

Министерство образования и науки Российской Федерации
ФГБОУ ВПО «Тамбовский государственный технический
университет»

Факультет «Магистратура»

Струлев С.А., Сузюмов А. В..

**СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ В
СТРОИТЕЛЬСТВЕ. КОМПЛЕКС SCAD**

Утверждено Методическим советом ТГТУ
в качестве методических указаний для студентов магистрату-
ры, обучающихся по направлению 270800.68 «Строительство»



Тамбов
2014

Рецензент
д.т.н., проф. П.В. Монастырев

Системы автоматического проектирования в строительстве. Комплекс SCAD: Метод. указ./Сост.: С.А. Струлев, А.В. Сузюмов, Тамбов: ТГТУ, 2014. – 30 с.

Утверждено Методическим советом ТГТУ
(протокол № ____ от _____)

Содержание

Введение	стр. 4
1 Общие сведения о среде SCAD	4
2 Работа в программном комплексе SCAD	7
2.1 Структура панели «Меню» в SCAD	8
2.2 Рабочее пространство SCAD	11
2.3 Загрузка программного комплекса	13
3 Создание нового проекта	14
4 Синтез расчетной схемы, ее расчет и анализ результатов	17
4.1 Ввод параметров расчетной схемы	17
4.2 Ввод жесткостных характеристик элементов	19
4.3 Назначение типов конечных элементов	20
4.4 Генерация схемы и задание нагрузок	21
4.5 Выполнение расчета в среде SCAD	25
4.6 Графический анализ результатов расчета	26
5 Печать полученных результатов	
Список использованных источников	30

Введение

Методические указания предназначены для студентов-магистрантов направления «Строительство» и позволяют более полно освоить дисциплину «Информационные технологии в строительстве». Системы автоматического проектирования в строительстве существенно облегчают работу современного проектировщика. Проектно-вычислительный комплекс Structure CAD (далее SCAD) представляет собой интегрированную в Windows систему прочностного анализа и проектирования строительных конструкций, основанную на методе конечных элементов и позволяющую выявить напряженно-деформированное состояние конструкций при статическом и динамическом воздействиях и выполнить ряд функций проектирования. Изложенный материал ориентирован на человека совершенно незнакомого со SCAD и знакомит его с основами работы в данном программном комплексе, основными его функциями и возможностями. Рассмотренный в методических указаниях пользовательский интерфейс представлен так, как он реализован в SCAD v 7.25. В связи с тем что SCAD – современный, сложный и постоянно развивающийся программный комплекс, невозможно отразить все многообразие его возможностей и вновь появляющихся функций. Поэтому данные методические указания направлены на формирование у студента знаний и умений, которые позволят ему легко освоить новые версии программы и успешно выполнять задачи, связанные с его профессиональной деятельностью.

1 Общие сведения о среде SCAD

Проект – информационная среда, связывающая между собой систему функциональных модулей и содержащая полную информацию о расчетной схеме (реализована во внутренних форматах комплекса). При формировании расчетной схемы в проект заносится информация о ней, данные сохраняются на диске в файле с расширением SPR. Имена для проекта и файла создаются при формировании новой схемы. Проект может быть преобразован в текстовое описание. Проект может быть создан путем импорта данных во время которого выполняется обратное преобразование (из текста во внутренние форматы). Эта возможность обеспечивает языковую совместимость с комплексами SCAD DOS, Мираж, Лира и другими совместимыми по входному языку. Также геометрия расчетной схемы может быть реализована в среде AutoCAD с использованием команд LINE, POLYLINE и 3DFACE. При этом создается файл с расширением DXF, нумерация узлов, элементов расчетной схемы и типы элементов назначаются автоматически при импорте схемы в среду SCAD.

Функциональные модули в среде SCAD разделены на четыре группы. В первую группу входят модули, обеспечивающие ввод данных в интерактивном графическом режиме (графический препроцессор) и графический анализ результатов расчета (графический постпроцессор). Модули второй группы служат для выполнения статического и динамического расчет (процессор), а также вычисления расчетных сочетаний усилий, главных и эквивалентных напряжений, реакций, нагрузок на фрагмент схемы, анализа устойчивости. Модули третьей группы предназначены для документирования результатов расчета. В четвертую группу входят модули, служащие для подбора арматуры в ж/б элементах и сечений стальных элементов (проектирующие постпроцессоры). Модульная система позволяет пользователю выбирать свою конфигурацию SCAD, наиболее подходящую для решения стоящих перед ним задач.

Высокопроизводительный процессор позволяет решать задачи статики и динамики с большим количеством степеней свободы (до 392 000). Расчет сопровождается подробным протоколом, который может быть проанализирован как по ходу выполнения расчета, так и после его завершения. Средства прерывания расчета позволяют продолжить его выполнение, начиная с точки прерывания. Система контроля исходных данных выполняет проверку расчетной схемы и фиксирует все обнаруженные ошибки и предупреждения.

Библиотека конечных элементов содержит различные виды стержневых элементов, включая шарнирно-стержневые, рамные, балочного роставерка на упругом основании, позволяет учитывать сдвиг в сечении стержня. Пластинчатые элементы, которые представлены трех- и четырехузловыми элементами плит, оболочек и балок-стенок, могут содержать дополнительные узлы на ребрах и обеспечивают решение задач для материалов с различными свойствами. Кроме того библиотека включает различные виды объемных элементов, набор трех- и четырехузловых многослойных и осесимметричных конечных элементов, а также специальные элементы для моделирования связей конечной жесткости, упругих связей и другие.

Для формирования геометрии расчетных схем в комплексе предусмотрена широкая гамма средств, таких как функции создания схем по параметрическим прототипам конструкций, генерации сеток элементов на плоскости и в пространстве, копирование фрагментов схем, сборки из подсхем и групп, различные функции геометрических преобразований. Графический интерфейс максимально приближен именно к технологии создания и модификации расчетных схем и учитывает особенности обработки информации этого вида.

В комплекс включены параметрические прототипы многоэтажных и одноэтажных рам, ферм с различным очертанием поясов и решеток, балочные роставерки, а также поверхности вращения (цилиндр, конус, сфера и тор).

В процессе их формирования могут быть автоматически назначены условия опирания, типы и жесткости конечных элементов. Библиотека параметрических прототипов постоянно расширяется и совершенствуется.

Специальные средства предусмотрены для создания расчетных моделей, поверхность которых описывается аналитически. Эти средства позволяют автоматически генерировать сетку элементов на поверхности, заданной как функция двух переменных.

Для того, чтобы обеспечить инженеру работу с расчетной схемой в привычной среде используются разбивочные (координационные) оси. На этих осях могут выполняться операции по созданию схемы и ее фрагментации. Они могут быть показаны на всей схеме или на любом ее фрагменте.

Важную роль при создании расчетной схемы играют группы узлов и элементов. Группы – наборы узлов или элементов, обладающие именем, которые могут неоднократно использоваться для выполнения различных операций. Процесс объединения объектов в группы полностью регулируется пользователем. Как правило группы представляют характерные участки конструкции, например, междуэтажные перекрытия, элементы пространственного каркаса, стены и т.п. Группы доступны на всех этапах работы со схемой – при формировании модели, анализе и документировании результатов расчета. Графическая среда построена таким образом, что всегда можно локализовать информацию в рамках одной или нескольких групп узлов и элементов.

Существенное увеличение размерности задач, связанное с усложнением расчетных схем, потребовало пересмотра главных критериев эффективности процесса. В связи с этим возрастает важность функций контроля созданной схемы. Главную роль здесь играет развитая система фильтров а также функции визуализации и фрагментации схемы. Фильтры позволяют отобразить для отображения информацию о расчетной схеме по десяткам критериев. При этом широко используются цветовые средства отображения выбранной информации, которые совместно с фрагментацией позволяют “добраться” до любых параметров независимо от размерности модели.

В крупных проектах возможные объемы результирующей информации могут намного превышать возможности человека по ее анализу. Поэтому, наряду с решением чисто технических задач (улучшение временных параметров), проявляются проблемы, связанные с поиском среди множества элементов и узлов объектов с критическими для данной задачи значениями анализируемого фактора. Реализованные в комплексе система фильтров, функции фрагментации и настраиваемые цветовые шкалы обеспечивают оперативный доступ ко всем видам результирующей информации. При этом имеется возможность выделить ту часть расчетной схемы, на которой реализовались результаты (усилия, перемещения) из заданного диапазона величин.

Результаты расчета могут быть представлены в виде схем перемещений и прогибов, эпюр, изолиний и изополей. Одновременно на схему могут выводиться и числовые значения факторов. Для статических и динамических нагрузений предусмотрена возможность анимации процесса деформирования схемы и записи этого процесса в формате видеоклипа (AVI). Любая графическая информация может выводиться на печать или сохраняться в формате Windows метафайла (WMF). Наряду с результатами расчета средства графического анализа позволяют отобразить на схеме в виде эпюр (для стержневых элементов) или изолиний и изополей (для пластин) результаты работы модуля подбора арматуры в элементах железобетонных конструкций (площадь арматуры в заданном направлении, ширину раскрытия трещин, процент армирования и др.). Все эти возможности определяют удобство обращения с программой и восприятия полученной информации пользователем.

Модули документирования результатов расчета позволяют сформировать таблицы с исходными данными и результатами в текстовом формате или графическом формате, а также экспортировать их в MS Word или MS Excel. Формирование таблиц выполняется с учетом групп узлов и элементов, таблицы можно дополнить комментариями и включить в них графическую информацию. Отчетный документ может редактироваться средствами Windows и приобретать удобную для конкретного пользователя форму (например, в соответствии с принятым в его фирме стандартом), а экспорт в MS Excel дает возможность последующей нестандартной обработки результатов применительно к конкретным обстоятельствам использования.

2 Работа в программном комплексе SCAD

Элементы управления, доступ к данным, операции с окнами (допустимость одновременного присутствия нескольких окон, понятие активного окна и способы активизации, возможность перемещения окна и т.п.) не отличаются от многих других программ интегрированных в Windows.

Основные функции в SCAD выполняются левой кнопкой мыши. Нажатие этой кнопки инициализирует операцию, выбранную в меню, или “вдавливает” изображенную на экране кнопку, на которую указывает курсор. В SCAD используется и правая кнопка мыши. Мышь управляет курсорами. В комплексе используются четыре типа курсора: стандартный курсор – для выбора функции, режима или операции; перекрестье с центральной мишенью – для выбора одного узла или элемента; перекрестье с изображением прямоугольника – для выбора группы узлов или элементов при помощи рамки прямоугольной формы; перекрестье с изображением произвольного многоугольника – для выбора группы узлов или элементов при помощи рамки

произвольной формы. В тех случаях, когда выполняемая операция длится долго, на экран выводится курсор “ожидания” – песочные часы. После завершения операции возвращается прежний курсор.

2.1 Структура панели «Меню» в SCAD

Меню расположено в верхней части окна SCAD под заголовком (рисунок 1) и содержит разделы, набор которых зависит от установленного режима работы.

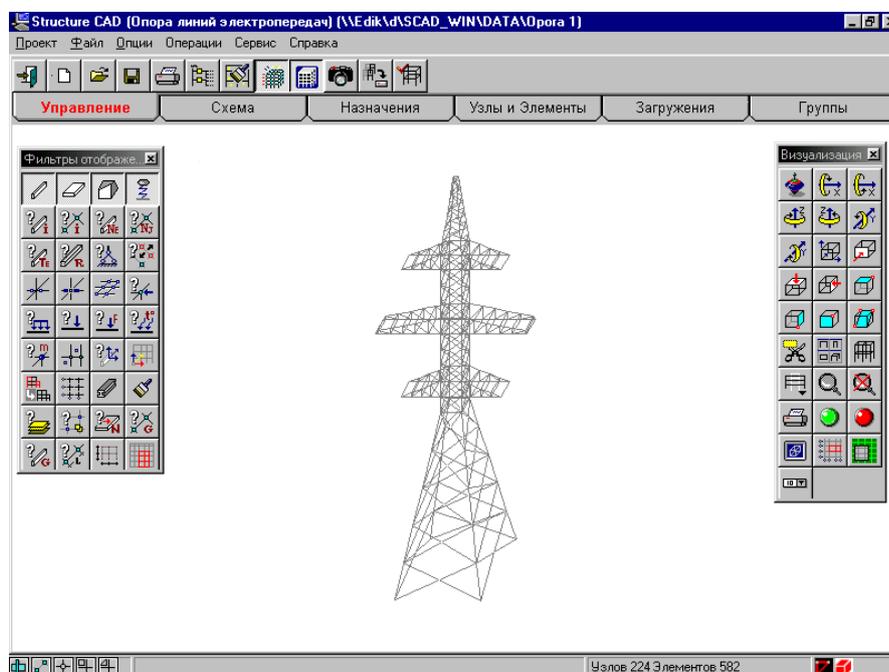


Рисунок 1 – Общий вид рабочего окна SCAD

Меню окна управления проектом. Меню состоит из трех разделов – Проект, Опции, Справка.

Проект. В разделе «Проект» заложены следующие операции:

Новый проект – создание нового проекта;

Открыть проект – чтение ранее созданного проекта;

Прочитать проект из текстового формата (DOS) – загрузка файла исходных данных, созданного средствами операционной системы DOS;

Прочитать проект из текстового формата (Windows) – загрузка файла исходных данных, созданного средствами операционной среды Windows;

Импорт DXF файла – загрузить схему, созданную средствами AutoCAD и представленную в формате DXF;

Сохранить проект – записать проект в файл, не меняя имени файла;

Сохранить проект как... – записать проект в файл с новым именем;

Сохранить данные в виде текста – преобразование данных из внутренних форматов проекта в текстовый файл в форматах входного языка (полученный файл считается созданным средствами Windows);

Закреть проект – закрыть текущий проект;

Выход – завершение работы с программой.

В нижних строках меню записаны имена файлов последних пяти проектов, с которыми работал пользователь. В тех случаях, когда предполагается работа с одним из этих проектов, достаточно выбрать его из меню.

Опции. Раздел «Опции» содержит следующие операции:

Единицы измерения – вызывает диалоговое окно установки единиц измерения. Режим назначения единиц измерения может быть использован только при создании нового проекта. В других случаях – это лишь информация о сделанных назначениях;

Установки принтера – для выбора типа принтера и назначения характеристик вызывается стандартная процедура Windows;

Назначение рабочих каталогов – вызываемое в этом режиме диалоговое окно *Определение рабочих каталогов SCAD* позволяет указать имена каталогов, откуда следует взять проект и куда следует помещать рабочие файлы и результаты. Изменить назначение каталогов можно только при условии, что ни один проект не активен, т.е. перед вызовом операции следует предварительно закрыть активный проект;

Идентификационные данные проекта – этой операцией открывается диалоговое окно *Идентификация проекта*, в котором можно ввести или изменить ранее заданную информацию о проекте;

Настройка графической среды – в одноименном диалоговом окне, которое открывается после указания на этот пункт меню, назначаются параметры настройки графической среды. Они предусматривают установку или отключение режима раздельного отображения пластинчатых элементов, назначение отступа между концом элемента и узлом при объемном отображении профилей стержневых элементов, назначение точности оценки совпадающих узлов, указание количества значащих цифр при графическом отображении результатов расчета, а также параметры управления анимацией перемещений узлов и др.;

Параметры расчета – активизация этого пункта меню вызывает одноименное диалоговое окно установки параметров расчета, которые запоминаться и будут использоваться всякий раз при выполнении расчета по вновь созданному проекту.

Справка. Раздел «Справка» содержит пункты меню, позволяющие получить справочную информацию о комплексе в целом и подробную информацию о подготовке исходных данных, чтении результатов, управлении режимами и т.п. Кроме того в этом разделе выполняется перерегистрация – ввод нового кода ключа защиты.

Меню препроцессора и постпроцессора. Меню состоит из пяти разделов – Проект, Файл, Опции, Операции, Сервис и Справка (рисунок 1).

Проект. Пункты раздела «Проект» те же, что и в меню окна управления проектом.

Файл. В разделе «Файл» выполняются следующие операции:

Предварительный просмотр – позволяет просмотреть графические материалы перед выводом на печать. Включает два варианта – *Альбомный* и *Книжный*, которые соответствуют одноименным опциям установки принтера;

Печать – активизация режима печати;

Выход из режима – выход из препроцессора и переход в окно управления проектом (дерево проекта).

Опции. Раздел «Опции» содержит следующие операции:

Восстановить исходное положение фильтров – используется в тех случаях, когда в результате изменения разрешающей способности экрана окно с фильтрами оказывается вне зоны экрана;

Единицы измерения – показывает установленные для данного проекта единицы измерения (носит информационный характер);

Установки принтера – для выбора типа принтера и назначения характеристик вызывается стандартная процедура Windows;

Настройка графической среды – аналогична одноименной операции в меню окна управления проектом;

Установка экранных шрифтов – эта операция вызывает диалоговое окно *Установка шрифта* и позволяет выбрать вид шрифта, его стиль и размер и цвет для отображения различной информации (номера узлов и элементов, типы жесткости, типы элементов и т.п.) на экране и для печати;

Настройка панели фильтров – выполняется настройка панели фильтров отображения;

Настройка панели визуализации – выполняется настройка панели фильтров визуализации;

Установка шрифта закладок – эта операция позволяет изменить вид и размеры шрифта закладок инструментальной панели.

Операции. Раздел «Операции» содержит пункты меню, которые дублируют кнопки активного раздела инструментальной панели.

Сервис. Раздел «Сервис» в меню препроцессора используется для вызова программ расчета коэффициентов упругого и деформируемого оснований, а также различных калькуляторов (стандартного калькулятора Windows, формульного калькулятора, преобразователя единиц измерений). В постпроцессоре из этого раздела меню можно вызвать наряду с калькуляторами и справочные таблицы с характеристиками бетона и арматуры.

Справка. Раздел «Справка» содержит пункты, позволяющие получить справочную информацию о комплексе в целом и подробные сведения о подготовке исходных данных, чтении результатов, управлении режимами и т.п.

2.2 Рабочее пространство SCAD

Инструментальная панель. Размещается под меню и содержит разделы с элементами управления, набор которых зависит от установленного режима. Переключение страниц выполняется указанием курсора на “закладки” с наименованием разделов. Функции и режимы инструментальных панелей пре- и постпроцессора описаны в соответствующих разделах.

Диалоговые окна. В тех случаях, когда для выполнения операции требуются дополнительные данные или установки, на экран выводится соответствующее диалоговое окно. Диалоговые окна включают различные элементы управления – таблицы, кнопки, поля ввода, списки и т.п. Ввод, удаление или изменение данных выполняется с клавиатуры. Если выход из диалогового окна выполняется нажатием кнопки «ОК», то все выбранные установки запоминаются. Если для выхода использована кнопка «Cancel», то новые установки не сохраняются и при работе будут использоваться выбранные ранее или принимаемые по умолчанию.

Фильтры. Служат для управления отображением расчетной схемы. С помощью фильтров отбираются и фиксируются некоторые однотипные объекты расчетной схемы, с которыми предполагается организовать работу (например, с помощью фильтра можно из всех стержней отобразить только верти-

кальные), назначаются вид и правила отображения характеристик и атрибутов расчетной схемы, а также узлов и элементов. Для более детальной настройки фильтров используются диалоговые окна, которые вызываются указанием курсора на панель фильтров после нажатия *правой* кнопки мыши. Панель *Фильтры отображения* оформлена в виде специального окна, которое содержит набор кнопок для выбора параметров отображения и устанавливается (или закрывается) кнопкой, размещенной в разделе *Управление* инструментальной панели. Это окно может иметь любые размеры и находиться в любой части экрана. Кроме фильтров управления отображением, есть фильтры управления выбором узлов и элементов. Эти фильтры доступны в диалоговом окне *Выбор узлов и элементов*.

Пиктограммы. В инструментальных панелях для инициализации операций используются кнопки с пиктограммами (или как их называют в Windows – иконами). Ограниченное пространство кнопки не всегда позволяет сделать пиктограмму адекватной смыслу операции, которую она символизирует. Для облегчения освоения комплекса и упрощения работы с ним используются различные средства. Во-первых, это информационная строка, в которую в момент попадания курсора в поле кнопки выводится краткое описание соответствующей кнопке операции. Во-вторых, это приведенная ниже система символических изображений в пиктограммах, которая отражает суть операции и является общей для всего комплекса.

-  – ОК – выполнить операцию
-  – отказ от выполнения установленной операции
-  – восстановить исходный вид схемы
-  – запомнить загрузку
-  – функции работы с элементами
-  – буква “R” – жесткостные характеристики
-  – функции работы с узлами
-  – знак “плюс” – добавление узлов или элементов
-  – стрелка влево – возврат удаленных узлов или элементов

-  – знак “минус” – удаление узлов или элементов
-  – знак “деление” – дробление элементов
-  – буква “С” – создание схемы или контура
-  – “вопросительный знак” – отображение или получение информации

Если в правом нижнем углу пиктограммы изображена черная стрелка, направленная вправо, то это означает, что при нажатии на кнопку будет раскрыта группа кнопок управления соответствующим режимом.

2.3 Загрузка программного комплекса

Для того чтобы начать работу с комплексом, необходимо установить курсор на «иконку» SCAD на вашем рабочем столе и дважды нажать левую кнопку мыши. На фоне окна инициализации появится изображение заставки (рисунок 2). Загрузка комплекса продолжается несколько секунд. Об окончании загрузки сигнализирует смена курсора ожидания на рабочий курсор – стрелку.



Рисунок 2 – Окно инициализации SCAD

Окно инициализации содержит меню и инструментальную панель с кнопками управления. Меню состоит из трех разделов – Проект, Опции и Справка, описанных выше.

Инструментальная панель окна инициализации содержит пять кнопок. Четыре первые кнопки дублируют аналогичные функции раздела меню **Проект**, позволяя выполнить соответствующие операции более коротким путем. В тех случаях, когда действие, вызываемое нажатием кнопки, недоступно (например, сохранение проекта до того, как он был создан или открыт) – пиктограмма кнопки отображается в светло-серых тонах. Такие кнопки будут появляться всякий раз, когда какие-либо режимы, функции или операции не могут быть выполнены.

-  - завершение работы
-  - создание нового проекта
-  - открытие ранее созданного
Проекта
-  - сохранение проекта
-  - полноэкранный режим работы

3 Создание нового проекта

Для создания нового проекта установите курсор на одноименную кнопку раздела *Управление* инструментальной панели и нажмите левую кнопку мыши. На экране появляется диалоговое окно *Новый проект* (рисунок 3), в котором задается информация о проекте: наименование, объект, заказчик и т.п., а также назначается тип расчетной схемы. Диалоговое окно *Новый проект*, как и большинство других диалоговых окон, имеет три командные кнопки: ОК, Отмена и Справка.

ОК – нажимается после завершения работы с диалоговым окном и закрывает его с автоматическим сохранением всей введенной информации.

Отмена – выполняется выход из окна без сохранения введенной информации.

Справка – обращение к справочной информации.

Кнопка *Единицы измерения* используется в тех случаях, когда единицы измерения, которые предполагается использовать при подготовке данных и выполнении расчета, отличаются от установленных по умолчанию.

Обратите внимание на возможность выбора *Типа схемы* из списка, приведенного на рисунке 4. Тип схемы определяет состав и максимальное

количество степеней свободы в узлах расчетной схемы и характеризует особенности ее напряженно-деформированного состояния. Назначаемый тип схемы должен включать все необходимые степени свободы для используемых в схеме конечных элементов. По умолчанию устанавливается тип 5 – система общего вида.

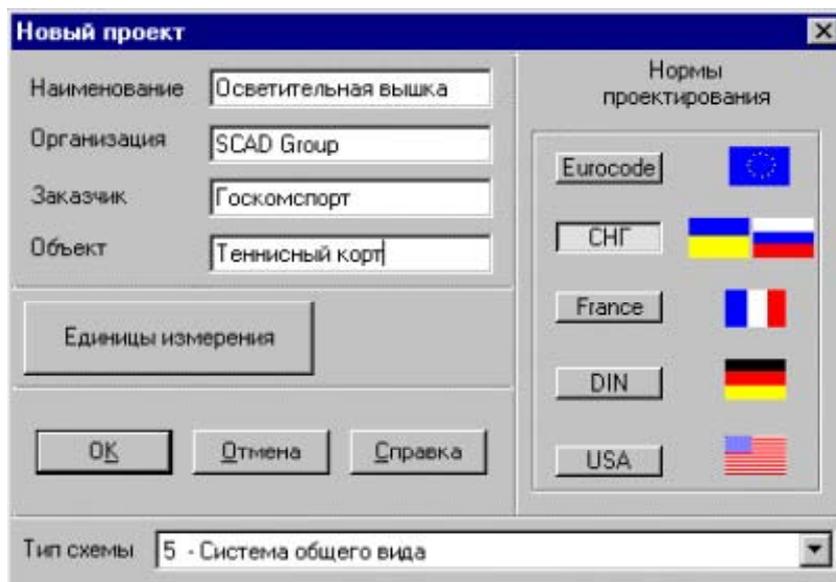


Рисунок 3 – Диалоговое окно «Новый проект»

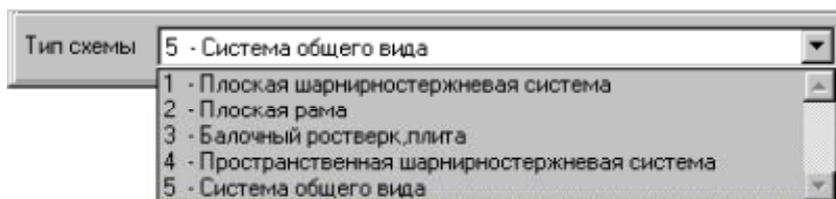


Рисунок 4 – Список выбора типа схемы

В правой части окна *Новый проект* расположены кнопки для выбора норм проектирования железобетонных и металлических конструкций.

При нажатии кнопки *OK* в диалоговом окне *Новый проект* на экран выводится стандартное окно *Сохранение проекта*. В этом окне задается имя файла, которое будет присвоено файлу проекта, всем служебным файлам и файлам с результатами, порождаемым в процессе работы комплекса.

После небольшой паузы, связанной с регистрацией нового проекта в системе, управление передается *Дереву проекта*, которое содержит четыре

раздела первого уровня, фактически – этапы решения задачи: *Исходные данные*, *Расчет*, *Результаты* и *Конструирование*. Эти разделы содержат ссылки на разделы второго уровня, которые детализируют выполняемые операции, например, *Расчетная схема*, *Линейный расчет* или *Печать таблиц*. Разделы *Расчетная схема* и *Специальные исходные данные* включают подразделы с перечнем исходных данных.

Дерево проекта отображает состояние проекта – наличие или отсутствие в проекте соответствующего вида данных, а также доступность функций, например, расчета или анализа данных. Из *Дерева проекта* можно инициализировать любую функцию – ввод данных, расчет или графический анализ результатов. Для этого достаточно установить курсор на *наименование* соответствующей ветви *Дерева проекта* и нажать левую кнопку мыши. В дополнение ко всему *Дерево проекта* отражает структуру всего программного комплекса.

Работу по созданию нового проекта следует начинать с формирования расчетной схемы. Для этого устанавливаем курсор на раздел *Расчетная схема* «Дерева проекта» и нажмем левую кнопку мыши. Управление будет передано графическому препроцессору, с помощью функций которого и выполняется синтез расчетной схемы. Инструментальная панель препроцессора содержит различные функции создания геометрии схемы, назначения граничных условий, нагрузок и др. После запуска препроцессора в инструментальной панели активен раздел *Управление* инструментальной панели препроцессора (рисунок 5).

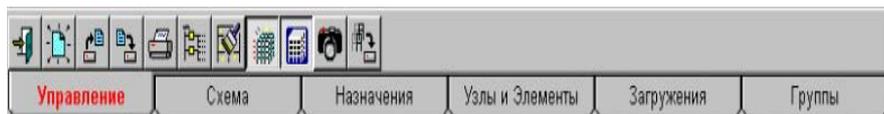


Рисунок 5 – Раздел «Управление» инструментальной панели процессора

В этом разделе расположены четыре кнопки, дублирующие одноименные операции меню *Проект*, а также дополнительные кнопки:



Печать – обеспечивает вывод на принтер установленного на экране изображения схемы;



Выход в Дерево проекта – после нажатия на эту кнопку препроцессор закрывается и управление передается *Дереву проекта*;



Исключение из проекта удаленных узлов и элементов – используется в тех случаях, когда работа по созданию схемы закончена и нет необходимости сохранять информацию об удаленных узлах и элементах. После активизации этой функции все удаленные объекты из схемы исключаются, а оставшиеся получают новые номера (*Упаковка данных*).



Показать/скрыть фильтры – с помощью этой кнопки можно убрать или вернуть на экран панель с фильтрами.



Показать/скрыть панель управления визуализацией – с помощью этой кнопки панель можно убрать с экрана или вернуть на экран.



Сохранение образа экрана – после активизации этой функции сохраняется текущее отображение схемы в формате Windows метафайла (файл с расширением WMF). Полученное изображение можно поместить в отчет с результатами расчета.



Сохранение фрагмента схемы – позволяет сохранить видимый на экране фрагмент расчетной схемы в виде самостоятельного проекта.

4 Синтез расчетной схемы, ее расчет и анализ результатов

В данном разделе методических указаний приводится краткое описание функций создания расчетной схемы, выполнения расчета и анализа результатов. Приведены действия по созданию простейшей схемы, используя только стандартные возможности программного комплекса, так как наша цель – освоить принципы управления. Операции синтеза расчетной схемы и анализа результатов расчета реализованы в единой графической среде. Расположение элементов управления и собственно управление комплексом в окнах этих режимов одинаково. Отличается только набор функций.

4.1 Ввод параметров расчетной схемы

Для ввода параметров расчетной схемы необходимы с помощью левой кнопки мыши активировать вкладку *Схема*. В поле инструментальной панели находятся кнопки создания различного вида расчетных схем. Наждем на первую из них – **Генерация прототипа рамы**.



кнопка **Генерация прототипа рамы**.

На экран выводится диалоговое окно выбора конфигурации рамы (рисунки б). Для назначения прототипа рамы достаточно указать курсором на пиктограмму с изображением прототипа (или на кнопку справа от него) и нажать левую кнопку мыши. В начальном состоянии активна кнопка выбора многоэтажной многопролетной рамы. Подтвердим выбор нажатием кнопки *ОК*.

В появившемся диалоговом окне *Задание параметров регулярной рамы* выполняется ввод геометрических размеров рамы, назначаются жесткости элементов и накладываются связи в узлах. Для ввода размеров исполь-

зуются две таблицы: левая – для описания пролетов и правая – для описания этажей.

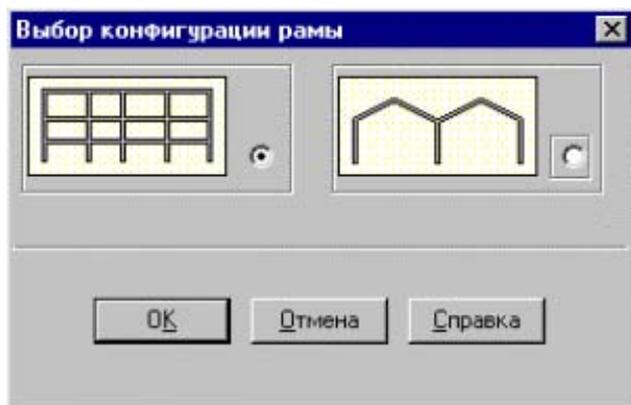


Рисунок 6 – Диалоговое окно «Выбор конфигурации рамы»

В качестве учебной схемы используем пример, приведенный на рисунок 7. Введем в таблицу описания пролетов три пролета по 6 м, а в таблицу описания этажей – двенадцать этажей по 4 м и один этаж высотой 2.8 м (рисунок 7).

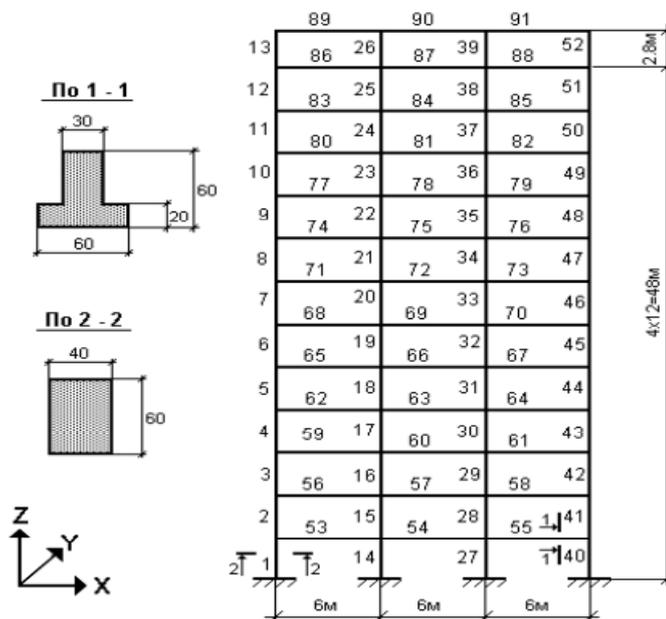


Рисунок 7 – Расчетная схема

После ввода геометрических параметров рамы можно задать связи в узлах (закрепить схему), описать жесткостные характеристики элементов, а также установить тип конечных элементов. Для задания связей воспользуемся набором кнопок, установленных в правой части диалогового окна. Активируем кнопки X, Z и Uz, что означает назначение связей по соответствующим направлениям. Для ввода жесткостных характеристик колонн и ригелей служат кнопки *Колонны* и *Ригели*, а для назначения типов элементов – кнопка *Назначение типа КЭ*.

Работа с таблицами.

Для ввода табличной информации в диалоговых окнах используются универсальные таблицы. При вводе числовых данных в таблицы необходимо соблюдать следующие правила:

- разделителем дробной и целой частей числа является точка;
- при вводе чисел с плавающей запятой можно пользоваться экспоненциальной формой представления, например, 3e-5;
- после завершения ввода числа следует нажать клавишу *Enter*, после чего поле ввода перейдет к следующей ячейке таблицы;
- в тех случаях, когда в диалоговом окне для ввода используются две таблицы, переход к следующей таблице осуществляется нажатием клавиши табуляции – *Tab*;
- введенную в таблицу информацию можно сохранить в системном буфере (*clipboard*), для этого следует выделить строки с сохраняемой информацией и нажать клавиши *Ctrl+Ins*;
- информация в таблицу может быть перенесена из системного буфера, для этого нужно выделить строки, в которые вводится информация, и нажать клавиши *Shift+Ins*;
- для удаления или очистки нескольких строк (блока) или вставки новой строки следует:
 - установить курсор на номер первой строки блока, нажать **левую** кнопку мыши и, не отпуская, протянуть до нужной строки (строки блока будут отмечены);
 - нажать правую кнопку мыши (курсор при этом должен находиться в поле таблицы) и вызвать меню;
 - выбрать в меню необходимую операцию (Удалить блок, Очистить блок, Вставить строку).

4.2 Ввод жесткостных характеристик элементов

При задании параметров рамы предполагается, что введенные значения жесткостных характеристик колонн назначаются всем колоннам. Аналогично назначаются жесткости всем ригелям. Для ввода жесткостных харак-

теристик колонн нажмем на кнопку *Колонны* и выполним операции назначения в появившемся многостраничном диалоговом окне *Жесткости стержневых элементов*. На первой странице этого окна (*Выбор типа жесткости*) следует активизировать опцию *Параметрические сечения*, т.е. жесткостные характеристики элементов будут вычисляться автоматически в зависимости от формы и размеров заданного сечения. После этого укажем на закладку *Параметрические сечения* и зададим характеристики сечения колонн.

Порядок работы следующий:

- из списка *Материал* выбрать марку бетона, например, В15;
- нажать на кнопку с изображением сечения колонны, в данном случае – прямоугольник;
- ввести размеры сечения в полях ввода;
- для контроля введенных данных нажать кнопку *Контроль*;
- если назначения корректны – нажать кнопку *ОК* (окно закрывается).

После выполнения последней операции управление вновь перейдет к диалоговому окну задания параметров рамы. Нажмем кнопку *Ригели* и выполним описанные выше действия для назначения жесткостных характеристик ригелей. Обратите внимание на рисунок 7 – ригели в отличие от колонн имеют тавровое сечение.

4.3 Назначение типов конечных элементов



Рисунок 8 – Диалоговое окно «Назначение типа элемента»

При генерации рамы для всех элементов автоматически устанавливается тип элемента, соответствующий *Типу схемы*, назначенному при создании проекта. Для смены типа элемента нажмем кнопку *Назначение типов конечных элементов* и в появившемся диалоговом окне (рисунок 8) выберем необходимый тип. В нашем случае – тип 2 (стержень плоской рамы). При назначении типа элемента обратите внимание на информацию, помещаемую слева от пиктограммы с изображением элемента. После установки типа элемента нажмем кнопку *ОК* и вернемся в диалоговое окно *Задание параметров регулярной рамы*.

4.4 Генерация схемы и задание нагрузок

Так как все параметры рамы ранее определены, то после нажатия кнопки **ОК** выполняется генерация расчетной схемы. Процесс генерации, т.е. запись всех данных о расчетной схеме в память, может занимать некоторое время и нам следует подождать, пока созданная нами схема не появится на экране.

После того, как схема создана, можно воспользоваться фильтрами управления отображением (см. рис. 1.1) и получить информацию о номерах узлов и элементов, типах жесткости и типах элементов. Для этого следует активизировать соответствующие кнопки на панели фильтров. Такую операцию необходимо проделать чтобы удостовериться в правильности созданной расчетной схемы и ее соответствии техническому заданию.

 – номера элементов

 – типы элементов

 – связи

 – номера узлов

 – типы жесткости

 – отображение узлов

Если нажать все кнопки одновременно, информации на схеме может оказаться слишком много для зрительного анализа. Удобнее выводить ин-

формацию одного вида. При нажатии кнопки **фильтров** (она как бы “утапливается”) соответствующая ей информация выводится на экран. При повторном нажатии кнопка “отжимается” и информация скрывается.

В результате проделанной работы сформирована расчетная схема, заданы связи в узлах, назначены типы конечных элементов и их жесткостные характеристики. Следующим этапом выполнения расчета будет задание нагрузок, действующих на расчетной схеме.

Операции назначения каких-либо параметров узлам или элементам (в том числе значений нагрузки) выполняются только для выбранных объектов. Выбрать объект – значит указать курсором на объект и нажать *левую* кнопку мыши, после чего объект маркируется (отмечается) красным цветом.

По умолчанию активным является курсор для выбора одного узла или элемента – перекрестье с мишенью. Для указания элементов, к которым прикладывается нагрузка, можно воспользоваться им. Но в этом случае следует последовательно выбирать каждый элемент. Если параметры назначаются одновременно нескольким элементам, то удобнее воспользоваться одним из курсоров с рамкой – прямоугольной или полигональной. Переключение на курсор другого вида выполняется с помощью кнопок, расположенных в нижнем левом углу окна, или в диалоговом окне *Выбор узлов и элементов* (рисунок 9). Это окно открывается нажатием *правой* кнопки мыши в рабочем поле. Кроме назначения вида курсора в этом окне можно установить и правила выбора элементов в зависимости от их положения в схеме (фильтры выбора).

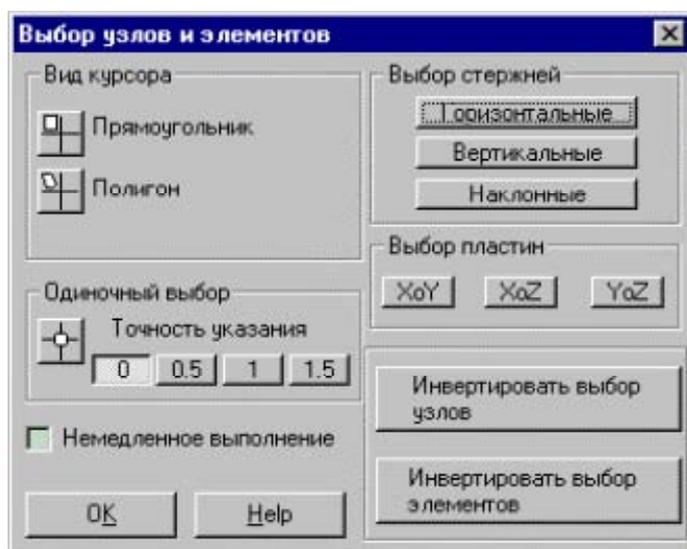


Рисунок 9 – Диалоговое окно «Выбор узлов и элементов»

При этом выполняется следующий порядок действий:

- нажать *правую* кнопку мыши при положении курсора в рабочем поле;
- с помощью кнопок группы *Выбор стержней* назначить ориентацию выбираемых стержневых элементов (например, расположенных вертикально);
- нажать кнопку с изображением курсора – прямоугольной рамки.

В результате окно закроется и на экране появится выбранный курсор. Так как была нажата кнопка *Вертикальные элементы*, то при охвате рамкой всей схемы выбраны будут только колонны. При активной кнопке *Горизонтальные элементы* выбираются только ригели. При использовании курсоров-рамок выбираются только те элементы, все узлы которых попали в рамку.

При повторном указании на выбранный объект выбор отменяется.

Функции задания нагрузок содержатся в разделе *Загрузки* инструментальной панели (рисунок 10).

Режим задания нагрузок включает функции, обеспечивающие автоматическое формирование собственного веса конструкции, задание динамических и статических нагрузок различного вида на узлы и элементы схемы, сохранение назначенных нагрузок в виде схем загрузок или групп нагрузок.

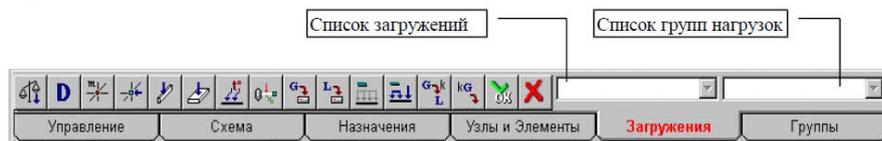


Рисунок 10 – Раздел *Загрузки* инструментальной панели процессора

В качестве примера зададим нагрузки на учебную расчетную схему в виде двух загрузок:

1 – описывает постоянную нагрузку на перекрытиях и покрытиях и собственный вес колонн, которые задаются как равномерно распределенная нагрузка на ригели – 4.36 т/м, и равномерно распределенная нагрузка на колонны – 0.66 т/м. Нагрузки задаются по направлению оси Z общей системы координат;

2 – описывает временную с пониженным нормативным значением нагрузку. Задается аналогично *загрузке 1*, но с другими значениями нагрузок – соответственно 3.57 и 0.54 т/м.

Для задания этих нагрузок воспользуемся следующими кнопками инструментальной панели:

-  - ввод нагрузок на стержневые элементы;
-  - очистка текущего нагружения или группы;
-  - запись нагружения.

Для ввода нагрузок необходимо выполнить следующую последовательность операций:

- нажать кнопку «Ввод нагрузок на стержневые элементы» и задать в открывшемся диалоговом окне (рисунок 11) вид, направление и значение первой нагрузки;
- нажать кнопку *OK* в диалоговом окне;
- выбрать на схеме элементы, которым назначается нагрузка;
- нажать кнопку *OK* в инструментальной панели режима *Загружения*;
- повторить описанные выше действия для второго вида нагрузки первого нагружения и для второго нагружения.

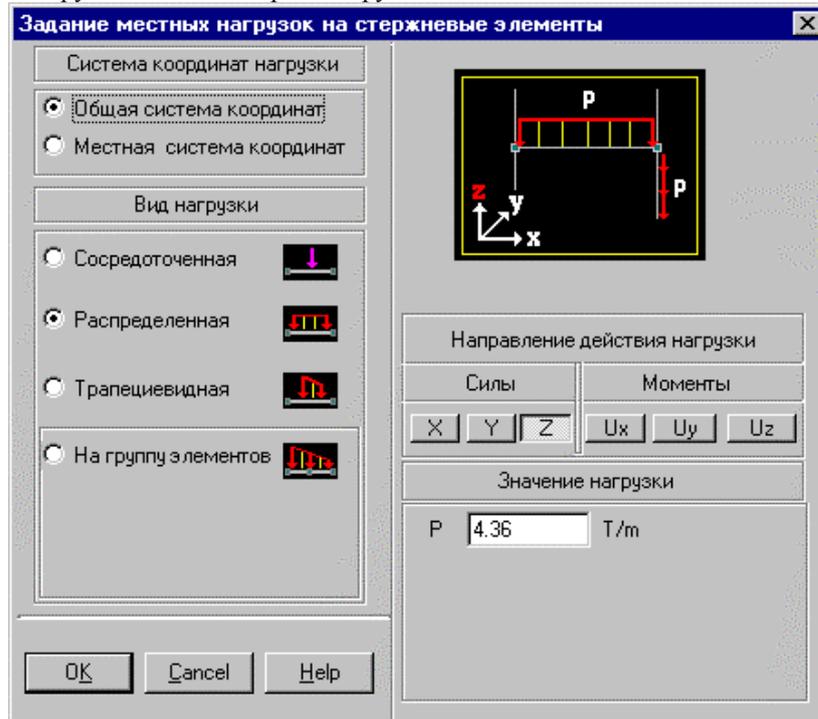


Рисунок 11 – Задание местных нагрузок на стержневые элементы

Если активизировать фильтр отображения распределенных нагрузок, то введенные нагрузки будут показаны на расчетной схеме. При включенном фильтре визуализации значений нагрузки рядом с нагрузкой будет показано ее значение.

Для записи загрузки надо нажать кнопку «запись загрузки» в инструментальной панели. В диалоговом окне *Сохранить загрузку* ввести имя загрузки и нажать кнопку *ОК*. Ввод имени не является обязательным, но эта информация позволяет лучше ориентироваться при анализе исходных данных и результатов расчета. Номер загрузке будет присваиваться автоматически (с согласия пользователя), о чем сообщается в специальном окне.

Перед тем, как ввести следующее загрузку, воспользуйтесь операцией – очистка текущего загрузку. При ее выполнении происходит очистка схемы от нагрузок текущего загрузку. После этого можно готовить новое загрузку. Если при записи загрузку ему присвоить номер ранее созданного, то оно будет записано вместо него.

Следует обратить внимание, что для завершения ввода текущего загрузку его необходимо сохранить (записать в проект). В противном случае загрузку не будет учтено при выполнении расчета.

4.5 Выполнение расчета в среде SCAD

Введенных ранее данных достаточно, чтобы выполнить расчет учебной схемы. Для этого нам необходимо вернуться в *Дерево проекта*. Активируем закладку *Управление* в инструментальной панели и нажмем кнопку «Выйти в экран управления проектом» (*Дерево проекта*).

В группе функций *Расчет* установим курсор в позицию *Линейный* и нажмем левую кнопку мыши. Если позиция *Линейный* имеет вид (“выполнение невозможно”), то расчет недоступен. Причиной этого, как правило, является полное или частичное отсутствие обязательных исходных данных. К ним относятся: нагрузки, жесткостные характеристики и описание геометрии расчетной схемы. В тех случаях, когда данные отсутствуют или заданы не для всех элементов схемы (последнее касается жесткостей), пиктограмма соответствующей ветви *Дерева проекта* в разделе *Расчетная схема* содержит вопросительный знак . Если функция недоступна (например, назначение комбинаций загрузок до ввода самих загрузок), то ее пиктограмма в *Дереве проекта* включает знак “выполнение невозможно” –. Все доступные на текущем шаге работы функции помечаются пиктограммой “действие доступно” (рисунок 12).

Рекомендуем перед выполнением расчета внимательно просмотреть *Дерево проекта* и убедиться в том, что все исходные данные, которые необ-

ходимо задать для расчета, действительно введены и попали в проект. В противном случае нужно вернуться к соответствующей функции подготовки данных и ввести недостающую информацию.

Так как нами создана новая схема, то перед выполнением расчета автоматически выполняется операция сохранения проекта. Необходимо дождаться сообщения о том, что процессор завершил расчет и перейдем к анализу результатов.

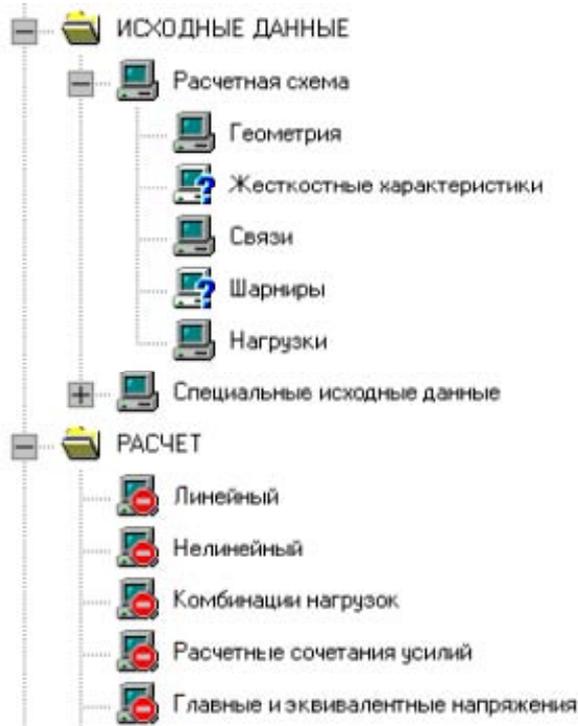


Рисунок 12 – Фрагмент «Дерева проекта»

4.6 Графический анализ результатов расчета

После завершения расчета и указания на кнопку *Выход* в окне процессора управление передается *Дереву проекта*. Если расчет завершился успешно, то следующим шагом будет графический анализ полученного решения. Установим курсор в позицию *Графический анализ* раздела *Результаты* дерева проектов и нажмем левую кнопку мыши. При этом активизируется окно

постпроцессора (рисунок 13), инструментальная панель которого содержит различные функции отображения результатов расчета.

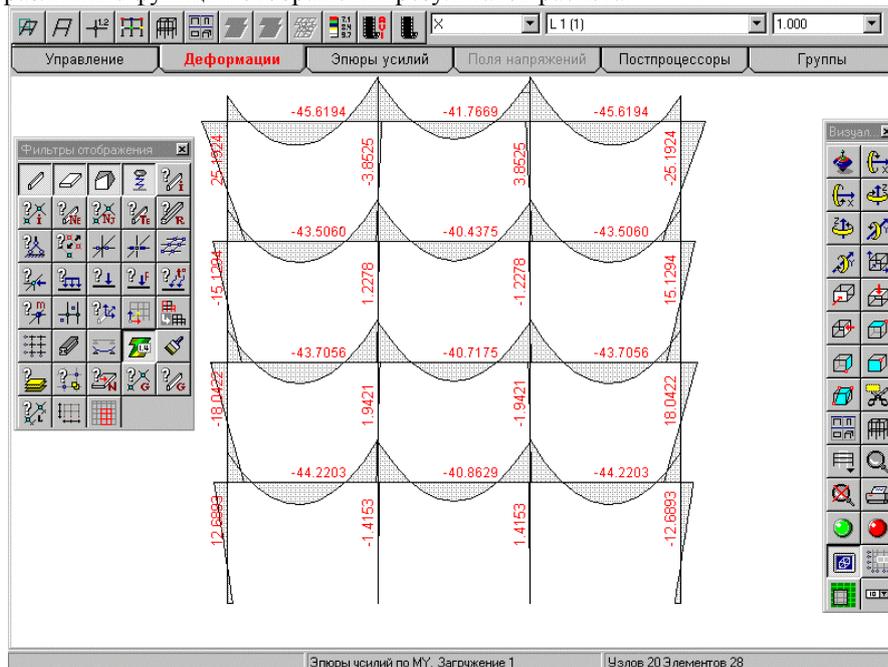


Рисунок 13 – Окно SCAD в режиме графического анализа результатов

Анализ перемещений выполняется с помощью функций раздела *Деформации* (рисунок 14). Для этого необходимо выполнить следующие операции:

- активизировать режим анализа перемещений (закладка *Деформации*);
- выбрать в списке загрузке;
- выбрать направление перемещения;
- нажать одну из кнопок функций отображения результатов.

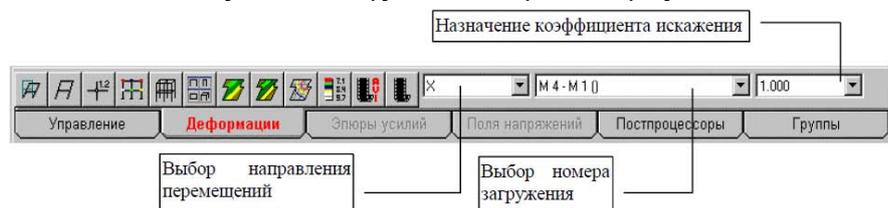


Рисунок 14 – Инструментальная панель режима анализа перемещений

Набор функций отображения позволяет получить различные формы представления результатов расчета перемещений. Каждой форме соответствует кнопка в инструментальной панели. При анализе перемещений от статических нагрузений в стержневых конструкциях можно воспользоваться кнопками:

-  – вывод деформированной схемы на фоне исходной;
-  – вывод деформированной схемы;
-  – вывод значений перемещений в узлах;
-  – цветовая индикация значений перемещений в узлах;
-  – восстановление исходного отображения схемы.

Так как независимо от режима в комплексе сохраняется преемственность функций управления, не будем подробно останавливаться на анализе результатов расчета усилий, а только рассмотрим инструментальную панель раздела *Эпюры усилий* (рисунок 15).



Рисунок 15 – Инструментальная панель режима анализа усилий

В этом режиме для анализа усилий используются кнопки:

-  – вывод эпюр;
-  – цветовая индикация максимальных положительных значений заданного фактора;
-  – цветовая индикация максимальных отрицательных значений заданного фактора.

5 Печать полученных результатов

В программном комплексе SCAD реализованы различные функции текстового представления результатов. В простейшем случае вывод информации на печать может выполняться в форматах редактора WordPad, который поставляется вместе с Windows 95. Для того, чтобы распечатать результаты расчета, следует перейти в *Дерево проекта* и активизировать позицию *Печать таблиц* раздела *Результаты*. В диалоговом окне *Оформление результатов расчета* (рисунок 16) выбираем раздел, например, *Перемещения* и активизируем его. Здесь следует обращать внимание на условные обозначения, стоящие рядом с наименованием раздела. Знаком “минус” отмечаются разделы, по которым результаты отсутствуют, значок в виде компьютера показывает, что в результате расчета получена информация по данному разделу, а значок в виде принтера показывает, что формирование таблиц результатов выполнено, их можно просмотреть и распечатать.

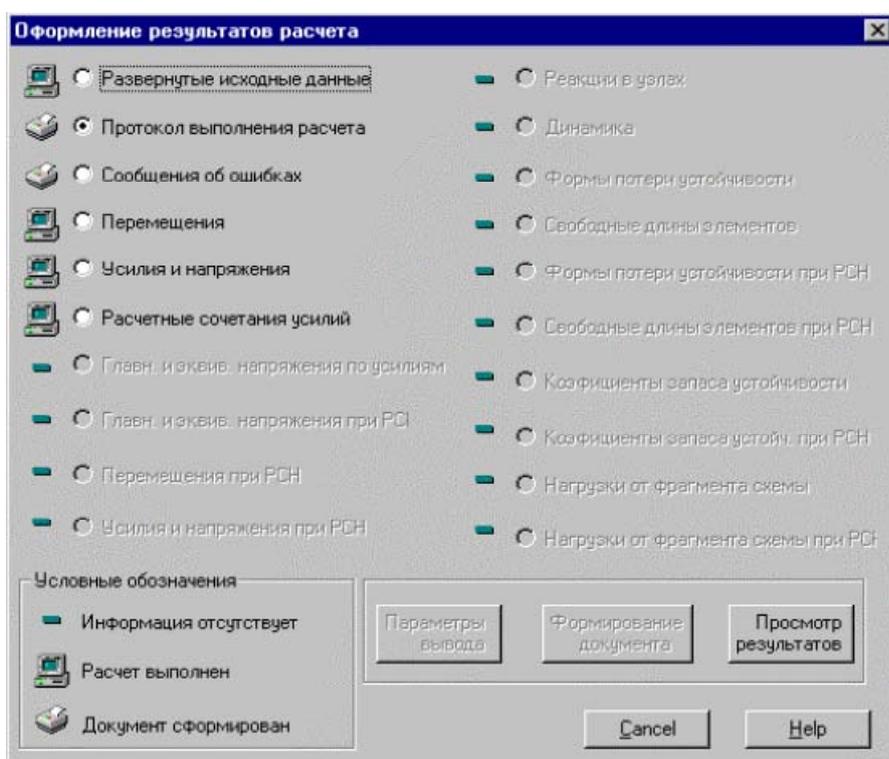


Рисунок 16 – Диалоговое окно «Оформление результатов расчета»

Если вам необходимо распечатать часть результатов, например, перемещения только для указанных узлов, то первой следует нажать кнопку *Параметры вывода* и выполнить настройку на нужные параметры.

С помощью кнопки *Формирование документа* выполняются операции формирования таблиц. Эту кнопку нажимаем второй.

После того, как рядом с выбранным разделом результатов появится значок “принтер”, можно нажимать на кнопку *Просмотр результатов*, вызывая тем самым редактор WordPad с таблицами результатов. Чтобы редактор вызывался автоматически, необходимо выполнить назначение его вида и пути в разделе *Настройка графической среды* меню *Опции*.

Следует отметить, что существенным фактором, влияющим на представление результатов в таблицах, является выбор шрифта (Font). Удобочитаемость таблиц обеспечивают шрифты Courier (Cyrillic) или Courier New (Cyrillic), в которых все буквы и цифры имеют одинаковую ширину (так называемый непропорциональный шрифт).

Список использованных источников

1. Смирнов А. Ф., Методы расчета стержневых систем, пластин и оболочек с использованием ЭВМ. часть 1. / Под ред. А.Ф. Смирнова / М.: Стройиздат, 1976. 248 с.
2. Зенкевич О.К., Анализ трехмерного напряженного состояния./ О.К. Зенкевич, Б.М. Айронс, Ф.К. Скотт, Дж. С. Кемпбелл // — В кн.: Расчет упругих конструкций с использованием ЭВМ. Том 1.— Л.: Судостроение, 1974, с.293-305.
3. Постнов В. А., Метод суперэлементов в расчете инженерных сооружений. /В. А. Постнов, С. А. Дмитриев, Б. К. Емышев, А. А. Родионов.- Л.: Судостроение, 1989.-288с.
4. Елсукова К. П., Сливкер В. И. Некоторые особенности МКЭ при расчете конструкций на упругом основании.— В кн. Метод конечных элементов и строительная механика. Труды ЛПИИБ №349.— с.69-80.