

2. ПОПЕРЕЧНАЯ РАМА КАРКАСА МНОГОЭТАЖНОГО ПРОМЫШЛЕННОГО СООРУЖЕНИЯ

2.1. Исходные данные

Геометрическая схема рамы каркаса сооружения, основные размеры рамы и ее сечений, схемы опор и узловых соединений элементов каркаса, а также схема и значения силовой внешней нагрузки представлены на рис. 2.1 и имеют такие особенности:

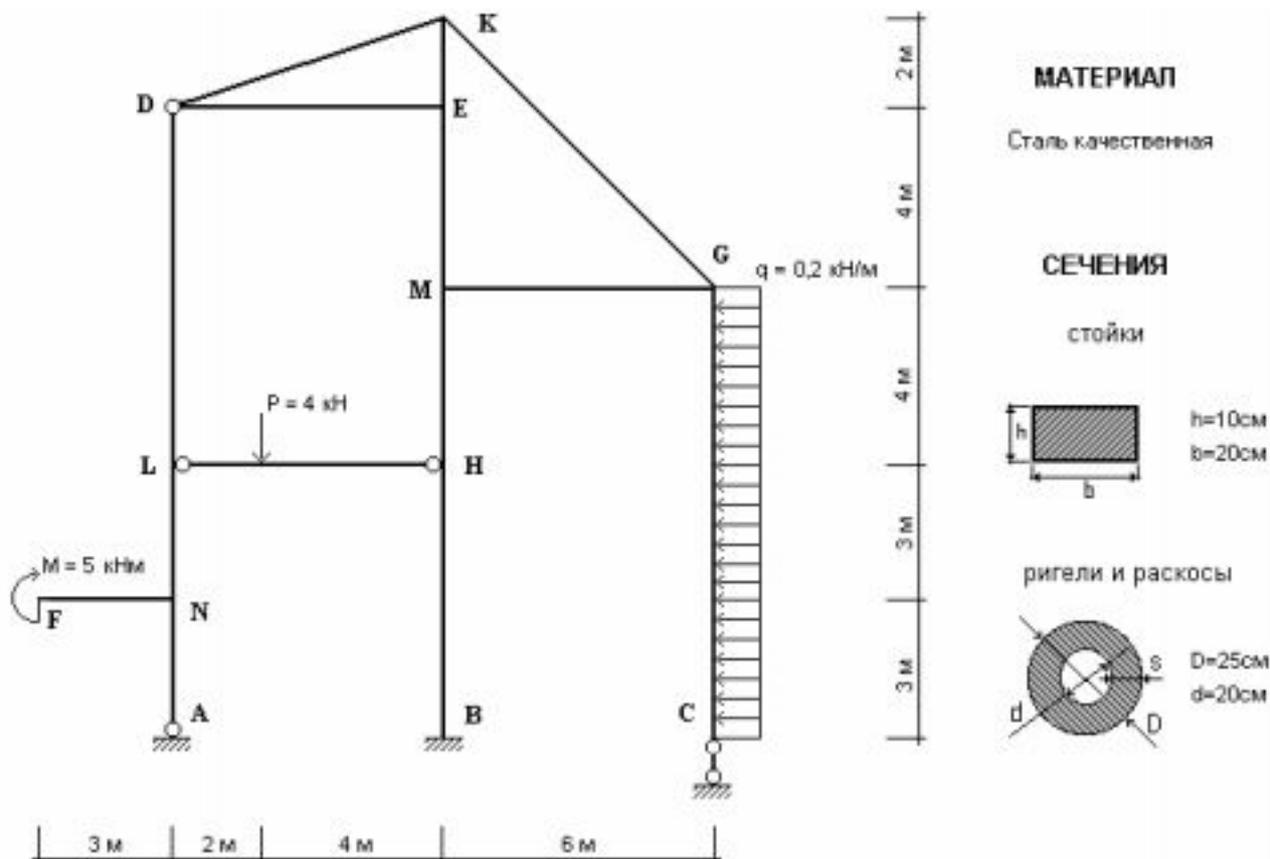


Рис. 2.1.

- рама прикреплена к “земле” с помощью трех опор (шарнирно-неподвижной опоры в точке А, защемление в точке В, шарнирно-подвижной опоры в точке С);
- стержень LN имеет на обоих концах шарнирно-цилиндрическое присоединение к узлам L и Н рамы, а стержни DE и DK – такой же характер присоединения одного конца к узлу D;
- рама одновременно загружена в ее плоскости сосредоточенным моментом М в узле F, сосредоточенной вертикальной силой Р в пролете стержня LN

и равномерно распределенной силовой горизонтальной нагрузкой q стержня GC;

- все элементы рамы выполнены из одного материала;
- вертикальные элементы (стойки) имеют прямоугольное сечение с соответствующими размерами и ориентацией местных координатных осей $X1, Y1, Z1$;
- горизонтальные (ригеля) и наклонные (раскосы) элементы имеют одинаковое трубчатое сечение с соответствующими размерами и ориентацией местных координатных осей $X1, Y1, Z1$.

2.2. Задание

Для предложенной схемы загруженной рамы с помощью системы SCAD необходимо решить такие задачи:

- сформировать ее расчетную плоскую стержневую конечно-элементную модель;
- определить НДС модели от заданной нагрузки;
- визуализировать на экране монитора компьютера компоненты определенного НДС модели.

2.3. Алгоритм решения задания

2.3.1. Запуск вычислительного комплекса SCAD

Для запуска вычислительного комплекса дважды щелкнуть левой кнопкой мыши (ЛКМ) на пиктограмме **SCAD**. На экране появится диалоговое окно **SCAD**. Для продолжения процедуры запуска необходимо нажать кнопку **OK**, после чего на экране появится окно **Structure CAD** (значения параметров модели, их размерность, а также команды, пункты меню и т.д., которые необходимо ввести или выбрать, отмечены тут и далее по тексту жирным шрифтом).

2.3.2. Создание проекта

Для создания нового проекта устанавливаем курсор на кнопку  **Создать новый проект** инструментальной панели и нажимаем левую кнопку мыши (далее по тексту подобные операции будем формулировать сокращенно “нажмем кнопку **Создать новый проект**”).

На экране появляется диалоговое окно **Новый проект** (рис. 2.2),

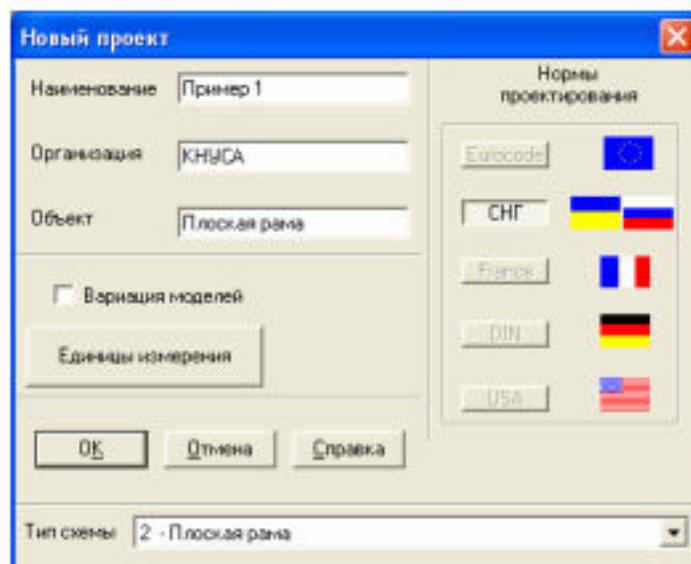


Рис. 2.2.

в котором необходимо задать информацию о данном проекте в позициях: **Наименование (Пример 1)**, **Организация (КНУСА)**, **Объект (Плоская рама)**. Тип расчетной схемы **2 – Плоская рама** выбираем из списка **Тип схемы**. Назначаем единицы измерений, нажимая кнопку **Единицы измерения**, которая активизирует соответствующее окно. В списках **Усилия**, **Размеры**, **Сечения** устанавливаем соответствующие размерности (**кН**, **м**, **см**) входных параметров модели. Далее нажимаем кнопки **ОК** в окнах **Единицы измерения** и **Новый проект**.

На экран выводится окно **Создание нового проекта SCAD**, в которое заносим имя файла, которое состоит, например, из первых букв названия специальности (**ПГС**), номера группы (**51**), порядкового номера студента по списку группы (**05**) и номера задания (**1**), то есть **ПГС51051**.

После нажатия кнопки **Сохранить** данный проект регистрируется в программе и на экран выводится дерево проекта (рис. 2.3).

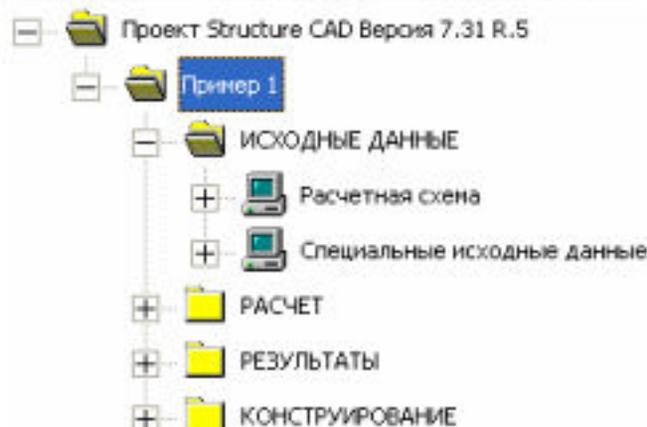


Рис. 2.3.

2.3.3 Построение плоской стержневой модели сооружения

Установим курсор на раздел дерева проекта **Расчетная схема** и нажмем левую кнопку мыши. Управление передается графическому препроцессору, с помощью которого выполняется синтез расчетной схемы. Инструментальная панель препроцессора (рис. 2.4) включает разные функции создания геометрии системы, назначения граничных условий, нагрузок и т.д.



Рис. 2.4.

2.3.3.1. Формирование прототипа рамы

Установим курсор на закладке **Схема** и нажимаем левую кнопку мыши. В поле инструментальной панели нажимаем на кнопку  **Генерация прототипа рамы**, после чего на экран выводится диалоговое окно **Генерация прототипа рамы**, в котором выбираем схему многоэтажной рамы и нажимаем кнопку **ОК**.

В диалоговом окне **Задание параметров регулярной рамы** вводим параметры геометрической схемы рамы: в левой части – для пролетов, в правой – для этажей (рис. 2.5). В разделе **Связи** выключаем режим **Автоматическая установка связей** и нажимаем кнопку **ОК**.

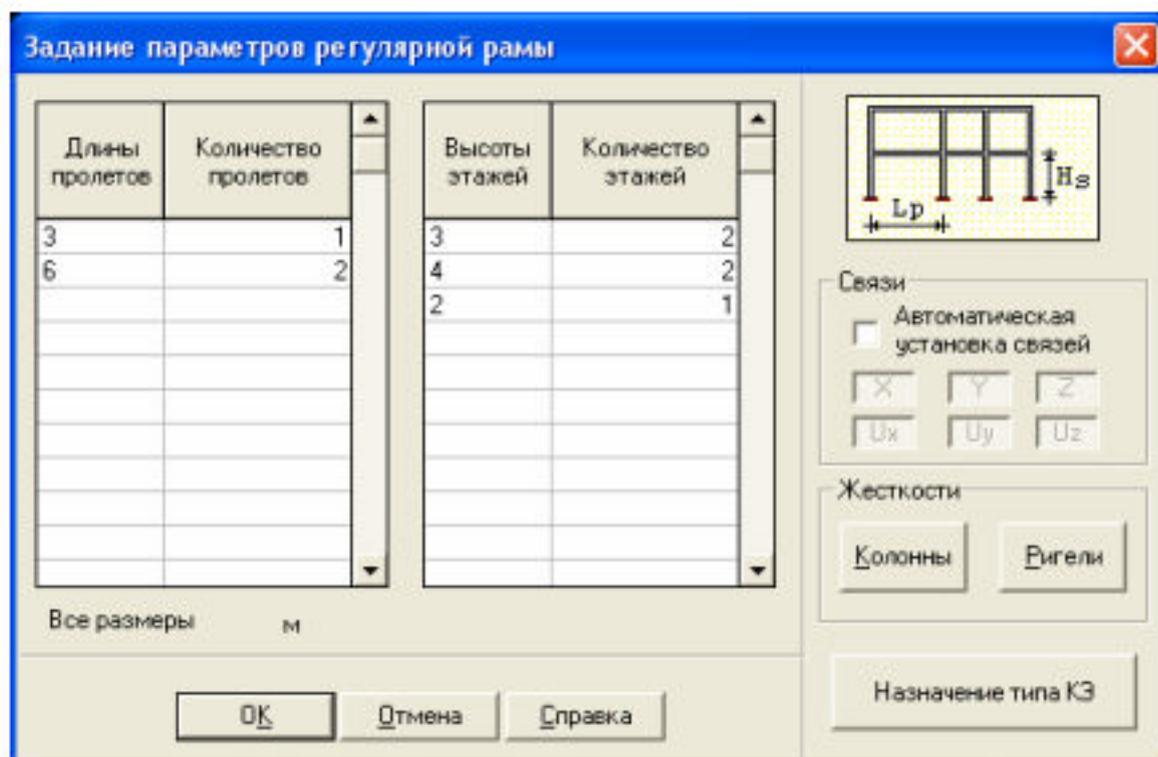


Рис. 2.5.

Отообразим номера узлов и элементов, нажимая кнопки соответственно 

Номера узлов и  Номера элементов на панели **Фильтры отображения** (рис. 2.6).



Рис. 2.6.

В результате этого на графическом поле экрана получаем начальную схему рамы (рис. 2.7).

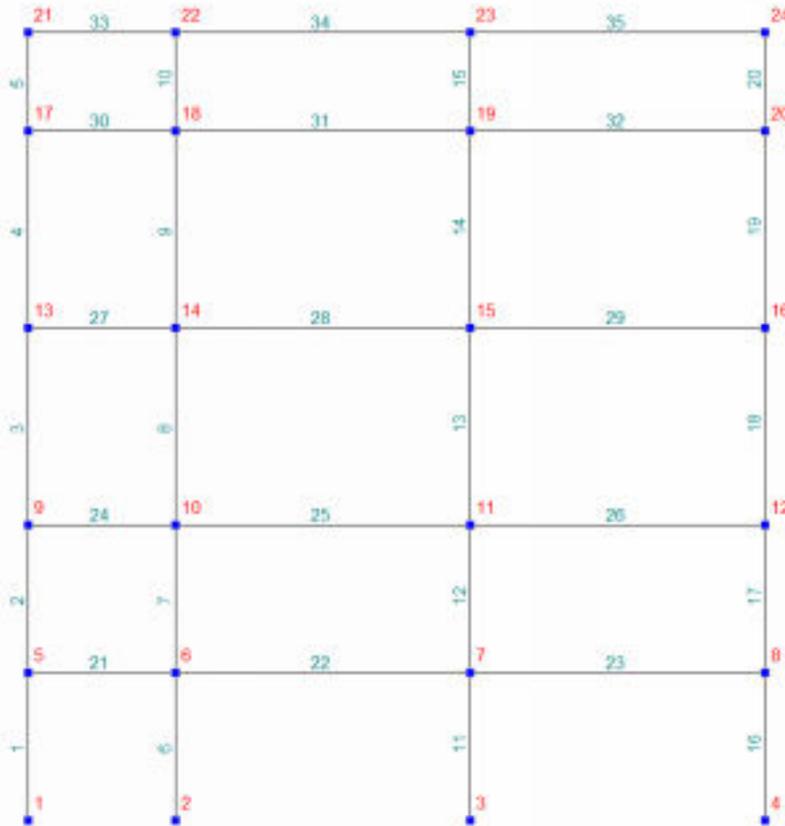


Рис. 2.7.

2.3.3.2. *Корректировка схемы рамы*

Для этого воспользуемся закладкой **Узлы и элементы** главной панели инструментов.

Удалим лишние узлы. Для этого активизируем кнопку  **Узлы и** нажимаем кнопку  **Удаление узлов**. Выбираем курсором на расчетной схеме

узлы 1, 9, 13, 17, 20, 21, 22, 24, которые будут удалены (они отображаются красным цветом). Нажимаем кнопку **ОК**. Одновременно с удаленными узлами будут удалены и элементы, которые к ним примыкают.

Удаляем лишние стержни. Для этого активизируем кнопку  **Элементы** и нажимаем кнопку  **Удаление элементов**. Выбираем курсором на схеме элементы 22, 23, 26, 28, которые удаляются, и нажимаем кнопку  **ОК** **Подтверждение** на инструментальной панели.

Дополняем раму необходимыми элементами. Для выполнения этой операции активизируем кнопку  **Элементы** и нажимаем кнопку  **Добавление стержней**. Устанавливаем курсор на узел 18, нажимаем левую кнопку мыши, курсором “тянем нитку” от узла 18 к узлу 23 и снова нажимаем левую кнопку мыши. То же самое повторяем для узлов 23, 16.

2.3.3.3. Перенумерация узлов и элементов

Для выполнения перенумерации на закладке **Управление** нажимаем кнопку  **Упаковка данных**. В диалоговом окне SCAD в ответ на вопрос нажимаем кнопку **ДА** и получаем необходимую схему рамы (рис. 2.8).

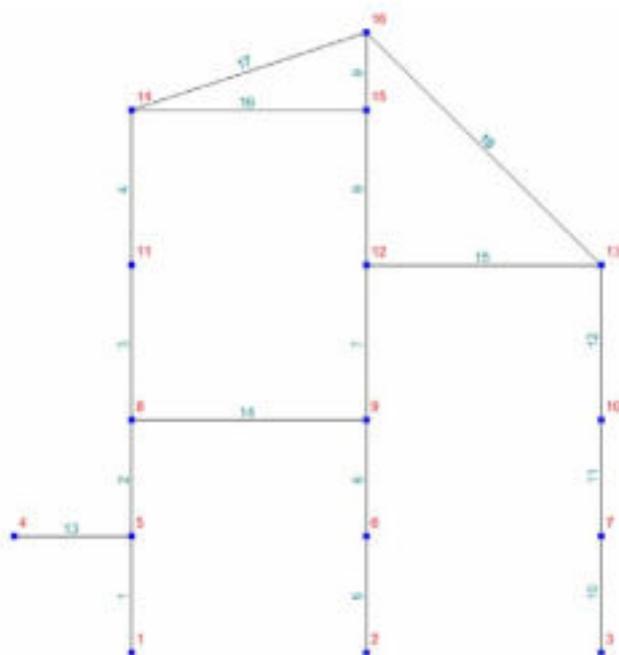


Рис. 2.8.

2.3.3.4. Назначение жесткостей элементам

Для этого пользуемся закладкой **Назначение** главной панели инструментов. Нажимаем кнопку  **Назначение жесткости стержням**. В диалоговом окне **Жесткости стержневых элементов** активизируем переключатель **Параметрические сечения** и в режиме **Параметрические**

сечения, который задается с помощью соответствующей закладки, выбираем в отсеке **Материал** – **Сталь обыкновенная** (значения объемного веса, модуля упругости, коэффициента Пуассона заполняются автоматически), нажимаем на кнопку с изображением прямоугольного сечения, вводим размеры $b=20$ см, $h=10$ см, нажимаем кнопку **Контроль** и получаем на экране изображение, которое представлено на рис. 2.9. Далее нажимаем кнопку **ОК**.

Теперь приступаем к назначению установленного типа жесткости элементам схемы. Для этого курсором отмечаем на схеме все вертикальные стержни и нажимаем кнопку  **Подтверждение** инструментальной панели. В результате произведенных операций вертикальным стержням назначена жесткость первого типа, которая формируется на основании выше назначенных параметров.

Далее всем другим стержням аналогично назначаем жесткость второго типа. Для этого на той же закладке **Назначение** нажимаем кнопку  **Назначение жесткости стержням**.

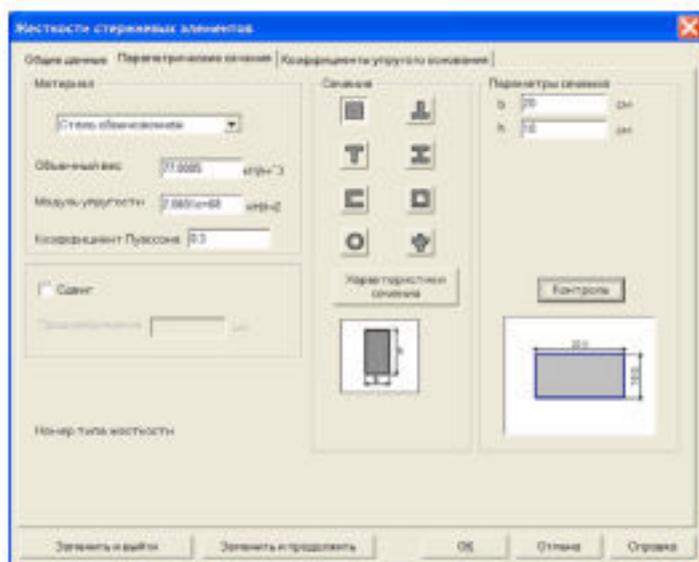


Рис. 2.9.

В диалоговом окне **Жесткости стержневых элементов** активизируем маркер **Параметрические сечения** и в режиме **Параметрические сечения**, который задается с помощью соответствующей закладки, не изменяя значений объемного веса и модуля упругости, нажимаем на кнопку с изображением трубчатого сечения, вводим размеры величин $D = 25$ см и $d = 20$ см, нажимаем кнопки **Контроль** и **ОК**. Потом, отметив курсором на схеме рамы горизонтальные и наклонные стержни, нажав кнопку  **Подтверждение** инструментальной панели назначаем им второй тип жесткости.

2.3.3.5. Наложение связей в опорных узлах рамы

Для выполнения этой операции на закладке **Назначение** инструментальной панели с помощью кнопки  **Установка связей в узлах** вызываем диалоговое окно **Связи**. В режиме **Полная замена** нажимаем кнопки **X**, **Z**, **Uy** (рис. 2.10) и нажимаем кнопку **ОК**. Выбираем курсором на схеме узел 2 и нажимаем кнопку **ОК** инструментальной панели, что обеспечивает жесткое защемление опорного узла 2 рамы в плоскости XoZ . Аналогичную операцию повторяем для шарнирно-неподвижного узла 1 (активизацией кнопок **X**, **Z**), и шарнирно-подвижного узла 3 (активизацией кнопки **Z**). Визуальный контроль правильности установки опорных связей выполняем нажатием кнопки  **Связи** на панели **Фильтры отображения**.

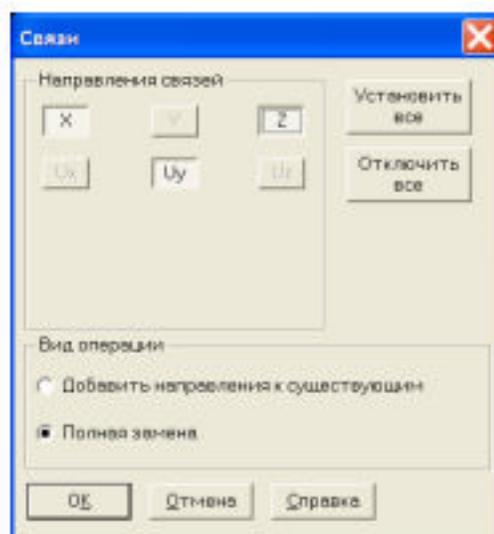


Рис. 2.10.

2.3.3.6. Назначение условий примыкания стержней к узлам

На этой же закладке **Назначение** с помощью кнопки  **Установка шарниров** вызываем диалоговое окно **Условия примыкания стержней**. Для освобождения от угловых связей (относительно местной координатной оси Y_1 стержня 14) нажимаем кнопки **Uy** для первого и второго конечных узлов этого стержня (рис. 2.11) и кнопку **ОК**. Выбираем курсором на схеме стержень 14 и нажимаем кнопку  **Подтверждение** инструментальной панели, что обеспечивает цилиндрично-шарнирное (относительно оси Y_1) присоединение концов стержня 14 к узлам 8 и 9. Аналогично освобождаем связи **Uy** в начале стержней 16 и 17, что обеспечивает такое же присоединение концов этих стержней к узлу 14.

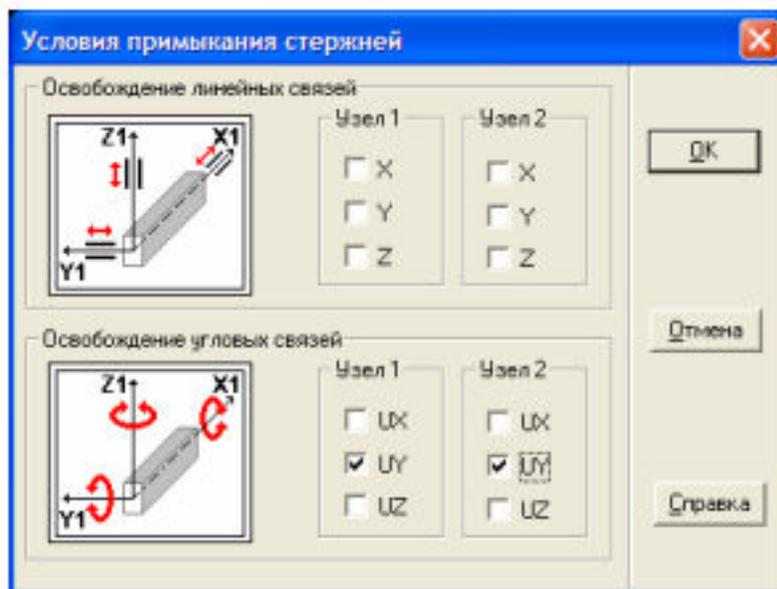


Рис. 2.11.

Следует отметить, что связи на концах стержней ориентированы относительно соответствующих местных систем координат стержней.

Визуальный контроль правильности постановки шарниров выполняем нажатием кнопки  **Шарниры** на панели **Фильтры отображения**.

2.3.3.7. Задание схемы нагружения рамы

На закладке **Загружения** кнопкой  **Нагрузки на стержни** вызываем диалоговое окно **Задание нагрузок на стержневые элементы**. Выбираем маркер **Общая система координат**, вид нагрузки (**Распределенная**), направление действия нагрузки (**X**) и ее значение ($P = 0.2 \text{ кН/м}$) и нажимаем кнопку **ОК**. На схеме отмечаем стержни с номерами 10, 11, 12 и подтверждаем кнопкой  **Подтверждение** инструментальной панели.

Повторяем аналогичные операции для сосредоточенной силы P : закладка **Загружения**, кнопка  **Нагрузки на стержни**, маркер **Общая система координат**, вид нагрузки – **Сосредоточенная**, по **Z** (параллельно оси **Z**), значение **4 кН** для параметра P и **2 м** для параметра $A1$ (рис. 2.12), кнопка **ОК**. На схеме отмечаем стержень 14 и подтверждаем кнопкой  **Подтверждение** инструментальной панели.

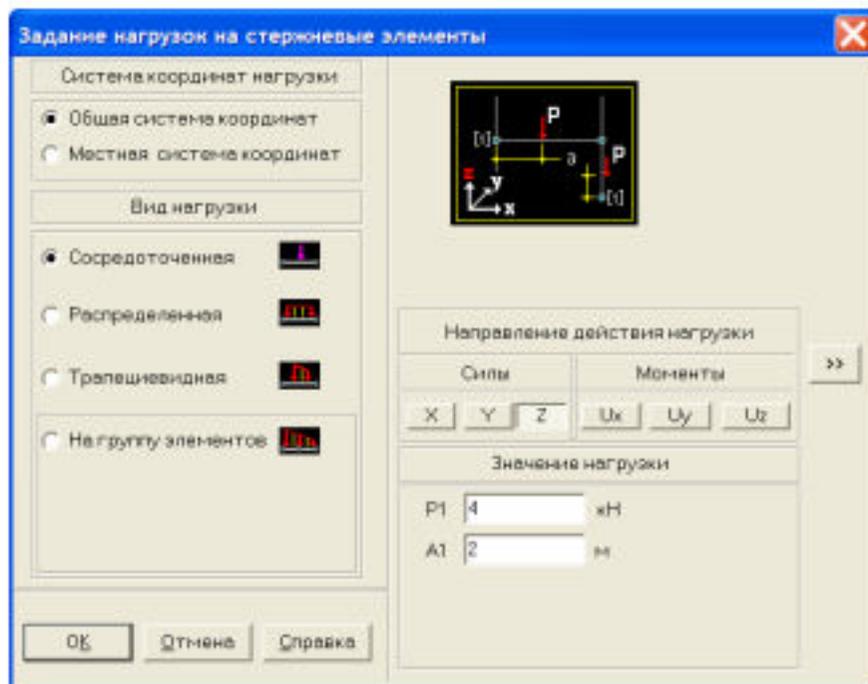


Рис. 2.12.

Подобные операции выполняем для сосредоточенного узлового момента: закладка **Загружения**, кнопка **Узловые нагрузки**, окно **Узловые нагрузки**, вид загрузки – момент **Uy**, значение момента **-5 кНм**, кнопка **ОК**. На схеме отмечаем узел 4 и подтверждаем кнопкой **Подтверждение** инструментальной панели.

Следует заметить, что узловая нагрузка задается всегда относительно общей системы координат. В окне, где вводятся численные значения нагрузок, показаны пояснительные схемы их положительных направлений.

Визуальный контроль нагрузок выполняем с помощью кнопок панели **Фильтры отображения**: **Узловые нагрузки**, **Распределенные нагрузки**, **Сосредоточенные нагрузки**, **Значения нагрузок**.

Записываем созданное загружение в проект. Для этого нажимаем кнопку **Сохранить/Добавить** загружение инструментальной панели. В диалоговом окне **Сохранить загружение** вводим имя загружения **Загружение 1**, номер загружения **1**, нажимаем кнопку **ОК** и получаем на экране схему загруженной рамы (рис. 2.13).

2.3.3.8. Запись исходных данных сформированной модели

Активизацией раздела **Проект** главного меню и пункта **Сохранить проект** вызываем диалоговое окно **Сохранение проекта SCAD** и нажатием кнопки

Сохранить выполняем запись исходных данных на жесткий диск (в файл ПГС51051).

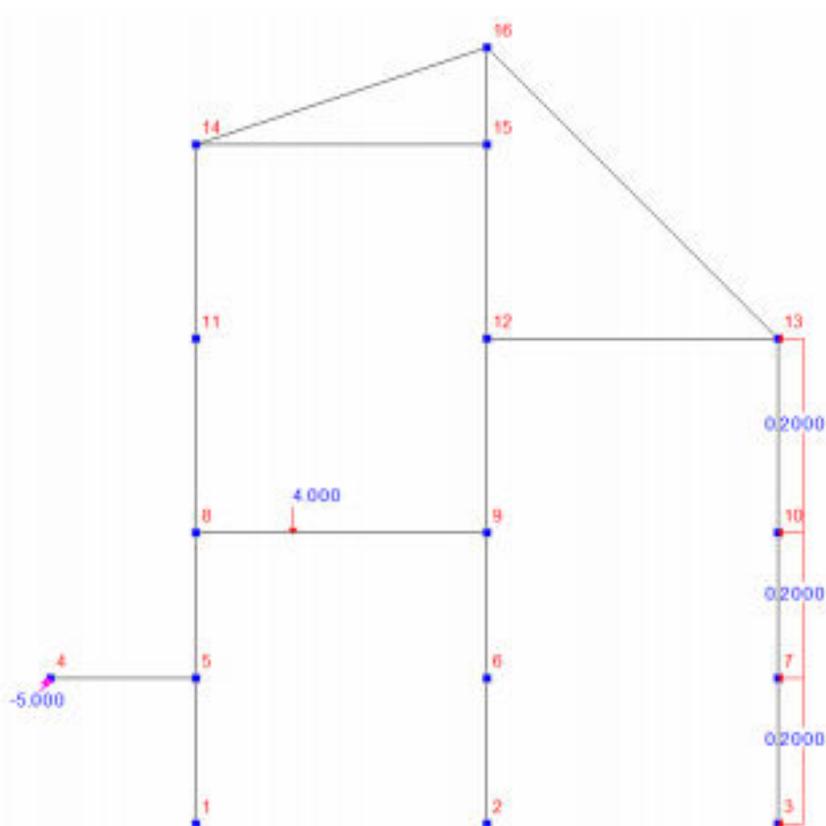


Рис. 2.13.

2.3.4. Статический расчет рамы

После создания расчетной модели сооружения производим ее статический расчет. Для этого выходим в **Дерево проекта** с помощью закладки **Управление** и кнопки  **Выйти в экран управления проектом**. В **Дерево проекта** отмечаем курсором позиции **РАСЧЕТ, Линейный**. В диалоговом окне после ознакомления с содержанием окна **Параметры расчета** нажимаем кнопку **Выполнить расчет**.

После окончания расчета необходимо просмотреть информацию, которая помещается в окне **Протокол выполнения расчета** (рис. 2.14), используя линейку прокрутки. Если в протоколе подтверждается правильность выполнения расчета словами **Задание выполнено** и нет замечаний типа **Геометрически изменяемая система**, то нажатием кнопки **Выход** переходим в **Дерево проекта** для анализа результатов расчета.

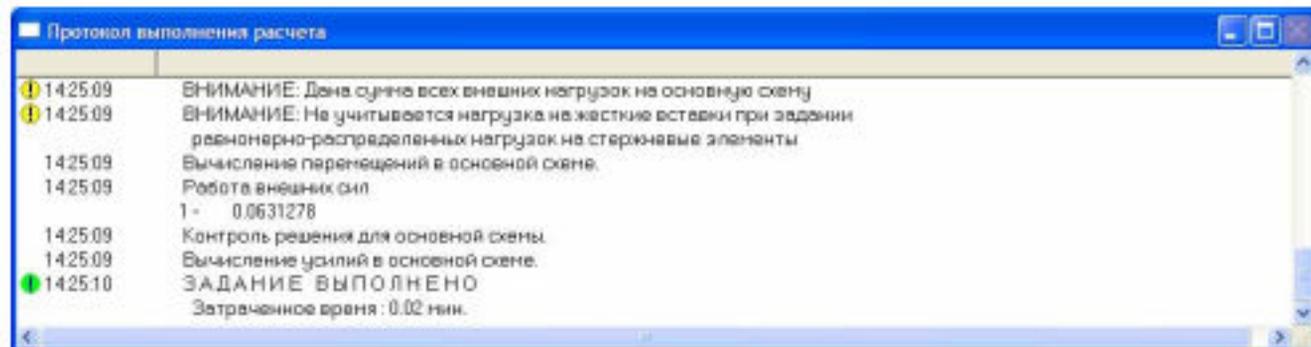


Рис. 2.14.

2.3.5. Просмотр результатов статического расчета рамы

В разделе **РЕЗУЛЬТАТЫ** Дерева проекта устанавливаем курсор в позицию **Графический анализ** и активизируем окно постпроцессора, где отображаются результаты НДС рамы: деформированная схема, эпюры усилий, и т.п.

Посмотрим деформированную схему рамы на фоне недеформированной. Для этого на закладке **Деформация** нажимаем кнопку  **Совместное отображение исходной и деформированной схемы**, в результате чего на экране получаем соответствующее изображение (рис.2.15).

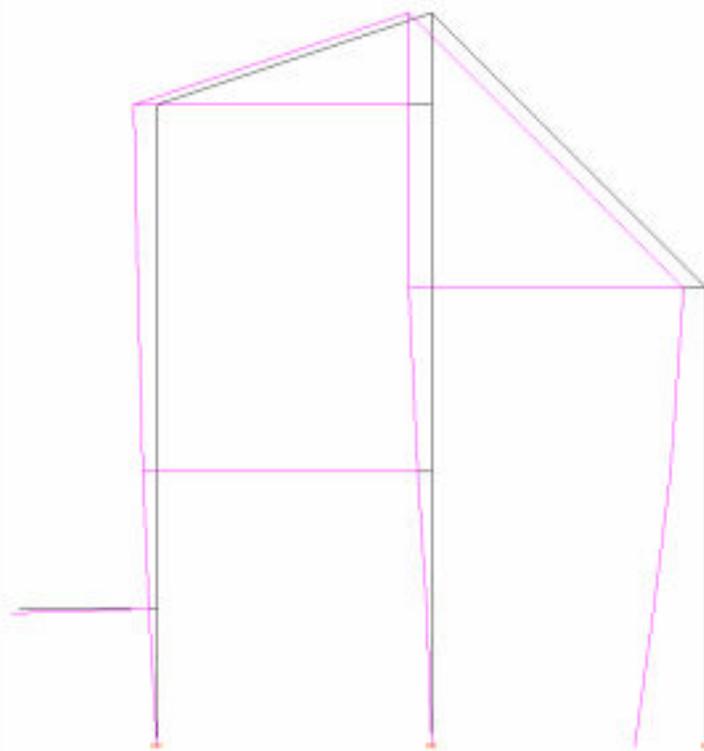


Рис. 2.15

Для получения изображения на экране эпюры изгибающих моментов в стержнях рамы относительно соответствующих местных координатных осей стержней (например, осей $Y1$) на закладке **Эпюры усилий** в списке **Выбор вида усилия** выбираем M_y , нажимаем кнопку  **Эпюры усилий** инструментальной панели и получаем эпюру изгибающих моментов M_y (рис. 2.16). Численные значения на эпюрах можно получить нажав кнопку  **Оцифровка изополей/изолиний** на панели **Фильтры отображения**. Для получения значений максимальных усилий в стержнях нажимаем кнопку  **Цветовая индикация положительных значений усилий** или кнопку  **Цветовая индикация отрицательных значений усилий**.

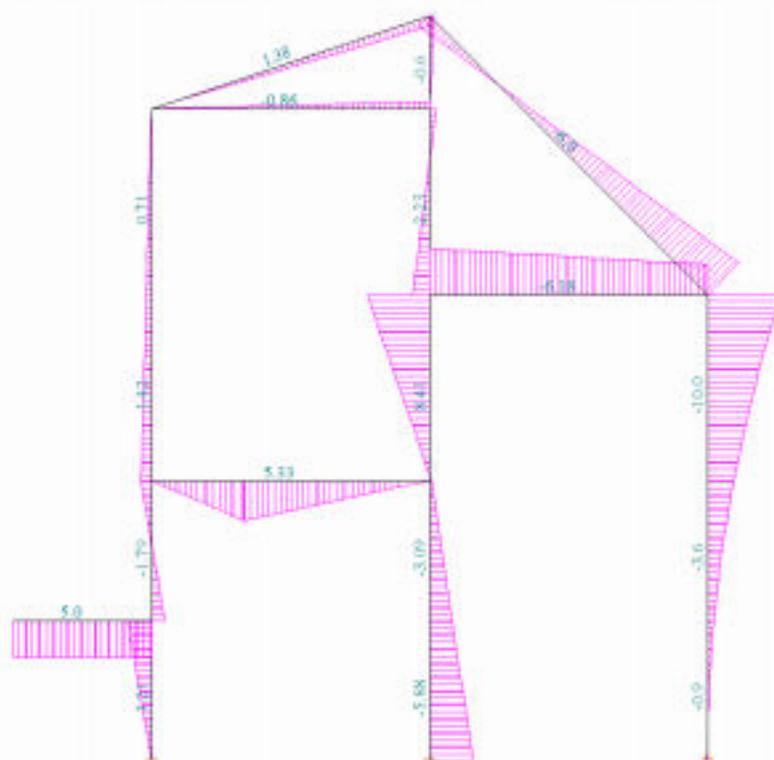


Рис. 2.16.

Следует заметить, что эпюры и значения внутренних усилий в стержнях получены относительно соответствующих местных координатных осей $X1$ $Y1$ $Z1$.

2.3.6. Выход из вычислительного комплекса SCAD

После просмотра результатов нажимаем кнопку  **Выход из SCAD** на закладке **Управление** и в ответ на вопрос **Завершить работу** нажимаем кнопку **Да**.