

### Пример 3. Расчет рамы промышленного здания

#### Цели и задачи:

- произвести расчет плоской рамы на динамические воздействия;
- произвести расчет устойчивости конструкции;
- составить таблицу РСН;
- выполнить подбор и проверку стальных сечений элементов рамы.

#### Исходные данные:

Схема рамы и ее закрепление показаны на рис.3.1.

Сечения элементов:

- крайние колонны – коробка из швеллеров № 24;
- средние колонны – швеллер № 24;
- балка настила – двутавр № 36;
- верхний пояс фермы – два уголка 120 x 120 x 10;
- нижний пояс фермы – два уголка 100 x 100 x 10;
- стойки и раскосы фермы – два уголка 75 x 75 x 6.

#### Нагрузки:

- загрузка 1 – нагрузка от собственного веса элементов схемы,
- загрузка 2 – нагрузка от оборудования,
- загрузка 3 – ветровая нагрузка,
- загрузка 4 – гармоническое динамическое воздействие,
- загрузка 5 – сейсмическое воздействие.

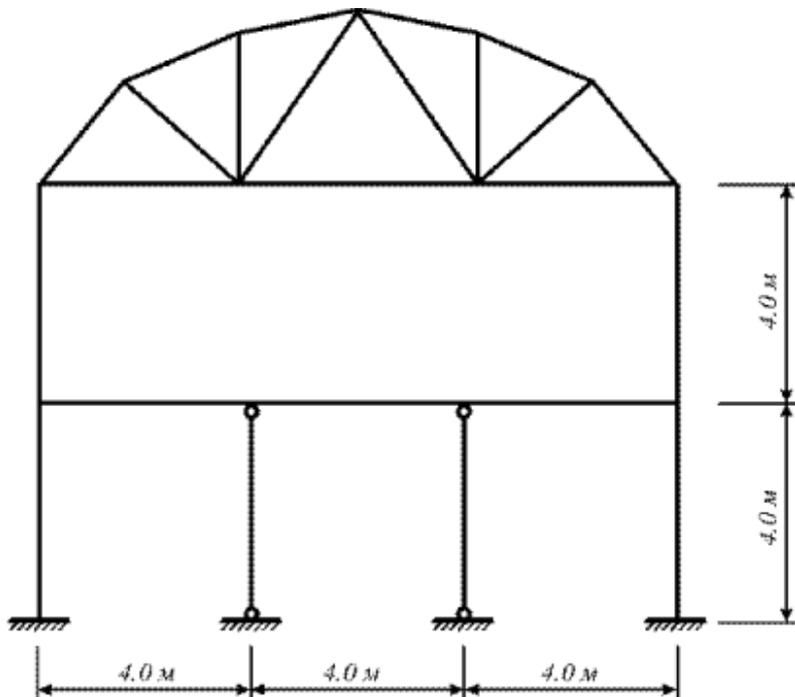


Рис.3.1. Расчетная схема поперечника здания



### 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.3.2) задайте следующие параметры:
  - имя создаваемой задачи – **Пример3** (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**.

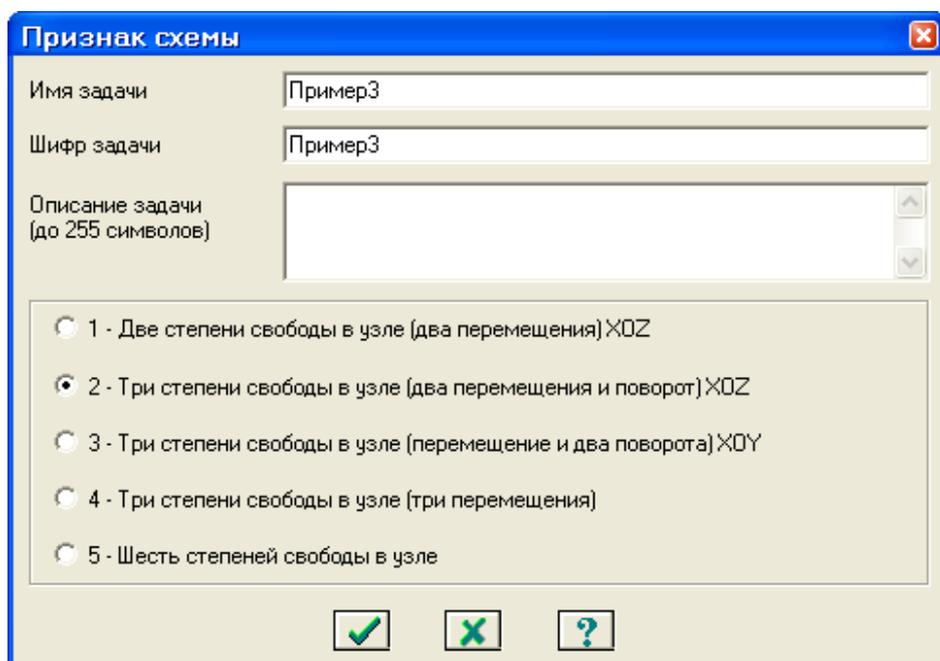


Рис.3.2. Диалоговое окно **Признак схемы**

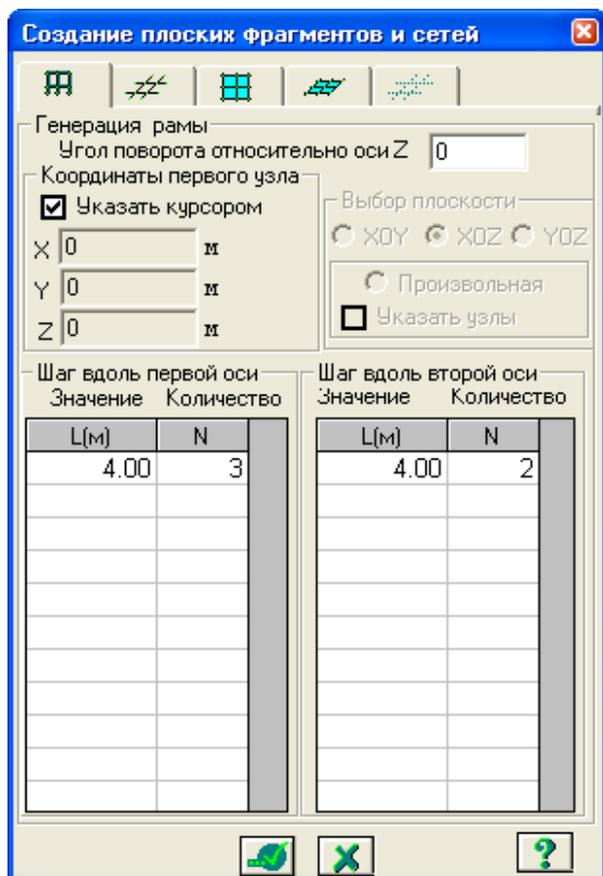


## Создание геометрической схемы

### Этап 2. Создание геометрической схемы

#### Добавление рамы

- Вызовите диалоговое окно **Создание плоских фрагментов и сетей** с помощью меню **Схема** ⇒ **Создание** ⇒ **Регулярные фрагменты и сети** (кнопка  на панели инструментов).
- В таблицу ввода значений введите параметры рамы:
  - Шаг вдоль первой оси:      Шаг вдоль второй оси:
  - |               |               |
|---------------|---------------|
| <b>L(m) N</b> | <b>L(m) N</b> |
| 4 3           | 4 2.          |
  - Остальные параметры принимаются по умолчанию (рис.3.3).
- После этого щелкните по кнопке  – **Применить**.

Рис.3.3. 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 – **Пример3**;
  - папку, в которую будет сохранена эта задача (по умолчанию выбирается папка – **LData**).
- Щелкните по кнопке **Сохранить**.

#### 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**.

#### Корректировка схемы

- Выполните пункт меню **Выбор** ⇒ **Отметка узлов** (кнопка  на панели инструментов).
- С помощью курсора выделите узлы № 10 и 11 (узлы окрашиваются в красный цвет).



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

- С помощью пункта меню **Схема** ⇒ **Корректировка** ⇒ **Удаление** (кнопка  на панели инструментов) удалите выделенные узлы (обратите внимание, что при удалении узлов автоматически удаляются прилегающие к ним элементы).
- Выполните пункт меню **Выбор** ⇒ **Отметка элементов** (кнопка  на панели инструментов).
- С помощью курсора выделите элементы № 3 и 5 (элементы окрашиваются в красный цвет).

- Из меню **Жесткости** ⇒ **Шарниры** (кнопка  на панели инструментов) вызовите диалоговое окно **Шарниры** (рис.3.4).
- В этом окне с помощью установки соответствующих флажков укажите узлы и направления, по которым снимается жесткость связи одного из концов стержня с узлом схемы:
  - 2-й узел – **UY**.
- Щелкните по кнопке  – **Применить**.

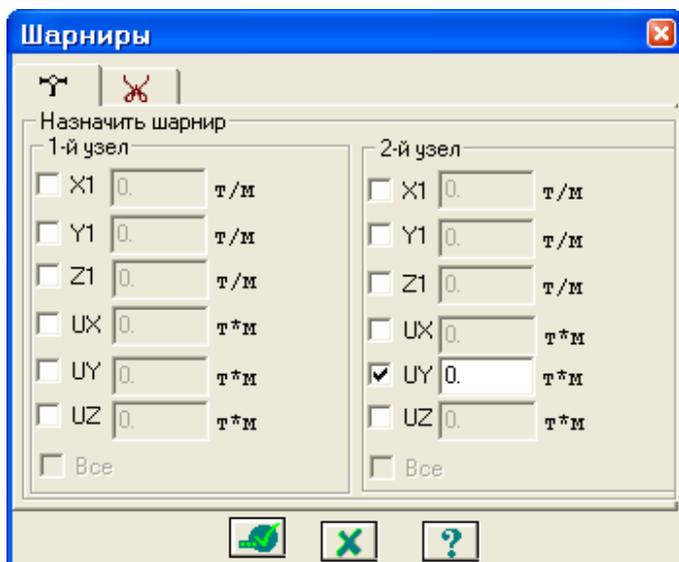
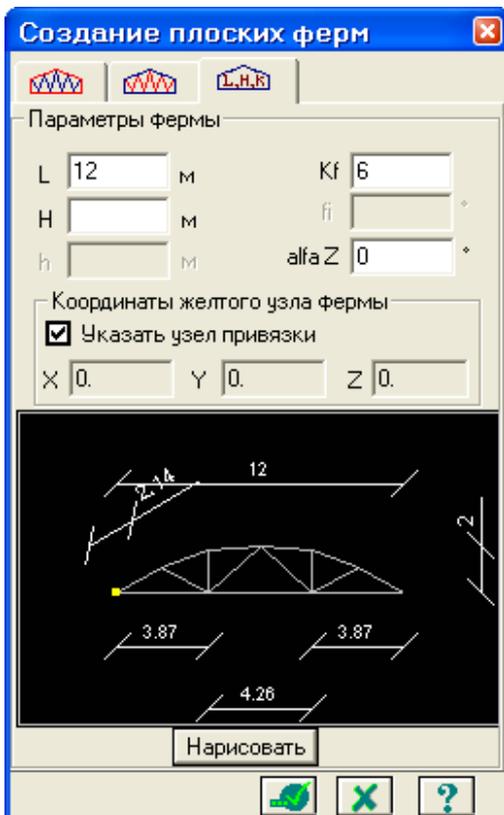


Рис.3.4. Диалоговое окно **Шарниры**

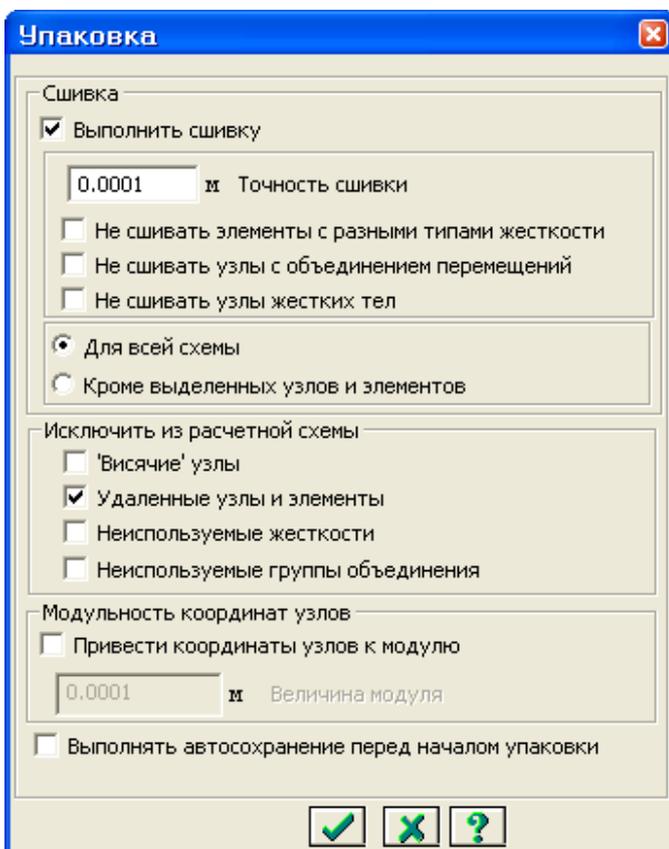
#### [Установка фермы на раму](#)

- Из меню **Схема** ⇒ **Создание** ⇒ **Фермы** (кнопка  на панели инструментов) вызовите диалоговое окно **Создание плоских ферм**.
- В этом окне щелкните по кнопке с конфигурацией арочной (сегментной) фермы.
- Далее выберите ферму по очертанию решетки, щелкнув по первой слева в верхнем ряду кнопке.
- После этого задайте параметры фермы (рис.3.5):
  - $L = 12$  м;
  - $K_f = 6$ .
- Для просмотра геометрических размеров фермы в диалоговом окне, щелкните по кнопке **Нарисовать**.
- При установленном флажке **Указать узел привязки** укажите курсором на узел № 9 (в окне автоматически отобразятся координаты этого узла).
- Для установки фермы на раму, щелкните по кнопке  – **Применить**.

Рис.3.5. Диалоговое окно **Создание плоских ферм**

#### Упаковка схемы

- С помощью меню **Схема** ⇒ **Корректировка** ⇒ **Упаковка схемы** (кнопка  на панели инструментов) вызовите диалоговое окно **Упаковка** (рис.3.6).
- В этом окне щелкните по кнопке  – **Подтвердить** (упаковка схемы производится для сшивки совпадающих узлов и элементов, а также для безвозвратного исключения из расчетной схемы удаленных узлов и элементов).

Рис.3.6. Диалоговое окно **Упаковка**

Получим геометрическую схему, показанную на рис.3.7.

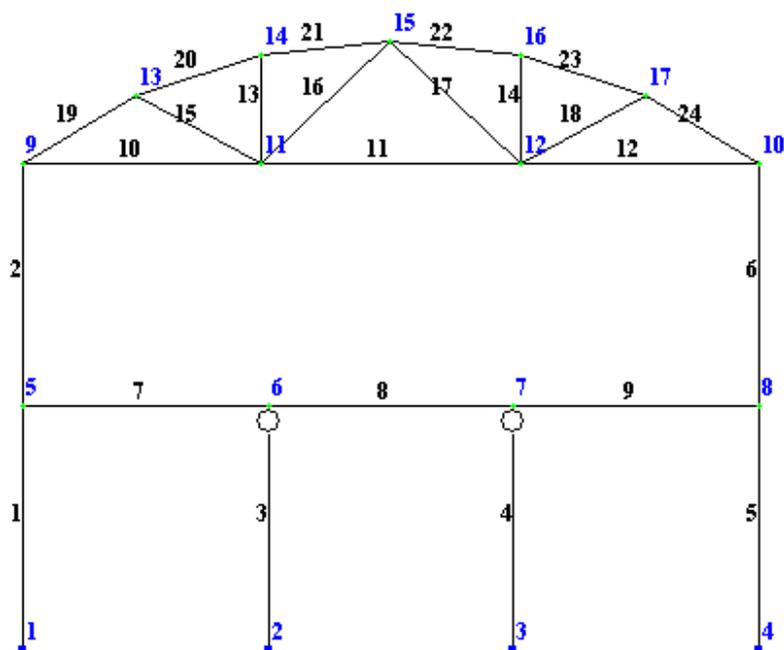


Рис.3.7. Расчетная схема рамы с номерами узлов и элементов



### Задание граничных условий

#### Этап 3. Задание граничных условий

- Выделите узлы № 1 и 4.
- С помощью пункта меню **Схема** ⇒ **Связи** (кнопка  на панели инструментов) вызовите диалоговое окно **Связи в узлах**.
- В этом окне с помощью установки флажков, отметьте направления по которым запрещены перемещения узлов (**X**, **Z**, **UY**).
- После этого щелкните по кнопке  – **Применить** (узлы окрашиваются в синий цвет).
- Выделите узлы № 2, 3 и закрепите эти узлы по направлениям **X** и **Z** (для этого флажок с направления **UY** нужно снять).
- Выполните пункт меню **Выбор** ⇒ **Отметка узлов** (кнопка  на панели инструментов), чтобы снять активность с операции выделения узлов.



### Задание жесткостных параметров элементам рамы

#### Этап 4. Задание жесткостных параметров элементам рамы

##### Формирование типов жесткости

- С помощью меню **Жесткости** ⇒ **Жесткости элементов** (кнопка  на панели инструментов) вызовите диалоговое окно **Жесткости элементов** (рис.3.8).
- В этом окне щелкните по кнопке **Добавить** и в библиотеке жесткостных характеристик щелкните по второй закладке **База металлических сечений**.
- Выберите двойным щелчком мыши на элементе графического списка тип сечения **Двутавр**.

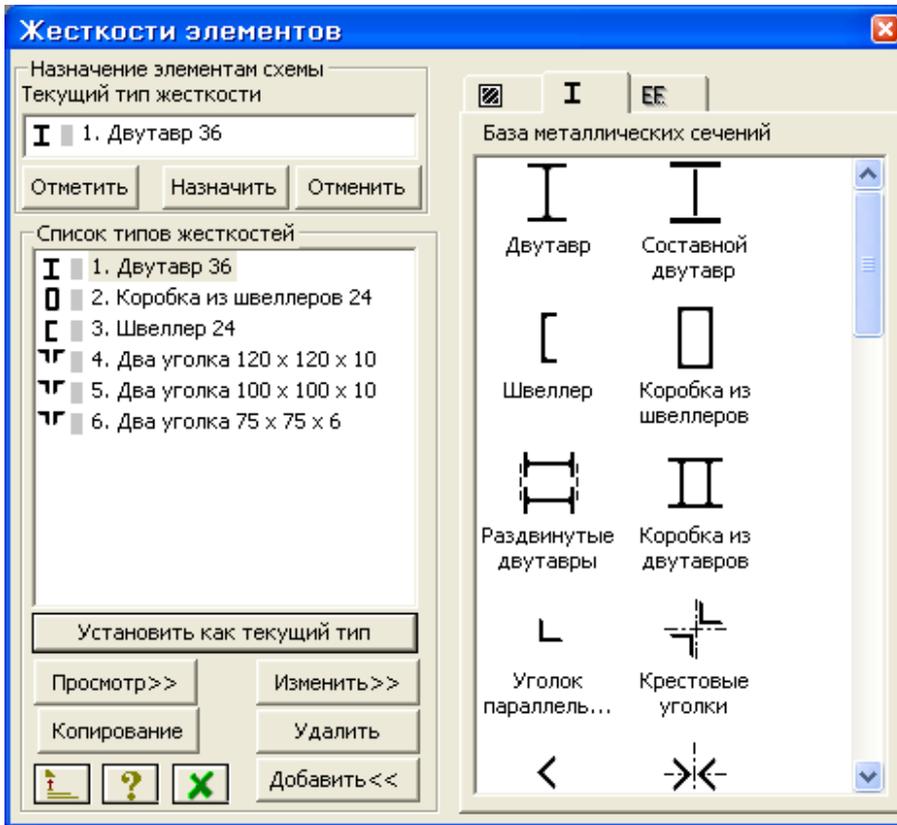


Рис.3.8. Диалоговое окно Жесткости элементов

- В диалоговом окне **Стальное сечение** (рис.3.9) задайте параметры сечения **Двутавр**:
  - в раскрывающемся списке – **Сортамент** выберите позицию – **Двутавр с непараллельными гранями полок**;
  - в списке – **Профиль** – **36**.
- Подтвердите ввод щелчком по кнопке **ОК**.

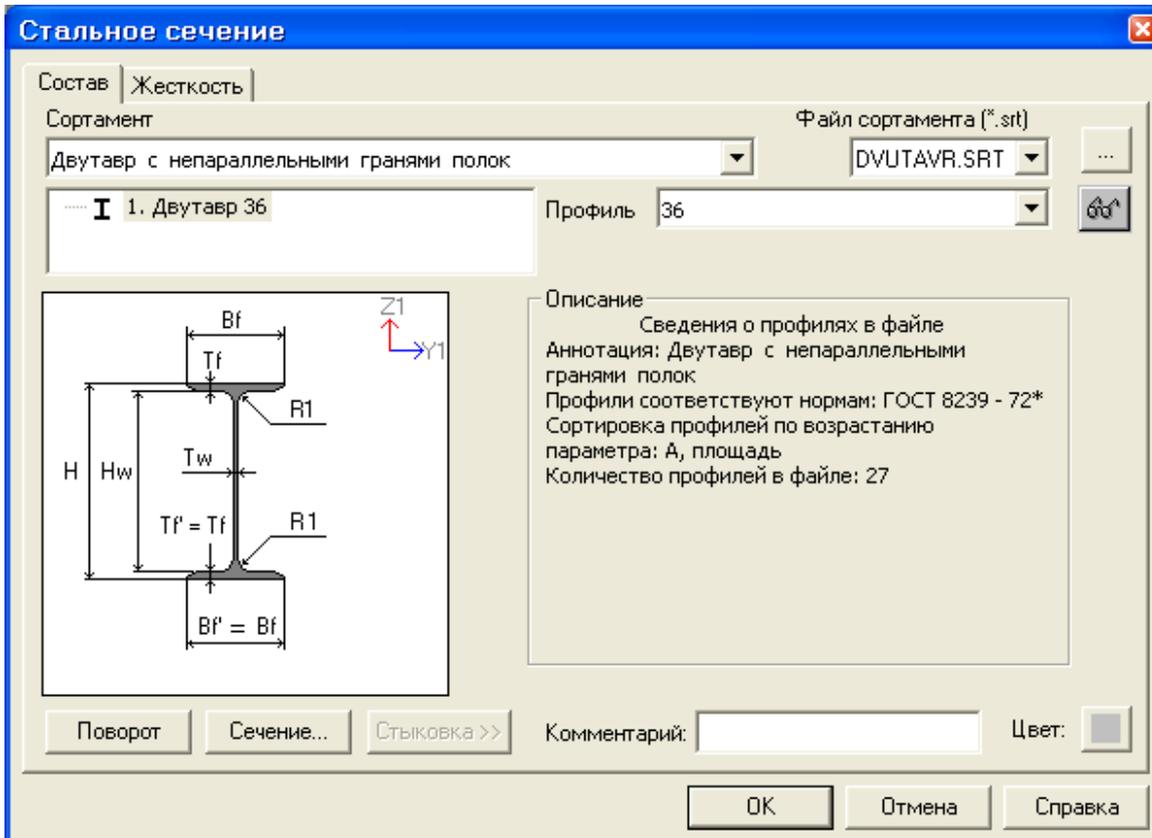


Рис.3.9. Диалоговое окно Стальное сечение

- В диалоговом окне **Жесткости элементов** выберите тип сечения **Коробка из швеллеров**.
- В новом окне **Стальное сечение** задайте параметры сечения **Коробка из швеллеров**:
  - Сортамент – **Швеллер с уклоном внутренних граней полок**;
  - Профиль – **24**.
- Подтвердите ввод щелчком по кнопке **ОК**.
- В диалоговом окне **Жесткости элементов** выберите тип сечения **Швеллер**.
- В новом окне **Стальное сечение** задайте параметры сечения **Швеллер**:
  - Сортамент – **Швеллер с уклоном внутренних граней полок**;
  - Профиль – **24**.
- Подтвердите ввод щелчком по кнопке **ОК**.
- В диалоговом окне **Жесткости элементов** выберите тип сечения **Два уголка**.
- В появившемся окне **Стальное сечение** задайте параметры сечения **Два уголка**:
  - Сортамент – **Уголок равнополочный**;
  - Профиль – **120 x 120 x 10**.
- Подтвердите ввод щелчком по кнопке **ОК**.
- Далее в диалоговом окне **Жесткости элементов** в списке типов жесткостей с помощью курсора выделите строку **4. Два уголка 120 x 120 x 10**.
- Дважды щелкните по кнопке **Копирование**.
- После этого в списке типов жесткостей выделите строку **5. Два уголка 120 x 120 x 10**.
- Щелкните по кнопке **Изменить**.
- В новом окне **Стальное сечение** задайте:
  - Профиль – **100 x 100 x 10**.
- Подтвердите ввод щелчком по кнопке **ОК**.
- В диалоговом окне **Жесткости элементов** в списке типов жесткости выделите строку **6. Два уголка 120 x 120 x 10**.
- Щелкните по кнопке **Изменить**.
- В диалоговом окне **Стальное сечение** задайте:
  - Профиль – **75 x 75 x 6**.
- Подтвердите ввод щелчком по кнопке **ОК**.
- Для того чтобы скрыть библиотеку жесткостных характеристик, в диалоговом окне **Жесткости элементов** щелкните по кнопке **Добавить**.

#### Назначение жесткостей элементам рамы

- В списке типов жесткостей выделите курсором тип жесткости **1. Двутавр 36**.
- 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 по строке списка).
- Выполните пункт меню **Выбор ⇨ Отметка горизонтальных элементов** (кнопка  на панели инструментов).
- С помощью курсора выделите горизонтальные элементы № 7, 8 и 9 (выделенные элементы окрашиваются в красный цвет).
- В диалоговом окне **Жесткости элементов** щелкните по кнопке **Назначить** (с элементов снимается выделение. Это свидетельство того, что выделенным элементам присвоена текущая жесткость).
- Выполните пункт меню **Выбор ⇨ Отметка горизонтальных элементов** (кнопка  на панели инструментов), чтобы снять активность с операции выделения горизонтальных стержневых элементов.
- В диалоговом окне **Жесткости элементов** в списке типов жесткостей выделите курсором тип жесткости **2. Коробка из швеллеров 24**.

- Щелкните по кнопке **Установить как текущий тип**.
- Выполните пункт меню **Выбор** ⇒ **Отметка вертикальных элементов** (кнопка  на панели инструментов).
- С помощью курсора выделите вертикальные элементы схемы № 1, 2, 5 и 6 (крайние колонны).
- Затем в диалоговом окне **Жесткости элементов** щелкните по кнопке **Назначить**.
- В списке типов жесткостей выделите курсором тип жесткости **3. Швеллер 24**.
- Щелкните по кнопке **Установить как текущий тип**.
- С помощью курсора выделите вертикальные элементы схемы № 3 и 4 (средние колонны).
- Затем в диалоговом окне **Жесткости элементов** щелкните по кнопке **Назначить**.
- В списке типов жесткостей выделите курсором тип жесткости **4. Два уголка 120 x 120 x 10**.
- Щелкните по кнопке **Установить как текущий тип**.
- С помощью меню **Выбор** ⇒ **ПолиФильтр** (кнопка  на панели инструментов) вызовите диалоговое окно **ПолиФильтр** (рис.3.10), для того чтобы выделить элементы верхнего пояса.
- В этом окне перейдите на вторую закладку **Фильтр для элементов**.
- Далее установите флажок **По номерам КЭ** и в соответствующем поле введите номера элементов **19 – 24**.
- После этого щелкните по кнопке  – **Применить**.

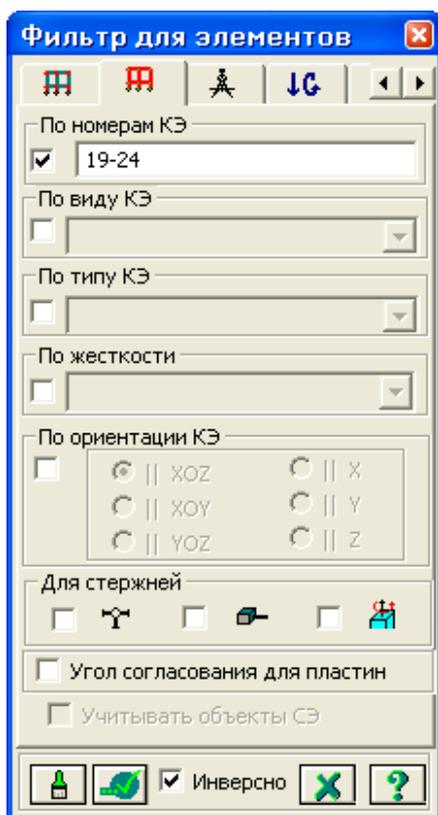


Рис.3.10. Диалоговое окно **Фильтр для элементов**

- В диалоговом окне **Жесткости элементов** щелкните по кнопке **Назначить**.
- Назначьте текущим тип жесткости **5. Два уголка 100 x 100 x 10**.
- Для выделения элементов нижнего пояса фермы, в диалоговом окне **Фильтр для элементов** введите номера элементов **10 – 12**.
- Щелкните по кнопке  – **Применить**.
- В диалоговом окне **Жесткости элементов** щелкните по кнопке **Назначить**.
- Назначьте текущим тип жесткости **6. Два уголка 75 x 75 x 6**.

- Для выделения элементов решетки фермы, в диалоговом окне **Фильтр для элементов** введите номера элементов **13 – 18**.
- Щелкните по кнопке  – **Применить**.
- В диалоговом окне **Жесткости элементов** щелкните по кнопке **Назначить**.
- Закройте диалоговое окно **Фильтр для элементов** щелчком по кнопке  – **Заккрыть**.



## Смена типа КЭ для элементов фермы

### Этап 5. Смена типа конечных элементов для элементов фермы

- Выделите все элементы фермы.
- С помощью меню **Схема** ⇒ **Корректировка** ⇒ **Смена типа конечного элемента** (кнопка  на панели инструментов) вызовите диалоговое окно **Смена типа конечного элемента** (рис.3.11).
- В этом окне в списке типов конечных элементов выделите строку **Тип 1 – КЭ плоской фермы**.
- Щелкните по кнопке  – **Применить**.

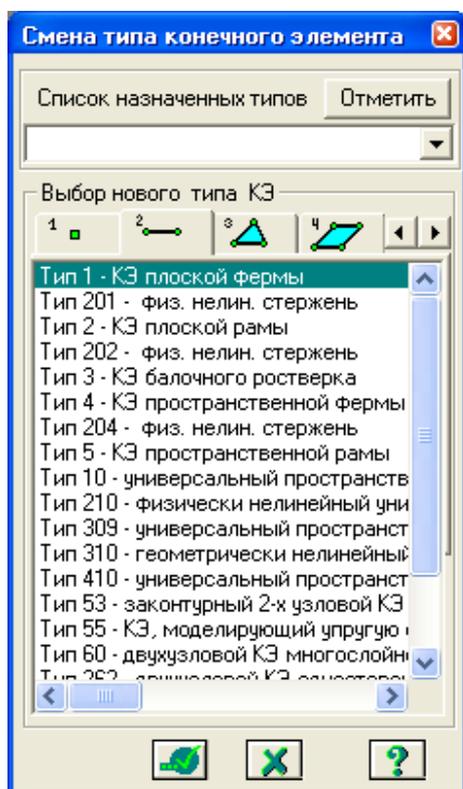


Рис.3.11. Диалоговое окно **Смена типа конечного элемента**



## Задание нагрузок

### Этап 6. Задание нагрузок

#### Формирование загрузки № 1

- Вызовите диалоговое окно **Добавить собственный вес** (рис.3.12) из меню **Нагрузки** ⇒ **Добавить собственный вес**.
- В этом окне, при включенной радио-кнопке **все элементы**, в поле **Козф. 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).

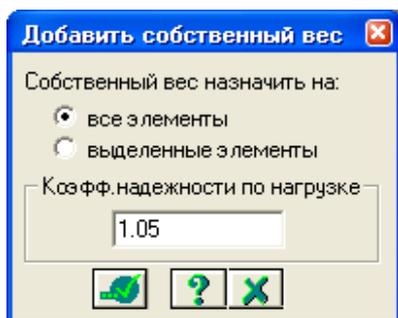


Рис.3.12. Диалоговое окно **Добавить собственный вес**

- Выделите элементы № 7, 8 и 9.
- После этого вызовите диалоговое окно **Задание нагрузок** из меню **Нагрузки** ⇒ **Нагрузка на узлы и элементы** (кнопка  на панели инструментов).
- В этом окне перейдите на третью закладку **Нагрузки на стержни** (по умолчанию указана система координат **Глобальная**, направление – вдоль оси **Z**).
- Щелчком по кнопке равномерно распределенной нагрузки вызовите диалоговое окно **Параметры**.
- В этом окне задайте интенсивность нагрузки  $p = 2$  т/м.
- Щелкните по кнопке  – **Подтвердить**.
- После этого в диалоговом окне **Задание нагрузок** щелкните по кнопке  – **Применить**.
- Выполните пункт меню **Выбор** ⇒ **Отметка узлов** (кнопка  на панели инструментов).
- Выделите узлы опирания фермы на колонну № 9 и 10.
- В диалоговом окне **Задание нагрузок** перейдите на вторую закладку **Нагрузки в узлах** (по умолчанию указана система координат **Глобальная**, направление – вдоль оси **Z**).
- Щелчком по кнопке сосредоточенной силы вызовите диалоговое окно **Параметры нагрузки**.
- В этом окне задайте величину нагрузки  $P = 12$  т.
- Щелкните по кнопке  – **Подтвердить**.
- После этого в диалоговом окне **Задание нагрузок** щелкните по кнопке  – **Применить**.
- Выделите узлы верхнего пояса № 13 – 17 и задайте на эти узлы сосредоточенную силу величиной  $P = 24$  т аналогично описанным выше операциям.

#### Формирование загрузки № 2

- Смените номер текущего загрузки, вызвав диалоговое окно **Активное загрузке** с помощью меню **Нагрузки** ⇒ **Выбор загрузки** (кнопка  на панели инструментов).
- В этом диалоговом окне задайте номер загрузки **2**.
- Щелкните по кнопке  – **Подтвердить**.
- Выделите элементы № 7, 8, 9 и задайте на эти элементы равномерно распределенную нагрузку интенсивностью  $p = 2$  т/м аналогично первому загрузке.
- Выделите узлы № 9 и 10, задайте на эти узлы сосредоточенную силу величиной  $P = 2$  т аналогично первому загрузке.
- Выделите узлы № 13 – 17 и аналогично первому загрузке задайте на них сосредоточенную силу величиной  $P = 4$  т.

#### Формирование загрузки № 3

- Смените номер текущего загрузки, вызвав диалоговое окно **Активное загрузке** с помощью меню **Нагрузки** ⇒ **Выбор загрузки** (кнопка  на панели инструментов).
- В этом диалоговом окне задайте номер загрузки **3**.

- Щелкните по кнопке  – **Подтвердить**.
- Выделите узлы № 5 и 10, задайте на них сосредоточенную силу вдоль глобальной оси **X** величиной **P = -1.5 т** аналогично первому нагружению.
- Выделите узел № 9 и задайте на этот узел силу вдоль глобальной оси **X** величиной **P = -2 т**.
- Выделите узел № 8 и задайте на него силу вдоль глобальной оси **X** величиной **P = -1.125 т**.

#### Формирование нагружения № 4

- Смените номер текущего нагружения на **4**.

#### Задание узловой гармонической нагрузки

- Выделите узел № 6.
- В диалоговом окне **Задание нагрузок**, щелчком по кнопке гармонической нагрузки, вызовите диалоговое окно **Гармоническая нагрузка в узле** (рис.3.13.).
- В этом окне задайте следующие параметры:
  - Дополнительная масса в узле – **2 т**;
  - Направление нагрузки – **X**;
  - Закон действия нагрузки – **cos**;
  - Амплитуда воздействия – **0.1 т**.
- Подтвердите введенную информацию щелчком по кнопке  – **Подтвердить**.
- После этого в диалоговом окне **Задание нагрузок** щелкните по кнопке  – **Применить**.



Рис.3.13. Диалоговое окно **Гармоническая нагрузка в узле**



### Формирование динамических нагружений из статических

#### Задание характеристик для расчета рамы на динамические воздействия

#### Этап 7. Формирование динамических нагружений из статических

#### Формирование таблицы учета статических нагружений для гармонического воздействия

- С помощью меню **Нагрузки** ⇒ **Динамика** ⇒ **Учет статических нагружений** вызовите диалоговое окно **Формирование динамических нагружений из статических** (рис.3.14).

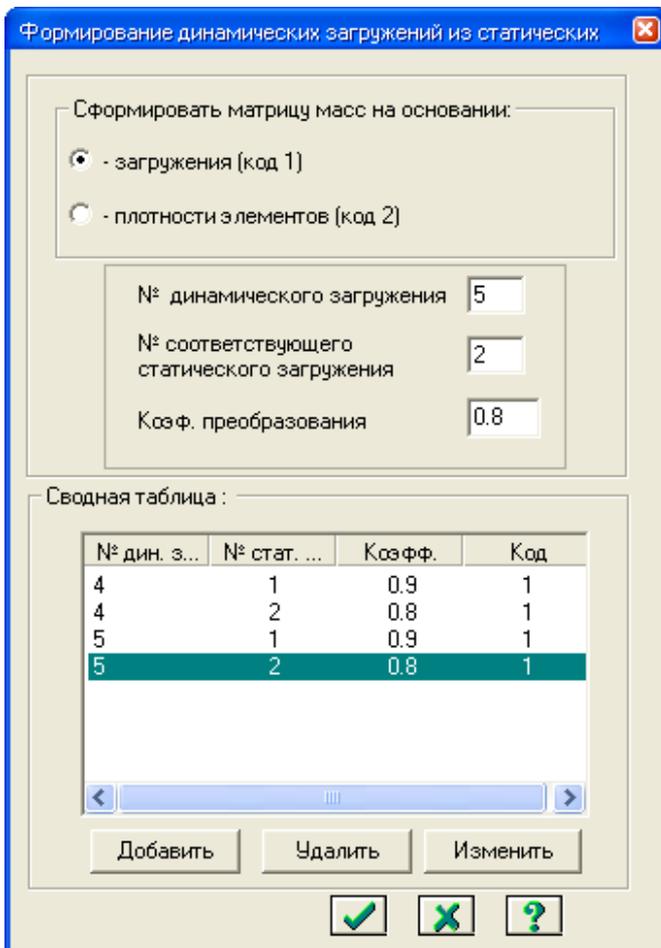


Рис. 3.14. Диалоговое окно **Формирование динамических нагрузок из статических**

- Для формирования первой строки сводной таблицы, в этом окне, при включенной радио-кнопке **загрузки (код 1)**, задайте следующие параметры:
  - № динамического нагружения – **4**;
  - № соответствующего статического нагружения – **1**;
  - Козф. преобразования – **0.9**.
- Далее щелкните по кнопке **Добавить**.
- Для формирования второй строки сводной таблицы, в этом же окне задайте следующие параметры:
  - № динамического нагружения – **4**;
  - № соответствующего статического нагружения – **2**;
  - Козф. преобразования – **0.8**.
- Щелкните по кнопке **Добавить**.

#### Формирование таблицы учета статических нагрузок для сейсмического воздействия

- Для формирования третьей строки сводной таблицы, в диалоговом окне **Формирование динамических нагрузок из статических** задайте следующие параметры:
  - № динамического нагружения – **5**;
  - № соответствующего статического нагружения – **1**;
  - Козф. преобразования – **0.9**.
- Далее щелкните по кнопке **Добавить**.
- Для формирования четвертой строки сводной таблицы, в этом же окне задайте следующие параметры:
  - № динамического нагружения – **5**;
  - № соответствующего статического нагружения – **2**;
  - Козф. преобразования – **0.8**.

- Закончив, щелкните по кнопкам **Добавить** и  – **Подтвердить**.



Указанные статические загрузки формируют веса масс для динамических воздействий.



## Формирование таблицы параметров динамических воздействий

### Этап 8. Формирование таблицы параметров динамических воздействий

#### Задание данных для четвертого нагружения

- Из меню **Нагрузки** ⇒ **Динамика** ⇒ **Таблица динамических нагружений** (кнопка  на панели инструментов) вызовите диалоговое окно **Задание характеристик для расчета на динамические воздействия** (рис.3.15).
- В этом окне, при включенной радио-кнопке **Согласованная** (для матрицы масс), задайте следующие параметры:
- № загрузки – **4**;
  - Наименование воздействия – **Гармоническое зональное (28)**;
  - Количество учитываемых форм колебаний – **10**.
- Затем щелкните по кнопке **Параметры**.

The dialog box contains the following fields and controls:

- N загрузки:** 4
- N строки характеристик:** 1
- Наименование воздействия:** Гармоническое зональное (28)
- Количество учитываемых форм колебаний:** 10
- N соответствующего статического нагружения:** (empty)
- Матрица масс:**  Диагональная,  Согласованная
- Buttons:** Подтвердить, Закреть, Удалить, Отменить, Справка, Параметры
- Сводная таблица для расчета на динамические воздействия:**

1	<	28	10	0	1	0	>	<	0.025	6.500	0.150	>								
2	<	35	5	0	1	0	>	<	1.00	3	0.00	1	1	7	0.120	1.00	1.0000	0.0000	0.0000	>
3																				

Рис.3.15. Диалоговое окно **Задание характеристик для расчета на динамические воздействия**

- В диалоговом окне **Параметры расчета на гармоническое воздействие** (рис.3.16) задайте следующие параметры:
- коэффициент неупругого сопротивления – **K = 0.025** (прокатная сталь);
  - вынужденная частота внешнего воздействия – **6.5** рад/сек;
  - погрешность в определении частоты – **15%**.
- Подтвердите введенные данные щелчком по кнопке  – **Подтвердить**.

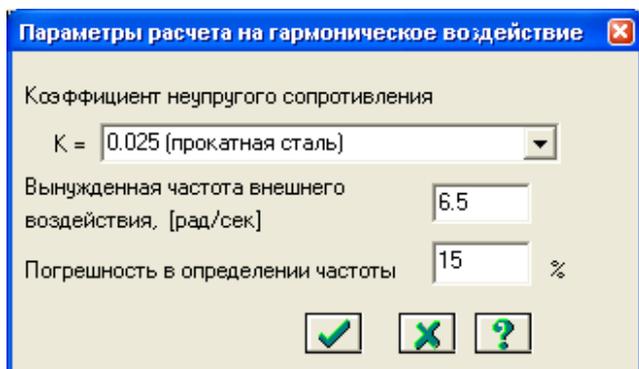


Рис.3.16. Диалоговое окно Параметры расчета на гармоническое воздействие

#### Задание данных для пятого нагружения

- В диалоговом окне **Задание характеристик для расчета на динамические воздействия** (рис.3.15) задайте:
  - № нагружения – 5;
  - Наименование воздействия – **Сейсмическое 01.01.2000 (35)**;
  - Количество учитываемых форм колебаний – 5.
- Затем щелкните по кнопке **Параметры**.
- В диалоговом окне **Параметры расчета на сейсмические воздействия** (рис.3.17) задайте следующие параметры:
  - направляющие косинусы равнодействующей сейсмического воздействия в общей системе координат – **CX = 1**;
  - остальные параметры принимаются по умолчанию.
- Подтвердите ввод данных щелчком по кнопке  – **Подтвердить**.

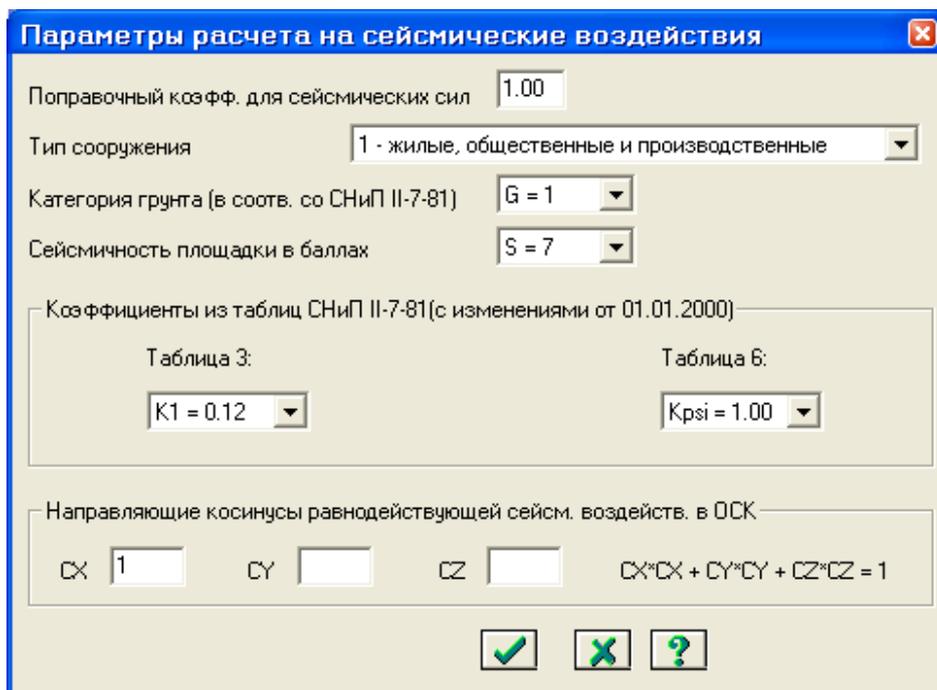


Рис.3.17. Диалоговое окно Параметры расчета на сейсмические воздействия

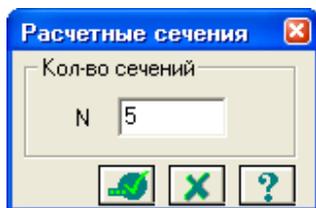
- В диалоговом окне **Задание характеристик для расчета на динамические воздействия** щелкните по кнопке **Заккрыть**.



### Задание расчетных сечений элементов ригелей

#### Этап 9. Задание расчетных сечений элементов ригелей

- Выделите горизонтальные элементы № 7 – 9.
- С помощью меню **Схема** ⇒ **Расчетные сечения стержней** (кнопка  на панели инструментов) вызовите диалоговое окно **Расчетные сечения** (рис.3.18.).
- В этом окне задайте количество расчетных сечений **N = 5**.
- Щелкните по кнопке  – **Применить** (для того чтобы выполнить расчет по второй группе предельных состояний, нужно задать не менее трех расчетных сечений).

Рис.3.18. Диалоговое окно **Расчетные сечения**

## Статический расчет рамы

### Этап 10. Статический расчет рамы

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



## Просмотр и анализ результатов расчета

### Этап 11. 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.3.19). Для отображения схемы без учета перемещений узлов выполните пункт меню **Схема** ⇒ **Исходная схема** (кнопка  на панели инструментов).

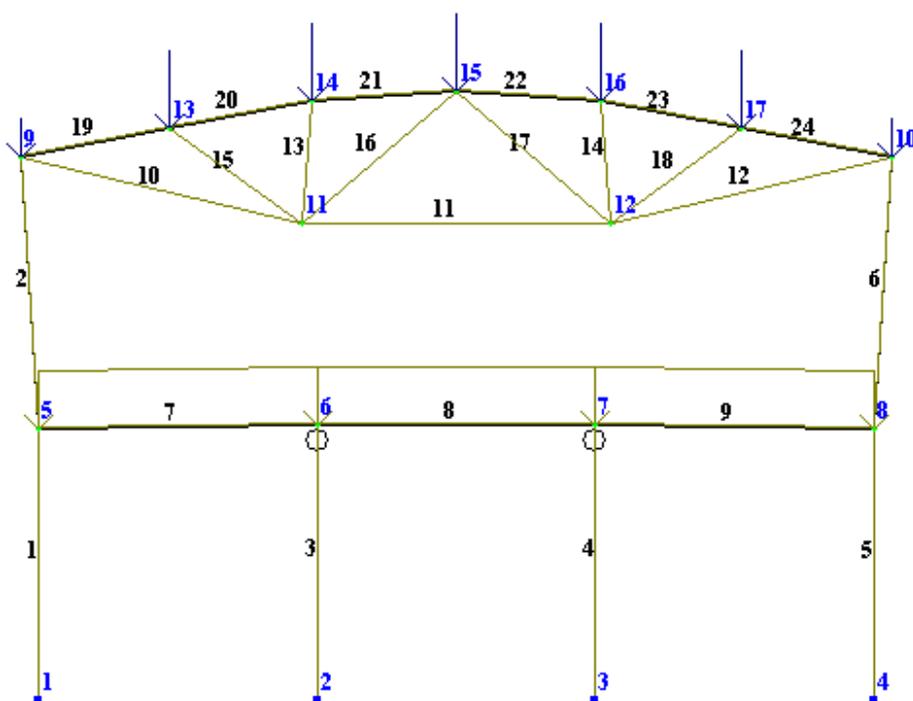
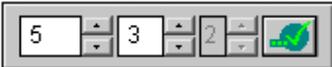


Рис.3.19. Расчетная схема с учетом перемещений узлов

### Вывод на экран эпюр внутренних усилий

- Выведите на экран эпюру **My** с помощью меню **Усилия** ⇒ **Эпюры** ⇒ **Эпюры изгибающих моментов (My)** (кнопки , а затем  на панели инструментов).
- Для вывода эпюры **N**, выполните пункт меню **Усилия** ⇒ **Эпюры** ⇒ **Эпюры продольных сил (N)** (кнопка  на панели инструментов).
- Чтобы вывести мозаику усилия **N**, выполните пункт меню **Усилия** ⇒ **Эпюры** ⇒ **Мозаика N** (кнопка  на панели инструментов).

### Вывод форм колебаний конструкции

- На панели инструментов **Загрузки**  смените номер загрузки на **4** и щелкните по кнопке  – **Применить**.
- Выведите первую форму колебаний с помощью меню **Схема** ⇒ **Форма колебаний** (кнопка  на панели инструментов).
- Для отображения формы колебаний выполните пункт меню **Схема** ⇒ **Исходная схема** (кнопка  на панели инструментов).
- Для вывода третьей формы колебаний пятого нагружения на панели инструментов **Загрузки**  смените номер загрузки на **5**, номер формы на **3** и щелкните по кнопке  – **Применить**.

### Просмотр анимации третьей формы колебаний пятого нагружения

- Выполнив пункт меню **Вид** ⇒ **Пространственная модель (3D-графика)**, перейдите в режим пространственной модели.
- Для просмотра анимации третьей формы колебаний пятого нагружения, выполните пункт меню **Опции** ⇒ **Флаги рисования** ⇒ **Показать анимацию колебаний** (кнопка  на панели инструментов).
- В диалоговом окне **Колебания** (рис.3.20) щелкните по кнопке  – **Воспроизвести анимацию**.
- Закройте диалоговое окно **Колебания** щелчком по кнопке  – **Заккрыть**.

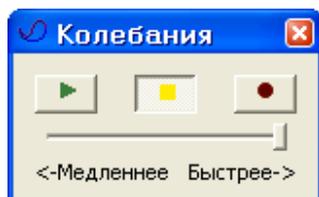
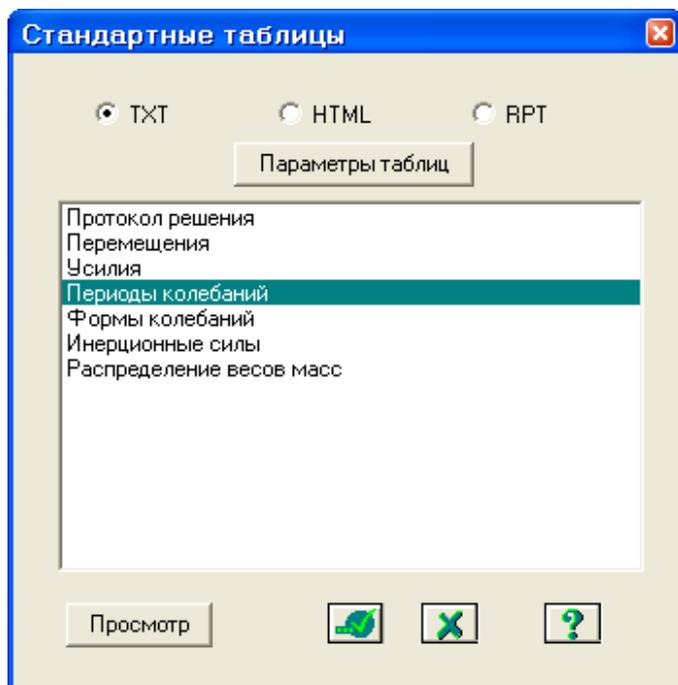


Рис.3.20. Диалоговое окно Колебания

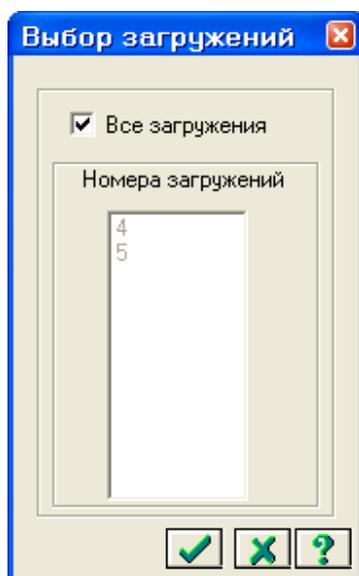
- Для возврата в режим визуализации результатов расчета, выполните пункт меню **Вид** ⇒ **Конечноэлементная модель** или закройте окно пространственной модели.

### Формирование и просмотр таблиц результатов расчета

- Для вывода на экран таблицы со значениями периодов колебаний, выполните пункт меню **Окно** ⇒ **Стандартные таблицы**.
- В появившемся диалоговом окне **Стандартные таблицы** (рис.3.21) выделите строку **Периоды колебаний**.
- Щелкните по кнопке  – **Применить** (для создания таблиц в формате HTML нужно включить радио-кнопку **HTML**. Для создания таблиц в формате для дальнейшей работы в режиме программы "Графический Макетировщик" нужно включить радио-кнопку **RPT**).

Рис.3.21. Диалоговое окно **Стандартные таблицы**

- Для того чтобы закрыть таблицу, выполните пункт меню **Файл** ⇒ **Заккрыть**.
- Для вывода на экран таблицы со значениями распределения весов масс в узлах расчетной схемы, в диалоговом окне **Стандартные таблицы** выделите строку **Распределение весов масс**.
- Щелкните по кнопке  – **Применить**.
- В новом окне **Выбор загружений** (рис.3.22), при установленном флажке **Все загрузки**, подтвердите ввод щелчком по кнопке  – **Подтвердить**.

Рис.3.22. Диалоговое окно **Выбор загружений**

## Вычисление и анализ РСН

### Этап 12. Вычисление и анализ расчетных сочетаний нагрузжений (РСН)

#### Задание и расчет РСН

- В режиме визуализации результатов расчета с помощью меню **Усилия** ⇒ **РСН** (кнопка  на панели инструментов) вызовите диалоговое окно **Расчетные сочетания нагрузок** (рис.3.23).

- В этом окне в списке видов загрузок задайте вид для каждого загрузки после двойного щелчка мыши по ячейке таблицы **Вид**:
  - для первого загрузки – **Постоянная (П)**;
  - для второго – **Длительная (Д)**;
  - для третьего – **Кратковременная (К)**.
  - для четвертого – **Особая (Ос)**;
  - для пятого – **Сейсмика (С)**.
- Для третьего загрузки в ячейке **Кэф. надежн.** задайте коэффициент надежности по нагрузке равный **1.4**.

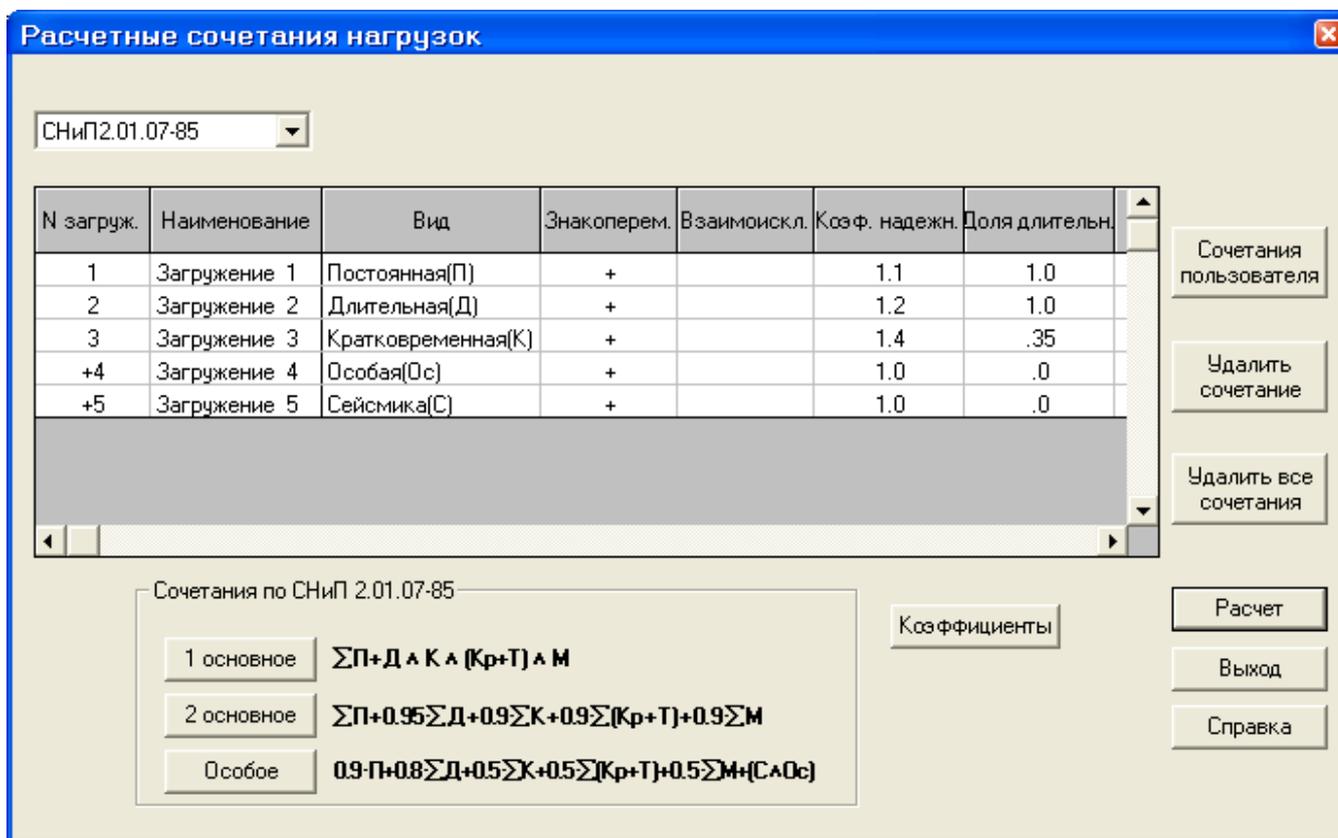


Рис.3.23. Диалоговое окно **Расчетные сочетания нагрузок**

- Для задания сочетаний, щелкните по кнопкам управления вводом коэффициентов **1 основное**, **2 основное** и **Особое** (в таблице появляются столбцы с величинами коэффициентов в соответствии с применяемыми формулами сочетаний по СНиП 2.01.07-85).
- Далее щелкните по кнопке **Расчет**.

#### Анализ результатов расчета по РСН

- Переключитесь на визуализацию результатов расчета по РСН с помощью пункта меню **Выбор** ⇒ **Выбор РСН** (кнопка  на панели инструментов).
- Вывод на экран эпюр внутренних усилий и создание таблиц результатов расчета по РСН осуществляется аналогично описанным ранее действиям.
- Для переключения номера РСН, на панели инструментов **Загрузки**  смените номер сочетания на **2** и щелкните по кнопке  – **Применить**.



Вычисление расчетных сочетаний нагрузок (РСН) производится непосредственным суммированием соответствующих перемещений узлов и усилий (напряжений) в элементах по правилам, установленным нормативными документами (в отличие от вычисления РСУ, где в качестве критерия для определения опасных сочетаний используются экстремальные значения напряжений в характерных точках сечений элементов).



## Расчет рамы на устойчивость

### Этап 13. Расчет рамы на устойчивость

#### Расчет устойчивости

- Для выполнения расчета рамы на устойчивость от первого нагружения, вызовите диалоговое окно **Параметры расчетного процессора** (рис.3.24) с помощью меню **Усилия** ⇒ **Устойчивость** ⇒ **Рассчитать** (кнопка  на панели инструментов).
- В этом окне в поле **Загружения** снимите флажок **Все загрузки** (остальные параметры принимаются по умолчанию).
- Щелкните по кнопке **Подтвердить**.

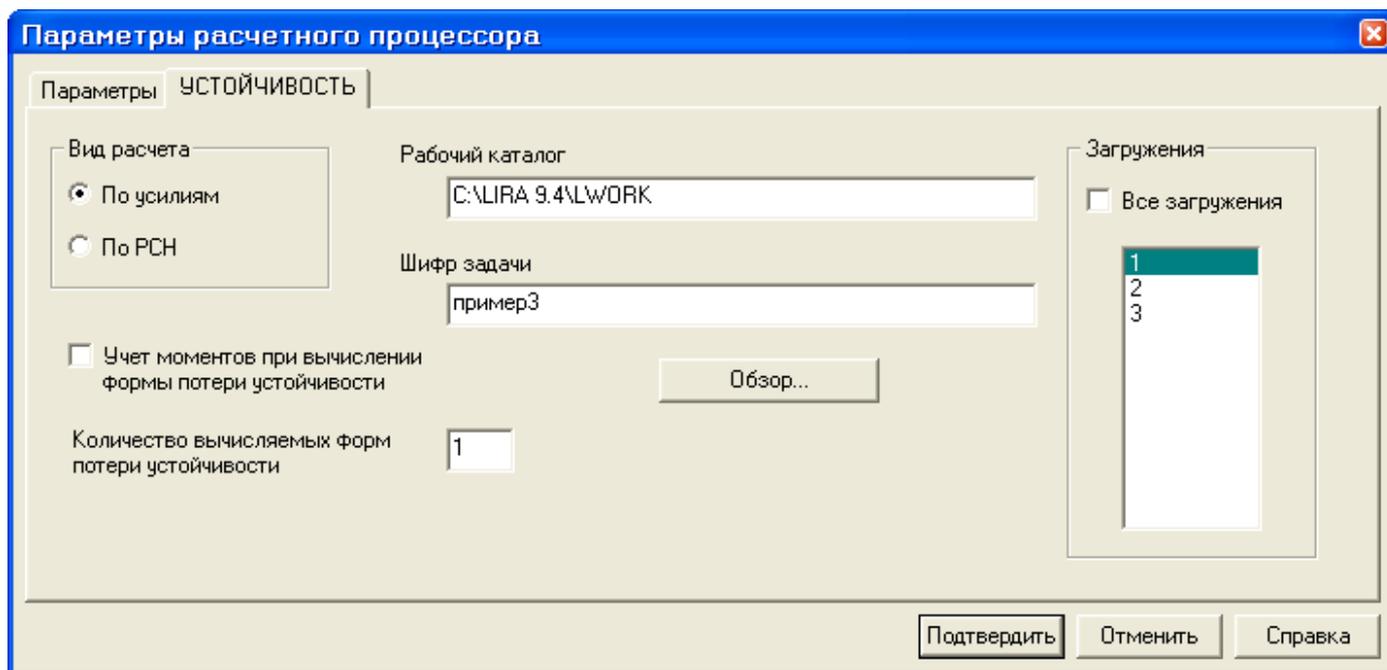


Рис.3.24. Диалоговое окно **Параметры расчетного процессора**

#### Создание таблицы коэффициентов запаса устойчивости

- Для вывода на экран таблицы со значениями коэффициентов запаса устойчивости, выполните пункт меню **Окно** ⇒ **Стандартные таблицы**.
- В появившемся диалоговом окне **Стандартные таблицы** выделите строку **Коэффициенты запаса устойчивости**.
- Щелкните по кнопке  – **Применить**.

#### Анализ результатов расчета рамы на устойчивость

- Переключитесь на визуализацию результатов расчета по усилиям с помощью пункта меню **Выбор** ⇒ **Выбор нагружения** (кнопка  на панели инструментов).
- Для переключения в режим результатов статического расчета, выполните пункт меню **Схема** ⇒ **Форма перемещений** (кнопка  на панели инструментов).
- Для переключения номера загрузки, на панели инструментов **Загружения**  смените номер загрузки на **1** и щелкните по кнопке  – **Применить**.
- Выведите на экран форму потери устойчивости с помощью меню **Схема** ⇒ **Форма потери устойчивости** (кнопка  на панели инструментов).
- Чтобы вывести на экран коэффициенты свободных длин, выполните пункт меню **Усилия** ⇒ **Устойчивость** ⇒

Коэффициенты по  $L_y$  (кнопки , а затем  на панели инструментов).



## Импорт расчетной схемы в систему ЛИР-СТК

### Подбор и проверка сечений стальных элементов в системе ЛИР-СТК



Проектирующая система ЛИР-СТК предназначена для подбора и проверки сечений стержневых стальных элементов в соответствии со СНиП II.23-81 и СНиП 2.01.07-85. Расчет выполняется на одно или несколько расчетных сочетаний усилий (PCY), нагрузок (PCN) или усилий, полученных из статического расчета конструкций. Выполняются также проверки элементов плоского напряженного состояния.

Производится подбор и проверка следующих типов сечений:

- элементы ферм и связей, работающие на центральное сжатие и растяжение;
- балки, подверженные поперечному изгибу;
- колонны, подверженные сжатию с изгибом.

Подбор и проверка может производиться в двух режимах:

- сквозной режим, в процессе которого производится расчет для всех указанных пользователем элементов в автоматическом режиме;
- локальный режим, в процессе которого пользователь может производить многовариантное проектирование – изменять размеры сечения, менять марку стали, варьировать расстановку ребер жесткости и т.п.

Результатами расчета являются размеры сечений элементов и коэффициент использования несущей способности сечений элементов (в процентном выражении), проверяемых в соответствии с требованиями СНиП II.23-81.

Система ЛИР-СТК работает как самостоятельное приложение Windows. Обмен данными с пользовательской средой ЛИР-ВИЗОР происходит с помощью файлов данных формата #00.\*, .hvm, \*.stc.

#### Подбор сечений

Подбор сечений прокатных элементов происходит простым перебором от наименьшего по площади сечения в порядке возрастания. Таким образом, первое сечение, удовлетворяющее всем проверкам, будет наименьшим.

Подбор сечений сквозных колонн, составленных из разных прокатных сечений, происходит в два этапа. На первом этапе происходит подбор сечения каждой ветви и определяются такие высоты каждой ветви  $h_1$  и  $h_2$ , при которых площади ветвей будут наименьшими.

На втором этапе происходит компоновка стержня колонны путем перебора всех возможных высот ветвей от  $h_1$  до  $h_2$  и выбор того сечения, у которого площадь будет наименьшей. Если шаг решетки сквозной колонны не задан в исходных данных, производится попытка отыскания оптимального шага решетки из условий равноустойчивости стержня колонны и его ветвей.

Подбор сечений решетки колонн производится всегда.

Подбор сечений сплошных колонн составного сечения, как двутавр из 3-х листов, например, происходит в два этапа. На первом этапе производится вычисление соотношения площадей поясов сечения (если оно не задано в исходных данных) и подбор сечения по методике, изложенной в нормативном документе **Пособие по проектированию стальных конструкций к СНиП II.23-81**.

Если эта методика дала удовлетворительные результаты, то подбор окончен. В противном случае выполняется второй этап подбора – варьирование возможных высот сечения, чтобы получить сечение с минимальной массой.

Подбор сечений составных балок выполняется при минимальной толщине стенки. В случае двутавровой сварной балки предполагается установка только поперечных ребер жесткости, и подбор начинается с назначения толщины, соответствующей гибкости стенки:

$$\bar{\lambda}_w = 6$$

В случае двутавровой сварной балки без ребер жесткости, подбор начинается с толщины, соответствующей гибкости стенки:

$$\bar{\lambda}_w = 3.2,$$

что соответствует максимально допустимой гибкости стенки, не укрепленной поперечными ребрами жесткости, при отсутствии подвижных нагрузок.

В процессе подбора балок, если стенка не удовлетворяет условию местной устойчивости или другим условиям, происходит ее утолщение. Поэтому рекомендуется задавать реальный шаг поперечных ребер жесткости. В противном случае ребра жесткости будут расставлены с максимально допустимым по СНиП расстоянием.

Заканчивается расчет проверкой общей устойчивости. Если проверка общей устойчивости не выполняется, производится варьирование возможных габаритов и толщины сечения с целью получить сечение минимального веса. Варьирование производится в окрестностях полученного на первом этапе сечения. При этом не происходит увеличение сечения, полученного из условий

проверки по прогибу.

Расчет на местные нагрузки не производится.

### Сквозной расчет

Этот режим позволяет получить:

- таблицы результатов для произвольного фрагмента схемы;
- наглядное представление о работе сечений расчетной схемы.

### Локальный расчет

В режиме локального расчета можно проектировать сечения отдельных элементов расчетной схемы (в зависимости от вида элемента: конечный, конструктивный, унифицированный, унифицированный конструктивный). Полученные результаты сохраняются отдельным файлом.

Для того чтобы начать работу с модулем **ЛИР-СТК**, выполните следующую команду Windows:

Пуск ⇒ Программы ⇒ Lira Soft ⇒ ЛИРА 9.4 ⇒ ЛИР-СТК.

## Этап 14. Импорт расчетной схемы

- Для импорта расчетной схемы выполните пункт меню **Файл ⇒ Импорт** (кнопка  на панели инструментов).
- В диалоговом окне **Введите имя импортируемого файла** (рис.3.25) выделите файл **пример3#00.пример3**.
- Щелкните по кнопке **Открыть**.

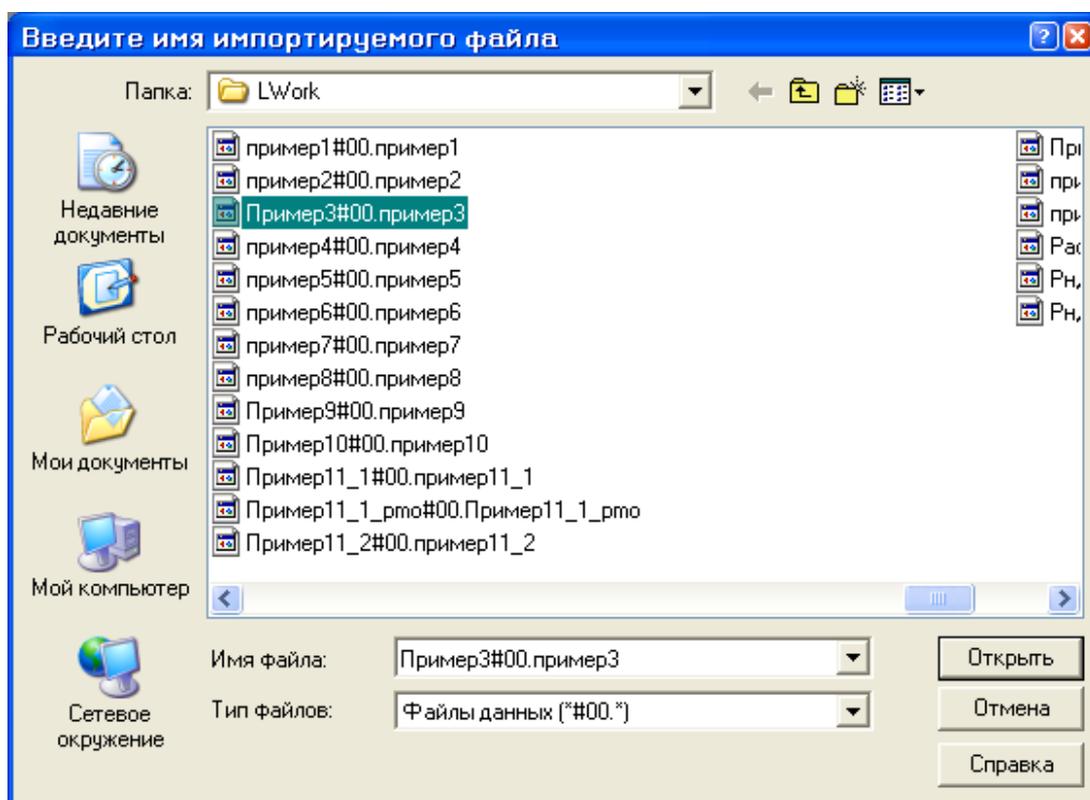


Рис.3.25. Диалоговое окно **Введите имя импортируемого файла**



Запуск модуля **ЛИР-СТК** может быть произведен из режима результатов расчета **ЛИР-ВИЗОР** с помощью меню **Окно ⇒ ЛИР-СТК**. В этом случае импортирование расчетной схемы производится автоматически.



## Задание дополнительных характеристик

### Этап 15. Задание дополнительных характеристик

#### Задание дополнительных характеристик для элементов балок

- С помощью меню **Редактировать ⇒ Сечения** (кнопка  на панели инструментов) вызовите диалоговое окно **Жесткости элементов**.

- В этом окне в списке типов жесткостей выделите строку **1. Двутавр 36**.
- Щелкните по кнопке **Изменить**.
- В диалоговом окне **Стальное сечение** в раскрывающемся списке – **Сталь** задайте марку – **ВСтЗкп2-1**.
- После этого щелкните по закладке **Дополнительные характеристики** и включите радио-кнопку **Балка**.
- Диалоговое окно **Стальные сечения** примет вид, представленный на рис.3.26, в котором задайте следующие характеристики:
  - установите флажок **использовать коэффициент к длине конструктивного элемента**;
  - задайте коэффициент  $L_{ef} = 0.25$ ;
  - для задания раскреплений сжатого пояса, установите флажок **более, делят пролет на равные части**.
  - Задайте максимально допустимый прогиб – **250**.
- Для ввода данных щелкните по кнопке **ОК**.

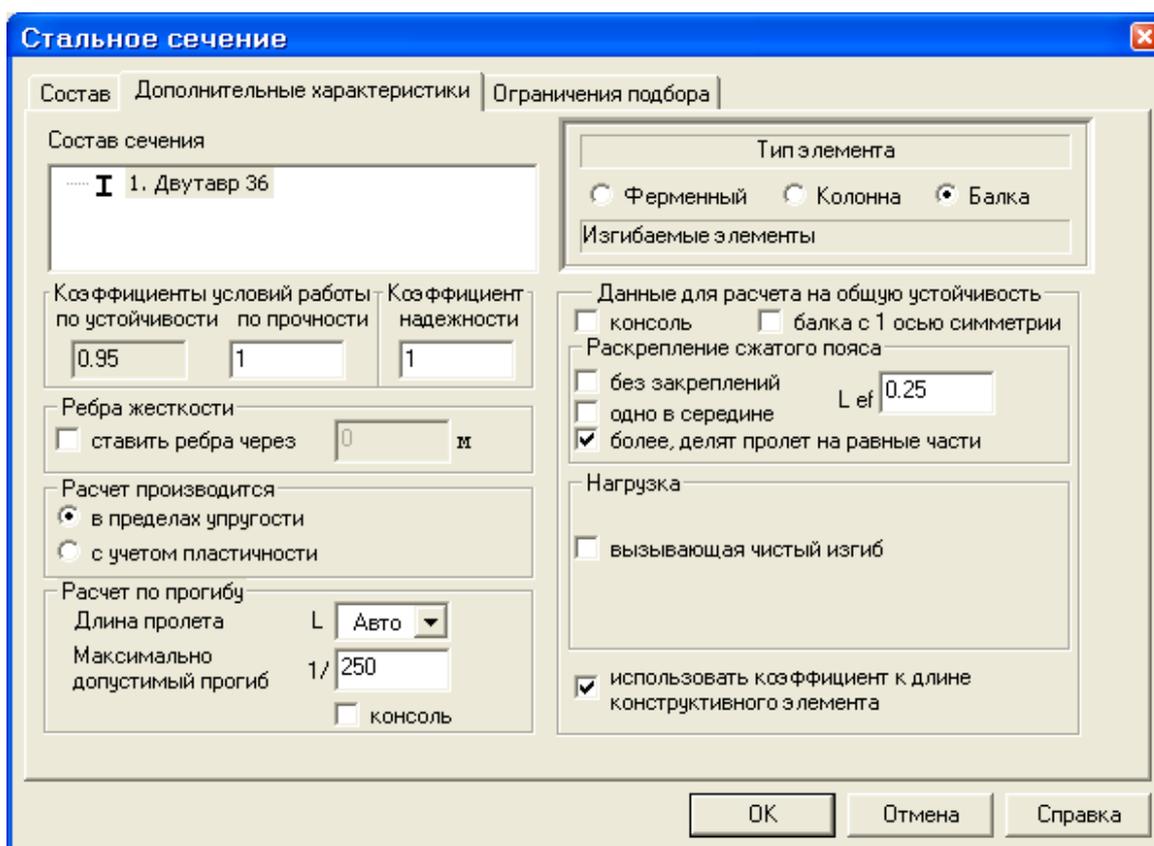
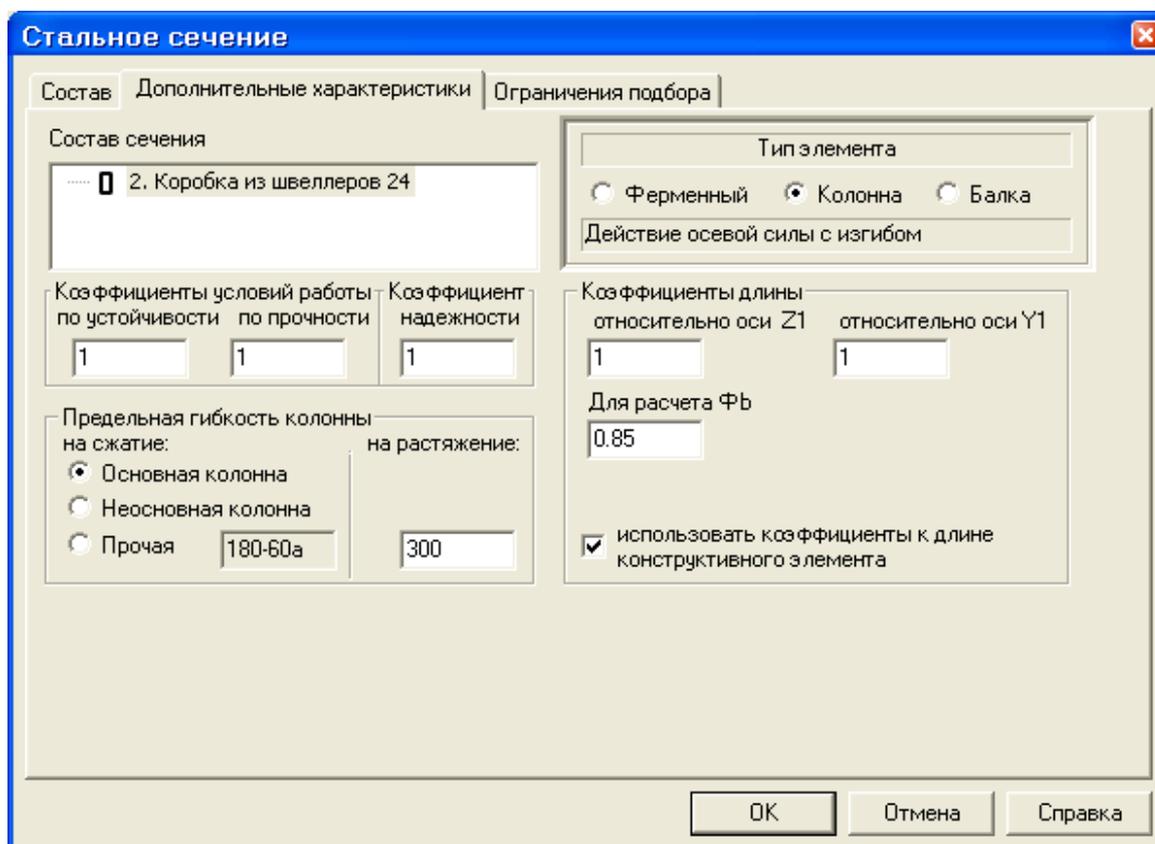


Рис.3.26. Диалоговое окно **Стальное сечение**

#### [Задание дополнительных характеристик для элементов колонн](#)

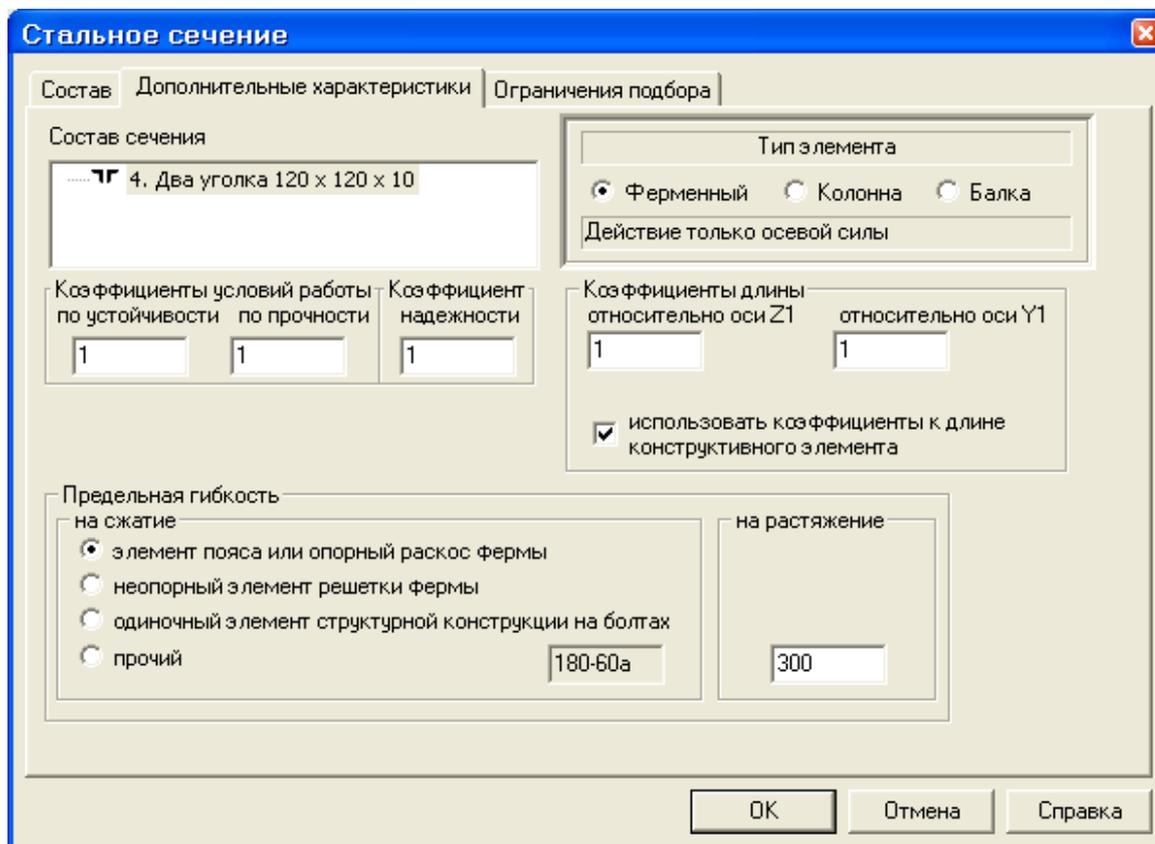
- В диалоговом окне **Жесткости элементов** в списке типов жесткостей выделите строку **2. Коробка из швеллеров 24** и щелкните по кнопке **Изменить**.
- В появившемся диалоговом окне **Стальное сечение** в раскрывающемся списке – **Сталь** задайте марку – **ВСтЗкп2-1**.
- После этого щелкните по закладке **Дополнительные характеристики** (рис.3.27) и включите радио-кнопку **Колонна**.
- Затем задайте следующие характеристики:
  - установите флажок **использовать коэффициенты к геометрической длине конструктивного элемента**;
  - задайте коэффициент длины относительно оси  $Z1 = 1$ ;
  - коэффициент длины относительно оси  $Y1 = 1$ ;
  - коэффициент длины для расчета  $\Phi_b = 0.85$ .
- Для ввода данных щелкните по кнопке **ОК**.

Рис.3.27. Диалоговое окно **Стальное сечение**

- В диалоговом окне **Жесткости элементов** в списке типов жесткостей выделите строку **3. Швеллер 24** и щелкните по кнопке **Изменить**.
- В появившемся диалоговом окне **Стальное сечение** в раскрывающемся списке – **Сталь** задайте марку – **ВСт3кп2-1**.
- После этого щелкните по закладке **Дополнительные характеристики** и включите радио-кнопку **Колонна**.
- Затем задайте следующие характеристики:
  - установите флажок **использовать коэффициенты к геометрической длине конструктивного элемента**;
  - задайте коэффициент длины относительно оси Z1 = 1;
  - коэффициент длины относительно оси Y1 = 1;
  - коэффициент длины для расчета  $\Phi_b$  = 0.85.
- Для ввода данных щелкните по кнопке **ОК**.

#### Задание дополнительных характеристик для элементов верхнего пояса фермы

- В диалоговом окне **Жесткости элементов** в списке типов жесткостей выделите строку **4. Два уголка 120 x 120 x 10** и щелкните по кнопке **Изменить**.
- В появившемся диалоговом окне **Стальное сечение** в раскрывающемся списке – **Сталь** задайте марку – **ВСт3кп2-1**.
- После этого щелкните по закладке **Дополнительные характеристики** (рис.3.28) и включите радио-кнопку **Ферменный**.
- Затем задайте следующие характеристики:
  - установите флажок **использовать коэффициенты к длине конструктивного элемента**;
  - задайте коэффициент длины относительно оси Z1 = 1;
  - задайте коэффициент длины относительно оси Y1 = 1;
  - для задания предельной гибкости на сжатие, включите радио-кнопку **элемент пояса или опорный раскос фермы**.
- Для ввода данных щелкните по кнопке **ОК**.

Рис.3.28. Диалоговое окно **Стальное сечение**

#### [Задание дополнительных характеристик для элементов нижнего пояса фермы](#)

- В диалоговом окне **Жесткости элементов** в списке типов жесткостей выделите строку **5. Два уголка 100 x 100 x 10** и щелкните по кнопке **Изменить**.
- В появившемся диалоговом окне **Стальное сечение** в раскрывающемся списке – **Сталь** задайте марку – **ВСтЗкп2-1**.
- После этого щелкните по закладке **Дополнительные характеристики** и включите радио-кнопку **Ферменный**.
- Затем задайте следующие характеристики:
  - установите флажок **использовать коэффициенты к длине конструктивного элемента**;
  - задайте коэффициент длины относительно оси Z1 = **0.33**;
  - задайте коэффициент длины относительно оси Y1 = **0.33**;
  - для задания предельной гибкости на сжатие, включите радио-кнопку **элемент пояса или опорный раскос фермы**.
- Щелкните по кнопке **ОК**.

#### [Задание дополнительных характеристик для элементов решетки фермы](#)

- В диалоговом окне **Жесткости элементов** в списке типов жесткостей выделите строку **6. Два уголка 75 x 75 x 6** и щелкните по кнопке **Изменить**.
- В появившемся диалоговом окне **Стальное сечение** в раскрывающемся списке – **Сталь** задайте марку – **ВСтЗкп2-1**.
- После этого щелкните по закладке **Дополнительные характеристики** (рис.3.28) и включите радио-кнопку **Ферменный**.
- Затем задайте следующие характеристики:
  - установите флажок **использовать коэффициенты к длине конструктивного элемента**;
  - задайте коэффициент длины относительно оси Z1 = **1**;
  - задайте коэффициент длины относительно оси Y1 = **1**;
  - для задания предельной гибкости на сжатие, включите радио-кнопку **неопорный элемент решетки фермы**.
- Щелкните по кнопке **ОК**.

- Закройте диалоговое окно **Жесткости элементов** щелчком по кнопке  – **Закреть** (назначение дополнительных характеристик происходит автоматически).



## Назначение конструктивных элементов

### Этап 16. Назначение конструктивных элементов



*Конечные элементы, объединенные в конструктивный, при конструировании рассматриваются как единое целое. Между элементами, входящими в конструктивный элемент, не должно быть разрывов, они должны иметь один тип жесткости, не должны входить в другие конструктивные элементы и унифицированные группы, а также иметь общие узлы и лежать на одной прямой.*

#### Вывод на экран номеров элементов

- Выполните пункт меню **Опции** ⇒ **Флаги рисования** (кнопка  на панели инструментов).
- В диалоговом окне **Показать** (рис.3.29) перейдите на первую закладку **Элементы** и установите флажок **Номера элементов**.
- После этого щелкните по кнопке  – **Перерисовать**.

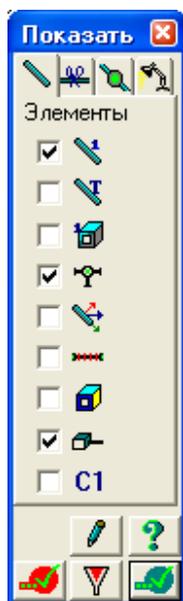


Рис.3.29. Диалоговое окно **Показать**

#### Создание конструктивного элемента БАЛКА

- Выполните пункт меню **Выбор** ⇒ **Отметка элементов** (кнопка  на панели инструментов).
- Выделите элементы № 7, 8 и 9.
- Для создания конструктивного элемента **КБ1**, воспользуйтесь пунктом меню **Редактировать** ⇒ **Создать конструктивные элементы** (кнопка  на панели инструментов).

#### Создание конструктивного элемента ФЕРМА

- Выделите элементы № 10, 11 и 12.
- Создайте конструктивный элемент **КФ2** с помощью пункта меню **Редактировать** ⇒ **Создать конструктивные элементы** (кнопка  на панели инструментов).

#### Создание конструктивного элемента КОЛОННА

- Выделите элементы № 1 и 2.
- Создайте конструктивный элемент **КК3** с помощью пункта меню **Редактировать** ⇒ **Создать конструктивные элементы** (кнопка  на панели инструментов).



## Назначение раскреплений в узлах изгибаемых элементов

### Этап 17. Назначение раскреплений в узлах изгибаемых элементов

- Выделите элементы № 7, 8 и 9.
- С помощью пункта меню **Редактировать** ⇒ **Раскрепления для прогибов** (кнопка  на панели инструментов) вызовите диалоговое окно **Раскрепление стержней** (рис.3.30).
- В этом окне, при установленных флажках раскреплений – **Y1, Z1**, выберите в раскрывающемся списке строку **В каждом узле каждого конечного элемента**.
- Щелкните по кнопке **ОК** (прогиб сечений элемента определяется относительно линии, соединяющей раскрепления на его концах).

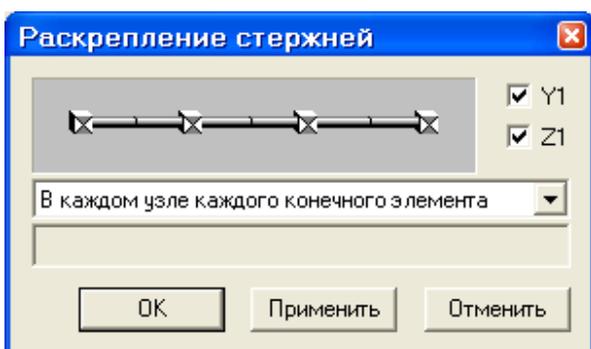


Рис.3.30. Диалоговое окно **Раскрепление стержней**



## Подбор и проверка назначенных сечений

### Этап 18. Подбор и проверка назначенных сечений

- Для выполнения подбора и проверки назначенных сечений, с помощью меню **Расчет** ⇒ **Выполнить Расчет** (кнопка  на панели инструментов) вызовите диалоговое окно **Расчет** (рис.3.31).
- В этом окне, при установленных флажках **проверка** и **подбор сечений** и включенной радио-кнопке **по РСН (расчетным сочетаниям нагрузок)**, щелкните по кнопке **Расчет**.

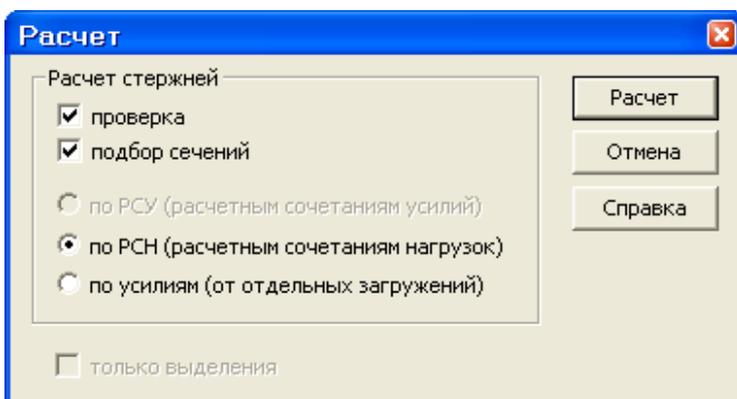


Рис.3.31. Диалоговое окно **Расчет**



## Создание таблиц результатов подбора и проверки назначенных сечений

### Этап 19. Создание таблиц результатов подбора и проверки назначенных сечений

#### [Создание таблицы проверки назначенных сечений](#)

- Вызовите диалоговое окно **Таблицы результатов** (рис.3.32) с помощью меню **Результаты** ⇒ **Стандартные таблицы** (кнопка  на панели инструментов).

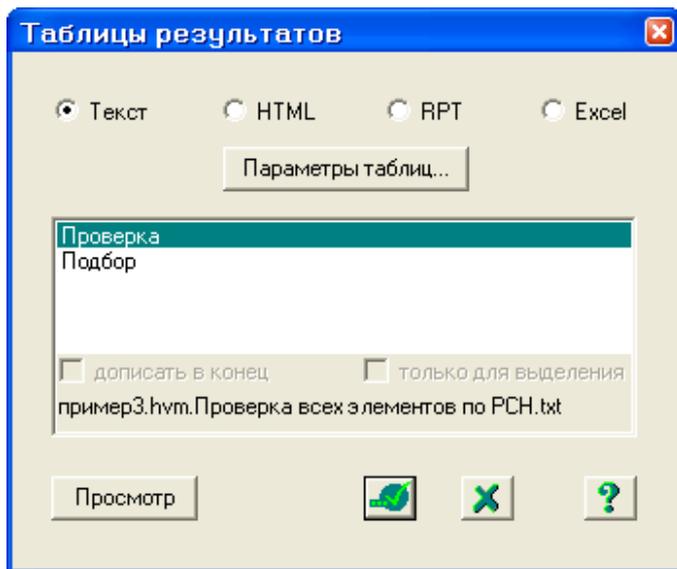


Рис.3.32. Диалоговое окно **Таблицы результатов**

- В этом окне выделите строку **Проверка**.
- Щелкните по кнопке  – **Применить** (для создания таблиц результатов в HTML-, RPT- и Excel-форматах нужно включить соответствующую радио-кнопку).
- Для того чтобы пролистать таблицу, закройте диалоговое окно **Стандартные таблицы** щелчком по кнопке  – **Заккрыть**. Чтобы закрыть таблицу, выполните пункт меню **Файл** ⇒ **Заккрыть**.

#### Создание таблицы подбора сечений

- Вызовите диалоговое окно **Таблицы результатов** с помощью меню **Результаты** ⇒ **Стандартные таблицы** (кнопка  на панели инструментов).
- В этом окне выделите строку **Подбор**.
- Щелкните по кнопке  – **Применить**.

