6 7 8 9

1- 2 0.40000

Для вывода справки нажмите <F1> NUM

Рис.7.30. Таблица Перемещения по шагам

Формирование и просмотр таблицы усилий по шагам

- В диалоговом окне **Параметры расчетного процессора** (рис.7.27) щелкните по кнопке **Таблицы результатов**.
- В диалоговом окне **Открыть** (рис.7.28) в раскрывающемся списке выберите тип файлов **Усилия (напр.) по шагам (*_36.*)**.
- Выделите файл **Пример7_36.пример 7**.
- Щелкните по кнопке **Открыть**.

В шапке таблицы **Усилия (напряжения) по шагам** (рис.7.31) имеются такие позиции:

- 1 – Тип конечного элемента.
- 2 – Номер элемента.
- 3 – Номер сечения.
- 4 – Номер загрузки.
- 5 – Номер шага.
- 6 – Доля нагрузки, соответствующей этому номеру шага.
- 7 – Наименования усилий в стержневых элементах.

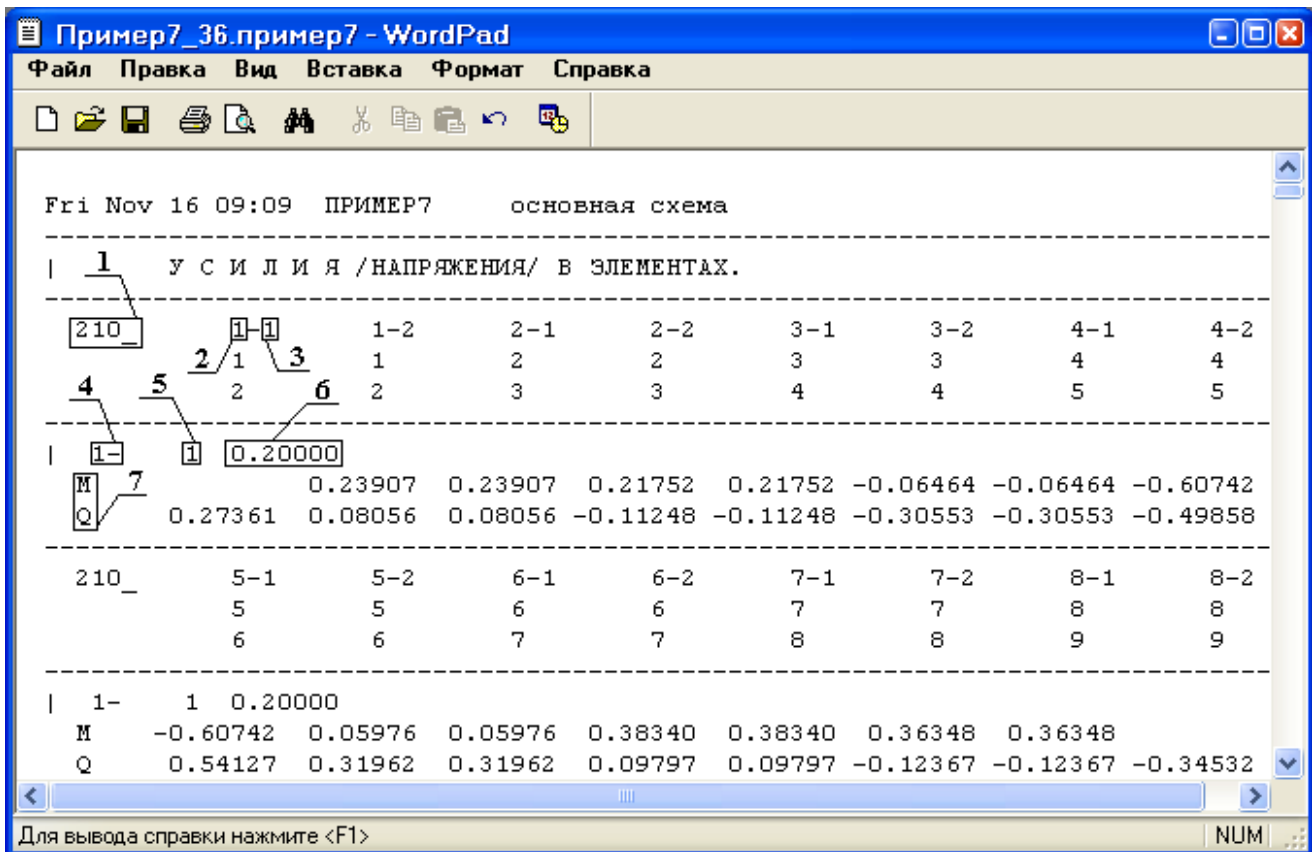


Рис.7.31. Таблица Усилия (напряжения) по шагам

