

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ

КИЕВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
СТРОИТЕЛЬСТВА И АРХИТЕКТУРЫ

**СТАТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ
КОНСТРУКЦИЙ СООРУЖЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ
ПРОЕКТНО–ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА *SCAD*
(ТЕСТОВЫЕ ПРИМЕРЫ)**

Методические указания
к выполнению расчетно–графической работы
по дисциплине “САПР в строительстве”
для студентов специальности 7.092101
“Промышленное и гражданское строительство”



Киев 2009

ББК 38.112+32.973.26–018.2

С 78

Составители: Е.А. Гоцуляк, д-р. техн. наук, профессор
Д.Э. Прусов, канд. техн. наук, ст. научн. сотр.
О.Г. Свешников, доцент
Л.Н. Скорук, канд. техн. наук, доцент

Рецензент О.В.Шишов, канд. техн. наук, профессор

Ответственный за выпуск В.А.Баженов, д-р техн. наук, профессор

Утверждено на заседании кафедры строительной механики,
протокол №7 от 11 марта 2002 г.

**Статический расчет конструкций зданий с помощью проектно–
вычислительного комплекса SCAD.**

С 78 Методические указания к выполнению расчетно–
графической работы по дисциплине “САПР в строительстве” /
Сост.: Е.А.Гоцуляк, Д.Э.Прусов, О.Г.Свешников, Л.Н. Скорук. – К.:
КНУСА, 2009. – 49 с.

Изложены общие положения об проектно-вычислительном
комплексе SCAD v.7.31 и на его основе рассмотрены алгоритмы
формирования характерных типов моделей сооружений, а также
определения и визуализации их напряженно –деформированного
состояния.

Предназначено для студентов строительного факультета
специальности 7.092101 “Промышленное и гражданское
строительство”.

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	5
1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ О ПРОЕКТНО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОМ КОМПЛЕКСЕ SCAD	6
1.1. ОБЪЕМНАЯ ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ТЕСТОВЫХ ПРИМЕРОВ	10
2. ПОПЕРЕЧНАЯ РАМА КАРКАСА МНОГОЭТАЖНОГО ПРОМЫШЛЕННОГО СООРУЖЕНИЯ	12
2.1. Входные данные	12
2.2. Задание	13
2.3. Алгоритм решения задания	13
2.3.1. Запуск вычислительного комплекса SCAD	13
2.3.2. Создание нового проекта	13
2.3.3. Построение плоской стержневой модели сооружения	15
2.3.3.1. Формирование прототипа рамы.....	15
2.3.3.2. Корректировка схемы рамы.....	16
2.3.3.3. Перенумерация узлов и элементов.....	17
2.3.3.4. Назначение жесткостей элементам.....	17
2.3.3.5. Наложение связей в опорных узлах рамы.....	19
2.3.3.6. Назначение условий примыкания стержней к узлам.....	19
2.3.3.7. Задание схемы нагружения рамы.....	20
2.3.3.8. Запись исходных данных сформированной модели.....	21
2.3.4. Статический расчет рамы	22
2.3.5. Просмотр результатов статического расчета рамы	23
2.3.6. Выход из вычислительного комплекса SCAD	24
3. ПРОСТРАНСТВЕННЫЙ КАРКАС ПРОМЫШЛЕННОГО СООРУЖЕНИЯ	25
3.1. Входные данные	25
3.2. Задание	25
3.3. Алгоритм решения задания	26
3.3.1. Запуск вычислительного комплекса SCAD	26
3.3.2. Создание нового проекта	26
3.3.3. Построение пространственной стержневой модели сооружения	27
3.3.3.1. Формирование начальной схемы фрагмента рамы.....	27
3.3.3.2. Формирование дополнительной подсхемы рамы.....	29
3.3.3.3. Создание промежуточной расчетной схемы рамы.....	30
3.3.3.4. Формирование полной расчетной схемы пространственной рамы.....	32
3.3.3.5. Перенумерация узлов и элементов.....	32
3.3.3.6. Запись проекта.....	33
3.3.3.7. Назначение жесткостей элементам рамы.....	33

3.3.3.8.	<i>Наложение связей в опорных узлах рамы</i>	35
3.3.3.9.	<i>Задание схемы нагружения рамы</i>	35
3.3.3.10.	<i>Запись исходных данных сформированной модели</i>	35
3.4.	Статический расчет напряженно-деформированного состояния пространственной рамы	36
3.5.	Просмотр результатов статического расчета пространственной рамы	36
3.6.	Выход из вычислительного комплекса SCAD	37
4.	КОНСТРУКЦИЯ ВЕНТИЛЯЦИОННОЙ ТРУБЫ	38
4.1.	Входные данные	38
4.2.	Задание	39
4.3.	Построение расчетной модели трубы с учетом симметрии конструкции и нагрузки	39
4.4.	Алгоритм решения задания	41
4.4.1.	<i>Запуск вычислительного комплекса SCAD</i>	<i>41</i>
4.4.2.	<i>Создание нового проекта</i>	<i>41</i>
4.4.3.	<i>Построение пространственной конечно-элементной модели трубы</i>	<i>42</i>
4.4.3.1.	<i>Создание начальной схемы модели сооружения</i>	<i>42</i>
4.4.3.2.	<i>Создание подсхемы модели сооружения</i>	<i>43</i>
4.4.3.3.	<i>Сборка окончательной расчетной схемы трубы</i>	<i>44</i>
4.4.3.4.	<i>Наложение опорных связей</i>	<i>45</i>
4.4.3.5.	<i>Задание схемы нагружения трубы</i>	<i>45</i>
4.4.4.	<i>Статический расчет модели трубы</i>	<i>46</i>
4.4.5.	<i>Графический анализ результатов статического расчета</i>	<i>46</i>
4.4.6.	<i>Выход из вычислительного комплекса SCAD</i>	<i>47</i>
	СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	48

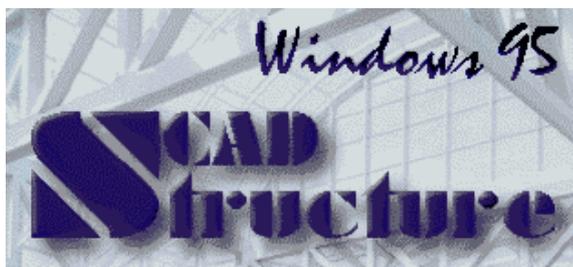
ПРЕДИСЛОВИЕ

Использование передовых информационных технологий является залогом успешного проведения расчетов на стадии проектирования новых, а также при проверке несущей способности существующих зданий и сооружений. На данный момент существует большое множество систем автоматизированного проектирования (САПР) строительных объектов, которые предназначены для рассмотрения отдельных частей проекта: архитектурной (ArchiCAD), конструктивной (SCAD, ЛИРА, Ansis), электротехнической (ЭПОС), графической (AutoCAD, CorelDraw) и др. Полученные с их помощью результаты позволяют значительно повысить качество и скорость решения соответствующих инженерных задач.

Принятие технически обоснованных и подкрепленных соответствующими расчетами конструктивных решений является важнейшим этапом проектирования. Поэтому существенного значения приобретает овладение студентами современных средств САПР для проведения конструирования и расчетов на прочность, жесткость и устойчивость элементов строительных конструкций. Для этого, после усвоения на предыдущих курсах учебной дисциплины “Строительная механика” [1], студентами специальности “Промышленное и гражданское строительство” в рамках учебной дисциплины “САПР в строительстве” преподаются основы практической работы с **проектно-вычислительным комплексом StructureCAD for Windows** (далее по тексту – **SCAD**), а студенты выполняют индивидуальные расчетно-графические работы [2].

Методические указания направлены помочь студентам выполнить и защитить эту работу. Они включают:

- необходимые общие положения о SCAD;
- примеры решения на основе SCAD трех характерных задач расчетно-графической работы;
- ссылка на основные печатные материалы, которые помогают студентам овладеть комплексом SCAD и раскрывают его широкие возможности.



1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ О ПРОЕКТНО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОМ КОМПЛЕКСЕ SCAD

SCAD – это система, которая базируется на методе конечных элементов и предназначена для расчета напряженно-деформированного состояния (НДС), стойкости, определения собственных частот и форм колебаний, анализа тепловых устоявшихся и переходных процессов, а также решения задач статики и динамики в линейной или нелинейной постановке широкого класса строительных, машиностроительных и других конструкций сооружений. **SCAD** объединяет в себе мощные аналитические возможности его процессора и простоту работы с графическим интерфейсом пользователя среды Windows.

SCAD – система нового поколения, которая разработана инженерами для инженеров и реализована коллективом опытных программистов [3] – [6]. Система постоянно развивается, усовершенствуется интерфейс пользователя и расчетные возможности, включаются новые компоненты проектов.

Единая **графическая среда** синтеза расчетной модели и анализа результатов ее расчета обеспечивает неограниченные возможности моделирования различных конструкций (от простых до самых сложных), удовлетворяя потребности опытных профессионалов и оставаясь при этом доступной для начинающих.

При **моделировании** конструкций сооружений с помощью графического **препроцессора SCAD** используются [7]:

- развитая **библиотека конечных элементов** для генерации полной конечно-элементной модели стержневых, пластинчатых, оболочечных, массивных и комбинированных конструкций сооружений на базе заданной геометрии;
- различные графические средства формирования и корректировки геометрии расчетных схем, описания физико-механических свойств материалов, задания условий опирания и примыкания, а также нагрузок;
- большой набор параметрических прототипов конструкций, который включает рамы, фермы, балочные ростверки, оболочки, поверхности вращения, аналитически заданные поверхности;
- разные возможности генерации конечно-элементных сеток в препроцессоре системы: от формирования сеток вручную (на основе указанных опорных точек) до полностью автоматической генерации

произвольной сетки конечных элементов на плоскости – для сложных частей геометрической модели;

- возможность формирования расчетных моделей путем сборки из разных схем;
- возможность работы на сетке координатных осей;
- развитый механизм работы с группами узлов и элементов;
- формирование расчетной модели копированием всей схемы или ее фрагментов;
- назначение пользователем самостоятельно или путем выборки из соответствующих библиотек SCAD характеристик материалов и сечений стержней;
- возможность воспользоваться встроенной в препроцессор SCAD справочной системой (при возникновении надобности в какой-либо дополнительной информации или помощи относительно системы SCAD);
- широкий выбор способов визуального полного контроля всех характеристик расчетной модели сооружения на разных этапах ее формирования, который необходим для избежания возможных ошибок перед проведением расчетов;
- возможность импорта геометрии расчетных схем из систем **ArchiCAD**, **HyperSteel**, **AutoCAD**.

После окончания процесса формирования модели с помощью системы SCAD можно провести ее конечно-элементный анализ, который построен на алгоритмах, которые обеспечивают максимальную точность, скорость и достоверность решения. **Высокопродуктивный процессор** позволяет решать задачи большой размерности в линейной и геометрически нелинейной постановке. В системе предусмотрено выполнение расчетов на разные виды динамических воздействий, такие как сеймика, пульсация ветровой нагрузки, гармонические колебания, импульс, удар. Процессор имеет такие вычислительные возможности:

- высокая скорость расчета;
- 65 000 узлов и 65 000 элементов;
- 392 000 степеней свободы
- неограниченное количество узлов и элементов (в версии **SCAD 11.1** и выше);
- развитая библиотека конечных элементов;
- эффективные методы оптимизации матрицы жесткости.

Постпроцессор системы SCAD имеет мощные средства визуализации и другие инструменты для дальнейшей численной обработки результатов:

- результаты расчета отображаются как в графической, так и в табличной формах;
- в графической форме результаты расчета перемещений выводятся в виде деформированной схемы, цветной и цифровой индикации значений перемещений в узлах, а также изополей и изолиний перемещений для пластинчатых и объемных элементов, выполняется анимация форм колебаний для динамических нагрузок и анимация процесса деформирования для статических нагрузок;
- для стержневых элементов могут быть получены деформированные схемы с учетом прогибов, а также эпюры прогибов для отдельных элементов;
- усилия в стержневых элементах представляются в виде эпюр для всей схемы или для отдельного элемента, а также цветовой индикацией максимальных значений выбранного силового фактора;
- напряжения в пластинчатых и объемных элементах выводятся в виде изополей или изолиний в указанном диапазоне цветовой шкалы с возможностью одновременного отображения числовых значений в центрах и в узлах элементов;
- графическое представление результатов работы постпроцессора подбора арматуры в элементах железобетонных конструкций в виде эпюр для стержневых элементов и изополей или изолиний распределения арматуры – для пластинчатых элементов;
- возможность локализации результатов расчета в заданном диапазоне значений перемещений и силовых факторов;
- результаты расчета в табличной форме могут экспортироваться в редактор MS Word или в электронные таблицы MS Excel;
- табличное представление результатов может быть дополнено графическими материалами, отобранными в процессе создания расчетной схемы и анализа результатов.

SCAD также соединяет модули, которые автоматизируют ряд процессов проектирования:

- вычисление усилий и перемещений элементов модели от комбинации загружений;
- выбор невыгодной комбинации загружений;
- анализ устойчивости;

- формирование расчетных соединений усилий;
- проверка напряженного состояния элементов конструкций по разным теориям прочности;
- определение усилий взаимодействия фрагмента с другой конструкцией;
- построение амплитудно-частотных характеристик;
- вариации моделей для совместного анализа нескольких вариантов расчетной схемы;
- подбор арматуры в элементах железобетонных конструкций;
- проверка и подбор сечений элементов стальных конструкций.

Подключение **новых модулей** такого типа и адаптация к специальным нормам строительного и машиностроительного проектирования расширяют возможности SCAD в сфере автоматизации процессов проектирования [8] – [10]:

КОНСТРУКТОР СЕЧЕНИЙ — программа формирования и расчета геометрических характеристик составных сечений из стальных прокатных профилей и листов;

КОНСУЛ — программа формирования и расчета геометрических характеристик на основе теории сплошных стержней;

ТОНУС — программа формирования и расчета геометрических характеристик на основе теории тонкостенных стержней;

СЕЗАМ — программа поиска сечения в виде короба, двутавра или швеллера, который наиболее близко аппроксимирует заданное произвольное сечение по геометрическим характеристикам;

ВЕСТ — программа определения нагрузок и влияний внешней среды на строительные конструкции согласно СНиП 2.01.07-85* “Нагрузки и воздействия”;

КРОСС — программа определения коэффициентов постели для расчета фундаментных конструкций на упругом винклеровском основании с помощью моделирования работы многослойного грунтового массива;

КОМЕТА — программа расчета и проектирования узлов стальных конструкций зданий и сооружений в промышленном и гражданском строительстве;

КРИСТАЛЛ — программа проверки элементов и соединений стальных конструкций на соответствие нормам проектирования;

АРБАТ — программа подбора и проверки арматуры в элементах железобетонных конструкций (в неразрезных балках и в колоннах), а

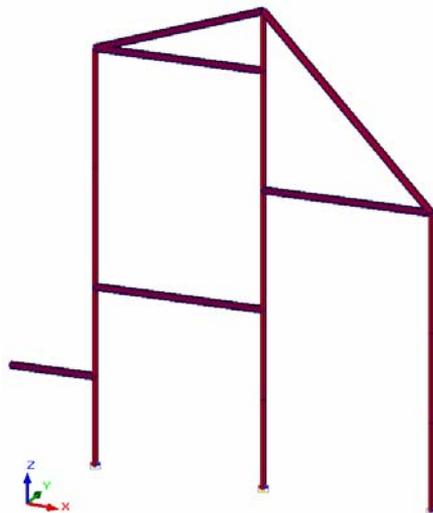
также определение прогибов в железобетонных балках согласно с соответствующими нормами;

МОНОЛИТ — программа проектирования железобетонных монолитных ребристых перекрытий;

ФОРУМ — программа формирования расчетных моделей из укрупненных функциональных составных частей реального сооружения, таких как колонны, балки, стены, перекрытия, крыши и т.д. (возможен импорт модели из системы ArchiCAD).

Подготовка **пояснительной записки** – неотъемлемая часть проведения каких-либо расчетов. Интерфейс пользователя Windows значительно упрощает процесс выполнения этой задачи и повышает качество получаемых документов. SCAD использует этот интерфейс и позволяет прямо осуществлять высококачественную выдачу на принтер как текстовых, так и графических данных, которые связаны с моделью и результатами расчета. Довольно часто возникает также необходимость включения графических или текстовых данных в пояснительную записку. Этот процесс в случае использования интерфейса Windows также упрощается, поскольку SCAD позволяет передавать какие-либо типы данных во многие издательские системы, текстовые процессоры, электронные таблицы, базы данных, графические редакторы и др. Таким образом, возможны полностью компьютеризированные подготовка и выпуск расчетно-графической работы.

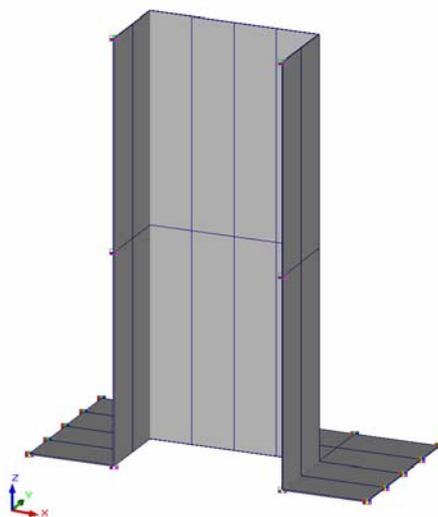
1.1. ОБЪЕМНАЯ ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ТЕСТОВЫХ ПРИМЕРОВ



Пример 1. Поперечная рама каркаса многоэтажного промышленного сооружения.



Пример 2. Пространственный каркас промышленного сооружения.



Пример 3. Конструкция вентиляционной трубы.

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:

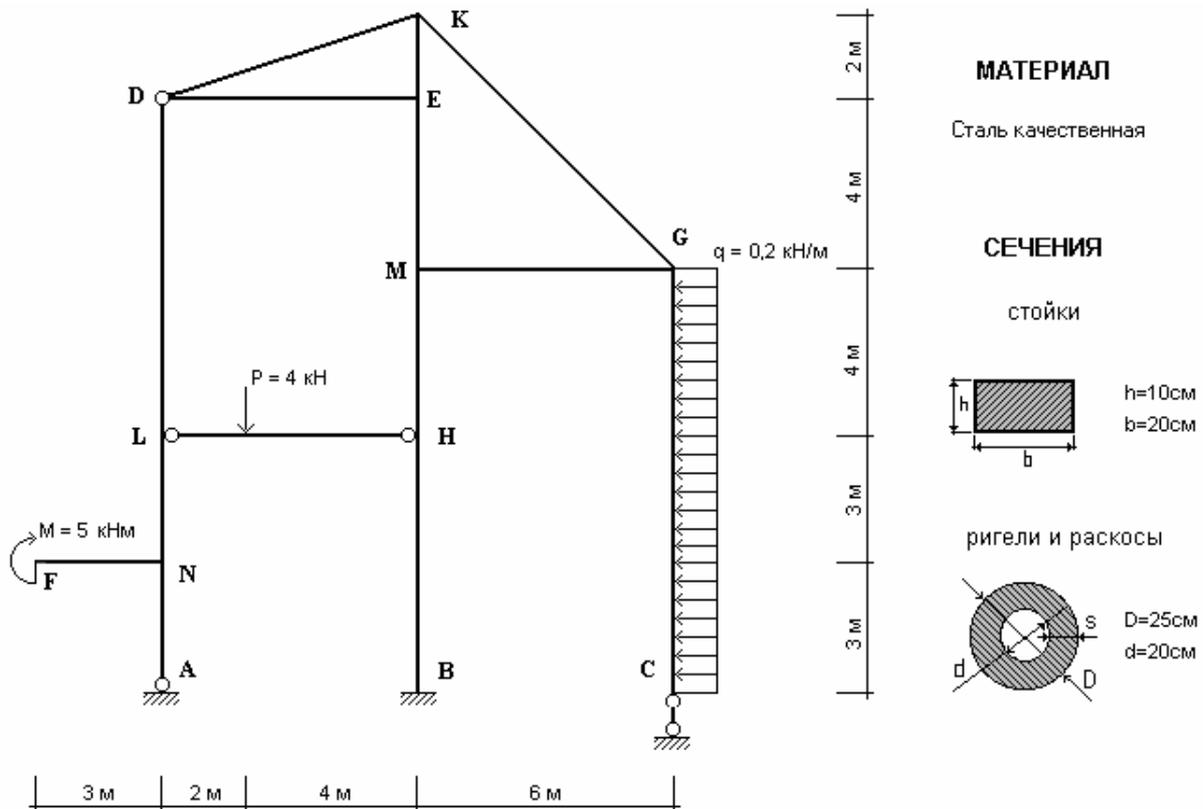


Рис. 2.1.

- 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),

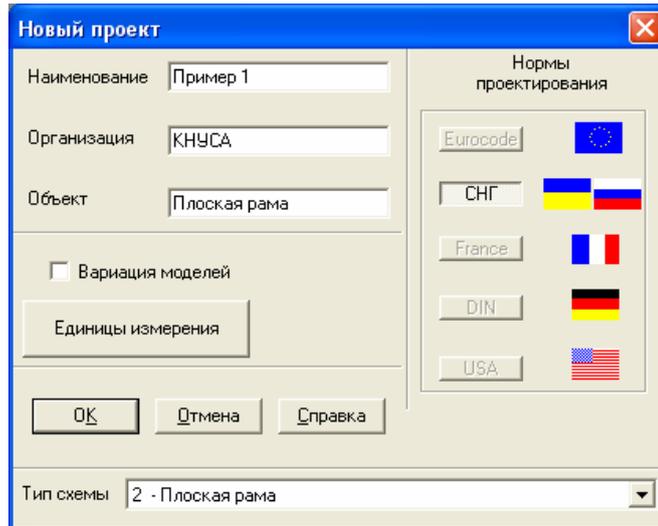


Рис. 2.2.

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).

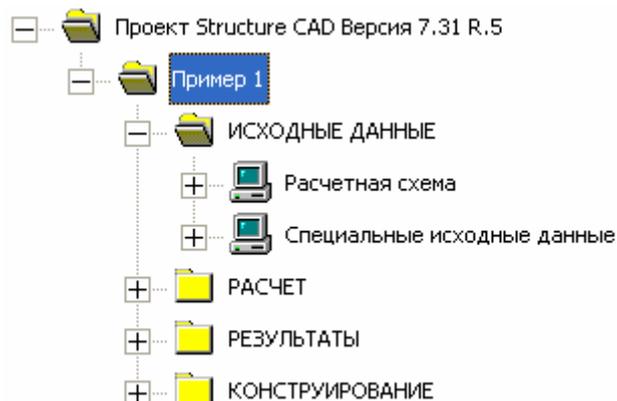


Рис. 2.3.

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**.

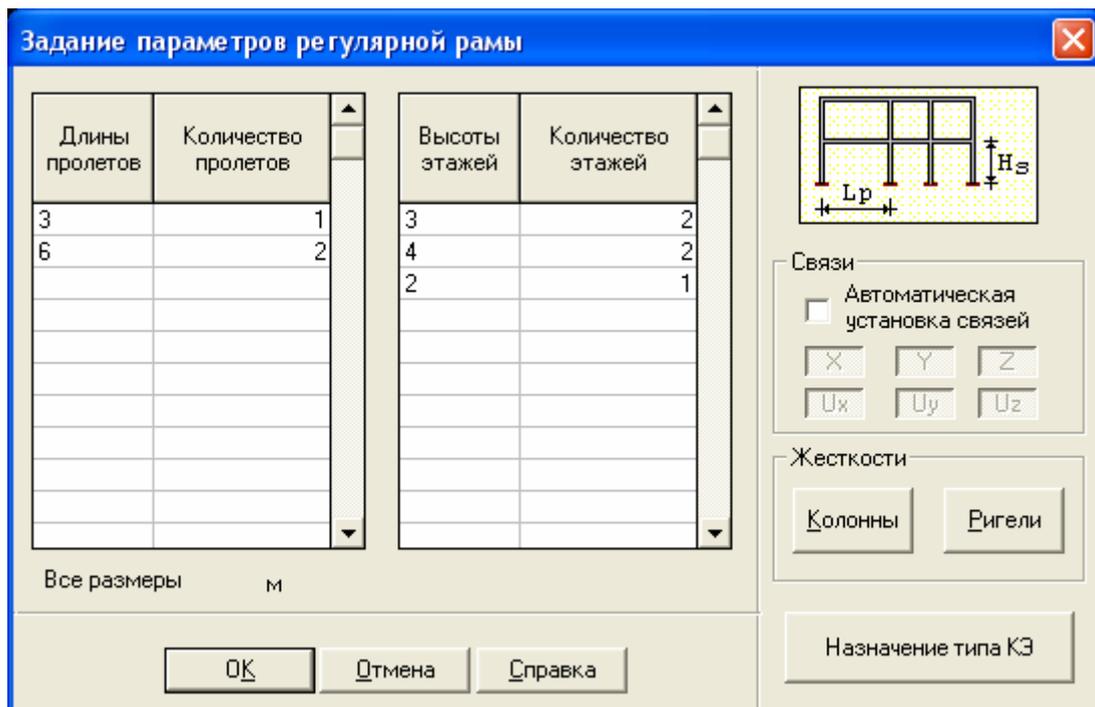


Рис. 2.5.

Отообразим номера узлов и элементов, нажимая кнопки соответственно

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

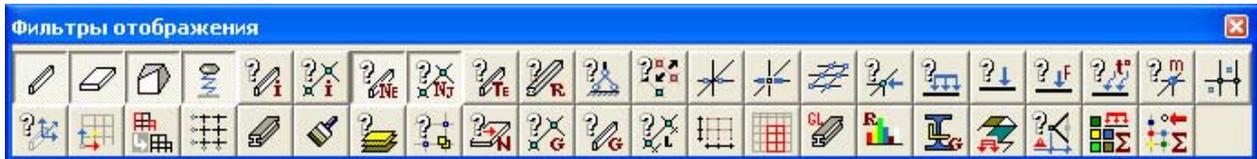


Рис. 2.6.

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

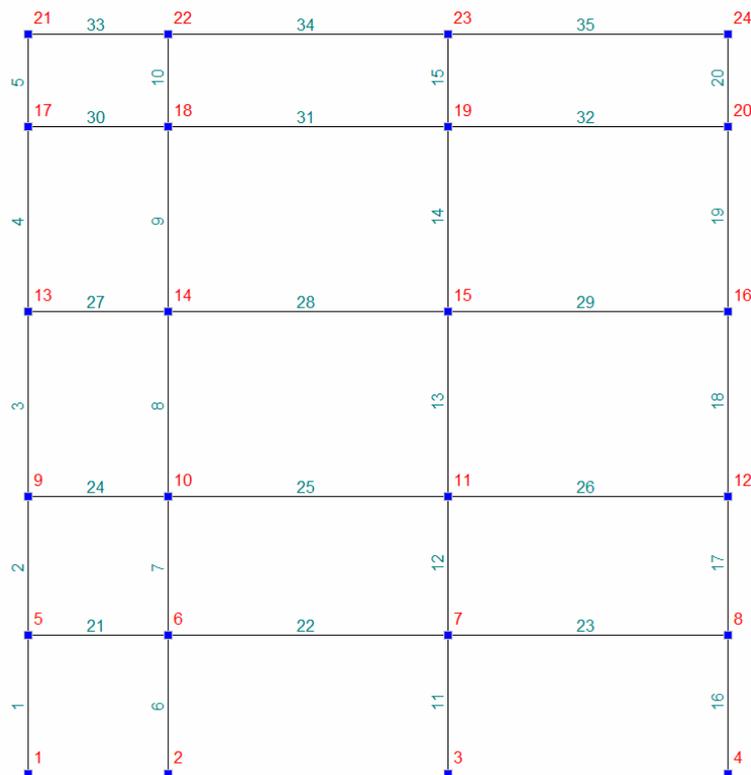


Рис. 2.7.

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  **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).

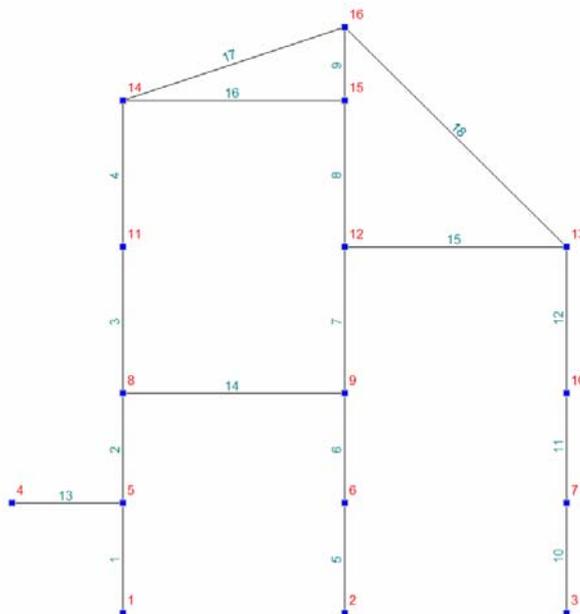


Рис. 2.8.

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**.

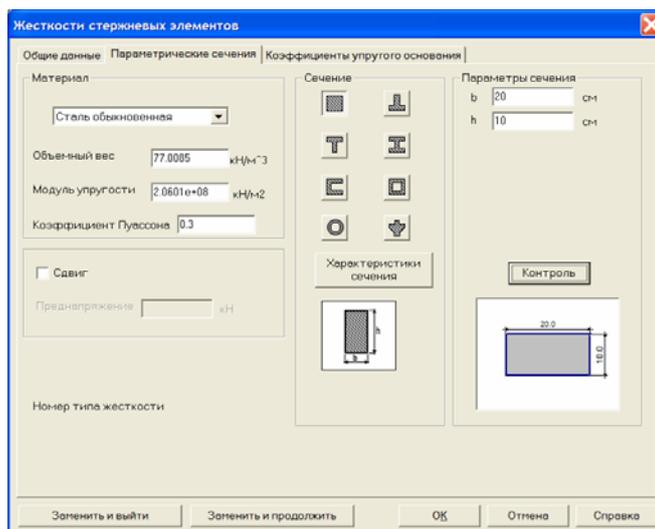


Рис. 2.9.

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**.

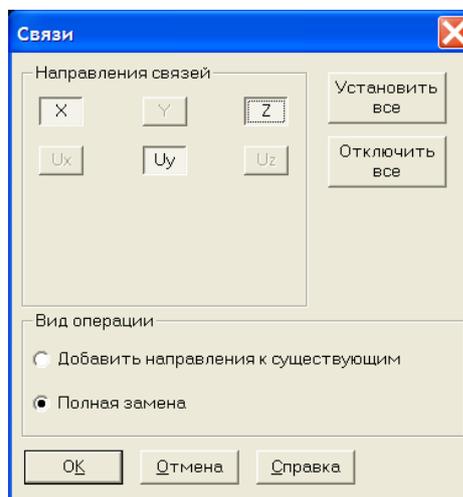


Рис. 2.10.

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 $Y1$ 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 $Y1$) 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.

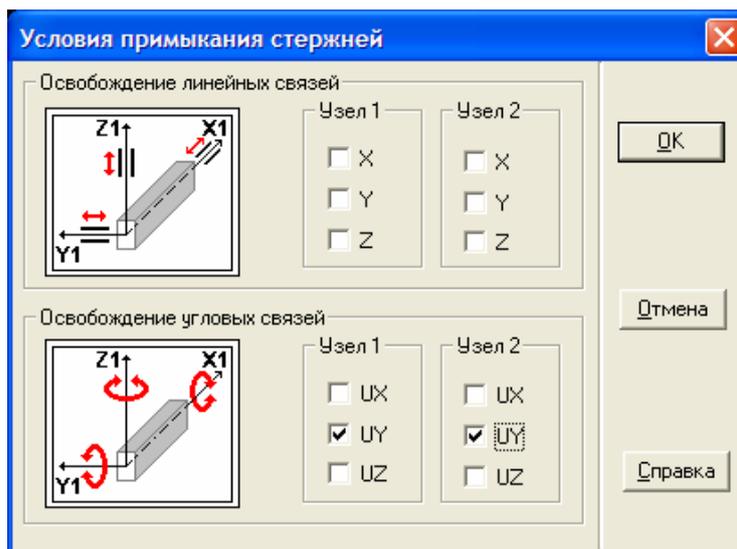


Рис. 2.11.

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.

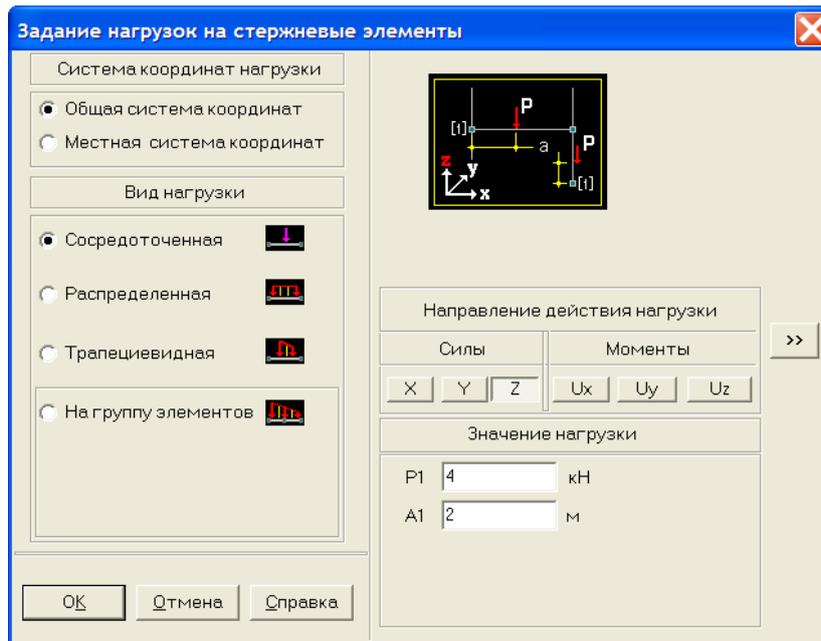


Рис. 2.12.

Подобные операции выполняем для сосредоточенного узлового момента: закладка **Загружения**, кнопка  **Узловые нагрузки**, окно **Узловые нагрузки**, вид загрузки – момент U_y , 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 загрузение в проект. Для этого нажимаем кнопку  **Сохранить/Добавить загрузение** инструментальной панели. В диалоговом окне **Сохранить загрузение** вводим имя загрузения **Загрузение 1**, номер загрузения **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).

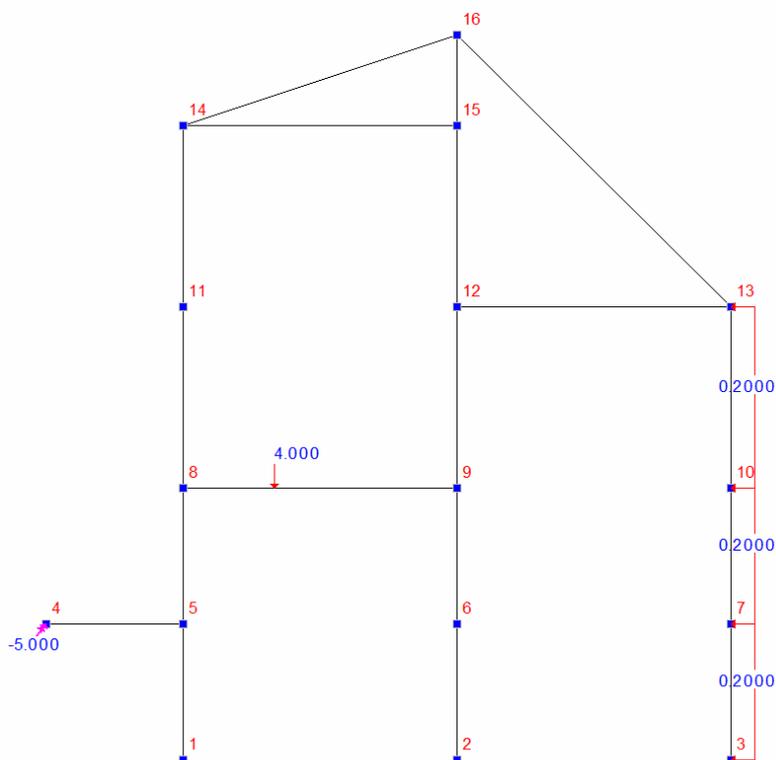


Рис. 2.13.

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.

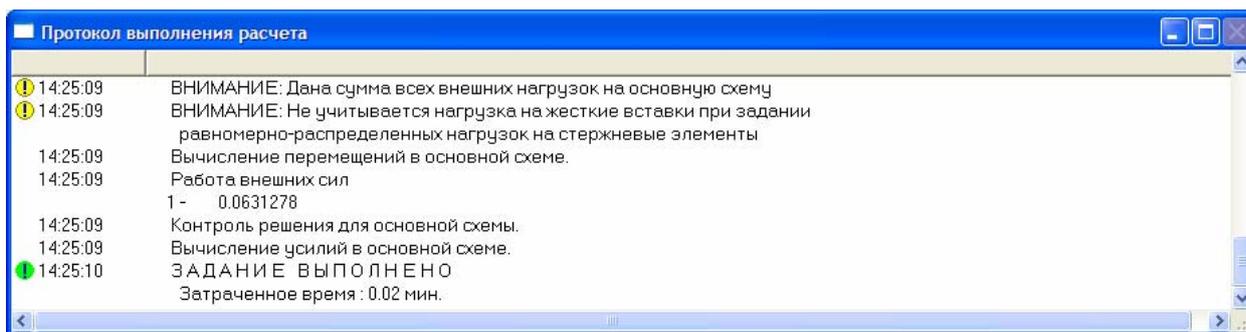


Рис. 2.14.

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).

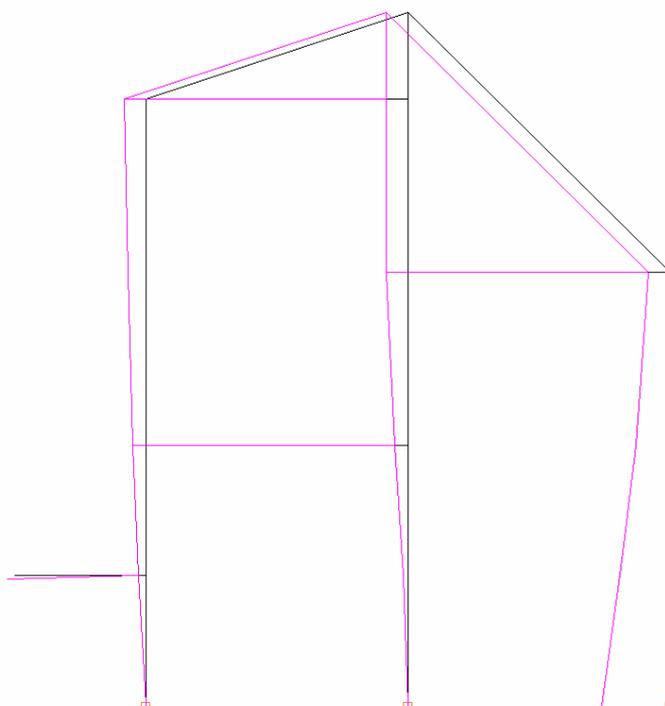


Рис. 2.15

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**.

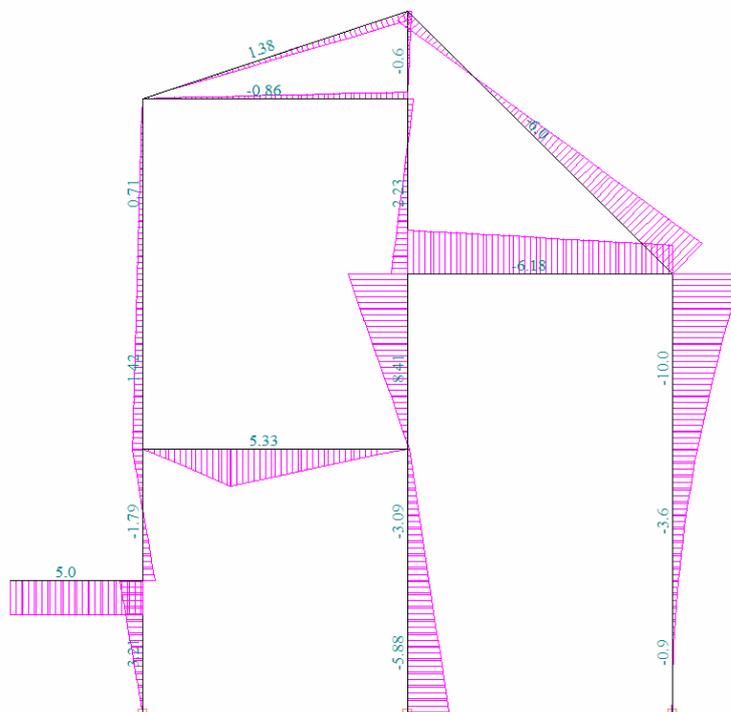


Рис. 2.16.

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**.

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 $X1, Y1, Z1$;
- 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 C .

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.

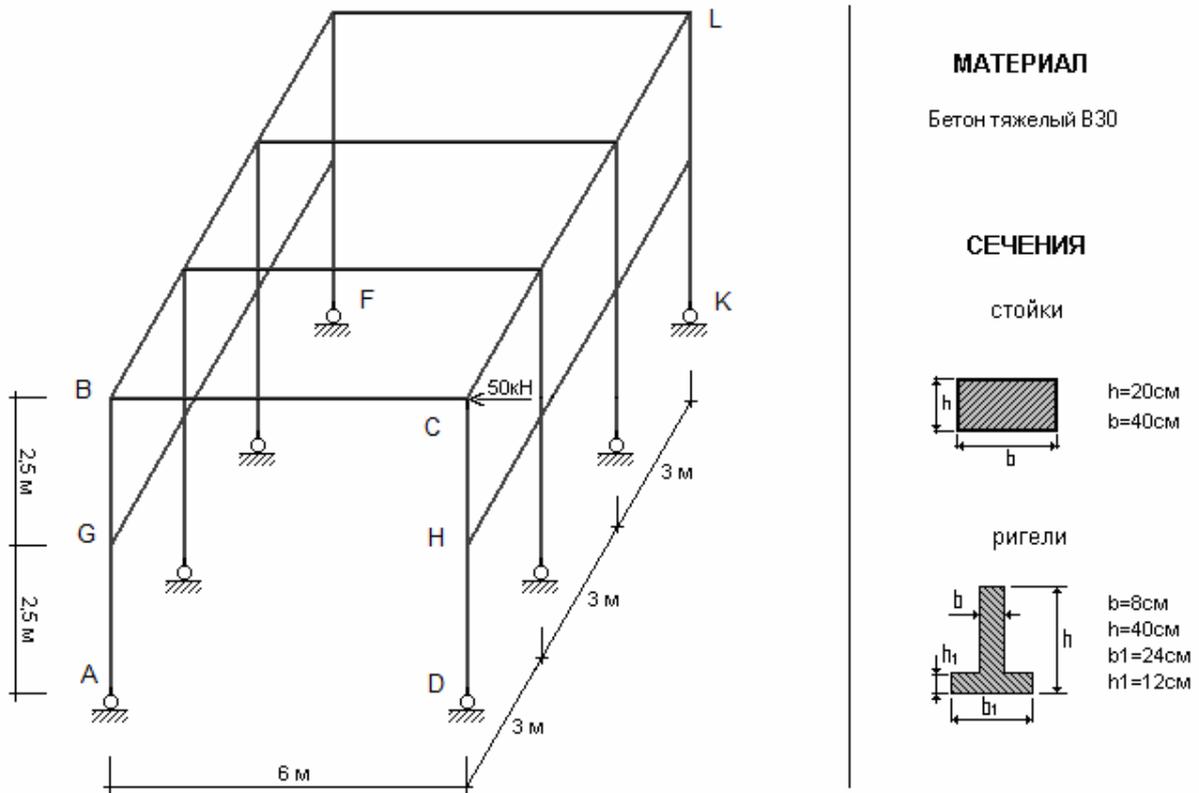


Рис. 3.1.

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**.

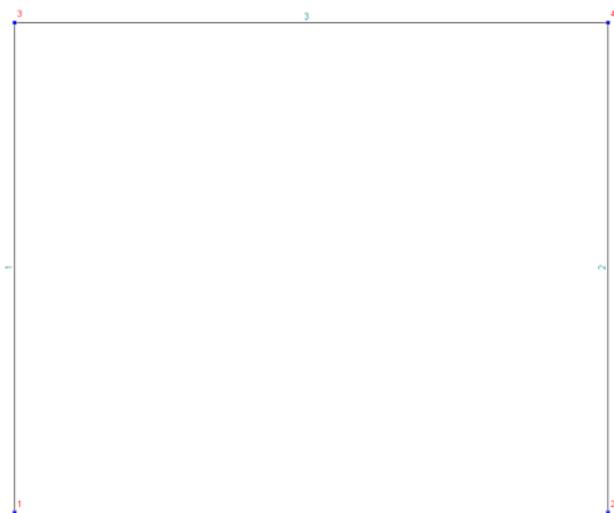


Рис. 3.2.

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 K (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 K – ($X = 6, Y = 9, Z = 0$), 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.

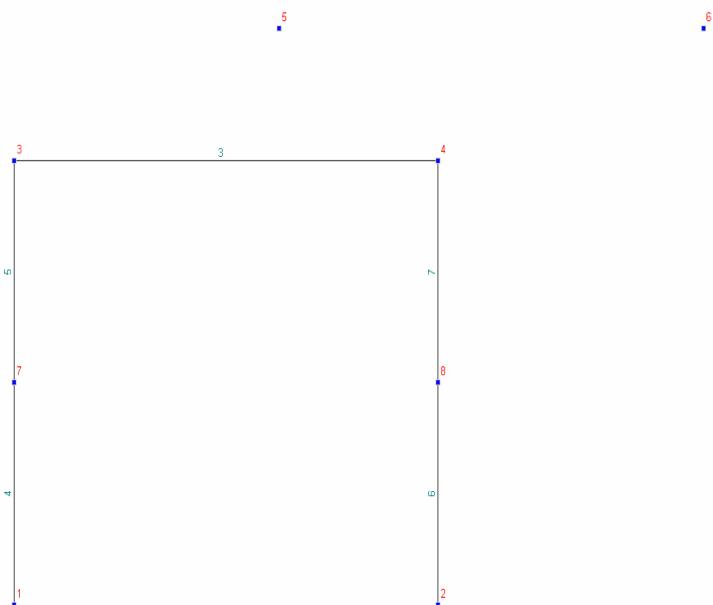


Рис. 3.3.

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

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**.

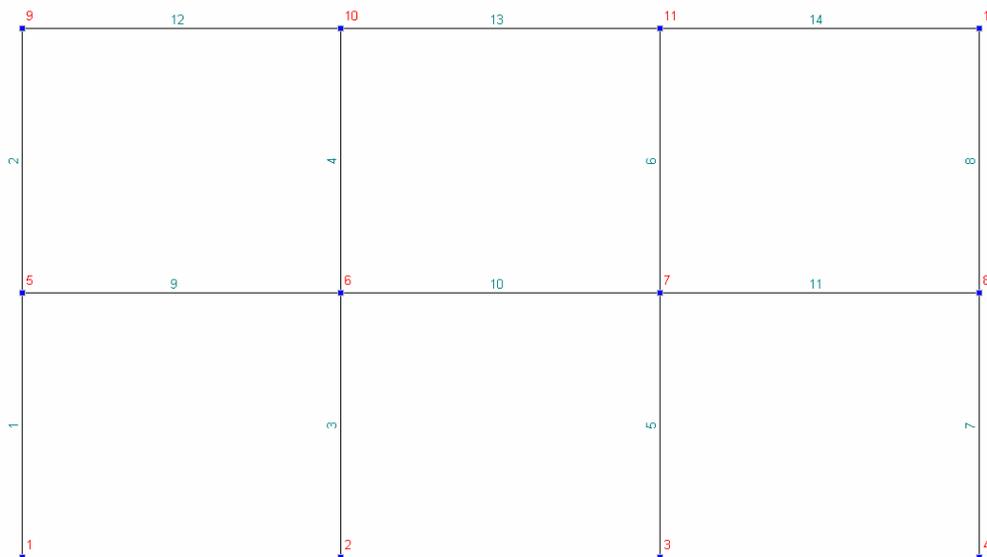


Рис. 3.4.

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**.

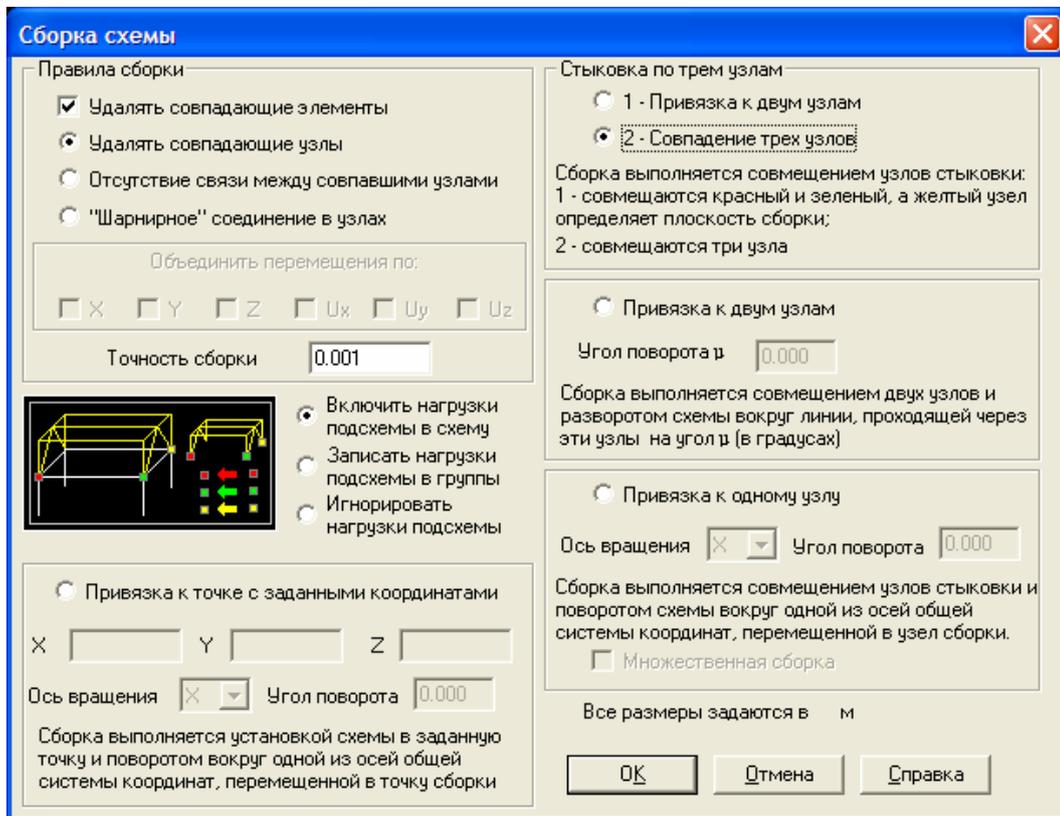


Рис. 3.5.

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).

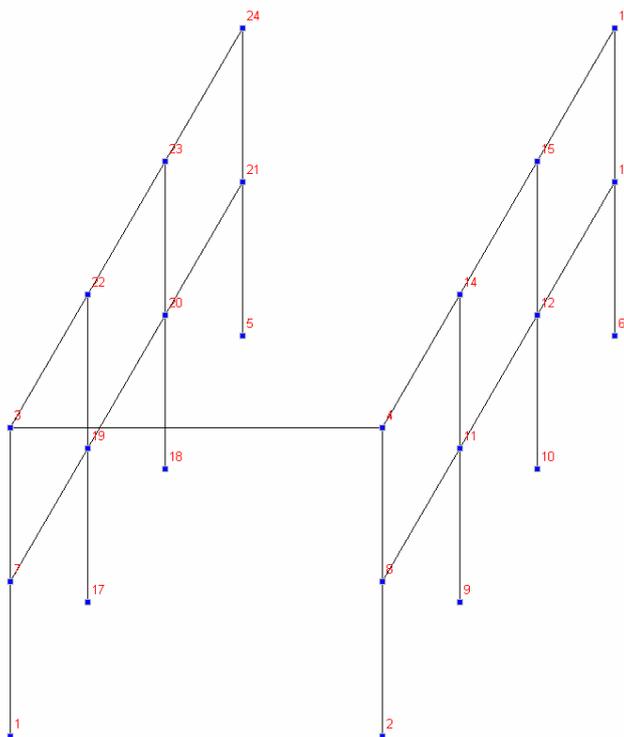


Рис. 3.6.

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.

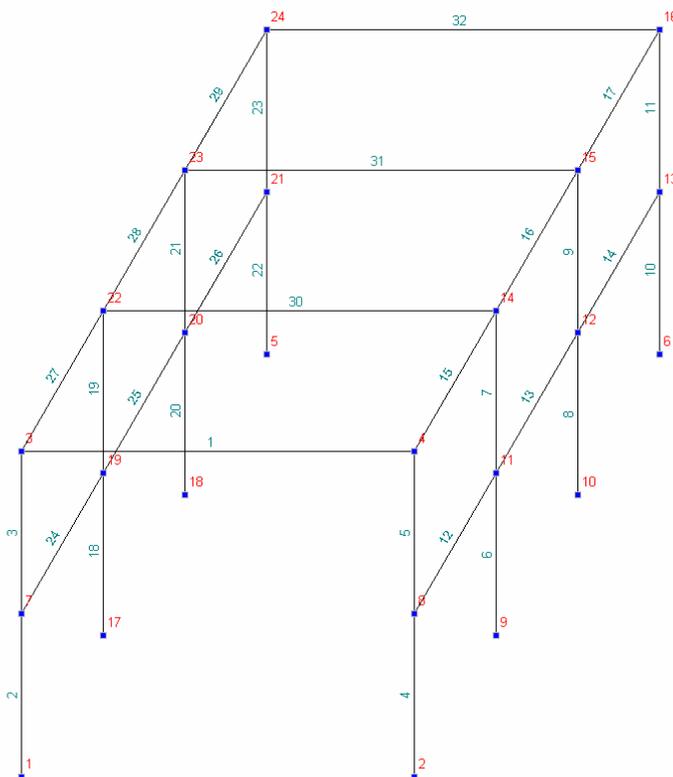


Рис. 3.7.

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 посмотреть 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 Y1) на закладке **Эпюры усилий** в списке **Выбор вида усилия** выбираем позицию **M_y** и нажимаем кнопку  **Эпюры усилий** инструментальной панели. Вследствие этих операций на экране появится эпюра **M_y** 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_y**, с помощью которого можно определить приблизительно максимальные значения этих моментов в стержнях рамы.

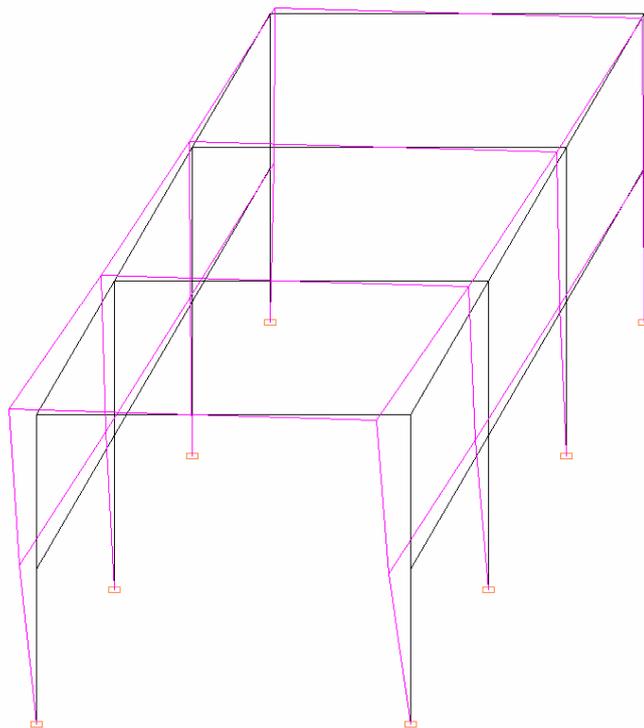


Рис. 3.8.

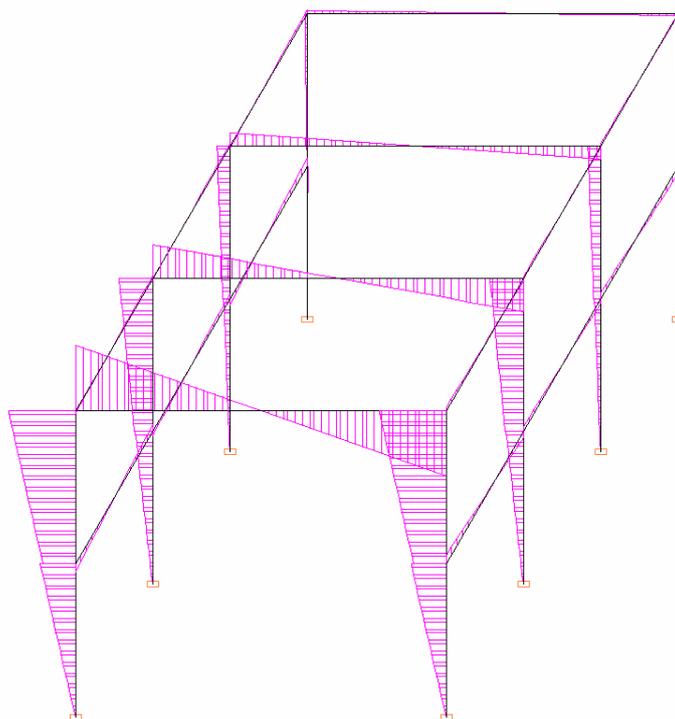


Рис. 3.9.

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.

4. КОНСТРУКЦИЯ ВЕНТИЛЯЦИОННОЙ ТРУБЫ

4.1. Входные данные

Конструкция вентиляционной трубы представлена на рис. 4.1 и имеет такие входные данные:

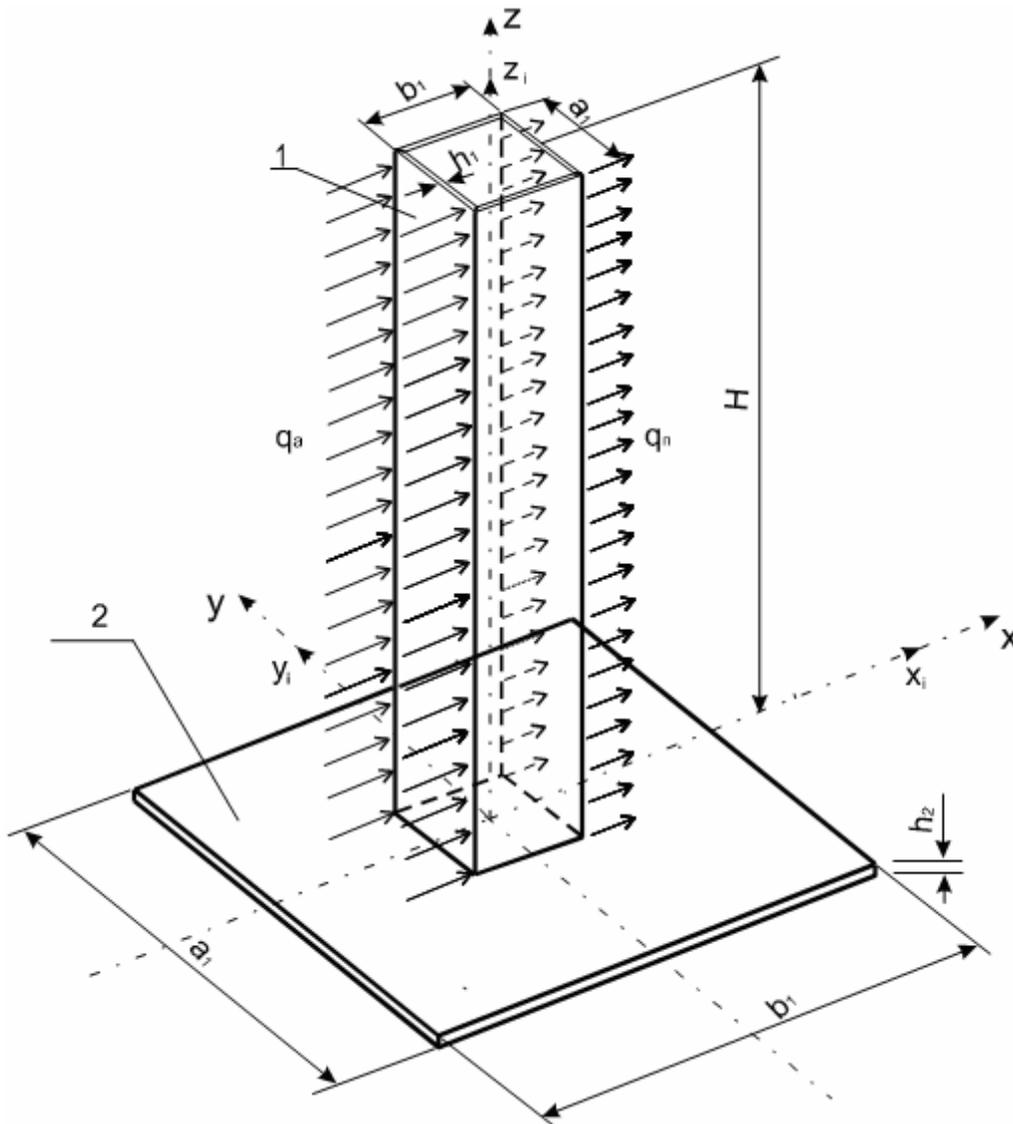


Рис.4.1.

- состоит из вертикального короба 1 и горизонтальной опорной квадратной плиты 2, которые жестко связаны между собой по контуру центрального квадратного отверстия плиты;
- опорная плита жестко присоединяется к неподвижной опорной поверхности (“земле”) по линии внешнего периметра плиты;
- перпендикулярно к поверхности двух параллельных граней короба, вдоль общей горизонтальной координатной оси X действует одинаковая

равномерно распределенная ветровая активная q_a и пассивная q_p нагрузка величиной 2 кН/м^2 ;

- материал конструкции – сталь обыкновенная;
- толщины листовых элементов короба (h_1) и опорной плиты (h_2) – одинаковые и равняются $0,005 \text{ м}$;
- размеры короба между срединными поверхностями параллельных граней $a_1 = b_1 = 0,8 \text{ м}$;
- размеры в плане опорной плиты $a_2 = b_2 = 1,6 \text{ м}$;
- размер трубы от верха к срединной поверхности опорной плиты $H=2\text{м}$.

4.2. Задание

Для заданной нагруженной конструкции трубы:

- сформировать расчетную модель с учетом симметрии конструкции и нагрузки;
- определить НДС модели от заданной нагрузки;
- визуализировать основные этапы построения модели и результаты решения задачи статического расчета (определения НДС).

4.3. Построение расчетной модели трубы с учетом симметрии конструкции и нагрузки

Как известно, симметричные особенности сооружения и нагрузки дают возможность значительно упростить и ускорить решение задачи, а именно: сформировать расчетную модель не всего сооружения, а только ее части (не более половины), причем действие отброшенной части сооружения учитывается наложением в местах разъединения частей таких опорных связей, которые дают возможность определить реальное напряженно-деформированное состояние сооружения.

В примере, который рассматривается, симметрия сооружения и нагрузки относительно плоскости XZ разрешают построить расчетную модель не всей конструкции трубы, а какой-либо ее половины, которая расположена по одну сторону от плоскости сечения XZ , например половины, изображенной на рис. 4.2. Действие отброшенной половины сооружения учитывается наложением на каждую точку срединной линии сечения сооружения трех таких опорных связей: одной линейной связи вдоль оси Y и двух угловых связей вокруг осей X и Z (соответственно U_x и U_z).

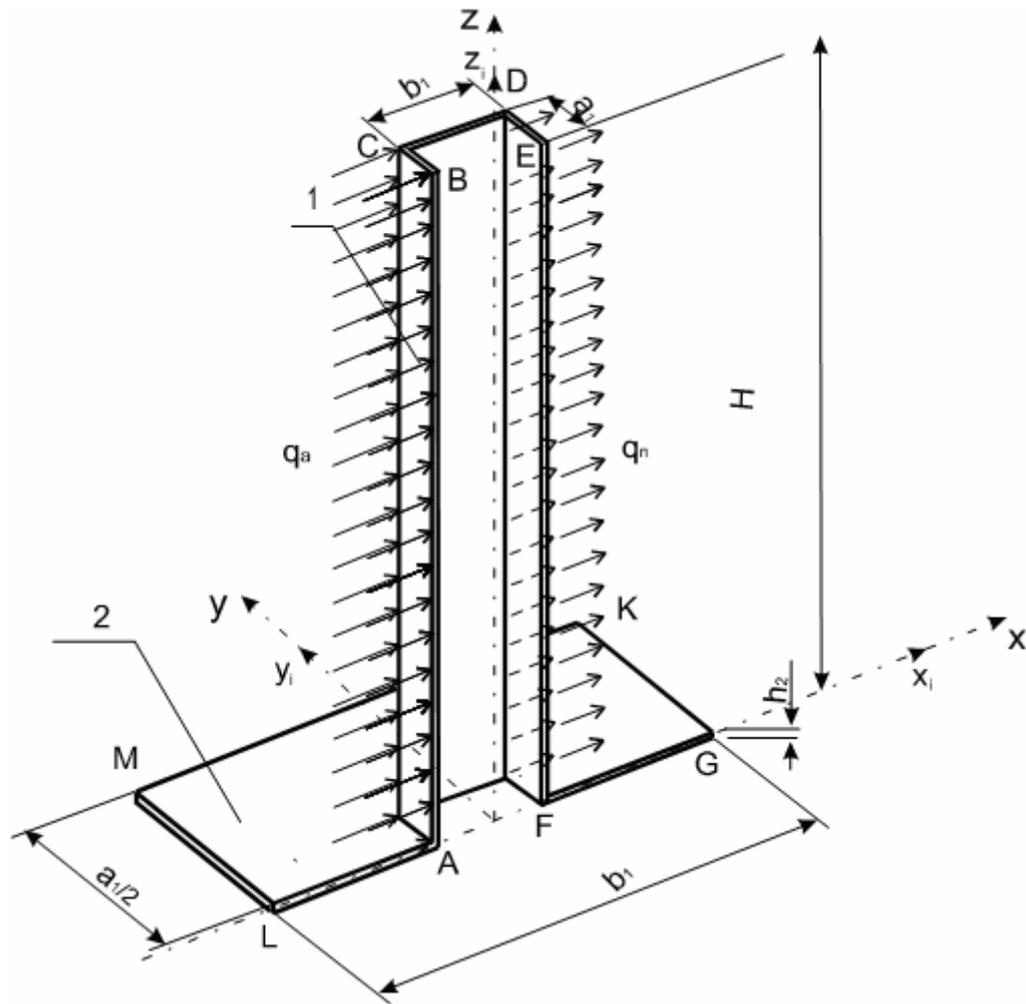


Рис. 4.2.

Срединная поверхность листовых граней выбранной половины сооружения представляется совокупностью 16-ти прямоугольных 4-узловых плоских оболочечных конечных элементов 3-х типоразмеров (0,2м x 0,2м; 0,2м x 0,4м; 0,2м x 1,0м), которые жестко соединяются между собой в узлах (рис.4.3).

Далее изложен алгоритм построения вышеупомянутой конечно-элементной модели конструкции трубы в среде SCAD, ее статического расчета и визуализации результатов.

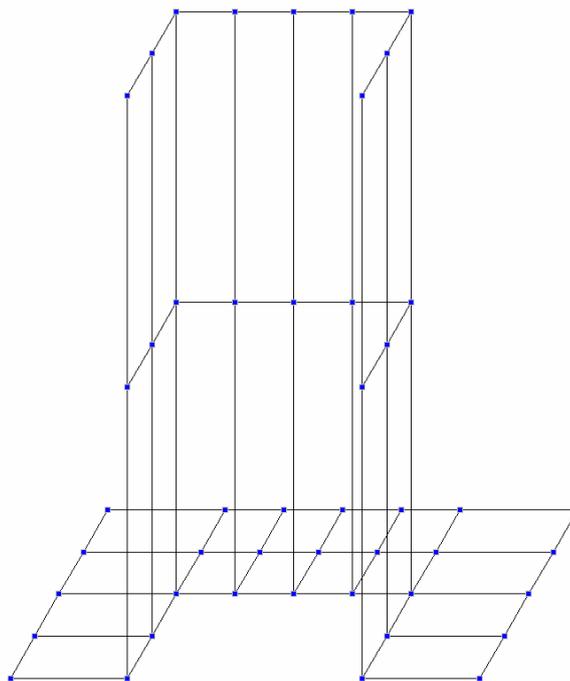


Рис. 4.3.

4.4. Алгоритм решения задания

4.4.1. 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 размерности, а также команды, пункты меню и т.д., которые нужно ввести или выбрать, отмечены тут и далее по тексту жирным шрифтом).

4.4.2. Создание нового проекта

Для создания нового проекта установим курсор на кнопку  **Создать новый проект** инструментальной панели и нажмем левую кнопку мыши. На экране появится диалоговое окно **Новый проект** (см. рис. 2.2), в котором необходимо задать информацию о данном проекте в позициях **Наименование (Пример 3)**, **Организация (КНУСА)**, **Объект (Коробчатая конструкция)**. 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 **Усилия**, **Размеры**, **Сечения** устанавливаем соответственно **кН**, **м**, **см**. 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 за приведенной в предыдущих разделах логикой для того же самого студента, например, будет иметь обозначения **ПГС51053**. Нажимаем кнопку **Save** (Сохранить).

После этого данный проект регистрируется в программе и на экран выводится дерево проекта (см. рис. 2.3).

4.4.3. Построение пространственной конечно-элементной модели трубы

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.

4.4.3.1. Создание начальной схемы модели сооружения

Выбрать закладку **Схема**. Нажать кнопку  **Генерация прямоугольной сетки элементов на плоскости**. В новом окне **Генерация пластинчатой схемы** в разделе **Вид схемы** выбрать **Оболочка ХоУ** и задать:

Шаг по оси X — 0.4 м, Количество шагов — 1;

Шаг по оси X — 0.2 м, Количество шагов — 4;

Шаг по оси X — 0.4 м, Количество шагов — 1;

Шаг по оси Y — 0.2 м, Количество шагов — 4.

Далее, нажав кнопку **Жесткость**, в окне **Жесткости пластин** задать в разделе **Материал** — **Сталь обыкновенная**, а в разделе **Параметры** задать **Толщина пластины** — **0.005 м** и нажать кнопку **ОК**. Нажать в окне **Генерация пластинчатой схемы** кнопку **ОК**.

Далее на панели **Фильтры отображения** нажать кнопку **Номера узлов**, перейти на закладку **Узлы и элементы**. Потом нажать кнопку  **Узлы**, и кнопку  **Удаление узлов**. Отметить узлы 3, 4, 5, 10, 11, 12, подтвердить свой выбор кнопкой  **Подтверждение**. После этих операций должен быть получен вид начальной схемы модели сооружения (рис. 4.4).

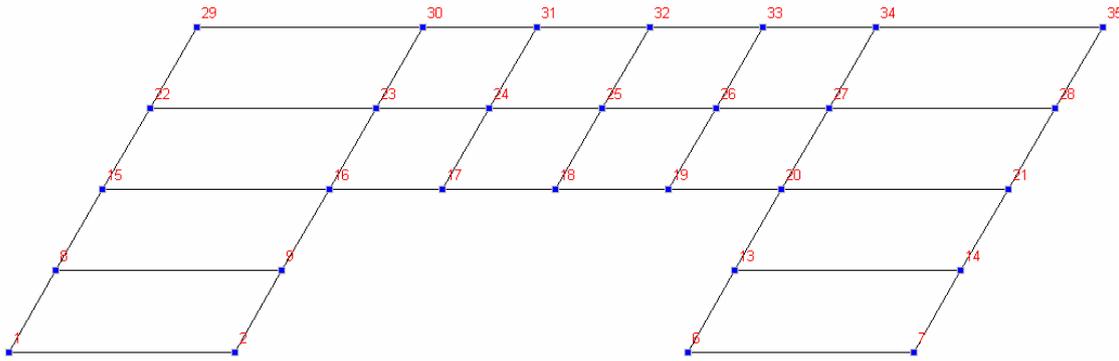


Рис. 4.4.

Далее перейти на закладку **Управление**. Нажать кнопку  **Сохранить текущий проект**.

4.4.3.2. Создание подсхемы модели сооружения

Повторить пункт 4.4.2, записав в строчке **Имя файла** после имени файла (**ПГС51053**) дополнительно **Подсхема**. Нажимаем кнопку **Save** (**Сохранить**).

Войти в раздел **Расчетная схема**. Закладка

Схема. Выбрать иконку  **Генерация прямоугольной сетки элементов на плоскости**. В окне **Генерация пластинчатой схемы** в разделе **Вид схемы** выбрать **Оболочка XoZ** и задать:

Шаг по оси X — 0.2 м, Количество шагов — 2;

Шаг по оси Y — 1.0 м, Количество шагов — 2.

Далее нажать кнопку **Жесткость** и в новом окне **Жесткости пластин** задать в разделе **Материал** — **Сталь обыкновенная**, а в разделе **Параметры** задать толщину **0,005 м**, и нажать кнопку **ОК**. Нажать в окне **Генерация пластинчатой схемы** кнопку **ОК**. В результате получаем подсхему, которая имеет вид на рис. 4.5.

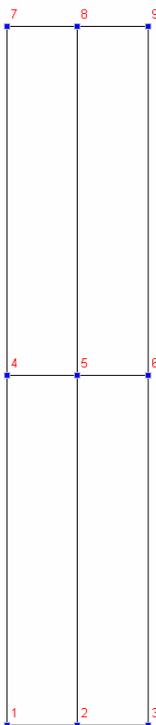


Рис. 4.5.

Далее перейти на закладку **Управление** и нажать кнопку  **Сохранить текущий проект**.

4.4.3.3. Сборка окончательной расчетной схемы трубы.

Для открытия первого созданного проекта нажать кнопку  **Открыть существующий проект**. Войти в нужную папку с созданными проектами и выбрать из списка файл **ПГС51053** (с начальной схемой, которая показана на рис.4.4). Нажать кнопку **Open** (Открыть). Войти в раздел **Расчетная схема**. Закладка **Схема**, кнопка  **Режим сборки**. Нажать кнопку  **Загрузка подсхемы**. Войти в ту же самую папку, выбрать файл с подсхемой — **ПГС51053 Подсхема** и нажать кнопку **Open** (Открыть). Далее нажать кнопку  **Выбор способа сборки**. В окне **Сборка схемы** выбрать **Привязка к двум узлам**, **Угол поворота 0.000** и нажать кнопку **ОК**. Отметить на схеме и на подсхеме по два узла, которые соединяются, и нажать кнопку  **Подтверждение**. Посмотреть,

правильно ли подсоединена подсхема к начальной схеме, и в окне **Результат** нажать кнопку **Подтвердить сборку**. Повторить сборку еще три раза так, чтобы была получена окончательная расчетная схема трубы (см. рис. 4.6). Отключить кнопку  **Режим сборки**. Перейти на закладку **Управление** и нажать кнопку  **Упаковка данных**. В окне **SCAD** нажать кнопку **Сохранить текущий проект**. На вопрос **Удалять узлы не принадлежащие**

элементам? ответить нажатием кнопки **Yes** (Да). Далее перейти на закладку **Назначение** и активизировать кнопку  **Удаление дублирующих типов жесткости**. В результате на экране получаем окончательную расчетную конечно-элементную схему конструкции трубы (рис. 4.6).

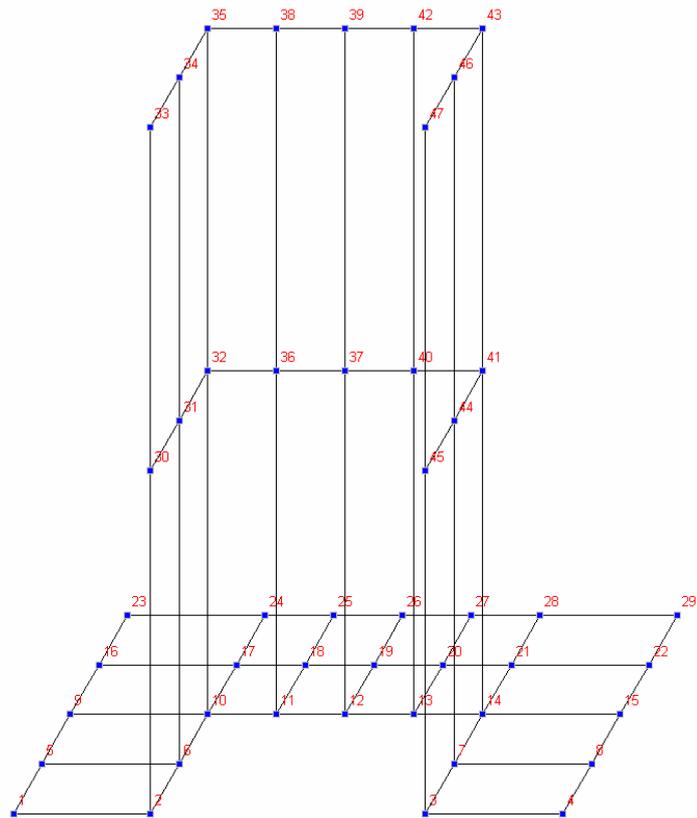


Рис. 4.6

4.4.3.4. Наложение опорных связей

Нажать кнопку  **Установка связей в узлах**. В окне **Связи** нажать кнопку **Установить все** (т.е., закрепить каждый узел шестью опорными связями X , Y , Z , U_x , U_y , U_z), далее кнопку **ОК** и отметить узлы по контуру, то есть отметить реальные опорные узлы 1, 5, 9, 16, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 22, 15, 8, 4, и нажать кнопку  **Подтверждение**.

Поскольку рассматривается только схема половины конструкции трубы, нужно учесть действие отброшенной второй половины конструкции установкой дополнительных опорных связей. Снова нажать кнопку  **Установка связей в узлах**. В окне **Связи** нажать кнопки Y , U_x и U_z , далее кнопку **ОК** и отметить по три узла на двух вертикальных линиях разрыва, то есть шесть узлов, и нажать кнопку  **Подтверждение**. Далее на панели **Фильтры отображения** нажать кнопку  **Связи** и проверить на экране обозначения всех опорных узлов.

4.4.3.5. Задание схемы нагружения трубы

На закладке **Загружения** нажать кнопку  **Нагрузки на пластину**, вследствие чего появится окно **Задание нагрузок на пластинчатые элементы**. Выбрать **Общая схема координат**. В разделе **Вид нагрузки** выбрать **Распределенная**, а в разделе **Направление действия нагрузки**, в подразделе **Силы** нажать кнопку X . В разделе **Значение нагрузки** установить значение -2 кН/м^2 и нажать кнопку **ОК**. Отметить 8 элементов на параллельных вертикальных гранях и нажать кнопку  **Подтверждение**. Для этого лучше воспользоваться на панели **Визуализация** кнопкой  **Вращение вокруг оси Z** (шаг +).

Далее на панели **Фильтры отображения** отжать кнопку  **Номера узлов** и нажать кнопки  **Распределенные нагрузки**,  **Значения нагрузок** и  **Отображение общей системы координат**, и убедиться в том, что нагрузка приложена правильно. Воссоздать начальное положение конструкции, нажав кнопку  **Восстановить исходное положение схемы** на панели **Визуализация**. На экране получаем расчетную модель конструкции трубы со всеми компонентами модели (рис. 4.7).

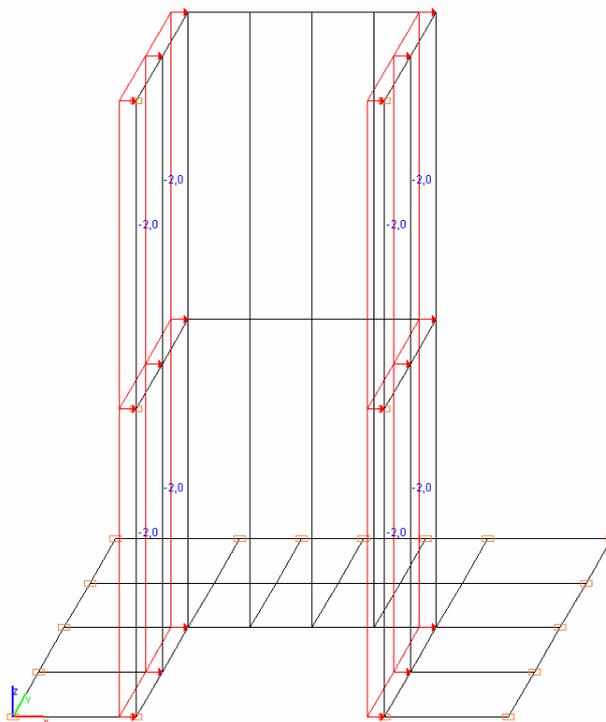


Рис. 4.7.

Сохранить нагрузку, нажав кнопку  **Сохранить/Добавить загрузку**. В строчке **Имя загрузки** набрать **Загрузка №1**, а в строчке **Номер загрузки** задать **1**. Нажать кнопку **ОК**.

4.4.4. Статический расчет модели трубы

Перейти на закладку **Управление**, нажать кнопку  **Сохранить текущий проект**. В окне **Сохранение проекта SCAD** нажать кнопку **Save** (Сохранить). Далее нажать кнопку  **Выйти в экран управления проектом**. В разделе **РАСЧЕТ** выбрать пункт **Линейный**, в окне **Параметры расчета** нажать кнопку **Выполнить расчет**. Может появиться окно запроса **SCAD** и на вопрос **Проект был модифицирован. Сохранить изменения?** ответить **Yes** (Да). Подождать, пока идет расчет. Далее нажать кнопку **Выход**.

4.4.5. Графический анализ результатов статического расчета

В разделе **РЕЗУЛЬТАТЫ** нажать строчку **Графический анализ**. Далее перейти на закладку **Деформации**, нажать кнопку  **Совместное отображение исходной и деформированной схемы**, посмотреть результат (рис. 4.8).

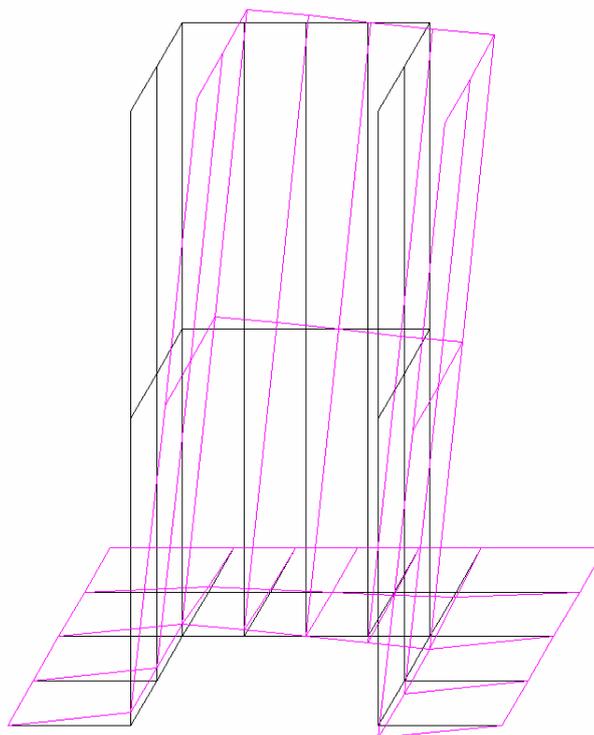


Рис. 4.8.

Далее перейти на закладку **Поля напряжений**, выбрать кнопку  **Отображение изополей напряжений**, или  **Отображение изолиний и изополей напряжений** и в окне **Выбор вида напряжения**, просмотреть цветные графики напряжений и таблицы соответствия оттенков цветов значениям напряжений. Выполнить просмотр других режимов визуализации.

4.4.6. Выход из вычислительного комплекса SCAD

После просмотра результатов выходим в дерево проекта с помощью закладки **Управление** и кнопки  **Выйти в экран управления проектом**. В дереве проекта нажимаем кнопку  **Выход из SCAD** и в ответ на вопрос **Завершить работу** нажимаем кнопку **Да**.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Баженов В.А., Гранат С.Я., Шишов О.В.* Будівельна механіка. Комп'ютерний курс: Підручник. – Київ., 1999.– 584 с.
2. *Визначення* напружено-деформованого стану стержневих та оболонкових систем за допомогою програмних комплексів. Завдання та методичні вказівки до виконання розрахунково-графічної роботи з дисципліни “САПР в будівництві” для студентів спеціальності 7.092101 “Промислове і цивільне будівництво” / Укл. Є.О.Гоцуляк, О.Г.Свешніков, Г.М.Іванченко. – К.: КНУБА, 2001. – 44 с.
3. *SCAD Group.* Программный комплекс Structure CAD для Windows. Общее описание. – К., 1997.
4. *Карпиловский В.С., Криксунов Э.З., Перельмутер А.В., Перельмутер М.А., Трофимчук А.Н.* SCAD для пользователя. – К.: ВВП “Компас”, 2000. – 332с.
5. *SCAD Group.* Structure CAD. Руководство пользователя. Дополнения и изменения. Версия 7.29. – К., 2000.
6. *SCAD Group.* Программный комплекс Structure CAD для Windows 95/98/NT. Контрольные примеры. – К., 2000. – 132 с.
7. *Перельмутер А.В., Сливкер В.И.* Расчетные модели сооружений и возможность их анализа. – К.: ВВП “Компас”, 2001. – 448 с.
8. *Карпиловский В.С., Криксунов Э.З., Перельмутер А.В., Перельмутер М.А.* Формирование сечений и расчет их геометрических характеристик. – К.: ВВП “Компас”, 2001. – 96 с.
9. *Structure CAD.* ТОНУС. Формирование тонкостенных сечений и расчет их геометрических характеристик.
10. *Карпиловский В.С., Криксунов Э.З., Микитаренко М.А., Перельмутер А.В., Перельмутер М.А., Федоровский Ф.Г.* SCAD Office. Реализация СнИП в проектирующих программах. – К.: ВВП “Компас”, 2001. – 240 с.

Учебно-методическое издание

**СТАТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ КОНСТРУКЦИЙ СООРУЖЕНИЙ
С ПОМОЩЬЮ ПРОЕКТНО–ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА SCAD**

Методические указания
к выполнению расчетно–графической работы
по дисциплине “САПР в строительстве”
для студентов специальности 7.092101
“Промышленное и гражданское строительство”

Составители: **Гоцуляк** Евгений Александрович,
Прусов Дмитрий Эдуардович,
Свешников Олег Гаврилович
Скорук Леонид Николаевич.

Компьютерный набор: *Прусов Д.Э., Скорук Л.Н.*