

# Пошаговая инструкция задания исходных данных для расчета на устойчивость к прогрессирующему обрушению

Этап 1. Подготовка модели рамы .....	2
Этап 2. Задание нагрузок.....	3
Задание расширенной информации о загрузениях .....	4
Формирование загрузки № 1.....	5
Формирование загрузки № 2.....	6
Формирование загрузки № 3.....	7
Формирование загрузки № 4.....	7
Формирование загрузки № 5.....	7
Формирование загрузки № 6.....	8
Этап 3. Моделирование стадий возведения.....	8
Этап 4. Задание вариантов конструирования.....	10
Этап 5. Задание жесткостных параметров и параметров материалов элементам рамы .....	11
Формирование типов жесткости .....	11
Задание материалов для железобетонных конструкций .....	12
Назначение жесткостей и материалов элементам рамы .....	14
Этап 6. Формирование таблицы параметров динамических воздействий .....	14
Задание характеристик для расчёта на пульсацию ветра .....	14
Этап 7. Формирование динамических загрузений из статических .....	16
Этап 8. Генерация таблицы РСУ .....	17
Этап 9. Назначение конструктивных элементов.....	19
Создание конструктивного элемента БАЛКА .....	19
Этап 10. Полный расчет рамы .....	19
Этап 11. Просмотр и анализ результатов армирования и создание типов заданного армирования по результатам расчёта .....	19
Настройка шкалы армирования колонн .....	19
Формирование типов заданного армирования по результатам расчёта колонн .....	20
Формирование типов заданного армирования по результатам расчёта ригелей .....	20
Назначение типов заданного армирования элементам .....	23
Этап 12. Проверка заданного армирования.....	25
Этап 13. Создание модели с нелинейными характеристиками жёсткостей .....	26
Создание новой расчётной схемы на основе результатов расчёта.....	26
Проверка исходных данных в нелинейной задаче .....	27
Настройка законов нелинейной работы арматуры .....	27
Этап 14. Создание модели для расчёта на устойчивость к прогрессирующему обрушению в квазистатической постановке .....	30
Корректировка списка загрузений.....	30
Этап 15. Полный расчет рамы на устойчивость к прогрессирующему обрушению в квазистатической постановке.....	35
Этап 16. Просмотр и анализ результатов расчёта.....	35
Этап 17. Создание модели для расчёта на устойчивость к прогрессирующему обрушению в динамической постановке.....	36
Корректировка монтажных стадий.....	36
Корректировка списка загрузений.....	36
Настройка параметров динамики во времени.....	38
Настройка локального разрушения .....	39
Смена типов КЭ для элементов рамы .....	40
Корректировка типов жёсткостей.....	41
Этап 18. Полный расчет рамы на устойчивость к прогрессирующему обрушению в динамической постановке.....	41
Этап 19. Просмотр и расчёта .....	41
Смена номера текущего загрузения.....	42

### Цели и задачи:

- продемонстрировать технологию проведения расчета на устойчивость конструкций зданий к прогрессирующему обрушению.

### Исходные данные:

В качестве исходных данных, принимаем модель рамы, рассматриваемую в Примере 1. В данном примере нужно выполнить этапы 1-3, полученную модель будем использовать в качестве исходной задачи для расчёта на устойчивость к прогрессирующему обрушению

### Нагрузки (нормативные):

- вес плит перекрытия  $6 \text{ м} \times 0.33 \text{ т/м}^2 = 1.98 \text{ т/м}$ ;
- перегородки  $6 \text{ м} \times 0.092 \text{ т/м}^2 = 0.552 \text{ т/м}$ ;
- конструкция пола  $6 \text{ м} \times 0.072 \text{ т/м}^2 = 0.432 \text{ т/м}$ ;
- полезная  $6 \text{ м} \times 0.15 \text{ т/м}^2 = 0.9 \text{ т/м}$ ;
- ветер  $0.023 \text{ т/м}^2$ ;
- Нагрузки (расчётные):
- вес плит перекрытия  $1.98 \text{ т/м} \times 1.1 = 2.18 \text{ т/м}$ ;
- перегородки  $0.552 \text{ т/м} \times 1.2 = 0.662 \text{ т/м}$ ;
- конструкция пола  $0.432 \text{ т/м} \times 1.3 = 0.562 \text{ т/м}$ ;
- полезная  $0.9 \text{ т/м} \times 1.3 = 1.17 \text{ т/м}$ ;
- ветер  $0.023 \text{ т/м}^2 \times 1.4 = 0.032 \text{ т/м}^2$ ;

В этом примере описан современный подход к данной проблеме с использованием уникальных возможностей ПК ЛИРА-САПР. На первом этапе выполняется расчет в линейной постановке на нагрузки, соответствующие эксплуатационному периоду здания. Происходит подбор площади арматуры и создание типов заданного армирования. На втором этапе выполняется расчет в физической и нелинейной квазистатической постановке на нагрузки соответствующие аварийной ситуации. Стартовым состоянием для третьего этапа является НДС конструкции определенное на первом этапе. Расчет на третьем этапе также производится в линейной динамической постановке.

Для того чтобы начать работу с ПК ЛИРА-САПР, выполните следующую команду Windows:  
Пуск ⇒ Все программы (Все приложения) ⇒ LIRA SAPR ⇒ ЛИРА-САПР 2024 ⇒ ЛИРА-САПР 2024.

## Этап 1. Подготовка модели рамы

- Откройте руководство пользователя Пример 1 и выполните действия этапов 1-3, полученную задачу сохраните в отдельной директории, для дальнейшего расчёта на устойчивость к прогрессирующему обрушению.
- Вызовите диалоговое окно **Добавить элемент** (рис.16.1) щелчком по кнопке  – **Добавить элемент** (панель **Создание** на вкладке **Создание и редактирование**).
- В этом диалоговом окне щёлкните по кнопке разделить на N равных частей .
- Щелкните по кнопке  – **Отметка горизонтальных стержней** на панели инструментов **Панель выбора**.
- С помощью курсора выделите все горизонтальные элементы схемы (выделенные элементы окрашиваются в красный цвет).
- В диалоговом окне введите количество частей 4.
- Щелкните по кнопке  – **Применить**.

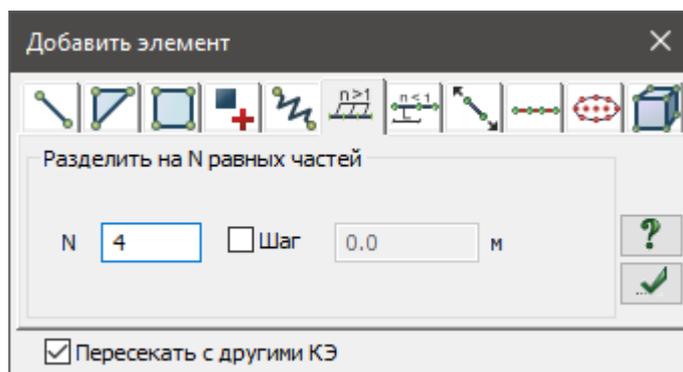
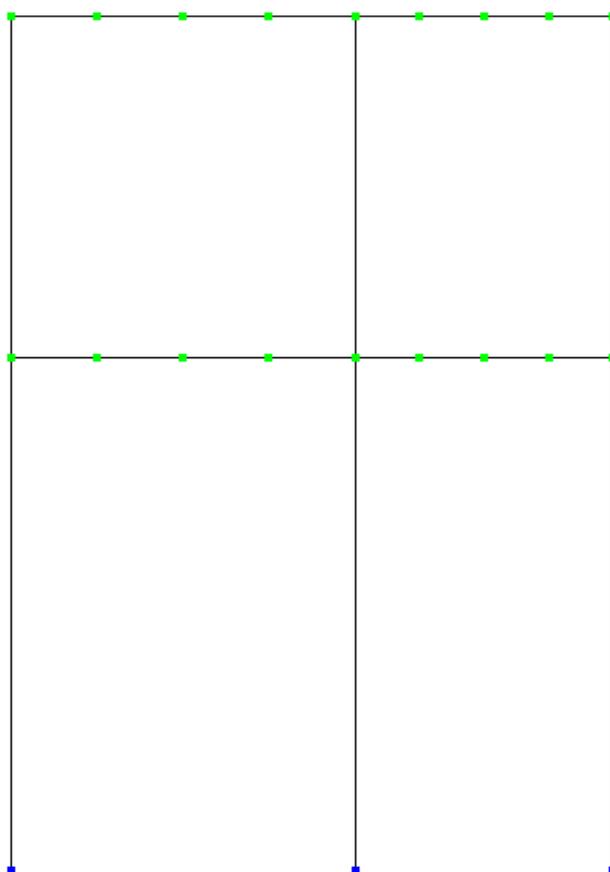
Рис.16.1. Диалоговое окно **Добавить элемент**

Рис.16.2. Общий вид рамы после добавления элементов

В новом файле должна быть модель рамы, элементам которой назначены жёсткости. В узлах назначены связи. Приложение нагрузок и подбор армирования будет выполняться в рамках данного примера.

## Этап 2. Задание нагрузок

Расчет с подбором армирования производится на действие расчётных нагрузок. Ввиду того, что при расчёте на устойчивость к прогрессирующему обрушению, необходимо учитывать последовательность возведения конструкций, сформируем стадии монтажа на этапе подбора армирования, это означает что нагрузка от собственного веса конструкций будет прикладываться отдельно к элементам, смонтированным на каждой стадии.

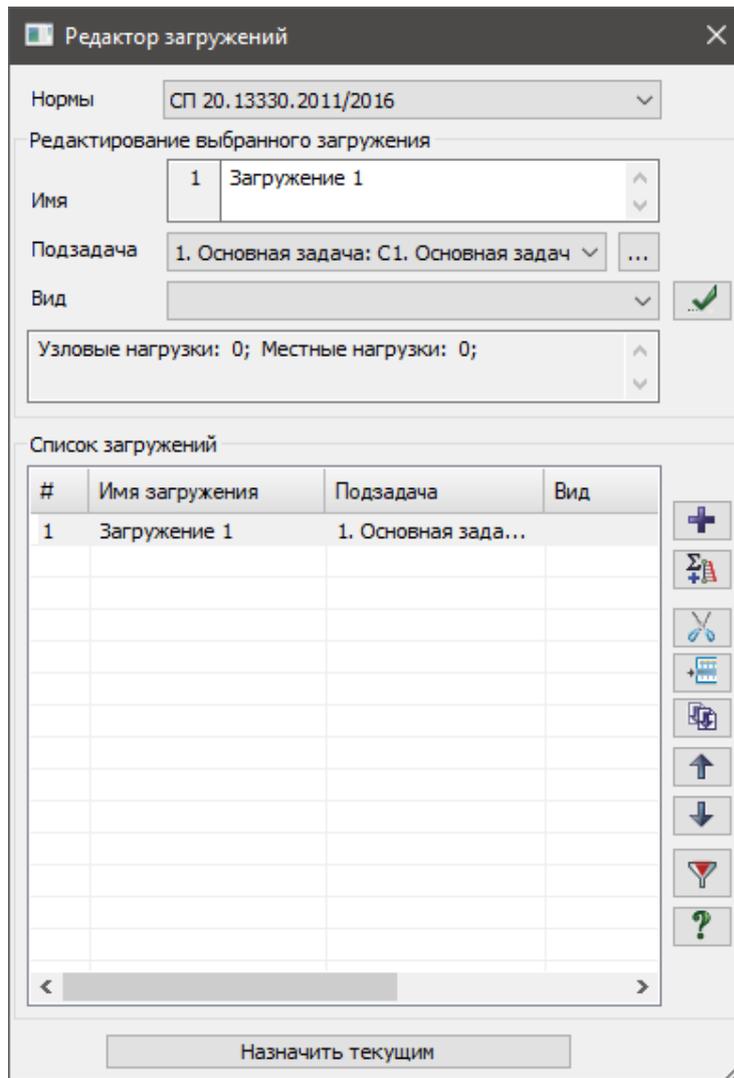


Рис.16.3. Диалоговое окно Редактор загрузений

### Задание расширенной информации о загрузениях

- Вызовите диалоговое окно **Редактор загрузений** (рис.16.3) щелчком по кнопке  – **Редактор загрузений** (панель **Нагрузки** на вкладке **Создание и редактирование**).
- Для Загрузки 1 в поле **Редактирование выбранного загрузения** выберите в раскрывающемся списке **Вид** строку **Постоянное**, задайте имя «**Этаж 1**» и щелкните по кнопке  – **Применить**.
- Чтобы добавить второе загрузение, в поле **Список загрузений** щелкните по кнопке  – **Добавить загрузение (в конец)**.
- Для Загрузки 2 в поле **Редактирование выбранного загрузения** выберите в раскрывающемся списке **Вид** строку **Постоянное**, задайте имя «**Этаж 2**» и щелкните по кнопке  – **Применить**.
- Чтобы добавить третье загрузение, в поле **Список загрузений** щелкните по кнопке  – **Добавить загрузение (в конец)**.
- Для Загрузки 3 в поле **Редактирование выбранного загрузения** выберите в раскрывающемся списке **Вид** строку **Постоянное**, задайте имя «**Перегородки**» и щелкните по кнопке  – **Применить**.

- Чтобы добавить четвертое загрузжение, в поле **Список загрузжений** щелкните по кнопке  – **Добавить загрузжение (в конец)**.

Для Загрузжения 4 в поле **Редактирование выбранного загрузжения** выберите в раскрывающемся списке **Вид** строку **Постоянное**, задайте имя «**Полы**» и щелкните по кнопке  – **Применить**.
- Чтобы добавить четвертое загрузжение, в поле **Список загрузжений** щелкните по кнопке  – **Добавить загрузжение (в конец)**.

Для Загрузжения 5 в поле **Редактирование выбранного загрузжения** выберите в раскрывающемся списке **Вид** строку **Кратк. доминир. 1**, задайте имя «**Полезная**» и щелкните по кнопке  – **Применить**.
- Чтобы добавить четвертое загрузжение, в поле **Список загрузжений** щелкните по кнопке  – **Добавить загрузжение (в конец)**.

Для Загрузжения 6 в поле **Редактирование выбранного загрузжения** выберите в раскрывающемся списке **Вид** строку **Неактивное**, задайте имя «**Ветер (статика)**» и щелкните по кнопке  – **Применить**.
- Чтобы добавить четвертое загрузжение, в поле **Список загрузжений** щелкните по кнопке  – **Добавить загрузжение (в конец)**.

Для Загрузжения 6 в поле **Редактирование выбранного загрузжения** выберите в раскрывающемся списке **Вид** строку **Мгновенное**, задайте имя «**Ветер (пульсация)**» и щелкните по кнопке  – **Применить**.

Чтобы перейти к формированию первого загрузжения, в поле **Список загрузжений** выделите первую строку **1. Этаж 1** и щелкните по кнопке **Назначить текущим** (можно назначить текущее загрузжение двойным щелчком по строке списка).

*Задание расширенной информации о загрузжениях можно также выполнить после формирования загрузжений. В этом случае нужно задать только вид загрузжения.*

## Формирование загрузжения № 1

- Щёлкните по кнопке  – Отметка элементов в раскрывающемся списке Отметка элементов на панели инструментов.

С помощью курсора выделите элементы первого этажа (выделенные элементы окрашиваются в красный цвет).

*Отметка элементов выполняется с помощью одиночного указания курсором или растягиванием «резинового окна» вокруг группы элементов.*

- Для задания нагрузки от собственного веса плиты, щелчком по кнопке  – **Добавить собственный вес** (панель **Нагрузки** на вкладке **Создание и редактирование**) вызовите диалоговое окно **Добавить собственный вес** (рис.16.4).

В этом окне, при включенной радио-кнопке **отмеченные элементы** и заданном коэф. надежности по нагрузке равном **1.1**, щелкните по

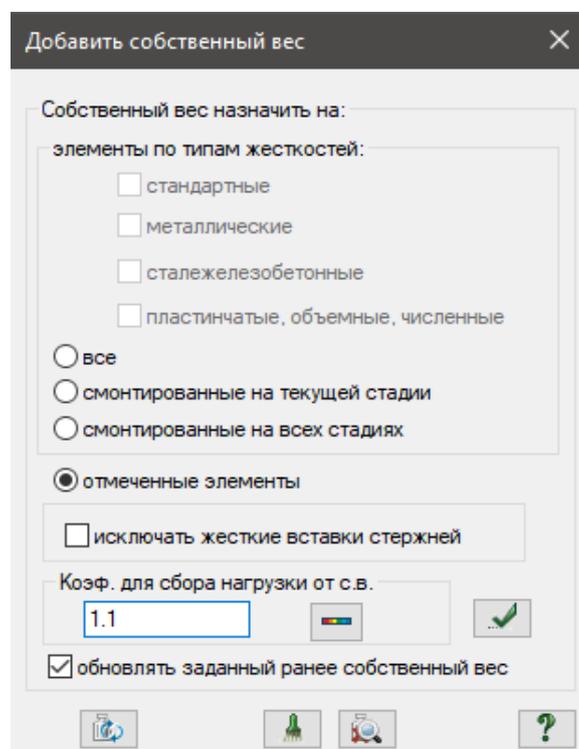


Рис.16.4. Диалоговое окно **Добавить собственный вес**

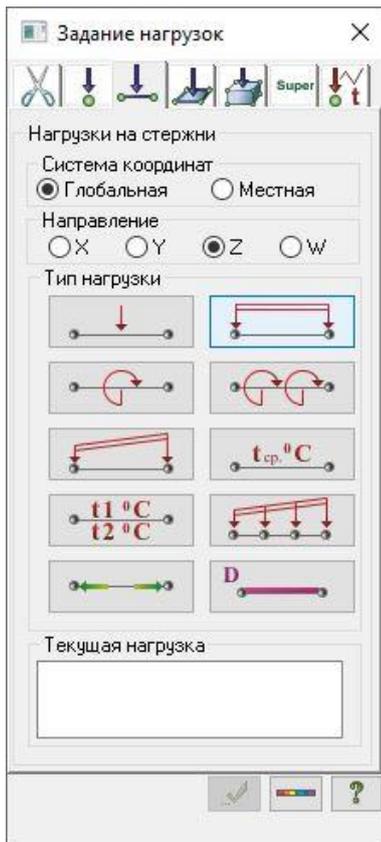


Рис.16.5. Диалоговое окно Задание нагрузок

кнопке – **Применить** (в соответствии с заданным объемным весом  $R_0$  элементы загружаются нагрузкой от собственного веса).

- Щелкните по кнопке – **Отметка горизонтальных стержней** на панели инструментов **Панель выбора**.
- Выделите горизонтальные элементы первого этажа.
- Вызовите диалоговое окно **Задание нагрузок** на закладке

**Нагрузки на стержни** (рис.16.5) выбрав команду – **Нагрузка на стержни** в раскрывающемся списке **Нагрузки на узлы и элементы** (панель **Нагрузки** на вкладке **Создание и редактирование**).

- В этом окне 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  $p = 2.18$  т/м (рис.16.6).

- Щелкните по кнопке – **Подтвердить** (после подтверждения величины нагрузки происходит автоматическое назначение этой нагрузки на выделенные элементы).

## Формирование загрузки № 2

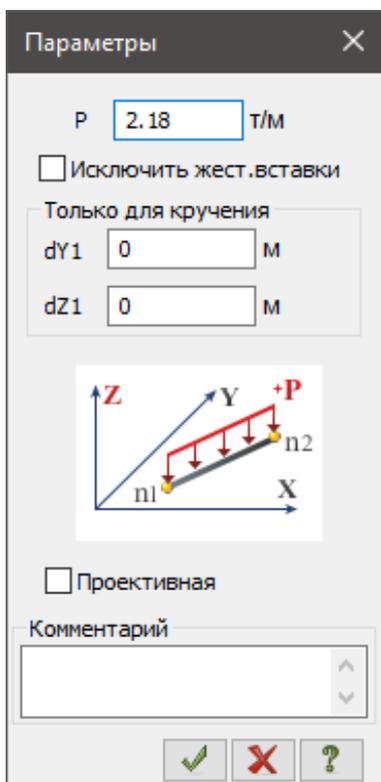


Рис.16.6. Диалоговое окно Параметры

- Смените номер текущего нагружения щелчком по кнопке – **Следующее нагружение** в строке состояния (находится в нижней области рабочего окна).

- С помощью курсора выделите элементы второго этажа (выделенные элементы окрашиваются в красный цвет).

- Для задания нагрузки от собственного веса плиты, щелчком по

кнопке – **Добавить собственный вес** (панель **Нагрузки** на вкладке **Создание и редактирование**) вызовите диалоговое окно **Добавить собственный вес**.

- 
- В этом окне, при включенной радио-кнопке **отмеченные элементы** и заданном коэф. надежности по нагрузке равном **1.1**,

щелкните по кнопке – **Применить** (в соответствии с заданным объемным весом  $R_0$  элементы загружаются нагрузкой от собственного веса).

- Щелкните по кнопке – **Отметка горизонтальных стержней** на панели инструментов **Панель выбора**.
- Выделите горизонтальные элементы первого этажа.
- Вызовите диалоговое окно **Задание нагрузок** на закладке

**Нагрузки на стержни** выбрав команду – **Нагрузка на стержни** в раскрывающемся списке **Нагрузки на узлы и элементы** (панель **Нагрузки** на вкладке **Создание и редактирование**).

- В этом окне 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  $p = 2.18$  т/м.
- Щелкните по кнопке  – **Подтвердить** (после подтверждения величины нагрузки происходит автоматическое назначение этой нагрузки на выделенные элементы).

### Формирование загрузки № 3

- Смените номер текущего загрузки щелчком по кнопке  – **Следующее загрузка** в строке состояния (находится в нижней области рабочего окна).
- Щелкните по кнопке  – **Отметка горизонтальных стержней** на панели инструментов **Панель выбора**.
- Выделите все горизонтальные элементы схемы.
- Вызовите диалоговое окно **Задание нагрузок** на закладке **Нагрузки на стержни** выбрав команду  – **Нагрузка на стержни** в раскрывающемся списке **Нагрузки на узлы и элементы** (панель **Нагрузки** на вкладке **Создание и редактирование**).
- В этом окне 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  $p = 0.66$  т/м.
- Щелкните по кнопке  – **Подтвердить** (после подтверждения величины нагрузки происходит автоматическое назначение этой нагрузки на выделенные элементы).

### Формирование загрузки № 4

- Смените номер текущего загрузки щелчком по кнопке  – **Следующее загрузка** в строке состояния (находится в нижней области рабочего окна).
- Щелкните по кнопке  – **Отметка горизонтальных стержней** на панели инструментов **Панель выбора**.
- Выделите все горизонтальные элементы схемы.
- Вызовите диалоговое окно **Задание нагрузок** на закладке **Нагрузки на стержни** выбрав команду  – **Нагрузка на стержни** в раскрывающемся списке **Нагрузки на узлы и элементы** (панель **Нагрузки** на вкладке **Создание и редактирование**).
- В этом окне 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  $p = 0.56$  т/м.
- Щелкните по кнопке  – **Подтвердить** (после подтверждения величины нагрузки происходит автоматическое назначение этой нагрузки на выделенные элементы).

### Формирование загрузки № 5

- Смените номер текущего загрузки щелчком по кнопке  – **Следующее загрузка** в строке состояния (находится в нижней области рабочего окна).
- Щелкните по кнопке  – **Отметка горизонтальных стержней** на панели инструментов **Панель выбора**.
- Выделите все горизонтальные элементы схемы.

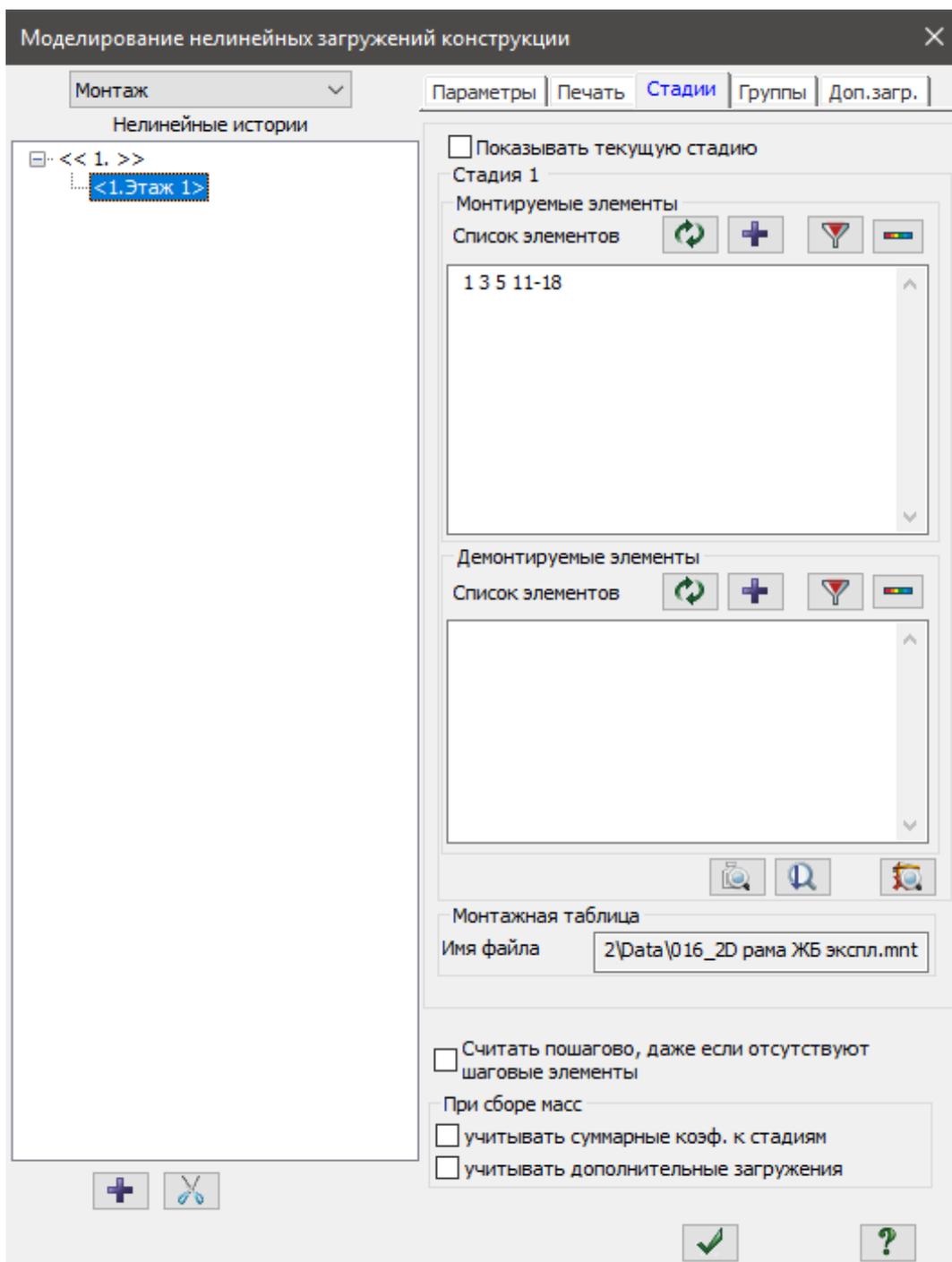
- Вызовите диалоговое окно **Задание нагрузок** на закладке **Нагрузки на стержни** выбрав команду  – **Нагрузка на стержни** в раскрывающемся списке **Нагрузки на узлы и элементы** (панель **Нагрузки** на вкладке **Создание и редактирование**).
- В этом окне по умолчанию указана система координат **Глобальная**, направление – вдоль оси **Z**.
- Щелчком по кнопке равномерно распределенной нагрузки вызовите диалоговое окно **Параметры**.
- В этом окне задайте интенсивность нагрузки  $p = 1.17$  т/м.
  
- Щелкните по кнопке  – **Подтвердить** (после подтверждения величины нагрузки происходит автоматическое назначение этой нагрузки на выделенные элементы).

## Формирование загрузки № 6

- Смените номер текущего нагружения щелчком по кнопке  – **Следующее нагружение** в строке состояния или с помощью диалогового окна **Редактор нагружений**.
- Щелкните по кнопке  – **Отметка узлов** в раскрывающемся списке **Отметка узлов** на панели инструментов **Панель выбора**.
- С помощью курсора выделите узел № 4.
- В диалоговом окне **Задание нагрузок** перейдите на вторую закладку **Нагрузки в узлах**.
- Затем радио-кнопками укажите систему координат **Глобальная**, направление – вдоль оси **X**.
  
- Щелчком по кнопке  - **Сосредоточенная сила** вызовите диалоговое окно **Параметры нагрузки**.
- В этом окне введите значение  $P1 = -1.14$  т.
  
- Щелкните по кнопке  – **Подтвердить**.
- С помощью курсора выделите узел № 7.
- В диалоговом окне **Задание нагрузок** перейдите на вторую закладку **Нагрузки в узлах**.
- Затем радио-кнопками укажите систему координат **Глобальная**, направление – вдоль оси **X**.
  
- Щелчком по кнопке  - **Сосредоточенная сила** вызовите диалоговое окно **Параметры нагрузки**.
- В этом окне введите значение  $P1 = -0.46$  т.
  
- Щелкните по кнопке  – **Подтвердить**.

## Этап 3. Моделирование стадий возведения

- Щелчком по кнопке  – **Монтаж** (панель **Нелинейность** на вкладке **Расчет**) вызовите диалоговое окно **Моделирование нелинейных нагружений конструкции** (рис.16.7).
- В этом окне, для создания первой стадии монтажа, перейдите на третью закладку **Стадии** и после этого щелкните по кнопке  – **Добавить** (в левой части окна в поле **История** добавляется первая история нагружений и автоматически выделяется строка **первой** стадии монтажа).
  
- Щелкните по кнопке  – **Отметка элементов** в раскрывающемся списке **Отметка элементов** на панели инструментов.
- С помощью курсора выделите элементы первого этажа (выделенные элементы окрашиваются в красный цвет).
- После выделения элементов в диалоговом окне **Моделирование нелинейных нагружений конструкции** (рис.16.7) в поле ввода **Монтируемые элементы** щелкните по кнопке **Все отмеченные** (в списке автоматически отображаются номера выделенных на схеме элементов).

Рис.16.7. Диалоговое окно **Моделирование нелинейных нагрузений конструкции**

- ❑ Снимите выделение с элементов щелчком по кнопке  – **Отмена выделения** на панели инструментов **Панель выбора**.
- ❑ В диалоговом окне **Моделирование нелинейных нагрузений конструкции** для создания **второй** стадии монтажа щелкните по кнопке  – **Добавить**.
- ❑ С помощью курсора выделите элементы первого этажа (выделенные элементы окрашиваются в красный цвет).
- ❑ После выделения элементов в диалоговом окне **Моделирование нелинейных нагрузений конструкции** в поле ввода **Монтируемые элементы** щелкните по кнопке **Все отмеченные** (в списке автоматически отображаются номера выделенных на схеме элементов).
- ❑ В диалоговом окне **Моделирование нелинейных нагрузений конструкции** для создания **третьей** и **четвёртой** стадий монтажа дважды щелкните по кнопке  – **Добавить**.

- Для ввода данных щелкните по кнопке  – **Подтвердить**.

В третьей и четвёртой стадиях монтажа происходит только приложение нагрузок на элементы, монтаж новых элементов, при этом, не выполняется. Такой подход позволяет смоделировать напряжённо-деформированное состояние конструкции, при котором происходит накопление внутренних усилий на каждом этапе монтажа или приложения нагрузки.

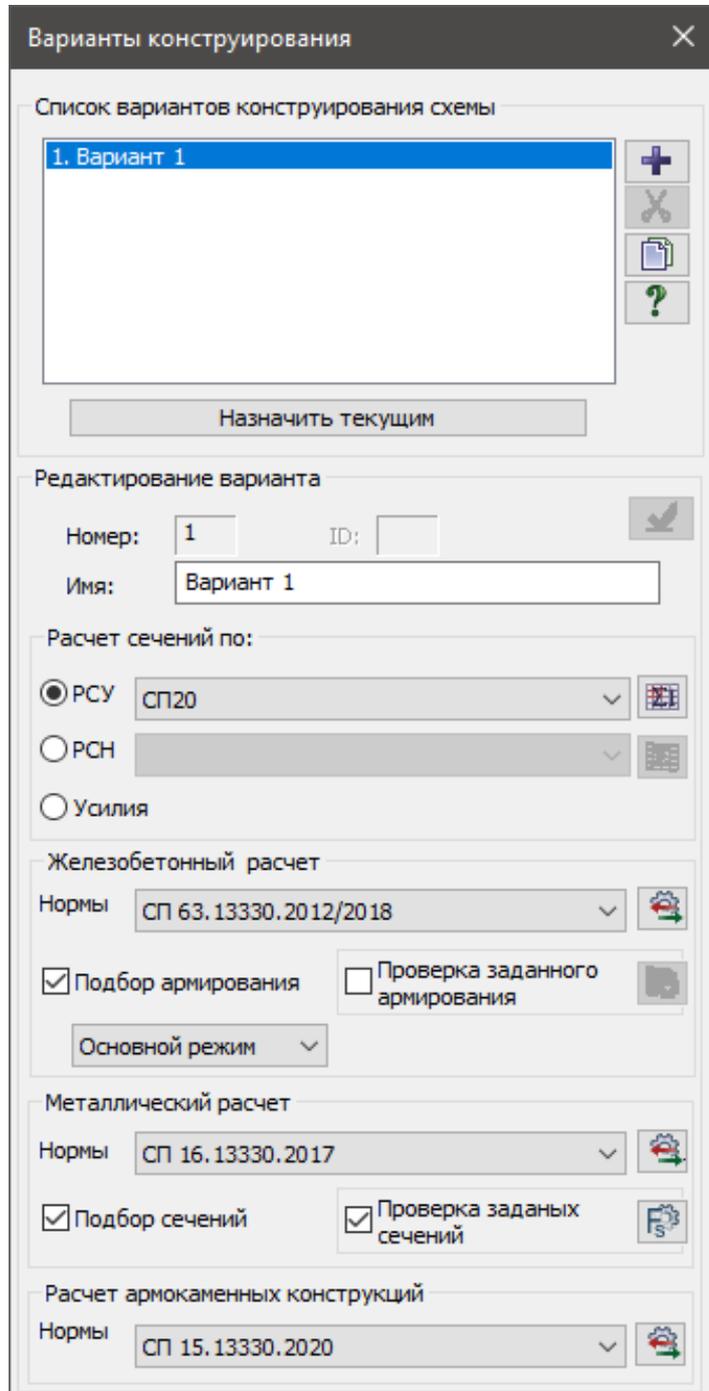


Рис.16.8. Диалоговое окно **Варианты конструирования**

## Этап 4. Задание вариантов конструирования

- Вызовите диалоговое окно **Варианты конструирования** (рис.16.8) щелчком по

кнопке  – **Варианты конструирования схемы** (панель **Конструирование** на вкладке **Создание и редактирование**).

- В этом диалоговом окне задайте параметры для первого варианта конструирования:
  - в списке **Расчет сечений по:** включите радио-кнопку **PCY**;
  - для выбора таблицы PCY щелкните по кнопке  – **Добавить/Редактировать таблицу PCY**;

- в появившемся диалоговом окне **Расчетные сочетания усилий**

щелкните по кнопке  – **Подтвердить**;

- в списке **Железобетонный расчёт** выберите нормы СП 63.13330.2012/2018;
- в списке **Металлический расчёт** выберите нормы СП 16.13330.2017;
- в списке **Расчёт армокаменных конструкций** выберите нормы СП 15.13330.2020;

остальные параметры диалогового окна **Варианты конструирования** принимаются по умолчанию.

- После этого в диалоговом окне **Варианты конструирования** щелкните

по кнопке  – **Применить**.

- Закройте диалоговое окно **Варианты конструирования** щелчком по кнопке

 – **Закреть**.

## Этап 5. Задание жесткостных параметров и параметров материалов элементам рамы

### Формирование типов жесткости

- ❑ Щелчком по кнопке  – **Жесткости и материалы элементов** (панель **Жесткости и связи** на вкладке **Создание и редактирование**) вызовите диалоговое окно **Жесткости и материалы** (рис.16.9, а).
- ❑ В этом окне щелчком по кнопке **Добавить** вызовите диалоговое окно **Добавить жесткость**, для того чтобы вывести список стандартных типов сечений (рис.16.9, б).

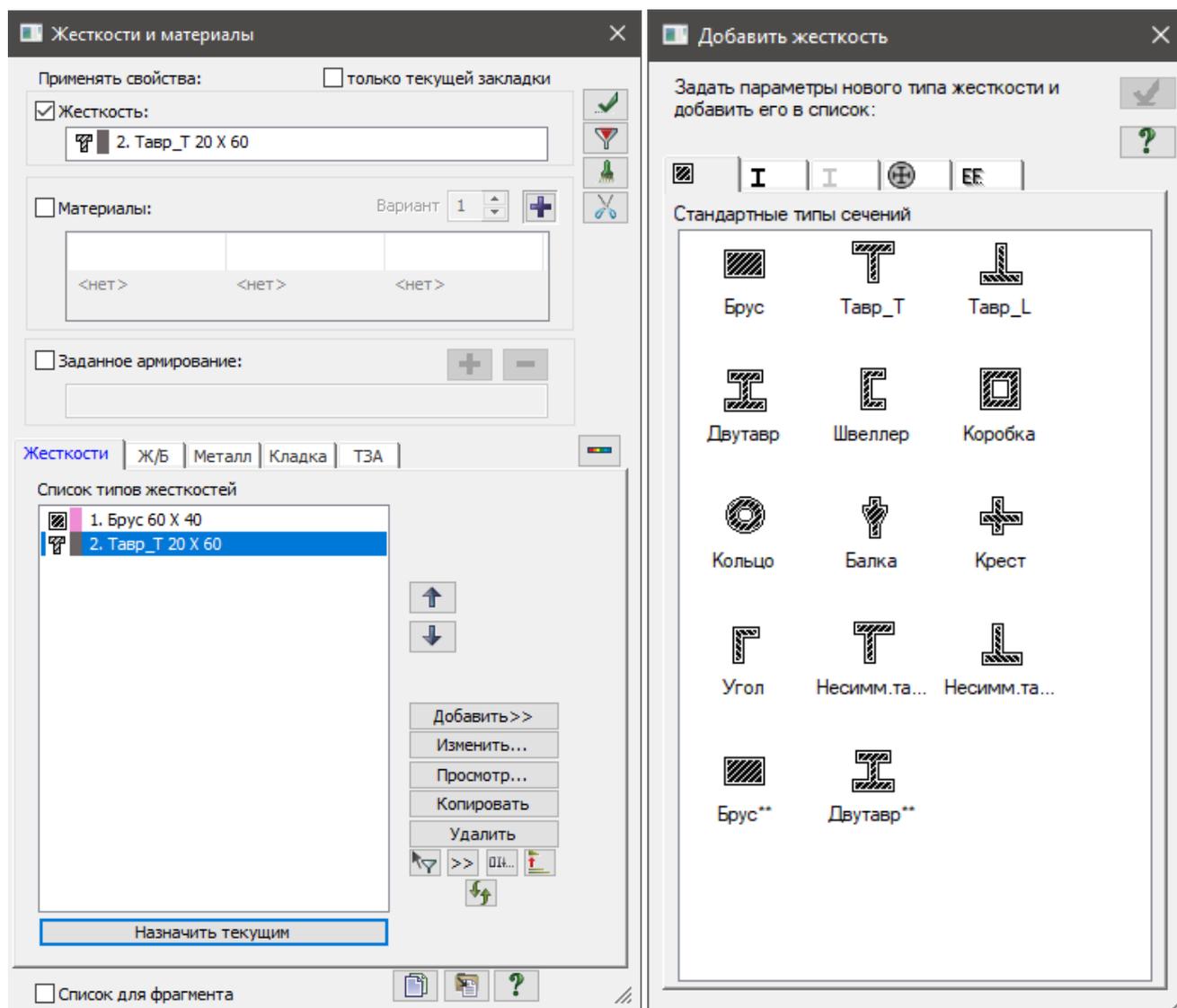


Рис.16.9. Диалоговые окна: а – Жесткости и материалы, б – Добавить жесткость

- ❑ Выберите двойным щелчком мыши на элементе графического списка тип сечения **Брус** (на экран выводится диалоговое окно для задания жесткостных характеристик выбранного типа сечения).
- ❑ В диалоговом окне **Задание стандартного сечения** (рис.16.10) задайте параметры сечения **Брус**:
  - модуль упругости –  $E = 3e6 \text{ т/м}^2$  (при английской раскладке клавиатуры);
  - коэффициент Пуассона –  $\nu = 0.2$ ;
  - геометрические размеры –  $B = 60 \text{ см}$ ;  $H = 40 \text{ см}$ .
- ❑ Чтобы увидеть эскиз создаваемого сечения со всеми размерами, щелкните по кнопке **Нарисовать**.

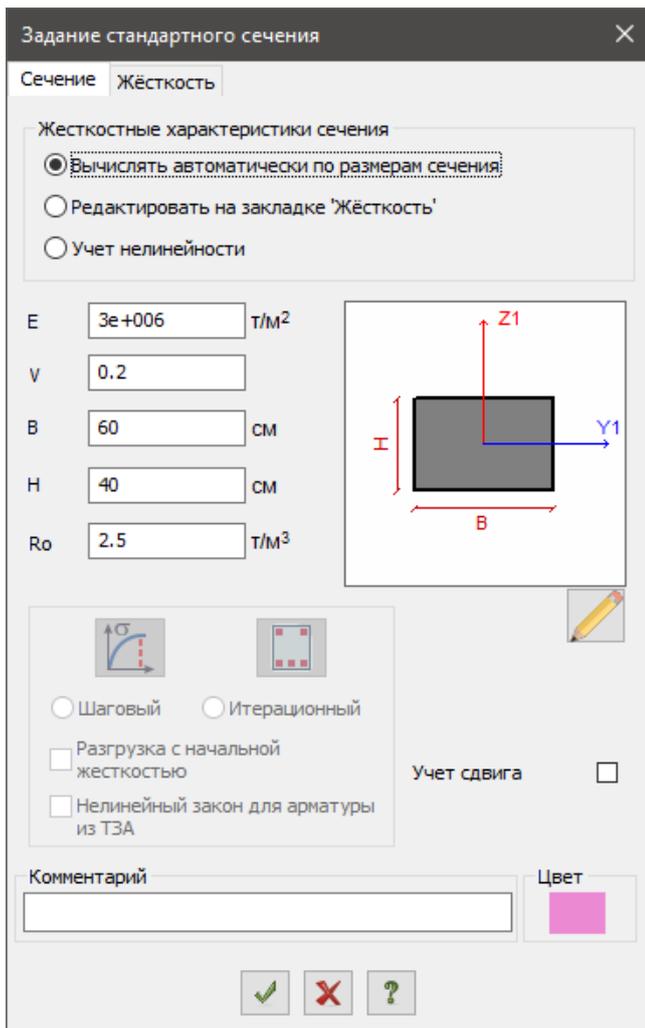


Рис.16.10. Диалоговое окно Задание стандартного сечения

- Для ввода данных щелкните по кнопке – **Подтвердить**.
- Далее в диалоговом окне **Добавить жесткость** выберите тип сечения **Тавр\_Т**.
- В новом окне **Задание стандартного сечения** задайте параметры сечения **Тавр\_Т**:
  - модуль упругости –  $E = 3e6 \text{ т/м}^2$ ;
  - коэффициент Пуассона –  $\nu = 0.2$ ;
  - геометрические размеры –  $B = 20 \text{ см}$ ;  $H = 60 \text{ см}$ ;  $B1 = 40 \text{ см}$ ;  $H1 = 20 \text{ см}$ .
- Для ввода данных щелкните по кнопке – **Подтвердить**.
- Чтобы скрыть библиотеку жесткостных характеристик, в диалоговом окне **Жесткости и материалы** щелкните по кнопке **Добавить**.

### Задание материалов для железобетонных конструкций

- В диалоговом окне Жесткости и материалы щелкните по второй закладке Ж/Б (Задание параметров для железобетонных конструкций).
- При включенной радио-кнопке Тип щелкните по кнопке Редактировать.
- На экран выводится диалоговое окно **Материалы для расчета Ж/Б конструкций** (рис.16.11), в котором щелкните по первой строке в списке ТИП: **СТЕРЖЕНЬ** и после этого в правой части окна задайте следующие параметры для колонн:
  - в строке **Название** задайте **Колонны**;
  - в раскрывающемся списке **Вид расчета** выберите строку **Колонна рядовая**;
  - в раскрывающемся списке **Армирование** выберите тип армирования **Симметричное**;
  - в поле **Расчет** установите флажок **Учитывать конструктивные требования**;
  - в поле **Расчет по предельным состояниям II-й группы**, при включенной радио-кнопке **Диаметр арматурных стержней**, в раскрывающемся списке выберите строку соответствующую диаметру арматуры **25 мм**;
  - в поле **Длина элемента, Расчетные длины** включите радио-кнопку **Коэффициент**;
  - задайте параметры  $L_Y = 0.7$ ,  $L_Z = 0.7$ ;
  - все остальные параметры остаются заданными по умолчанию.
- Для добавления новой строки задания параметров стержневым элементам щелкните по кнопке – **Добавить** и после этого в правой части окна задайте следующие параметры для балок:
  - в строке **Название** задайте **Балки**;
  - в раскрывающемся списке **Вид расчета** выберите строку **Балка**;
  - в раскрывающемся списке **Армирование** выберите тип армирования **Несимметричное**;
  - в поле **Расчет** установите флажок **Учитывать конструктивные требования**;
  - в поле **Расчет по предельным состояниям II-й группы**, при включенной радио-кнопке **Диаметр арматурных стержней**, в раскрывающемся списке выберите строку соответствующую диаметру арматуры **25 мм**;
  - в поле **Длина элемента, Расчетные длины** задайте параметры  $L_Y = 0$ ,  $L_Z = 0$ ;

- все остальные параметры остаются заданными по умолчанию.

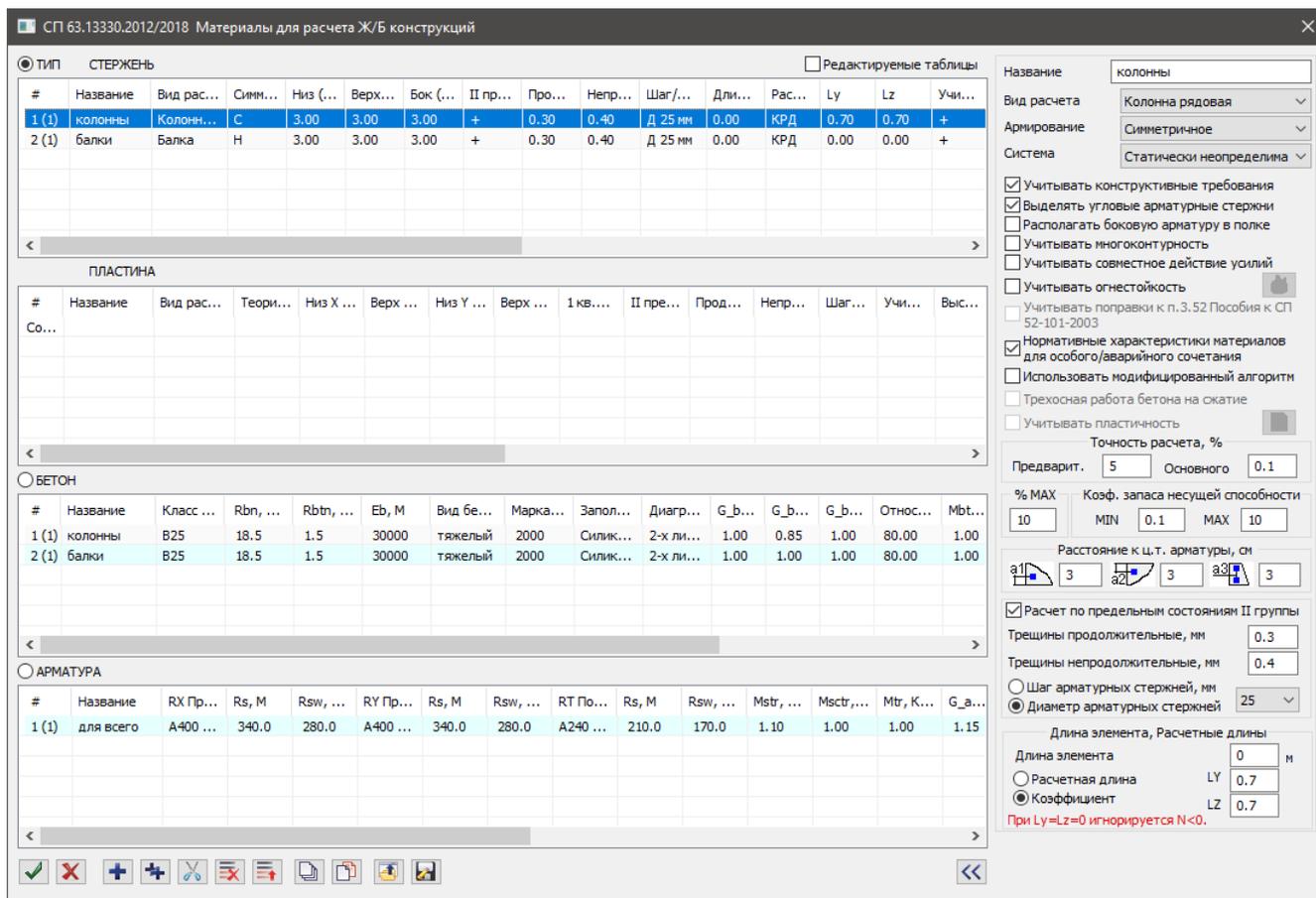


Рис.16.11. Диалоговое окно Материалы для расчета Ж/Б конструкций

- После этого щелкните по первой строке в списке **БЕТОН** и в правой части окна задайте следующие параметры:
  - в строке **Название** задайте **Колонны**;
  - в раскрывающемся списке **Класс бетона** выберите строку **B25**;
  - в поле  $Y_{b3}$  поставьте число 0.85;
  - все остальные параметры остаются заданными по умолчанию.
- Для добавления новой строки задания параметров бетона щелкните по кнопке  – **Добавить** и после этого в правой части окна задайте следующие параметры для бетона:
  - в строке **Название** задайте **Балки**;
  - в раскрывающемся списке **Класс бетона** выберите строку **B25**;
  - все остальные параметры остаются заданными по умолчанию.
- Далее щелкните по первой строке в списке **АРМАТУРА** и в правой части окна задайте следующие параметры:
  - в раскрывающемся списке **Поперечная арматура** выберите строку **A240**;
  - в раскрывающемся списке **Максимальный диаметр продольной арматуры, мм** выберите строку **25**;
  - все остальные параметры остаются заданными по умолчанию.
- После этого щелкните по кнопке  – **Подтвердить**.

## Назначение жесткостей и материалов элементам рамы

- В диалоговом окне Жесткости и материалы установите флажок Материалы в поле Назначить элементам схемы.
- В этом окне в списке текущего типа жесткости должна быть установлена жесткость – 2.Тавр\_Т 20х60, а в списке текущих материалов должны быть установлены в качестве текущих: тип – 2.Балка, класс бетона – 2.В25 Балки и класс арматуры – 1.А400.

- Щелкните по кнопке  – Отметка горизонтальных стержней на панели инструментов Панель выбора.
- С помощью курсора выделите все горизонтальные элементы схемы (выделенные элементы окрашиваются в красный цвет).

Отметка элементов выполняется с помощью одиночного указания курсором или растягиванием вокруг нужных элементов «резинового окна».

- В диалоговом окне Жесткости и материалы щелкните по кнопке  – Применить.
- На экране появляется диалоговое окно Предупреждение, в котором щелкните по кнопке Нет (с элементов снимается выделение. Это свидетельство того, что выделенным элементам присвоена текущая комбинация жесткости и материала).

- Щелкните по кнопке  – Отметка горизонтальных стержней на панели инструментов Панель выбора, чтобы снять активность с операции выделения горизонтальных стержневых элементов.
- В диалоговом окне Жесткости и материалы включите радио-кнопку Тип и в списке типов общих свойств материалов для железобетонных конструкций выделите курсором строку 1. Колонна рядовая.Колонны.
- В диалоговом окне Жесткости и материалы включите радио-кнопку Бетон и в списке типов бетонов выделите курсором строку 1. В25.Колонны.
- Щелкните по кнопке Назначить текущим (при этом выбранный тип общих свойств материалов записывается в строке редактирования Материалы поля Назначить элементам схемы. Можно назначить текущий тип общих свойств материалов двойным щелчком по строке списка).
- В диалоговом окне Жесткости и материалы щелкните по первой закладке Жесткости и в списке типов жесткостей выделите курсором тип жесткости 1.Брус 60х40.
- Щелкните по кнопке Назначить текущим (при этом выбранный тип жесткости записывается в строке редактирования Жесткость поля Назначить элементам схемы).

- После этого щелкните по кнопке  – Отметка вертикальных стержней на панели инструментов Панель выбора.
- С помощью курсора выделите все вертикальные элементы.

- Затем в диалоговом окне Жесткости и материалы щелкните по кнопке  – Применить.

- Щелкните по кнопке  – Отметка вертикальных стержней панели инструментов Панель выбора, чтобы снять активность с операции выделения вертикальных стержневых элементов.

## Этап 6. Формирование таблицы параметров динамических воздействий

### Задание характеристик для расчёта на пульсацию ветра

- Вызовите диалоговое окно Задание характеристик для расчета на динамические воздействия (рис.16.12) щелчком по кнопке  – Таблица динамических нагрузок (панель Динамика на вкладке Расчет).

Задание характеристик для расчета на динамические воздействия

N строки характеристик: 1

№ загрузки: 7

Наименование воздействия: Пульсационное (21)

Количество учитываемых форм колебаний: 5  или до предельной частоты

№ соответствующего статического нагружения: 6

Суммировать формы перемещений имеющие одинаковую частоту:

Метод суммирования составляющих:  Параметры

Параметр затухания, в долях от 1:

Матрица масс:  Диагональная  Согласованная

Учет отброшенных и невычисленных форм колебаний

Сводная таблица для расчета на динамические воздействия

#	№.	Имя загрузки	Тип	Параметры...	Параметры динамического воздействия
1	7	Ветер (пульс...	ПУЛЬС	21 5 6 0 0	1.00 3 0.00 0.00 2 7.00 0.00 1 0 0.30 1 2
2					

0.1 Допустимое отклонение частот суммируемых форм (в % от частоты) ?

Рис.16.12. Диалоговое окно Задание характеристик для расчета на динамические воздействия

- В этом окне задайте следующие параметры:
  - № загрузки – 7;
  - Наименование воздействия – **Пульсационное (21)**;
  - Количество учитываемых форм колебаний – 5;
  - № соответствующего статического нагружения – 6;
  - включите радио-кнопку **Диагональная** (для матрицы масс).
- Затем щелкните по кнопке **Параметры**.
- В диалоговом окне Параметры расчета на ветровое воздействие с учетом пульсации (рис.16.13), при выбранных нормах СП 20.13330.2016 с Изменениями №1, задайте следующие параметры:
  - в раскрывающемся списке **Ветровой район строительства** выберите строку **Район 2**;
  - Длина здания вдоль оси X – 7 м;
  - Длина здания вдоль оси Y – 0 м;
  - Тип местности **В**
  - Логарифмический декремент колебаний – **0.3 (ж/б сооружения)**;
  - остальные параметры принимаются по умолчанию.
- Подтвердите ввод данных щелчком по кнопке – **Подтвердить**.

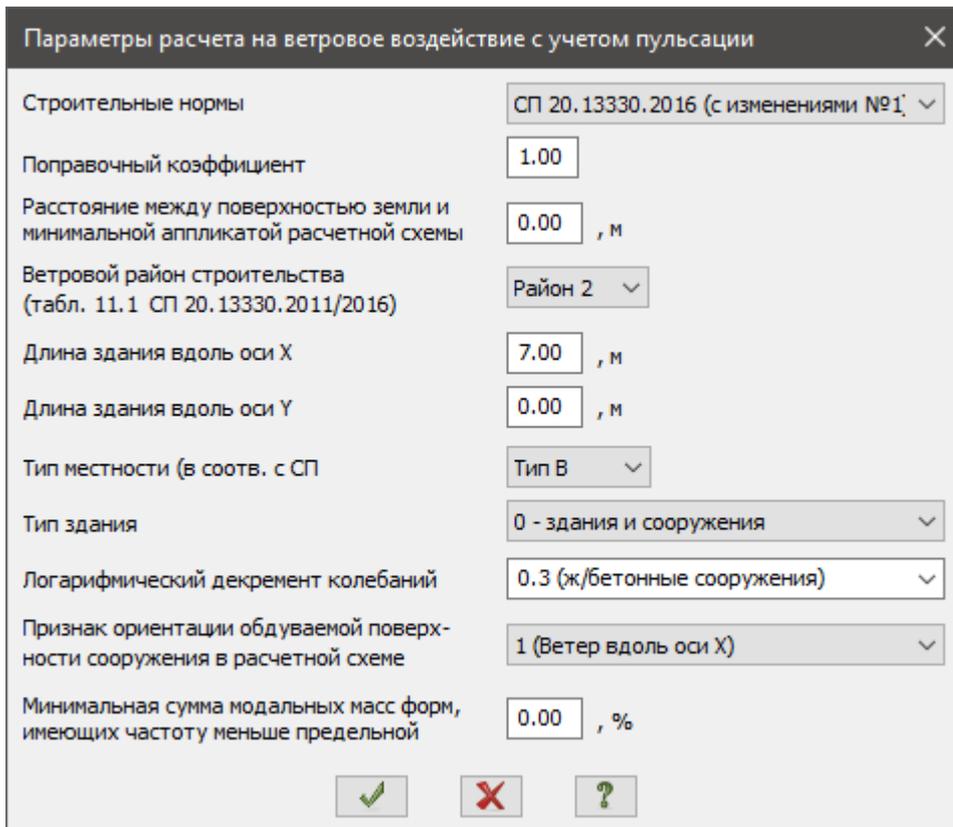


Рис.16.13. Диалоговое окно Параметры расчета на ветровое воздействие с учетом пульсации

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

## Этап 7. Формирование динамических нагрузений из статических

- Вызовите диалоговое окно **Формирование динамических нагрузений из статических** (рис.16.14) щелчком по кнопке – **Учет статических нагрузений** (панель **Динамика** на вкладке **Расчет**).
- Для формирования первой строки сводной таблицы, в этом окне, при включенной радио-кнопке **нагрузки (код 1)**, задайте следующие параметры:
  - № динамического нагружения – 7;
  - № соответствующего статического нагружения – 4;
  - Коэф. преобразования – 1.
- Щелкните по кнопке – **Добавить**.
- Для формирования второй строки сводной таблицы, в этом же окне задайте следующие параметры:
  - № динамического нагружения – 7;
  - № соответствующего статического нагружения – 5;
  - Коэф. преобразования – 1.
- Щелкните по кнопкам – **Добавить** и – **Закреть**.

Если в расчётной модели учитывается последовательность возведения здания, то в таблице формирования динамических нагрузений из статических нужно указать только последнюю стадию монтажа.

## Этап 8. Генерация таблицы РСУ

В соответствии со строительными нормами расчет армирования, подбор и проверка металлических сечений производится по наиболее опасным сочетаниям усилий. Поэтому для дальнейшей работы в режиме **Железобетонные и стальные конструкции** нужно производить расчет РСУ или РСН.

Вычисление расчетных сочетаний усилий (PCУ) производится по критерию экстремальных значений напряжений в характерных точках сечений элементов на основании правил, установленных нормативными документами (в отличие от вычисления РСН, где вычисления производятся непосредственным суммированием соответствующих значений перемещений узлов и усилий в элементах).

Подробное описание таблицы РСУ смотрите в конце примера.

- Щелчком по кнопке  – **Таблица РСУ** (панель РСУ на вкладке Расчет) вызовите диалоговое окно **Расчетные сочетания усилий** (рис.16.15).

Так как вид нагрузений задавался в диалоговом окне Редактор нагрузений (рис.16.3) таблицу РСУ можно сформировалась с параметрами, принятыми по умолчанию для каждого нагружения, щелчком по

кнопке  – **Заполнить таблицу РСУ значениями по умолчанию**. Далее нужно только изменить параметры для третьего, четвертого и пятого нагружений. Также, ввиду того что в расчётной модели созданы стадии монтажа, в которые входят 1, 2, 3 и 4 нагружения, то в таблице РСУ эти нагружениям будет автоматически присвоен номер группы взаимоисключения 1.

- В этом окне, при выбранных строительных нормах **СП 20.13330.2011/2016**, для формирования таблицы РСУ со значениями, принятыми по умолчанию для каждого нагружения, щелкните по кнопке  – **Заполнить таблицу РСУ значениями по умолчанию**.
- После этого задайте следующие данные:

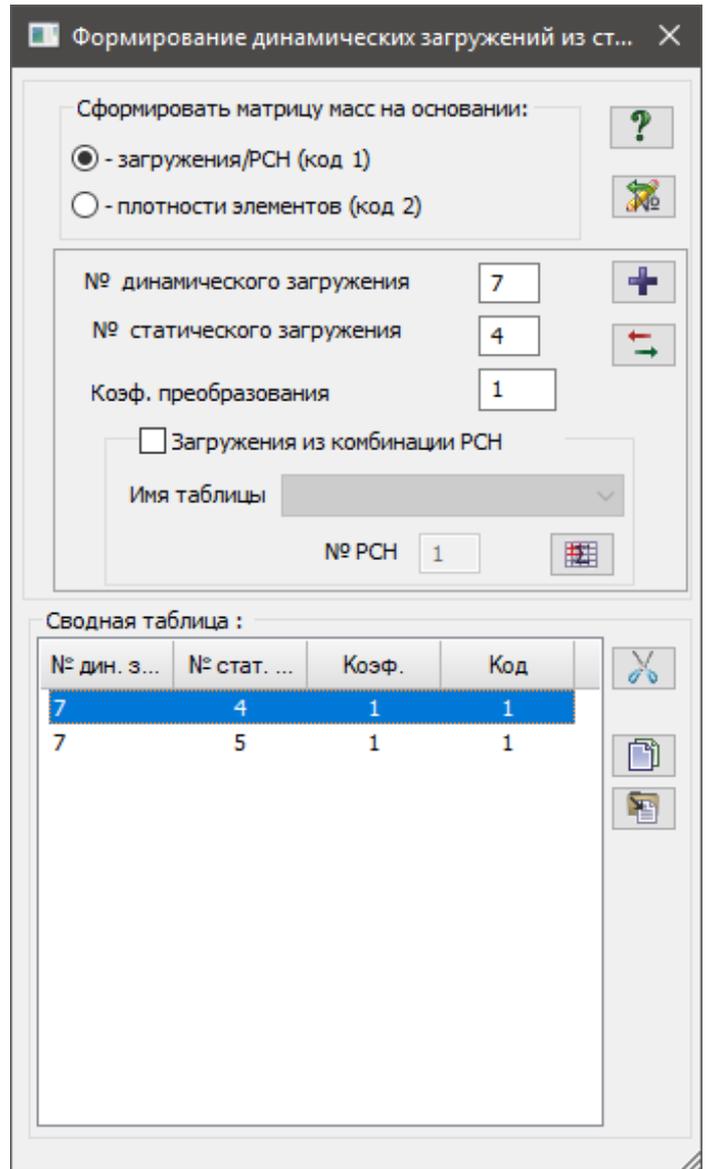


Рис.16.14. Диалоговое окно Формирование динамических нагрузений из статических

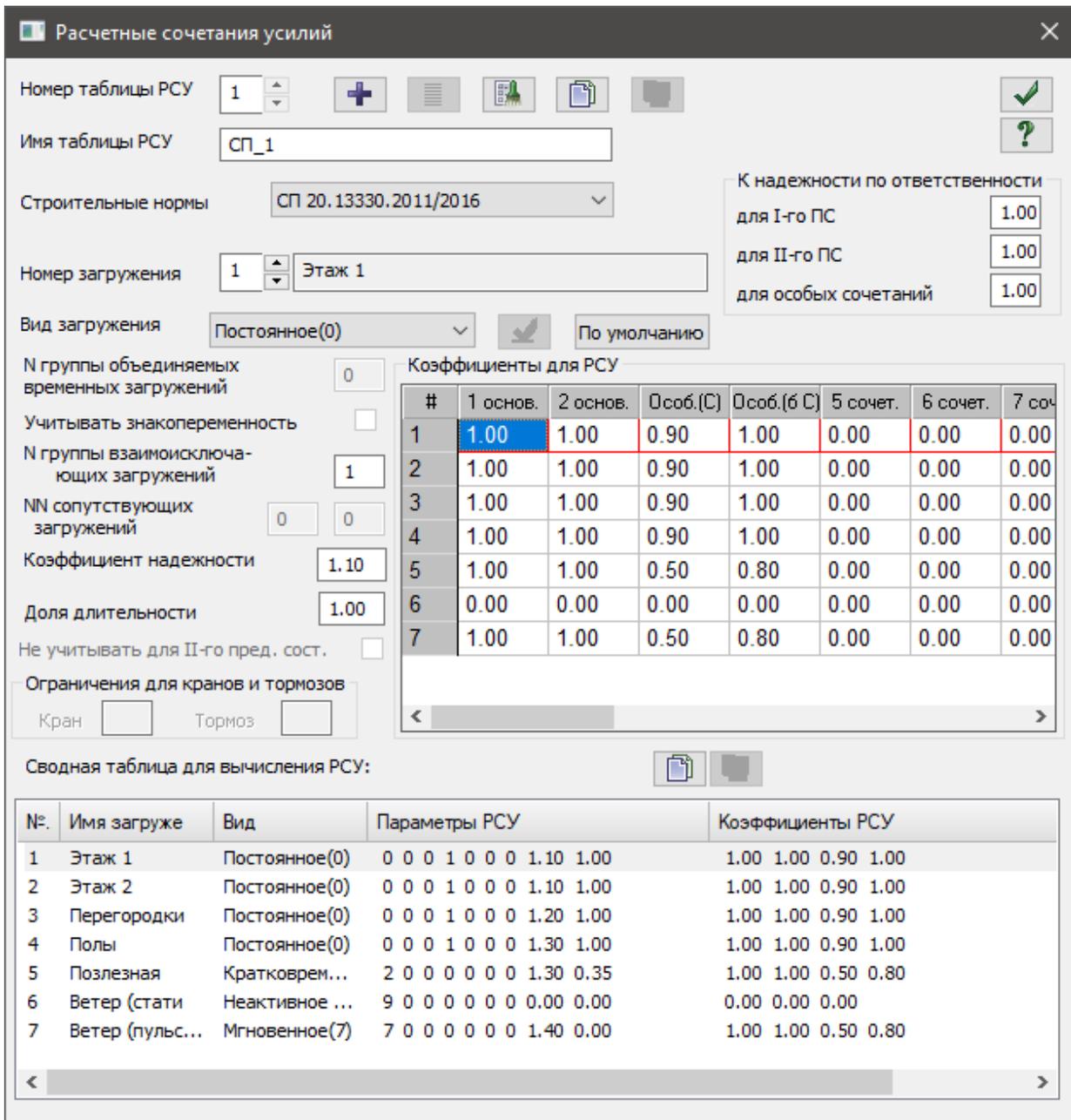


Рис.16.15. Диалоговое окно Расчетные сочетания усилий

- в сводной таблице для вычисления РСУ выделите строку соответствующую 3-му нагружению.

Затем в текстовом поле **Кoeffициент надёжности** задайте **1.2** и щелкните по кнопке  – **Применить**;

- далее в сводной таблице для вычисления РСУ выделите строку соответствующую 4-му нагружению. Затем в текстовом поле **Кoeffициент надёжности** задайте **1.3** и щелкните по кнопке

 – **Применить**.

- далее в сводной таблице для вычисления РСУ выделите строку соответствующую 5-му нагружению. Затем в текстовом поле **Кoeffициент надёжности** задайте **1.3** и щелкните по кнопке

 – **Применить**.

- Закройте диалоговое окно щелчком по кнопке  – **Подтвердить**.

## Этап 9. Назначение конструктивных элементов

### Создание конструктивного элемента БАЛКА

- ❑ Щелкните по кнопке  – **Отметка горизонтальных стержней** на панели инструментов **Панель выбора**.
- ❑ Выделите горизонтальные элементы № 11...26.
- ❑ Для создания конструктивных элементов вызовите диалоговое окно **Конструктивные элементы** (рис.16.16) щелчком по кнопке  – **Конструктивные элементы** (панель **Конструирование** на вкладке **Создание и редактирование**).
- ❑ В появившемся диалоговом окне в поле **Редактирование КоЭ** щелкните по кнопке **Создать КоЭ** (конструктивный элемент БАЛКА назначается для того, чтобы учесть, что это именно неразрезная балка).
- ❑ Щелкните по кнопке  – **Отметка горизонтальных стержней** на панели инструментов **Панель выбора**, чтобы снять активность с операции выделения горизонтальных стержневых элементов.

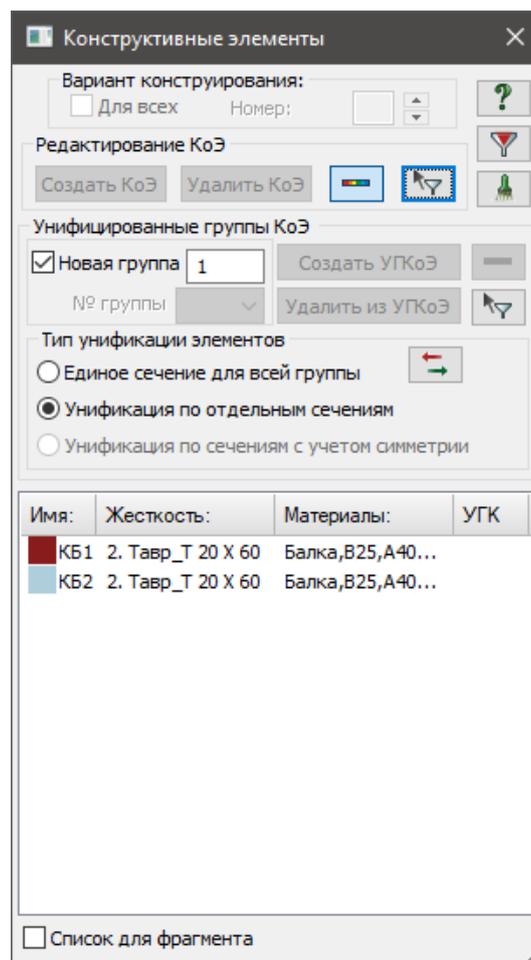


Рис.16.16. Диалоговое окно **Конструктивные элементы**

## Этап 10. Полный расчет рамы

- ❑ Запустите задачу на расчет щелчком по кнопке  – **Выполнить полный расчет** (панель **Расчет** на вкладке **Расчет**).

## Этап 11. Просмотр и анализ результатов армирования и создание типов заданного армирования по результатам расчёта

После расчета задачи, просмотр и анализ результатов армирования осуществляется на вкладке **Железобетон** (для стандартного стиля ленточного интерфейса).

- ❑ Для установки режима отображения симметричного армирования в сечениях стержней, выберите команду  – **Симметричное армирование** в раскрывающемся списке **Армирование** (панель **Армирование стержней** на вкладке **Железобетон**).
- ❑ Чтобы посмотреть мозаику отображения площади продольной арматуры в нижнем левом углу сечения стержня AU1, щелкните по кнопке  – **Угловая арматура AU1** (панель **Армирование стержней** на вкладке **Железобетон**).

### Настройка шкалы армирования колонн

- ❑ Чтобы изменить значения подобранных диаметров арматуры на шкале армирования, щелкните по кнопке  – **Шкала**;

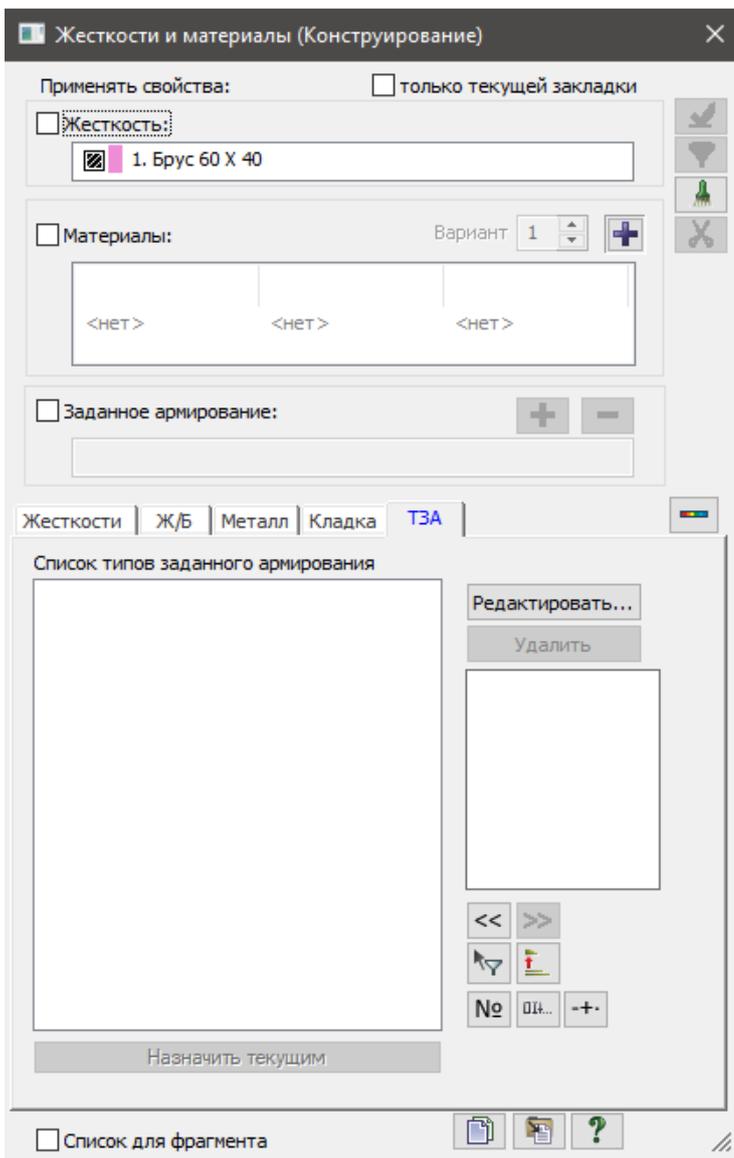


Рис.16.17. Диалоговое окно Жесткости и материалы

**Применить.;**

Созданный тип заданного армирование будет автоматически назначен вертикальным элементам.

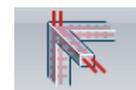
Формирование типов заданного армирования для ригелей выполняется в том же порядке, при этом допускается не закрывать диалоговые окна «Жёсткости и материалы» и «Задание и корректировка типов заданного армирования».

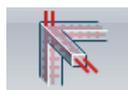
**Формирование типов заданного армирования по результатам расчёта ригелей**

- ❑ Для установки режима отображения несимметричного армирования в сечениях стержней, выберите команду  – **Несимметричное армирование** в раскрывающемся списке **Армирование** (панель **Армирование стержней** на вкладке **Железобетон**).
- ❑ Чтобы посмотреть мозаику отображения площади продольной арматуры у нижней грани сечения стержня AS1, щелкните по кнопке  – **Распределённая арматура AS1** (панель **Армирование стержней** на вкладке **Железобетон**).

- ❑ В появившемся диалоговом окне, во второй строчке таблицы введите выражение **1d25** и щелкните по кнопке  – **Применить**.
- ❑ Закройте диалоговое окно щелчком по кнопке  – **Заккрыть**.

**Формирование типов заданного армирования по результатам расчёта колонн**



- ❑ Щелчком по кнопке  – **Заданное армирование** (панель **Конструирование** на вкладке **Железобетон**) вызовите диалоговое окно **Жесткости и материалы**. В диалоговом окне будет открыта вкладка **ТЗА** (рис.16.17).
- ❑ В том же диалоговом окне, щёлкните по кнопке **Редактировать**.
- ❑ В появившемся диалоговом окне щёлкните по кнопке  – **Формировать ТЗА на основании шкалы армирования**.
- ❑ Чтобы добавить новый тип заданного армирования щелкните по кнопке  – **Создать**;
- ❑ В таблице отметьте созданный тип заданного армирования;
- ❑ В правой части диалогового окна введите комментарий «Арматура колонн» и щелкните по кнопке  –



- ❑ Чтобы изменить значения подобранных диаметров арматуры на шкале армирования, щёлкните по кнопке  - **Шкала**;
- ❑ В появившемся диалоговом окне, удалите все строчки в таблице, кроме строчек **2d10, 2d18** и щелкните по кнопке  – **Применить**.
- ❑ В диалоговом окне «Задание и корректировка типов заданного армирования» щёлкните по кнопке  - **Формировать ТЗА на основании шкалы армирования**;
- ❑ В таблице нужно одним щелчком снять крестик у первой строчки (Рис. 16.19);

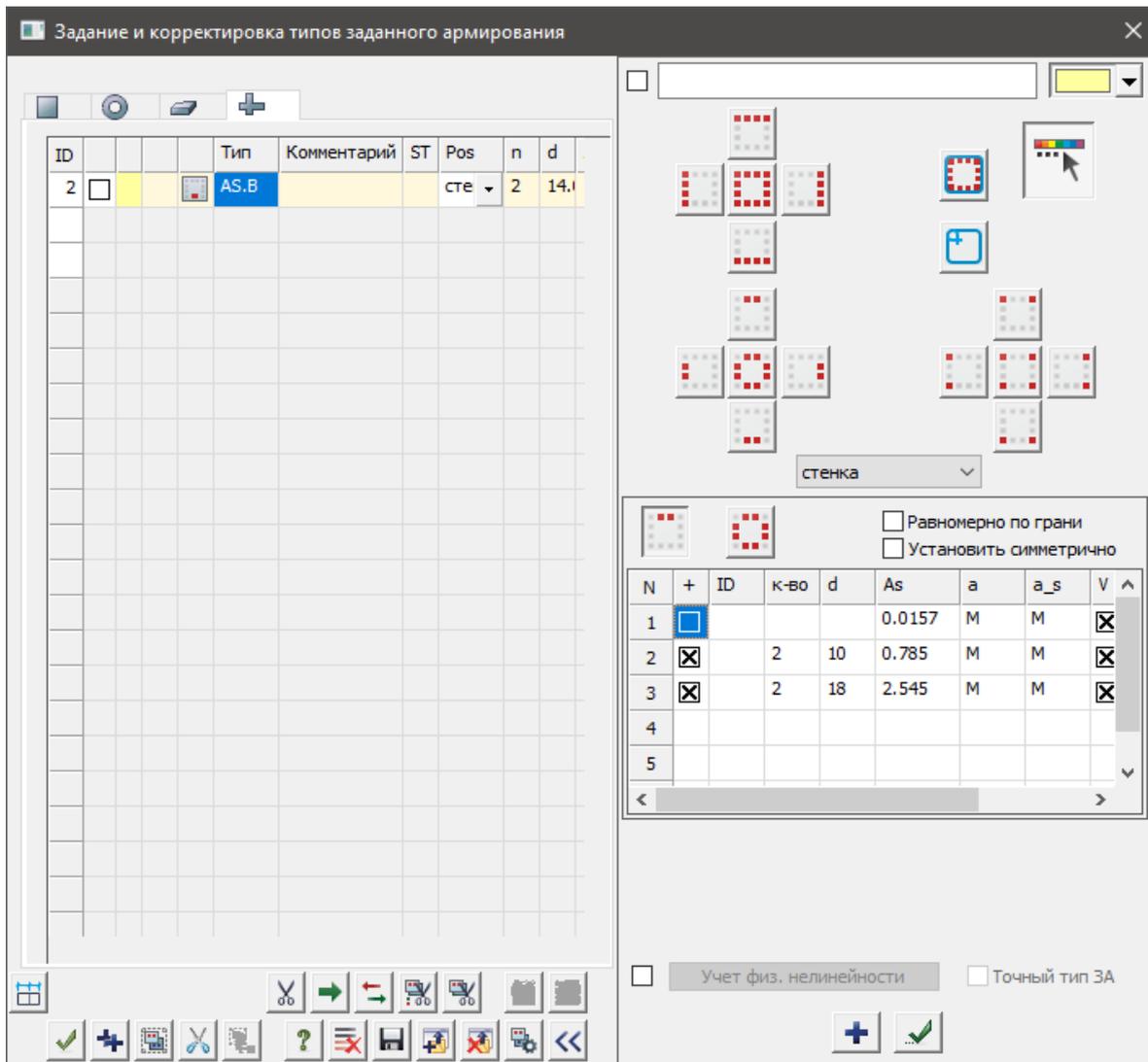


Рис. 16.19. Диалоговое окно Задание и корректировка типов заданного армирования.

- ❑ Чтобы добавить новый тип заданного армирования щелкните по кнопке  – **Создать**;
- ❑ В таблице отметьте вторую строчку таблицы ТЗА;
- ❑ В правой части диалогового окна введите комментарий «Арматура ригеле верхняя (пролёт)» и щелкните по кнопке  – **Применить**;
- ❑ В таблице отметьте третью строчку таблицы ТЗА;
- ❑ В правой части диалогового окна введите комментарий «Арматура ригеле верхняя (опора)» и щелкните по кнопке  – **Применить**;

- ❑ Чтобы посмотреть мозаику отображения площади поперечной вертикальной арматуры ASW1, щелкните по кнопке  – **Поперечная арматура ASW1** (панель **Армирование стержней** на вкладке **Железобетон**).
- ❑ В диалоговом окне «Задание и корректировка типов заданного армирования» щёлкните по кнопке  - **ASW стержни поперечной арматуры** ;
- ❑ В поле Sv ввести 200 мм;
- ❑ В списке диаметров  $\varnothing v$  выбрать 8 мм;
- ❑ В поле SI ввести 200 мм;
- ❑ В списке диаметров  $\varnothing I$  выбрать 8 мм;
- ❑ Ввести комментарий «Арматура ригелей поперечная»;
- ❑ Чтобы добавить новый тип заданного армирования щелкните по кнопке  – **Создать**;
- ❑ Закройте диалоговое окно щелчком по кнопке  – **Применить**.

### Назначение типов заданного армирования элементам

- ❑ В диалоговом окне «Жёсткости и материалы», на закладке «ТЗА» щёлкните на кнопку  - **Показать мозаику свойств текущей закладки**. На экран будет выведена мозаика назначенных ТЗА.
- ❑ Щёлкните по кнопке  - **Значения на мозаике контрастным цветом**. на панели инструментов **Флаги рисования**, чтобы отобразить на экране отобразятся номера ТЗА, назначенных элементам (Рис.16.20)

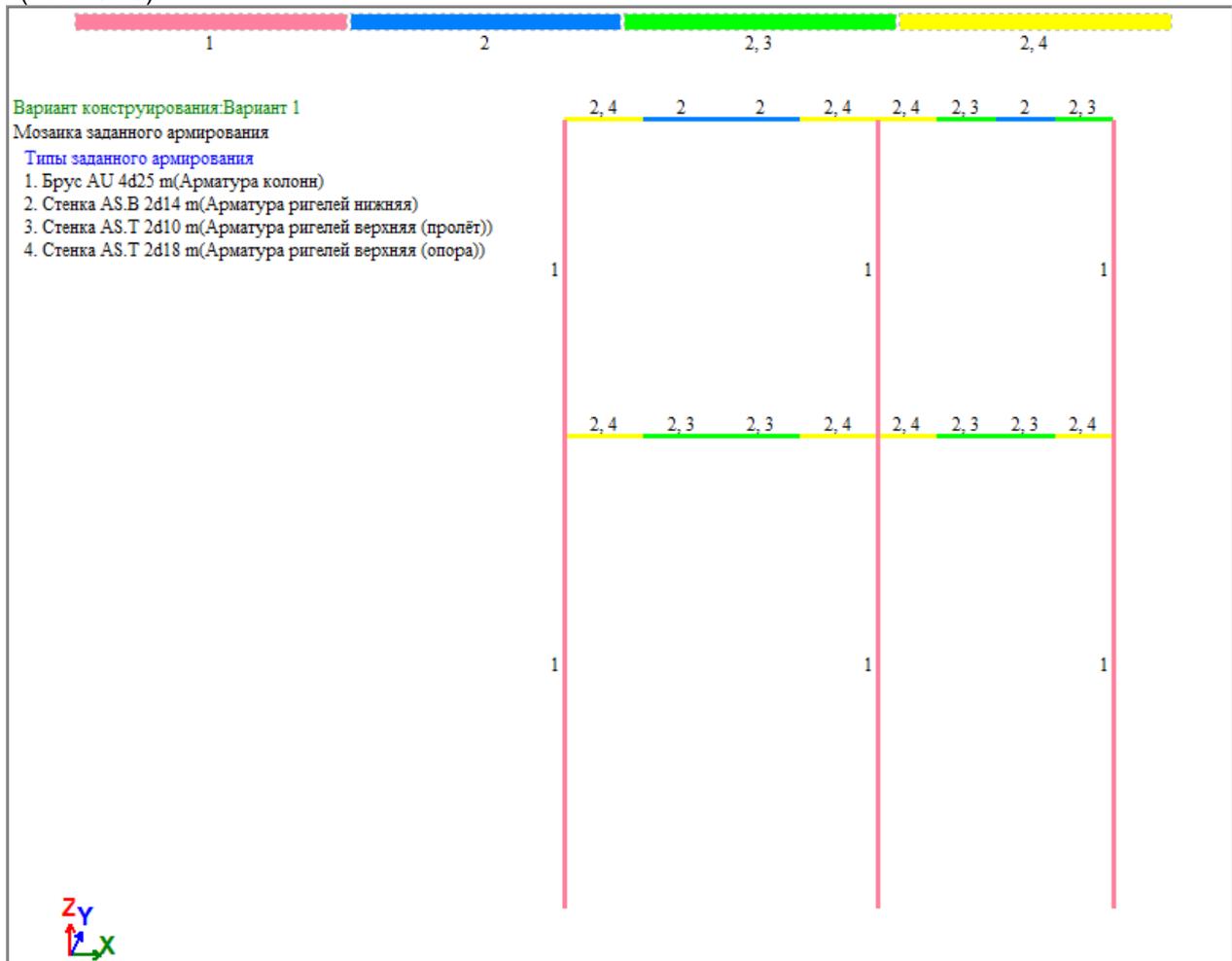


Рис.16.20. – Мозаика заданного армирования

- В диалоговом окне «Жёсткости и материалы», на закладке «ТЗА» отметьте пятую строчку (Армирование ригелей верхнее (пролёт));
- Нажмите **Назначить текущим**;
- Снимите галочки с параметров «Жёсткость» и «Материалы» (Рис.16.21);

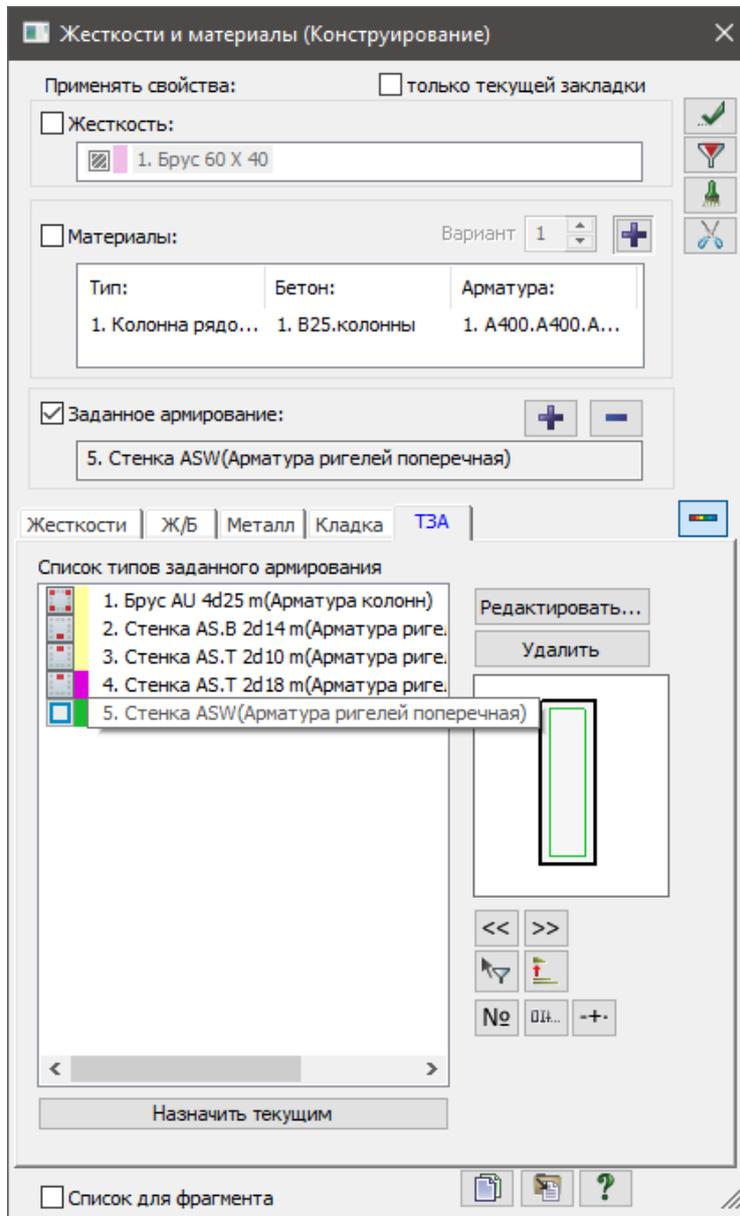


Рис.16.21 Диалоговое окно Жесткости и материалы

- Щелкните по кнопке  – **Отметка горизонтальных стержней** на панели инструментов **Панель выбора**.
- С помощью курсора выделите все горизонтальные элементы схемы (выделенные элементы окрашиваются в красный цвет);
- В диалоговом окне **Жёсткости и материалы** нажмите  - **Добавить текущие ТЗА на отмеченные элементы**.
- Выделите в списке ТЗА третью строчку;
- Нажмите **Назначить текущим**;
- С помощью курсора выделите горизонтальные элементы, которым назначены ТЗА №2, №5 (выделенные элементы окрашиваются в красный цвет);
- В диалоговом окне **Жёсткости и материалы** нажмите  - **Добавить текущие ТЗА на отмеченные элементы**, Рис 16.22.

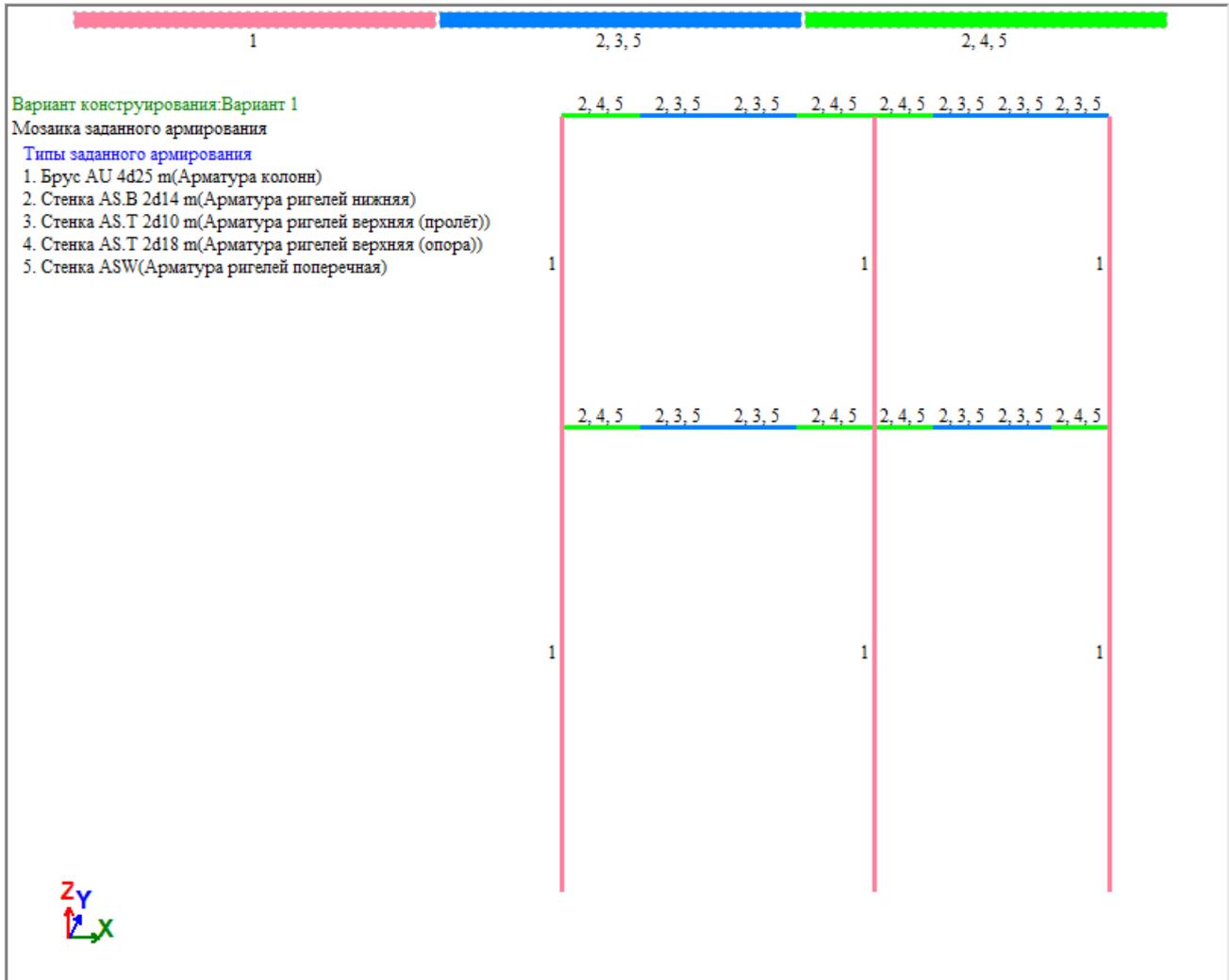


Рис.16.22 – Мозаика заданного армирования

- Щелкните по кнопке  – **Отметка горизонтальных стержней** на панели инструментов **Панель выбора**, чтобы снять активность с операции выделения горизонтальных стержневых элементов.
- Закройте диалоговое окно щелчком по кнопке  – **Закреть**.

## Этап 12. Проверка заданного армирования



- Щелчком по кнопке  – **Расчёт** (панель **Расчёт** на вкладке **Железобетон**) вызовите диалоговое окно **Расчёт и конструирование железобетонных элементов** (рис.16.23);
- В этом окне, щёлкните на галочке **Проверка заданного армирования** (в правой части окна);
- Щёлкните по кнопке  - **Назначить проверки заданного армирования**;
- В появившемся диалоговом окне отметьте галочкой проверку **по прочности**. Все остальные галочки отмечать не нужно и щелкните по кнопке  – **Применить**.;
- В диалоговом окне **Расчёт и конструирование железобетонных элементов** нажмите **Подтвердить**;

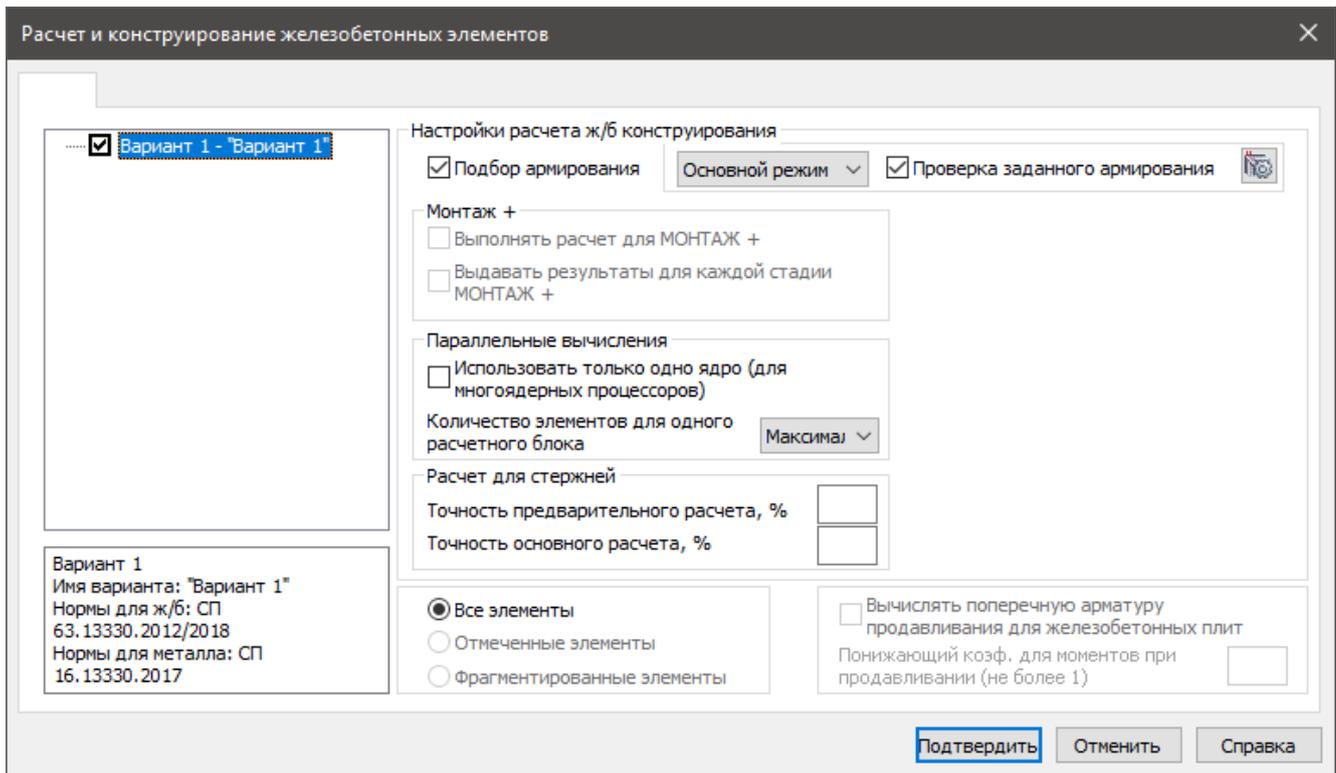


Рис.16.23 Диалоговое окно Расчёт и конструирование железобетонных элементов

- ❑ Щелчком по кнопке  - **Коэффициенты запаса армирования по прочности для стержней**, выведите на экран мозаику коэффициентов запаса
- ❑ Для установки режима отображения симметричного армирования в сечениях стержней, выберите команду  – **Симметричное армирование** в раскрывающемся списке **Армирование** (панель **Армирование стержней** на вкладке **Железобетон**).
- ❑ Для сохранения задачи щёлкните по кнопке  - **Сохранить**.

После назначения типов заданного армирования, созданный файл необходимо сохранить в отдельную директорию. На основе данной расчётной модели будут создаваться схемы для расчёта на устойчивость к прогрессирующему обрушению.

## Этап 13. Создание модели с нелинейными характеристиками жёсткостей

### Создание новой расчётной схемы на основе результатов расчёта

При создании расчётной модели для расчёта на устойчивость к прогрессирующему обрушению, выполняются следующие операции: создание жёсткостей с учётом нелинейной работы материала, смена типов КЭ элементов схемы, моделирование локального разрушения и работы модели после удаления элемента.

Создание новой модели начинается с открытия файла основной схемы, которая была рассчитана на действие эксплуатационных нагрузок (Этапы 1-12).

- ❑ Щелчком по кнопке  – **Жесткости и материалы элементов** (панель **Конструирование** на вкладке **Железобетон**) вызовите диалоговое окно **Жесткости и материалы**;

- ❑ В этом окне щёлкните по кнопке  - **Замена жесткостей по данным конструирования или статического и динамического расчета** вызовите диалоговое окно **Замена жесткостей по данным конструирования или расчетными** (рис.16.24);
- ❑ В открывшемся диалоговом окне, в списке **Импортировать жёсткости из результатов** включите радиокнопку **расчёта Ж/Б конструкций**;
- ❑ В списке **Закон нелин. деформ.** включите радиокнопку **14**;
- ❑ В раскрывающемся списке **Тип расчёта** выберите **Прогрес. обрушение ИПС (группа РСУ – E1)**;
- ❑ В поле **Имя файла** указать адрес директории, в которой находится основной файл (с которым в настоящий момент ведётся работа) и имя нового файла.

*Параметры Симметрия/Несимметрия, в списке Вид результата, имеют значение, только если при настройках материалов для конструктивного расчёта был заказан симметричный и несимметричный расчёт, в других случаях выбор вида результатов влияния не оказывает.*

*По умолчанию к имени файла приписывается окончание «\_N», рекомендуется оставлять его без изменений.*

- ❑ Другие параметры, в диалоговом окне, оставить по умолчанию.

### Проверка исходных данных в нелинейной задаче

- ❑ Щелчком по кнопке  – **Жесткости и материалы элементов** (панель **Жесткости и связи** на вкладке **Создание и редактирование**) вызовите диалоговое окно **Жесткости и материалы**.
- ❑ В этом окне щелчком по отметьте первый тип жёсткости;
- ❑ Щёлкните по кнопке **Изменить**;
- ❑ В открывшемся диалоговом окне щёлкните по кнопке  - **параметры материала**, чтобы вызвать окно **Законы нелинейного деформирования материалов** (Рис. 16.25);
- ❑ Закройте диалоговое окно щелчком по кнопке  – **Закреть**.

### Настройка законов нелинейной работы арматуры

- ❑ В диалоговом окне **Задание стандартных сечений** убедиться что поставлена галочка **Нелинейный закон для арматуры из ТЗА**;
- ❑ Закройте диалоговое окно щелчком по кнопке  – **Закреть**.
- ❑ В окне **Жёсткости и материалы элементов** щелчком перейдите на вкладку **ТЗА**;
- ❑ В том же диалоговом окне, щёлкните по кнопке **Редактировать**;
- ❑ В появившемся диалоговом окне, отметьте первый тип заданного армирования;
- ❑ В правой части окна нажмите галочку **Учёт физ. нелинейности** и нажмите на одноимённую кнопку для вызова диалогового окна **Законы нелинейного деформирования материалов** (Рис. 16.26);

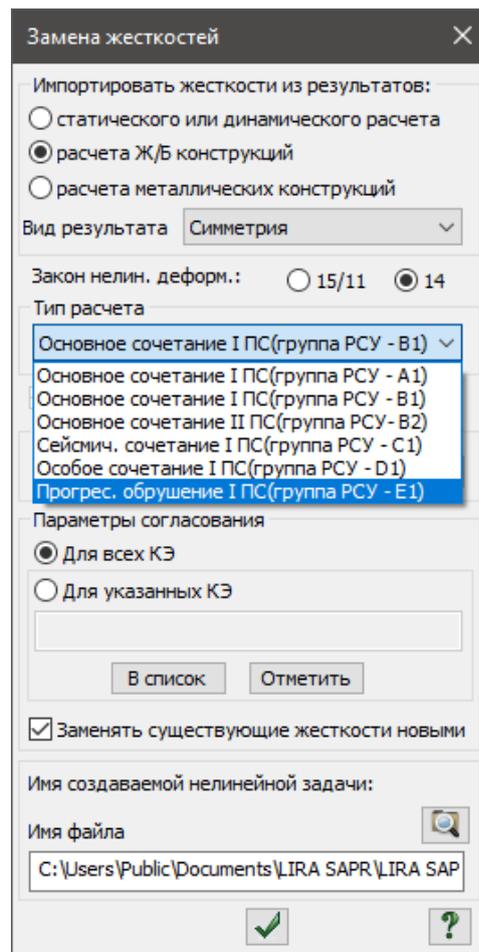


Рис. 16.24 Окно Замена жёсткостей

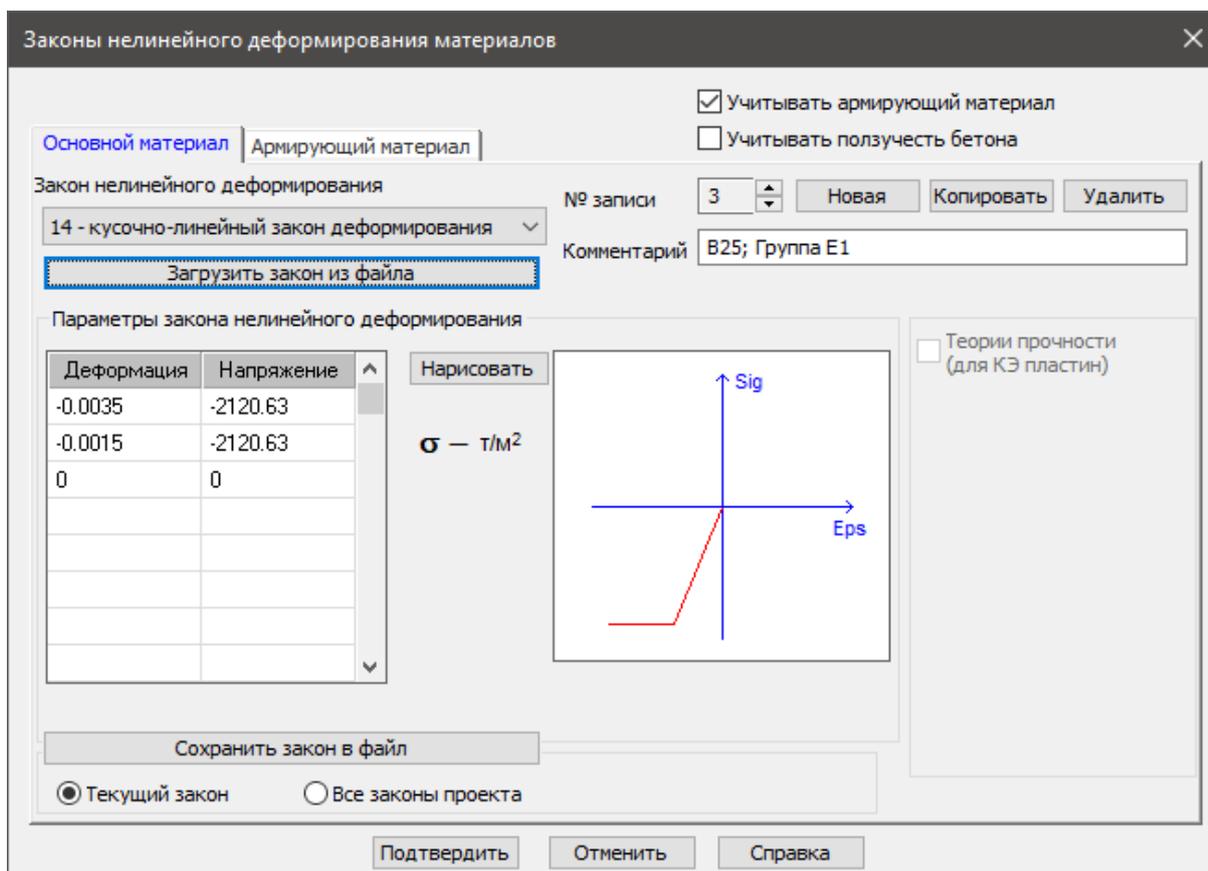


Рис. 16.25 Окно Законы нелинейного деформирования материалов

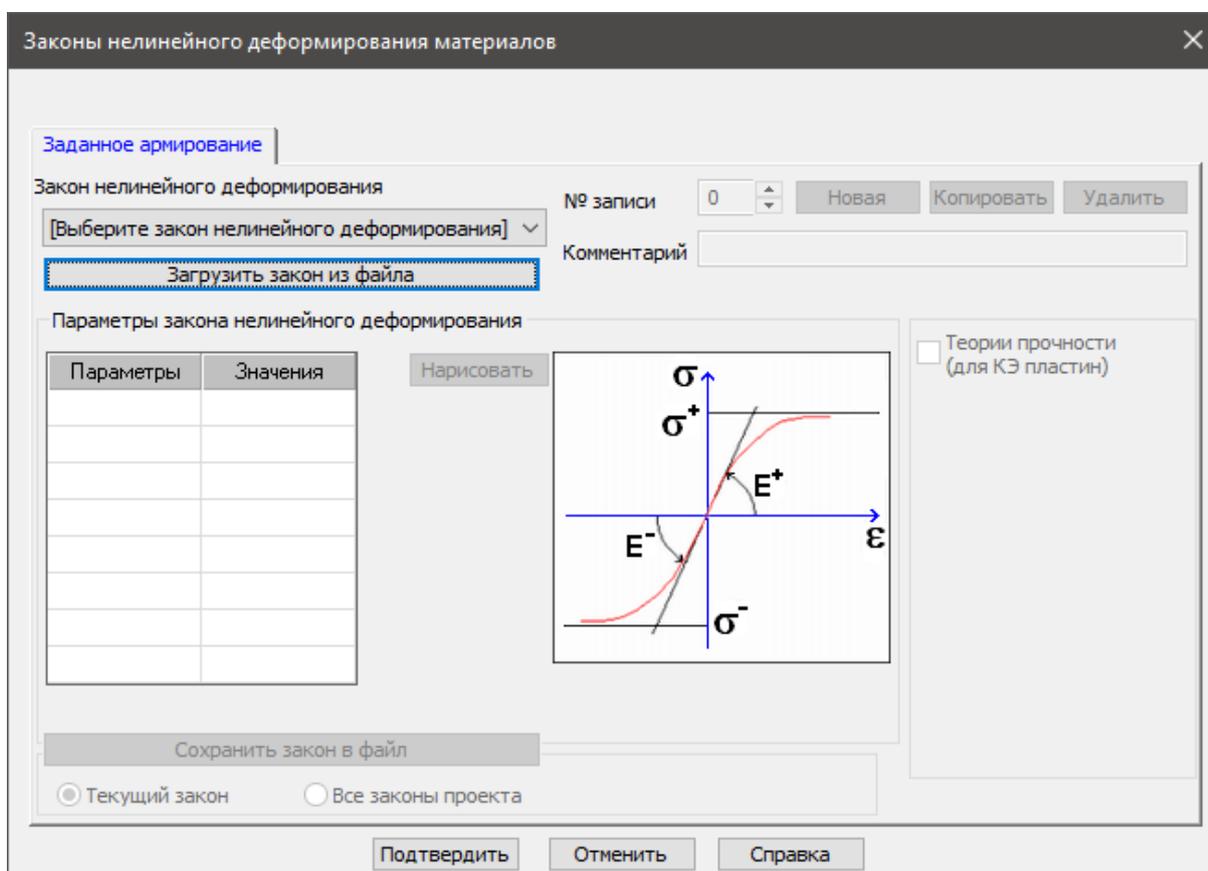


Рис. 16.26 Окно Законы нелинейного деформирования материалов

- В появившемся диалоговом окне, откройте список **Закон нелинейного деформирования**;
- Выберите **14-кусочно-линейный закон деформирования**;
- В поле **№ записи** щёлкните по стрелке вверх, чтобы выбрать закон деформирования **A400; Группа E1**;
- Закройте окно, щёлкнув по кнопке **Подтвердить**;
- Для внесения изменений в ТЗА, щёлкните по кнопке  - **Применить**;
- В диалоговом окне «Задание и корректировка типов заданного армирования» щёлкните по закладке  - **Стенка, полка стержня таврового, двутаврового сечения**.
- В открывшейся таблице отметьте второй тип заданного армирования;
- В правой части окна нажмите галочку **Учёт физ. нелинейности** и нажмите на одноимённую кнопку для вызова диалогового окна **Законы нелинейного деформирования материалов** (Рис. 16.26);
- В появившемся диалоговом окне, откройте список **Закон нелинейного деформирования**;
- Выберите **14-кусочно-линейный закон деформирования**;
- В поле **№ записи** щёлкните по стрелке вверх, чтобы выбрать закон деформирования **A400; Группа E1**;
- Закройте окно, щёлкнув по кнопке **Подтвердить**;
- Для внесения изменений в ТЗА, щёлкните по кнопке  - **Применить**;
- Отметьте третий тип заданного армирования;
- В правой части окна нажмите галочку **Учёт физ. нелинейности** и нажмите на одноимённую кнопку для вызова диалогового окна **Законы нелинейного деформирования материалов** (Рис. 16.26);
- В появившемся диалоговом окне, откройте список **Закон нелинейного деформирования**;
- Выберите **14-кусочно-линейный закон деформирования**;
- В поле **№ записи** щёлкните по стрелке вверх, чтобы выбрать закон деформирования **A400; Группа E1**;
- Закройте окно, щёлкнув по кнопке **Подтвердить**;
- Для внесения изменений в ТЗА, щёлкните по кнопке  - **Применить**;
- Отметьте четвёртый тип заданного армирования;
- В правой части окна нажмите галочку **Учёт физ. нелинейности** и нажмите на одноимённую кнопку для вызова диалогового окна **Законы нелинейного деформирования материалов** (Рис. 16.26);
- В появившемся диалоговом окне, откройте список **Закон нелинейного деформирования**;
- Выберите **14-кусочно-линейный закон деформирования**;
- В поле **№ записи** щёлкните по стрелке вверх, чтобы выбрать закон деформирования **A400; Группа E1**;
- Закройте окно, щёлкнув по кнопке **Подтвердить**;
- Для внесения изменений в ТЗА, щёлкните по кнопке  - **Применить**;
- Для закрытия диалогового окна **Задание и корректировка типов заданного армирования**, щёлкните по кнопке  - **Применить**;

*Созданная расчётная модель не будет применяться в расчётах, однако на её основе будут создаваться другие модели, для моделирования локального разрушения.*

- Для сохранения задачи щёлкните по кнопке  - **Сохранить**.
- После сохранения модели, перезапишите файл под новым именем в ту же директорию.

*Ввиду того, что при расчёте на устойчивость к прогрессирующему обрушению нужно будет создавать несколько файлов задач, в зависимости от количества рассматриваемых сценариев локального разрушения, назначенных типов КЭ, а также постановки задачи, рекомендуется присваивать схемам наименования таким образом, чтобы в имени файла содержалась информация о настройках, принятых в данной модели. На примере рассматриваемой задачи, создаём файл с именем **ПО\_ЖБ\_p\_210ш\_Kd\_2\_1o\_1э**. Расшифровка имени:*

*ПО – расчёт на устойчивость к прогрессирующему обрушению;*

*ЖБ\_p – железобетонная рама;*

*210ш – в расчёте используются нелинейные шаговые элементы тип 210;*

*Kd\_2 – расчёт выполняется в квазистатической постановке с коэффициентом динамичности 2;*

*1o\_1э – локальное разрушение происходит по оси 1 на 1 этаже;*

## Этап 14. Создание модели для расчёта на устойчивость к прогрессирующему обрушению в квазистатической постановке

### Корректировка списка загрузений

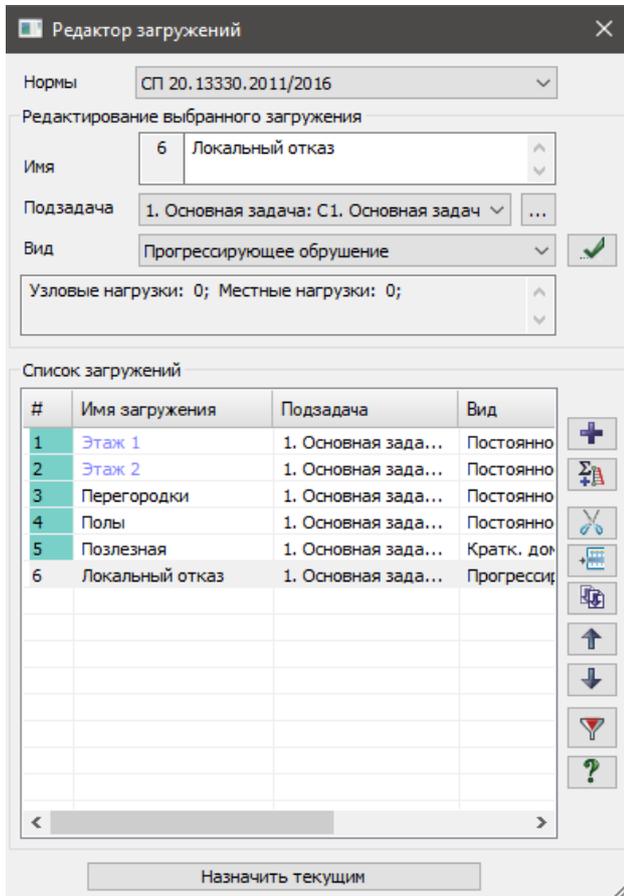


Рис.16.27. Диалоговое окно Редактор загрузений

- Открыть файл, созданный на предыдущем этапе;
- Вызовите диалоговое окно Редактор загрузений (рис.16.27) щелчком по кнопке  – Редактор загрузений (панель Нагрузки на вкладке Создание и редактирование).
- Удалить загрузения 6 и 7 (ветер статика и ветер пульсация);
- Щелкните по кнопке  – Добавить, чтобы создать новое загрузение;
- В поле Имя введите Локальный отказ;
- В списке Вид выберите Прогрессирующее обрушение и щелкните по кнопке  – Применить;
- Закройте диалоговое окно щелчком по кнопке  – Закреть.

*Расчёт на прогрессирующее обрушение выполняется на действие нормативных нагрузок с учётом длительности их действия, поэтому при моделировании нелинейных загрузений, следует умножить значения нагрузок на понижающий коэффициент, вычисляемый для каждого загрузения по формуле  $1/Y_f \cdot K_d$ , где  $Y_f$  – коэффициент надёжности по нагрузке,  $K_d$  – коэффициент длительности.*

- Щелчком по кнопке  – Монтаж (панель Нелинейность на вкладке Расчет) вызовите диалоговое окно Моделирование нелинейных загрузений конструкции (рис.16.28).
- В параметрах нелинейного загрузения поменять вид расчёта на Прогрессирующее обрушение;
- Щелчком переключиться на вкладку Параметры;
- Отметить в истории загрузение №1;
- В поле Количество шагов ввести число 5;
- В поле суммарный коэффициент ввести число 0.91;
- Для сохранения изменений щёлкните по загрузению №1 в истории;
- Отметить в истории загрузение №2;
- В поле Количество шагов ввести число 5;
- В поле суммарный коэффициент ввести число 0.91;
- Для сохранения изменений щёлкните по загрузению №2 в истории;
- Отметить в истории загрузение №3;
- В поле Количество шагов ввести число 5;
- В поле суммарный коэффициент ввести число 0.83;
- Для сохранения изменений щёлкните по загрузению №3 в истории;
- Отметить в истории загрузение №4;
- В поле Количество шагов ввести число 5;
- В поле суммарный коэффициент ввести число 0.77;
- Для сохранения изменений щёлкните по загрузению №4 в истории;

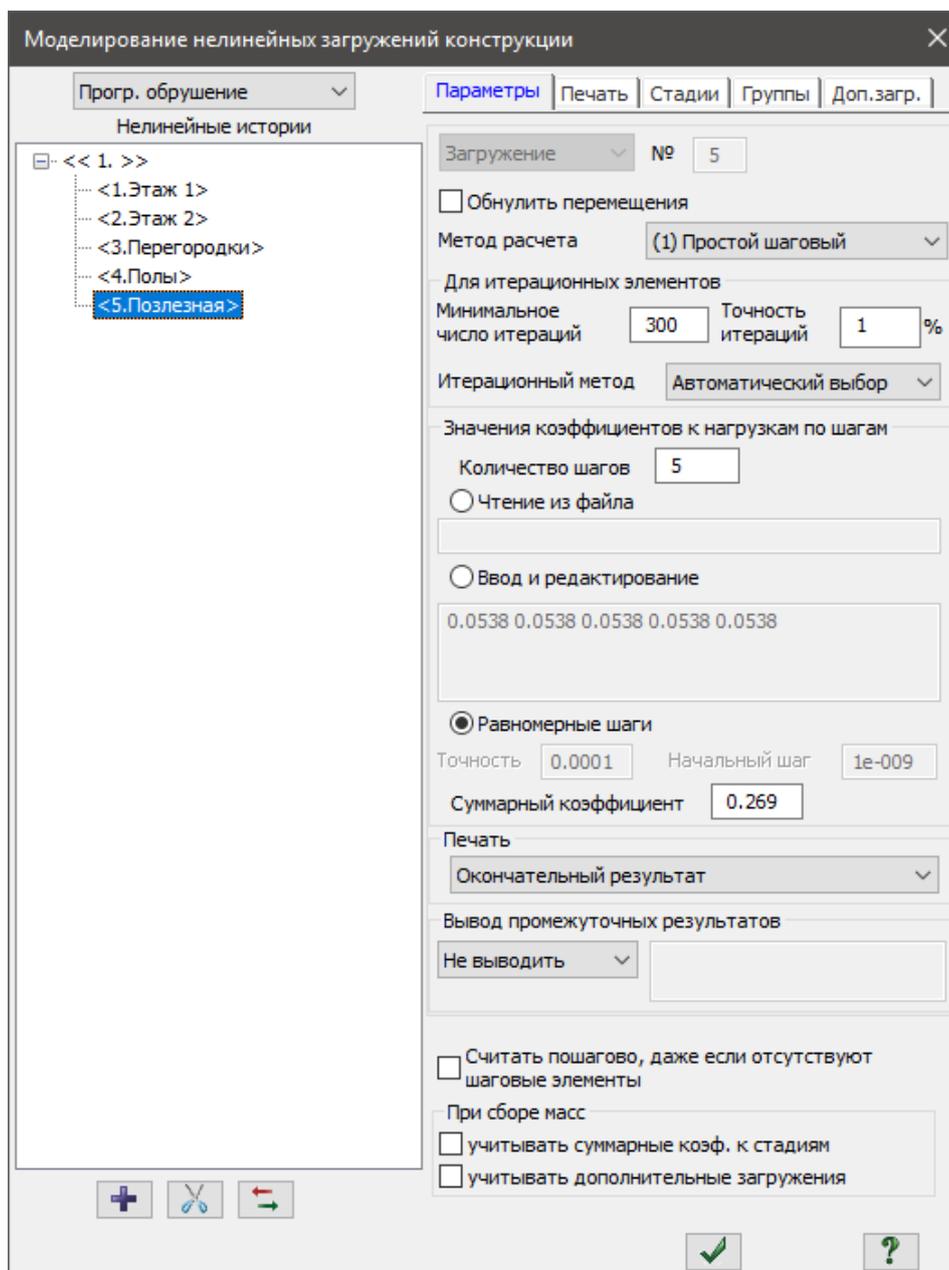


Рис.16.28. диалоговое окно Моделирование нелинейных нагружений

- Для добавления новой строчки в истории нагружения щелкните по кнопке  – Добавить.
- В поле Количество шагов ввести число 5;
- В поле суммарный коэффициент ввести число 0.269;
- Для добавления новой строчки в истории нагружения щелкните по кнопке  – Добавить.
- Щёлкните по вкладке Стадии;
- Вызвать окно флагов рисования щелчком по кнопке ;
- В открывшемся окне, нажать на вкладку  - элементы;
- Щелчком активировать галочку напротив значка  - номера элементов;
- Щелкните по кнопке  – Отметка элементов в раскрывающемся списке Отметка элементов на панели инструментов Панель выбора.

- ❑ Выделите элемент №1 (колонна первого этажа, первая по счёту в направлении оси X, рис.16.29);

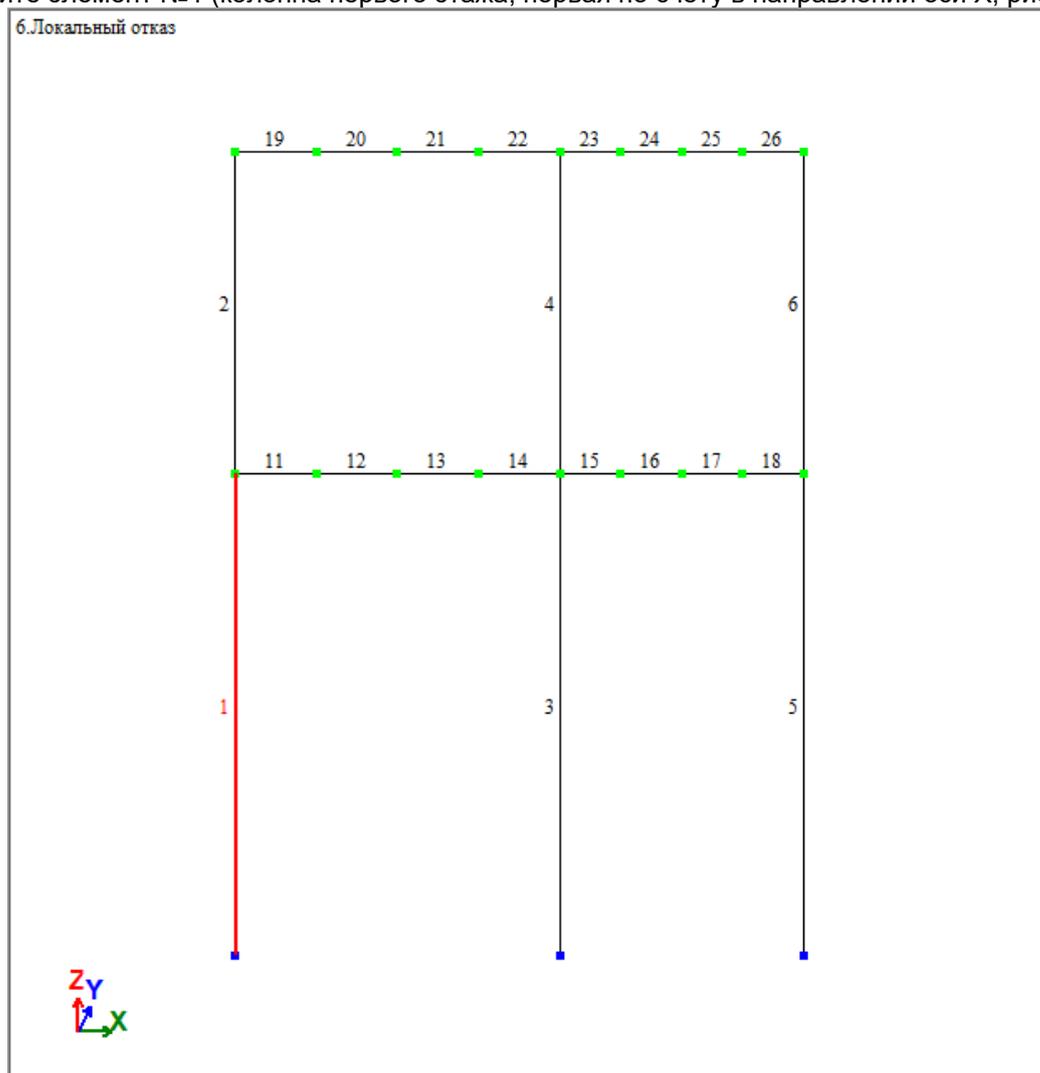


Рис 16.29 Расчётная схема с номерами элементов

- ❑ В диалоговом окне **Моделирование нелинейных нагрузжений** щёлкните по строчке 6 в истории нагружения;
- ❑ В списке Демонтируемые **элементы** щелкните по кнопке  – **Добавить** (в поле список элементов появится номер демонтируемого элемента – 1, Рис 16.30);

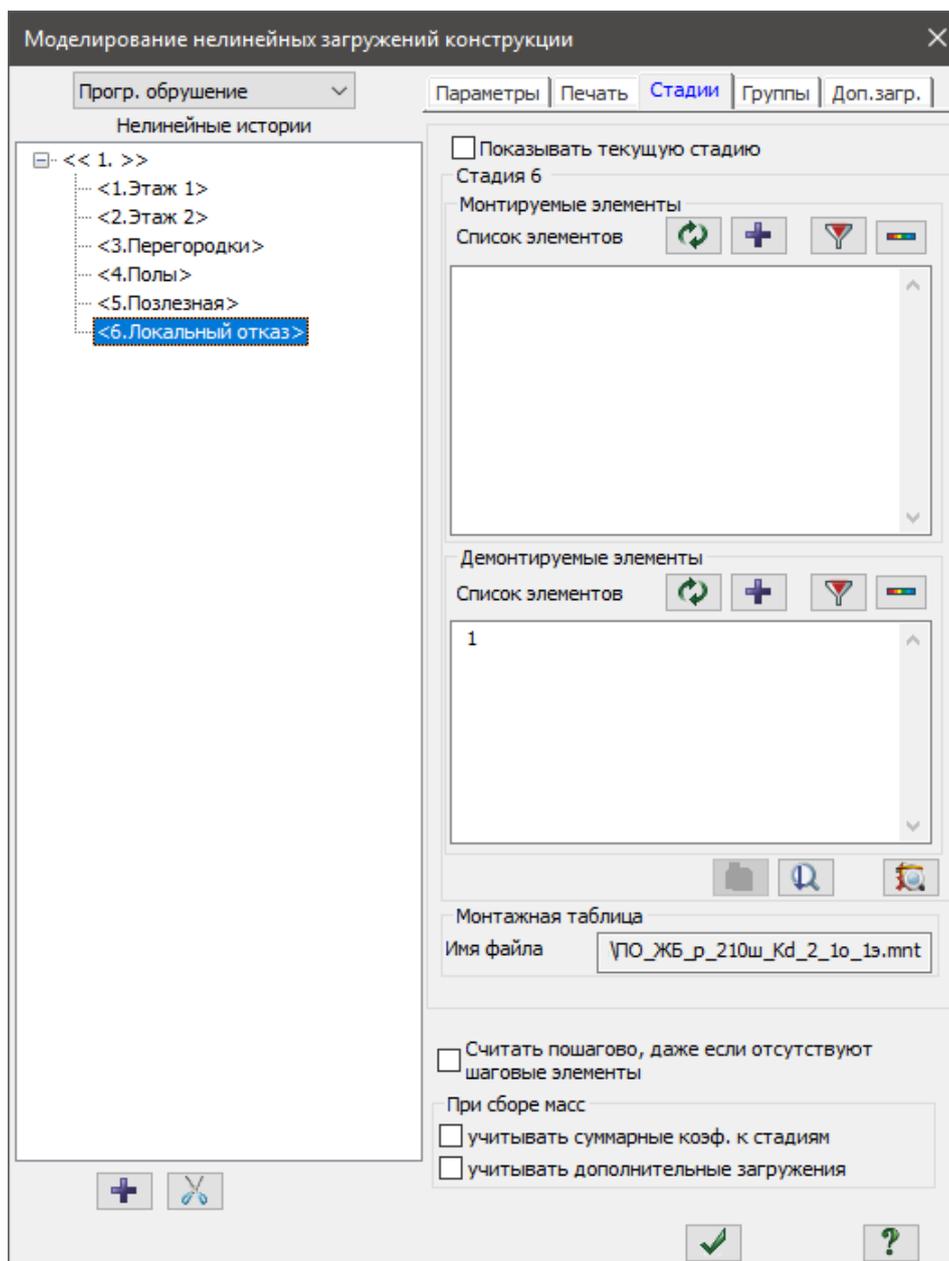


Рис.16.30 диалоговое окно Моделирование нелинейных нагрузок

- Для внесения изменений в историю нагружения, щёлкните по кнопке  - **Применить**;
- Чтобы снять отметку с элемента 1 щёлкните по нему курсором;
- Вызовите окно **Локальный отказ (квазистатика – коэффициенты динамичности)** щелчком по кнопке  (вкладка **Расчёт** на ленте);
- В появившемся диалоговом окне щёлкните на кнопку  - **Показать мозаику свойств текущей закладки**. На экран будет выведена мозаика коэффициентов динамичности по Z;
- Щелкните по кнопке  – **Отметка узлов** в раскрывающемся списке **Отметка узлов** на панели инструментов **Панель выбора**.
- Щелчком отметьте верхний узел стержня №1;
- В диалоговом окне **Локальный отказ (квазистатика – коэффициенты динамичности)** снимите галочку **одно значение для всех**;
- В поле **Z** введите коэффициент 2 (Рис. 16.31);

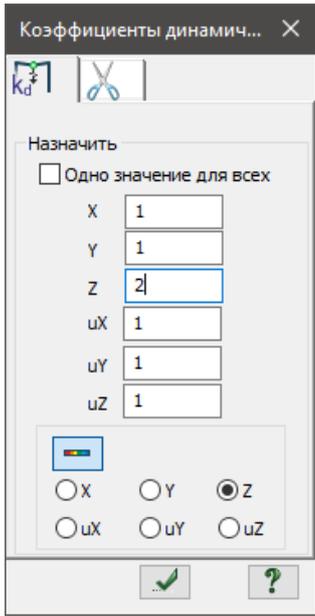


Рис.16.31 Окно Локальный отказ (квазистатика – коэффициенты динамичности)

- ❑ Для назначения коэффициента динамичности, щёлкните по кнопке - **Применить** (на мозаике коэффициентов динамичности по Z отобразятся изменения (Рис.16.32));
- ❑ Щелчком по кнопке – **Таблица РСУ** (панель РСУ на вкладке **Расчет**) вызовите диалоговое окно **Расчетные сочетания усилий**;
- ❑ Выделите строчку №5 в сводной таблице для вычисления РСУ;
- ❑ В списке **Вид загрузки** выберите вид **Постоянное(0)** и щёлкните по кнопке - **Применить** (напротив списка Вид загрузки);
- ❑ Выделите строчку №6 в сводной таблице для вычисления РСУ;
- ❑ Для внесения изменений в РСУ, щёлкните по кнопке - **Применить** (напротив списка Вид загрузки);
- ❑ Чтобы закрыть окно таблицы РСУ, щёлкните по кнопке - **Применить** (в правой верхней части окна);
- ❑ Для сохранения задачи щёлкните по кнопке - **Сохранить**.
- ❑ Закройте диалоговое окно щелчком по кнопке – **Заккрыть**.

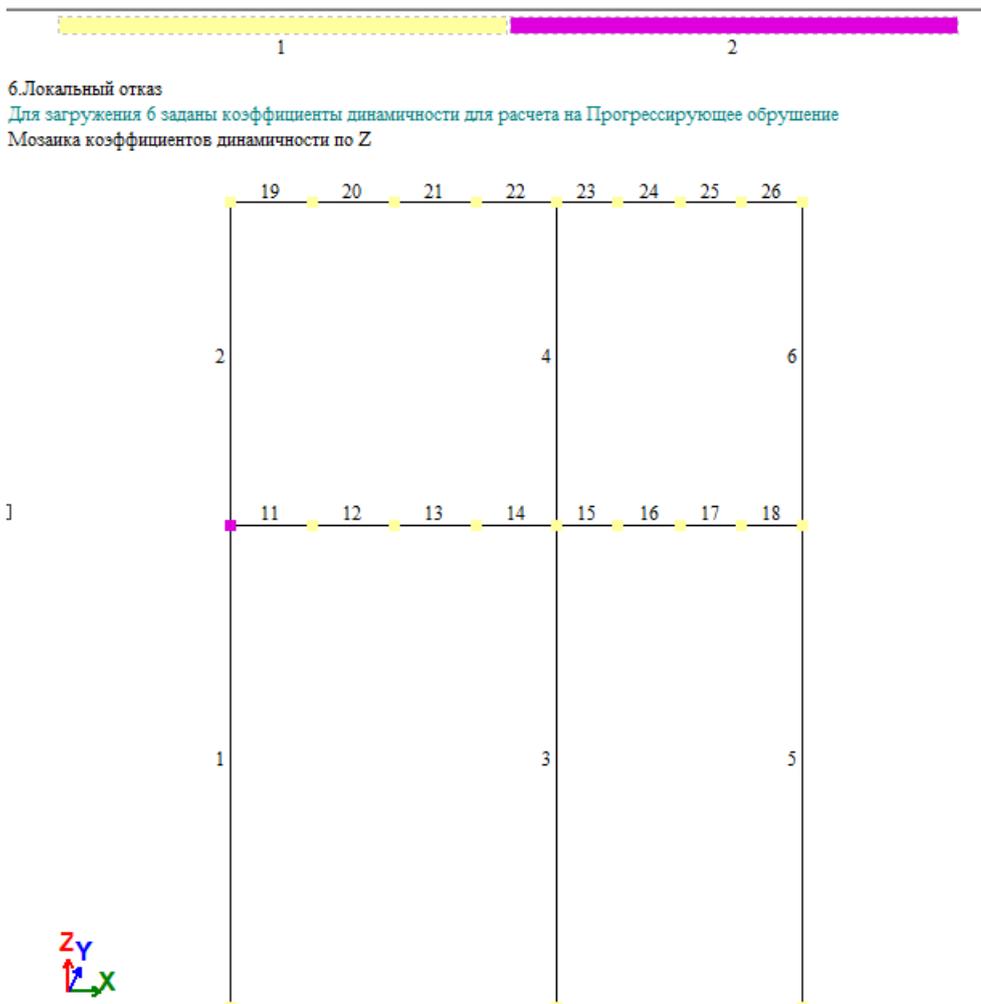


Рис.16.32 Мозаика коэффициентов динамичности по Z

## Этап 15. Полный расчет рамы на устойчивость к прогрессирующему обрушению в квазистатической постановке

- Запустите задачу на расчет щелчком по кнопке  – **Выполнить полный расчет** (панель **Расчет** на вкладке **Расчет**).

## Этап 16. Просмотр и анализ результатов расчёта

После расчета задачи, просмотр и анализ результатов проверки на устойчивость к прогрессирующему обрушению осуществляется на вкладке **Расширенный анализ** (для стандартного стиля ленточного интерфейса).

- Чтобы посмотреть мозаику отображения разрушенных элементов, щелкните по кнопке  – **Разрушенные элементы** (панель **Разрушение** на вкладке **Расширенный анализ**).
- Чтобы посмотреть информацию о состоянии отдельного сечения, щёлкните по кнопке  - **Информация об узле или элементе** на панели инструментов **Панель выбора**.
- С помощью курсора выделите элемент №2.
- В открывшемся диалоговом окне (Рис. 16.33), щёлчком левой кнопки мыши активируйте галочку **Трещины**, чтобы вызвать окно **Характеристики сечения с трещинами** (Рис. 16.34).

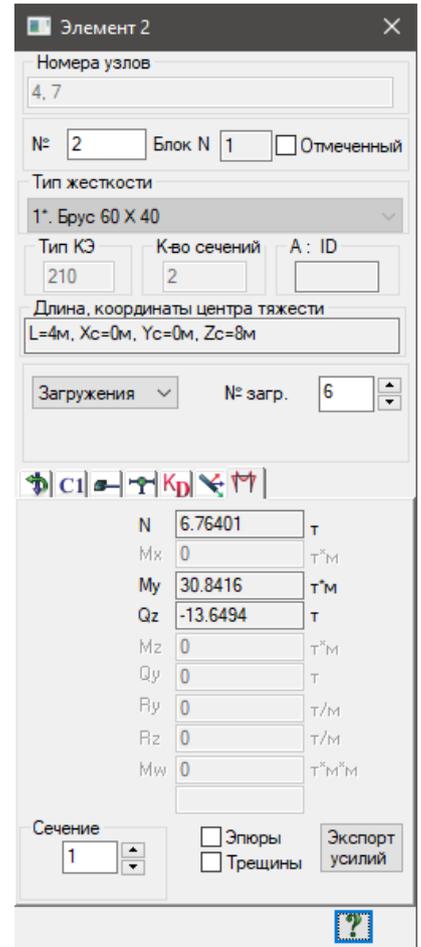


Рис.16.33 Диалоговое окно информации об элементе

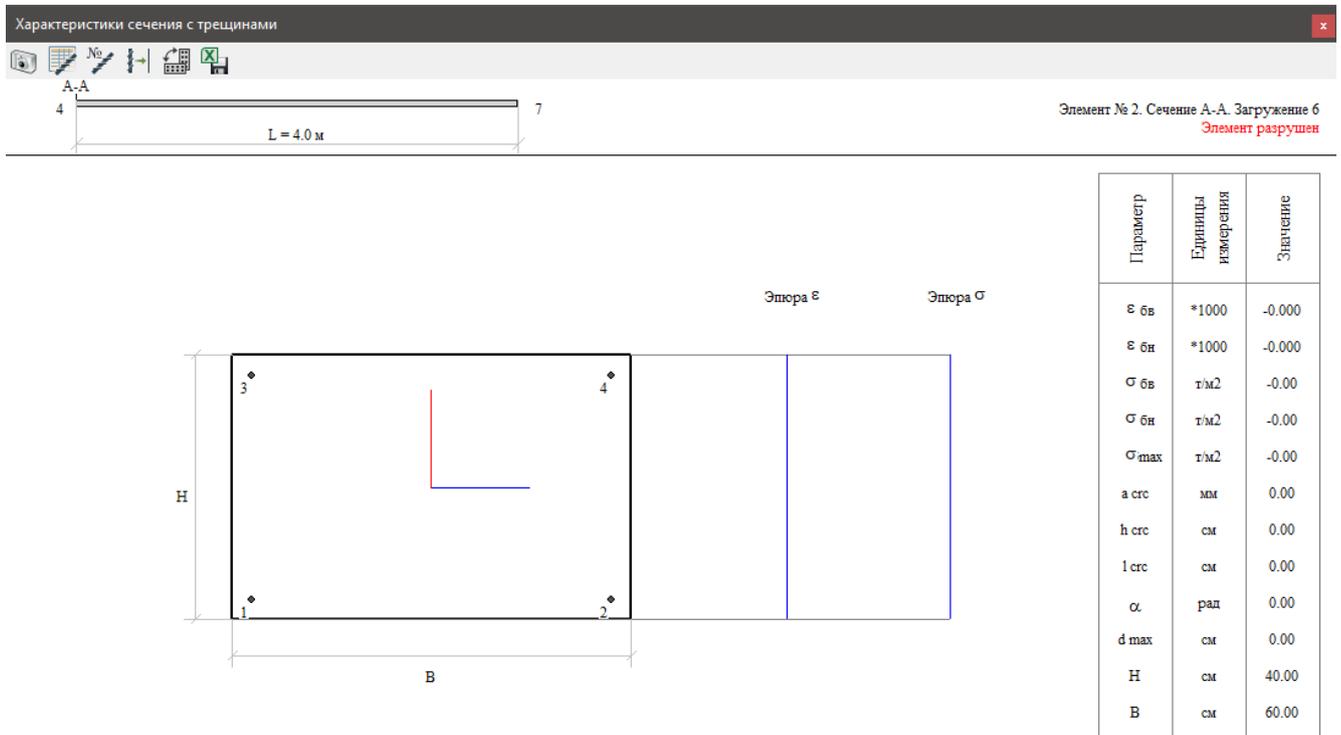


Рис.16.34 Диалоговое окно характеристик сечения с трещинами

- ❑ Закройте диалоговое окно **Характеристик сечения с трещинами** щелчком по кнопке  – **Заккрыть**.
- ❑ Закройте диалоговое окно **Информации об элементе** щелчком по кнопке  – **Заккрыть**.
- ❑ Для сохранения задачи щёлкните по кнопке  - **Сохранить**.
- ❑ После сохранения модели, перезапишите файл под новым именем в ту же директорию.

*Ввиду того, что при расчёте на устойчивость к прогрессирующему обрушению нужно будет создавать несколько файлов задач, в зависимости от количества рассматриваемых сценариев локального разрушения, назначенных типов КЭ, а также постановки задачи, рекомендуется присваивать схемам наименования таким образом, чтобы в имени файла содержалась информация о настройках, принятых в данной модели. На примере рассматриваемой задачи, создаём файл с именем ПО\_ЖБ\_р\_Лин\_dT002\_1o\_1э. Расшифровка имени:*

*ПО – расчёт на устойчивость к прогрессирующему обрушению;*

*ЖБ\_р – железобетонная рама;*

*Лин – в расчёте используются элементы тип 10;*

*dT002 – расчёт выполняется в динамической постановке, время отказа разрушаемого элемента принимаем равным 0.02 с;*

*1o\_1э – локальное разрушение происходит по оси 1 на 1 этаже;*

## Этап 17. Создание модели для расчёта на устойчивость к прогрессирующему обрушению в динамической постановке

### Корректировка монтажных стадий

- ❑ Щелчком по кнопке  – **Стадии** (панель **Нелинейность** на вкладке **Расчет**) вызовите диалоговое окно **Моделирование нелинейных загрузжений конструкции**.
- ❑ С помощью курсора выделите загрузжение №6.
- ❑ В списке демонтируемых элементов, удалите элемент №1.
- ❑ Для закрытия диалогового окна щелкните по кнопке  – **Применить**

### Корректировка списка загрузжений

- ❑ Вызовите диалоговое окно **Редактор загрузжений** (рис.16.35) щелчком по кнопке  – **Редактор загрузжений** (панель **Нагрузки** на вкладке **Создание и редактирование**).
- ❑ Удалить загрузжение 7 (локальный отказ);
- ❑ Щелкните по кнопке  – **Добавить**, чтобы создать новое загрузжение;
- ❑ В поле Имя введите Сбор масс;
- ❑ В списке Вид выберите Неактивное и

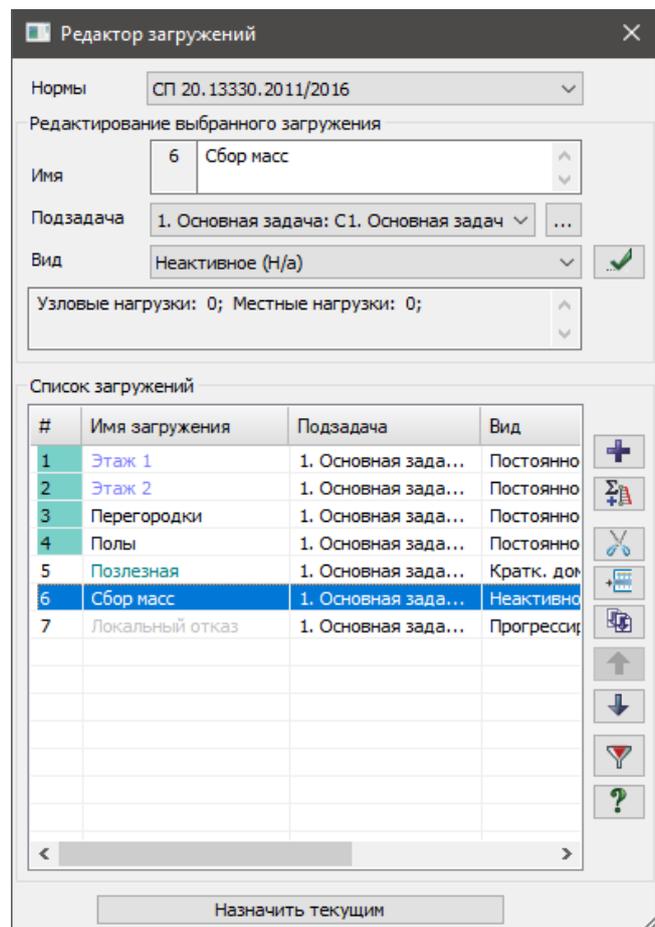


Рис.16.35. Диалоговое окно **Редактор загрузжений**

- щелкните по кнопке  – Применить;
- Щелкните по кнопке  – Добавить, чтобы создать новое загружение;
- В поле Имя введите Локальный отказ;
- В списке Вид выберите Неактивное и щелкните по кнопке  – Применить;
- Закройте диалоговое окно щелчком по кнопке  – **Заккрыть**.
- Вызовите окно **Локальный отказ (квазистатика – коэффициенты динамичности)** щелчком по кнопке  (вкладка **Расчёт** на ленте);
- В появившемся диалоговом окне щёлкните на кнопку  - **Показать мозаику свойств текущей закладки**. На экран будет выведена мозаика коэффициентов динамичности по Z;
- Щелкните по кнопке  – **Отметка узлов** в раскрывающемся списке **Отметка узлов** на панели инструментов **Панель выбора**.
- Щелчком отметьте верхний узел стержня №1;
- Для назначения коэффициента динамичности 1, щёлкните по кнопке  - **Применить** (на мозаике коэффициентов динамичности по Z отобразятся изменения (Рис.16.36));

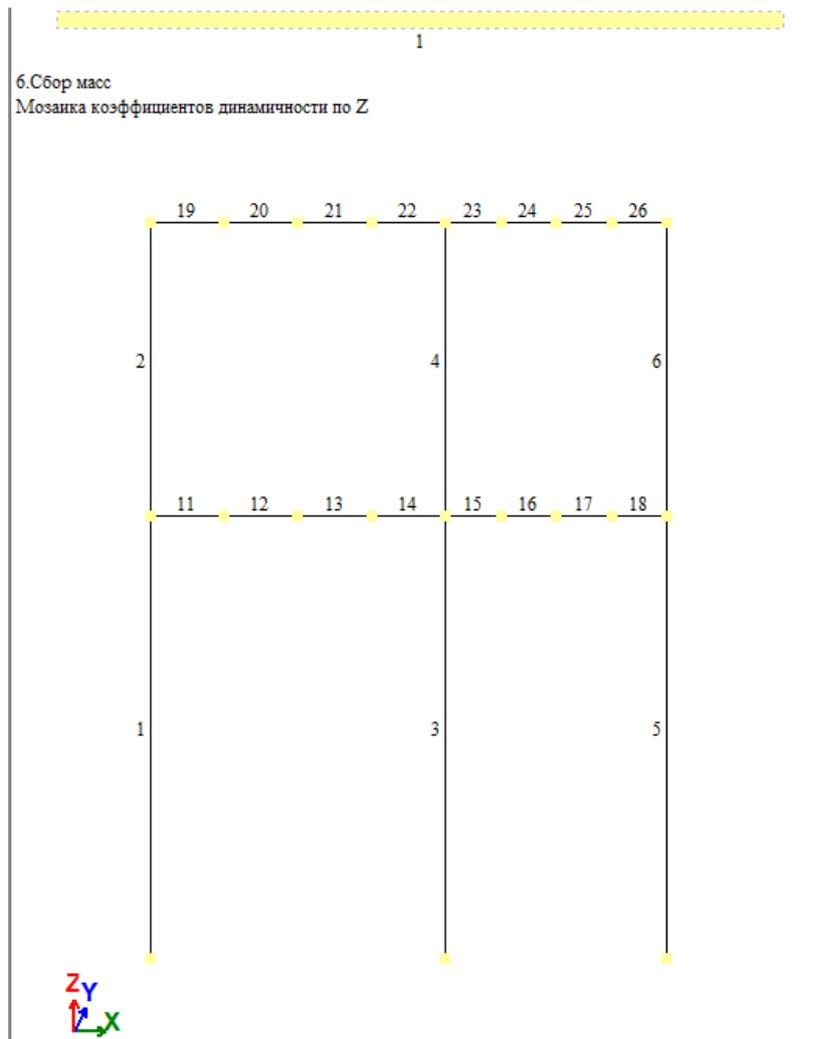


Рис.16.36 Мозаика коэффициентов динамичности по Z

- Закройте диалоговое окно щелчком по кнопке  – **Заккрыть**.

## Настройка параметров динамики во времени



- Щелчком по кнопке **Динамика во времени** (панель **Динамика** на вкладке **Расчет**) вызовите диалоговое окно **Динамики во времени** (рис.16.37).

Рис.16.37 Диалоговое окно Динамика во времени

- С помощью курсора активируйте галочку **Выполнять расчёт динамики во времени**.
- В поле **Номера загружений с динамическими нагрузками** введите номер загрузки 7.
- В поле **Номера загружений с весами масс** введите номер загрузки 6.

- В поле **Номера загружений с демпфирующими характеристиками** удалите данные.
- В поле **Шаг интегрирования** введите 0.002 с.
- В списке **Группа РСУ для динамического нагружения** выберите **E1**.
- Прочие данные оставьте без изменений.
- Для закрытия диалогового окна щелкните по



кнопке **Применить**

- Формирование динамических нагружений из статических
- Вызовите диалоговое окно **Формирование динамических нагружений из статических**



(рис.16.38) щелчком по кнопке **Учет статических нагружений** (панель **Динамика** на вкладке **Расчет**).

- Для формирования первой строки сводной таблицы, в этом окне, при включенной радио-кнопке **загружения (код 1)**, задайте следующие параметры:
  - № динамического нагружения – 6;
  - № соответствующего статического нагружения – 5;
  - Коэф. преобразования – 1.

- Щелкните по кнопкам **Добавить** и **Подтвердить**.

### Настройка локального разрушения

- Вызовите диалоговое окно **Редактор нагружений** щелчком по кнопке **Редактор нагружений** (панель **Нагрузки** на вкладке **Создание и редактирование**).
- Выделить нагружение 7 (локальный отказ).
- Назначить выбранное нагружение текущим.

- Закройте диалоговое окно щелчком по кнопке **Заккрыть**.

- Вызовите окно **Локальный отказ (динамика – время отказа)** щелчком по кнопке **Локальный отказ** (вкладка **Расчёт** на ленте);
- В поле **Время отказа dT** введите 0.02 с.

- Щелкните по кнопке **Отметка элементов** в раскрывающемся списке **Отметка элементов** на панели инструментов **Панель выбора**.
- Выделите элемент №1;

- Щелкните по кнопке **Добавить**

- В появившемся диалоговом окне щёлкните на кнопку **Показать мозаику свойств текущей закладки**. На экран будет выведена мозаика времени отказа от работы элементов в динамике во времени (Рис. 16.39);

- Закройте диалоговое окно щелчком по кнопке **Заккрыть**.

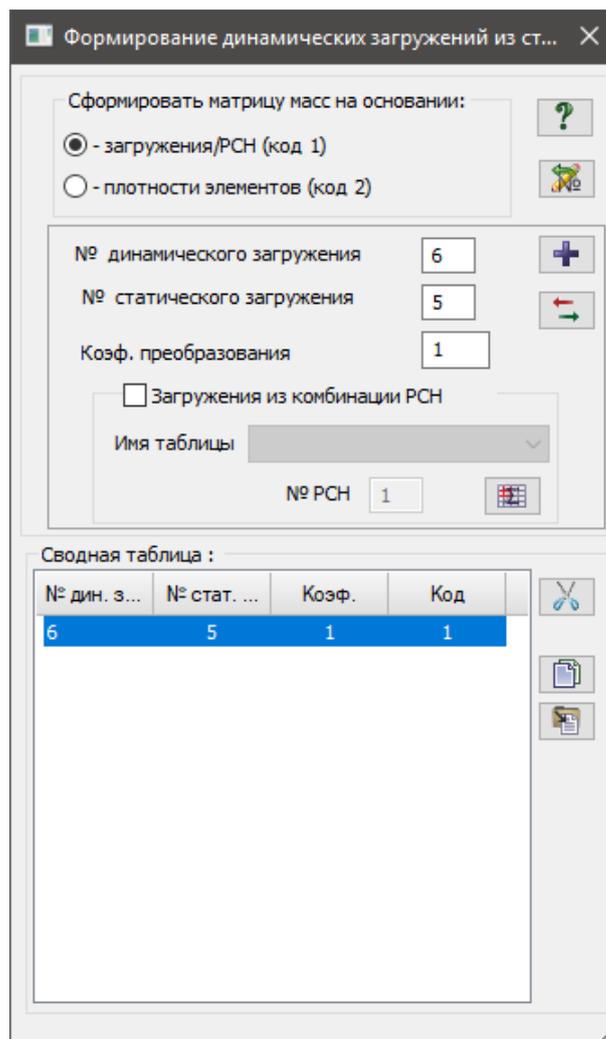


Рис.16.38 Диалоговое окно Формирование динамических нагружений из статических

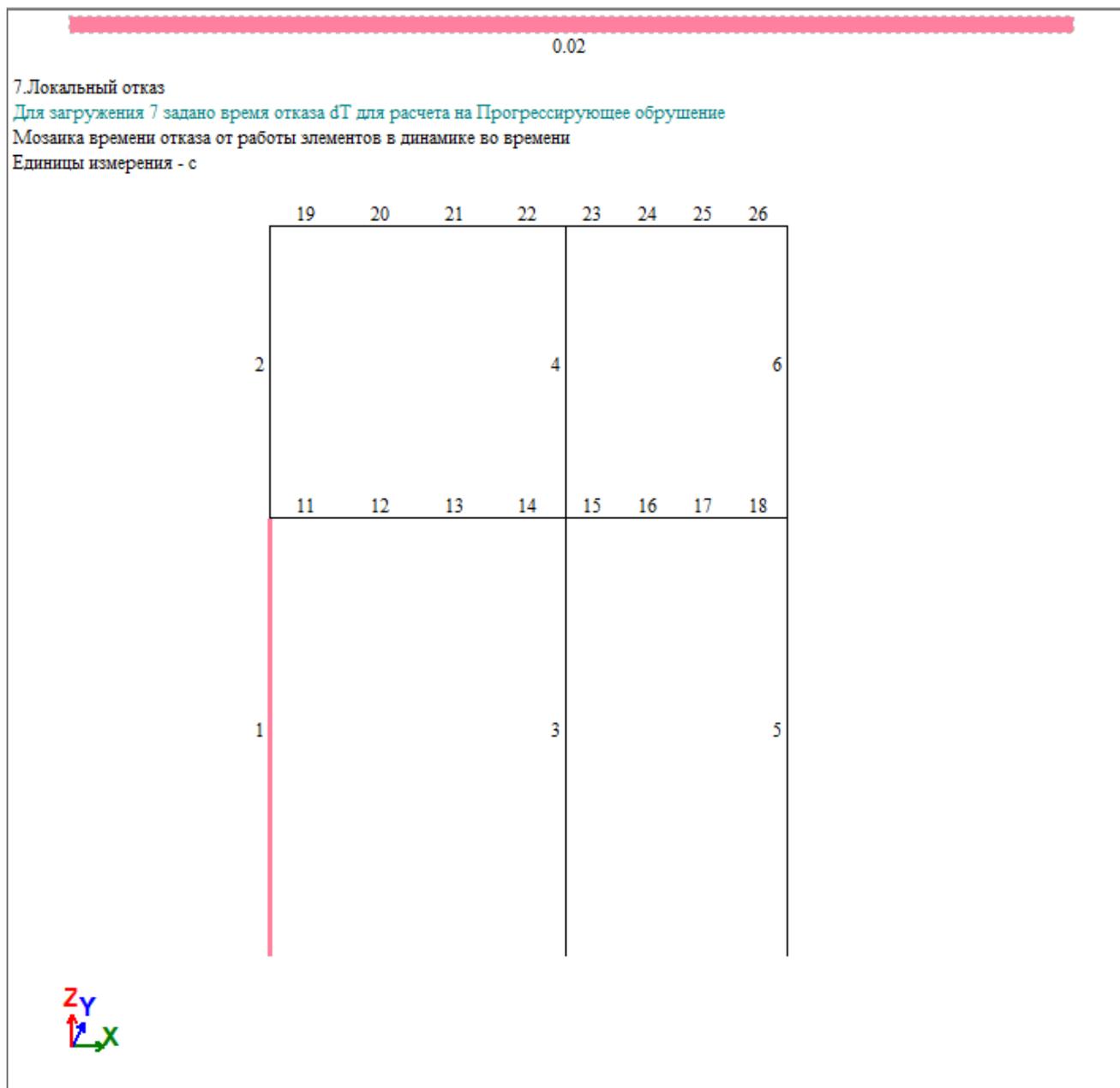


Рис.16.39 Мозаика времени отказа от работы элементов в динамике во времени

### Смена типов КЭ для элементов рамы

- С помощью курсора выделите все стержни схемы.



- Щелчком по кнопке  - Смена типа стержня (панель **Редактирование стержней** на вкладке **Стержни**), вызовите окно **Смена типа конечного элемента** (Рис. 16.40).



- Щелкните по кнопке  – **Применить**.
- В открывшемся диалоговом окне (**Предупреждение** Рис. 16.41) нажмите – **Нет**.

## Корректировка типов жёсткостей

- ❑ Щелчком по кнопке  – **Жесткости и материалы элементов** (панель **Жесткости и связи** на вкладке **Создание и редактирование**) вызовите диалоговое окно **Жесткости и материалы**.
  - ❑ Выделите тип жёсткости №1 и нажмите **Изменить**.
  - ❑ В открывшемся окне нажмите радио-кнопку **Жёсткостные характеристики сечения – Вычислять автоматически по размерам сечения**.
  - ❑ Введите параметры сечения модуль упругости –  $E = 3 \cdot 10^4 \text{ т/м}^2$  (при английской раскладке клавиатуры);
  - ❑ Щелкните по кнопке  – **Применить**.
  - ❑ Выделите тип жёсткости №2 и нажмите **Изменить**.
  - ❑ В открывшемся окне нажмите радио-кнопку **Жёсткостные характеристики сечения – Вычислять автоматически по размерам сечения**.
  - ❑ Введите параметры сечения модуль упругости –  $E = 3 \cdot 10^4 \text{ т/м}^2$  (при английской раскладке клавиатуры);
  - ❑ Щелкните по кнопке  – **Применить**.
- Законы нелинейной работы материалов, сохраняются в расчётной схеме и могут быть использованы для расчётов в динамической постановке с применением нелинейных конечных элементов.*

## Этап 18. Полный расчет рамы на устойчивость к прогрессирующему обрушению в динамической постановке

- ❑ Запустите задачу на расчет щелчком по кнопке  – **Выполнить полный расчет** (панель **Расчет** на вкладке **Расчет**).

## Этап 19. Просмотр и расчёта

*После расчета задачи в динамической постановке, анализ по отдельным загрузениям доступен не будет. Вместо загрузений можно будет анализировать шаги интегрирования динамики во времени, а первым загрузением будет Предыстория, соответствующая состоянию модели на момент приложения загрузения №5.*

- ❑ Перейдите на вкладку **Анализ**.
- ❑ Чтобы посмотреть информацию о состоянии отдельного узла, щёлкните по кнопке  – **Информация об узле или элементе** на панели инструментов **Панель выбора**.
- ❑ С помощью курсора отметьте верхний узел стержня №1;
- ❑ В открывшемся окне щёлкните по закладке  – **Перемещения во времени**.
- ❑ С помощью курсора включите радио-кнопку **Z** и активируйте галочку **Изменения во времени**, чтобы вызвать окно **Динамика во времени – результаты**.

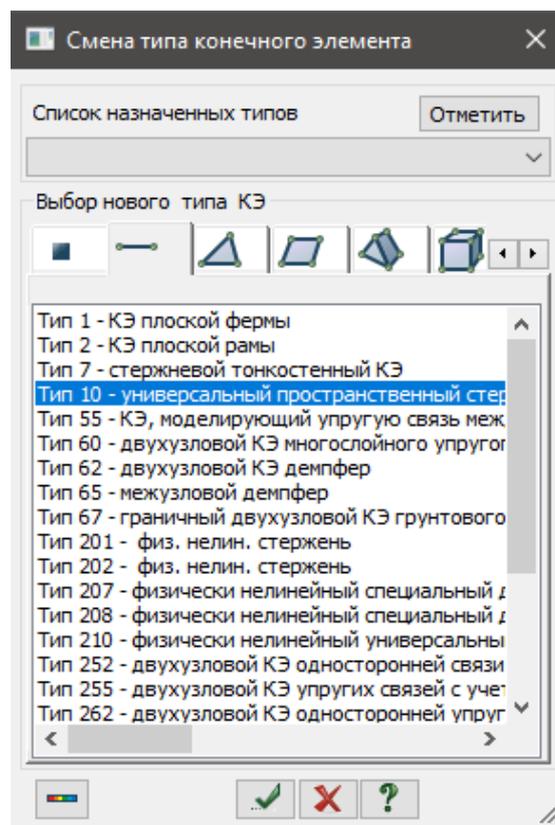


Рис.16.40 Диалоговое окно Смена типа конечного элемента

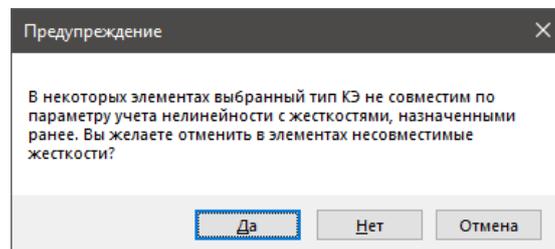


Рис.16.41 Диалоговое окно Предупреждение

- В открывшемся окне, щёлкните по кнопке  - **Показать отметки шагов интегрирования**.
- Наведите курсор на график **Перемещение по Z, мм** и щёлкните в точке, соответствующей наименьшему значению (Рис. 16.42).

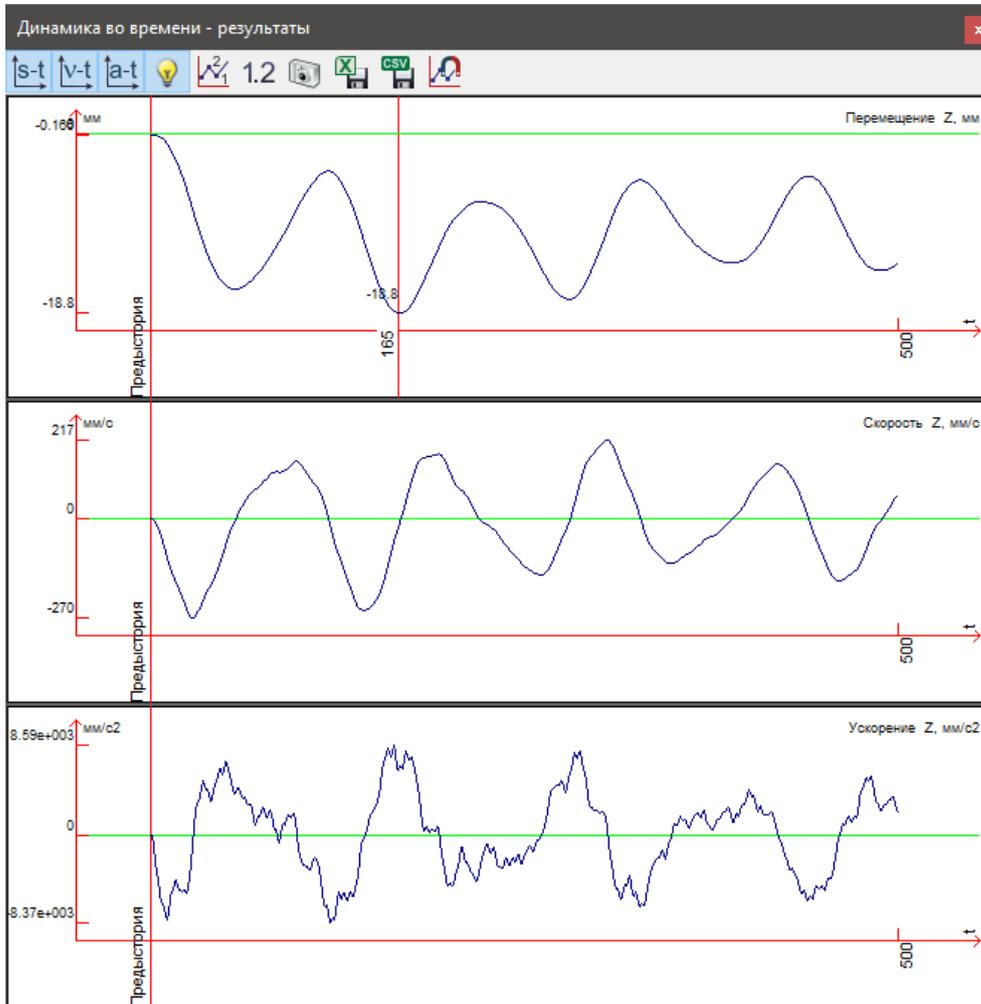


Рис.16.42 Диалоговое окно Динамика во времени - результаты

- Закройте диалоговые окна щелчком по кнопке  – **Закорьть**.

### Смена номера текущего загрузки

- В строке состояния (находится в нижней области рабочего окна) в раскрывающемся списке **Сменить номер загрузки** выберите строку соответствующую второму загрузению или щелкните по кнопке

 – **Следующее загрузение**.

В списке загрузений будет выбран шаг интегрирования во времени, отмеченный в диалоговом окне **Динамика во времени – результаты** на предыдущем этапе.

- Чтобы вывести на экран мозаику перемещений по направлению Z, щелкните по кнопке  – **Мозаика перемещений по Z(G)** (панель **Деформации** на вкладке **Анализ**).