

3. ПРОСТРАНСТВЕННЫЙ КАРКАС ПРОМЫШЛЕННОГО СООРУЖЕНИЯ

3.1. Исходные данные

При формировании исходных параметров модели сооружения (рис. 3.1) нужно учитывать такие особенности:

- конфигурация рамы имеет вертикальную плоскость симметрии, которая проходит по середине поперечника рамы;
- все элементы рамы выполнены из железобетона (класс В30);
- вертикальные элементы (стойки) имеют одинаковое прямоугольное сечение с соответствующими геометрическими размерами и ориентацией местных координатных осей X_1, Y_1, Z_1 ;
- горизонтальные элементы (ригеля) имеют одинаковое тавровое сечение с соответствующими геометрическими размерами, но разное расположение полки тавра (в нижних ригелях полка тавра расположена снизу, а в верхних ригелях – сверху);
- все стойки рамы закрепляются к опорной горизонтальной поверхности сферическими неподвижными шарнирами;
- во всех промежуточных узлах элементы рамы жестко соединяются между собой;
- внешняя нагрузка рамы заданы в виде одной горизонтальной (параллельно оси X) узловой сосредоточенной силы в узле С.

3.2. Задание

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

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

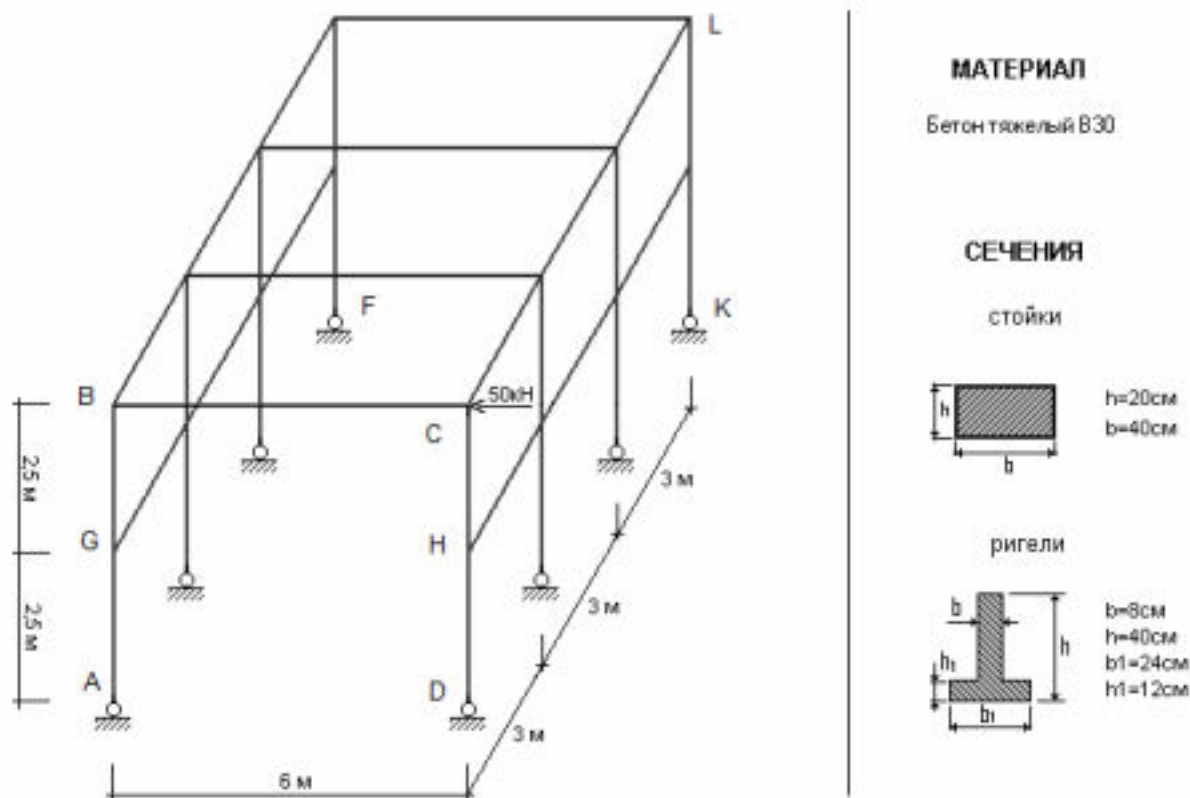



Рис. 3.1.

3.3. Алгоритм решения задания

3.3.1. Запуск вычислительного комплекса SCAD

Для запуска вычислительного комплекса “дважды щелкните” на пиктограмме **SCAD for Windows**. На экране появится диалоговое окно **SCAD**. Для продолжения процедуры запуска необходимо нажать кнопку **ОК**, 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 в тексте жирным шрифтом).

3.3.2. Создание нового проекта

Для создания нового проекта установим курсор на кнопку  **Создать новый проект** инструментальной панели, и нажимаем левую кнопку мыши. На экране появляется диалоговое окно **Новый проект** (см. рис. 2.2), в котором необходимо задать информацию о данном проекте в позициях **Наименование (Пример 2)**, **Организация (КНУСА)**, **Объект (Пространственная рама)**. Тип расчетной схемы (**5 – Система общего вида**) выбираем из списка **Тип схемы**. Назначаем единицы измерения, нажимая кнопку **Единицы измерения**, которая

активизирует соответствующее окно. В списках **Линейные размеры**, **Размеры сечений**, **Силы** устанавливаем соответствующие размерности (м, см, кН) входных параметров модели. Далее нажимаем кнопки **ОК** в окнах **Единицы измерений** и **Новый проект**.


На экран выводится окно **Создание нового проекта SCAD**, в которое заносим имя файла **ПГС51052**, которое состоит из первых букв названия специальности (ПГС), номера группы (51), порядкового номера студента по списку группы (05) и номера задания (2).

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



3.3.3. Построение пространственной стержневой модели сооружения

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

3.3.3.1. Формирование начальной схемы фрагмента 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 **Выбор конфигурации рамы**, в котором выбираем схему многоэтажной рамы и нажимаем кнопку **ОК**.

В диалоговом окне **Задание параметров регулярной рамы** (см. рис. 2.5) вводим геометрические параметры начальной схемы (поперечника ABCD пространственной рамы): в левой части окна описываем пролеты (6, 1), в правой — этажи (5, 1) поперечника. Выключаем режим **Автоматическая установка связей** и нажимаем кнопку **ОК**.

Пронумеруем узлы и элементы, нажимая кнопки соответственно  **Номера узлов** и  **Номера элементов** на панели **Фильтры отображения**.

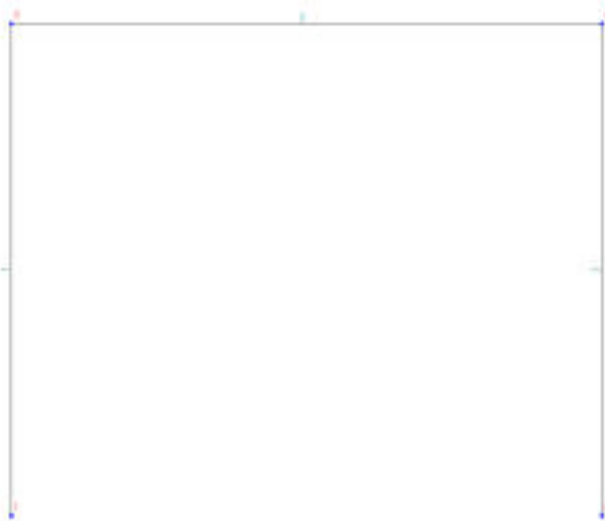






Рис. 3.2.


В результате в графическом поле экрана получаем начальную схему рамы (рис. 3.2).

Дальше необходимо (см. рис. 3.1) добавить к этой схеме два дополнительных опорных узла F та К (которые лежат вне плоскости фрагмента ABCD рамы) и разделить пополам стойки AB и CD узлами G и H соответственно.

Для задания дополнительных узлов выбираем закладку **Узлы и элементы**, нажимаем кнопку 

Узлы и кнопку  **Ввод узлов**. В окне **Ввод узлов** задаем координаты одного дополнительного узла F ($X = 0, Y = 9, Z = 0$), нажимаем кнопку **Добавить**; и второго К – ($X = 6, Y = 9, Z = 0$), нажимаем кнопку **Добавить** и кнопку **Заккрыть**.

Для дробления двух стоек на два элемента на той же закладке **Узлы и элементы**, нажимаем кнопку  **Элементы** и кнопку  **Разбивка стержня**. В окне **Разбивка стержня** включаем маркер **На N равных участков**, задаем параметр $N=2$ и нажимаем кнопку **ОК**. Отмечаем курсором на схеме (см. рис.

3.2) стержни 1 и 2 и нажимаем кнопку  **Подтверждение** главной панели инструментов.

В результате в графическом поле экрана получаем начальную схему фрагмента рамы (рис. 3.3), на которой введены дополнительные узлы 5, 6, 7, 8. Эту схему далее сокращенно будем обозначать буквой С.

Записываем созданную схему на диск с помощью меню **Проект** и его подпункта

Сохранить проект как... . В окне **Сохранение проекта SCAD** задаем имя

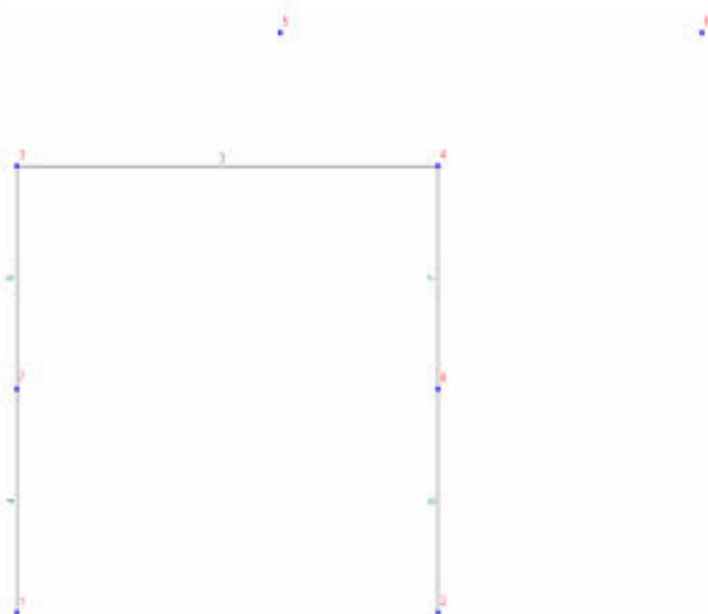




Рис. 3.3.

файла, например, ПГС5105С, где последний символ С напоминает пользователю, что в этом файле сохраняется сформированная схема С фрагмента рамы. Нажимаем кнопку **Сохранить**.

3.3.3.2. Формирование дополнительной подсхемы рамы

Переходим в экран управления проектом (закладка **Управление**, кнопка  **Выйти в экран управления проектом**) и активизируем раздел дерева проекта **Расчетная схема**.

Руководство передается графическому препроцессору, с помощью которого выполняется построение дополнительной плоской подсхемы DCLK заданной пространственной рамы.

Выбираем закладку **Схема** и нажимаем кнопку  **Генерация прототипа рамы**. На вопрос в окне SCAD ответить нажатием кнопки **Да**. В окне **Выбор конфигурации рамы** нажимаем кнопку **ОК**.

В результате этих действий заходим в окно **Задание параметров регулярной рамы**, где вводим длины пролетов (3) и их количество (3), высоты этажей (2.5) и их количество (2). Далее нажимаем кнопку **ОК**.

В результате в графическом поле экрана получаем подсхему DCLK рамы (рис. 3.4), на которой все узлы и стержни отдельно обозначены соответственно местной нумерацией.

С помощью меню **Проект** и его подпункта **Сохранить проект как...** записываем на диск созданную подсхему, которую далее сокращенно будем обозначать символом П. В окне **Сохранение проекта SCAD** задаем имя файла, например, ПГС5105П (последний символ П напоминает пользователю, что в этом файле будет сохраняться подсхема П рамы). Нажимаем кнопку **Сохранить**.

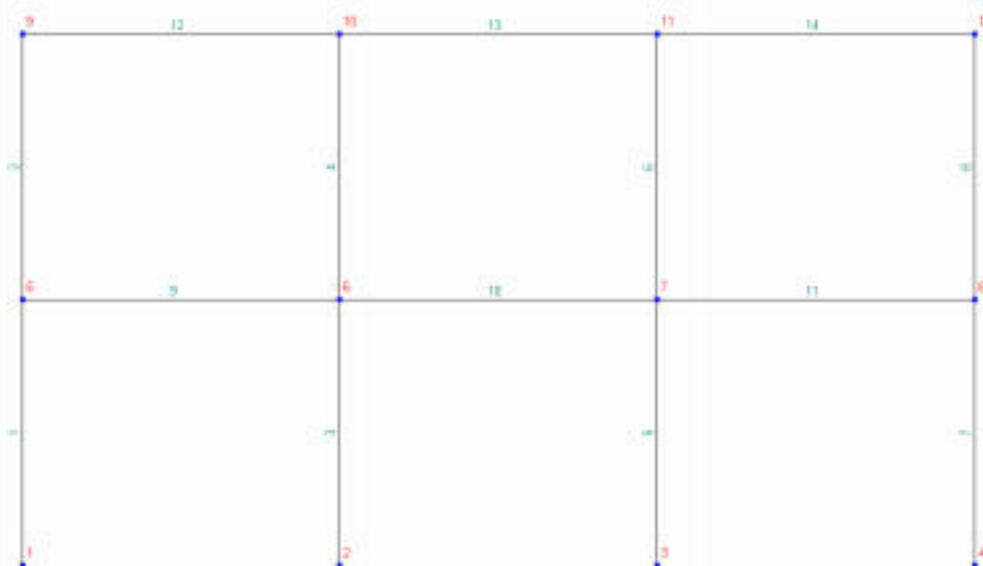





Рис. 3.4.



3.3.3.3. Сборка промежуточной расчетной схемы рамы


На закладке **Управление** нажимаем кнопку  **Открыть существующий проект**.


В окне **Открытие проекта SCAD** задаем имя файла, в котором хранится ранее записанная информация о созданной схеме (в данном примере ПГС5105С) и нажимаем кнопку **Открыть**.

Входим в режим сборки промежуточной расчетной схемы рамы путем перехода на раздел **Расчетная схема** и нажатием кнопки  **Режим сборки** на закладке **Схема**. Для подключения подсхемы нажимаем кнопку  **Загрузка подсхемы** инструментальной панели. В окне **Открытие проекта SCAD** задаем имя файла, в котором содержится ранее записанная информация о созданной подсхеме (в этом примере ПГС5105П) и нажимаем кнопку **Открыть**.

Благодаря этому схема С располагается в основном рабочем окне SCAD ...ПГС5105С, а подсхема П располагается в дополнительном окне SCAD ...ПГС5105П.

Пронумеруем узлы и элементы, нажимая соответственно кнопки  **Номера узлов** и  **Номера элементов** на панели **Фильтры отображения**.

Начинаем процесс сборки со схемы С и подсхемы П промежуточной расчетной схемы. Для этого нажимаем кнопку  **Выбор способа сборки** в окне **Сборка схемы** (рис. 3.5). Выбираем способ сборки: **Стыковка по трем узлам – Совпадение трех узлов** и нажимаем кнопку **ОК**. Далее курсором отмечаем узлы:

№ 2 схемы С и № 1 подсхемы П (они будут отображены красным цветом); № 4 схемы С и № 9 подсхемы П (зеленым цветом); № 6 схемы С и № 4 подсхемы П (желтым цветом). Нажимаем кнопку  **Подтверждение** на инструментальной панели, а в окне **Результат** – кнопку **Подтвердить сборку**.

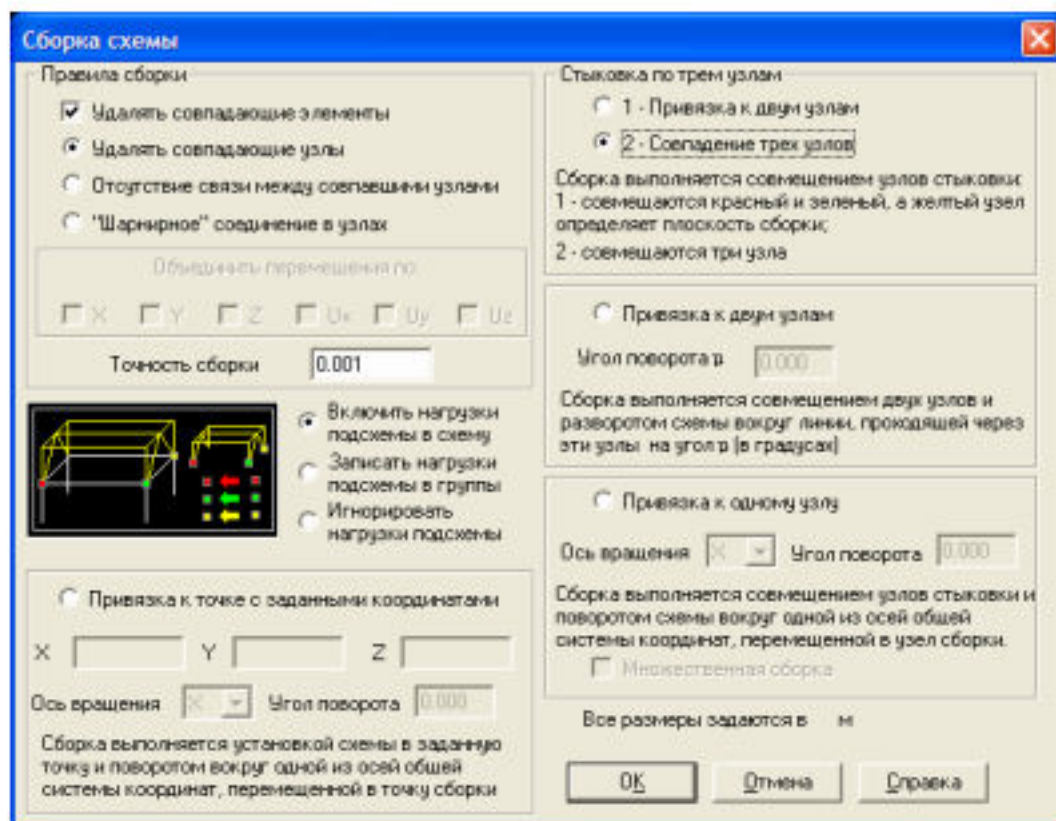



Рис. 3.5.

Аналогично присоединяем подсхему с другой стороны схемы. Для этого курсором отмечаем узлы схемы С: № 1 (красным); № 3 (зеленым); № 5 (желтым цветом). Нажимаем кнопку  **Подтверждение** на инструментальной панели, а в окне **Результат** – кнопку **Подтвердить сборку**.

В результате описанных операций получаем промежуточную схему рамы (рис.3.6).

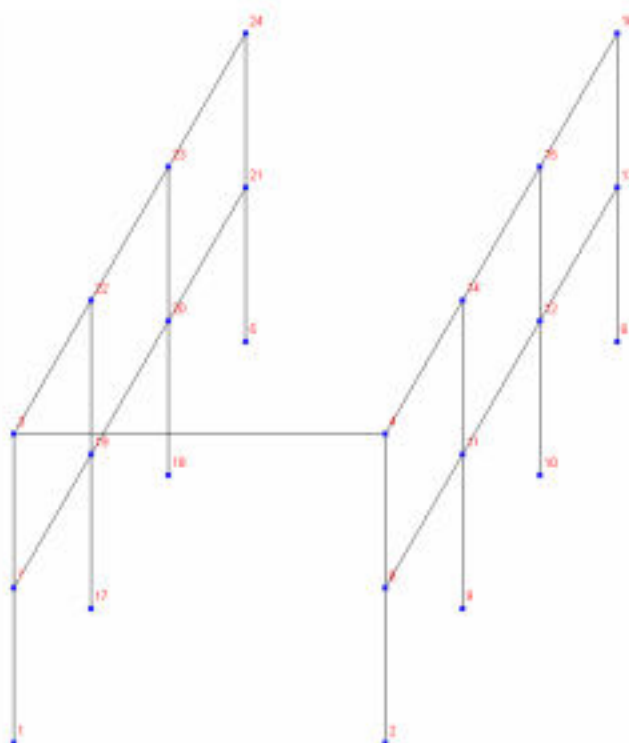





Рис. 3.6.

Повторным нажатием кнопки  **Режим сборки** отключаем режим сборки.

3.3.3.4. Формирование полной расчетной схемы пространственной рамы

Для дополнения полученной выше промежуточной схемы рамы отсутствующими стержневыми элементами на закладке **Узлы и элементы** нажимаем кнопку  **Элементы** и кнопку  **Добавление стержней**. Отмечаем попарно узлы: 22, 14; 23, 15; 24, 16 и получаем полную схему пространственной рамы.

3.3.3.5. Перенумерация узлов и элементов

На закладке **Управление** нажимаем кнопку  **Упаковка данных** и в окне **SCAD** на вопрос: *Удалять узлы не принадлежащие элементам?*, нажимаем кнопку **Да**.

В результате получаем схему, которая показана на рис. 3.7.

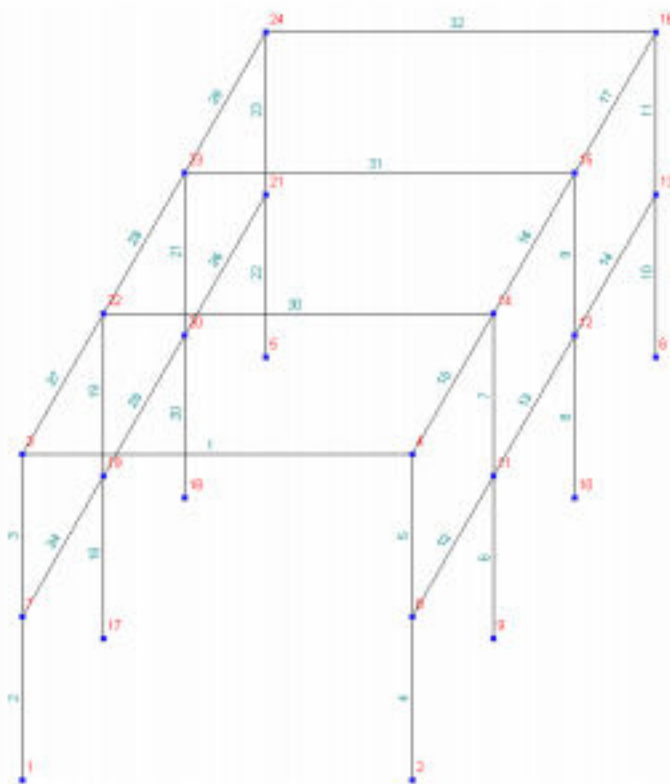




Рис. 3.7.


3.3.3.6. Запись проекта


В разделе **Проект** главного меню пунктом **Сохранить проект как...** активизируем окно **Сохранение проекта SCAD** и выполняем запись входных данных на жесткий диск (например, в ранее сформированный файл ПГС51052).



3.3.3.7. Назначение жесткостей элементам рамы

Формируем 1-ый тип жесткости стержней. Для этого на закладке **Назначения** нажимаем кнопку  **Назначение жесткостей стержням**. В окне **Жесткости стержневых элементов** выбираем маркер **Параметрические сечения** и переходим в раздел **Параметрические сечения**, в котором выбираем материал (**Бетон тяжелый В30**), сечение (прямоугольное) и его параметры ($b = 20$ см; $h = 40$ см). Для проверки введенных величин нажимаем кнопку **Контроль**, а потом кнопку **ОК**.

Сформированный 1-ий тип жесткости назначаем вертикальным элементам рамы. Для этого нажатием в рабочем поле экрана правой (!) кнопкой мыши активизируем окно **Выбор узлов и элементов**, в разделе которого **Выбор стержней** нажимаем кнопки **Вертикальные**, **Инвертировать выбор элементов** и кнопку **ОК**. Вертикальные стержни будут отображены красным цветом. Процесс заканчиваем нажатием кнопки  **Подтверждение**.


Далее аналогично формируем 2-й тип жесткости стержней. На закладке **Назначения** нажимаем кнопку  **Назначение жесткостей стержням**. В окне **Жесткости стержневых элементов** выбираем маркер **Параметрические сечения** и переходим в раздел **Параметрические сечения**, в котором выбираем материал (**Бетон тяжелый В30**), сечение (тавровое, полкой вниз) и его параметры ($b = 8$ см; $h = 40$ см; $b_1 = 24$ см; $h_1 = 12$ см). Для проверки введенных величин нажимаем кнопку **Контроль**, а потом кнопку **ОК**.


2-й тип жесткости назначаем всем горизонтальным элементам. Для этого правой (!) кнопкой мыши активизируем окно **Выбор узлов и элементов**, в разделе которого **Выбор стержней**, отключаем кнопку **Вертикальные**, нажимаем кнопки **Горизонтальные**, **Инvertировать выбор элементов** и кнопку **ОК**. Все горизонтальные стержни будут отображены красным цветом. Процесс заканчиваем нажатием кнопки  **Подтверждение**.

Так как тавровые сечения верхних горизонтальных ригелей отличаются от нижних ригелей только противоположным размещением полки, то формирование 3-го типа жесткости для верхних ригелей выполняется путем поворота на 180° вокруг соответствующих продольных местных координатных осей X_1 верхних ригелей, которым до того был назначен второй тип жесткости (вместе с нижними ригелями). Для этого на закладке **Назначения** кнопкой  **Задание ориентации местных осей координат элементов** активизируем окно **Ориентация осей инерции**. В его разделе **Угол поворота осей F** устанавливаем маркер **В градусах** и вводим значения угла поворота $F=180$. Нажимаем кнопку **ОК**. На схеме отмечаем элементы с номерами 1, 30, 31, 32 и нажимаем кнопку  **Подтверждение**.



Для проверки заданной информации в окне **Фильтры отображения** нажимаем кнопку **Информация об элементе**. После этого в окне **Информация об элементе** вводим номер элемента, например **1**, и нажимаем кнопку **Поиск**. Просмотрев внизу окна информацию об ориентации местных осей относительно общей системы координат данного стержня, нажимаем кнопку **Выход**.



3.3.3.8. Наложение связей в опорных узлах рамы


Для наложения опорных связей на закладке **Назначения** с помощью кнопки  **Установка связей в узлах** вызываем диалоговое окно **Связи**. В режиме **Вид операции** — **Полная замена** в разделе **Направления связей** нажимаем кнопки **X**, **Y**, **Z** и кнопку **ОК**. Выбираем курсором на схеме узлы с

номера 1, 17, 18, 5, 2, 9, 10, 6 и нажимаем кнопку  **Подтверждение** инструментальной панели. Вследствие этих операций соответствующие узлы будут присоединены к опорной поверхности неподвижными сферическими шарнирами.

3.3.3.9. Задание схемы нагружения рамы

На закладке **Загружения** кнопкой  **Узловые нагрузки** активизируем окно **Ввод узловых нагрузок**. В его разделе **Силы** нажимаем кнопку **X** и вводим значение **5 кН**, и нажимаем кнопку **ОК**. На схеме отмечаем узел 4 и подтверждаем кнопкой  **Подтверждение** инструментальной панели.

Визуальный контроль нагружений выполняем с помощью кнопок панели **Фильтры отображения**:  **Узловые нагрузки** и  **Значения нагрузок**.


Записываем созданное нагружение в проект. Для этого нажимаем кнопку  **Сохранить/Добавить** нагружение инструментальной панели. В диалоговом окне **Сохранить нагружение** вводим имя нагружения **Загружение 1**, **Номер нагружения 1** и нажимаем кнопку **ОК**.

После выполнения всех предыдущих пунктов получаем расчетную модель рамы с номерами узлов и элементов, с опорными связями и с нагрузками.

3.3.3.10. Запись исходных данных сформированной модели

Активизацией раздела **Проект** главного меню и пункта **Сохранить проект** выполняем запись всех параметров сформированной модели на жесткий диск (в нашем случае – в предварительно сформированный файл **ПГС51052**).


3.4. Статический расчет напряженно-деформированного состояния пространственной рамы




После создания расчетной модели сооружения проводим ее статический расчет. Для этого выходим в **Дерево проекта** с помощью закладки **Управление** и кнопки  **Выйти в экран управления проектом**. В **Дереве проекта** реализуем позиции **РАСЧЕТ**, **Линейный**. В диалоговом окне после ознакомления с содержанием окна **Параметры расчета** нажимаем кнопку **ОК**. На вопрос **Сохранить изменения?** нажимаем кнопку **Да**.

После окончания расчета нужно просмотреть информацию, которая размещается в окне **Протокол выполнения расчета**, используя линейку прокрутки. Если в протоколе подтверждается правильность выполнения расчета словами **Задание выполнено** и нет замечаний типа **Геометрически изменяемая система**, то нажимаем кнопки **Выход** и переходим в дерево проекта для анализа результатов расчета.

3.5. Просмотр результатов статического расчета пространственной рамы

В разделе **Результаты** дерева проекту устанавливаем курсор в позицию **Графический анализ** и активизируем окно постпроцессора, где отображаются результаты определения НДС рамы: деформированная схема, эпюры усилий и т.д.

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.3.8).

Для получения изображения на экране эпюры изгибающих моментов в стержнях рамы относительно соответствующих местных координатных осей стержней (например, осей Y_1) на закладке **Эпюры усилий** в списке **Выбор вида усилия** выбираем позицию **M_x** и нажимаем кнопку  **Эпюры усилий** инструментальной панели. Вследствие этих операций на экране появится эпюра **M_x** для всех стержневых элементов пространственной рамы (рис. 3.9). Для получения значений максимальных усилий в стержнях нажимаем кнопку  **Цветовая индикация положительных значений усилий** или кнопку  **Цветовая индикация отрицательных значений усилий**, которая активизирует окно **M_x** , с помощью которого можно определить приблизительно максимальные значения этих моментов в стержнях рамы.

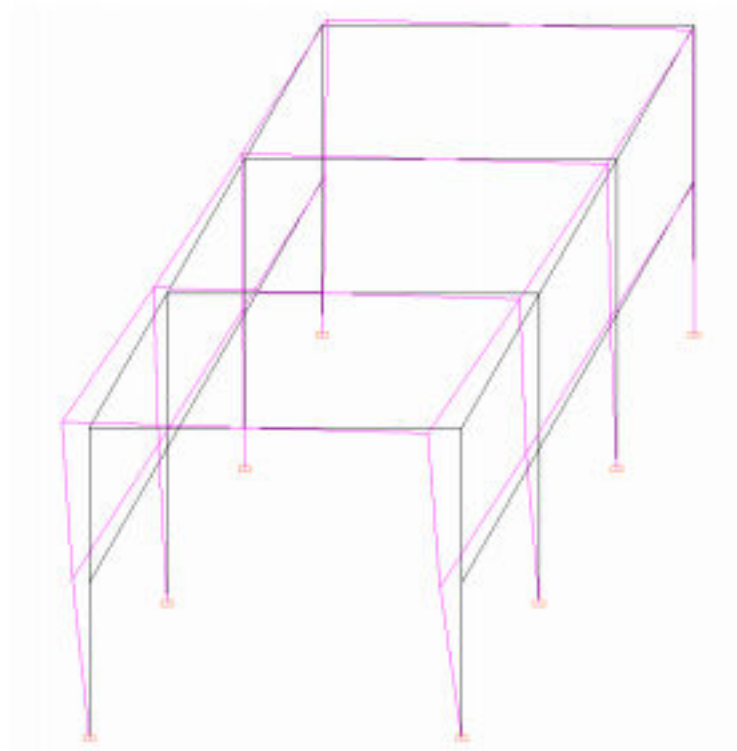


Рис. 3.8.

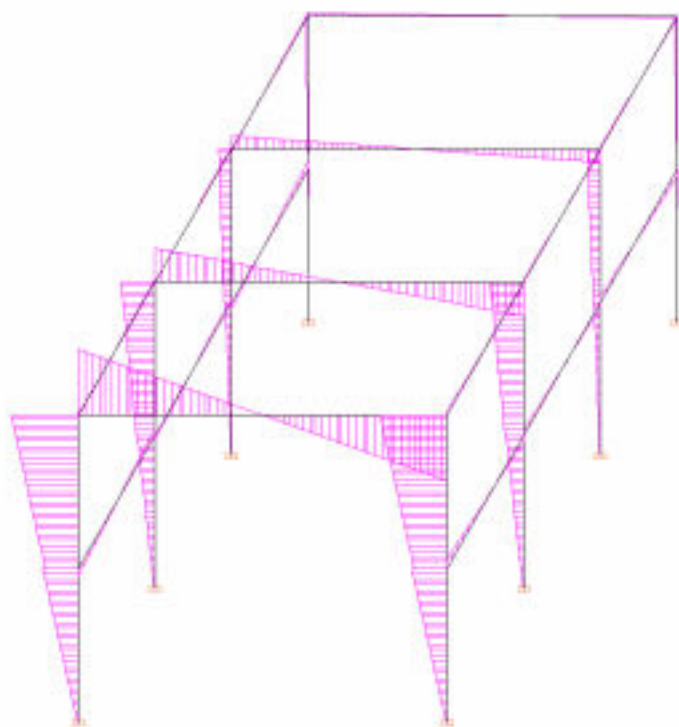



Рис. 3.9.

3.6. Выход из вычислительного комплекса SCAD

После просмотра результатов на закладке **Управление** нажимаем кнопку

 **Выход из SCAD** и в ответ на вопрос **Завершить работу?** нажимаем кнопку **Да**.