

Пример 16. Технология расчета на устойчивость к прогрессирующему обрушению

Цели и задачи:

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

Исходные данные:

Четырехпролетное восьмиэтажное здание.

Размеры пролетов – 6 м, шаг колонн – 5.6 м, высота этажей – 3 м.

Колонны в местах опирания на фундаментную плиту жестко защемлены.

Материал – железобетон В30, арматура А-III.

Нагрузки:

- загрузка 1 – равномерно распределенная $p = 1 \text{ т/м}^2$, приложенная на все плиты перекрытия и на плиту покрытия;
- сосредоточенная нагрузка $P = 30 \text{ т}$, приложенная в верхний узел разрушенной колонны.



В этом примере описан современный подход к данной проблеме с использованием уникальных возможностей ПК ЛИРА-САПР. На первом этапе выполняется расчет в физически и геометрически нелинейной постановке на нагрузки соответствующие аварийной ситуации. На втором этапе к измененной расчетной схеме (используется система МОНТАЖ +) прикладываются усилия от удаленных элементов с учетом коэффициентов динамичности. Стартовым состоянием для второго этапа является НДС конструкции определенное на первом этапе. Расчет на втором этапе также производится в физически и геометрически нелинейной постановке.

Для того чтобы начать работу с ПК ЛИРА-САПР®, выполните следующую команду Windows:
Пуск ⇒ Все программы (Все приложения) ⇒ LIRA SAPR ⇒ ЛИРА-САПР 2016 ⇒ ЛИРА-САПР 2016.

Этап 1. Создание новой задачи

- Для создания новой задачи откройте меню **Приложения** и выберите пункт **Новый** (кнопка  на панели быстрого доступа).
- В появившемся диалоговом окне **Описание схемы** (рис. 16.1) задайте следующие параметры:
 - имя создаваемой задачи – **Пример16**;
 - в раскрывающемся списке **Признак схемы** выберите строку **5 – Шесть степеней свободы в узле**.
- После этого щелкните по кнопке  – **Подтвердить**.

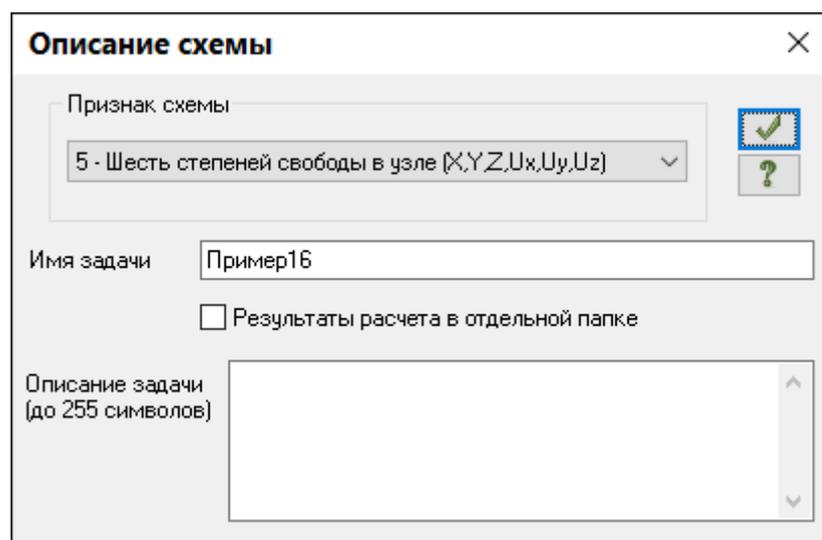


Рис.16.1. Диалоговое окно **Описание схемы**



Диалоговое окно **Описание схемы** также можно открыть с уже выбранным признаком схемы. Для этого в меню **Приложения** в раскрывающемся списке пункта **Новый** выберите команду  – **Пятый признак схемы (Шесть степеней свободы в узле)** или на панели

быстрого доступа в раскрывающемся списке **Новый** выберите команду  – **Пятый признак схемы (Шесть степеней свободы в узле)**. После этого нужно задать только имя задачи.

Установка флажка **Результаты расчета в отдельной папке** в диалоговом окне **Описание схемы** дает возможность сохранять все результаты расчета для конкретной задачи в отдельной папке с именем, которое совпадает с именем задачи. Данная папка создается в каталоге хранения результатов расчета. Это удобно в том случае, если нужно найти результаты расчета для конкретной задачи и последующей передаче файлов результатов расчета или просмотра и анализа этих файлов с помощью проводника или других файловых менеджеров.

Упаковка схемы

- Щелчком по кнопке  – **Упаковка схемы** (панель **Редактирование** на вкладке **Создание и редактирование**) вызовите диалоговое окно **Упаковка** (рис.16.3).
- В этом окне щелкните по кнопке  – **Применить** (упаковка схемы производится для сшивки совпадающих узлов и элементов, а также для безвозвратного исключения из расчетной схемы удаленных узлов и элементов).

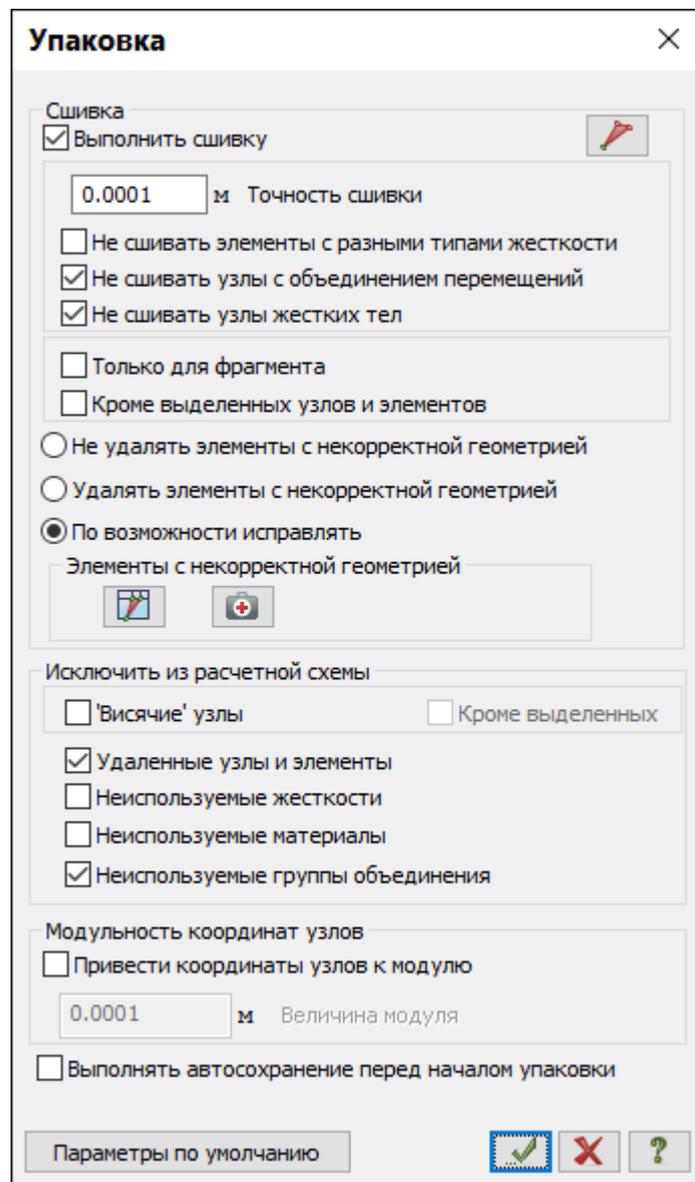


Рис.16.3. Диалоговое окно **Упаковка**

На рис.16.4 представлена полученная расчетная схема.

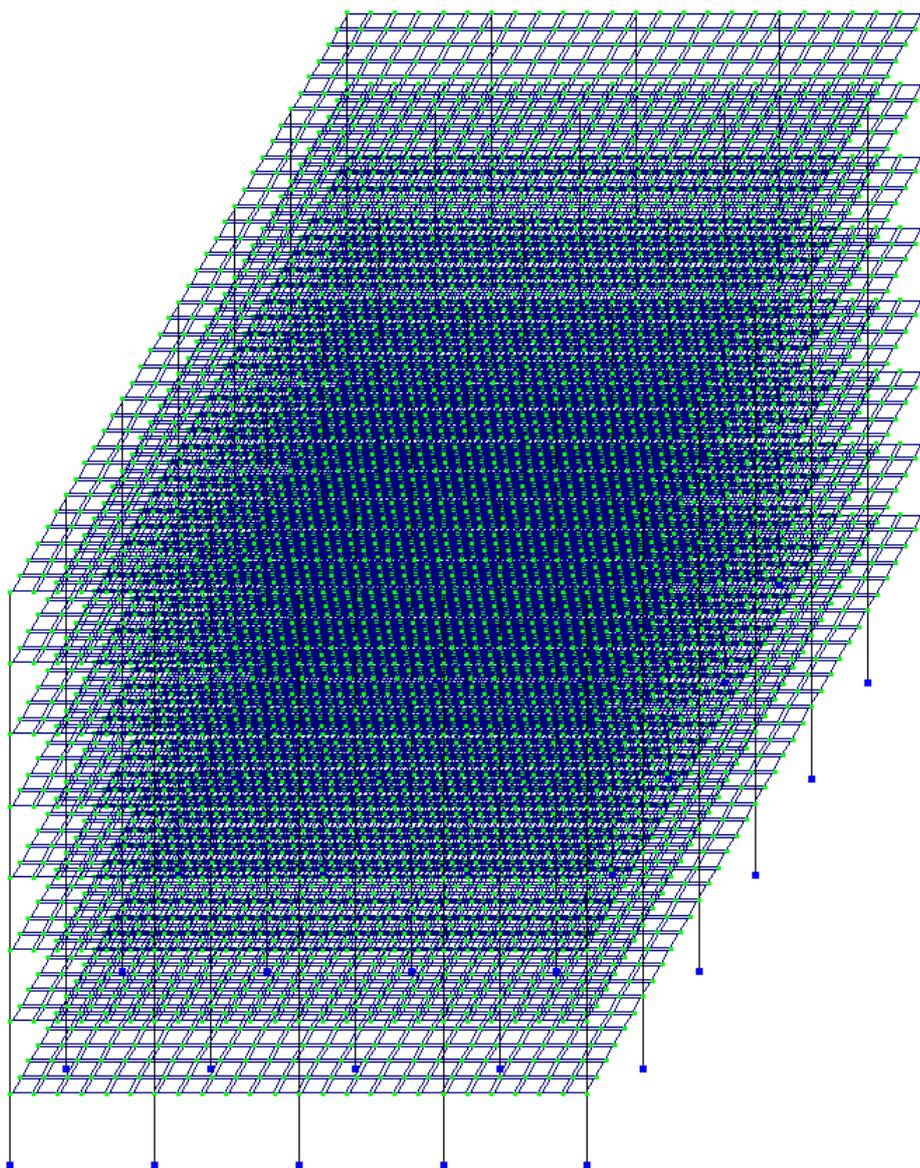


Рис.16.4. Расчетная схема каркаса

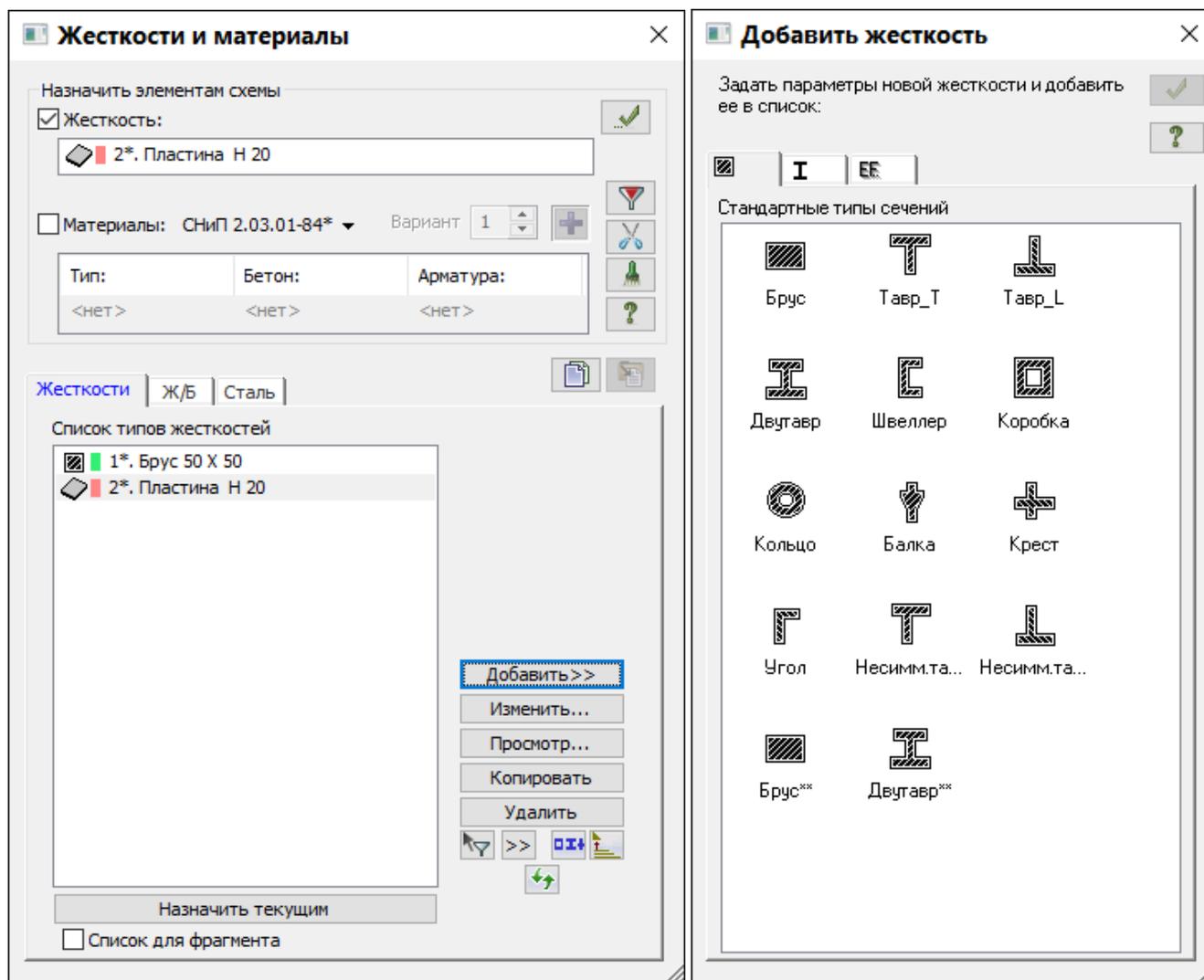
Сохранение информации о расчетной схеме

- Для сохранения информации о расчетной схеме откройте меню **Приложения** и выберите пункт  **Сохранить** (кнопка  на панели быстрого доступа).
- В появившемся диалоговом окне **Сохранить как** задайте:
 - имя задачи – **Пример16**;
 - папку, в которую будет сохранена эта задача (по умолчанию выбирается папка – **Data**).
- Щелкните по кнопке **Сохранить**.

Этап 3. Задание жесткостных параметров элементам схемы

Формирование типов жесткости

- Щелчком по кнопке  – **Жесткости и материалы** (панель **Жесткости и связи** на вкладке **Создание и редактирование**) вызовите диалоговое окно **Жесткости и материалы** (рис.16.5,а).
- В этом окне щелчком по кнопке **Добавить** вызовите диалоговое окно **Добавить жесткость**, для того чтобы вывести список стандартных типов сечений (рис.16.5,б).
- Выберите двойным щелчком мыши на элементе графического списка тип сечения **Брус**.



а

б

Рис.16.5. Диалоговые окна: а – Жесткости и материалы, б – Добавить жесткость

- В диалоговом окне **Задание стандартного сечения** (рис.16.6) задайте параметры сечения **Брус**:
 - геометрические размеры – **В** = 50 см; **Н** = 50 см.
- Далее установите флажок **Учет нелинейности**.

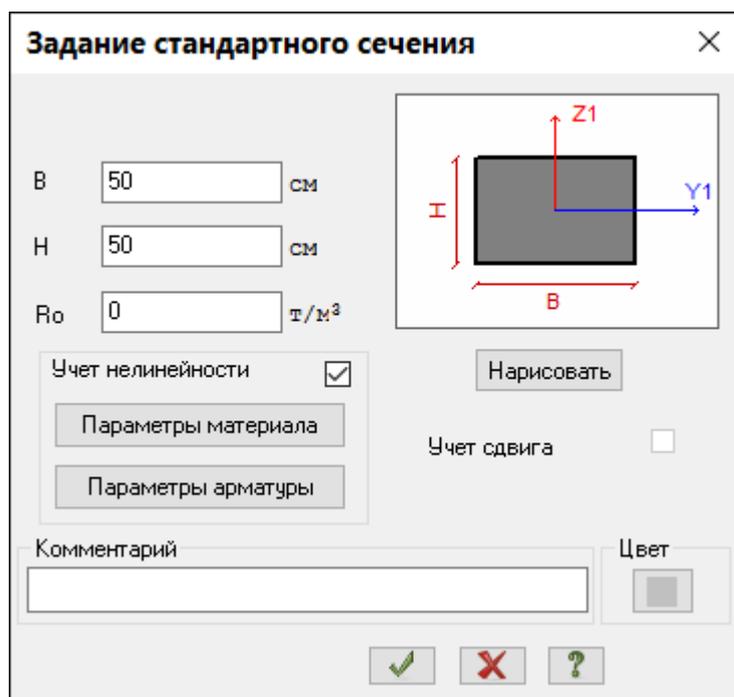


Рис.16.6. Диалоговое окно Задание стандартного сечения

- Для задания материала щелкните по кнопке **Параметры материала**. Вызывается диалоговое окно **Законы нелинейного деформирования материалов** (рис.16.7).
- В этом окне, для основного материала, в раскрывающемся списке **Закон нелинейного деформирования** выберите строку **31 – экспоненциальный (расчетная прочность) закон деформирования**.
- В таблице **Параметры закона нелинейного деформирования**, после двойного щелчка по ячейке значений задайте параметры основного материала (бетона):
 - класс бетона – **В30**;
 - тип бетона – **ТА**.
- Для просмотра графического изображения заданной зависимости щелкните по кнопке **Нарисовать**.

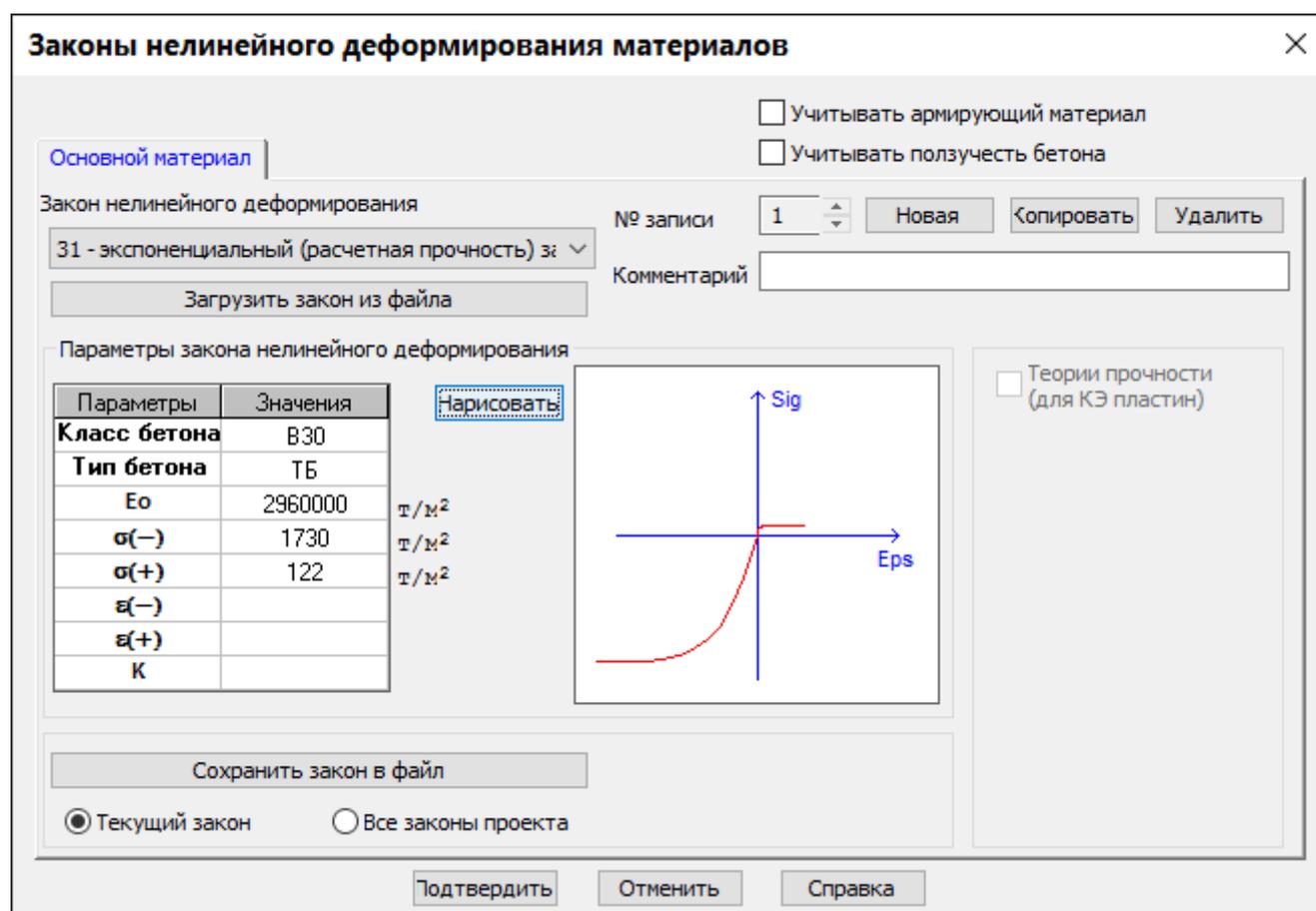


Рис.16.7. Диалоговое окно **Законы нелинейного деформирования материалов** для основного материала

- Далее в этом же окне установите флажок **Учитывать армирующий материал** (рис.16.8) и перейдите на закладку **Армирующий материал**.
- В раскрывающемся списке **Закон нелинейного деформирования** выберите строку **11 – экспоненциальный закон деформирования**.
- В таблице **Параметры закона нелинейного деформирования** задайте следующие параметры (при английской раскладке клавиатуры):
 - модуль упругости – $E_0(-) = 2e7$ т/м²;
 - модуль упругости – $E_0(+)$ = 2e7 т/м²;
 - предельное напряжение $\sigma(-)$ = -37500 т/м²;
 - предельное напряжение $\sigma(+)$ = 37500 т/м².
- Для просмотра графического изображения заданной зависимости щелкните по кнопке **Нарисовать**.
- Для ввода данных щелкните по кнопке **Подтвердить**.

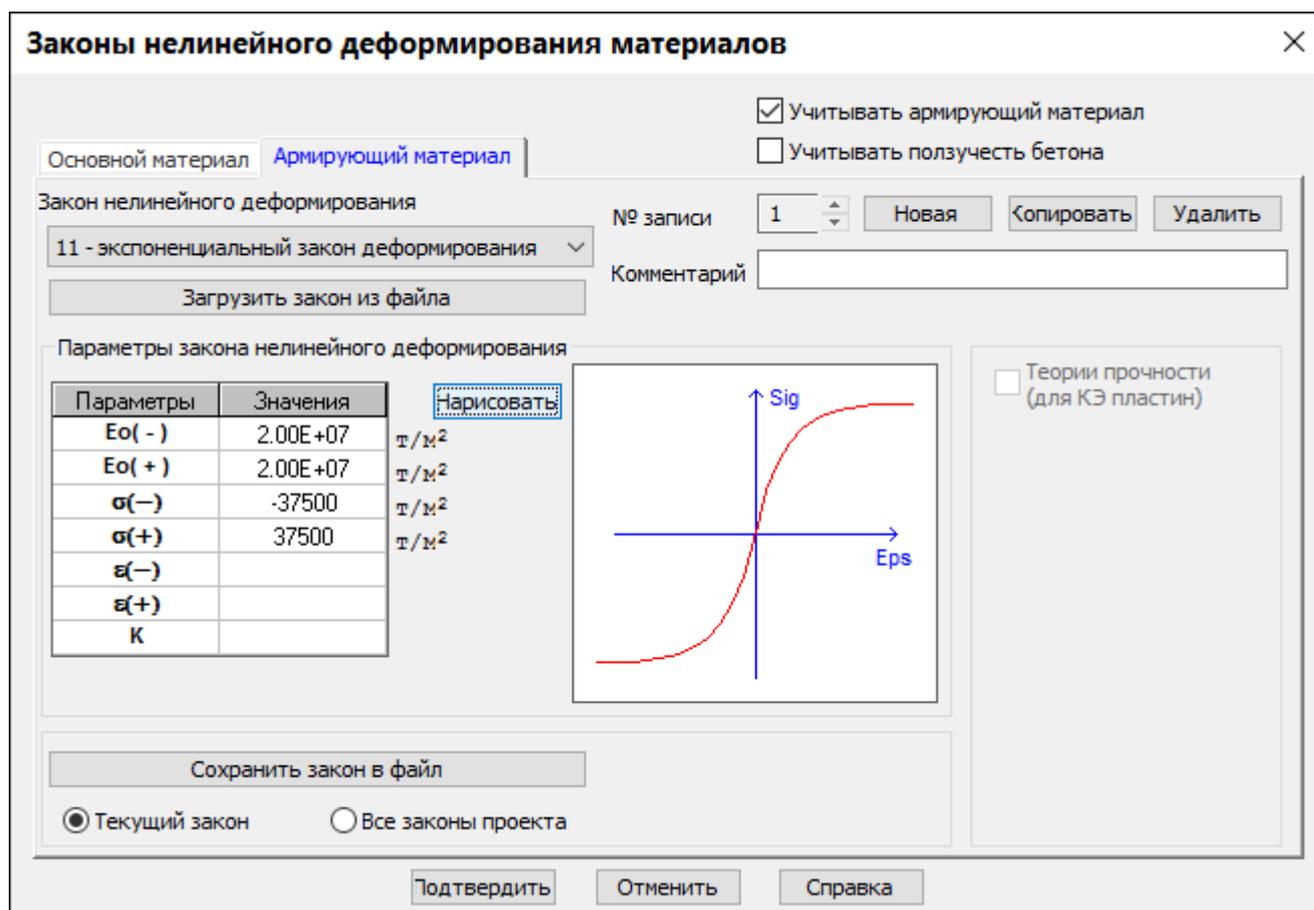


Рис.16.8. Диалоговое окно **Законы нелинейного деформирования материалов** для армирующего материала

- Для задания расположения и площади арматуры, в диалоговом окне **Задание стандартного сечения** (рис.16.6) щелкните по кнопке **Параметры арматуры**. Вызывается диалоговое окно **Характеристики физической нелинейности стержней** (рис.16.9).
- В этом окне, для выбора арматурных включений, щелкните по кнопке **Точечная арматура**.
- Задайте параметры арматуры для первого слоя арматуры:
 - площадь арматуры – $F_a = 10 \text{ см}^2$;
 - координаты привязки – $y = -20 \text{ см}$; $z = 5 \text{ см}$.
- В раскрывающемся списке **Номер слоя арматуры** выберите номер **2**.
- Задайте параметры арматуры для второго слоя арматуры:
 - площадь арматуры – $F_a = 10 \text{ см}^2$;
 - координаты привязки – $y = 20 \text{ см}$; $z = 5 \text{ см}$.
- В раскрывающемся списке **Номер слоя арматуры** выберите номер **3**.
- Задайте параметры арматуры для третьего слоя арматуры:
 - площадь арматуры – $F_a = 10 \text{ см}^2$;
 - координаты привязки – $y = -20 \text{ см}$; $z = 45 \text{ см}$.
- В раскрывающемся списке **Номер слоя арматуры** выберите номер **4**.
- Задайте параметры арматуры для четвертого слоя арматуры:
 - площадь арматуры – $F_a = 10 \text{ см}^2$;
 - координаты привязки – $y = 20 \text{ см}$; $z = 45 \text{ см}$.
- Для выбора типа дробления поперечного сечения, щелкните по кнопке **Дробление на элементарные прямоугольники**.
- Чтобы увидеть эскиз сечения щелкните по кнопке **Нарисовать**.
- Для ввода данных щелкните по кнопке **Подтвердить**.

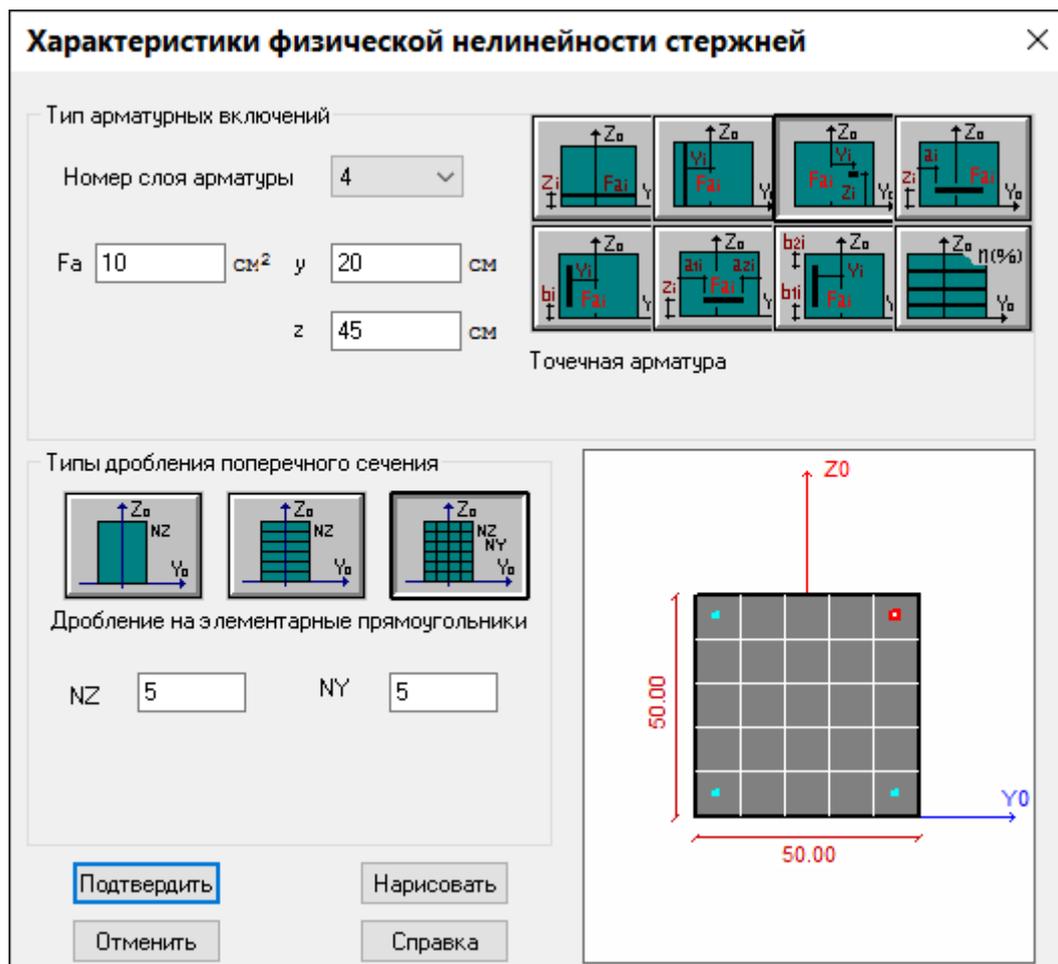


Рис.16.9. Диалоговое окно Характеристики физической нелинейности стержней

- После этого в диалоговом окне **Задание стандартного сечения** щелкните по кнопке **Подтвердить**. ✓
- Далее в диалоговом окне **Добавить жесткость** перейдите на третью закладку численного описания жесткости.
- Двойным щелчком мыши выберите тип сечения **Пластины**.
- В окне **Задание жесткости для пластин** (рис.16.10) задайте параметры сечения **Пластины** (для плиты перекрытия):
 - коэф. Пуассона – $\nu = 0.2$;
 - толщина – $H = 20$ см.
- Далее установите флажок **Учет нелинейности**.

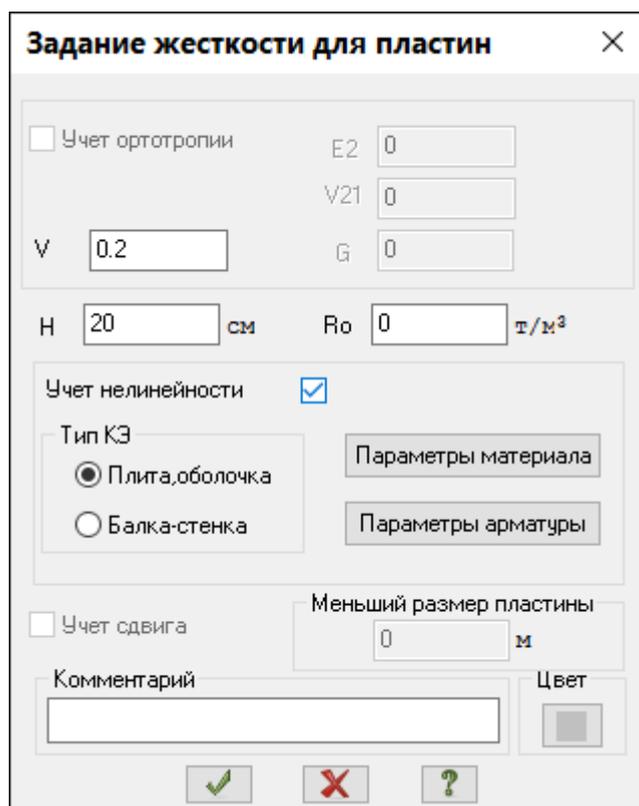


Рис.16.10. Диалоговое окно **Задание жесткости для пластин**

- Для задания материала щелкните по кнопке **Параметры материала**. Вызывается диалоговое окно **Законы нелинейного деформирования материалов**.
- В этом окне, для основного материала, в раскрывающемся списке **Закон нелинейного деформирования** выберите строку **31 – экспоненциальный (расчетная прочность) закон деформирования**.
- В таблице **Параметры закона нелинейного деформирования** отобразятся заданные в предыдущей жесткости параметры основного материала (бетона).
- Далее в этом же окне установите флажок **Учитывать армирующий материал** и перейдите на закладку **Армирующий материал**.
- В раскрывающемся списке **Закон нелинейного деформирования** выберите строку **11 – экспоненциальный закон деформирования**.
- В таблице **Параметры закона нелинейного деформирования** отобразятся заданные в предыдущей жесткости параметры армирующего материала (арматуры).
- Для ввода данных щелкните по кнопке **Подтвердить**.
- Для задания расположения и площади арматуры, в диалоговом окне **Задание жесткости для пластин** (рис.16.10) щелкните по кнопке **Параметры арматуры**. Вызывается диалоговое окно **Тип арматурных включений** (рис.16.11).
- В этом окне, для выбора арматурных включений, щелкните по кнопке **Арматура стержневого типа (физический эквивалент сетки)**.
- Задайте параметры арматуры для первого слоя арматуры:
 - эквивалентная толщина стержневой арматуры сетки по оси Y – **H_y = 0.1 см**;
 - эквивалентная толщина стержневой арматуры сетки по оси X – **H_x = 0.1 см**;
 - привязка сетки к серединной поверхности – **z = -6 см**.
- По умолчанию количество стержней на 1 погонный метр равно **5**.
- В раскрывающемся списке **Номер слоя арматуры** выберите номер **2**.
- Задайте параметры арматуры для второго слоя арматуры:
 - эквивалентная толщина стержневой арматуры сетки по оси Y – **H_y = 0.2 см**;
 - эквивалентная толщина стержневой арматуры сетки по оси X – **H_x = 0.2 см**;
 - привязка сетки к серединной поверхности – **z = 6 см**.

- По умолчанию количество стержней на 1 погонный метр равно **5**.
- Чтобы увидеть эскиз сечения щелкните по кнопке **Нарисовать**.
- Для ввода данных щелкните по кнопке **Подтвердить**.

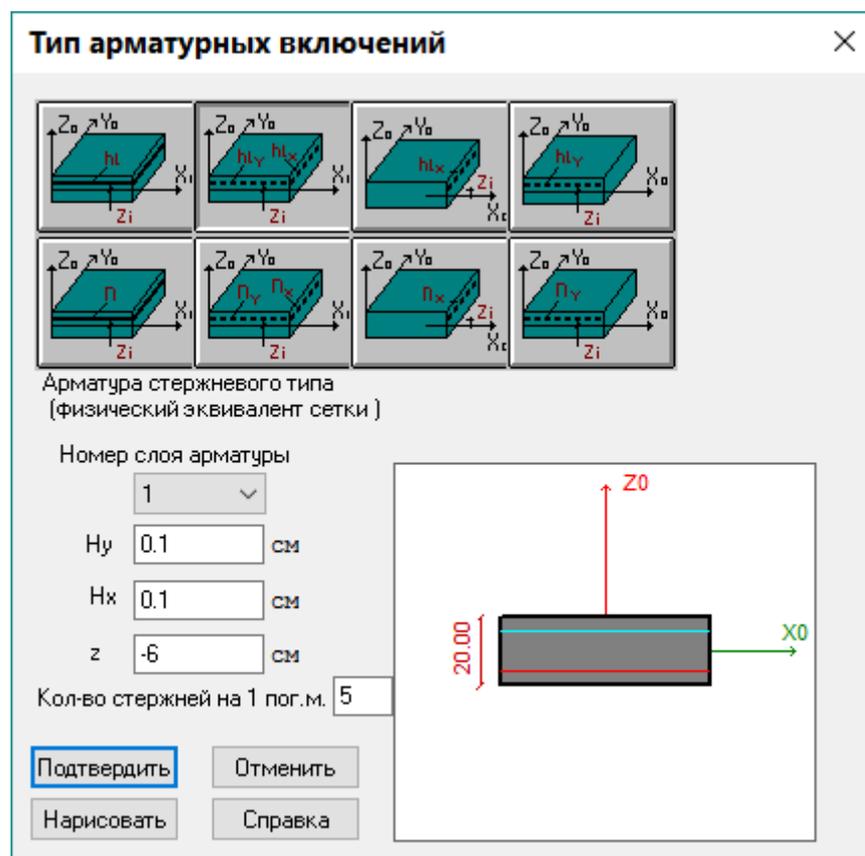


Рис.16.11. Диалоговое окно Тип арматурных включений

- После этого в диалоговом окне **Задание стандартного сечения** щелкните по кнопке  – **Подтвердить**.
- Для того чтобы скрыть библиотеку жесткостных характеристик, в диалоговом окне **Жесткости и материалы** щелкните по кнопке **Добавить**.

Смена типа конечных элементов

- Щелкните по кнопке  – **Отметка элементов** в раскрывающемся списке **Отметка элементов** на панели инструментов **Панель выбора** (по умолчанию находится в нижней области рабочего окна).
- С помощью курсора выделите все элементы схемы.
- Щелчком по кнопке  – **Смена типа КЭ** (панель **Схема** на вкладке **Расширенное редактирование**) вызовите диалоговое окно **Смена типа конечного элемента** (рис.16.12).
- В этом окне перейдите на четвертую закладку (четырёхузловые КЭ) и с помощью курсора выделите строку **Тип 241 – физически нелинейный универсальный прямоугольный КЭ оболочки**.
- Щелкните по кнопке  – **Применить**.

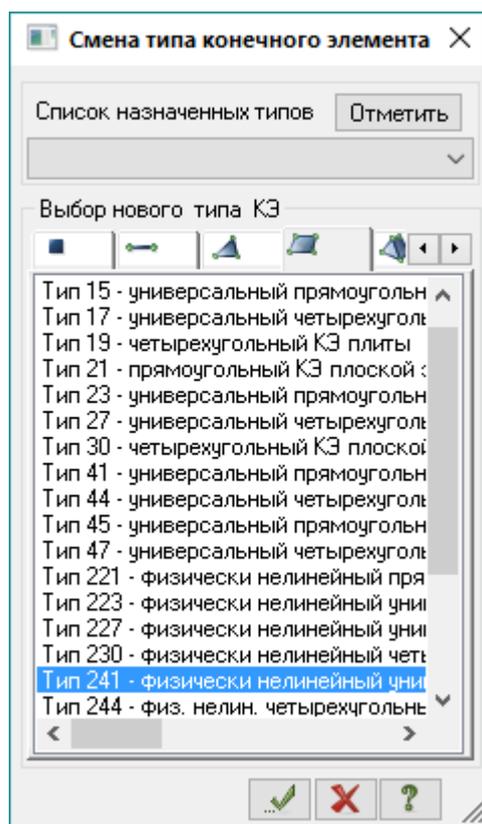


Рис.16.12. Диалоговое окно **Смена типа конечного элемента**

- В появившемся диалоговом окне **Предупреждение** (рис.16.13) щелкните по кнопке **ОК**.

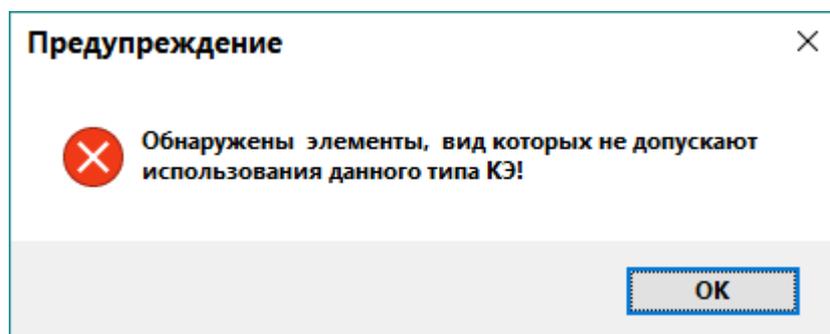


Рис.16.13. Диалоговое окно **Предупреждение**

- После этого в диалоговом окне **Смена типа конечного элемента** перейдите на вторую закладку (двухузловые КЭ) и с помощью курсора выделите строку **Тип 210 – физически нелинейный универсальный пространственный стержневой КЭ**.
- Щелкните по кнопке  – **Применить**.

Назначение жесткостей элементам схемы

- Щелчком по кнопке  – **Жесткости и материалы элементов** (панель **Жесткости и связи** на вкладке **Создание и редактирование**) вызовите диалоговое окно **Жесткости и материалы** (рис.16.5,а).
- В этом окне в списке текущего типа жесткости должна быть установлена жесткость – **2*. Пластина H20**.
- С помощью курсора выделите все элементы схемы.
- В диалоговом окне **Жесткости и материалы** щелкните по кнопке  – **Применить**.
- В появившемся диалоговом окне с предупреждением щелкните по кнопке **ОК**.

- Далее в диалоговом окне **Жесткости и материалы** в списке типов жесткостей выделите курсором тип жесткости **1*. Брус 50x50**.
- Щелкните по кнопке **Назначить текущим** (при этом выбранный тип записывается в строке редактирования **Жесткость** поля **Назначить элементам схемы**. Можно назначить текущий тип жесткости двойным щелчком по строке списка).
- Затем в диалоговом окне **Жесткости и материалы** щелкните по кнопке  – **Применить**.
- Щелкните по кнопке  – **Отметка элементов** в раскрывающемся списке **Отметка элементов** на панели инструментов **Панель выбора**, чтобы снять активность с операции выделения элементов.

Этап 4. Задание граничных условий



Расчет на устойчивость к прогрессирующему обрушению будет производиться на примере разрушения одной из колонн первого этажа. Во избежание геометрической изменчивости вышележащих колонн вокруг оси Z, на все узлы плиты перекрытия первого этажа накладываем дополнительные граничные условия.

- Перейдите в проекцию на плоскость XOZ щелчком по кнопке  – **Проекция на XOZ** на панели инструментов **Проекция** (по умолчанию находится в нижней области рабочего окна).
- После щелчка по кнопке  – **Отметка узлов** в раскрывающемся списке **Отметка узлов** на панели инструментов **Панель выбора** с помощью курсора выделите все узлы плиты перекрытия первого этажа.
- Щелчком по кнопке  – **Связи** (панель **Жесткости и связи** на вкладке **Создание и редактирование**) вызовите диалоговое окно **Связи в узлах** (рис.16.14).
- В этом окне, с помощью установки флажков, отметьте направления, по которым запрещены перемещения узлов (**UZ**).
- После этого щелкните по кнопке  – **Добавить связи в отмеченных узлах**.

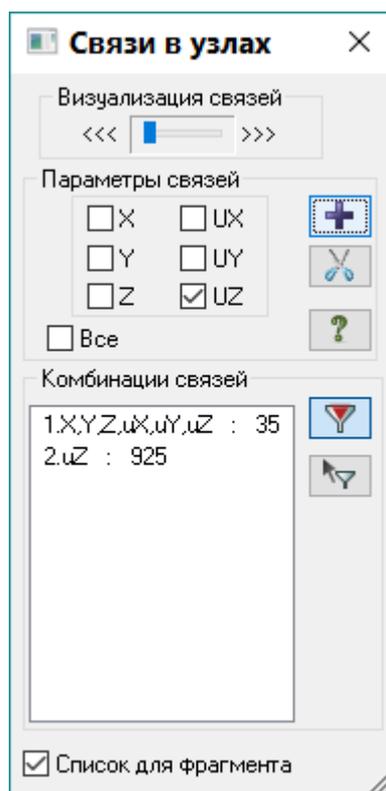


Рис.16.14. Диалоговое окно **Связи в узлах**

- Перейдите в диметрическую проекцию представления расчетной схемы щелчком по кнопке  – **Диметрическая проекция** на панели инструментов **Проекция**.

Этап 5. Задание нагрузок



Расчет на устойчивость к прогрессирующему обрушению производится от нормативных нагрузок.

Во втором загрузении, в котором моделируется прогрессирующее обрушение (разрушение колонны), можно задать коэффициент динамичности равный 1.1. Для этого в верхний узел колонны нужно задать 10% от усилия в этой колонне от сочетаний предыдущих загрузений.

Формирование загрузки № 1

- Для выделения плит перекрытия и покрытия вызовите диалоговое окно **ПолиФильтр** щелчком по



кнопке – **ПолиФильтр** на панели инструментов **Панель выбора**.

- В этом окне перейдите на вторую закладку **Фильтр для элементов** (рис.16.15).
- После этого установите флажок **По ориентации КЭ** и включите радио-кнопку **|| XOY**.
- Щелкните по кнопке – **Применить**.

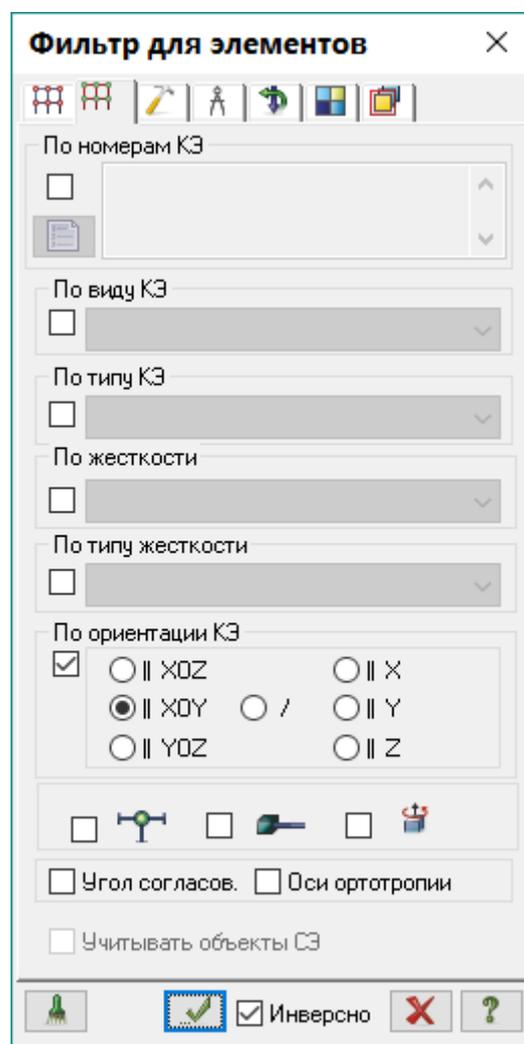


Рис.16.15. Диалоговое окно **Фильтр для элементов**

- Вызовите диалоговое окно **Задание нагрузок** на закладке **Нагрузки на пластины** (рис.16.16)



выбрав команду – **Нагрузка на пластины** 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**.

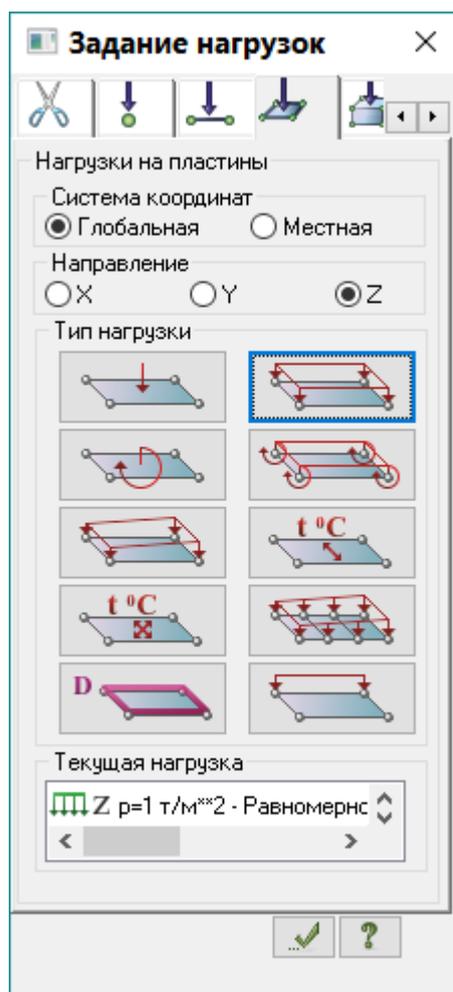


Рис.16.16. Диалоговое окно **Задание нагрузок**

- Щелчком по кнопке равномерно распределенной нагрузки вызовите диалоговое окно **Параметры**.
- В этом окне задайте интенсивность нагрузки $p = 1 \text{ т/м}^2$ (рис.16.17).
- Щелкните по кнопке  – **Подтвердить**.

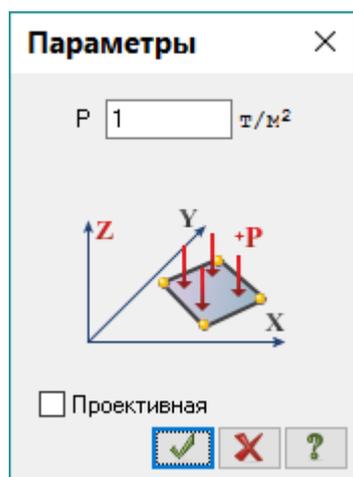


Рис.16.17. Диалоговое окно **Параметры**

[Формирование загрузки № 2](#)

- Смените номер текущего загрузения щелчком по кнопке  – **Следующее загрузение** в строке состояния (находится в нижней области рабочего окна).
- После этого в диалоговом окне **Фильтр для элементов** снимите флажок **По ориентации КЭ**.

- Далее установите флажок **По номерам КЭ** и в соответствующем поле введите номер элемента **7**.
- Щелкните по кнопке  – **Применить**.
- Для отображения на экране только отмеченного элемента схемы, выполните фрагментацию щелчком по кнопке  – **Фрагментация** на панели инструментов **Панель выбора**.
- Выделите верхний узел колонны.
- В диалоговом окне **Задание нагрузок** перейдите на вторую закладку **Нагрузки в узлах**.
- Щелчком по кнопке сосредоточенной силы вызовите диалоговое окно **Параметры нагрузок**.
- В этом окне введите значение **P = 30 т**.
- Щелкните по кнопке  – **Подтвердить**.
- Для восстановления расчетной схемы в первоначальном виде после операции фрагментации, щелкните по кнопке  – **Восстановление конструкции** на панели инструментов **Панель выбора**.
- Щелкните по кнопке  – **Отметка узлов** в раскрывающемся списке **Отметка узлов** на панели инструментов **Панель выбора**, чтобы снять активность с операции выделения узлов.

Этап 6. Моделирование стадий обрушения и нелинейных загружений

Моделирование стадий обрушения

- Щелчком по кнопке  – **Монтаж** (панель **Нелинейность** на вкладке **Расчет**) вызовите диалоговое окно **Моделирование нелинейных загружений конструкции** (рис.16.18).
- 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 **Панель выбора**.
- С помощью курсора выделите все элементы схемы.
- После выделения элементов в диалоговом окне **Моделирование нелинейных загружений конструкции** (рис.16.18) в поле ввода **Монтируемые элементы** щелкните по кнопке **Все отмеченные** (в списке автоматически отображаются номера выделенных на схеме элементов).

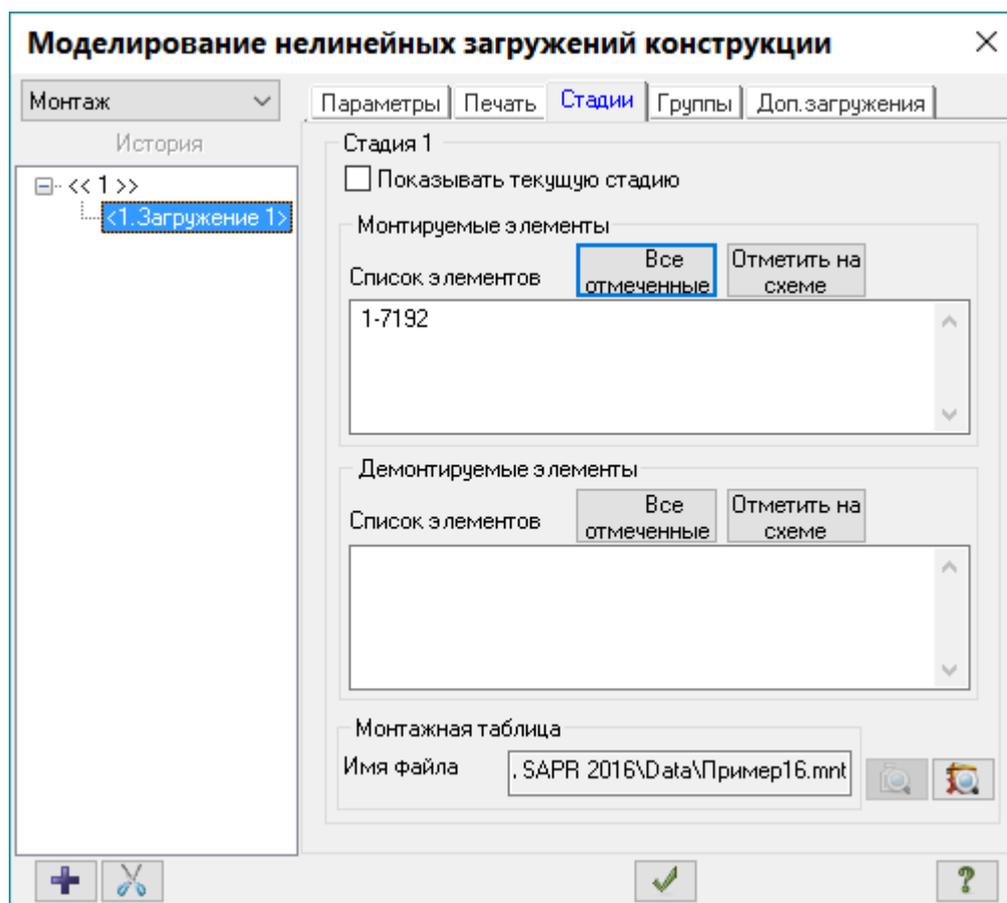


Рис.16.18. Диалоговое окно **Моделирование нелинейных нагрузок конструкции** для задания монтажных стадий

- Снимите выделение с элементов щелчком по кнопке  – **Отмена выделения** на панели инструментов **Панель выбора**.
- В диалоговом окне **Моделирование нелинейных нагрузок конструкции** для создания второй стадии монтажа щелкните по кнопке  – **Добавить**.
- После этого в диалоговом окне **Фильтр для элементов** при установленном флажке **По номерам КЭ** и введенном номере элемента **7** щелкните по кнопке  – **Применить**.
- После выделения в диалоговом окне **Моделирование нелинейных нагрузок конструкции** в поле ввода **Демонтируемые элементы** щелкните по кнопке **Все отмеченные**.
- Снимите выделение с элементов щелчком по кнопке  – **Отмена выделения** на панели инструментов **Панель выбора**.

Моделирование нелинейных нагрузок

- В диалоговом окне **Моделирование нелинейных нагрузок конструкции** перейдите на первую закладку **Параметры** и выделите строку соответствующую первой стадии монтажа.
- Далее для первого нагружения задайте следующие параметры (рис.16.19):
 - в раскрывающемся списке **Метод расчета** выберите строку **(1) Простой шаговый**;
 - включите радио-кнопку **Равномерные шаги** и задайте количество шагов **10**;
 - в раскрывающемся списке **Печать** выберите строку **Перемещения и усилия после каждого шага**;
 - в раскрывающемся списке **Вывод промежуточных результатов** выберите строку **Выводить все**.
- После этого выделите строку соответствующую второй стадии монтажа.
- Далее для второго нагружения задайте следующие параметры:
 - в раскрывающемся списке **Метод расчета** выберите строку **(1) Простой шаговый**;

- включите радио-кнопку **Равномерные шаги** и задайте количество шагов **10**;
 - в раскрывающемся списке **Печать** выберите строку **Перемещения и усилия после каждого шага**;
 - в раскрывающемся списке **Вывод промежуточных результатов** выберите строку **Выводить все**.
- Для ввода данных щелкните по кнопке  – **Подтвердить**.

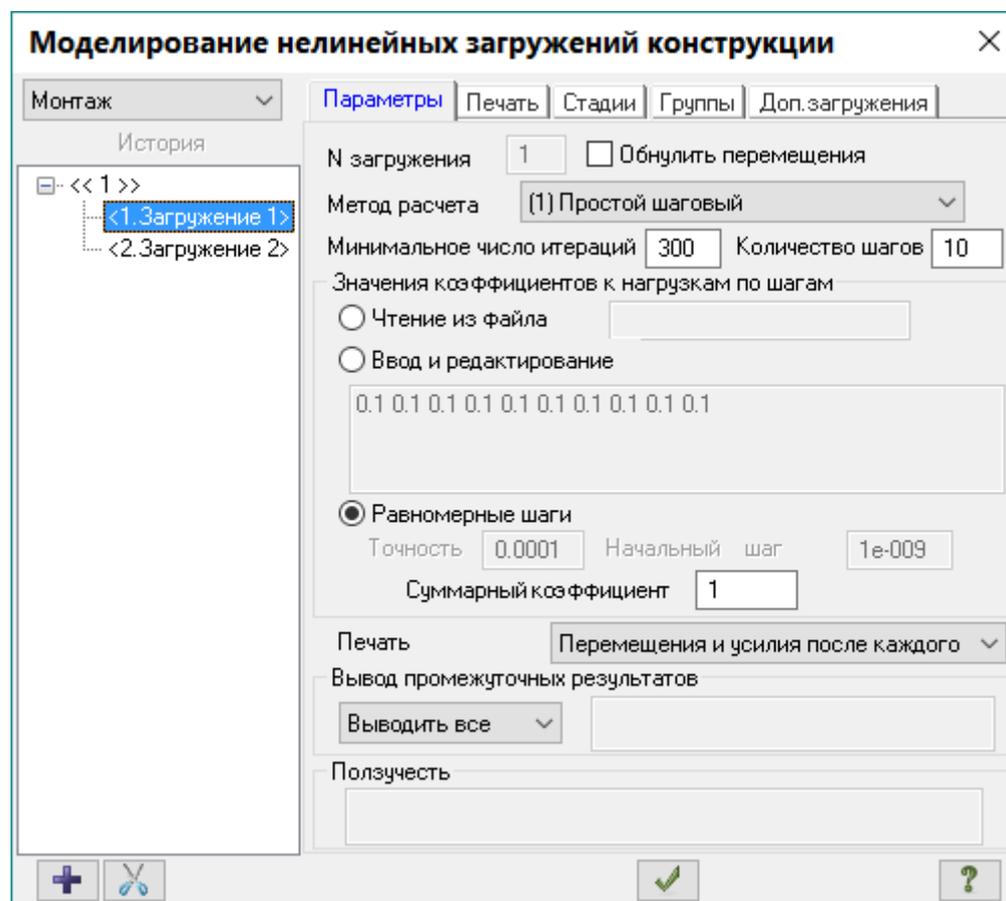


Рис.16.19. Диалоговое окно **Моделирование нелинейных нагрузок конструкции** для задания параметров нелинейных нагрузок

- Закройте диалоговое окно **Фильтр для элементов** щелчком по кнопке  – **Заккрыть**.

Этап 7. Нелинейный расчет схемы

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

Этап 8. Просмотр и анализ результатов расчета



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

- В режиме просмотра результатов расчета по умолчанию расчетная схема отображается с учетом перемещений узлов. Для отображения схемы без учета перемещений узлов щелкните по кнопке



– **Исходная схема** (панель **Деформации** на вкладке **Анализ**).

Отключение отображения нагрузок на расчетной схеме

- Щелкните по кнопке  – **Флаги рисования** на панели инструментов **Панель выбора**.
- В диалоговом окне **Показать** перейдите на третью закладку **Общие** и снимите флажок **Нагрузки**.
- Щелкните по кнопке  – **Перерисовать**.

Смена номера текущего загрузки

- В строке состояния (находится в нижней области рабочего окна) в раскрывающемся списке **Сменить номер загрузки** выберите строку соответствующую второму загрузению (второй стадии монтажа) и щелкните по кнопке  – **Применить**.

Вывод на экран изополей перемещений в плите перекрытия первого этажа

- Чтобы вывести на экран изополя перемещений по направлению Z, выберите команду  – **Изополя перемещений в глобальной системе** в раскрывающемся списке **Мозаика/изополя** и после этого щелкните по кнопке  – **Изополя перемещений по Z** (панель **Деформации** на вкладке **Анализ**).
- Перейдите в проекцию на плоскость XOZ щелчком по кнопке  – **Проекция на XOZ** на панели инструментов **Проекция**.
- После щелчка по кнопке  – **Отметка элементов** в раскрывающемся списке **Отметка элементов** на панели инструментов **Панель выбора** с помощью курсора выделите только элементы перекрытия первого этажа.
- Для отображения на экране только выделенных элементов, выполните фрагментацию щелчком по кнопке  – **Фрагментация** на панели инструментов **Панель выбора**.
- Перейдите в диметрическую проекцию представления расчетной схемы щелчком по кнопке  – **Диметрическая проекция** на панели инструментов **Проекция**.

Вывод на экран мозаик напряжений

- Чтобы вывести на экран мозаику напряжений по M_x , выберите команду  – **Мозаика напряжений** в раскрывающемся списке **Мозаика/изополя** и после этого щелкните по кнопке  – **Мозаика напряжений по M_x** (панель **Напряжения в пластинах и объемных КЭ** на вкладке **Анализ**).
- Для отображения мозаики напряжений по N_x , щелкните по кнопке  – **Мозаика напряжений по N_x** (панель **Напряжения в пластинах и объемных КЭ** на вкладке **Анализ**).

Вывод на экран промежуточных результатов расчета

- Для вывода на экран результатов расчета при приложении 50% нагрузки от второго загрузения в раскрывающемся списке **Номер формы (составляющей, периода)** выберите строку **50%** и

щелкните по кнопке  – **Применить**.



Для автоматического переключения на результаты расчета от нелинейной комбинации

загружений или промежуточных результатов расчета нужно щелкнуть по кнопке  - **Применять текущий номер загрузки автоматически**. При этом для переключения на

следующее загрузение или период можно воспользоваться кнопкой  – **Следующее** возле списка **Сменить номер загрузки** или возле списка **Номер формы (составляющей, периода)**.

Просмотр результатов по трещинам в элементах плиты перекрытия

- В строке состояния в раскрывающемся списке **Номер формы (составляющей, периода)** переключитесь на строку соответствующую приложению 100% нагрузки (**100%**).
- Чтобы переключиться на просмотр результатов по трещинам в пластинчатых элементах, выберите

команду  – **Трещины в пластинах** в раскрывающемся списке **Пластины/стержни** (панель **Разрушение** на вкладке **Расширенный анализ**).

- Для вывода на экран глубины раскрытия трещин щелкните по кнопке  – **Глубина раскрытия трещин в пластинах** (панель **Разрушение** на вкладке **Расширенный анализ**).

- Для вывода на экран ширины раскрытия трещин щелкните по кнопке  – **Ширина раскрытия трещин в пластинах** (панель **Разрушение** на вкладке **Расширенный анализ**).

- Для вывода на экран данных по раскрытию трещин у нижней грани пластинчатых элементов

щелкните по кнопке  – **Трещины в нижнем слое** (панель **Разрушение** на вкладке **Расширенный анализ**).

- Для вывода на экран направления раскрытия трещин в пластинчатых элементах щелкните по кнопке  – **Направление трещин в пластинах** (панель **Разрушение** на вкладке **Расширенный анализ**).

- После этого, чтобы вывести на экран направление раскрытия трещин у верхней грани пластинчатых

элементов щелкните по кнопке  – **Трещины в верхнем слое** (панель **Разрушение** на вкладке **Расширенный анализ**).

- Для просмотра информации о трещинах в одном из элементов, щелкните по кнопке  – **Информация об узле или элементе** на панели инструментов **Панель выбора** и укажите курсором, например, на элемент №42.

- В появившемся диалоговом окне **Информация об элементе** (рис.16.20) для отображения характеристик сечения с трещинами установите флажок **Трещины**.

Элемент 42 ✕

Номера узлов
42, 43, 67, 68

№ Блок N Отмеченный

Тип жесткости
2*. Пластина Н 20

Тип КЭ Угол соглас. Ортоотропия

Площадь, координаты центра тяжести
S=0.933333м², X_c=6.5м, Y_c=0.466667м, Z_c=3

Загрузки № загр.

Результат

N _x	3.99787	т/м ^{**2}
N _y	8.47909	т/м ^{**2}
T _{xy}	4.17734	т/м ^{**2}
M _x	-3.22985	(т*м)/м
M _y	-5.65933	(т*м)/м
M _{xy}	0.756459	(т*м)/м
Q _x	13.8606	т/м
Q _y	13.3891	т/м

Показать сеч.

Эпюры Трещины

Рис.16.20. Диалоговое окно **Информация об элементе №42**

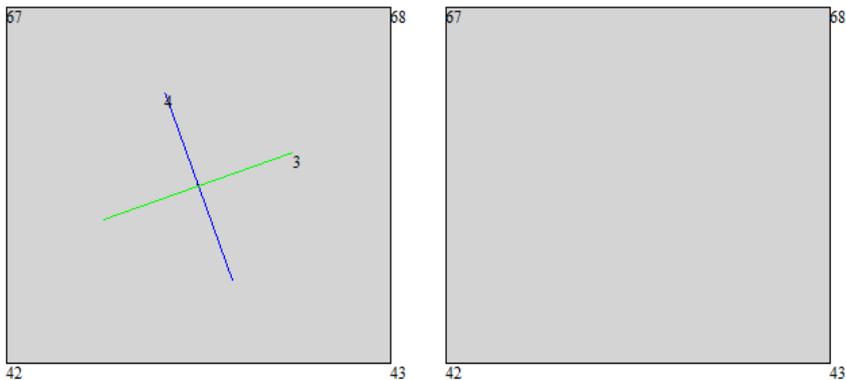
- Для просмотра промежуточных результатов переключите счетчик **Результат**.
- Для переключения на другое нелинейное нагружение переключите счетчик **№ загр**.

На рис.16.21 приведены промежуточные результаты состояния сечения с трещинами для элемента **№42** **второго** нелинейного нагружения (второй стадии монтажа) при приложении **70%** нагрузки от второго нагружения.

Характеристики сечения с трещинами

Элемент № 42. Загружение 2

Верхняя грань Нижняя грань



Номер трещины	Направление трещины, град	Ширина раскрытия, мм	Глубина трещины, см	Расстояние между трещинами, см
1				
2				
3	1.92	0.07	17.08	4.98
4	0.35	0.03	13.77	4.98



Рис.16.21. Диалоговое окно **Характеристики сечения с трещинами**

- Для восстановления расчетной схемы в первоначальном виде, щелкните по кнопке  – **Восстановление конструкции** на панели инструментов **Панель выбора**.