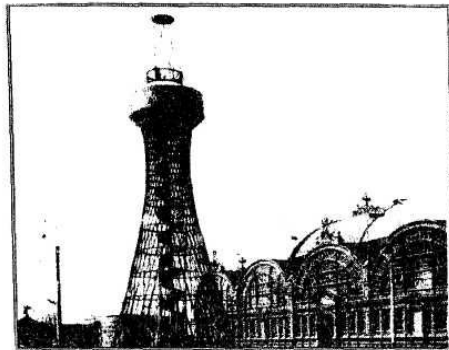


Министерство образования Российской Федерации  
Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет

Л.И. Труш

## **Программно-вычислительный комплекс SCAD для расчета железобетонных конструкций**

Учебное пособие



Л.И.Труш

## **Программно-вычислительный комплекс SCAD для расчета железобетонных конструкций**

Утверждено редакционно-издательским  
советом университета в качестве учебного пособия

Нижний Новгород  
2004

ББК 22.18:38.53  
Т 77  
УДК 624.012.45:681.3

Труш. Л.И Программно-вычислительный комплекс SCAD для расчета железобетонных конструкций: Учебное пособие. – Н.Новгород: Нижегород. гос. архит.-строит. ун-т, 2004. – 101с.

ISBN 5-87941-336-5

Рассмотрены общие принципы по составлению исходной информации для расчета железобетонных конструкций с помощью Программно-вычислительного комплекса SCAD.

Пособие ориентировано на студентов строительных вузов, изучающих программный комплекс SCAD, специализирующихся по кафедре «Железобетонные и каменные конструкции», а также специалистов других направлений, занимающихся вопросами расчета конструкций.

Ил. 80. табл. 10. Библиогр. 12 назв.

ББК 22.18:38.53

ISBN 5-87941-336-5

© ННГАСУ, 2004

## Предисловие

*“В настоящее время произошел коренной перелом во взглядах инженеров, занятых проектированием, на вопрос о применении аналитических методов к решению инженерных задач...”*

*“Размеры и стоимость сооружений непрерывно увеличиваются, вследствие чего возникают жесткие требования большей надежности сооружений. Экономический фактор проектирования в современных условиях получает все нарастающее значение. Конструкция должна быть достаточно проста и надежна и вместе с тем должна быть спроектирована с наибольшей возможной экономией в материале...”*

(Из книги С.Тимошенко “Сопротивление материалов”, 1930 г.)

Указанные задачи и проблемы остаются актуальными и в наши дни. Теперь, имея современные быстродействующие ЭВМ и разработанные для них программные комплексы, каким является SCAD, инженеры получили возможность определять усилия в сложных конструктивных схемах, повторяя расчеты с разными прочностными или геометрическими характеристиками. Кроме того, большая библиотека конечных элементов, с помощью которой создается расчетная модель сооружения, позволяет учесть самые разнообразные силовые и конструктивные факторы.

Необходимо учесть, что работать с программой SCAD можно научиться достаточно быстро, но процессу совершенствования в создании расчетных схем требуется время. Чем основательнее знания о программе SCAD, тем шире возможности в области ее применения.

Настоящее учебное пособие по расчету железобетонных конструкций с помощью вычислительного комплекса SCAD for Windows составлено для студентов специальности 290300 «Промышленное и гражданское строительство», а также для других специальностей, изучающих основы САПР и расчет строительных конструкций на ЭВМ и выполняющих раздел железобетонных конструкций в дипломном проекте.

Для современного поколения молодых инженеров можно напомнить, что еще совсем недавно в 50-х ..60-х годах XX века в инженерных расчетах широко использовались логарифмические линейки, арифмометры «Феликс» и т.п. Затем в 70-х годах появились «большие» ЭВМ с выводом информации при помощи перфорированной 35 мм негативной фотопленки, в 80-х — стали использовать картонные перфокарты.

В то время управление ЭВМ осуществлялось специальным обслуживающим персоналом инженеров-электронщиков, и пользователь получал результаты расчетов на бумажной ленте. В случае обнаружения ошибок приходилось заново пробивать перфокарты и сдавать их диспетчеру вычислительного центра для повторения расчетов. На решение несложной задачи в организационном плане требовалось несколько дней или в лучшем случае часов.

Теперь все изменилось, и пользователь сам работает с ЭВМ, вводит и корректирует информацию, просматривает в графическом режиме эпюры и результаты расчетов на мониторе, выводит информацию на стандартные листы.

На каждом временном этапе использовались специфические приемы обращения и управления с вычислительной техникой. То приходилось двигать деревянный движок линейки, то крутить «с треском» ручку арифмометра «Феликс». В настоящее время необходимо быстро управлять манипулятором — нажимать кнопки мыши, крутить ее колесо, если оно имеется, управляться с клавиатурой (101 кнопка). Но это уже «приятное» занятие.

Пособие ориентировано на студентов, изучающих программный комплекс SCAD, специализирующихся по кафедре «Железобетонные и каменные конструкции», а также специалистов других направлений, занимающихся вопросами расчета конструкций.

## Введение

После появления в конце 1970-х годов программа «LIRA» получила широкое распространение и применение в проектных, научно-исследовательских и учебных институтах. За прошедшие десятилетия разработаны различные модификации программы, которые постоянно совершенствовались и обновлялись.

В каждой версии разработчики предлагали блестящие новинки, делавшие программу все совершенней, насыщая ее новыми возможностями, сохраняя логику «входного» языка, принципы документирования исходных данных и чтение результатов расчета.

В начале 1990-х годов ППП АПЖБК<sup>1</sup>—«LIRA» был переписан для использования на ЭВМ IBM PC, а программа переименована в программу SCAD.

Программно-вычислительный комплекс (ПВК) SCAD - Программа SCAD — одна из современных промышленных программ, предназначенная для численного исследования на ЭВМ напряженно-деформированного состояния и устойчивости конструкций, а также и для автоматизированного выполнения ряда процессов конструирования.

ПВК SCAD обеспечивает исследование и расчеты широкого класса несущих конструкций: пространственные стержневые системы, произвольные пластинчатые и оболочечные системы, мембраны, массивные тела, комбинированные системы - рабно-связные конструкции высотных зданий, плиты на грунтовом основании, ребристые пластинчатые системы, многослойные конструкции. Расчет выполняется на статические и динамические нагрузки.

Статические нагрузки моделируют силовые воздействия от сосредоточенных или распределенных сил или моментов, температурного нагрева и перемещений отдельных областей конструкции. Динамические нагрузки моделируют воздействия от землетрясения, пульсирующего потока ветра, вибрационные воздействия от технологического оборудования, ударные воздействия.

ПВК SCAD реализует численный метод дискретизации сплошной среды методом конечных элементов (МКЭ).

Основными этапами решения задач по МКЭ являются:

- расчленение исследуемой системы на конечные элементы и назначение узловых точек, в которых определяются узловые перемещения;
- построение матриц жесткости;
- формирование системы канонических уравнений, отражающих условия равновесия в узлах расчетной системы;
- решение системы уравнений и вычисление значений узловых перемещений;
- определение компонентов напряженно-деформированного состояния исследуемой системы по найденным значениям узловых перемещений.

В ПВК SCAD включено большое количество типов конечных элементов: стержни, четырехугольные и треугольные элементы плиты, оболочки, четырехугольные и треугольные элементы плиты на упругом основании. Пространственные элементы в виде тетраэдра, параллелепипеда, восьмигранника общего вида. Специальные элементы, моделирующие связь конечной жесткости, упругую податливость между узлами и др.

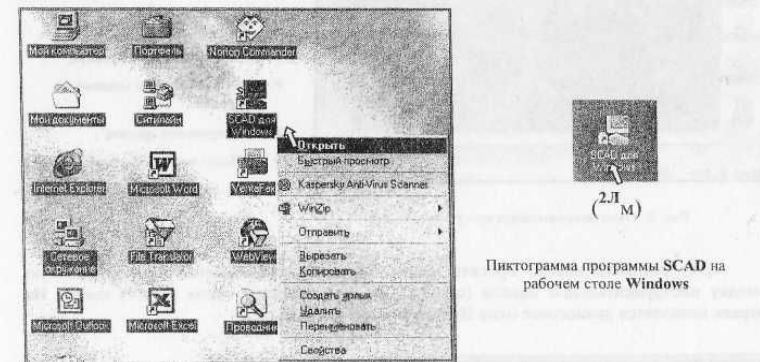
<sup>1</sup> ППП АПЖБК-«ЛИРА» — пакет прикладных программ автоматизированного проектирования железобетонных конструкций надземных и подземных сооружений.

## Первое знакомство

### Начало работы с программой SCAD

При изучении новой программы мы должны знать ее структуру, основные правила и приемы работы, имеющиеся инструменты и принятые обозначения, то есть необходимо изучить «язык» программы SCAD.

Предполагается, что программа SCAD уже установлена на компьютере, и на рабочем столе Windows имеется значок программы, как это видно на рис.1.



Пиктограмма программы SCAD на рабочем столе Windows

Рис. 1. Фрагмент рабочего стола Windows и контекстное меню, которое появляется при нажатии правой кнопкой мыши, когда курсор находится на значке

Для начала необходимо запустить программу SCAD. Это можно сделать несколькими способами<sup>2</sup>:

1. Перевести курсор (белая стрелка) на значок SCAD для Windows, нажать правую кнопку мыши — (М<sup>П</sup>), в контекстном меню на поле **Открыть** нажать левую кнопку мыши (Л<sup>М</sup>);
2. Нажать левой кнопкой мыши (быстро) два раза (2Л<sup>М</sup>) на значке SCAD для Windows;
3. На панели задач Windows нажать кнопку Пуск, выбрать команду Программы в меню Пуск, а затем перевести курсор последовательно по меню на SCAD\_win и затем на SCAD для Windows.

<sup>2</sup> Имеются еще несколько вариантов запуска программы, которые здесь не рассматриваются из-за своей нерациональности.

После старта программы на экране монитора появляется курсор в виде песочных часов, затем на несколько секунд появляется заставка программы SCAD и открывается первое окно инициализации программы для выбора одного из возможных вариантов действий согласно инструментальной панели SCAD (рис. 2).

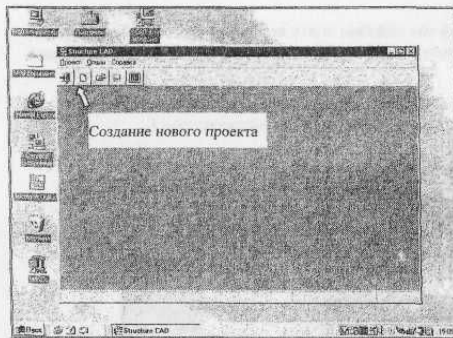
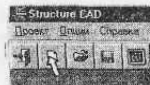


Рис. 2. Окно инициализации программы SCAD



Инструментальная панель с кнопками управления:

- Завершение работы;
- Создание нового проекта;
- Открытие ранее созданного проекта;
- Сохранение проекта<sup>3</sup>;
- Полноэкранный режим работы.

Для создания нового проекта курсор мыши устанавливается на одноименную кнопку инструментальной панели (см. Рис. 2), и нажимается левая кнопка мыши. На экране появляется диалоговое окно **Новый проект** (рис. 3).

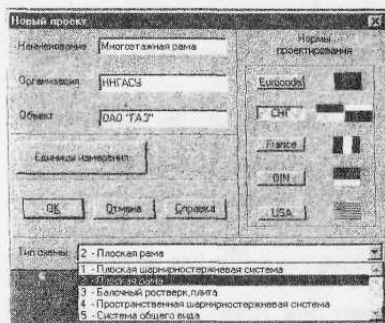


Рис. 3. Диалоговое окно **Новый проект**

В окне **Новый проект** задается информация о проекте: наименование, организация, объект.

Кроме этого, здесь выбираются единицы измерения и тип расчетной схемы сооружения.

Именуются три командные кнопки:

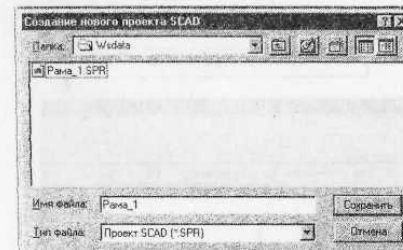
**Ок** — нажимается после завершения работы с окном;

**Отмена** — выход из окна;

**Справка** — обращение к справочной системе.

<sup>3</sup> «Серые» кнопки появляются тогда, когда какая-либо операция или функция не может быть выполнена.

При нажатии кнопки **ОК** на экране появляется окно для записи названия нового файла, в котором будут записываться исходные данные для расчетной схемы.

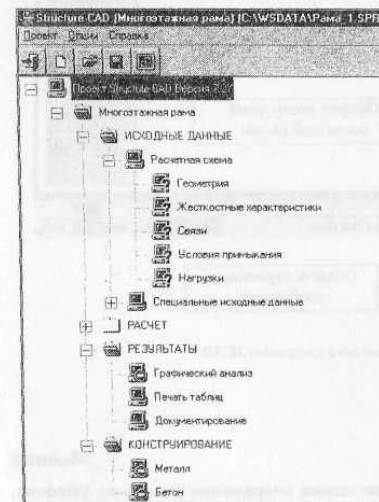


После записи имени файла, например **Рама\_1.SPR**, следует нажать кнопку **Сохранить**.

В папке **WSDATA** хранятся старые и записываются новые файлы с исходными данными всех пользователей.

Рис. 4. Окно записи имени файла, в системную папку **WSDATA**

Сохранив на диске **C:\** в папке **WSDATA** название файла **Рама\_1.SPR**, на экране появляется **Дерево проекта** (рис. 5).



**Дерево проекта** иллюстрирует структуру программы SCAD (см. рис. 5) и содержит четыре раздела первого уровня — это этапы решения задачи:

- Исходные данные,
- Расчет,
- Результаты,
- Конструирование.

Здесь последовательно задаются исходные данные для расчета несущей системы.

Рис. 5. Окно управления проектом — **Дерево проекта**

Дерево проекта отображает состояние выполнения поставленной задачи: например, наличие или отсутствие исходных данных, а также доступность определенных функций по расчету.



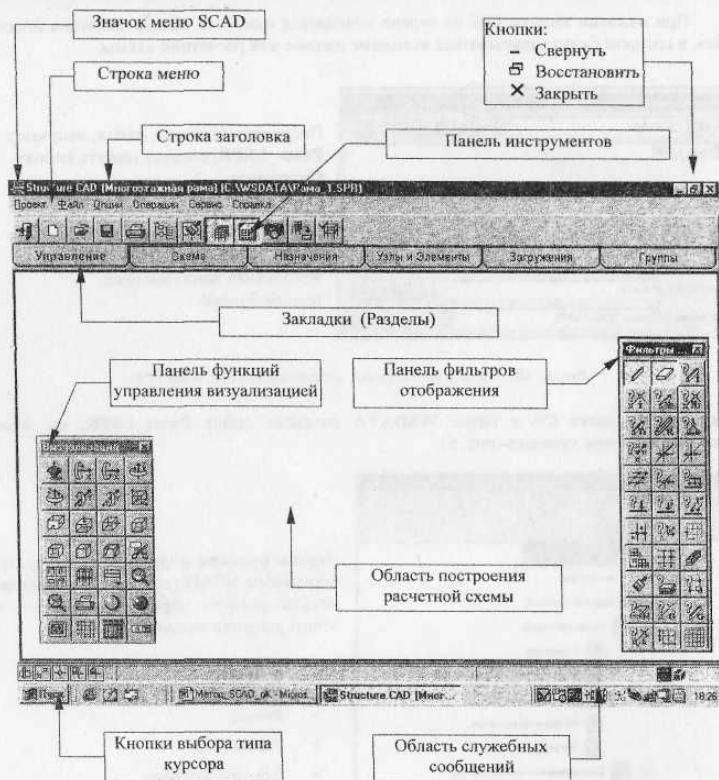


Рис. 6. Общий вид рабочего окна программы SCAD

## Общие правила работы:

### Мышка

Все программы, работающие под управлением операционной системы **Windows**, предусматривают использование основного средства — мыши, с помощью которой выполняются большинство операций. Основные функции выполняются с помощью левой кнопки мыши — (ЛМ);





Нажатие на эту кнопку инициализирует операцию, выбранную в меню, или «вдавливает» нарисованную на экране кнопку, на которую указывает курсор.

Операция «дважды нажать левую кнопку мыши» или «двойной щелчок» подразумевает два нажатия на эту кнопку с очень коротким интервалом — (2<sup>ЛМ</sup>). Интервал нажатия можно установить при настройке среды **Windows**.

В **SCAD** используется и правая кнопка мыши — (М<sup>П</sup>), с помощью которой вызывается контекстное меню.

### Курсоры

Мышь управляет курсорами. В программе **SCAD** используется четыре типа курсора:

-  - стандартный курсор среды Windows - 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 с помощью рамки прямоугольной формы;
-  - перекрестье с изображением произвольного многоугольника - для выбора группы узлов или элементов с помощью рамки произвольной формы.

В тех случаях, когда выполняемая операция занимает длительное время, на экран выводится курсор «ожидания» - песочные часы. После завершения операции восстанавливается предыдущее состояние курсора.

### Меню программы SCAD

Меню расположено в верхней части окна **SCAD** под заголовком и включает ряд разделов, набор которых зависит от установленного режима работы (см. рис. 6). Под выражением «Выбрать в меню раздел...» подразумевается следующая последовательность операций:

- установить курсор на раздел меню и нажать на левую кнопку мыши — (ЛМ);
- после раскрытия списка подразделов движением мыши по вертикали переместить отметку на строку с наименованием нужного режима и нажать левую кнопку мыши — (ЛМ).

## Меню окна Управление проектом

Меню содержит три раздела: - Проект, Опции, Справка.

Раздел **Проект** включает 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, естественно, считается созданным средствами Windows);
- **Закрыть 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.

Раздел **Опции** включает следующие операции:

- **Единицы измерения** — вызывает диалоговое окно установки единиц измерения. Режим назначения единиц измерения может быть использован только при создании нового проекта.
- **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 в том случае, если ни один проект не активен.
- **Нормы проектирования** — выбор норм проектирования. (В действующей версии программы функция не реализована).
- **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. Включается/отключается установка режима раздельного отображения пластинчатых элементов, назначение отступа между концом элемента и узлом при объемном отображении профилей стержневых элементов, необходимости «заливки» распределенной нагрузки на стержневых элементах, назначение точности оценки совпадающих узлов, указание количества значащих цифр при графическом отображении результатов расчета, а также параметры управления анимацией перемещений узлов по результатам статического и динамического расчетов и др.
- **Параметры расчета** - активизация этого пункта меню вызывает одноименное диалоговое окно установки параметров расчета, которые запоминаются, и будут использоваться всякий раз при выполнении расчета по вновь созданному проекту.

Раздел **Справка** включает пункты меню, позволяющие получить справочную информацию о комплексе в целом и подробную информацию о подготовке исходных данных, чтении результатов, управлении режимами и т.п.

## Меню препроцессора и постпроцессора

Строка меню включает пять разделов:

**Проект, Файл, Опции, Операции, Сервис и Справка.**



Рис. 7. Верхняя часть окна программы SCAD. Состав строк Меню и Инструментальная панель с кнопками управления

### Проект

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

### Файл

Раздел **Файл** включает следующие операции:

- **Предварительный просмотр** - позволяет просмотреть вид графических материалов перед печатью на принтер.
- **Печать** - активизация режима печати;
- **Выход из режима** - выход из препроцессора и переход в окно управления проектом (дерево проекта).

### Опции

Раздел **Опции** включает следующие операции:

- **Восстановить исходное положение фильтров** — эта операция полезна 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 назначение характеристик вызывается стандартная функция Windows — Настройка принтера;
- **Настройка графической среды** — аналогично одноименной операции в меню экрана управления проектом;
- **Установка экранных шрифтов** — эта операция вызывает диалоговое окно **Установка шрифта** и позволяет выбрать вид шрифта, его размер и цвет для отображения различной информации (номера узлов и элементов, типы жесткости, типы элементов и т.п.) на экране и при печати;
- **Настройка панели фильтров** — с помощью этой операции выполняется настройка панели фильтров отображения;
- **Настройка панели визуализации** — с помощью этой операции выполняется настройка панели фильтров визуализации;
- **Установка шрифта закладок** — эта операция позволяет изменить вид и размеры шрифта закладок инструментальной панели.

### Операции

Раздел **Операции** включает пункты меню, которые дублируют кнопки активного раздела инструментальной панели.

### Сервис

Раздел **Сервис** есть только в меню препроцессора и используется для вызова программ расчета коэффициентов упругого и деформируемого оснований.

### Справка

Раздел **Справка** включает пункты, которые позволяют получить справочную информацию о комплексе в целом и подробную информацию о подготовке исходных данных, чтении результатов, и т.п.

### Инструментальная панель

Инструментальная панель размещается под меню и включает ряд разделов с элементами управления, набор которых зависит от установленного режима. Переключение страниц выполняется указанием курсора на “закладки” с наименованием разделов.

### 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. В случае если выход из диалогового окна выполняется нажатием на кнопку ОК, то все выбранные установки запоминаются. Если для выхода использована кнопка Cancel (Отмена), то новые установки не сохраняются, и при работе будут использоваться сделанные ранее или принимаемые по умолчанию.

### Фильтры

Фильтры (рис. 6) служат для управления отображением расчетной схемы. С их помощью отбираются и фиксируются некоторые однотипные объекты расчетной схемы, с

которыми предполагается организовать работу (например, с помощью фильтра можно из всех стержней отобрать только вертикальные), 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 на правую кнопку 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 находится 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). 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 приписанной кнопке операции.

Во-вторых, это приведенная ниже система символьных обозначений в пиктограммах, которая отражает суть операции и является общей для комплекса.

Если в правом нижнем углу пиктограммы изображена черная стрелка направленная вправо, например:

 - Узлы ... (▶ - значок указывает на разворачивающееся меню для функции ввода узлов расчетной схемы), это означает, что при нажатии на кнопку будет раскрыта группа кнопок управления соответствующим режимом.

### Разделы комплекса SCAD

Разделы комплекса SCAD соответствуют закладкам рабочего окна (см. рис. 6), которые имеют названия:













- ✓ **Управление.**
- ✓ **Схема.**
- ✓ **Назначение.**
- ✓ **Узлы и Элементы.**
- ✓ **Загрузки.**
- ✓ **Группы.**

На каждой из закладок имеется своя индивидуальная панель инструментов с кнопками, с помощью которых осуществляются соответствующие операции и действия с расчетной схемой.

## Раздел Управление


















Рис. 8. Раздел Управление инструментальной панели препроцессора

-  — Выход из программы SCAD.
-  — Создание нового проекта.
-  — Открытие существующего проекта.
-  — Сохранение текущего проекта.
-  — 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.
-  — Упаковка данных - исключение из проекта удаленных узлов и элементов. Эта функция 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.
-  — Показать/скрыть фильтры. С помощью этой кнопки можно убрать с экрана панель с фильтрами или вернуть ее на экран.
-  — Показать/скрыть панель управления визуализацией. С помощью этой кнопки панель можно убрать с экрана или вернуть ее на экран.
-  — Сохранение образа экрана. После активизации этой функции выполняется сохранение текущего отображения схемы в формате метафайла (файл с расширением \*.WMF). Полученное изображение можно поместить в отчет с результатами расчета.
-  — Сохранение фрагмента схемы - функция позволяет сохранить видимый на экране фрагмент расчетной схемы в виде самостоятельного проекта.
-  — Экспресс-контроль расчетной схемы.

## Раздел Схема



Рис. 9. Раздел Схема инструментальной панели препроцессора

-  — Генерация прототипа рамы. Создание расчетной схемы рамы по разработанным параметрическим прототипам конструкций. Целесообразно использовать при регулярных несущих системах.
-  — Генерация прототипа фермы. Создание расчетной схемы фермы с помощью имеющейся библиотеки прототипов ферм по очертанию поясов и схеме решетки.
-  — Дублирование вдоль оси Y. Кнопка позволяет создавать пространственные конструкции путем дублирования поперечника несущей системы.
-  — Генерация прямоугольной сетки пластинчатых элементов. С помощью этой функции может быть создана прямоугольная сетка с переменным или постоянным шагом, расположенная в плоскости  $XoY$  или  $XoZ$ .
-  — Генерация балочного ростверка. Возможно задавать схему ростверка открытого по контуру (т.е. с консолями) и замкнутого по контуру.
-  — Создание поверхности вращения: цилиндра, конуса, сферы и тора. Расчетная схема может создаваться из стержневых или пластинчатых элементов.
-  — Формирование поверхности вращения по заданной формуле.
-  — Формирование пространственных поверхностей по аналитическим формулам.
-  — Задание сетки координационных (разбивочных) осей.
-  — Геометрические преобразования. Функции переноса, поворота вокруг заданной оси, масштабирования, зеркального отражения.
-  — Копирование расчетной схемы.
-  — Копирование фрагмента расчетной схемы.
-  — Удаление схемы.
-  — Сборка схемы из нескольких схем.
-  — Генерация треугольной сетки элементов на плоскости. Автоматическая триангуляция замкнутой области произвольной формы.



## Раздел Назначение



Рис. 10. Раздел Назначение инструментальной панели

- Назначение жесткостных характеристик стержневым, пластинчатым и объемным элементам.
- Назначение связей в узлах.
- Назначение типов элементов. Функция позволяет назначить или заменить тип конечных элементов.
- Ввод или удаление жестких вставок. Жесткие вставки могут описываться двумя способами: в общей системе координат расчетной схемы или в местной системе координат по любому направлению.
- Ввод шарниров. По умолчанию считается, что взаимный поворот или свободное линейное смещение вокруг или вдоль местной оси отсутствует.
- Удаление шарниров.
- Назначение угла ориентации главных осей инерции.
- Назначение промежуточных сечений по длине стержневых элементов для вычисления усилий.
- Назначение объединенных перемещений.
- Изменение ориентации местной оси  $X_1$  стержней.
- Изменение ориентации местной оси  $Z_1$  пластин.
- Назначение направления осей выдачи усилий.
- Выбор элементов для расчета реакций в узлах.
- Удаление дублирующихся типов жесткости.
- Назначение геометрически-нелинейных элементов.
- Ввод и назначение параметров односторонних связей. Элементы данного типа используются только при выполнении нелинейного расчета.
- ОК - выполнить операцию.
- Отказ от выполнения установленной операции.

## Раздел Узлы и Элементы

### Узлы




Рис. 11. Раздел Узлы и Элементы инструментальной панели

- При нажатой кнопке — Узлы инструментальной панели разворачивается дополнительное меню, предназначенное для ввода и редактирования узлов расчетной схемы.
- Узлы ... ( — значок указывает на разворачивающееся меню для функции ввода узлов расчетной схемы).
  - Элементы ...
  - Удаление узлов. Одновременно с удалением узлов удаляются и примыкающие к ним элементы.
  - Восстановление удаленных узлов.
  - Ввод узлов.
  - Ввод дополнительных узлов между узлами. Возможно выполнить одну из трех операций:
    - > ввод нескольких узлов на равном расстоянии;
    - > ввод одного узла, делящего интервал в заданном соотношении;
    - > ввод одного узла на заданном расстоянии от первого выбранного.
  - Перенос узлов.
  - Объединение совпадающих узлов.
  - Генерация узлов по дуге.
  - Перенос начала координат на данный узел.
  - Ввод узлов на заданном расстоянии от отмеченных узлов.
  - Перенос одного узла в другой.
  - Отметка узлов.
  - Генерация узлов между разбивочными осями.
  - Упаковка данных.
  - ОК - выполнить операцию.
  - Отказ от выполнения установленной операции.
  - Отмена переноса узлов.



Рис. 12. Раздел Узлы и Элементы инструментальной панели

При нажатой кнопке  — **Элементы** инструментальной панели — разворачивается дополнительное меню, предназначенное для ввода и редактирования элементов расчетной схемы.









































-  — Элементы ...
-  — Добавление пластины — плоского элемента.
-  — Добавление стержней.
-  — Добавление объемных элементов.
-  — Удаление элементов.
-  — Восстановление удаленных элементов.
-  — Добавление стержней с учетом промежуточных узлов.
-  — Разбивка стержня.
-  — Ввод нуль-элементов.
-  — Ввод связей конечной жесткости.
-  — Ввод упругих связей.
-  — Генерация элементов по дуге.
-  — Объединение стержней.
-  — Отметка элементов.
-  — Объединение совпадающих элементов.
-  — Разделение элементов.
-  — Упаковка данных.
-  — Дробление пластин.
-  — Присоединение дополнительных узлов к элементам.
-  — Дробление стержней с учетом промежуточных узлов.
-  — ОК - выполнить операцию.
-  — Отказ от выполнения установленной операции.



Рис. 13. Раздел Загрузки инструментальной панели






-  — Автоматическое задание собственного веса.
-  — Ввод параметров динамических нагрузок.
-  — Задание динамических нагрузок.
-  — Задание узловых нагрузок.
-  — Задание нагрузок на стержневые элементы.
-  — Задание нагрузок на пластинчатые элементы.
-  — Задание температурных нагрузок.
-  — Задание воздействий вида заданные перемещения.
-  — Запись группы нагрузок.
-  — Запись загрузки.
-  — Снять все нагрузки. (Очистить расчетную схему от нагрузок).
-  — Удаление нагрузок.
-  — Сборка загрузок из групп нагрузок.
-  — Назначения коэффициентов группам нагрузок.
-  — Упаковка загрузок.
-  — ОК - выполнить операцию.
-  — Отказ от выполнения установленной операции.
-  — Выбор загрузки.
-  — Выбор группы нагрузок.



## Раздел Группы



Рис. 14. Раздел Группы инструментальной панели

-  — Отметка группы узлов.
-  — Отметка группы элементов.
-  — Сохранение/модификация группы.
-  — Отказ от выполнения установленной операции.
-  — Сброс всех отметок.

**Группы** — это именованные наборы узлов или элементов, которые могут неоднократно использоваться для выполнения различных операций: назначения жесткостных характеристик, связей нагрузок, а также наравне со схемами участвовать в режиме сборки. Принцип объединения объектов в группы и задание имен групп полностью регулируется пользователем.

## Пример расчета многоэтажной рамы

Рассмотрим подготовку исходной информации на примере многоэтажной железобетонной рамы (рис. 15), выделенной из пространственного каркаса промышленного здания. Такой прием обычно применяется в регулярных системах, когда все поперечные рамы работают примерно в одинаковых условиях.

Подготовка исходной информации для любой задачи по расчету сооружений состоит из следующих этапов:

- I. Выбор статической расчетной модели.
- II. Выбор типов конечных элементов и разбивка расчетной модели на конечные элементы.
- III. Подсчет нагрузок от различных их видов (постоянных, временных и др.), определение параметров температурных или динамических воздействий.

- Первый этап — выбор статической расчетной модели, включая назначение геометрических и деформативных параметров сооружения и отдельных элементов — это наиболее ответственный этап, от которого зависят результаты расчета: величины усилий и их распределение в несущей системе. Здесь главным образом проявляется инженерная интуиция, накопленный практический опыт.
- Второй этап — выбор типов конечных элементов и разбивка расчетной модели на конечные элементы. Данный этап, как и предыдущий, является подготовительным. Несмотря на то, что программный комплекс SCAD для регулярных систем автоматически формирует расчетную схему и разбивает ее на конечные элементы, необходимо выполнить на бумаге подробный чертеж рамы с постановкой номеров узлов, номеров элементов, типов (номеров) жесткостей, геометрических размеров. Отметить узлы с креплениями к основанию, т.е. определить направление линейных и угловых связей, обозначить шарнирные узлы или возможные другие граничные условия (см. рис. 15). Данные положения рекомендуется выполнять как в период освоения программного комплекса, так и в дальнейшей практической деятельности. В этом случае есть дополнительные положительные стороны, связанные с возможностью сравнения и проверки заданных расчетных схем с нагрузками и расчетных схем, сформированных графическим способом. Эти требования невозможно осуществить для случая сложной пространственной несущей системы, например, при расчетах оболочек, куполов, структурных стержневых конструкций, где надо положиться на возможности программы SCAD.

- Третий этап — подсчет расчетных значений нагрузок от различных видов (постоянных, временных и др.) нагрузок. В данном примере на расчетных схемах приведены некоторые условные (отвлеченные) виды нагрузок, которые показывают возможности программного комплекса и правила записи их параметров в соответствующие поля диалоговых окон исходных данных. Одновременно рассматриваются вопросы по составлению возможных схем загружений постоянными и временными нагрузками для последующих вычислений с помощью программы наиболее невыгодных расчетных сочетаний усилий (PCY).

В условиях реального проектирования или при исследовании напряженно-деформированного состояния несущей системы все возможные варианты нагрузок разделяются на отдельные схемы:

- ✓ 1-я схема (постоянные нагрузки);
- ✓ 2-я ... n (временные нагрузки на отдельных пролетах);
- ✓ n+1 (ветер слева);
- ✓ n+2 (ветер справа) и так далее.

В данном примере на рис. 16 приведены постоянные погонные (на 1 п.м) расчетные нагрузки от собственного веса колонн и ригелей, которые подсчитываются автоматически.

На рис. 17 (2-я схема) показаны постоянные расчетные нагрузки от веса перекрытий и покрытия, подсчитанные с грузовой полосы, приходящейся на ригель.

На рис. 18 (3-я схема) приведены различные виды узловых, распределенных нагрузок и температурных воздействий, которые в данном примере условно отнесены к временным нагрузкам.

На рис. 19 (4-я схема) показана узловая горизонтальная нагрузка, изменяющаяся по линейному закону.

На рис. 20 и 21 (5-я и 6-я схемы) приведены соответственно динамические нагрузки от пульсации ветра и сейсмического воздействия на сооружение. Массы перекрытий вычисляются автоматически с учетом приведенных схем нагрузок.

Одновременно с постановкой задачи необходимо точно представлять положение и направление **общих и местных координатных осей** и **правило знаков** для действующих на сооружение узловых и местных нагрузок. Для стержневых элементов направления общих и местных осей приведены в Приложении Б. Для других типов конечных элементов направления общих и местных координатных осей можно найти в справочном разделе программы SCAD.

На рис. 15 показана плоская монолитная железобетонная рама и принятая для данного сооружения расчетная схема с разбивкой на стержневые конечные элементы: колонны (номера 1...15) и ригели (номера 16...25). Узлы пересечения стержней пронумерованы цифрами (номера 1...18).

По концам ригелей приняты абсолютно жесткие вставки длиной по 0,3 м с каждой стороны. Жесткие вставки на колоннах только в данном примере условно не учитываются. Ригели покрытия имеют шарнирное опирание на колонны.

В реальном проектировании необходимо учитывать жесткие вставки как на горизонтальных элементах — ригелях, так и на вертикальных — колоннах. Рекомендации по назначению длин жестких вставок в сборных и монолитных рамах см. Приложение В.

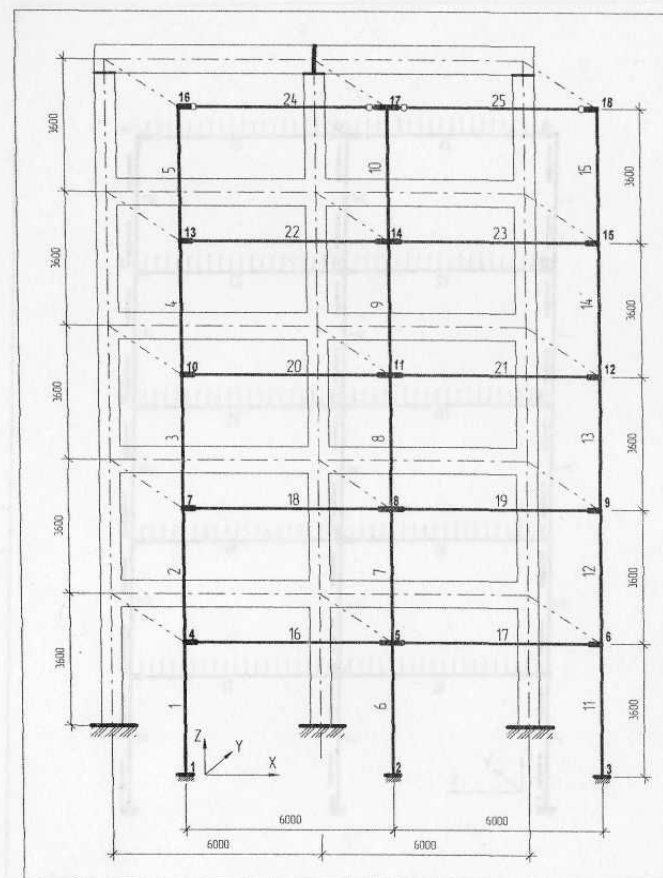


Рис. 15. Монолитная железобетонная рама промышленного здания. Расчетная схема рамы. (Цифрами обозначены номера узлов и номера конечных элементов)

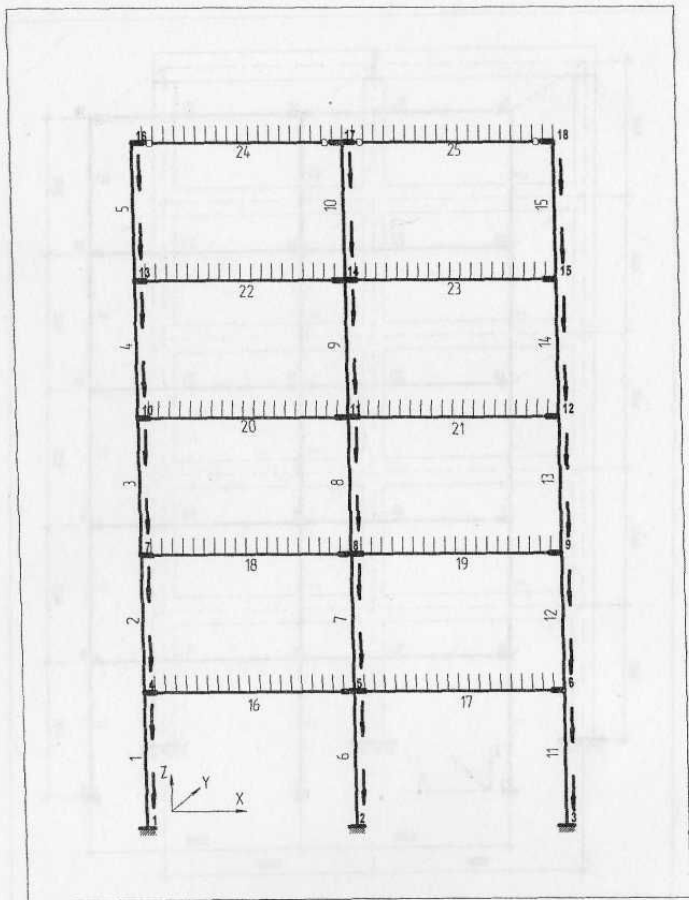


Рис. 16. Постоянные расчетные нагрузки на раму (1-я схема)

Собственный вес колонн и ригелей вычисляется автоматически в соответствии с принятыми геометрическими параметрами сечения элементов

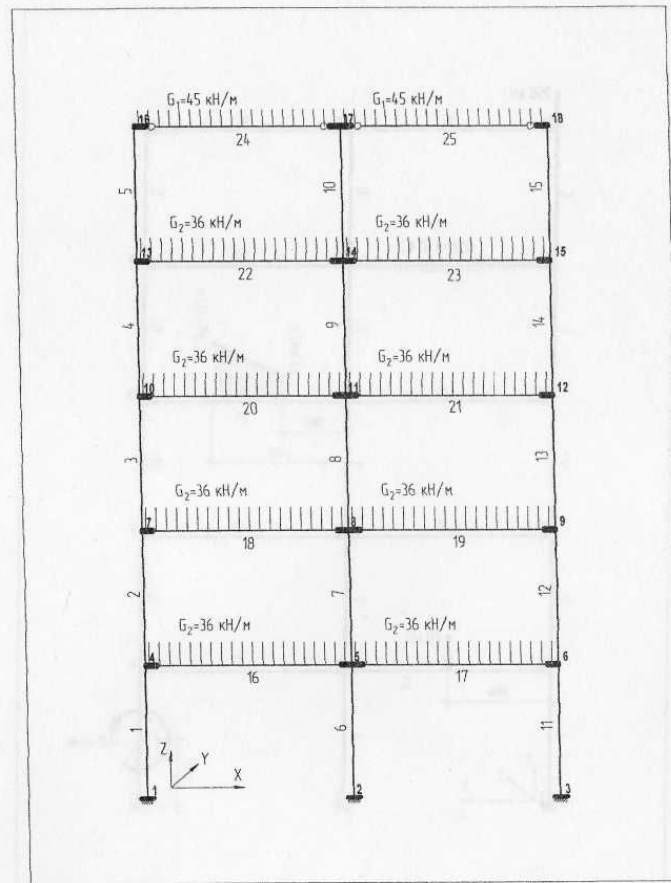


Рис. 17. Постоянные расчетные нагрузки на раму (2-я схема)

Нагрузка от собственного веса перекрытий и покрытия

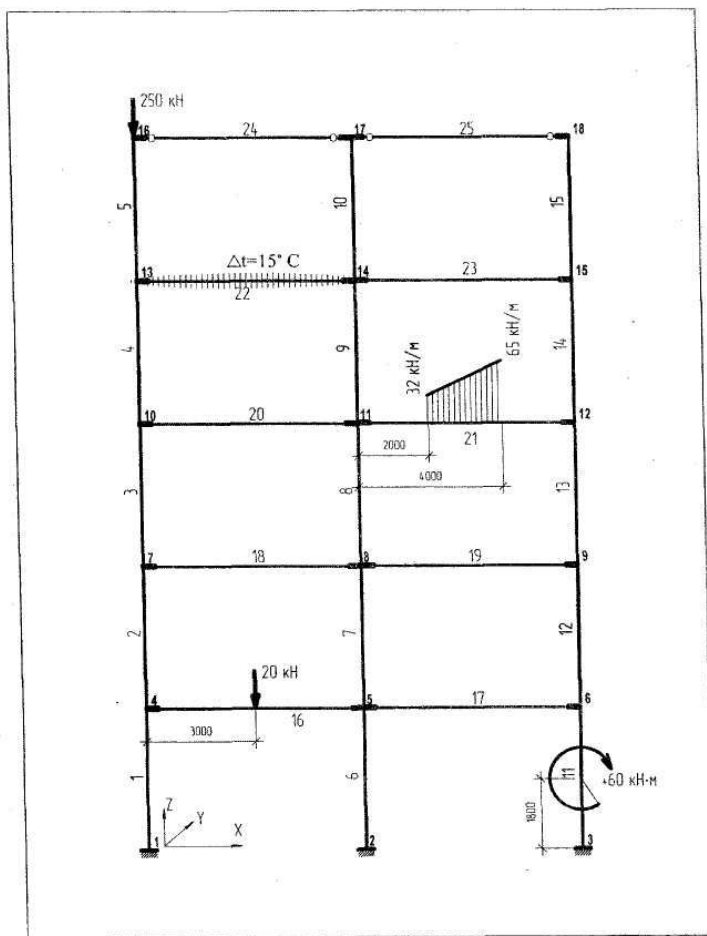


Рис. 18. Узловые и местные нагрузки на раму (3-я схема)  
 Все нагрузки на схеме 3 условно приняты как временные

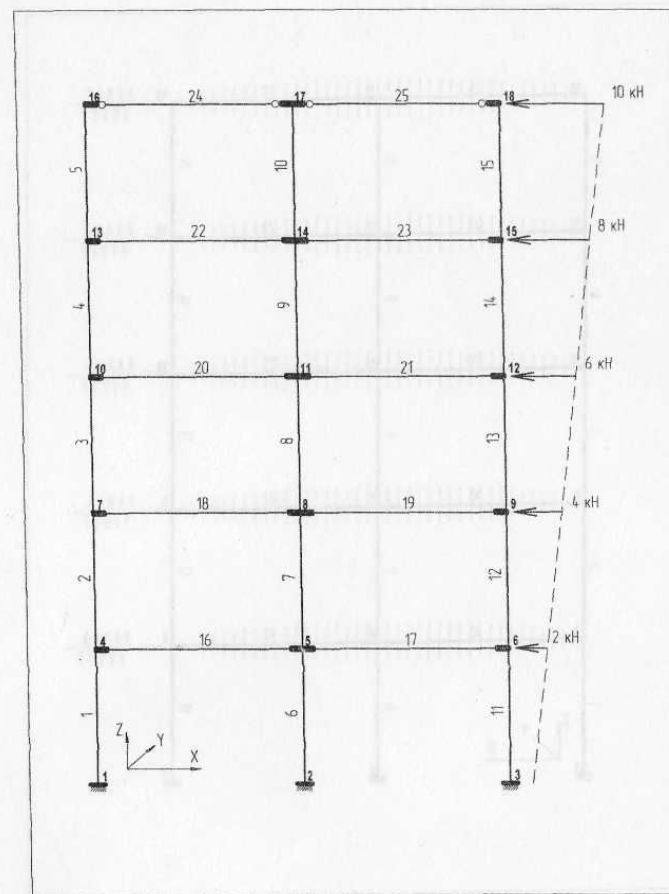
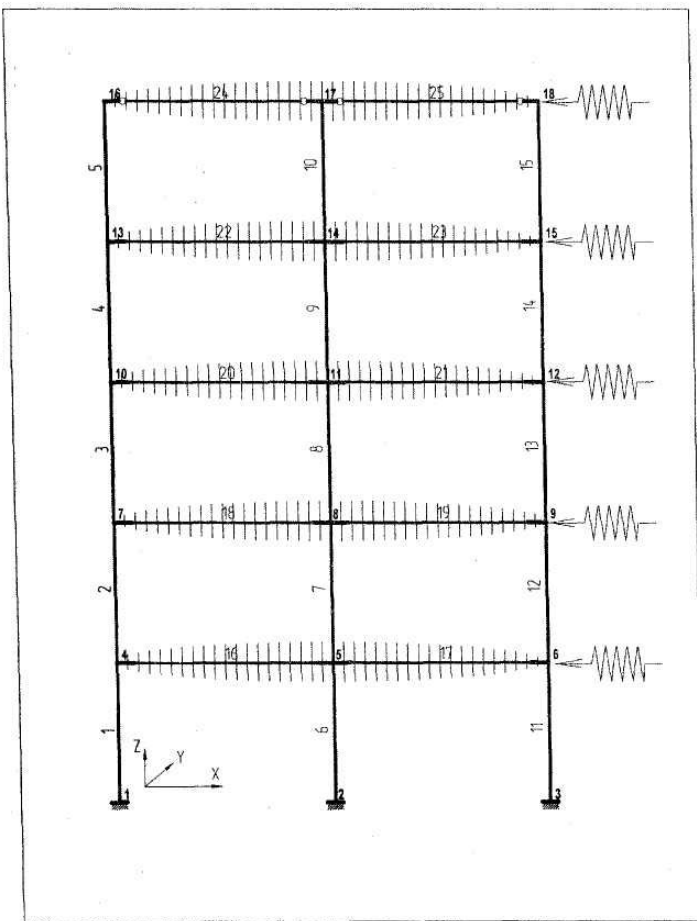
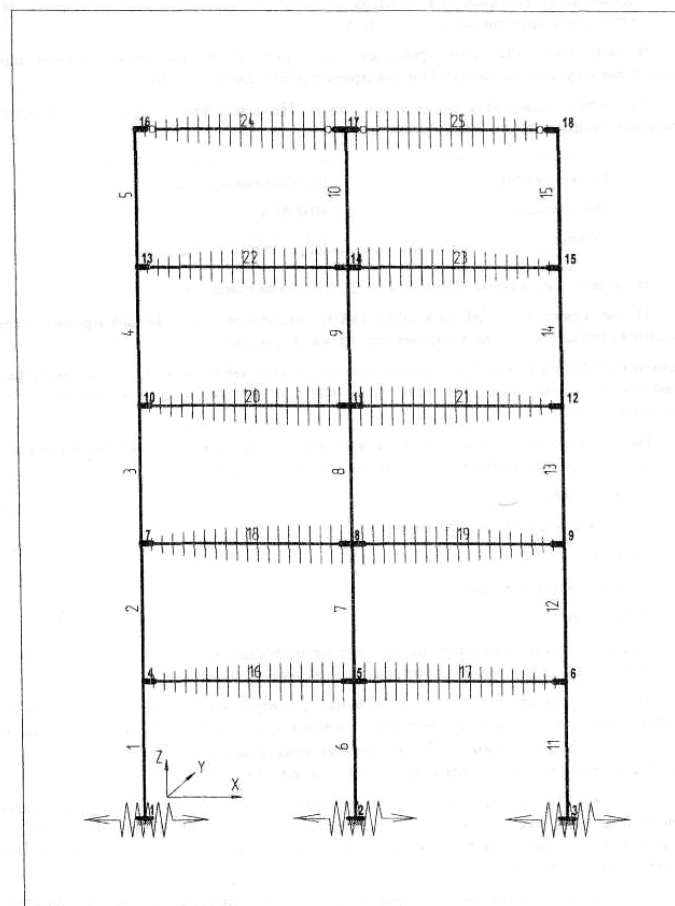


Рис. 19. Временная узловая нагрузка, изменяющаяся по линейному закону (4-я схема)



**Рис. 20.** Нагрузка от пульсации ветра (5-я схема)

Массы перекрытий подсчитываются автоматически от постоянных и временных нагрузок, расположенных на перекрытиях



**Рис. 21.** Особая сейсмическая нагрузка (6-я схема)

Массы перекрытий подсчитываются автоматически от постоянных и временных нагрузок, расположенных на перекрытиях

Предполагается, что программа SCAD установлена на Вашем компьютере, и на рабочем столе Windows имеется иконка SCAD для Windows, как это показано на рис. 1.

Первый шаг, который мы должны сделать, — это запустить программу SCAD одним из способов, перечисленных на стр. 5.

В окне инициализации программы (см. рис. 2) на инструментальной панели устанавливаем курсор на кнопку **Новый проект** и нажимаем —<sup>ЛМ</sup>.

На экран выводится диалоговое окно **Новый проект** (рис. 3), в котором последовательно вводится информация о проекте:

Наименование	Многоэтажная рама;
Организация	ННГАСУ;
Объект	ОАО «ГАЗ»

В разделе **Тип схемы** выбираем — 2 — плоская рама.

После нажатия —<sup>ЛМ</sup> на кнопку **OK** в диалоговом окне **Новый проект** на экран выводится стандартное окно **Сохранение проекта** (см. рис. 4).

Запишем имя файла **Рама\_1**, которое будет присвоено файлу проекта, служебным файлам и файлам с результатами, то есть всем файлам, порождаемым в процессе работы комплекса.

На дереве проекта (см. рис. 5) нажимаем —<sup>ЛМ</sup> на кнопку **Расчетная схема**. Вниз разворачивается меню для заполнения исходными данными:

- > ? Геометрия;
- > ? Жесткостные характеристики;
- > ? Связи;
- > ? Условия примыкания;
- > ? Нагрузки.

Знаки вопроса указывают на отсутствие информации по данному разделу. После ввода необходимых параметров вопросительные знаки снимаются.

Вначале необходимо ввести габаритные размеры многоэтажной рамы: пролеты и высоты этажей (в метрах). Количество пролетов (по оси X) и количество этажей (по оси Z). Для этого нажимаем —<sup>ЛМ</sup> на первом пункте меню — **Геометрия** (см. рис. 5), и переходим в рабочее окно программы SCAD (см. рис. 6).

Жесткостные характеристики могут назначаться как для отдельного элемента расчетной схемы, так и для группы элементов. Под жесткостными характеристиками понимаются размеры сечений, вид материала (сталь, бетон) и их прочностные параметры, например, класс бетона.

Под связями понимаются граничные условия прикрепления расчетной схемы к основанию или условия сопряжения расчетной модели с другой конструкцией или ее частью.


Для стержневых элементов могут быть назначены условия примыкания элемента к узлу расчетной схемы в виде степени свободы взаимного поворота вокруг осей местной системы координат (цилиндрических шарниров) или свободы взаимных линейных

смещений вдоль этих осей (ползуны). По умолчанию считается, что такие взаимные перемещения невозможны в силу имеющихся связей между элементом и узлом.

Рассмотрим один из способов задания геометрических параметров многоэтажной рамы. Нажимаем —<sup>ЛМ</sup> на закладке **Схема**, в меню выбираем первую кнопку **Генерация прототипа рамы** и отмечаем ее нажатием —<sup>ЛМ</sup>.



Рис. 22. Окно **Выбор конфигурации рамы**

В промежуточной заставке (рис. 22) выбираем изображение многоэтажной рамы  и отмечаем его нажатием —<sup>ЛМ</sup>. Для перехода на следующий этап выполнения задачи нажимаем кнопку **OK**.

Открывается окно **Задание параметров многоэтажной рамы** (рис. 23), в котором последовательно вводим размеры пролетов и высот этажей рамы.

Указанный способ ввода геометрических размеров или, другими словами, координат узлов — не единственный. Запись координат можно выполнить, если перейти на закладку — **Узлы и Элементы**.

Для регулярных многоэтажных рам рекомендуется именно этот способ записи геометрических размеров.

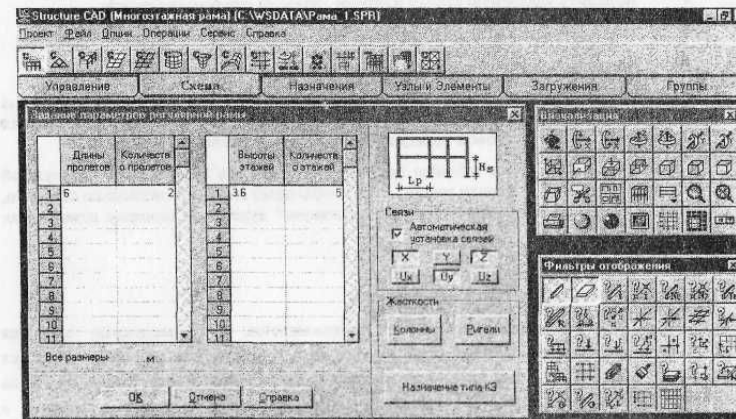


Рис. 23. **Задание параметров регулярной рамы**  
Справа на экране панели **Визуализация** и **Фильтры отображения**



В этом же окне устанавливаются связи в узлах 1, 2 и 3, то есть граничные условия примыкания вертикальных элементов (колонн) к фундаментам. Одновременно назначаются и жесткости для колонн и ригелей.

#### Работа с таблицами

При вводе числовых данных в таблицы следует придерживаться следующих правил:

- разделителем дробной и целой части числа является точка;
- при вводе чисел с плавающей запятой можно пользоваться экспоненциальной формой представления, например, **3E5** (вместо **300000**);
- 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 (рис. 23), переход к следующей таблице выполняется нажатием на клавишу таблицы — **Tab**;
- введенную в таблицу информацию можно запомнить 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 строки из таблицы следует выполнить следующие операции:
  - выделить строки таблицы, следующие за удаляемой строкой;
  - запомнить эти строки в системном буфере;
  - выделить удаляемую строку и строки таблицы, следующие за ней;
  - переписать на место выделенных строк информацию из системного буфера;
  - обнулить последнюю строку.
  - для ввода новых строк в таблицу следует скопировать строки, следующие за новой строкой, в системный буфер, заменить данные в ранее введенных строках на новые и ввести с новой позиции информацию из системного буфера.

Для выделения строки таблицы достаточно установить курсор на номер нужной строки и нажать на левую кнопку мыши. Если необходимо выделить несколько строк, то, не отпуская левую кнопку мыши, следует "протянуть" курсор по номерам отмечаемых строк.

#### 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 характеристик колонн нажатием **М** на кнопку **Колонны** (см. рис. 23) выполним последовательно операции назначения в появившемся многостраничном диалоговом окне **Жесткости стержневых элементов**.

На первой странице этого окна (**Жесткости стержней**) 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 (рис. 24).



Рис. 24. Жесткости стержневых элементов

#### Порядок работы:

- из списка **Материал** выбрать — Бетон тяжелый, класс бетона — **В20**;
- нажать на кнопку с изображением сечения колонны, в данном случае — **прямоугольник**;
- ввести размеры сечения колонн в полях ввода:  $b = 40$  см,  $h = 60$  см;
- для контроля введенных данных нажать кнопку **Контроль**;

Если назначения корректны — нажать кнопку **ОК** (окно закрывается).



Рис. 25. Окно Назначение типа элемента

В открывшемся окне **Назначение типа элемента** (рис. 25) выбирается соответствующий расчетной схеме тип конечного элемента. Выбор и отметка выполняется нажатием левой кнопки мыши — **М**.

Для колонн — это стержень плоской рамы. Тип элемента — **2**.

После выполнения последней операции управление вновь перейдет к диалоговому окну задания параметров рамы. Наждем на кнопку **Ригели** (см. рис. 23) и выполним описанные выше действия для назначения жестких характеристик ригелей. Обратите внимание — на рис. 26 ригели, в отличие от колонн, имеют тавровое сечение.

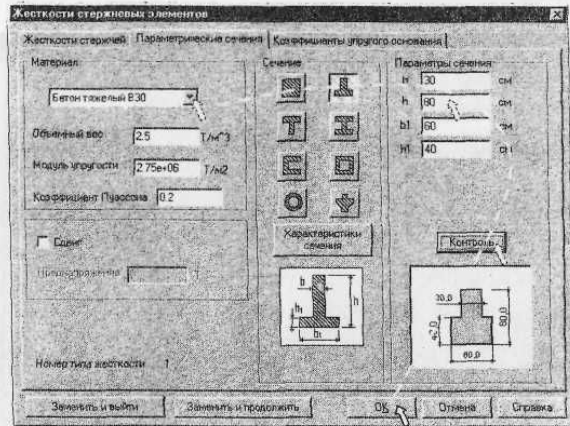


Рис. 26. Жесткостные характеристики ригелей рамы

После записи геометрических параметров сечений колонн и ригелей и назначения типов элементам рамы нажмем — **М** кнопки **OK** на экране монитора появляется расчетная схема.

Для задания связей воспользуемся набором кнопок, установленных в правой части диалогового окна. Активируем кнопки **X**, **Z** и **Uz**, что соответствует назначению связей по соответствующим направлениям.

Если включить соответствующие кнопки фильтров (см. рис. 23), на расчетной схеме появятся номера узлов, номера элементов, тип КЭ, номера типов жесткостей, связи. Цветовая гамма обозначений перечисленных параметров принимается при настройке программного комплекса **SCAD**.

В нашем примере на расчетной схеме (рис. 15) присутствуют шарниры в элементах № 24 и № 25 (относительно оси **Y**) и жесткие вставки на ригелях. Для ввода дополнительных параметров расчетной схемы необходимо воспользоваться закладкой **Назначения** (см. рис. 10).

Подведем курсор к закладке **Назначения** и нажмем — **М**. На открывшейся панели инструментов нажмем — **М** выделим кнопку **Установка шарниров**. После этого на экране появляется окно **Условия примыкания стержней** (рис. 27).

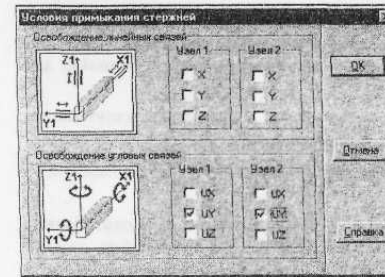


Рис. 27. Окно Условия примыкания стержней

Анализируя возможные перемещения и повороты узлов расчетной схемы, отмечаем с помощью левой кнопки мыши освободившиеся угловые связи.

В нашем примере это шарниры относительно оси **Y** в начале и в конце ригелей покрытия (элементы № 24 и № 25). При этом освобождаются связи относительно местной оси **Y<sub>1</sub>**.

После нажатия кнопки **OK** появляется рабочее окно с расчетной схемой. С помощью курсора **□** помечаются элементы № 24 и № 25 с шарнирами, которые выделяются красным цветом, и затем обязательно нажимаем — **М** кнопку **OK** в верхнем меню окна. При включенном фильтре **Шарниры** на расчетной схеме появляются кружочки — шарниры.

Теперь введем жесткие вставки для всех горизонтальных ригелей. В данный момент после назначения шарниров мы по-прежнему находимся на закладке **Назначения**. Подведем курсор к кнопке **Установка/Удаление жестких вставок** и нажмем — **М**. На открывшейся панели инструментов (рис. 28) нажмем — **М** выделим кнопку **В местной системе координат**.

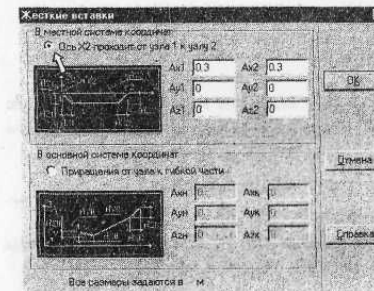


Рис. 28. Окно Жесткие вставки

Так как жесткие вставки располагаются с двух сторон стержня, и величина их составляет с каждой стороны по 0,3 м, запишем в соответствующие графы данные значения.

После нажатия кнопки **OK** появляется рабочее окно с расчетной схемой. С помощью курсора **□** помечаются стержни<sup>4</sup> с жесткими вставками, которые выделяются красным цветом, и затем нажимаем — **М** кнопку **OK**.

<sup>4</sup> Существует более эффективный способ выделения стержней расчетной схемы с помощью специального окна (рис. 29).

При включенном фильтре **Жесткие вставки** на расчетной схеме появляются утолщенные линии, обозначающие жесткие вставки.

Прежде чем перейти к описанию функций задания нагрузок, рассмотрим вопросы выбора объектов на схеме. Операции назначения каких-либо параметров узлам или элементам (в рассматриваемом случае — значений нагрузок) выполняются только для выбранных объектов.

Выбрать — это значит указать курсором на объект и нажать на левую кнопку мыши — **ЛМ**, после чего объект маркируется **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 и им. Но в этом случае следует последовательно выбрать 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 в диалоговом окне Выбор узлов и элементов (рис. 29).

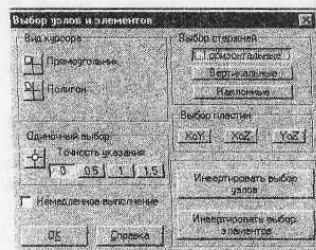


Рис. 29. Окно Выбор узлов и элементов

Это окно вызывается нажатием на правую кнопку мыши в рабочем поле окна SCAD. Кроме назначения вида курсора в этом окне можно установить и правила выбора объектов в зависимости от их положения в схеме.

Выбрать вид курсора для выделения узлов и элементов можно на рабочем столе программы SCAD (см. рис. 6) с помощью специальных кнопок, расположенных в левом нижнем углу окна.

В нашем случае удобно придерживаться следующего порядка действий:

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

В результате окно закрывается, и на экране появится выбранный курсор. Так как была нажата кнопка **Вертикальные элементы**, то при захвате 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 признак выбора отменяется.

Выполнив операции по созданию расчетной схемы и назначению элементам типов жесткостей, связей, шарниров и жестких вставок в окне в области построения будет показана рама с указанными параметрами (рис. 30). Для отображения на расчетной схеме номеров узлов, номеров элементов, типов конечных элементов и жесткостей должны быть включены соответствующие кнопки на панели **Фильтры отображения**.

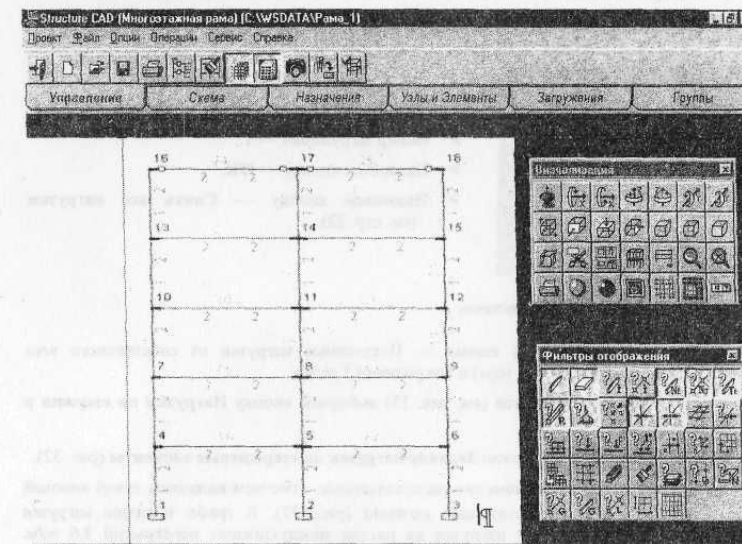


Рис. 30. Расчетная схема многоэтажной рамы в рабочем окне программы SCAD  
Справа, включенные (затемненные) кнопки на активной панели **Фильтры отображения**

### Задание нагрузок

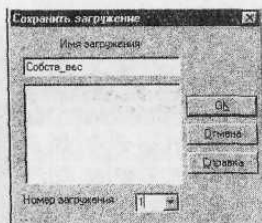
Прежде чем перейти к последовательному заполнению таблиц отдельными загружениями предположим, что на многоэтажную раму действуют шесть независимых видов расчетных нагрузок:

- 1-я схема — постоянная нагрузка (собственный вес колонн и ригелей);
- 2-я схема — постоянная нагрузка от перекрытий и покрытий;
- 3-я схема — временные нагрузки различного типа (см. примечание на стр. 24);
- 4-я схема — ветровая нагрузка в виде сосредоточенных узловых сил;
- 5-я схема — пульсация ветра;
- 6-я схема — сейсмическая нагрузка.

Управление функциями задания нагрузок выполняется в разделе **Загрузки** инструментальной панели (рис. 13).

**Запись нагрузок 1-й схемы** — Собственный вес колонн и ригелей.

- На панели инструментов выбираем кнопку **Собственный вес** и нажимаем —  $\text{ЛМ}$ . На схеме появляется вес элементов, подсчитанный по фактическим сечениям элементов. Кнопку **Собственный вес** надо нажимать **один раз !!!** В случае повторного нажатия кнопки — собственные веса элементов суммируются.
- Выбираем кнопку **Сохранить загрузку** и нажимаем —  $\text{ЛМ}$  на **ОК** (рис. 31).



- Записываем имя загрузки — **Собств\_вес**.
- Номер загрузки — **1**.
- Нажимаем кнопку — **ОК**.
- Нажимаем кнопку — **Снять все нагрузки** (см. стр. 22).

Рис. 31. Окно **Сохранить загрузку**

**Запись нагрузок 2-й схемы** — Постоянные нагрузки от собственного веса конструкций перекрытий (3,6 тс/м) и покрытия (4,5 тс/м).

- На панели инструментов (см. рис. 13) выбираем кнопку **Нагрузки на стержни** и нажимаем  $\text{ЛМ}$ .
- На экране появляется окно **Задание нагрузок на стержневые элементы** (рис. 32).
- Так как нагрузки равномерно распределенные, отмечаем нажатием левой кнопкой мыши  $\text{ЛМ}$  соответствующие позиции (рис. 32). В графе значение нагрузки записываем величину нагрузки на ригели междуэтажных перекрытий 3,6 тс/м. Нажимаем —  $\text{ЛМ}$  кнопку **ОК**.

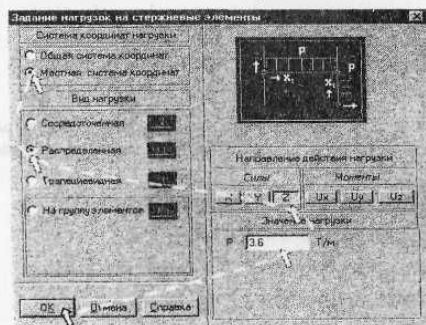


Рис. 32. Диалоговое окно **Задание нагрузок на стержневые элементы**

- В рабочем окне программы SCAD нажимаем правую кнопку мыши —  $\text{МП}$  и в окне **Выбор узлов и элементов** (рис. 29) выбираем вид курсора — **Прямоугольник** и графу **Горизонтальные стержни**. Нажимаем  $\text{ЛМ}$  кнопку **ОК**.

- Новым курсором **Прямоугольная рамка** охватываем участок рамы (исключая ригели покрытия). Операция выполняется следующим способом. Фиксируется положение курсора мыши и затем, передвигая курсор в новое положение, вновь фиксируется нажатием  $\text{ЛМ}$ . Красным цветом выделяются ригели междуэтажных перекрытий.
- Завершение операции отмечаем нажатием  $\text{ЛМ}$  кнопки **ОК** на панели инструментов (см. рис. 13).
- Повторяем процесс записи для нагрузки на ригелях покрытия. Здесь нагрузка 4,5 тс/м.
- Выбираем кнопку **Запись загрузки** и нажимаем  $\text{ЛМ}$  (рис. 31).
  - Записываем имя загрузки — **Постоянная нагрузка**;
  - Номер загрузки — **2**;
  - Нажимаем кнопку **ОК**.
- Для записи следующего нагружения необходимо очистить память с помощью специальной кнопки **Снять все нагрузки**.

**Запись нагрузок 3-й схемы** — Временные нагрузки различных типов на ригелях перекрытий и узлах (см. рис. 18).



Рис. 33. Окно **Ввод узловых нагрузок**

- Для записи нагрузки 25 тс, приложенной в узле 16, на панели инструментов выбираем кнопку **Узловые нагрузки** и нажимаем —  $\text{ЛМ}$ .
- На экране появляется окно **Ввод узловых нагрузок** (рис. 33).
- Последовательно отмечаем необходимые позиции и вводим значение узловой нагрузки, направленной против оси **Z**. Завершение операции отмечаем нажатием  $\text{ЛМ}$  кнопки **ОК** (см. рис. 33).
- На расчетной схеме курсором отмечаем узел 16 и подтверждаем ввод нагрузки нажатием  $\text{ЛМ}$  кнопки **ОК** на панели инструментов.
- Для записи **сосредоточенного (местного) момента** на элементе 11 величиной 6 тс·м, приложенного на расстоянии 1,8 м от узла 3, на панели инструментов снова выбираем кнопку **Нагрузки на стержни** и нажимаем  $\text{ЛМ}$ .
- На экране появляется окно **Задание нагрузок на стержневые элементы** (рис. 34).





Последовательно отмечаем необходимые позиции и вводим значение момента  $M_1=6$  тс·м на расстоянии  $A_1=1,8$  м от узла №3. Направление по часовой стрелке относительно оси  $Y_1$ . Момент имеет знак (+) плюс. Завершение операции отмечаем нажатием  $\text{⌘}M$  кнопки **OK**.

Рис. 34. Окно Задание нагрузок на стержневые элементы

- На расчетной схеме курсором отмечаем элемент 11 и подтверждаем ввод нагрузки нажатием  $\text{⌘}M$  кнопки **OK** на панели инструментов.
- По вышеприведенной схеме вводим сосредоточенную нагрузку  $P=2$  тс в середине пролета ригеля.
- Записываем температурную нагрузку от равномерного нагрева ригеля (элемент № 22) на величину  $\Delta t=15$  °C.
- На панели инструментов выбираем кнопку **Задание температурных нагрузок** и нажимаем  $\text{⌘}M$ .
- На экране появляется окно **Задание температурных нагрузок** (рис. 35). Последовательно заполняем графы в таблице и нажимаем  $\text{⌘}M$ . Здесь можно откорректировать коэффициент линейного температурного расширения для материала конструкции. Переход в основное рабочее окно программы происходит после нажатия  $\text{⌘}M$  кнопки **OK**.
- На расчетной схеме с помощью курсора мыши выделяем элемент 22 и нажимаем  $\text{⌘}M$  кнопку **OK** на панели рабочего окна.
- Записываем трапециевидную нагрузку, действующую на элемент 21.
- На панели инструментов выбираем кнопку **Задание нагрузок на стержневые элементы** и нажимаем  $\text{⌘}M$ .

Равномерный нагрев испытывает ригель рамы (элемент № 22). Перепад между температурой ригеля и окружающей средой составляет 15 °C. Коэффициент линейного температурного расширения принят равным  $1 \cdot 10^{-5}$ .

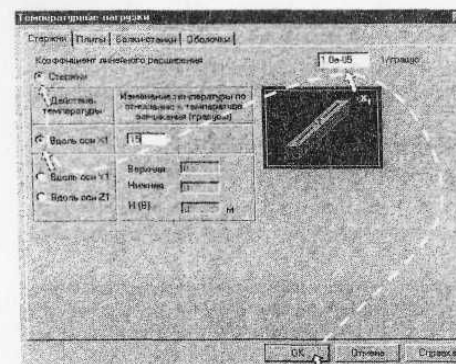


Рис. 35. Окно Температурные нагрузки

- Для местной трапециевидной нагрузки последовательно отмечаем курсором мыши соответствующие графы и записываем значения величин нагрузок и ординат. Нажимаем  $\text{⌘}M$  кнопку **OK**.
- В основном окне на расчетной схеме с помощью курсора выделяем элемент № 22.

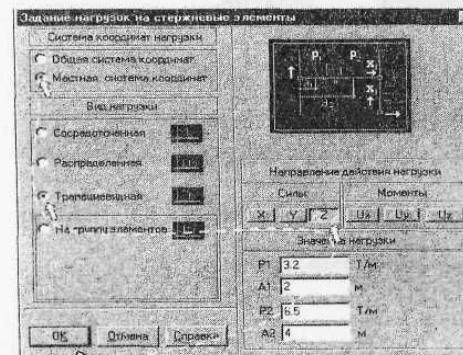


Рис. 36. Окно Задание нагрузок на стержневые элементы

- Записав параметры последней нагрузки, необходимо записать имя для третьей схемы. Предположим, что все нагрузки на заданной схеме временные. Тогда выбираем кнопку **Запись загрузки** и нажимаем  $\text{⌘}M$  (рис. 31).
  - Записываем имя загрузки — Временная нагрузка;
  - Номер загрузки — 3;
  - Нажимаем кнопку **OK**.

- Для записи следующего нагружения необходимо очистить оперативную память с помощью специальной кнопки **Снять все нагрузки** (см. рис. 13).
- Запись нагрузок 4-й схемы** — нагрузка в виде сосредоточенных узловых сил изменяющихся по высоте по линейному закону (см. рис. 19). В случае произвольных значений сил каждая из них вводится в конкретный узел самостоятельно.
- На панели инструментов выбираем кнопку **Узловые нагрузки**.
- На экране появляется окно **Ввод узловых нагрузок**.
- Направление действия горизонтальной нагрузки против общей оси X. Отмечаем курсором  $\mathbb{M}$  соответствующие позиции на рис. 37. Вводим значения нагрузок в крайних узлах рамы:  $P_1=0.2$  тс,  $P_2=1$  тс.
- Активизировать в диалоговом окне опцию **На группу узлов**, назначить направление развития нагрузки (по оси Z), ввести величину первой и последней нагрузки и нажать  $\mathbb{M}$  кнопку **ОК**. Нагрузки положительны, так как направлены против оси X. Правило знаков для нагрузок приведено в Приложении



Рис. 37. Окно Ввод узловых нагрузок

- Отметить на расчетной схеме курсором узлы, первый узел 6, затем 9, 12, 15, 18 и нажать  $\mathbb{M}$  кнопку **ОК**.

- Нажать кнопку **Запись нагружения** и нажимаем  $\mathbb{M}$  кнопку **ОК** в меню рабочего окна.
  - Записываем имя нагружения — Ветровая нагрузка;
  - Номер нагружения — 4;
  - Нажимаем кнопку **ОК**.
- Для записи следующего нагружения необходимо очистить память с помощью специальной кнопки **Снять все нагрузки** (см. рис. 13).

**Запись нагрузок 5-й схемы** — Пульсация ветра (см. рис. 20).

Перед вводом характеристик нового динамического нагружения **обязательно** нажать кнопку **Создать новое нагружение**. В противном случае вся введенная информация будет отнесена к текущему нагружению или утеряна.

- На панели инструментов выбираем кнопку **Динамические воздействия**.

В открывшемся диалоговом окне **Параметры динамических воздействий** открываем закладку **Общие характеристики** (рис. 38).

- В графе **Создать новое нагружение** записываем — **Пульсация ветра** и нажимаем кнопку **ОК**.
- Помечаем опцию **Преобразование статических нагрузок в массы**;
- Выбираем номера присоединяемого статического нагружения и коэффициент пересчета, каждый раз нажимая кнопку **Записать**. Заполнив все позиции окна, нажимаем кнопку **ОК**.

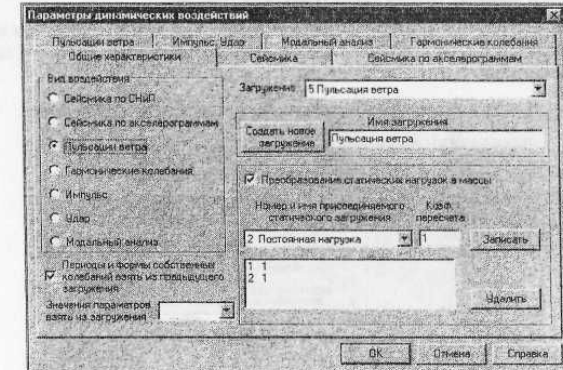


Рис. 38. Параметры динамических воздействий. Общие характеристики

- Переходим к другой закладке **Пульсация ветра**. Заполняем все графы в соответствии с обозначенными позициями (рис. 39).

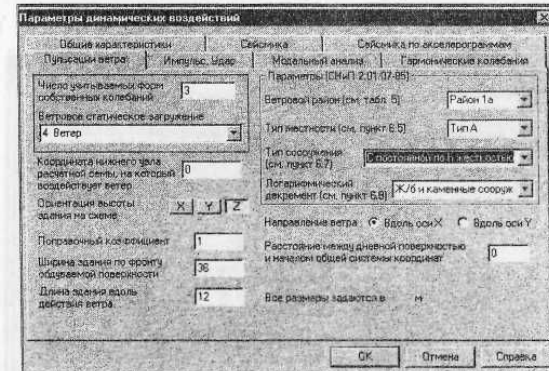


Рис. 39. Параметры динамических воздействий. Пульсация ветра



Последнее, шестое нагружение многоэтажной рамы — сейсмическое воздействие (см. рис. 21).

Перед тем, как ввести следующее нагружение, воспользуйтесь операцией - очистка текущего нагружения.

- В очередной раз на панели инструментов выбираем кнопку **Динамические воздействия**.
- В открывшемся диалоговом окне **Параметры динамических воздействий** открываем закладку **Общие характеристики** (рис. 40).
- В графе **Создать новое нагружение** записываем **Сейсмика** и нажимаем кнопку — **ОК**, появляется новое окно (рис. 41), где последовательно заполняются параметры сейсмической нагрузки.

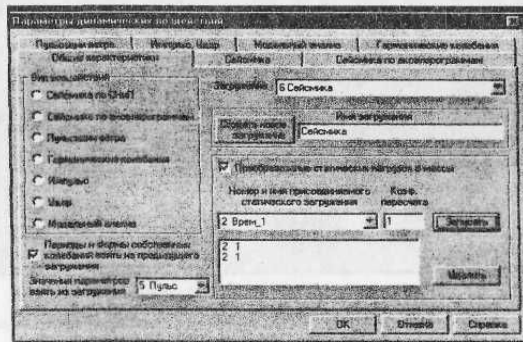


Рис. 40. Параметры динамических воздействий

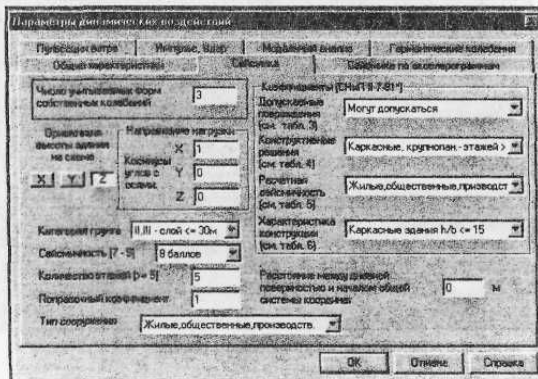


Рис. 41. Параметры динамических воздействий. Сейсмика

## Комбинации нагружений и расчетные сочетания усилий

После ввода всех нагрузок на рассматриваемых схемах (см. рис. 16...21) переходим на закладку **Управление** <sup>1</sup>М.

Выбираем кнопку **Выйти на экран управления проектом** <sup>1</sup>М.

В рабочем окне разворачивается **Дерево проекта**. Переходим в раздел **Расчет**. Здесь можно вначале выполнить **Линейный** расчет или скомпоновать (создать) **Комбинации нагружений** и **Расчетные сочетания усилий (PCU)**. Необходимо заметить, что **Комбинации нагружений** компонуются в разделе **Специальные исходные данные**.

Чем отличаются **Комбинации нагружений** от **Расчетных сочетаний усилий** ?

**Комбинация нагружений** — некоторая группа различных вариантов, действующих на расчетную схему нагрузок. Каждой комбинации нагружений можно присвоить определенный номер. При этом нет необходимости в создании нового проекта для каждой комбинации нагружений.

**Расчетные сочетания усилий** — наиболее неблагоприятные сочетания нагрузок для данной комбинации нагружений, вызывающие максимальные напряжения в расчетных сечениях конечного элемента сооружения. Таким образом, для каждой **Комбинации нагружений** можно вычислить соответствующее **PCU**.

Комбинации нагружений могут быть вычислены как в общем потоке расчета задачи, так и отдельно, после завершения расчета. В первом случае исходные данные готовятся после завершения формирования расчетной схемы и ввода нагружений. Во втором случае – расчет комбинаций усилий выполняется после завершения расчета по нагружениям.

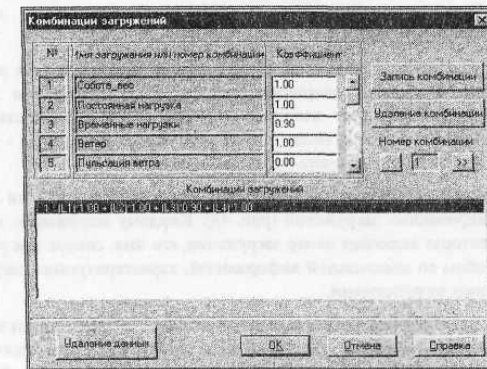


Рис. 42. Окно Комбинации нагружений

Функция подготовки исходных данных для вычисления **Комбинаций загружений** вызывается из **Дерева управления** проектом в разделе **Специальные исходные данные**. Функция доступна только после задания загружений нагрузками. Подготовка данных выполняется в диалоговом окне **Комбинации загружений** (рис. 42).

Порядок ввода данных в этом окне следующий:

- в столбце **Коэффициенты** ввести значения коэффициентов, с которыми загрузки входят в текущую комбинацию;
- нажать на кнопку **Запись** комбинации, после чего формула текущей комбинации выводится в информационное окно;
- нажать на кнопку **Номер комбинации** [ $>>$ ] и установить номер следующей комбинации; при этом значения коэффициентов получают нулевые значения, и программа будет готова к вводу новых данных.

Следует отметить, что в комбинацию, наряду с загрузками, могут входить и ранее созданные комбинации.

Текущая комбинация может быть удалена нажатием на кнопку **Удаление** комбинации, а после нажатия на кнопку **Удаление** данных будут удалены все заданные комбинации.

При изменении количества загружений прежде заданные комбинации аннулируются, и должны быть заданы новые.

Вычисление РСУ производится на основании критериев, характерных для соответствующих типов конечных элементов — стержней, диафрагм, плит, оболочек, массивных тел. При расчете учитываются требования нормативных документов и логические связи между загрузками.

Расчетные сочетания усилий могут быть вычислены как в общем потоке расчета задачи, так и отдельно, после завершения расчета на статические и динамические воздействия. В первом случае исходные данные готовятся после завершения формирования расчетной схемы и ввода загружений. Во втором случае — данные могут быть введены после завершения расчета по загрузкам.

В диалоговом окне **Расчетные сочетания усилий** автоматически записываются имена всех сформированных загружений (рис. 43). Каждому загружению выделена одна строка таблицы, которая включает номер загрузки, его имя, список для установки типа загрузки и столбцы со специальной информацией, характеризующей загрузку и его взаимосвязь с другими загрузками.

В связи с ограниченным местом в диалоговом окне таблица состоит из двух блоков — нижнего и верхнего, связанных общей линейкой прокрутки. С помощью этой линейки выполняется листание по строкам. По этой же причине в нижнем блоке таблицы количество видимых столбцов с коэффициентами РСУ ограничено тремя. Для доступа к остальным столбцам с коэффициентами используются кнопки [ $<<$ ], [ $>>$ ].

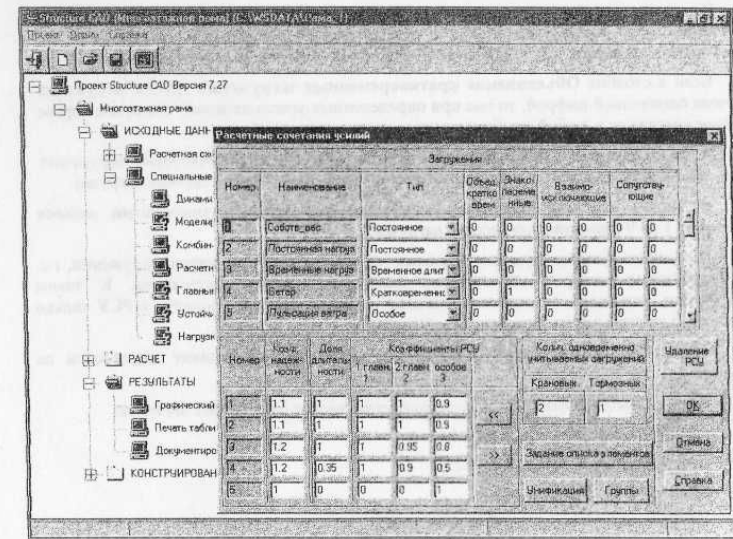


Рис. 43. Окно **Расчетные сочетания усилий**

Рекомендуется следующий порядок выполнения операций при подготовке данных для расчета РСУ:

- для каждой схемы нагрузки, используя списки типов загружений, устанавливаем в каждой строке соответствующий тип нагрузки;
- для каждого загружения заполнить столбцы с параметрами;
- заменить в случае необходимости значения коэффициентов на требуемые по условиям решения задачи;
- нажать на кнопку **Список элементов** и назначить элементы или группы, для которых выполняется расчет (по умолчанию расчет выполняется для всех элементов);
- если предполагается выполнение унификации и/или создание групп унификации, то необходимо вызвать одноименные диалоговые окна, нажав соответственно на кнопки **Унификация** и **Группы**.

Если при подготовке данных на входном языке (текстовое описание) была задана информация для вычисления РСУ, то после вызова диалогового окна она будет автоматически введена в таблицу и может быть при необходимости откорректирована.

Если в столбце **Объединение кратковременных загружений** группа загружений помечена одинаковой цифрой, то она при определенных условиях может попасть в первое основное сочетание в любой комбинации сумм этих загружений.

В столбце **Знакопеременные** единицей помечаются знакопеременные загрузки. Таковыми являются динамические загрузки, а также тормозные крановые нагрузки.

В первом столбце **Взаимоисключающие** помечаются одинаковыми целыми числами от 1 до 9 взаимоисключающие нагрузки.

В столбцах **Сопутствующие** указываются номера сопутствующих загружений, т.е. таких, действие которых обусловлено наличием данного загружения. К таким загружениям, например, относятся тормозные нагрузки, которые попадут в РСУ только совместно с крановыми нагрузками  $D_{max}$  или  $D_{min}$ .

В столбце **Коэффициент надежности** вводится коэффициент надежности по нагрузке  $\gamma_f$ .

Формируемые по умолчанию коэффициенты имеют следующие значения:

- для постоянных загружений  $f = 1.1$ ;
- для временного загружения  $f = 1.2$ ;
- для особых воздействий  $f = 1.0$ ;
- для кратковременных с малой длительностью  $f = 1.4$ .

Следует отметить, что этот коэффициент используется только модулем подбора арматуры для перехода от расчетных значений нагрузок к нормативным.

В столбце **Доля длительности** указывается, какая часть нагрузки  $K_g$  (в долях от единицы) принимается в данном загружении как длительно действующая. По умолчанию принимаются следующие значения  $K_g$ :

- для постоянных и длительно действующих загружений  $K_g = 1$ ;
- для крановых  $K_g = 0.6$ ;
- для прочих  $K_g = 0.0$ .

Столбцы **Коэффициенты РСУ** используются для записи коэффициентов, с которыми усилия от каждого загружения входят в РСУ.

Столбец [1-е главн.] предназначен для формирования 1-го основного сочетания нагрузок, в котором учитываются усилия от всех постоянных, длительно действующих и только от одного наиболее опасного временного загружения. При наличии номера в столбце **Объединение кратковременных РСУ** вычисляется от группы объединенных временных загружений.

В столбец [2-е главн.] заносятся коэффициенты для формирования РСУ по 2-му сочетанию нагрузок, а в столбец [особое] — для формирования РСУ по особому сочетанию нагрузок.

Если эти столбцы не заполнены, то в них коэффициенты формируются по умолчанию следующим образом:

- столбец (1) — первое основное сочетание: для всех видов загружений, кроме особых,  $K_1=1$  (для особых  $K_1=0$ );
- столбец (2) — второе основное сочетание: для постоянных  $K_2=1$ ; длительно действующих  $K_2=0.95$ ; для кратковременных, крановых и тормозных  $K_2=0.9$ ; для особых  $K_2=0$ ;
- столбец (3) — особое сочетание: для постоянных  $K_3=0.9$ ; для длительно действующих  $K_3=0.8$ ; для кратковременных  $K_3=0.5$ ; для крановых и тормозных  $K_3=0$ ; для сейсмических  $K_3=1$ ; для прочих динамических  $K_3=0$ .

В практике возможны случаи, когда для разных элементов схемы требуется применить разные коэффициенты сочетаний в одном и том же загружении. Такие элементы объединяются в группы (не путать с группами элементов, создаваемыми при формировании расчетной схемы и анализе результатов). Групп может быть две. Они формируются в диалоговом окне **Группы**, которое вызывается после нажатия на одноименную кнопку в окне **Расчетные сочетания усилий**. Один и тот же элемент может входить в обе группы. Для этих групп в таблице формируют дополнительные столбцы (с 4-го по 15-й) коэффициентов РСУ.

В тех случаях, когда расчетные сочетания усилий необходимо вычислить не для всех элементов схемы, воспользуемся кнопкой **Задание списка элементов**, после нажатия на которую появляется диалоговое окно **Список элементов**. Элементы могут быть введены с использованием групп. При этом доступны как группы, заданные для подбора арматуры, так и другие группы элементов.

Если список вводится без использования групп, то он готовится по следующим правилам:

- номера элементов вводятся через пробел;
- в случае подряд пронумерованных элементов первый и последний элементы ряда пишутся через дефис (например: 1-23 34 45 76 87-125).

Список, полученный путем ввода групп, может быть откорректирован.

Теперь, имея полный набор исходных данных, выполняем последовательно **Линейный статический расчет рамы**, расчет **Комбинаций загружений** и подсчет **Расчетных сочетаний усилий**.

Для этого необходимо на соответствующих пунктах **Дерева проекта** нажать <sup>1</sup>М (рис. 44).

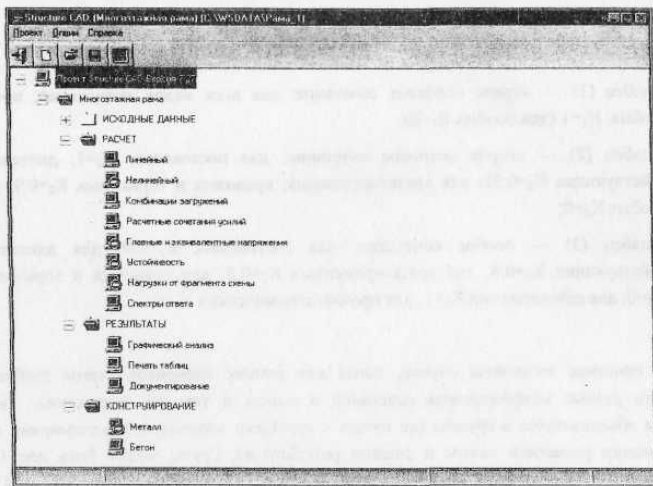


Рис. 44. Рабочее окно *Дерево проекта*

## Управление расчетом

Выполнение расчета возможно только при условии, что исходные данные текущего проекта содержат обязательный минимум информации, то есть геометрию расчетной схемы, описание жесткостных характеристик всех элементов, величины нагрузок и схемы нагружения расчетной модели.

Начало расчета выполняется из соответствующего раздела **Дерева проекта** нажатием  $\text{M}$ . На экране появляется рабочее окно **Параметры расчета** (рис. 45).

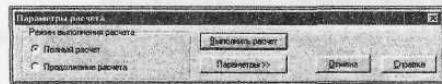


Рис. 45. Рабочее окно *Параметры расчета*

Для изменения параметров расчета используется кнопка **Параметры**, при нажатии которой  $\text{M}$  вниз разворачивается дополнительная таблица (рис. 46).

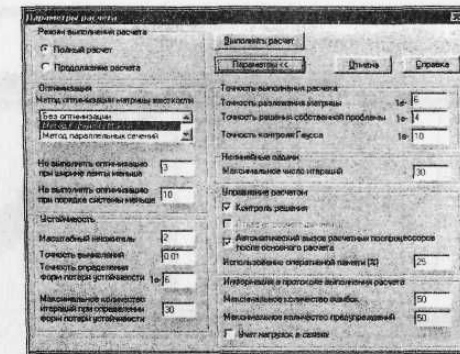


Рис. 46. Рабочее окно *Параметры расчета*

В этом окне следует выбрать режим работы процессора (**Полный расчет** или **Продолжение расчета**) и нажать кнопку **Выполнить расчет**. Как правило, режим **Продолжение расчета** используется в тех случаях, когда по какой-либо причине был прерван расчет задачи. Им можно воспользоваться и после модификации исходных данных, которые не затрагивали узлы, связи и элементы (например, после корректировки нагрузок).

В первой группе находятся параметры управления процессом оптимизации матрицы жесткости.

Вторая — содержит информацию, определяющую точность, с которой выполняется разложение матрицы, а также вычисляются собственные формы и частоты при решении задач динамики.

В третьей — сосредоточены параметры настройки процесса анализа устойчивости.

В четвертой — задается максимальное число итераций при решении нелинейных задач.

Пятую — составляют параметры управления ходом вычислений.

В шестой — находятся параметры управления протоколом выполнения расчета.

Значения параметров управления расчетом, используемые по умолчанию, соответствуют значениям, заданным при настройке комплекса (пункт меню **Параметры расчета** в разделе **Опции** окна управления проектом). Изменения, вносимые в эти данные при запуске на расчет конкретной задачи, запоминаются только для этой задачи. Более подробную информацию по заполнению отдельных граф окна можно посмотреть в справочной системе программы SCAD.



После нажатия клавиши **Выполнить расчет** (см. рис. 45 или 46) на экране в отдельных окнах появляется расчетная схема, матрица жесткости и протокол выполнения расчета (рис. 47).

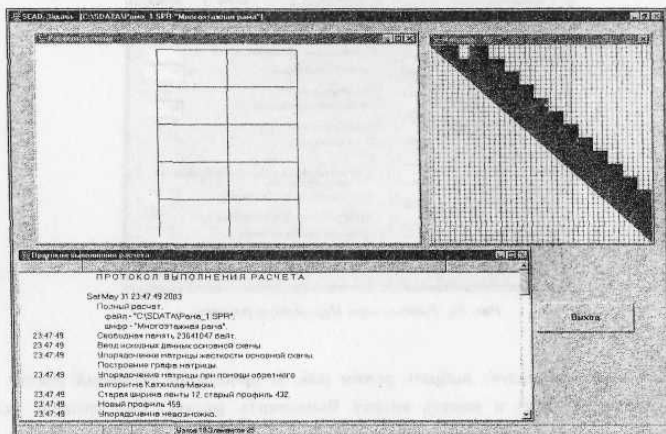


Рис. 47. Окно Управления расчетом

После нажатия **М** подразделов **Комбинации загружений** и затем **Расчетные сочетания усилий** на **Дереве проекта** (см. рис. 44) на экране также в отдельных окнах появляется расчетная схема, матрица жесткости и соответствующий протокол расчета (рис. 48).

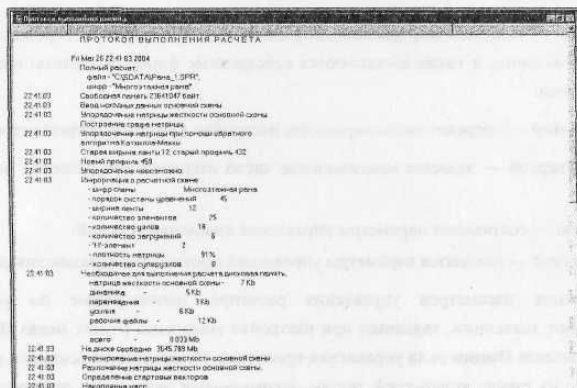


Рис. 48. Окно Протокол выполнения расчета

## Графический анализ результатов расчета

После завершения расчета и указания на кнопку **Выход** в окне процессора (см. рис. 48) управление передается **Дереву проекта**.

Следующим шагом рекомендуется выполнить графический анализ результатов полученного решения. На этом этапе до распечатки таблиц перемещений, усилий и РСУ можно выявить формальные ошибки, при которых расчет выполняется, но он не удовлетворяет пользователя по определенным параметрам.

Установим курсор в позицию **Графический анализ** раздела **Результаты** дерева проекта и нажмем левую кнопку мыши. При этом активизируется окно постпроцессора (рис. 49), инструментальная панель которого включает различные функции отображения результатов расчета. В рабочем окне программы SCAD включены дополнительные панели — панель **Визуализации** и панель **Фильтры отображения**, которые позволяют получить необходимую информацию.

## Анализ деформаций

После выполнения расчета несущей системы анализ деформированного состояния выполняется с помощью элементов управления, установленных в разделе **Деформации** инструментальной панели (рис. 49). В область построения расчетной схемы рекомендуется вывести дополнительные инструментальные панели — **Визуализация**, **Фильтры отображения** и **Информация об элементе** или **Информация об узле**.

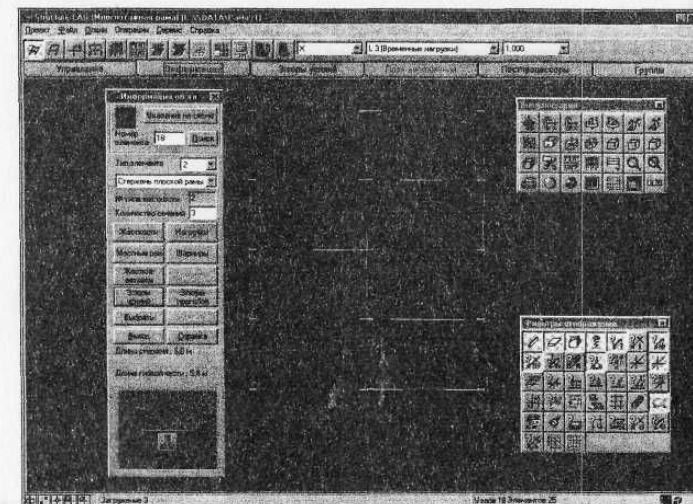


Рис. 49. Окно программы SCAD в режиме графического анализа результатов

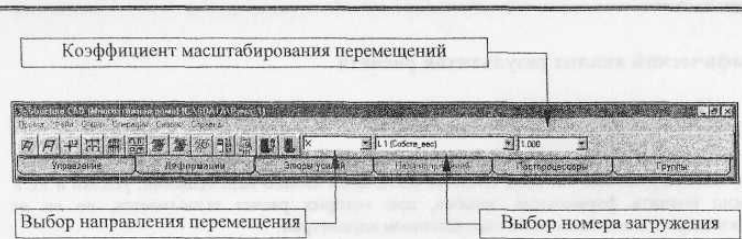


Рис. 50. Инструментальная панель Деформации

Анализ перемещений выполняется с помощью функций раздела **Деформации** (рис. 50). Для анализа перемещений необходимо выполнить следующие операции:

- активировать режим анализа перемещений (закладка Деформации);
- выбрать в списке загрузку;
- выбрать направление перемещения;
- нажать на одну из кнопок функций отображения результатов.

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

- вывод деформированной схемы на фоне исходной;
- вывод деформированной схемы;
- вывод значений перемещений в узлах;
- цветовая индикация значений перемещений в узлах;
- отображение расчетной схемы;
- отображение на проекциях деформированной схемы на фоне исходной;
- отображение изополей и изолиний для пластинчатых элементов;

- установка параметров цветовой шкалы;
- отображение приведенных узловых масс;
- формирование видеоклипов перемещений для статических и динамических нагрузок;
- анимация перемещений для статических и динамических нагрузок.

В правой части инструментальной панели (см. рис. 50) имеются три списка: выбор направления перемещения, назначение номера загрузки и установка коэффициента масштабирования расчетной схемы.

При наличии динамических нагрузок возможно выполнить запись небольших видеоклипов и просматривать их в рабочем окне программы SCAD. Видеоклипы записываются в файл с расширением AVI. Файлы помещаются в каталог с файлами результатов и могут просматриваться с помощью стандартных средств визуализации, предусмотренных Windows.

Функция программы SCAD — Настройка графической среды в разделе меню *Опции* можно изменить заданные по умолчанию параметры режима анимации, например, уменьшить или увеличить количество циклов повторения.

Для стержневых элементов есть возможность отображения деформированной схемы с учетом перемещений в промежуточных точках стержня. Для этого используется специальный фильтр — **Отображение прогибов в стержнях**.

Если этот фильтр активен (включен), то функция анимации выполняется с визуализацией прогибов отдельных элементов.

Для анализа деформаций одного элемента (рис. 51) можно воспользоваться функцией **Эпюры прогибов** в диалоговом окне **Информация об элементе** (см. рис. 49).

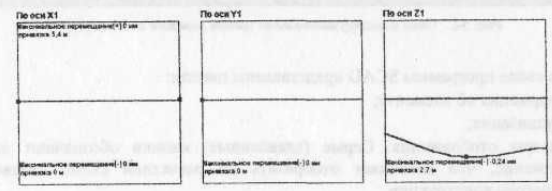


Рис. 51. Результаты анализа перемещений элемента рамы



## Анализ усилий

В режиме анализа усилий выводятся на экран эпюры усилий, в данном случае для многоэтажной рамы, состоящей из стержневых элементов —  $M$ ,  $N$  и  $Q$  от всех принятых в схем нагружения. Предусмотрен вариант анализа усилий с помощью цветовой индикации положительных и отрицательных значений усилий. Такой прием можно применить в относительно больших расчетных схемах с большим количеством элементов, где вначале важно определить зоны или участки с максимальными усилиями (рис. 52). С помощью специальной панели — **Информация об элементе** можно вывести на экран в отдельном окне эпюры усилий и прогибов для отдельных элементов. Для контроля при исследовании усилий расчетной схемы и облегчения работы в процессе получения необходимой информации на экране присутствуют панели **Визуализации** и **Фильтры отображения**. Их инструментальные кнопки будут рассмотрены ниже.

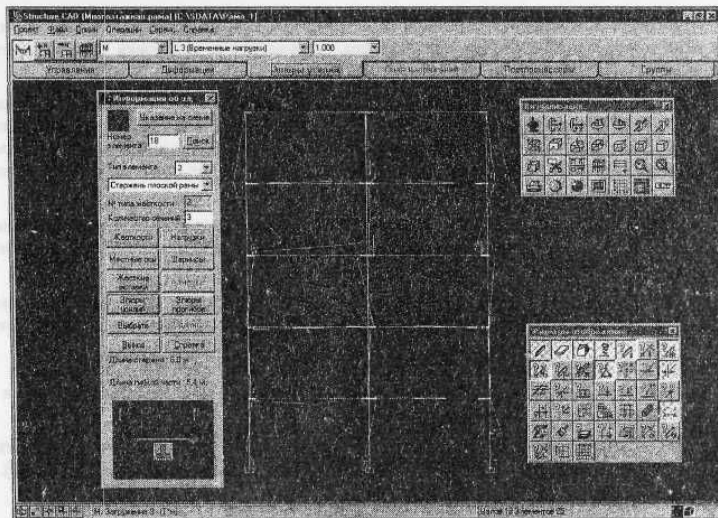


Рис. 52. Окно и инструментальная панель режима анализа усилий

На рабочем столе программы SCAD представлены панели:

- Информация об элементе;
- Визуализация;
- Фильтры отображения. Серые (вдавленные) кнопки обозначают их активное положение, что позволяет отобразить на расчетной схеме соответствующие параметры конструкции.

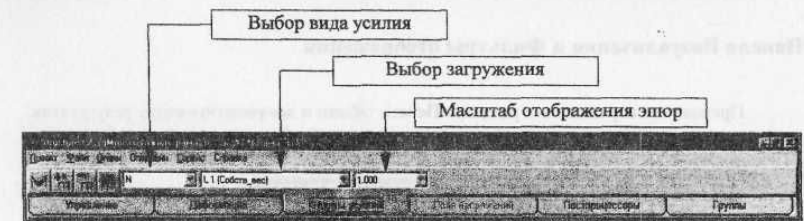






Рис. 53. Инструментальная панель Эпюры усилий

В этом режиме можно воспользоваться следующими кнопками:

-  — вывод эпюр усилий;
-  — цветовая индикация положительных значений усилий;
-  — цветовая индикация отрицательных значений усилий;
-  — отображение расчетной схемы.

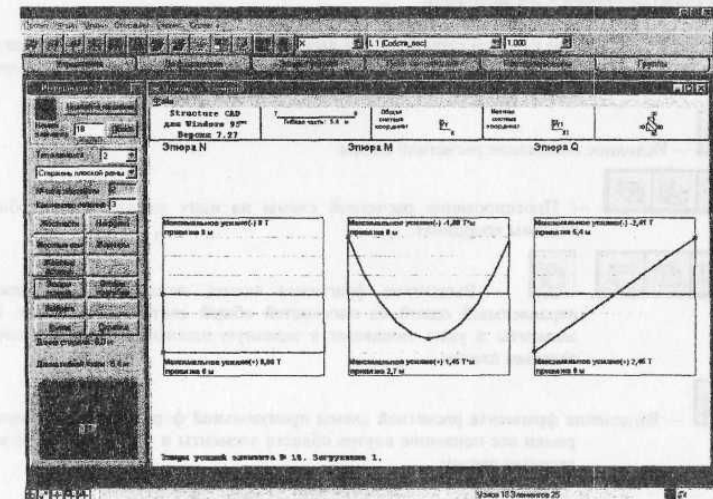


Рис. 54. Окно с усилиями  $M$ ,  $N$  и  $Q$  для отдельного элемента

## Панели Визуализация и Фильтры отображения

Прежде чем переходить к разделу «Печать таблиц и документирования результатов расчета», рассмотрим назначение и работу панелей **Визуализация** и **Фильтры отображения**.

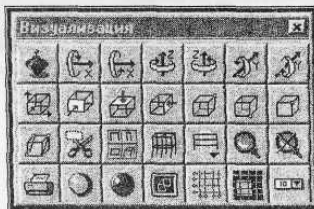


Рис. 55. Инструментальная панель Визуализация

С помощью инструментальной панели **Визуализация** (рис. 55) выполняются операции поворота изображения расчетной схемы вокруг заданных осей, проецирование изображения на плоскости прямоугольной системы координат, а также различные операции по выделению фрагмента схемы.



— Поворот схемы вокруг заданной оси.

При нажатой первой кнопке вызывается непрерывное вращение вокруг заданной оси (X, Y и Z). Для отключения вращения необходимо отжать кнопку непрерывного вращения.



— Исходное положение расчетной схемы.



— Проецирование расчетной схемы на одну из плоскостей общей системы координат.



— Выделение фрагмента схемы, лежащего в плоскости, параллельной одной из плоскостей общей системы координат. Все элементы и узлы, попавшие в заданную плоскость, будут выделены зеленым цветом.



— Выделение фрагмента расчетной схемы произвольной формы. После установки рамки все попавшие внутрь области элементы и узлы будут выделены зеленым цветом.



— Отсечение на проекциях.

Правила работы с функцией:

- окна проекций независимы, и любое из них может быть увеличено или уменьшено;
- отсечение можно выполнять в любом порядке, многократно и в любом окне;
- часть расчетной схемы, попавшая во фрагмент, выделяется зеленым цветом;
- режим отсечения может быть инверсным, в этом случае во фрагмент попадает все, что не вошло в выделенную область;



— Изменение масштаба изображения расчетной схемы;



— Функция «Крупный план» позволяет увеличить изображение расчетной схемы до любого размера. Вторая кнопка для отказа от крупного плана.



— Печать расчетной схемы с принятыми фильтрами отображения;



— Подтверждение и отмена фрагментации;



— Функция полноэкранного режима работы;



— Функция фрагментации на разбивочных осях;



— Функция инверсной отметки для операций фрагментирования;



— Назначение шага поворота относительно заданных осей (Установка угла вращения).

Отображение информации на расчетной схеме выполняется с помощью панели **Фильтры отображения** (рис. 56). При выводе на печать все установки учитываются, и изображение на бумаге будет соответствовать информации на экране монитора. Кроме функций управления отображением, на панели фильтров установлены кнопки, функции которых часто используются при работе со схемой. К ним относятся, например, получение информации о конкретном узле или элементе (см. рис. 54), отмена выбора всех объектов на схеме, определение расстояния между заданными узлами и др.



Рис. 56. Инструментальная панель **Фильтры отображения**

Более детальная настройка фильтров выполняется в многостраничном диалоговом окне **Настройка фильтров отображения информации** (рис. 57). Для вызова этого окна необходимо установить курсор в любой точке панели **Фильтры отображения** и нажать правую кнопку мыши **M<sup>П</sup>**.

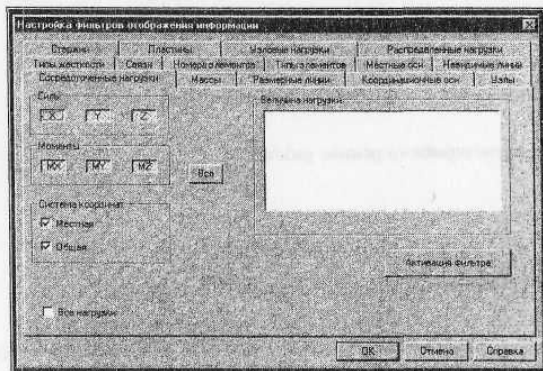


Рис. 57. Панель настройки фильтров отображения информации (страница **Сосредоточенные нагрузки**)



— Фильтры отображения элементов: стержневых, плоских, объемных или специальных. В исходном состоянии все кнопки активны, т.е. на схеме будут показаны все виды элементов.



— Информация об элементах и узлах. С помощью кнопок вызываются диалоговые окна для получения необходимой информации.



— Управление выводом номеров Элементов и Узлов.



— Управление фильтром вывода типов элементов.



— Функция вывода типов жесткостей.



— Функция отображения связей.



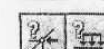
— Функция отображения групп объединения перемещений.



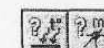
— Отображение шарниров и жестких вставок.



— Отображение узлов на расчетной схеме.



— Отображение узловых, распределенных и сосредоточенных нагрузок, а также величин нагрузок на узлы и элементы.



— Отображение температурных нагрузок и массы элементов.



— Отображение удаленных узлов.



— Направление местных осей элемента и общей системы координат.



— Отображение координатных осей. Если для расчетной схемы заданы координатные (разбивочные) оси и отметки уровней, то они могут отображаться целиком или фрагментироваться. Управление производится на одноименной странице фильтров.




— Удаление линий невидимого контура.





— Отображение прогибов в стержнях в режиме графического анализа результатов расчета.





— Вывод значений на изополях и эпюрах. Фильтр доступен только в режиме графического анализа результатов и работает только «поверх» цветового отображения исследуемого фактора (изолинии, эпюры, площади рабочей арматуры ...).


 — Начальная установка фильтров. Служит для отмены всех сделанных ранее настроек.

 — Первая кнопка для отображения совпадающих элементов, которые помечаются желтым цветом. Вторая — для отмены маркировки элементов.

 — Отображение совпадающих узлов.

 — Отображение направлений выдачи усилий в пластинчатых элементах и цветовая индикация групп узлов и элементов.

 — Определение расстояния между узлами и линеек с размерными линиями по нижней и левой кромкам рабочего окна. Размерные линии и сетка выводятся только в том случае, если фрагмент или вся схема спроектированы на одну из плоскостей системы координат.

 — Навигатор позволяет определить положение видимой части расчетной схемы.

Если на панели **Фильтры отображения** будут нажаты<sup>5</sup> все инструментальные кнопки, тогда на расчетной схеме может оказаться слишком много информации для зрительного анализа. Удобнее выводить информацию одного вида. При нажатии кнопки **фильтров** она как бы «утапливается» и соответствующая информация отображается на расчетной схеме. При повторном нажатии кнопка «отжимается» и информация исчезает.

Панель **Фильтры отображения** может принимать любую форму, сохраняя заданные в настройках инструментальные кнопки, перемещаться в любую область рабочего окна или может быть удалена с экрана.

<sup>5</sup> Понятие нажатая кнопка соответствует визуальному изображению «утопленной» кнопки инструментальной панели.

## Документирование исходных данных и результатов расчета

### Печать таблиц

Для составления отчета с исходными данными и результатами расчета можно использовать генератор таблиц в текстовом формате или с помощью специальной подсистемы **Документирование**, в которой таблицы формируются и выводятся на печать в графическом формате или экспортируются в **MS Word**<sup>TM</sup> или **MS Excel**<sup>TM</sup>.

Управление генерацией таблиц осуществляется в диалоговом окне **Оформление результатов расчета**, которое вызывается нажатием **М** раздела **Печать таблиц** группы постпроцессора **Результаты** в Дереве проекта (рис. 58).

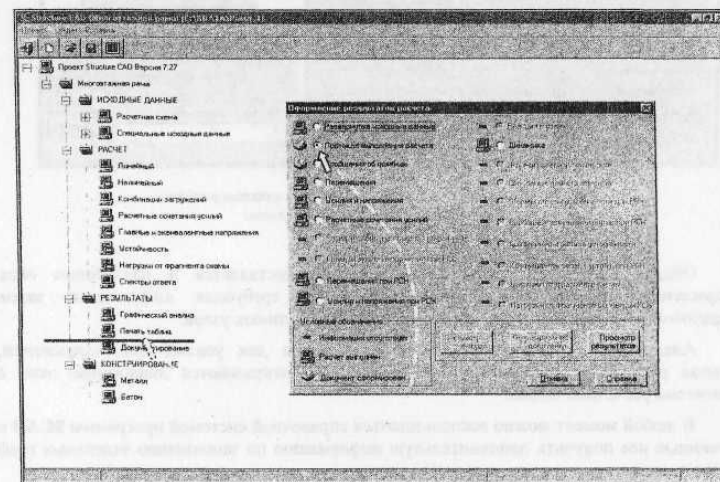




Рис. 58. Оформление результатов расчета в табличной форме

Условные обозначения, стоящие рядом с наименованием раздела, обозначают:

- Знаком (—) минус отмечены разделы, по которым результаты отсутствуют;
- Знаком () отмечены разделы, по которым в результате расчета получена информация;
- Знаком () отмечены позиции, по которым формирование таблиц выполнено и их можно распечатать.



Если необходимо распечатать все или часть результатов, например, перемещения указанных узлов с 4-го по 18-й (или 4—18), то нажимаем **М** — **параметры вывода**, формируется список узлов, затем **М** — **формирование документа** (рис. 59).

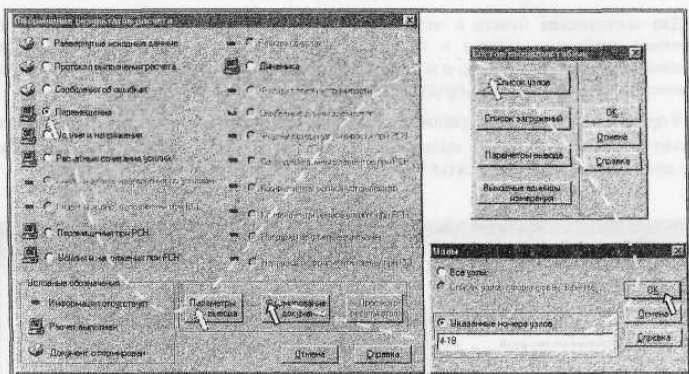


Рис. 59. Диалоговые окна **Оформление результатов расчета** (Перемещения узлов расчетной схемы)

Общее управление генерацией таблиц осуществляется в диалоговом окне **Оформление результатов расчета**. Отмечается требуемая информация, затем определяются параметры вывода, и в данном случае — список узлов.

Аналогичным образом формируются таблицы для усилий или напряжений, таблицы расчетных сочетаний усилий. При этом открываются диалоговые окна с элементами расчетной схемы.

В любой момент можно воспользоваться справочной системой программы SCAD и с помощью нее получить дополнительную информацию по заполнению отдельных граф диалоговых окон.

После нажатия кнопки **формирование документа** становится активной кнопка **Просмотр результатов** и можно вывести результаты расчета в табличной форме на экран.

Результаты расчета в табличной форме:

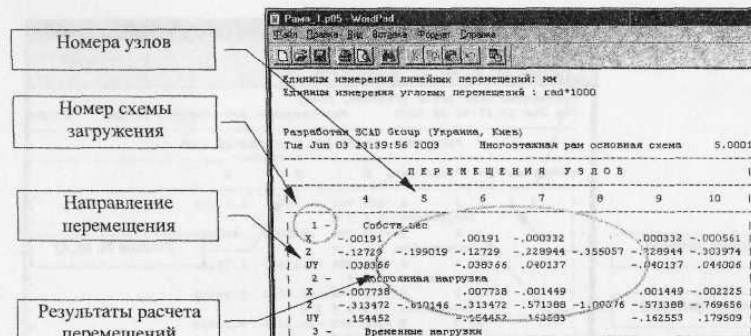


Рис. 60. Результаты расчета перемещений узлов

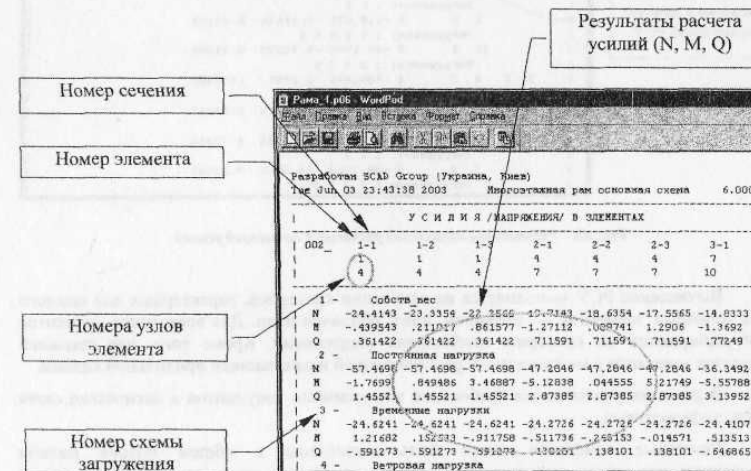


Рис. 61. Результаты расчета усилий в раме

Единицы измерения линейных перемещений узлов расчетной схемы относительно общих осей X, Y и Z заданы в мм. Положительное перемещение принято по направлению соответствующей оси.

Правило знаков для усилий N, M и Q приведены в Приложении В.



Элемент	Сечение	Критерий	Сочетание	N	M	Q	
1	1	2	2	A	-107,784	-2,787	2,06943
				Загружения: 1 2 3 4			
6	2	2	2	A	-102,769	.680681	.440422
				Загружения: 1 2 3 4			
13	1	1	1	A	-84,6704	-4,13627	2,72164
				Загружения: 1 2 4			
2	3	3	3	B	-119,944	-18,6361	9,44183
				Загружения: 1 2 3 4 5 6			
5	3	3	3	B	-100,245	-19,6095	9,91485
				Загружения: 1 2 4 5 6			
1	2	2	2	A	-106,705	.937378	2,06943
				Загружения: 1 2 3 4			
6	1	1	1	A	-105,439	-1,21303	1,22536
				Загружения: 1 2 3			
13	1	1	1	A	-83,5914	.76289	2,72164
				Загружения: 1 2 4			
2	3	3	3	B	-118,973	-1,64676	9,44183
				Загружения: 1 2 3 4 5 6			
13	3	3	3	B	-99,2743	-1,76879	9,91485
				Загружения: 1 2 4 5 6			
1	3	2	2	A	-100,611	2,2662	.440422
				Загружения: 1 2 3 4			
6	2	2	2	A	-105,626	4,65236	2,06943
				Загружения: 1 2 3 4			
13	1	1	1	A	-82,5125	5,66165	2,72164
				Загружения: 1 2 4			
1	3	3	3	B	-98,3033	16,0865	9,91485
				Загружения: 1 2 4 5 6			

Рис. 62. Результаты вычислений расчетных сочетаний усилий

Вычисление РСУ выполняется на основании критериев, характерных для каждого типа конечных элементов — стержней, плит, оболочек и др. Для всех типов элементов РСУ выбираются по критерию наибольших напряжений. Кроме того, для стержней находятся сочетания с максимальной растягивающей и сжимающей продольной силами.

В расчетах учитываются требования нормативных документов и логические связи между загружениями.

Расчетные сочетания могут быть вычислены в общем потоке расчета непосредственно после вычисления усилий от отдельных схем загружений. В другом случае исходные данные для РСУ готовятся после завершения формирования расчетной схемы и расчета по отдельным загружениям.

В диалоговом окне **Расчетные сочетания усилий** автоматически записываются имена всех сформированных загружений. Каждому загружению выделена одна строка таблицы, которая имеет свой номер, имя, список и столбцы со специальной информацией.

В строке **Загружения** указываются номера загружений расчетной схемы, которые вошли в данное расчетное сочетание усилий.

## Армирование сечений железобетонных элементов

Постпроцессор программы SCAD предназначен для подбора арматуры в железобетонных элементах и рассчитанной по предельным состояниям первой и второй групп в соответствии с требованиями СНиП 2.03.01-84 «Бетонные и железобетонные конструкции».

Расчет производится для железобетонных конструкций, выполняемых из тяжелого, мелкозернистого и легкого бетонов с применением арматурной стали классов А-I ... А-III и арматурной проволоки класса Вр-I.

Постпроцессор работает как в режиме подбора арматуры железобетонного сечения, так и в режиме проверки заданного армирования.

Библиотека постпроцессора содержит четыре модуля армирования:

- ✓ модуль 1 (**Стержень 2D**) — для армирования плоских стержневых железобетонных элементов прямоугольного, таврового, двутаврового и кольцевого сечений по предельным состояниям первой и второй групп;
- ✓ модуль 2 (**Стержень 3D**) — для армирования пространственных стержневых железобетонных элементов прямоугольного, таврового, двутаврового сечений по предельному состоянию первой группы;
- ✓ модуль 11 (**Плита, Оболочка**) — для армирования железобетонных плит/оболочек по предельным состояниям первой и второй групп.
- ✓ модуль 21 (**Балка-стенка**) — для армирования железобетонных балок-стенок по предельным состояниям первой и второй групп.

Исходными данными для работы постпроцессора являются:

- ✓ геометрия армируемого сечения;
- ✓ расчетные сочетания усилий;
- ✓ информация о марке бетона, классе арматуры, расстоянии до центра тяжести арматуры и т.п.

Результатом работы постпроцессора являются площади «размазанной» по сечению арматуры. Результаты могут быть представлены в виде таблиц и графических материалов, выводиться на экран или печать. Исходные данные задаются в диалоговом окне постпроцессора.

Функциональные модули постпроцессора работают после расчета напряженно-деформированного состояния конструкции по загружениям. При этом необходимо предварительно вычислить расчетные сочетания усилий.

Рекомендуется следующий порядок работы с постпроцессором при работе с новой расчетной схемой:

- в **Дереве проекта** активизировать выполнение функции **Бетон**;
- в многостраничном диалоговом окне **Армирование** активной является страница **Характеристики групп** (рис. 63);
- нажать кнопку **Создать новую группу**, в графе **Список элементов** ввести номера, в графе **Имя группы**, последовательно заполнить графы А1, А2 — расстояния до ц.т. арматуры, расчетные длины, модуль армирования;

- поместить графу **Подбор по трещиностойкости** для подбора арматуры в элементах с учетом требований второй группы предельных состояний;
- активизировать закладку **Бетон** (рис. 64) и задать характеристики бетона для элементов первой группы;
- активизировать закладку **Арматура** (рис. 65) и задать характеристики арматуры для элементов первой группы.
- активизировать закладку **Трещиностойкость**, если предполагается выполнять расчет по второму предельному состоянию (рис. 66);
- из списка номеров групп выбрать номер следующей группы и повторить для нее все ранее описанные действия.

Вся информация, задаваемая на странице **Характеристики групп** и других страницах, относится к группе, номер которой установлен в списке **Номер группы**.

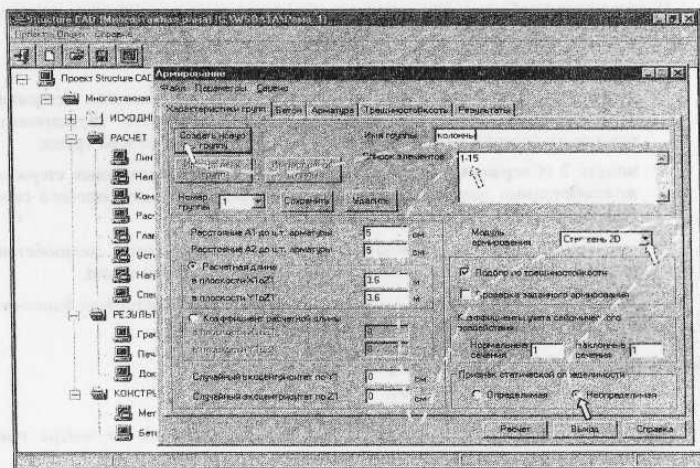


Рис. 63. Диалоговое окно Армирование, страница Характеристики групп

В данной таблице нажимаем кнопку **Создать новую группу**, в графе **Имя группы**, записываем — колонны, в графе **Список элементов** (т.е. их номера на расчетной схеме). Список элементов 1-15 означает непрерывный ряд элементов с 1-го номера по 15-й. Если требуется ввести произвольный ряд номеров элементов, тогда он вводится через пробел. Например, 2 5 8 12 и т.д.

В графах **Расстояние A1 (Расстояние A2) до п.т. арматуры** записываются необходимые или заданные размеры этих параметров, в данном примере 5 см.

В графах **Расчетная длина** указываются величины расчетных длин элементов с учетом конструктивных особенностей расчетной схемы и требований норм проектирования. В данном примере расчетные длины всех колонн приняты 3,6 м в плоскости  $X_1 O Z_1$  и из плоскости  $Y_1 O Z_1$ .

В графе **Модуль армирования** из списка выбираем плоский стержень — **2D**.

Отмечаем  (галочкой) позицию **Подбор по трещиностойкости** при необходимости расчета арматуры с учетом требований норм проектирования по трещиностойкости.

В графе **Признак статической неопределимости** отмечается позиция — **Неопределимая**. Переходим на вторую закладку — **Бетон** (рис. 64).

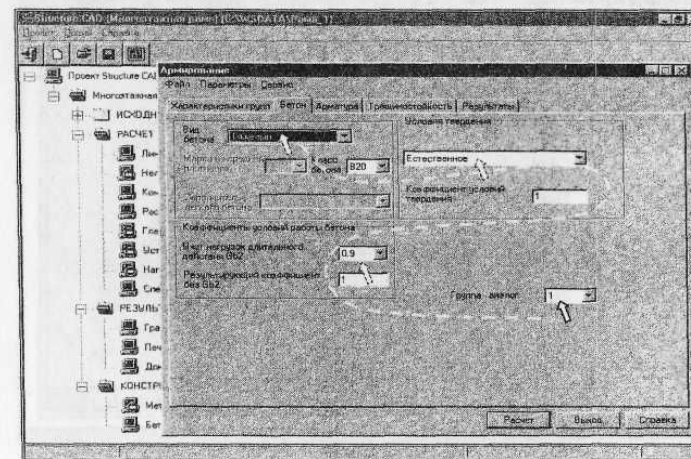


Рис. 64. Диалоговое окно Армирование, страница Бетон

На странице **Бетон** выбирается вид и класс бетона (для легкого бетона класс выбирается в зависимости от марки бетона по средней плотности и указывается заполнитель), определяются коэффициенты условий работы и условия твердения. Если выбрать естественные условия твердения, то отклонение реального модуля упругости бетона от табличного значения может быть учтено заданием **коэффициента условий твердения**, отличным от 1.

В данном примере из списка **Вид бетона** выбираем — тяжелый. Из списка **Класс бетона** выбираем — B20 (класс бетона по прочности на сжатие). В разделе **Условия твердения** из списка выбираем — Естественное.

В разделе **Коэффициенты условий работы бетона** в соответствии с требованиями СНиП 2.01.03-84\* «Бетонные и железобетонные конструкции» вводятся значения коэффициентов  $\gamma_{b2}$  и произведение всех других коэффициентов условий работы без учета  $\gamma_{b2}$ , то есть —  $\gamma_{b1} \cdot \gamma_{b3} \cdot \gamma_{b4} \cdot \gamma_{b5}$  и т.д. в зависимости от влияния действующего на конструкцию фактора. В нашем примере  $\gamma_{b2}=0.9$  (п. 2а СНиП 2.01.03-84\*) и  $\cdot \Pi_i \gamma_{bi}=1$ .

В графе **Группа-аналог** автоматически указывается номер группы элементов расчетной схемы, применительно к которой записываются данные значения расчетных параметров. В данном случае указана группа 1 (вертикальные элементы — колонны). Для горизонтальных элементов — ригелей, группа-аналог будет 2.

Для упрощения подготовки данных при наличии нескольких групп с одинаковыми характеристиками бетона используется список **Группа-аналог**, из которого можно выбрать номер группы, по подобию которой задаются данные для текущей группы.

После записи расчетных данных бетона переходим на закладку — **Арматура** (рис. 65).

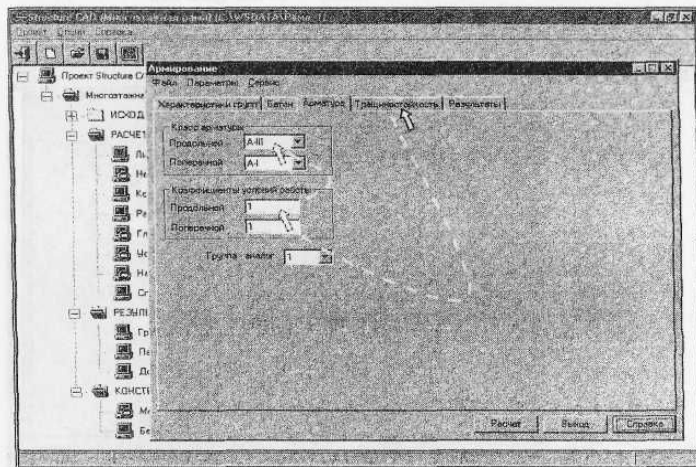


Рис. 65. Диалоговое окно Армирование, страница Арматура

В разделе **Класс арматуры** задаем класс продольной и поперечной рабочей арматуры вначале для первой группы элементов, затем для второй группы элементов.

В разделе **Коэффициенты условий работы** записываются соответствующие коэффициенты условий работы арматуры (табл. 22\*, СНиП 2.01.03-84\*). С помощью этих коэффициентов можно откорректировать значения расчетного сопротивления арматуры в случаях, когда диаметр стержней отличается от стандарта.

Последняя закладка **Трещиностойкость** появляется в случае, если в разделе **Характеристики групп** (см. рис. 63) отмечена позиция  (галочкой) **Подбор по трещиностойкости**.

Переходим к заполнению позиций на последней закладке **Трещиностойкость** (рис. 66).

Данные для подбора арматуры по **Трещиностойкости**:

- сначала следует установить категорию трещиностойкости;
- если выбрана 1-я категория, то задается только режим влажности бетона и расстояние до центра тяжести крайнего ряда стержней продольной арматуры (по умолчанию — A1);

- если выбрана 3-я категория, то следует последовательно задать условия эксплуатации конструкции, режим влажности бетона и влажность воздуха окружающей среды, после чего допустимая ширина раскрытия трещин будет установлена автоматически;
- обязательно задаются диаметры стержней продольной и поперечной арматуры, которые не имеют значений по умолчанию.

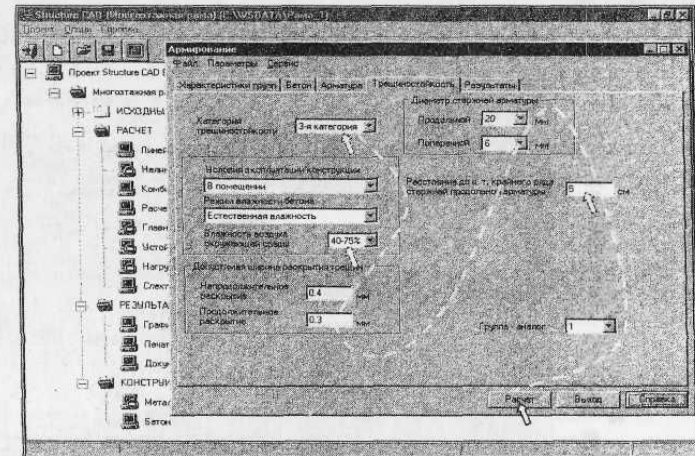


Рис. 66. Диалоговое окно Армирование, страница Трещиностойкость

В нашем примере в списке **Категория трещиностойкости** выбираем — 3-я категория.

В разделе **Условия эксплуатации конструкции** из списков выбираем — в помещении; естественная влажность; 40-75%.

В разделе **Допустимая ширина раскрытия трещин** в соответствии с требованиями норм (табл. 2\*, СНиП 2.01.03-84\*) для третьей категории в закрытом помещении при непродолжительном действии нагрузки —  $a_{ср1}=0.4$  мм и при непродолжительном действии —  $a_{ср2}=0.3$  мм.

В разделе **Диаметры стержней** из списка выбираем диаметры продольной — Ø20 и поперечной арматуры — Ø6. Принятые диаметры стержней перед расчетом точно неизвестно, но данные значения диаметров наиболее вероятны для данных размеров сечений колонн и действующих нагрузок. Если в результате расчета окажется, что площадь арматуры не соответствует этим диаметрам, тогда можно быстро выполнить повторный расчёт с учетом скорректированных диаметров стержней для продольной и поперечной арматуры.

Расстояние до центра тяжести крайнего ряда растянутой арматуры определяется из конструктивных требований норм проектирования.



После заполнения всех позиций окна **Армирование** нажимаем **М** кнопку **Расчет**. Автоматически добавляется новая страница **Результаты** (рис. 67).

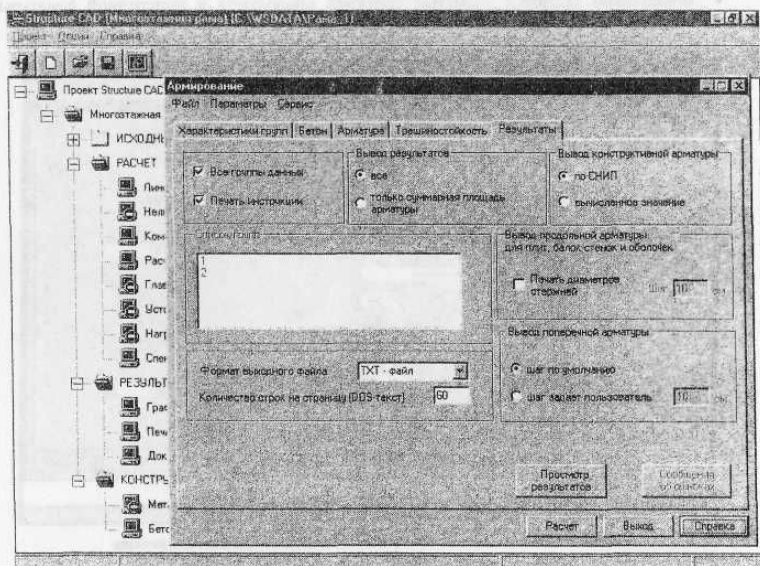


Рис. 67. Диалоговое окно **Армирование**, страница **Результаты**

Исходные данные и результаты задаются для каждой группы, например, для колонн (элементы 1-15) и ригелей (элементы 16-25). После таблиц с исходными данными и результатами расчета может выводиться подробная информация по правилам чтения результатов.

Вывод результатов, согласно СНиП 2.01.03-84\*, подразумевает выдачу на печать конструктивной арматуры в случаях, когда процент армирования меньше предусмотренного в нормах минимума. Для выдачи поперечной арматуры предусмотрена возможность назначения шага хомутов пользователем.

Для пластинчатых элементов результаты подбора продольной арматуры могут быть получены в виде площади арматуры или в виде диаметра и количества стержней при заданном шаге арматуры.

Для того чтобы получить файл результатов в формате **DOS** (расширение файлов \*.P99) используется утилита CODER.EXE, которая поставляется в составе комплекса. Одновременное наличие текстовых файлов результатов в форматах **DOS** и **Windows** не предусмотрено.

Если в процессе расчета получены сообщения об ошибках, то для их просмотра используется одноименная кнопка в нижней части окна.

В диалоговом окне **Печать результатов** можно выполнить настройку функций выдачи результатов, включая:

- все группы данных — вывод результатов по всем группам данных или только для выбранных групп;
- печать инструкции — вывод на печать после таблиц с результатами инструкции по чтению результатов расчета;
- вывод результатов (все) — вывод в отдельных строках суммарного значения арматуры, арматуры, добавленной на кручение, и арматуры, добавленной по условиям трещиностойкости;
- вывод результатов (суммарная площадь арматуры) — вывод только суммарного значения арматуры;
- вывод конструктивной арматуры (по СНиП) — при значении менее 0,05% от площади сечения выводится значение, равное 0,05% площади сечения;
- вывод конструктивной арматуры (вычисленное значение) — выводится вычисленное значение площади арматуры;
- вывод поперечной арматуры (шаг по умолчанию) — выводится вычисленное значение площади хомутов для вычисленного шага;
- вывод поперечной арматуры (шаг задает пользователь) — выводится значение площади хомутов для заданного шага;
- вывод продольной арматуры для плит, балок-стенок и оболочек в размерностях площади арматуры;
- вывод продольной арматуры для плит, балок-стенок и оболочек в виде количества стержней и диаметра арматуры при заданном шаге.

Кнопка **Результаты** в диалоговом окне **Проект** позволяет загрузить окно **Печать результатов**. В этом окне назначаются правила формирования и вывода таблиц. Таблицы могут быть сформированы в текстовом формате в кодировках **DOS** или **Windows**, а также в формате **RTF**<sup>6</sup>. Формат таблиц выбирается из списка.

Таблицы автоматически загружаются в текстовый редактор, назначенный в диалоговом окне **Настройка графической среды**. Для того чтобы имена RTF-файлов с результатами подбора арматуры не пересекались с аналогичными по формату файлами **Документатора**, к имени файла добавляется окончание **\_AR** (например, для проекта **PROJECT** файл с результатами подбора арматуры будет иметь имя **PROJECT\_AR.RTF**).

При выводе результатов в текстовом формате используется так называемый непропорциональный шрифт, в котором все символы имеют одинаковую ширину (Courier New Cyrillic). Благодаря этому можно получить достаточно ровные таблицы. Примеры таблиц в формате \*.RTF и \*.TXT приведены ниже на рис 68 и 69.

<sup>6</sup> RTF (Rich text format) — богатый текстовый формат.

Файл с результатами:

№	N	Тип	Площадь продольной арматуры (см.кв)				Ширина		Площадь поперечной арматуры					
			несимметричной	симметричной			расчетная	применяемая	св.кв.	ср.	св.кв.	ср.		
AS1	AS2	AS3	AS4	%	AS1	AS2	%	ASR1	ASR2	ASR3	Шаг	ASR2	Шаг	
ГРУППА ДАННЫХ 1														
МОДУЛЬ АРМИРОВАНИЯ 1 (2D - типовое отверстие)														
АКСОН ВЪЕЗД АРМАТУРА ПРОДОЛЬНАЯ А2 ПОПЕРЕЧНАЯ А1														
СЕРИИ: ПРЯМОУГОЛЬНИК Н=60.0 Н=60.0 (см)														
1/	2	С	2.31	2.31	0.21	2.31	0.21	0.21	0.21	0.17				
2/	2	С	2.31	2.31	0.21	2.31	0.21	0.25	2.00	0.27	0.17	0.30		
			0.84					0.67						
3/	2	С	2.31	2.31	0.21	2.31	0.21	0.22	0.15					
4/	2	С	2.31	2.31	0.21	2.31	0.21							
			2.31	2.31	0.21	2.31	0.21	0.25	0.14					
5/	2	С	2.31	2.31	0.21	2.31	0.21	0.39	0.12					
6/	2	С	2.31	2.31	0.21	2.31	0.21							
			2.31	2.31	0.21	2.31	0.21	0.37	0.09					

Рис. 68. Результаты подбора арматуры в формате RTF

№	N	Тип	Площадь продольной арматуры (см.кв)				Ширина		Площадь поперечной арматуры				
			несимметричной	симметричной			расчетная	применяемая	св.кв.	ср.	св.кв.	ср.	
AS1	AS2	AS3	AS4	%	AS1	AS2	%	ASR1	ASR2	ASR3	Шаг	ASR2	Шаг
ГРУППА ДАННЫХ 1													
МОДУЛЬ АРМИРОВАНИЯ 1 (2D - типовое отверстие)													
АКСОН ВЪЕЗД АРМАТУРА ПРОДОЛЬНАЯ А2 ПОПЕРЕЧНАЯ А1													
СЕРИИ: ПРЯМОУГОЛЬНИК Н=60.0 Н=60.0 (см)													
1/	2	С	2.31	2.31	0.21	2.31	0.21	0.21	0.17				
2/	2	С	2.31	2.31	0.21	2.31	0.21	0.25	2.00	0.27	0.17	0.30	
			0.84					0.67					
3/	2	С	2.31	2.31	0.21	2.31	0.21	0.22	0.15				
4/	2	С	2.31	2.31	0.21	2.31	0.21						
			2.31	2.31	0.21	2.31	0.21	0.25	0.14				
5/	2	С	2.31	2.31	0.21	2.31	0.21	0.39	0.12				
6/	2	С	2.31	2.31	0.21	2.31	0.21						
			2.31	2.31	0.21	2.31	0.21	0.37	0.09				

Рис. 69. Результаты подбора арматуры в формате TXT

Модуль армирования 1 предназначен для армирования или проверки заданного армирования сечений стержневых железобетонных элементов по предельным состояниям первой и второй групп (прочность и трещиностойкость). Модуль рассчитывает стержни прямоугольного, таврового, двутаврового и кольцевого сечений на изгиб и внецентренное сжатие (растяжение) с кручением. Кольцевое сечение рассчитывается только по предельным состояниям первой группы.

В сечении могут действовать следующие силовые факторы:

- нормальная сила –  $N$ ;
- крутящий момент –  $M_k$ ;
- перерезывающая сила –  $Q_z$ ;
- изгибающий момент –  $M_y$ .

Результатом работы модуля являются площади симметричной и несимметричной продольной арматуры, а также площадь и шаг поперечной арматуры. На рис. 70 а-г для различных типов сечений приведено расположение и идентификация несимметричной, а на рис. 70 д-ж — то же для симметричной продольной арматуры. Естественно, что симметричная арматура может быть подобрана только для сечений симметричных относительно оси  $Y_1$ .

Модуль 1 (Стержень 2D)

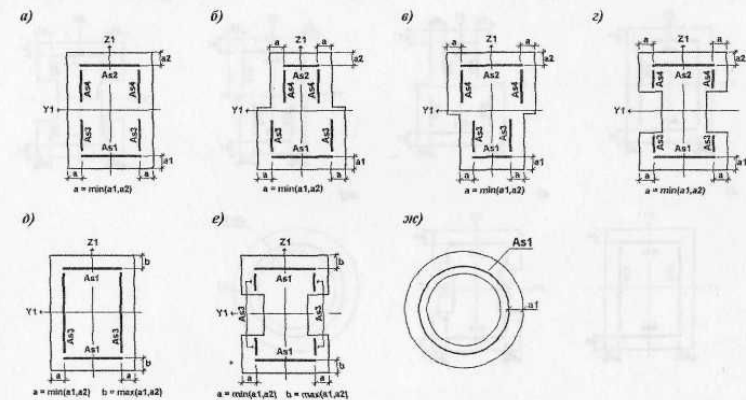


Рис. 70. Виды сечений с несимметричным (а-г) и симметричным (д-ж) расположением продольной арматуры



Модуль армирования **2** предназначен для армирования или проверки заданного армирования сечений стержневых железобетонных элементов по предельным состояниям первой группы (прочность). Модуль рассчитывает стержни прямоугольного, таврового, двутаврового и кольцевого сечений на **косой изгиб и косое внецентренное сжатие (растяжение) с кручением**. Рассматривается **пространственная** работа стержня. При этом в сечении действуют следующие силовые факторы:

- нормальная сила —  $N$ ;
- крутящий момент —  $M_k$ ;
- перерезывающая сила —  $Q_z, Q_y$ ;
- изгибающий момент —  $M_y, M_z$ .

В результате работы модуля получаются площадь продольной, а также площадь и шаг поперечной арматуры.

На рис. 71 а-г для различных типов сечений приведено расположение и идентификация несимметричной, а на рис. 71 д-ж — то же для симметричной продольной арматуры. Симметричная арматура может быть подобрана только для сечений, симметричных относительно оси  $Y_1$ .

#### Модуль 2 (Стержень 3D)

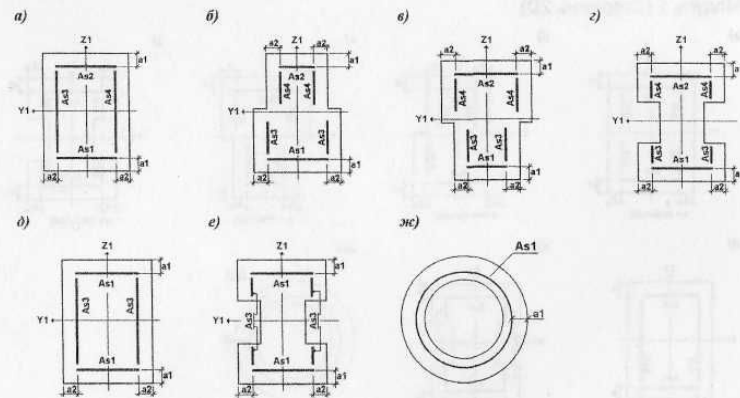


Рис. 71. Виды сечений с несимметричным (а-г) и симметричным (д-ж) расположением продольной арматуры

Модуль армирования **11** предназначен для армирования или проверки заданного армирования железобетонных плит и оболочек по предельным состояниям первой и второй групп (прочность и трещиностойкость). Модуль рассчитывает элемент железобетонной плиты/оболочки на действие следующих силовых факторов, вычисленных в центре элемента:

- нормальные напряжения —  $N_x, N_y$ ;
- касательные напряжения —  $T_{xy}$ ;
- крутящий момент —  $M_{xy}$ ;
- перерезывающие силы —  $Q_x, Q_y$ ;
- изгибающие моменты —  $M_x, M_y$ .

В результате работы модуля вычисляются площади верхней и нижней продольной арматуры, а также площади и шаги поперечной арматуры. На рис. 72 для сечений элемента железобетонной оболочки приведено расположение и идентификация верхней и нижней продольной арматуры, а также поперечной арматуры.

#### Модуль 11

##### Плита

##### Оболочка

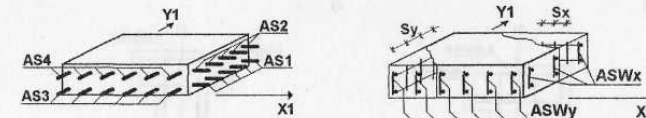


Рис. 72. Армирование элементов железобетонной плиты и оболочки

Модуль 21 предназначен для армирования или проверки заданного армирования железобетонных балок-стенок (элементов, работающих в плоском напряженном состоянии) по предельным состояниям первой и второй групп (рис. 73). Модуль рассчитывает элемент железобетонной балки-стенки на действие следующих силовых факторов, вычисленных в центре элемента:

- нормальные напряжения —  $N_x, N_z$ ;
- касательные напряжения —  $T_{xz}$ ;

#### Модуль 21 (Балка-стенка)

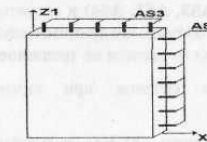


Рис. 73. Армирование элементов балки-стенки

В результате работы модуля вычисляются площади арматуры, работающей в сечениях ортогональных к локальным осям местной системы координат  $X_1$  и  $Z_1$ . На рис. 73 для сечений элемента железобетонной балки-стенки показано расположение и идентификация подбираемой арматуры.

Результаты расчета поперечной арматуры в стержневых элементах приведены на рис. 74.

Модуль армирования 1  
(Стержень 2D).

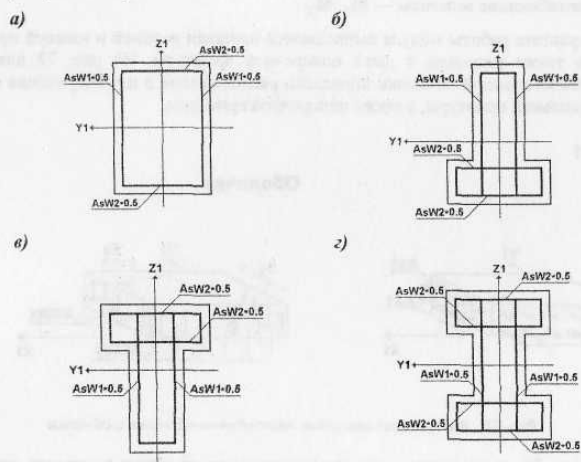


Рис. 74. Результаты расчета поперечной арматуры в стержнях  
Модуль армирования 1 (Стержень 2D)

Результаты расчета для каждого сечения в конечных элементах (или унифицированной группе КЭ) в общем случае выводятся в трех строках.

1-я — выводится всегда и содержит:

- номер элемента, номер сечения, площади продольной арматуры при несимметричном (AS1, AS2, AS3, AS4) и симметричном (AS1, AS3) армировании (суммарная – с учетом арматуры, воспринимающей действие крутящего момента, и дополнительной арматуры из расчета по трещиностойкости);
- проценты армирования сечения при симметричном и несимметричном армировании;
- ширину непродолжительного (ACR1) и продолжительного (ACR2) раскрытия трещины;

- суммарную площадь поперечной арматуры (с учетом арматуры, воспринимающей действие крутящего момента, и дополнительной арматуры из расчета по трещиностойкости) и максимальный шаг хомутов, параллельных оси  $Z_1$  (ASW1, шаг);
- суммарную площадь поперечной арматуры (с учетом арматуры, воспринимающей действие крутящего момента, и дополнительной арматуры из расчета по трещиностойкости) и максимальный шаг хомутов, параллельных оси  $Y_1$  (ASW2, шаг).

В формате RTF в 1-й строке столбца **Тип** выводится буква С (суммарная).

Во 2-й строке выводятся величины площадей продольной и поперечной арматуры, воспринимающей действие крутящего момента (в текстовом формате перед каждым значением площади арматуры выводится символ «\*»). Эти величины входят в результат первой строки. В формате RTF во второй строке столбца **Тип** выводится буква К (кручение). Если расчет на кручение не производился, то эта строка не выводится.

В 3-й строке выводятся величины площадей дополнительной продольной и поперечной арматуры из расчета по трещиностойкости. Величина площади сечения этой арматуры также входит в результат в 1-й строке. В формате RTF в 3-й строке столбца **Тип** выводится буква Т (трещиностойкость).

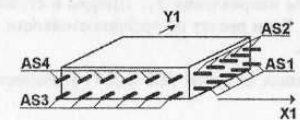
Если расчет по трещиностойкости не производился или вычисленные значения ширины раскрытия трещины с учетом арматуры, подобранной по прочности, оказались близкими нулю, то строка с величинами площадей дополнительной арматуры не выводится.

Если при расчете крутящий момент равен нулю, а расчет по трещиностойкости выполнялся, то строка с величинами площадей дополнительной арматуры, обеспечивающей заданное значение ширины раскрытия трещины, выводится второй. При этом символ «\*» или буква К во 2-й строке печататься не будет.

В результатах расчета величина площади поперечной арматуры, воспринимающей действие крутящего момента, печатается вычисленной для двух хомутов, расположенных в сечении элемента. Таким образом, площадь одного хомута можно определить как  $ASW \cdot 0.5$  (см. рис. 75).

Модуль армирования 11

Плита



Оболочка

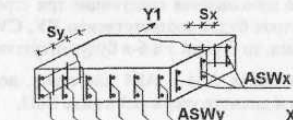


Рис. 75. Результаты расчета поперечной арматуры для плит и оболочек

Результаты армирования одного конечного элемента (или унифицированной группы конечных элементов - КЭ) в общем случае выводятся в четырех строках:

1-я — номер элемента, номер сечения всегда равен 1, суммарная величина площади сечения продольной арматуры, подобранной по прочности и трещиностойкости вдоль оси  $X_1$  (**AS1** – нижняя, **AS2** – верхняя) и соответствующий процент армирования. В формате RTF в 1-й строке столбца **Тип** выводится шифр **CX** (суммарная по  $X_1$ );

2-я — величина площади сечения продольной арматуры, подобранной по трещиностойкости вдоль оси  $X_1$  (**AS1** – нижняя, **AS2** – верхняя). В формате RTF во второй строке столбца **Тип** выводится шифр **TX** (трещиностойкость вдоль оси  $X_1$ ).

3-я — суммарная величина площади сечения арматуры вдоль оси  $Y_1$  (**AS3** – нижняя, **AS4** – верхняя) и соответствующий процент армирования. В формате RTF в третьей строке столбца **Тип** выводится шифр **CY** (суммарная по оси  $Y_1$ );

4-я — величина площади сечения арматуры, подобранной по трещиностойкости вдоль оси  $Y_1$  (**AS3** – нижняя, **AS4** – верхняя). В формате RTF в 4-й строке столбца **Тип** выводится шифр **TY** (трещиностойкость вдоль оси  $Y_1$ ).

Если расчет по трещиностойкости не проводится, 2-я и 4-я строки будут отсутствовать.

Площадь сечения арматуры для каждого конечного элемента плиты (или унифицированной группы КЭ) определяется для сечения шириной **1 м**, для заданной толщины плиты — в соответствии с усилиями.

Результаты подбора поперечной арматуры (площадь арматуры на один погонный метр и шаг) печатаются в 1-й строке по двум направлениям – вдоль оси  $X_1$ : **ASW1** (**Aswx**) и **шаг X** (**Sx**); вдоль оси  $Y_1$ : **ASW2** (**Aswy**) и **шаг Y** (**Sy**) (рис. 75).

Если назначен вывод дискретной арматуры в виде диаметра и количества стержней при заданном шаге (рис. 76), то результаты выводятся в шести строках. При этом в 1-ю строку выводятся результаты подбора в виде суммарной дискретной арматуры по направлению оси  $X_1$ , во 2-ю – площади суммарной «размазанной» арматуры по этому же направлению, в 3-ю строку – значения площади арматуры, добавленной по условиям трещиностойкости.

В столбце **Тип** в этих строках соответственно выводятся шифры **DX**, **CX**, **TX**. Аналогично заполняются следующие три строки для направления  $Y_1$ . Шифры в столбце **Тип** этих строк будут соответственно **DY**, **CY**, **TY**. Если расчет по трещиностойкости не производился, то строки 3 и 6-я будут отсутствовать.

В столбцах **AS1** – **AS4** для строк, помеченных шифром **DX** и **DY**, указывается количество и диаметр стержней в виде **NdD**,

где **N** – количество стержней;

**d** – признак вывода дискретной арматуры;

**D** – диаметр стержней.

Например, 4d20 — 4 стержня диаметром 20 мм.

Если сортамент диаметров арматуры исчерпан для заданного шага, то в соответствующих позициях таблицы выводится значение площади «размазанной» арматуры.

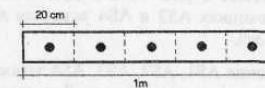


Рис. 76. Размещение дискретной арматуры при заданном шаге 20 см

### Проверка заданного армирования

Кроме подбора арматуры, в постпроцессоре предусмотрен также режим проверки заданного армирования. Для подготовки данных активизируется одноименный маркер на странице **Характеристики групп** (см. рис. 63). На странице **Проверка заданного армирования** (рис. 77) задается номер последнего проверяемого сечения элементов группы (естественно, подразумевается, что в группе заданы элементы, у которых совпадают жесткостные характеристики и количество сечений). Если проверяется каждое сечение, то заполняются соответственно столько строк в таблице, сколько задано сечений.

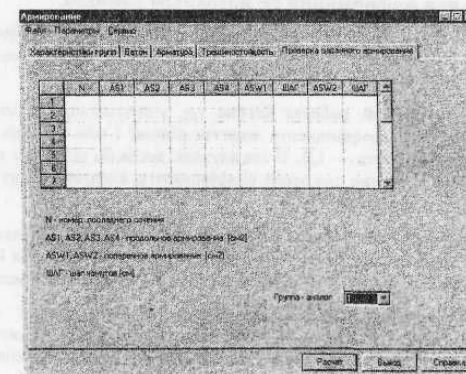


Рис. 77. Диалоговое окно **Армирование** с открытой страницей **Проверка заданного армирования**

Если задана информация для проверки арматуры, то параметры заданной арматуры принимаются стартовыми при подборе.

В зависимости от модуля армирования в таблицу вводится следующая информация:

- Для стержня 2D — значения AS1, AS2, AS3, AS4 задаются для несимметричного армирования в соответствии с рис. 70 а-г. Для симметричного армирования значения AS1=AS2, в позициях AS3 и AS4 задаются два числа, сумма которых равна AS3 (см. рис. 70 д-ж).
- Для стержня 3D — значения AS1, AS2, AS3, AS4 задаются для несимметричного армирования в соответствии с рис. 71 а-г. Для симметричного армирования значения AS1 = AS2, в позициях AS3 и AS4 задаются два числа, сумма которых равна AS3 (см. рис. 71 д-ж).
- Для плиты и оболочки в позициях AS1 ... AS4 задаются проверяемые площади сечений продольной арматуры AS1 (нижняя по X), AS2 (верхняя по X), AS3 (нижняя по Y), AS4 (верхняя по Y) в соответствии с рис. 72.
- Для балок-стенок в позициях AS1 и AS2 задаются два числа AS1 (по X) и AS2 (по Z) (см. рис. 73). Размерность – квадратные сантиметры.
- В позициях ASW1, ШАГ, ASW2, ШАГ задаются величины проверяемых площадей сечений хомутов при определенном расстоянии между ними по длине элемента. ASW1 — шаг расстановки в плоскости  $X_1OZ_1$  для стержней и плит; ASW2 — шаг расстановки в плоскости  $X_1OY_1$  для стержней и в плоскости  $Y_1OZ_1$  — для плит. Размерность — квадратные сантиметры, сантиметры.

#### Дополнительная информация по исходным данным

При подготовке исходных данных некоторые значения коэффициентов можно не задавать — они принимаются по умолчанию. В частности, по умолчанию предусмотрены значения для следующих параметров:

- коэффициент условий работы бетона  $\gamma_{R2}$ , учитывающий длительность действия нагрузки. Величина коэффициента задается равной 1 или 0,9 (поз.2а табл.15 [1]). По умолчанию принимается — 1,0. В тех случаях, когда по условиям расчета необходимо принять другое значение для этого коэффициента, следует вносить соответствующие корректировки в коэффициент  $\gamma_R$ ;
- коэффициент условий работы бетона  $\gamma_R$ , учитывающий остальные (без учета  $\gamma_{R2}$ ) вводимые в расчет коэффициенты условий работы бетона из табл.15 [1]. Его величина равна произведению этих коэффициентов. По умолчанию принимается равным 1;
- коэффициент условий твердения бетона. Если величина начального модуля упругости бетона отличается от табличного значения, то задается коэффициент, с помощью которого выполняется корректировка этого значения. По умолчанию принимается равным 1;
- коэффициенты условий работы продольной и поперечной арматуры. Этими коэффициентами можно откорректировать значения расчетных сопротивлений  $R_s$ ,  $R_{sc}$ ,  $R_{sw}$ , по умолчанию принимаются равными 1;

- коэффициенты учета сейсмического воздействия табл.7 [СНиП II-7-81]. При расчете на сейсмическое воздействие в диалоговом окне Характеристики групп вводятся два коэффициента: один – используемый при расчете по прочности нормальных сечений и второй – используемый при расчете по прочности наклонных сечений железобетонных элементов. Эти коэффициенты учитываются для тех РСУ, в состав которых входит сейсмическое нагружение, и их значения, как правило, задаются равными соответственно 1,2 и 0,9. Если данная конструкция не рассчитывалась на сейсмическое воздействие, то значения коэффициентов в этих позициях не учитываются;

LY и LZ — расчетные длины элемента (или коэффициенты расчетной длины) при деформировании соответственно в плоскостях  $X_1OZ_1$  и  $X_1OY_1$ . Задаются только для стержней и принимаются в соответствии с п. 3.25 [1]. По умолчанию расчетные длины принимаются равными нулю. Размерность – метры;

При задании расчетных длин равными нулю для модулей армирования 1 и 2 величина продольной силы будет игнорироваться, и стержень будет армироваться как изгибаемый.

- признак статической определенности принимается в соответствии с п.1.21 [1] и устанавливается соответствующими кнопками на странице Характеристики групп (по умолчанию - статически неопределимая система);
- случайный эксцентриситет EAY и EAZ при деформировании элемента соответственно в плоскостях  $X_1OZ_1$  и  $X_1OY_1$ . Задаются только для стержней и принимается по п.1.21 [1]. По умолчанию принимаются значения соответственно  $h/30$  и  $b/30$ . Размерность – см;
- категория трещиностойкости – 1 или 3. Если конструкция относится к 1-й категории трещиностойкости, то другие данные не задаются;
- допустимая ширина непродолжительного и продолжительного раскрытия трещин нормальных и наклонных к продольной оси элемента. Задаются по табл.1 и 2 [1] и принимаются в соответствие с условиями эксплуатации конструкции. Значения могут быть откорректированы. Размерность — мм;
- расстояние до центра тяжести крайнего ряда стержней продольной арматуры. Информация из этой позиции используется для корректировки ширины раскрытия трещин по формуле (145) [1]. По умолчанию принимается значение такое же, как у A1, заданное на странице Характеристики групп. Размерность — см.

Ниже в таблице приведены коэффициенты, задаваемые в исходных данных, и их учет в характеристиках бетона и арматуры.



Таблица

Коэффициенты		Характеристики по СНиП 2.03.01-84*				
		$E_b$	$R_b$	$R_{bt}$	$R_s, R_{sc}$	$R_{sw}$
Условия твердения бетона		+				
$\gamma_{b2} = 1,1$ ◇			▼	▼		
$\gamma_{b2}$ ◇◇			▼	▼		
Результирующий $\gamma_b$ без учета $\gamma_{b2}$			+	+		
Продольной арматуры					+	
Поперечной арматуры						+
Учет сейсмического воздействия	Нормальные сечения		▼		▼▼	
	Наклонные сечения			▼		▼▼

В каждом модуле армирования последовательно рассматриваются комбинации расчетных сочетаний усилий (PCY), выполняется анализ вошедших в них загружений с учетом заданных в исходных данных коэффициентов (см. Таблицу). Окончательные значения коэффициентов бетона и арматуры вычисляются для каждого PCY в отдельности.

Условные обозначения к таблице.

◇ — коэффициент  $\gamma_{b2}$  из п. 26 таблицы 15 СНиП 2.03.01-84\*;

◇◇ — коэффициент  $\gamma_{b2}$  из п. 2а таблицы 15 СНиП 2.03.01-84\* (берется из исходных данных);

+

▼ — один коэффициент из соответствующего столбца таблицы учитывается всегда;

▼▼ — учитывается при наличии сейсмических загружений.

## Графический анализ расчета арматуры

В разделе **Постпроцессоры** инструментальной панели находятся функции анализа результатов работы постпроцессоров (четыре кнопки): подбор арматуры в элементах железобетонных конструкций, расчет нагрузок от фрагмента схемы, результатов расчета главных и эквивалентных напряжений для пластинчатых элементов и проверки несущей способности стальных сечений.

Активность (доступность) каждого режима зависит от подготовленных исходных данных и результатов расчета.

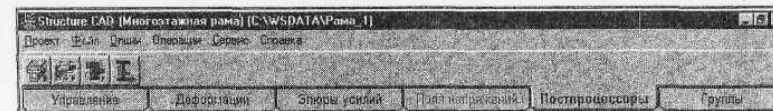


Рис. 78. Раздел Постпроцессора инструментальной панели



— Режим анализа результатов армирования.



— Анализ нагрузок от фрагмента схемы.



— Анализ главных и эквивалентных напряжений.




— Проверка сечений из металлопроката.

Режим позволяет отобразить на расчетной схеме эпюры армирования стержневых элементов для продольной и поперечной арматуры, изолинии и изополя продольной и поперечной арматуры для пластинчатых элементов, а также процент армирования и ширину раскрытия трещин.

Отображение результатов выполняется отдельно для каждой группы элементов, заданной при графическом анализе результатов расчета, или при подготовке исходных данных в постпроцессоре подбора исходных данных.



После нажатия на кнопку  разворачивается инструментальная панель с инструментами анализа расчета арматуры в элементах многоэтажной рамы (см. рис. 79).



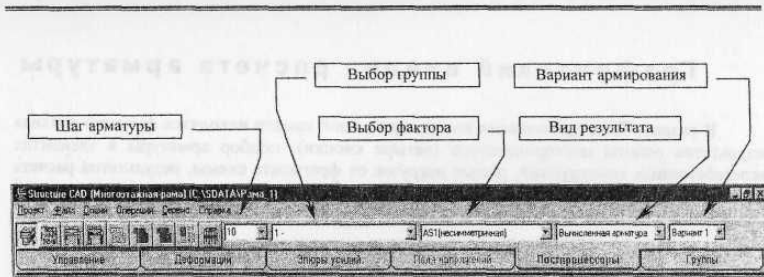










Рис. 79. Инструментальная панель в режиме анализа работы построителя Подбор арматуры

-  — Переход к отображению результатов подбора продольной арматуры пластинчатых элементов в виде количества и диаметра арматурных стержней.
-  — Монохромное отображение результатов подбора для групп стержневых элементов.
-  — Цветное отображение результатов подбора для групп стержневых элементов.
-  — Отображение результатов подбора для групп пластинчатых элементов в виде изолиний.
-  — Отображение результатов подбора для групп пластинчатых элементов в виде изополей.
-  — Отображение результатов подбора для групп пластинчатых элементов в виде изолиний и изополей.
-  — Настройка цветовой шкалы.
-  — Отображение исходного состояния расчетной схемы.

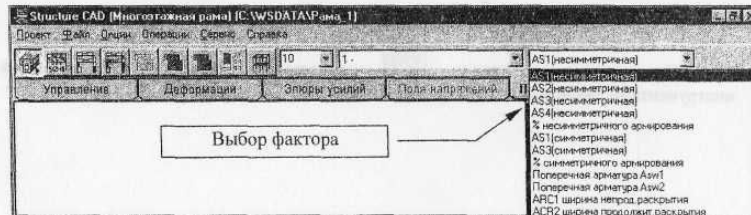


Рис. 80. Инструментальная панель и меню выбора фактора вывода

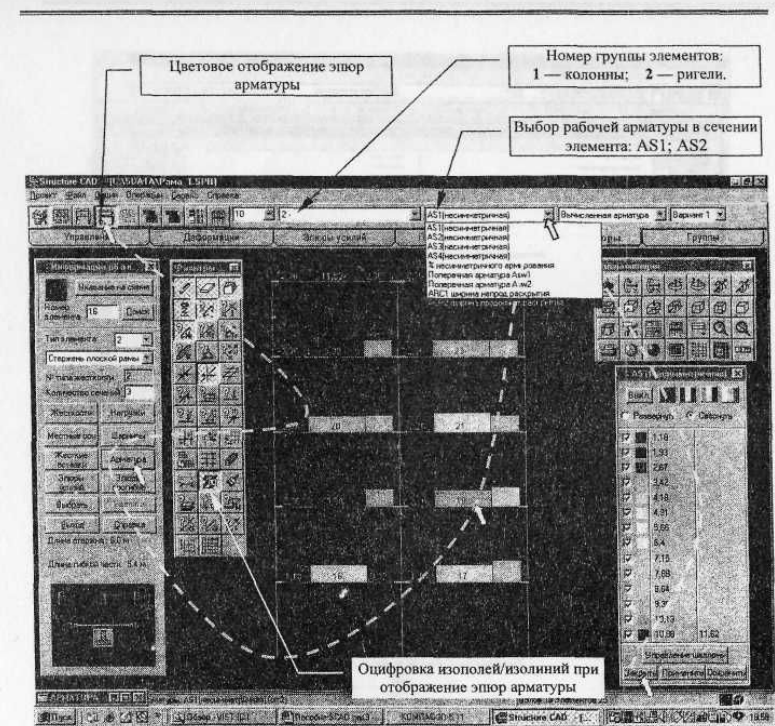


Рис. 81. Графическое представление результатов расчета арматуры в ригелях многоэтажной рамы

На рис. 81 в графическом режиме показаны результаты расчета рабочей несимметричной арматуры в горизонтальных элементах рамы. Для отображения площади арматуры в заданной зоне сечения элемента необходимо из списка на панели инструментов выбрать интересующий нас параметр. Например, площадь сечения арматуры AS1 расположена в нижней зоне. В ригелях в пролете это будет растянутая арматура, на опорах — сжатая.

С помощью списка выбора параметра армирования можно отобразить на экране в виде эпюр арматуру AS2, AS3, AS4, процент армирования сечения, поперечную арматуру, ширину раскрытия нормальных трещин.

Для визуализации эпюр арматуры в вертикальных элементах рамы в списке выбираем первую группу элементов — «1».

Если на панели **Фильтров** включить кнопку **Информация об элементе**, тогда можно будет анализировать армирование любого заданного элемента.

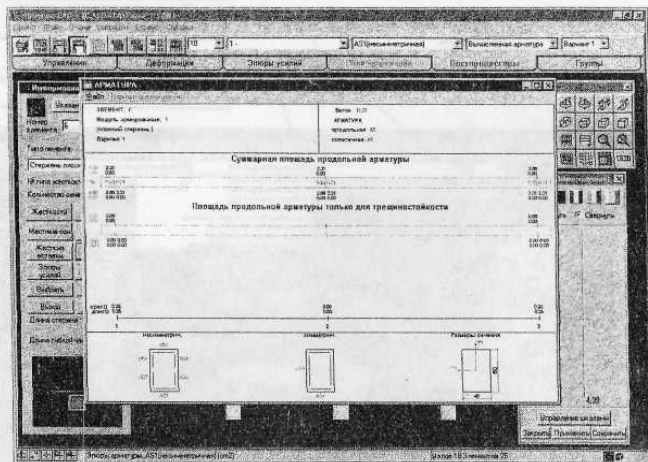


Рис. 82. Окно Арматура с результатами расчета (Элемент №6 — средняя стойка)

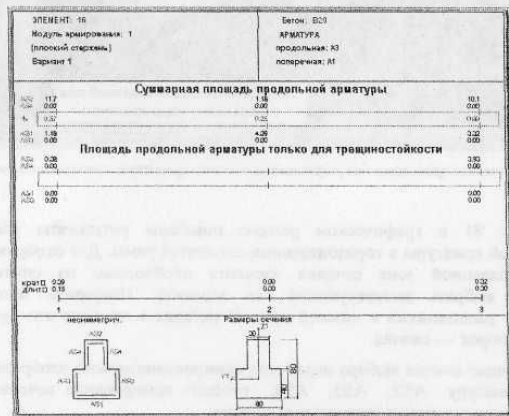


Рис. 83. Окно Арматура с результатами расчета (Элемент № 16 — ригель)

После поэлементного анализа результатов расчета площадей рабочей арматуры необходимо распечатать их в табличной форме и приступать к конструированию арматурных каркасов, для колонн и ригелей рамы.

## Библиографический список

1. СНиП 2.03.01-84\* Бетонные и железобетонные конструкции / Госстрой России. - М.: ГУП ЦПП, 1999. - 80 с.
2. СНиП П-22-81. Каменные и армокаменные конструкции / Госстрой России. - М.: ГУП ЦПП, 1999. - 40 с.
3. СНиП П-23-81\*. Стальные конструкции. - М.: ЦИТП, 1990. - 96 с.
4. СНиП 2.02.01-83\*. Основания зданий и сооружений. - М.: ГУП ЦПП, 1999. - 48 с.
5. СНиП П-7-81. Строительство в сейсмических районах. - М.: Стройиздат, 1982. - 48 с.
6. СНиП П-25-80\* Деревянные конструкции. Нормы проектирования. - М.: ГУП ЦПП, 1999. - 30 с.
7. СНиП 2.01.07-85\*. Нагрузки и воздействия / Минстрой России. - М.: ГУП ЦПП, 1996. - 36 с.
8. Руководство по расчету статически неопределимых железобетонных конструкций / Н.-и. ин-т бетона и железобетона. - М.: Стройиздат, 1975. - 192 с.
9. Руководство по конструированию бетонных и железобетонных конструкций из тяжелого бетона (без предварительного напряжения) / Центр. Н.-и. и проектно-эксперим. ин-т промзданий и сооружений Госстроя СССР. - М.: Стройиздат, 1978. - 175 с.
10. Пособие по проектированию бетонных и железобетонных конструкций из тяжелых и легких бетонов без предварительного напряжения арматуры: (к СНиП 2.03.01-84) / ЦНИИпромзданий, НИИЖБ. - М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1989. - 192 с.
11. Справочник проектировщика. Типовые железобетонные конструкции зданий и сооружений для промышленного строительства / А. И. Дехтярь, И. С. Приходько, В. М. Спиридонов и др.; Под ред. Г. И. Бердичевского. - М.: Стройиздат, 1981. - 398 с.
12. Пакет прикладных программ для автоматизированного проектирования железобетонных конструкций подземных и наземных сооружений в промышленном и гражданском строительстве (ППП АПЖБК). - М., 1980.
13. SCAD для пользователя./ В. С. Карпиловский, Э. З. Криксунов, А. В. Перельмутер и др. - Киев.: ВВП "Компас", 2000. - 332 с.
14. Труш, Л. И. Общие указания по расчету железобетонных конструкций на ЭВМ ЕС-1022 по программе "ЛИРА": Метод. указания для диплом. и курсового проектирования для студентов спец. 1202 / Л. И. Труш; Горьк. инженер-строит. ин-т им. В. П. Чкалова. - Горький, 1984. - 65 с.
15. Труш, Л. И. Расчет многоярусной железобетонной рамы промышленного здания на ЭВМ ЕС-1022 по программе "ЛИРА": Метод. указания для диплом. проектирования / Л. И. Труш; Горьк. инженер-строит. ин-т им. В. П. Чкалова. - Горький, 1984. - 64 с.
16. Труш, Л. И. Расчет инженерных сооружений на ЭВМ ЕС-1022 по программе "ЛИРА": Метод. указания для курсового и диплом. проектирования по спец. 1202, 1203, 1206 / Л. И. Труш; Науч. ред. В. И. Ишаков, С. В. Соболев; Горьк. инженер. строит. ин-т им. В. П. Чкалова. - Горький, 1985. - 70 с.

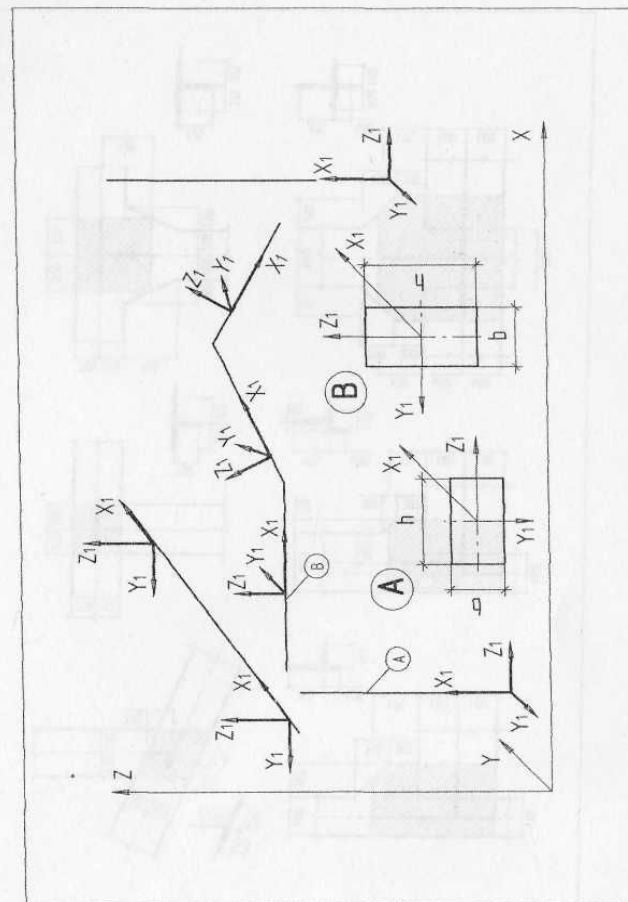
ПРИЛОЖЕНИЕ А

Словарь основных терминов

Проект	Система функциональных модулей, связанных между собой единой информационной средой.
Функциональные модули	Разделы комплекса для создания расчетных схем, выполнения расчетов, а также проектирования железобетонных конструкций.
Расчетный процессор	Высокопроизводительный процессор для решения задач статики, динамики с большим количеством неизвестных.
Библиотека конечных элементов	Содержит различные виды конечных элементов, включая шарнирно-стержневые, рамные, балочного ростверка на упругом основании и др.
Графический препроцессор	Среда для создания расчетных схем по параметрическим прототипам конструкций, и т.п.
Фильтры	Система и правила отображения информации на расчетной схеме, а также функции визуализации и фрагментации схемы.
Группы	Поименованные наборы узлов и элементов, которые могут неоднократно использоваться для выполнения различных операций.
Графический постпроцессор	Среда для визуального анализа результатов расчета в виде элор перемещений, прогибов, усилий, включая возможности анимации процесса деформирования схемы и др.
Документирование результатов	Модули для формирования таблиц с исходными данными и результатами расчетов в текстовом или графическом формате.
Курсоры	Указатели мыши.
Меню	Список возможных действий.
Закладки	Разделы управления программным комплексом SCAD.
Кнопки	Элементы панелей для выполнения соответствующих функций. Расположены на панелях визуализации, фильтрах отображения и главной инструментальной панели.

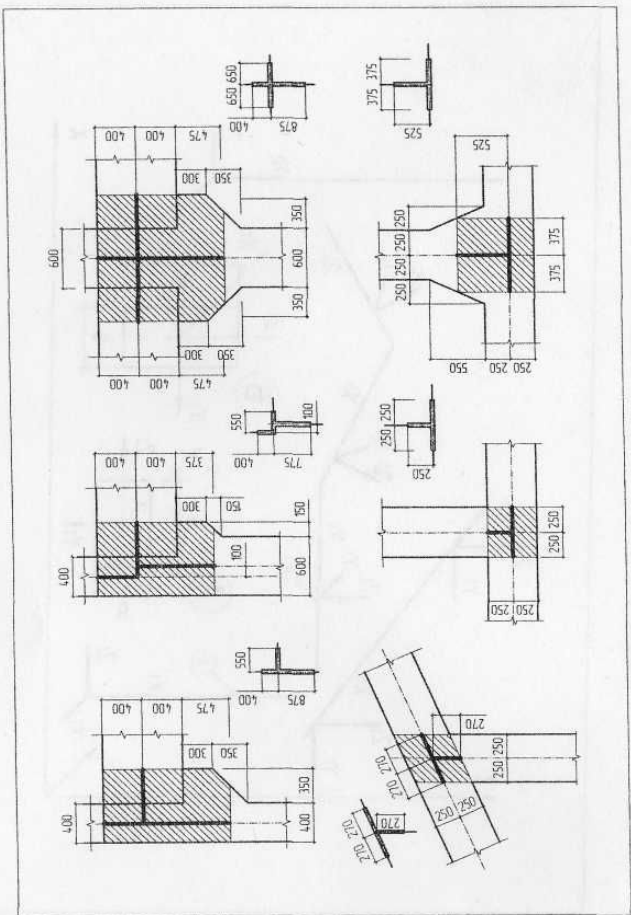
ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Направления общих и местных координатных осей



ПРИЛОЖЕНИЕ В

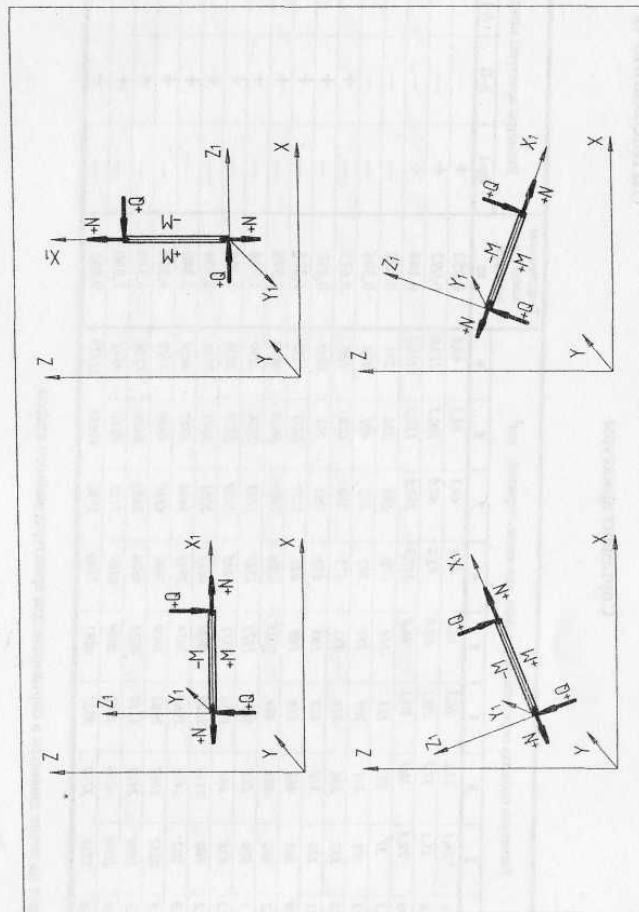
Рекомендуемые правила определения длин жестких вставок



ПРИЛОЖЕНИЕ Г

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Правило знаков для усилий N, M и Q в стержневых элементах



Сортамент арматуры

Номинальный диаметр стержня, мм	Расчетная площадь поперечного сечения, при числе стержней, мм <sup>2</sup>										Теоретическая масса 1 м арматуры, кг	Диаметры арматуры классов		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Вр-I		А-II	А-I, А-III	
3	7,1	14,1	21,2	28,3	35,3	42,4	49,5	56,5	63,6	0,052	+	—	—	
4	12,6	25,1	37,7	50,2	62,8	75,4	87,9	100,5	113,0	0,092	+	—	—	
5	19,6	39,3	58,9	78,5	98,2	117,8	137,5	157,1	176,7	0,144	+	—	—	
6	28,3	57	85	113	141	170	198	226	254	0,222	—	—	+	
8	50,3	101	151	201	251	302	352	402	453	0,395	—	+	+	
10	78,5	157	236	314	393	471	550	628	707	0,617	—	+	+	
12	113,1	226	339	452	565	679	792	905	1018	0,888	—	+	+	
14	153,9	308	462	616	769	923	1077	1231	1385	1,208	—	+	+	
16	201,1	402	603	804	1005	1206	1407	1608	1810	1,578	—	+	+	
18	254,5	509	763	1018	1272	1527	1781	2036	2290	1,998	—	+	+	
20	314,2	628	942	1256	1571	1885	2199	2513	2828	2,466	—	+	+	
22	380,1	760	1140	1520	1900	2281	2661	3041	3421	2,984	—	+	+	
25	490,9	982	1473	1963	2454	2945	3436	3927	4418	3,840	—	+	+	
28	613,8	1232	1847	2463	3079	3685	4310	4926	5542	4,380	—	+	+	
32	804,3	1609	2413	3217	4021	4826	5630	6434	7238	6,310	—	+	+	
36	1017,9	2036	3034	4072	5089	6107	7125	8143	9161	7,990	—	+	+	
40	1256,6	2513	3770	5027	6283	7540	8796	10053	11310	9,865	—	+	+	

Знак « + » означает наличие диаметра в сортаменте для арматуры данного класса.

Нормативные и расчетные сопротивления тяжелого бетона

Вид сопротивления	Классы бетона									
	B12,5	B15	B20	B22,5	B25	B30	B35	B40	B45	B50
Сжатие осевое $R_{bn}$	9,5	11,0	15,0	16,8	18,5	22,0	25,5	29,0	32,0	36,0
Растяжение осевое $R_{btн}$	1,00	1,15	1,40	1,50	1,60	1,80	1,95	2,10	2,20	2,30
Сжатие осевое $R_b$	7,5	8,5	11,5	13,0	14,5	17,0	19,5	22,0	25,0	27,5
Растяжение осевое $R_{bt}$	0,66	0,75	0,90	0,98	1,05	1,20	1,30	1,40	1,45	1,55

Начальные модули упругости бетона

Бетон	Начальные модули упругости при сжатии и растяжении $E_k \cdot 10^3$ (МПа) при классе бетона									
	B12,5	B15	B20	B22,5	B25	B30	B35	B40	B45	B50
Естественного твердения	21,0	23,0	27,0	16,8	30,0	32,5	34,5	36,0	37,5	39,0
Подвергнутый тепловой обработке при атмосферном давлении	19,0	20,5	24,0	25,5	27,0	29,0	31,0	32,5	34,0	35,0
Подвергнутый автоклавной обработке	16,0	17,0	20,0	21,2	22,5	24,5	26,0	27,0	28,0	29,0

\* В таблице фактические значения модулей упругости умножены на 0,001 и, следовательно, в расчетах табличное значение необходимо умножить на 1000.



Значения граничной относительной высоты сжатой зоны  $\xi_R$

А) Тяжелый бетон		Значения $\xi_R$ при классах бетона:									
Класс арматуры, $R_s$ , МПа	Коэффициент $\gamma_{b2}$	B12,5	B15	B20	B22,5	B25	B30	B35	B40	B45	B50
		A-II 280	1 0,9	0,682 0,689	0,673 0,681	0,646 0,656	0,632 0,644	0,619 0,632	0,597 0,612	0,575 0,592	0,554 0,573
A-III 365	1 0,9	0,655 0,662	0,646 0,654	0,618 0,628	0,604 0,616	0,591 0,604	0,568 0,583	0,547 0,564	0,525 0,544	0,501 0,521	0,480 0,503

Б) Легкий бетон		Значения $\xi_R$ при классах бетона:									
Класс арматуры, $R_s$ , МПа	Коэффициент $\gamma_{b2}$	B12,5	B15	B20	B22,5	B25	B30	B35	B40	B45	B50
		A-II 280	1 0,9	0,625 0,632	0,617 0,624	0,590 0,600	0,577 0,588	0,564 0,577	0,543 0,558	0,523 0,539	0,502 0,520
A-III 365	1 0,9	0,597 0,604	0,588 0,596	0,562 0,572	0,549 0,560	0,536 0,548	0,515 0,529	0,494 0,510	0,474 0,492	0,451 0,470	0,431 0,452

$$\xi_R = \frac{\omega}{1 + \frac{R_s}{\sigma_{с.т.}} \left( 1 - \frac{\omega}{1,1} \right)}$$

где:  $\sigma_{с.т.}=500$  МПа при  $\gamma_{b2}=0,9$  и  $\gamma_{b2}=1,0$ .  
 $\sigma_{с.т.}=400$  МПа при  $\gamma_{b2}=1,1$ .  
 $\omega=0,85$  — для тяжелого бетона;  
 $\omega=0,80$  — для легкого бетона.  
 $R_s$ , в МПа.

Нормативные и расчетные сопротивления, модули упругости арматуры

Класс арматуры	Нормативные сопротивления $R_{sn}$ , МПа	Расчетные сопротивления для предельных состояний первой группы, МПа:			Модуль упругости, $E_s \cdot 10^4$ , МПа
		растяжению		сжатю, $R_{sc}$	
		продольной, $R_s$	поперечной хомутов и отогнутых стержней, $R_{sw}$		
Стержневая					
A-I	235	225	175	225	21
A-II	295	280	225	280	21
A-III $\varnothing 6... \varnothing 8$	390	355	285*	355	20
A-III $10... \varnothing 40$	390	365	290*	365	20
A-IV	590	510	405	450	19
A-V	785	680	545	500	19
A-VI	980	815	650	500	19
Арматурная проволока					
Vp-I $\varnothing 3$	410	375	270; 300**	375	17
Vp-I $\varnothing 4$	405	365	265; 295**	365	17
Vp-I $\varnothing 5$	395	360	260; 290**	360	17
Высокопрочная арматурная проволока периодического профиля					
Vp-II $\varnothing 3$	1460	1215	970	400	20
Vp-II $\varnothing 4$	1370	1145	915	400	20
Vp-II $\varnothing 5$	1255	1045	835	400	20
Vp-II $\varnothing 6$	1175	980	785	400	20
Vp-II $\varnothing 7$	1100	915	730	400	20
Vp-II $\varnothing 8$	1020	850	680	400	20
Арматурные семипроволочные канаты					
K-7 $\varnothing 6$	1450	1210	965	400	18
K-7 $\varnothing 9$	1370	1145	915	400	18
K-7 $\varnothing 12$	1335	1110	890	400	18
K-7 $\varnothing 15$	1295	1080	865	400	18

\* В сварных каркасах для хомутов из арматуры класса А-III, диаметр которых меньше 1/3 диаметра продольных стержней, значение  $R_{sw}$  принимается равным 255 МПа.  
 \*\* Для случая применения в вязаных каркасах

ПРИЛОЖЕНИЕ К

Таблица для расчета изгибаемых железобетонных элементов  
прямоугольного сечения

$\xi$	$\zeta$	$\alpha_m$	$\xi$	$\zeta$	$\alpha_m$	$\xi$	$\zeta$	$\alpha_m$
кси	дзэта	альфа	кси	дзэта	альфа	кси	дзэта	альфа
0,01	0,995	0,010	0,26	0,870	0,226	0,51	0,745	0,380
0,02	0,990	0,020	0,27	0,865	0,234	0,52	0,740	0,385
0,03	0,985	0,030	0,28	0,860	0,241	0,53	0,735	0,390
0,04	0,980	0,039	0,29	0,855	0,248	0,54	0,730	0,394
0,05	0,975	0,049	0,30	0,850	0,255	0,55	0,725	0,399
0,06	0,970	0,058	0,31	0,845	0,262	0,56	0,720	0,403
0,07	0,965	0,068	0,32	0,840	0,269	0,57	0,715	0,408
0,08	0,960	0,077	0,33	0,835	0,276	0,58	0,710	0,412
0,09	0,955	0,086	0,34	0,830	0,282	0,59	0,705	0,416
0,10	0,950	0,095	0,35	0,825	0,289	0,60	0,700	0,420
0,11	0,945	0,104	0,36	0,820	0,295	0,61	0,695	0,424
0,12	0,940	0,113	0,37	0,815	0,302	0,62	0,690	0,428
0,13	0,935	0,122	0,38	0,810	0,308	0,63	0,685	0,432
0,14	0,930	0,130	0,39	0,805	0,314	0,64	0,680	0,435
0,15	0,925	0,139	0,40	0,800	0,320	0,65	0,675	0,439
0,16	0,920	0,147	0,41	0,795	0,326	0,66	0,670	0,442
0,17	0,915	0,156	0,42	0,790	0,332	0,67	0,665	0,446
0,18	0,910	0,164	0,43	0,785	0,338	0,68	0,660	0,449
0,19	0,905	0,172	0,44	0,780	0,343	0,69	0,655	0,452
0,20	0,900	0,180	0,45	0,775	0,349	0,70	0,650	0,455
0,21	0,895	0,188	0,46	0,770	0,354	0,71	0,645	0,458
0,22	0,890	0,196	0,47	0,765	0,360	0,72	0,640	0,461
0,23	0,885	0,204	0,48	0,760	0,365	0,73	0,635	0,464
0,24	0,880	0,211	0,49	0,755	0,370	0,74	0,630	0,466
0,25	0,875	0,219	0,50	0,750	0,375	0,75	0,625	0,469

Принятые обозначения и соотношения коэффициентов:

$$\xi = x/h_0; \quad \zeta = 1 - 0,5 \cdot \xi; \quad \alpha_m = \xi \cdot (1 - 0,5 \cdot \xi)$$

Содержание

Предисловие .....	3
Введение .....	4
Первое знакомство .....	5
Начало работы с программой SCAD .....	5
Общие правила работы .....	8
Мышка .....	8
Курсоры .....	9
Меню программы SCAD .....	9
Меню окна Управление проектом .....	10
Меню препроцессора и постпроцессора .....	11
Разделы комплекса SCAD .....	13
Пример расчета многэтажной рамы .....	21
Задание нагрузок .....	37
Комбинации загружений и расчетные сочетания усилий .....	45
Управление расчетом .....	50
Графический анализ результатов расчета .....	53
Анализ деформаций .....	53
Анализ усилий .....	56
Панели Визуализация и Фильтры отображения .....	58
Документирование исходных данных и результатов расчета .....	63
Армирование сечений железобетонных элементов .....	67
Проверка заданного армирования .....	81
Дополнительная информация по исходным данным .....	82
Графический анализ расчета арматуры .....	85
Литература .....	89
Приложение А. Словарь основных терминов .....	90
Приложение Б. Направления общих и местных координатных осей .....	91
Приложение В. Рекомендуемые правила определения длин жестких вставок .....	92
Приложение Г. Правило знаков для усилий N, M и Q в стержневых элементах .....	93
Приложение Д. Сортамент арматуры терминов .....	94
Приложение Е. Нормативные и расчетные сопротивления тяжелого бетона. Начальные модули упругости бетона .....	95
Приложение Ж. Значения граничной относительной высоты сжатой зоны $\xi_R$ .....	96
Приложение И. Нормативные и расчетные сопротивления, модули упругости арматуры .....	97
Приложение К. Таблица для расчета изгибаемых железобетонных элементов прямоугольного сечения .....	98

Леонид Иванович Труш

# Программно-вычислительный комплекс SCAD для расчета железобетонных конструкций

Учебное пособие

Редактор  
Н.В.Викулова

---

Подписано в печать 14.03.05. Формат 60x90 1/16. Бумага газетная. Печать трафаретная.

Уч. изд. л. 5,8. Усл. печ. л. 8,2. Тираж 300 экз. Заказ № 96

Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет,  
603950, Н.Новгород, Ильинская, 65.

Полиграфцентр ННГАСУ, 603950, Н.Новгород, Ильинская, 65.