

КУБАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

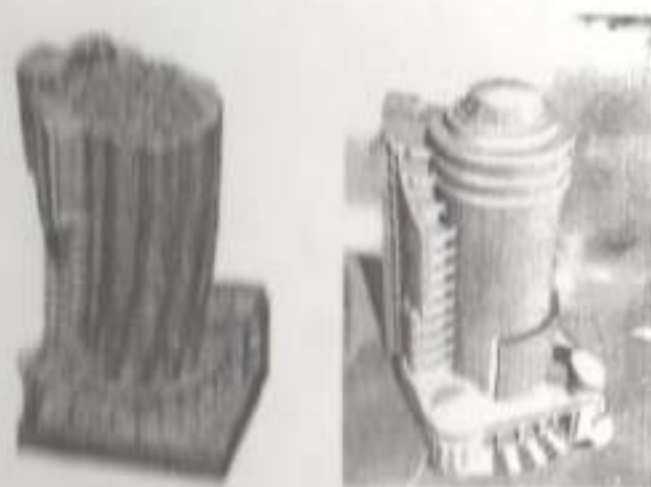
ИНЖЕНЕРНО - СТРОИТЕЛЬНЫЙ ФАКУЛЬТЕТ

КАФЕДРА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И КОНСТРУКЦИЙ

## РАСЧЕТ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ НА ЭВМ

В примерах и задачах с использованием программного комплекса *STARK\_ES*

Учебное пособие



Ершов 2008

УДК 624.012.45  
ББК 38.53

Серый Д.Г. Расчет железобетонных конструкций на ЭВМ.: Учебное пособие. — Краснодар, КГАУ, 2008 г. — 118 с.

Рекомендованы учебно-методической комиссией инженерно-строительного факультета (протокол N 5 от «28» февраля 2008 г.)

Программный комплекс для расчета пространственных конструкций на прочность, устойчивость и колебания.

Учебное пособие предназначено для студентов, обучающихся по специальностям: 270102 «Промышленное и гражданское строительство» и 270114 «Проектирование зданий».

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	6
1 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ.....	8
1.1 Подготовительный этап работы.....	8
1.2 Запуск программы.....	9
1.3 Функциональные клавиши.....	9
1.4 Панель управления (toolbar).....	11
1.5 Частичный и полный проект.....	13
2 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВНУТРЕННИХ УСИЛИЙ В ПЛОСКИХ РАМАХ.....	15
2.1 Создание нового проекта.....	15
2.2 Создание сетки раstra.....	16
2.3 Ввод расчетной схемы.....	18
2.4 Ввод материала.....	20
2.5 Ввод краевых условий.....	22
2.6 Ввод шарниров.....	25
2.7 Ввод нагрузок.....	27
2.8 Статический расчет.....	32
2.9 Вывод результатов.....	33
3 АРМИРОВАНИЕ БАЛОК.....	35
3.1 Создание нового проекта.....	36
3.2 Автоматическая генерация расчетной схемы.....	36
3.3 Ввод материала.....	38
3.4 Ввод краевых условий.....	41
3.5 Ввод шарниров.....	42
3.6 Ввод нагрузок.....	44
3.7 Статический расчет.....	47
3.8 Вывод результатов.....	48

3.9 Конструктивный расчет.....	50
3.9.1 Определение РСУ.....	50
3.9.2 Определение арматуры в балках.....	54
3.9.3 Результаты расчета армирования.....	58
<b>4 АРМИРОВАНИЕ ПЛИТ</b> .....	61
4.1 Ввод расчетной схемы.....	61
4.1.1 Ввод плиты.....	61
4.1.2 Ввод линейных опор.....	68
4.1.3 Ввод подбалок.....	70
4.1.4 Ввод колонн.....	71
4.1.5 Редактирование свойств.....	73
4.1.6 Ввод нагрузок.....	75
4.2 Создание конечно-элементного проекта.....	80
4.3 Статический расчет.....	83
4.4 Вывод результатов.....	84
4.5 Конструктивный расчет.....	87
4.5.1 Определение арматуры в плите.....	87
4.5.2 Армирование подбалок.....	89
<b>5 РАСЧЕТ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ</b> .....	91
5.1 Ввод расчетной схемы первого этажа.....	91
5.1.1 Ввод плиты.....	91
5.1.2 Ввод колонн.....	94
5.1.3 Ввод проемов в плите.....	96
5.1.4 Ввод стен.....	97
5.1.5 Ввод балок.....	98
5.1.6 Ввод отверстий в стене.....	99
5.1.7 Ввод линейных и точечных опор.....	102
5.2 Ввод верхних этажей.....	103

5.3 Создание конечно-элементного проекта.....	105
<b>6 САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА</b> .....	108
Задание 1. Определение внутренних усилий в балке.....	108
Задание 2. Определение внутренних усилий в раме.....	109
Задание 3. Определение внутренних усилий в многопролетной балке.....	110
Задание 4. Определение внутренних усилий в ферме.....	111
Задание 5. Армирование многопролетных балок.....	112
Задание 6. Армирование ферм.....	114
Задание 7. Армирование рам.....	114
Задание 8. Определение внутренних усилий и толщин плит при линейном оперании.....	116
Задание 9. Определение внутренних усилий в тонкостенных плитах при оперании на колонны.....	116
Задание 10. Армирование плит.....	117
<b>СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ</b> .....	118



## ВВЕДЕНИЕ

*STARK ES* является программным продуктом семейства программ *MicroFe*, основанном на методе конечных элементов, предназначенным для расчета строительных конструкций на рабочих местах, оснащенных операционными системами *Windows 95, Windows 98, Windows NT, Windows 2000, Windows XP*. Программа отличается дружественным пользовательским интерфейсом и использованием высокоэффективных расчетных алгоритмов. Инженеру предоставляется вспомогательное средство для расчета конструкций непосредственно на своем рабочем месте.

*STARK ES* является программой:

для графического интерактивного создания пространственных конечно-элементных моделей (препроцессор);

- статического или динамического расчета;

- конструктивных расчетов в соответствии со СНиП 2.01.07-85 Нагрузки и воздействия, СНиП II-7-81\* Строительство в сейсмических районах, СНиП 2.03.01-84 Бетонные и железобетонные конструкции, СНиП II-23-81\*;

- расчет металлоконструкций СНиП II-23-81\*;

- графического и табличного вывода результатов расчета (постпроцессор).

Используя широкие возможности препроцессора, пользователь создает модели строительных конструкций в виде позитив и/или конечных элементов, с помощью операций вставки объединяет созданные простейшие модели в более сложные пространственные конструкции, а затем, используя операцию слияния, строит конечно-элементную модель. Препроцессорные функции программы предоставляют пользователю обширные возможности редактирования и создания новых «частичных проектов». В загруженных проектах можно обработать всю информацию по системе и нагрузкам. В общем проекте существует возможность генерации новых колонн и стен.

## ВВЕДЕНИЕ

Постпроцессорные функции программы позволяют в простой и наглядной форме просмотреть результаты расчета и провести их анализ.

ПК *STARK ES* отвечает всем современным требованиям к расчетным программам, находящимся в промышленной эксплуатации:

- Эффективная возможность для генерации расчетной модели в интерактивном режиме;

- Простая модификация расчетной модели на экране;

- Графическое представление расчетной модели и результатов расчета на экране, принтере или плоттере;

- Передача результатов в *WinWord*;

- Аппроксимация в равной степени всех типов нагрузок или напряжений и деформаций;

- Экспорт/импорт Dxf-файлов;

- Совместимость с другими программами.

## 1 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

### 1.1 Подготовительный этап работы

Прежде чем начать работу с программой необходимо подготовить исходные данные. Подготовить чертеж расчетной схемы с четкими привязками всех узлов, размерами стержней, указанием типов опорных устройств и их привязку на расчетной схеме. При этом узлами считаются сечения, в которых происходит изменение нагрузки, изменение размеров поперечного сечения, врезаны шарниры, находятся опорные устройства.

При расчете статически неопределимых конструкций необходимо определить соответствующие поправочные коэффициенты и изменить соответственно «модуль упругости» для соответствующих стержней, оставив неизменными заложенные в программе геометрические характеристики сечения.

Все входные и выходные данные должны соответствовать принятым в системе обозначениям:

- Координаты узлов - [м];
- Площадь поперечного сечения - [м<sup>2</sup>];
- Момент инерции при кручении - [м<sup>4</sup>];
- Момент инерции / полярный момент инерции - [м<sup>4</sup>];
- Сила - [кН];
- Массы (собственный вес) - [т];
- Модуль упругости / Модуль сдвига - [кН/м<sup>2</sup>];
- Плотность - [т/м<sup>3</sup>];
- Время - [сек];
- Узловые массы - [т];
- Перемещения (собственные формы) - [м, рад];
- Усилия в сечениях балок - [кН];
- Изгибающие моменты в сечениях балок - [кНм];
- Напряжения (балка-стенка/оболочка) - [кН/м<sup>2</sup>];

## 1 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Усилия в узлах (плита / оболочка) - [кН/м];

Изгибающие моменты в узлах (плита / оболочка) - [кНм/м];

Реакции опор (узлы) - [кН];

Реакции опор (распределенные по линиям) - [кН/м];

Реакции опор (распределенные по основанию) - [кН/м<sup>2</sup>].

### 1.2 Запуск программы

Запуск программы осуществляется двойным нажатием на пиктограмму *STARKE.S* на рабочем столе или через кнопку *Запуск*. После чего открывается операционное поле программы:

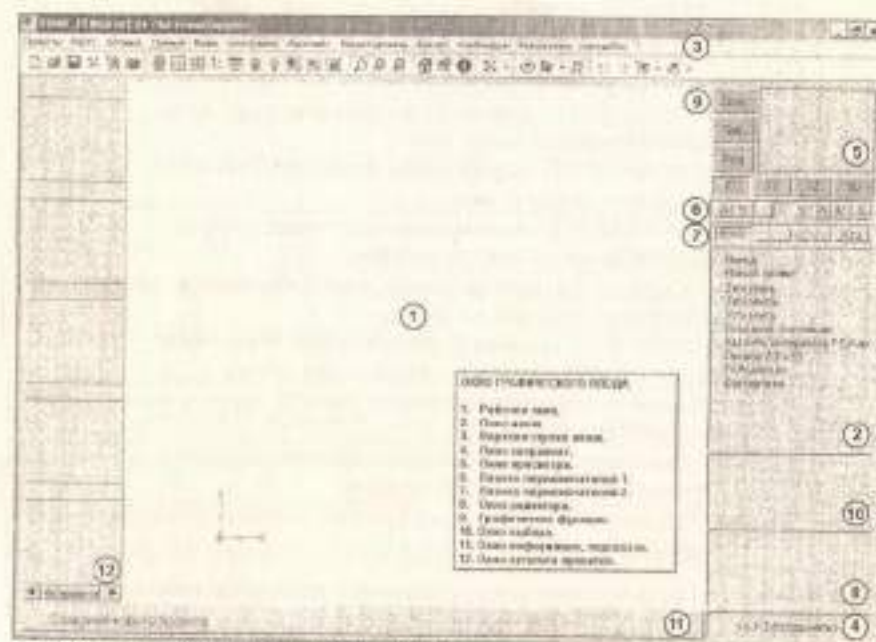


Рисунок 1.1 – Окно графического ввода

### 1.3 Функциональные клавиши

Ниже приведен список и назначение основных функциональных клавиш программы:



Таблица 1.1 - Функциональные клавиши

Клавиша	Назначение
0	ZOOM-ALL - показ проекта в реальных размерах
1	ZOOM-MOVE - перемещение фрагмента (области) масштабирования вниз влево
2	ZOOM-MOVE - перемещение фрагмента (области) масштабирования вниз
3	ZOOM-MOVE - перемещение фрагмента (области) масштабирования вниз направо
4	ZOOM-MOVE - перемещение фрагмента (области) масштабирования влево
5	REFRESH - перерисовка рабочего окна
6	ZOOM-MOVE - перемещение фрагмента (области) масштабирования направо
7	ZOOM-MOVE - перемещение фрагмента (области) масштабирования вверх влево
8	ZOOM-MOVE - перемещение фрагмента (области) масштабирования вверх
9	ZOOM-MOVE - перемещение фрагмента (области) масштабирования вверх направо
+	ZOOM-IN - размер фрагмента масштабирования уменьшается в два раза относительно центра
-	ZOOM-OUT - размер фрагмента масштабирования увеличивается в два раза относительно центра
[Tab]	Смена актуального частичного проекта: переход к следующему частичному проекту
[Shift+Tab]	Смена актуального частичного проекта: переход к предыдущему частичному проекту
←, ↑, →, ↓	Вращение объекта (только при изображении проекта в перспективе)
[Пробел]	Переключение между растрами активного частичного проекта

При работе с программой *STARK\_ES* выбор того или иного пункта меню осуществляется с помощью левой клавиши мыши, или набором буквенного кода с клавиатуры.

Подтверждение выбора производится щелчком левой клавиши мыши или нажатием клавиши *Enter*.

Необходимо следить за сообщениями, появляющимися в информационном окне. Они содержат указания о дальнейших действиях на текущем этапе работы и позволяют контролировать выполненные действия.

Для отмены последней операции необходимо нажать правую клавишу мыши.

Ввод числовой или текстовой информации осуществляется после появления мигавшего курсора с клавиатуры и заканчивается нажатием клавиши *Enter*.


#### 1.4 Панель управления (toolbar)


Для облегчения доступа к наиболее употребляемым функциям в *STARK\_ES* используется панель управления (toolbar). Для выбора функции нужно щелкнуть мышкой на соответствующей ей иконке. Чтобы узнать, какой функции соответствует иконка необходимо установить на ней курсор мыши и подождать 2-3 секунды. После этого рядом с иконкой высветится комментарий. Для редактирования полного и частичного проектов предусмотрен разный набор функций, и поэтому вид панели управления в этих режимах немного отличается.


Кроме обычных иконок в *STARK\_ES* используются «выпадающие» иконки со стрелочкой в правой части иконки. При нажатии на стрелочку высвечивается либо текстовое меню, либо дополнительная панель управления. В первом случае можно выбрать пункт текстового меню. Во втором случае выбирается одна из иконок дополнительной панели. При этом выбранная иконка перейдет в основную панель управления.












Описание иконок панели управления

Иконки, общие для режимов полного и частичного проектов


 - открыть новый проект.

 - открыть уже существующий проект.










 - сохранять текущий проект.


-  - закрыть (устранить) текущий проект.
-  - включение источника света.
-  - режим удаления невидимых линий (покрытие).
-  - отрисовка элементов или только контура системы.
-  - включение/выключение изображения системы в окне просмотра.
-  - увеличение изображения в два раза относительно центра.
-  - уменьшение изображения в два раза относительно центра.
-  - «выпадающая» иконка, отвечающая за 3D изображение.
-  - вызов Интернет-браузера и переход к домашней страничке.
-  - вызов помощи (Help).
-  - информация о программе.

Иконки для режима полного проекта


-  - генерация сетки.


Иконки для режима частичного проекта


-  - удаление или копирование КЭ-модели.
-  - запуск проекта на расчет.
-  - изображение номеров элементов.
-  - изображение номеров узлов.
-  - изображение узлов.
-  - изображение локальных координат элементов.
-  - изображение граничных условий.
-  - вызов диалога для масштабирования текста.
-  - изображение материалов.


 - переход к редактированию нагрузок. При нажатии на левую часть иконки осуществляется переход к просмотру свойств нагружений. При нажатии стрелочки в правой части иконки высвечивается меню для перехода


к непосредственному редактированию нагрузок всех видов (узловых, элементных, сосредоточенных, равномерно распределенных и т.д.). Эта иконка может использоваться для быстрого перехода к просмотру и редактированию нагрузок вместо вызова пункта меню Редактирование => Нагрузки....


 - оценка качества плоских (оболочечных) элементов конечно-элементной сетки.


 - показ координат узлов на экране. В режиме просмотра результатов (усилий в элементах, арматуры и т.д.) при нажатом переключателе «W» (цифровой показ результатов) эта иконка позволяет управлять включением изображения результатов в различных узлах.


 - «выпадающая» иконка, с тремя вариантами действий:


 - редактирование и/или ввод конечно-элементного проекта (FEA-проекта) в табличной форме.

 - табличный вывод нагрузок во Viewer (MS Word).

 - табличный вывод материалов во Viewer (MS Word).

 - отменить результаты ранее выполненной операции во корректировке геометрии конечно-элементного проекта (операции UNDO).

 - отменить результаты ранее выполненной операции UNDO (операция REDO).

 - «выпадающая» иконка, отвечающая за связь с другими программами: ArCon, Refmaker, Spin, ArchiCAD.

### 1.5 Частичный и полный проект

STARK\_ES предоставляет широкие возможности для проектирования сложных пространственных конструкций. В общем случае пользователь сначала создает простые модели строительных конструкций. Для этого используется абстракция «частичный проект». Частичный проект может быть создан в виде позиций (плит, опор, балок и т.д.) или сразу на уровне



конечных элементов. В первом случае частичный проект сохраняется как файл позиций (POS-файл, имя файла – <Project>.pos). Во втором случае – как КЭ-файл (FEA-файл, имя файла – <Project>.fea). STARK ES может работать одновременно с произвольным числом частичных проектов, между которыми пользователь может в произвольном порядке переключаться. Геометрия частичного проекта задается в глобальной системе координат.

Затем созданные частичные проекты с помощью операций вставки объединяются в сложный пространственный проект (полный проект). При этом надо иметь в виду, что в полный проект можно собрать только частичные проекты одного типа. Если загружены частичные проекты КЭ-типа, то и полный проект будет КЭ-файлом. Если частичные проекты загружены как файлы позиций, то полный проект будет создан как файл позиций. Полный проект (FR-проект, имя файла – <Project>.fr) запоминается как файл ссылок на частичные проекты. Полный проект можно запомнить и в виде MPR-проекта (имя файла – <Project>.mpr). Разница между ним и полным проектом заключается в том, что MPR-проект может загружаться как частичный проект и использоваться затем как элемент для создания полного проекта. Таким образом, можно создавать сложные пространственные элементы конструкций и объединять их в единый проект.

Файлы проектов типа 3D-позиций в STARK ES можно дополнять и корректировать (имеется в виду геометрия), задавать нагрузки, сохранять, вставлять в полный проект для получения конечно-элементной модели. При этом в полный проект может быть вставлено несколько проектов типа 3D-позиций. 3D POS-файлы также используются для организации экспорта данных из ARCON и ARCHICAD.

На последнем этапе для получения конечно-элементной модели полной конструкции пользователь должен провести слияние полного проекта. Полученная модель как КЭ-файл и обрабатывается в дальнейшем как частичный проект.

## 2.1 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВНУТРЕННИХ УСИЛИЙ В ПЛОСКИХ РАМАХ

Требуется определить внутренние усилия в раме представленной на рисунке 2.1.

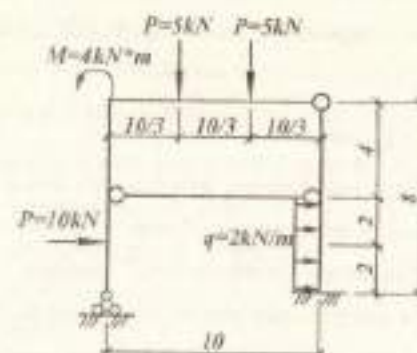


Рисунок 2.1 – Плоская рама

### 2.1.1 Создание нового проекта

Создаем новый документ, в окне текстового меню выбираем **Проекты** ⇒ **Новый проект**.



Рисунок 2.2 – Диалоговое окно создания нового проекта



В открывшемся диалоговом окне в графе *Имя файла* набираем с клавиатуры имя файла - не более 8 символов, без пробелов. При необходимости указываем дополнительную информацию о проекте и разработчике.

Частичный проект сохраняется как КЗ-файл (FEA-файл, имя файла - <Project>.fea).

## 2.2 Создание сетки раstra

Растры оказывают существенную помощь при вводе расчетных схем конструкции, ориентации и размещении элементов на плоскости.

Количество одновременно используемых растров для проекта не ограничено. Переход к следующему растру можно осуществить с помощью клавиши *Пробел* в любое время. Актуальный растр удаляется и на экране изображается следующий.

В окне текстового меню выбираем **Растр**  $\Rightarrow$  **Определение**.

Растр задается при помощи следующих переключателей:

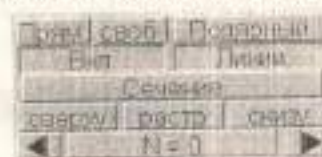


Рисунок 2.3 – Окно выбора создания раstra

Переключатели **Прям.** и **Поларный** определяют тип нового раstra (ортогональный (прямоугольный) или полярный). Оба вида имеют только фиксированные расстояния между линиями раstra. Переключатель «своб.» служит для задания свободного ортогонального раstra, имеющего переменный шаг сетки.

После выбора типа раstra нужно задать три точки для задания плоскости раstra. Первая точка обозначает начало координат раstra, вторая - направление «г»-оси раstra, третья - «х»-плоскость, в которой будет располагаться растр.

Для прямоугольных растров необходимо затем задать расстояния между линиями раstra  $dx$  и  $dy$ , а также угол поворота. Для полярных растров задаются расстояния между окружностями раstra  $dr$ , углы между радиальными лучами  $dw$ , а также поворот раstra  $\alpha$  относительно оси «z» раstra.

При определении раstra для расчета балок задаем тип ортогональный - в окне выбора выбираем **Прям.** Затем определяем три точки.

Задаем координаты первой точки  $x=0, y=0, z=0$ .

Координаты второй точки  $x=1, y=0, z=0$ .

Координаты третьей точки  $x=0, y=1, z=0$ .

Для задания шага сетки раstra  $1 \times 1$ м., необходимо задать  $dx=1, dy=1, dz=0$ .

Кнопка **Вкл.** служит для включения и выключения изображения текущего раstra. Кнопка **Линии** служит для задания способа изображения раstra - пунктирными линиями, если кнопка нажата, и точками пересечения линий, если кнопка отжата.

Следующие четыре кнопки **Сечение**, **сверху**, **растр** и **снизу** служат для показа только части текущего проекта относительно плоскости раstra. Если нажата кнопка **растр**, то изображаются только элементы, пересекающиеся с плоскостью раstra. Если нажата кнопка **сверху**, то не показывается та часть текущего проекта, которая лежит выше плоскости раstra, если **снизу** - та часть текущего проекта, которая лежит ниже плоскости раstra. Эти установки являются общими для всех растров. Эти же установки можно выполнить с помощью **F2**.

Смена раstra происходит при помощи линейки прокрутки или при нажатии клавиши *Пробел*.

В окне редактора показаны параметры актуального раstra,  $dx, dy, \alpha$  для прямоугольного раstra или  $dr, dw, \alpha$  - для полярного. В окне редактора при помощи левой кнопки мыши можно изменить эти параметры.

При помощи правой кнопки мыши, можно задать значения для вектора сдвига, определяющего сдвиг начала системы координат раstra.

По окончании создания сетки раstra в окне графических функций нажимаем **XU**, для перехода в необходимую плоскость построения.

### 2.3 Ввод расчетной схемы

Графический ввод 2D балок осуществляем по координатным вводом точек конструкций, при этом ввод координат производим в окне редактора или указываем курсором начало и конец элемента по точкам раstra.

В окне текстового меню выбираем Редактировать ⇒ Геометрия ⇒ Элементы ⇒ Установка.

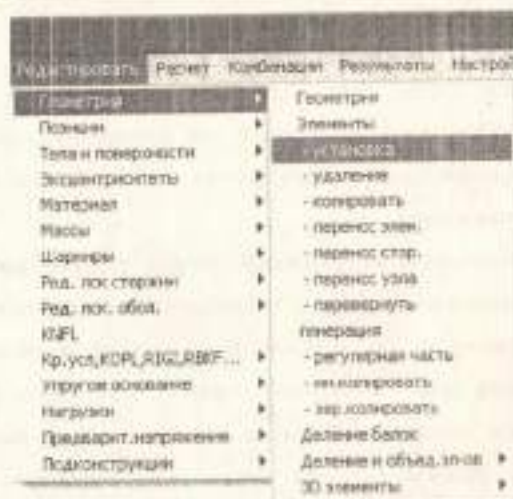


Рисунок 2.4 – Вызов команды установки 2D балок

В окне выбора нажимаем 2D-балки.



Рисунок 2.5 – Окно выбора ввода 2D балок


Ввод координат производим в окне редактора (координаты первой точки могут быть произвольными).



Рисунок 2.6 – Окно редактора по координатному вводу 2D балок

Для создания рамы в окне редактора задаем координаты начальной точки {0,0,0}, а конечной {0,8,0}, в результате чего будет построен вертикальный отрезок длиной 8 метра. Далее задаем координаты начальной точки {0,8,0}, а конечной {10,8,0}, в результате будет построен горизонтальный отрезок длиной 10 метров. После чего задаем координаты начальной точки {10,8,0}, а конечной {10,0,0}, в результате чего будет построен вертикальный отрезок длиной 8 метра.

Для полного показа изображения в рабочем окне нажимаем **0**.

Для маркировки узлов нажимаем пиктограмму  Узлы.

Для установки поперечной связи необходимо разделить вертикальные стойки на две части, что позволит ввести точки привязки для новой балки. Для этого в окне текстового меню выбираем Редактировать ⇒ Геометрия ⇒ Деление балок.

В окне выбора устанавливаем значение  $N=1$ , где  $N$  – число промежуточных узлов (на единицу меньше числа элементов), выбираем вертикальные элементы в рабочем окне курсором и нажимаем в окне выбора Старт.



Рисунок 2.7 – Окно выбора деления 2D балок



Создаем связь, для этого в окне текстового меню выбираем Редактировать ⇒ Геометрия ⇒ Элементы ⇒ Установка. В окне выбора нажимаем 2D-балки. Ввод координат производим в окне редактора - координаты начальной точки {0,4,0}, и конечной {10,4,0}.



Рисунок 2.8 – Графический ввод 2D балок

#### 2.4 Ввод материала

В окне текстового меню выбираем Редактировать ⇒ Материал ⇒ Установка.

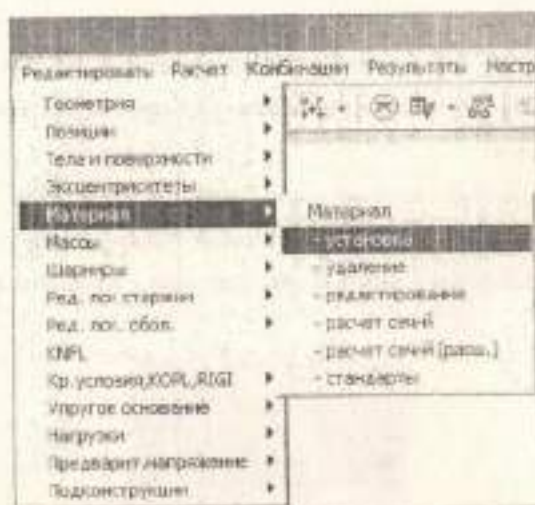


Рисунок 2.9 - Вызов команды установки материала

В окне выбора нажимаем 2D-балки.

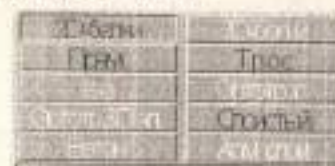


Рисунок 2.10 - Окно выбора ввода материала

В окне редактора задаем порядковый номер материала, например для колонны Mat.-Nr = 1.

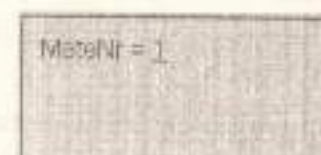


Рисунок 2.11 - Окно редактора номера материала


После подтверждения номера материала в открывшемся диалоговом окне выбираем ОК.



Рисунок 2.12 - Диалоговое окно подтверждения нового материала



Рисунок 2.13 - Диалоговое окно ввода свойств материала

С помощью кнопки  можно вызвать справочную информацию по характеристикам материала (модуль упругости, плотность, модуль сдвига, коэффициент Пуассона) для бетона и стали.

Если расчет выполняется без учета свойств материала, необходимо изменить плотность материала  $Rho=0$ , площадь на кручение  $Aq=0$  и площадь поперечного сечения  $A=1$ .

Присвоение того или иного номера материала элементу можно осуществлять двумя способами.

Первый – в планке переключателей 2 выбираем **Ein** и указываем курсором элемента.

Второй – в планке переключателей 2 выбираем **Box** и выделяем рамкой группу элементов, которым присваивается данный материал.

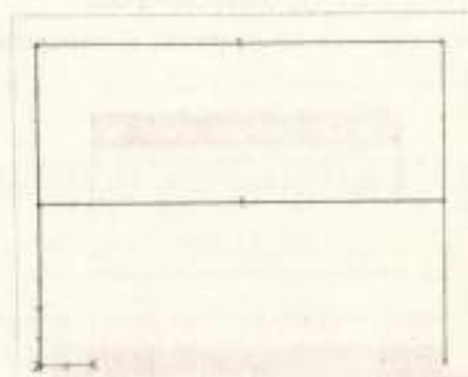


Рисунок 2.14 – Выбор элементов рамкой

На выбранных элементах высвечивается порядковый номер материала.

## 2.5 Ввод краевых условий

В окне текстового меню выбираем **Редактировать** ⇒ **Связи** ⇒ **Опорные закрепления** ⇒ **Установка**.

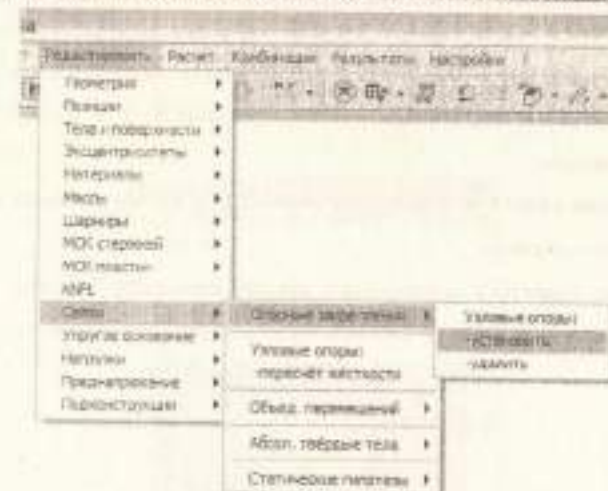


Рисунок 2.15 – Вызов команды установки краевых условий

В окне выбора переключателя первой группы: **X**, **Y**, **Z**, **Rx**, **Ry**, **Rz** определяют степени свободы, по которым задаются граничные условия.

Переключатели второй группы: **локал.**, **глобал.** задают тип системы координат, в которой задаются краевые условия.

Переключатели третьей группы **Раст.**, **Сжатие** и **Сж.+Р.** задают тип краевых условий: растяжение, сжатие и жесткое защемление соответственно.



Рисунок 2.16 – Окно выбора краевых условий

Включаем **глобал.**, **Сж.+Р.**, и отключаем все остальные клавиши.

В окне выбора нажимаем переключатели, соответствующие тем перемещениям, которым препятствует вводимая связь (для ввода шарнирно-неподвижной опоры необходимо нажать **X** и **Y**, отжать **Rz**; для ввода шарнирно-подвижной опоры, препятствующей вертикальному перемещению необходимо нажать **Y**, отжать **X** и **Rz**; для ввода шарнирно-подвижной



опоры, препятствующей горизонтальному перемещению необходимо нажать  $X$ , отжать  $Y$  и  $Rz$ , для ввода жесткой заделки необходимо нажать  $X$ ,  $Y$  и  $Rz$ .

Для правой стойки активизируем все кнопки  $X$ ,  $Y$  и  $Rz$ , что означает жесткое опирание.

Для левой стойки активизируем кнопки  $X$  и  $Y$ , что означает шарнирно-неподвижное опирание.

В окне редактора необходимо ввести жесткости краевых условий. Значение жесткости равное 0 соответствует абсолютно жесткой связи.



Рисунок 2.17 - Окно редактора жесткости краевых условий

Ввод краевых условий осуществляем переводом курсора в узел, и щелчком левой клавиши мыши.

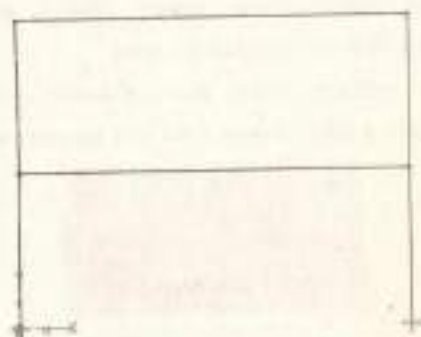


Рисунок 2.18 - Указание курсором краевых опораний

Просмотр заданных краевых условий можно осуществить, выбрав в строке верхнего меню иконку

## 2.5 Ввод шарниров

Если расчетная схема содержит элементные шарниры, то в окне текстового меню выберем Редактировать  $\Rightarrow$  Шарниры  $\Rightarrow$  Элементные  $\Rightarrow$  Установка.



Рисунок 2.19 - Вызов команды установки шарниров

Если расчетная схема содержит промежуточные шарниры, то в окне текстового меню выберем Редактировать  $\Rightarrow$  Графика  $\Rightarrow$  Узловые  $\Rightarrow$  Установка.

Переключатели первой группы:  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ ,  $Rx$ ,  $Ry$ ,  $Rz$  задают степень свободы шарниров ( $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  - перемещения вдоль осей  $OX$ ,  $OY$  и  $OZ$  соответственно,  $Rx$ ,  $Ry$ ,  $Rz$  - повороты вокруг тех же осей).

Переключатели второй группы: локал., глобал. и элем. задают тип системы координат, в которой задаются шарниры.

Переключатели третьей группы: Балки и Обол. определяют тип конечных элементов (балочные или оболочные), для которых устанавливаются или удаляются шарниры.

Переключатель четвертой группы: 0, +1, -1, +2 и -2 задают тип шарниров.

В рабочем окне степени свободы шарниров изображаются при помощи кодирования числами. Изображаемое число образуется в результате суммирования для каждой степени свободы шарнира числа 2, возведенного в степень:

- 0 — для перемещения вдоль OX,
- 1 — для перемещения вдоль OY,
- 2 — для перемещения вдоль OZ,
- 3 — для поворота вокруг OX,
- 4 — для поворота вокруг OY,
- 5 — для поворота вокруг OZ.

Для узловых шарниров включаем глобальные,  $R_z$ , отключаем все остальные клавиши и указываем курсором на соответствующие узлы, щелчком левой кнопки подтверждаем ввод узловых шарниров в указанных узлах.

Для элементных шарниров включаем глобальные,  $R_z$ ,  $R_y$ ,  $R_x$ ,  $R_z$ , отключаем все остальные клавиши и указываем курсором на балку вблизи расположения элементного шарнира.



Рисунок 2.20 — Окно выбора условий для шарниров



Рисунок 2.21 — Окно редактора жесткости шарниров

Ввод узловых шарниров осуществляем переводом курсора в узел, и щелчком левой клавиши мыши, ввод элементных шарниров осуществляем курсором на элемент рядом с узлом левой клавиши мыши.

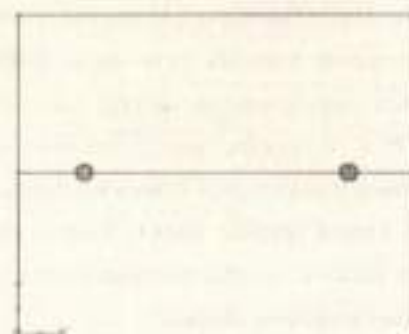


Рисунок 2.22 — Указание шарниров

## 2.7 Ввод нагрузок

Для установки сосредоточенной нагрузки расположенной на элементе в окне текстового меню выбираем Редактировать ⇒ Нагрузки ⇒ По элементам ⇒ Соср. нагр. ⇒ Установка.

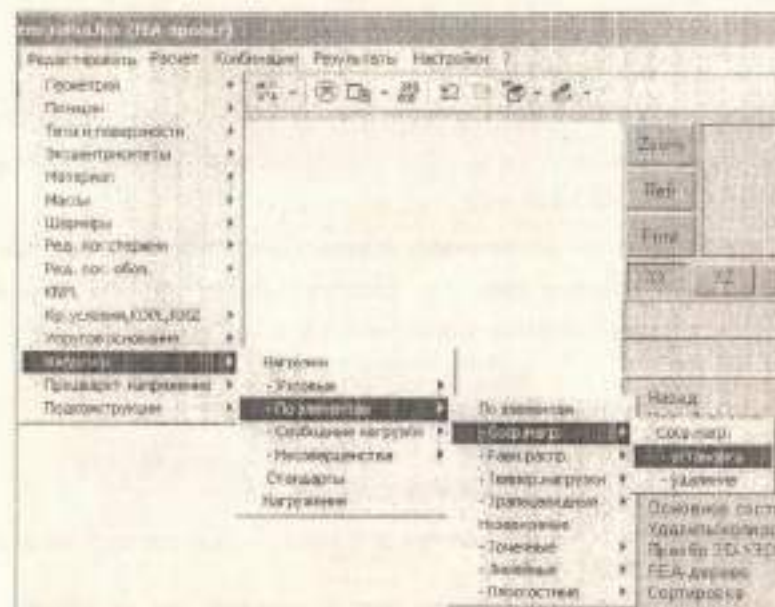


Рисунок 2.23 — Вызов команды установки сосредоточенной нагрузки



В окне выбора необходимо нажать кнопки, соответствующие виду вводимой сосредоточенной нагрузки (для ввода вертикальной нагрузки нажать  $P_y/l$  и отжать все остальные кнопки, для ввода горизонтальной нагрузки нажать  $P_x/l$  и отжать все остальные кнопки, для ввода сосредоточенного момента нажать  $M/l$  и отжать все остальные кнопки).

Переключатели второй группы: локал., глобал. задают тип системы координат, в которой задаются сосредоточенные нагрузки.

Выбираем систему координат глобал.

В окне выбора устанавливаем порядковый номер нагружения  $N=1$ .

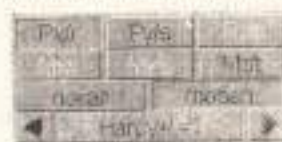


Рисунок 2.24 - Окно выбора сосредоточенной нагрузки приложенной вдоль оси X

В окне редактора установить величину отклонения расстояния до приложения нагрузки ко всей длине участка  $l/l$ . Если нагрузка приложена по середине участка, то отношение равно  $l/l = 0.5$  (для сосредоточенной силы расположенной на левой стойке). Для сосредоточенных сил приложенных к верхней балке  $l/l = 1/3$  и  $l/l = 2/3$ .

В окне редактора устанавливаем величину сосредоточенной нагрузки, с учетом правила знаков (знак «+» ставится если направление нагрузки совпадает с направлением оси, в противном случае ставится знак «-»).

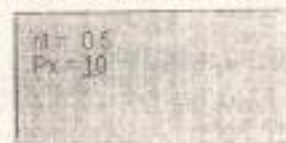


Рисунок 2.25 - Окно редактора для ввода сосредоточенной нагрузки приложенной к левой стойке

Переводим курсор в рабочем окне и указываем им на элемент, к которому приложена нагрузка.

Аналогично указываем сосредоточенную нагрузку приложенную к верхней балке при этом порядковый номер нагружения  $N=1$ , а величина нагрузки  $P_y=5$ .

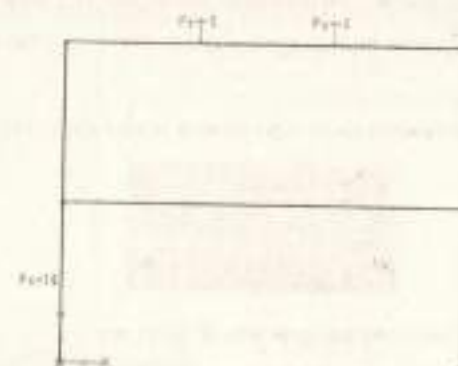


Рисунок 2.26 - Результат установки сосредоточенной нагрузки

В случае если нагрузка приложена в узел (момент приложен к верхнему левому углу), то в окне текстового меню выбираем Редактировать ⇒ Нагрузки ⇒ Узловые ⇒ Узловые нагрузки ⇒ Установка



Рисунок 2.27 - Вызов команды установки узловой нагрузки

В окне выбора необходимо нажать кнопки, соответствующие виду вводимой узловой нагрузки. Для ввода вертикальной нагрузки необходимо нажать  $P_y$  и отжать все остальные кнопки, для ввода горизонтальной нагрузки необходимо нажать  $P_x$  и отжать все остальные кнопки, для ввода сосредоточенного момента необходимо нажать  $M_z$  и отжать все остальные кнопки.

В окне выбора устанавливаем порядковый номер нагружения  $N=1$ .



Рисунок 2.28 - Окно выбора элементной нагрузки

В окне редактора устанавливаем величину нагрузки, с учетом правила знаков.



Рисунок 2.29 - Окно редактора для ввода элементной нагрузки

Переводим курсор в рабочее окно и указываем им на узел элемента, в котором приложена нагрузка.

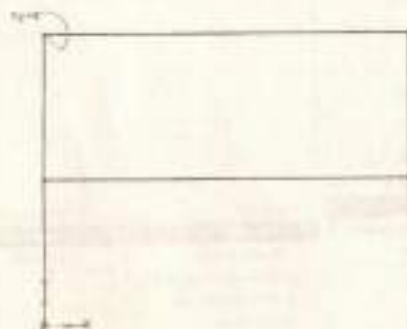


Рисунок 2.30 - Результат установки узловой нагрузки

Для установки равномернораспределенной нагрузки в окне текстового меню выбираем Редактировать  $\Rightarrow$  Нагрузки  $\Rightarrow$  По элементам  $\Rightarrow$  Равн. распр.  $\Rightarrow$  Установка.

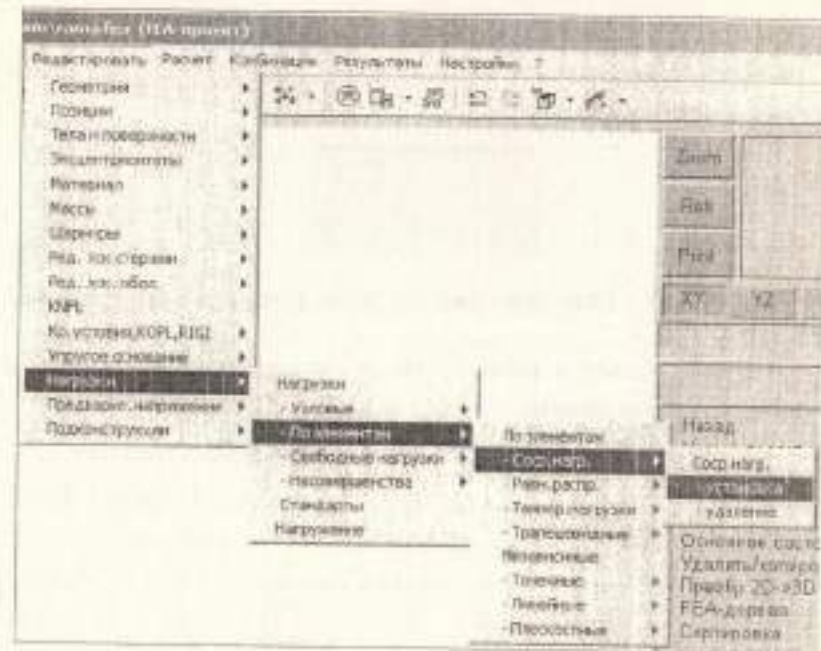


Рисунок 2.31 - Вызов команды установки равномернораспределенной нагрузки

В окне выбора необходимо нажать кнопки, соответствующие виду вводимой равномернораспределенной нагрузки (для ввода вертикальной нагрузки нажать  $Q_y/g$  и отжать все остальные кнопки, для ввода горизонтальной нагрузки нажать  $Q_x/g$  и отжать все остальные кнопки).

Переключатели второй группы: локал., глобал., проект. задают тип системы координат, для равномернораспределенной нагрузки.

Выбираем систему координат глобал.

В окне выбора установить порядковый номер нагружения  $N=1$ .



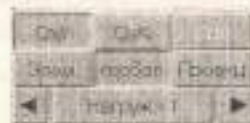


Рисунок 2.32 - Окно выбора равномернораспределенной нагрузки

В окне редактора устанавливаем величину равномернораспределенной нагрузки, с учетом правила знаков.

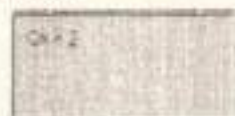


Рисунок 2.33 - Окно редактора для ввода равномернораспределенной нагрузки

Переводим курсор в рабочее окно и указываем им на элемент, к которому приложена нагрузка.

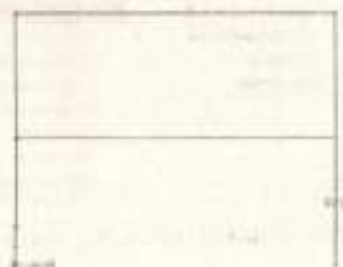


Рисунок 2.34 - Результат установки равномернораспределенной нагрузки

## 2.8 Статический расчет

Перед выполнением статического расчета необходимо запомнить данный проект. В окне текстового меню выбираем **Проекты** ⇒ **Запомнить**.

Из представившихся функций выбираем **Сохранить**.

В окне текстового меню выбираем **Расчет** ⇒ **Общий**.

В открывшемся диалоговом окне из представившихся функций выбираем **Статический расчет**.



Рисунок 2.35 - Диалоговое окно выбора типа расчета

По окончании расчета *mb-Viewer* выводит протокол статического расчета.

## 2.9 Вывод результатов

Для вывода деформаций в окне текстового меню выбираем **Результаты** ⇒ **Графика**. В открывшемся диалоговом окне выбираем **Перемещения** и нажимаем **ОК**.

В окне выбора **Коэф-т** - позволяет ввести коэффициент масштабирования изображения. **Система** - отключение/включение изображения недеформированной системы. **№.Комб.=1** - ввод номера комбинации нагружений.

В окне информации выводятся номер узла системы с максимальным значением деформации.

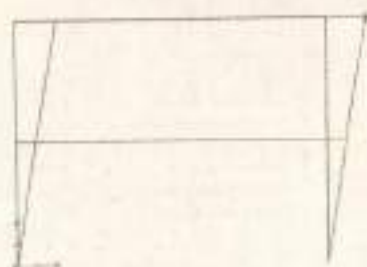


Рисунок 2.36 – Графическое изображение деформаций

Для вывода внутренних усилий в окне текстового меню выбираем **Результаты ⇒ Графика**. В открывшемся диалоговом окне выбираем **Усилия в стержнях** и нажимаем **ОК**.

Для просмотра эпюры продольных сил  $N$ , поперечных сил  $Q$  или изгибающих моментов  $M$  в окне выбора видов необходимо нажать  $N$ ,  $Q$  или  $M$ .

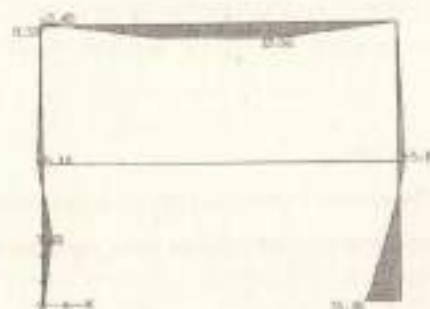


Рисунок 2.37 – Эпюра моментов

Для просмотра величин усилий в стержнях указываем курсором на стержень, после щелчка левой клавишей мыши в информационном окне появляется два значения – максимальная и минимальная величина усилия в указанном стержне.

В окне информации выводится номер элементов системы с максимальным и минимальным значениями внутренних усилий.

### 3 АРМИРОВАНИЕ БАЛОК

Требуется определить усилия и подобрать арматуру в конструктивных элементах трехпролетной, двухэтажной железобетонной рамы.

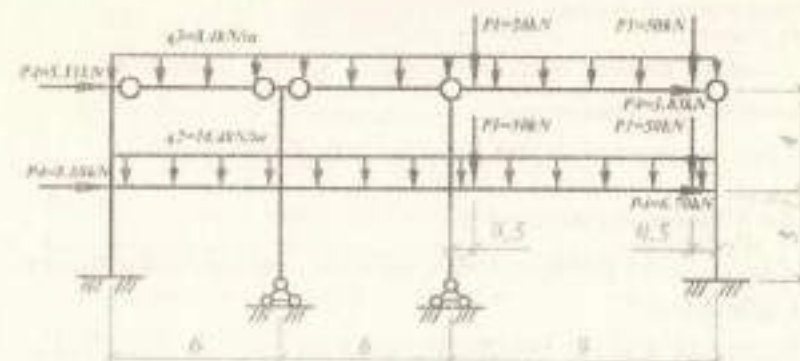


Рисунок 3.1 – Трехпролетная двухэтажная рама

Геометрия: пролеты  $6 \times 6 \times 9$  метров, высота 1-го этажа – 3,0 метра, 2-го этажа – 4,0 метра.

Шаг рам 6 м.

Материал: бетон класса В20, продольная арматура класса АIII, поперечная класса АI.

Сечения элементов: колонны  $40 \times 40$  см., ригели тавровые с полкой внизу (высота ригеля – 55 см., ширина – 45 см., высота полки – 35 см., ширина ребра – 20 см.) Объемный вес –  $1,1 \times 2,5 = 2,75 \text{ т/м}^3$ .

Нагрузки: постоянная (собственный вес конструкций) и вес пола и крыши ( $0,1 \times 20 \times 1,2 \times 6 = 14,4 \text{ кН/м}$ ); длительная – равномерно распределенная поперечная по ригелям первого этажа, величиной  $1,2 \times 2 \times 6 = 14,4 \text{ кН/м}$ , сосредоточенная – 50 кН, приложенная в третьем пролете на расстоянии 0,5 метра от края ригелей первого и второго этажей; снеговая – равномерно распределенная по ригелям второго этажа, величиной  $1,4 \times 1 \times 6 = 8,4 \text{ кН/м}$ ; ветровая – приложена в виде узловых нагрузок (кН).



Таблица 3.2 – Величина ветровой нагрузки

	На левой колонне ( $\kappa = 0,8$ )	На правой колонне ( $\kappa = 0,6$ )
В уровне перекр. 1-го этажа $0,38 \cdot 1,4 \cdot 6 \cdot (1,5+2)$	8,88	6,70
В уровне перекр. 2-го этажа $0,38 \cdot 1,4 \cdot 6 \cdot (2)$	5,11	3,83

Условия опирания: крайние колонны – жесткие, средние колонны – шарнирно висячие опоры.

Шарниры: расетки покрытия шарнирно опираются на колонны.

### 3.1 Создание нового проекта

Создаем новый документ, в окне текстового меню выбираем **Проекты** ⇒ **Новый проект**.

Частичный проект сохраняем как КО-файл (FEA-файл, имя файла – <Project>.fea).

### 3.2 Автоматическая генерация расчетной схемы

Для формирования расчетной схемы воспользуемся автоматической генерацией расчетной схемы рамы.

В окне текстового меню выбираем **Редактировать** ⇒ **Геометрия** ⇒ **Создать** ⇒ **Рамы/фермы**.



Рисунок 3.2 – Вызов команды создания расчетной схемы рамы

В окне выбора появляется панель переключателей.

Активируем кнопки **2D-балки**, **Рамы** и **Установить**.



Рисунок 3.3 – Окно выбора генерации расчетной схемы рамы

В окне информации появится следующее сообщение:

Установить точку Р1, начальную точку системы

Рисунок 3.4 – Окно информации по заданию начальной точки системы

В окне редактора задаем координаты первой точки  $x=0$ ,  $y=0$ ,  $z=0$ .

Затем задаем угол наклона рамы к оси X –  $\theta$ .

После подтверждения ввода координат первой точки и угла поворота, в рабочем окне появляется диалоговое окно, где:

*Шаг dx* – размер пролета в метрах;

*Шаг dz* – высота этажа в метрах;

*Кол-во* – количество пролетов и этажей.

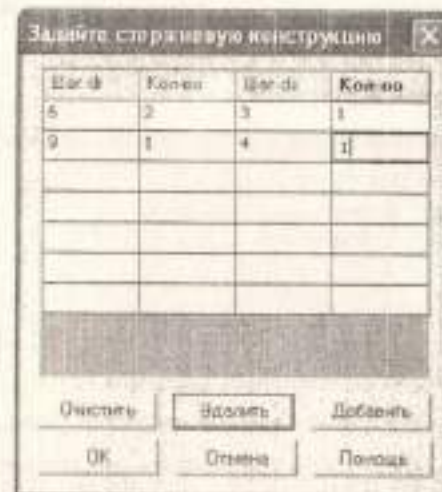


Рисунок 3.5 – Диалоговое окно задания стержневой конструкции рамы

Для задания трехпролетной, двухэтажной рамы с пролетами 6\*6\*9 метров и высотой 1-го этажа – 3,0 метра, 2-го этажа – 4,0 метра. Вводим значения указанные на рисунке 3.5.

После нажимаем на кнопку **ОК**, после чего автоматически генерируется рама. Для перехода в необходимую плоскость построения нажимаем **XU**.

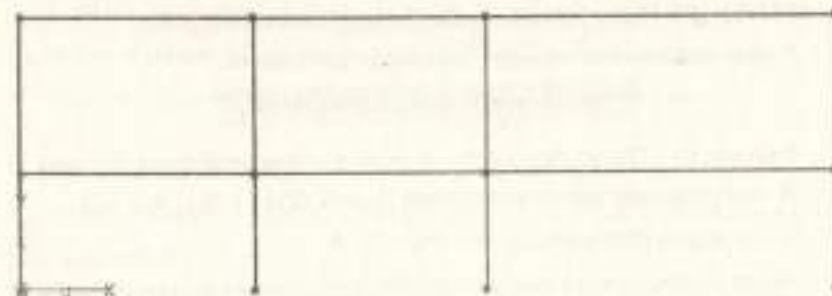


Рисунок 3.6 – Схема рамы после генерации расчетной схемы

### 3.3 Ввод материалов

В окне текстового меню выбираем **Редактировать** ⇒ **Материал** ⇒ **Расчет ЖБК**.

В окне выбора нажимаем **2D-балки**.

В окне редактора задаем порядковый номер материала, для ригелей **Mat-Nr = 1**, для колонн **Mat-Nr = 2**.

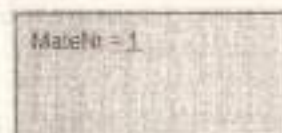


Рисунок 3.7 - Окно редактора номера материала

После подтверждения (левой клавишей мыши или **Enter**), в рабочем окне появится диалоговое окно, в котором выбираем сечение элемента, кликнув левой клавишей мыши по нужной закладке, для ригеля – тавер с полкой внизу.

Задаем размеры сечения ригеля в метрах. Необходимо обратить внимание на соответствие ориентации локальных осей сечения в проекте и на схеме функции.

Нажимаем кнопку **Расчитать**.

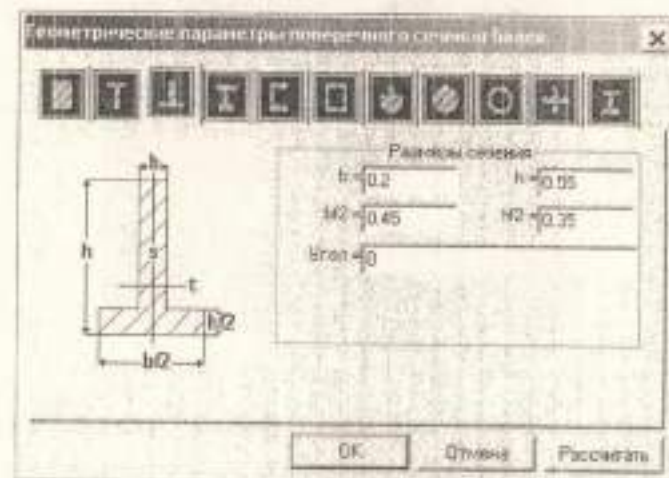


Рисунок 3.8 - Диалоговое окно ввода геометрических параметров сечения балок

В появившемся диалоге выводятся характеристики сечения.

Выход по кнопке **ОК**.



Рисунок 3.9 – Геометрические параметры сечения балок

Для расчета поперечных сечений металлических конструкций рекомендуется использовать пункт меню **Расчет сеч-й (расширенный)**.



В окне текстового меню выбираем Редактировать  $\Rightarrow$  Материал  $\Rightarrow$  Редактирование.



Рисунок 3.10 - Диалоговое окно ввода свойства материала


В открывшемся диалоговом окне с помощью кнопки  изменяем характеристикам материала (модуль упругости, плотность, модуль сдвига, коэффициент Пуассона) для бетона или стали. Особое внимание обратите на параметр  $Aq$  (сдвиговая площадь). При возникновении ошибки его лучше обнулить.



Рисунок 3.11 - Диалоговое окно редактирования характеристик материала

В окне текстового меню выбираем Редактировать  $\Rightarrow$  Материал  $\Rightarrow$  Установка.

В окне выбора выбираем 2-D балки.

В окне редактора сначала появится номер устанавливаемого материала, а затем и информация о нем.

Присваиваем элементам тот или иной номер материала, путем выделения их в рабочем окне.

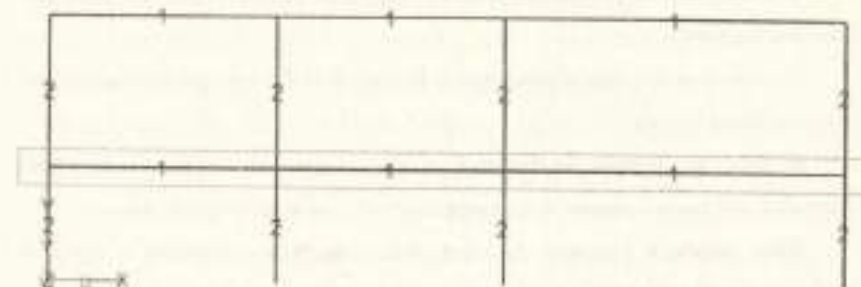


Рисунок 3.12 - Выбор элементов рамкой

Аналогично поступаем при задании материала колонны, изменяя в окне редактора порядковый номер материала.

### 3.4 Ввод краевых условий

В окне текстового меню выбираем Редактировать  $\Rightarrow$  Связи  $\Rightarrow$  Опорные закрепления  $\Rightarrow$  Установка.

Переключатели первой группы: X, Y, Z, Rx, Ry, Rz определяют степени свободы, по которым задаются граничные условия.

Переключатели второй группы: локал, глобал, задают тип системы координат, в которой задаются краевые условия.

Переключатели третьей группы: Раст., Сжатие и Сж.+Р. задают тип краевых условий: растяжение, сжатие и жесткое защемление соответственно.

Включаем глобал, Сж.+Р., и отключаем все остальные клавиши.

В окне выбора нажимаем переключатели, соответствующие тем перемещениям, которым препятствует вводимая связь (для ввода шарнирно-неподвижной опоры необходимо нажать  $X$  и  $Y$ , отжать  $Rz$ ; для ввода шарнирно-подвижной опоры, препятствующей вертикальному перемещению необходимо нажать  $Y$ , отжать  $X$  и  $Rz$ ; для ввода шарнирно-подвижной опоры, препятствующей горизонтальному перемещению необходимо нажать  $X$ , отжать  $Y$  и  $Rz$ ; для ввода жесткой заделки необходимо нажать  $X$ ,  $Y$  и  $Rz$ ).

Для крайних колонн активизируем все кнопки  $X$ ,  $Y$  и  $Rz$ , что означает жесткое опирание.

Для средних колонн активизируем кнопки  $X$  и  $Y$ , что означает шарнирно неподвижные опоры.

В окне редактора необходимо ввести жесткости крайних условий. Значение жесткости равное 0 соответствует абсолютно жесткой связи.

Ввод краевых условий осуществляем переводом курсора в узел, и щелчком левой клавиши мыши.

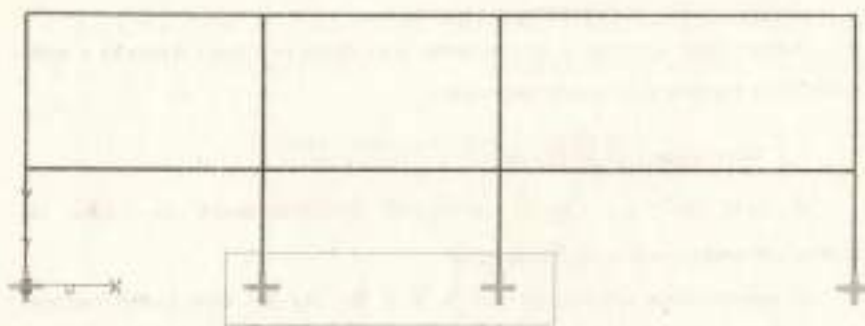


Рисунок 3.13 - Выбор элементов рамкой

Просмотр заданных краевых условий можно осуществить, выбрав в строке верхнего меню иконку

### 3.5 Ввод шарниров

Если расчетная схема содержит промежуточные шарниры, то в окне текстового меню выбираем Редактировать  $\Rightarrow$  Шарниры  $\Rightarrow$  Узловые  $\Rightarrow$  Установка.

Если расчетная схема содержит элементные шарниры, то в окне текстового меню выбираем Редактировать  $\Rightarrow$  Шарниры  $\Rightarrow$  Элементные  $\Rightarrow$  Установка.

Переключатели первой группы:  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ ,  $Rx$ ,  $Ry$ ,  $Rz$  задают степени свободы шарниров ( $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  - перемещения вдоль осей  $OX$ ,  $OY$  и  $OZ$  соответственно,  $Rx$ ,  $Ry$ ,  $Rz$  - повороты вокруг тех же осей).

Переключатели второй группы: локал., глобал. и элем. задают тип системы координат, в которой задаются шарниры.

Переключатели третьей группы: Балки и Обол., определяют тип конечных элементов (балочные или оболочные), для которых устанавливаются или удаляются шарниры.

Переключатель четвертой группы: 0, +1, -1, +2 и -2 задает тип шарниров.

В рабочем окне степени свободы шарниров изображаются при помощи кодирования числами. Изображаемое число образуется в результате суммирования для каждой степени свободы шарнира числа 2, возведенного в степень:

- 0 - для перемещения вдоль  $OX$ ,
- 1 - для перемещения вдоль  $OY$ ,
- 2 - для перемещения вдоль  $OZ$ ,
- 3 - для поворота вокруг  $OX$ ,
- 4 - для поворота вокруг  $OY$ ,
- 5 - для поворота вокруг  $OZ$ .

Для узловых шарниров включаем глобальные,  $Rz$ , отключаем все остальные клавиши и указываем курсором на соответствующие узлы,



щелчком левой кнопки подтверждаем ввод узловых шарниров в указанных узлах.

Для элементных шарниров включаем глобальные,  $R_z/t$ . Балки отключаем все остальные клавиши и указываем курсором на балку вблизи расположения элементного шарнира.

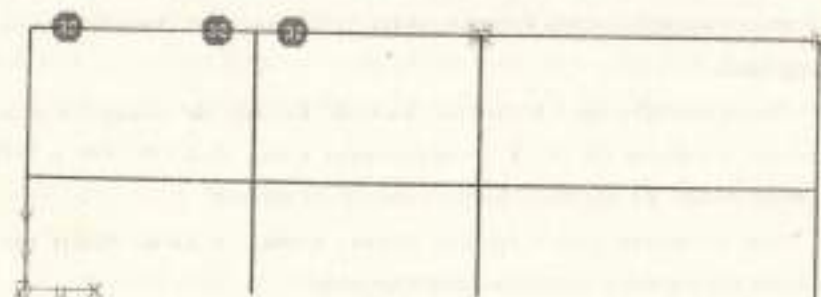


Рисунок 3.14 - Указание курсором шарниров

### 3.6 Ввод нагрузок

Для установки сосредоточенной нагрузки расположенной на элементе в окне текстового меню выбираем Редактировать  $\Rightarrow$  Нагрузки  $\Rightarrow$  По элементам  $\Rightarrow$  Соср. нагр.  $\Rightarrow$  Установка.

В окне выбора необходимо нажать кнопки, соответствующие виду вводимой сосредоточенной нагрузки (для ввода вертикальной нагрузки нажать  $P_y/t$  и отжать все остальные кнопки, для ввода горизонтальной нагрузки нажать  $P_x/t$  и отжать все остальные кнопки, для ввода сосредоточенного момента нажать  $M/t$  и отжать все остальные кнопки).

Переключатели второй группы: локал., глобал. задают тип системы координат, в которой задаются сосредоточенные нагрузки.

Выбираем систему координат глобал.

В окне выбора устанавливаем порядковый номер нагружения  $N=1$ .

В окне редактора установить величину отношения расстояния до приложения нагрузки ко всей длине участка  $t/l$ . Если нагрузка приложена по

середине участка, то отношение равно 0.5. Для сосредоточенных сил расположенных слева  $t/l = 0,5/9$ , для сил расположенных справа  $t/l = 8,5/9$ .

В окне редактора устанавливаем величину сосредоточенной нагрузки, с учетом правила знаков.

Переводим курсор в рабочем окне и указываем им на элемент, к которому приложена нагрузка.

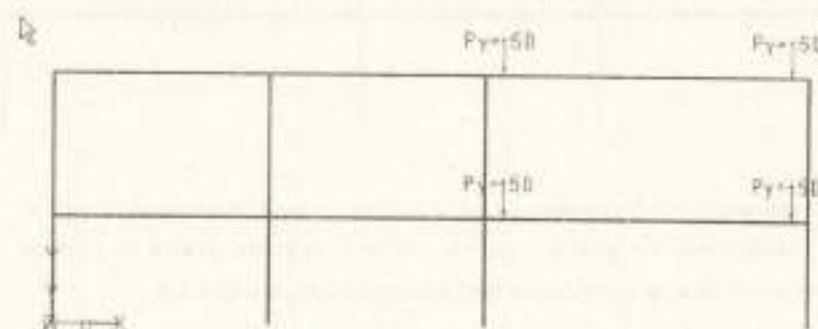


Рисунок 3.15 - Указание курсором сосредоточенной нагрузки

Для установки равномернораспределенной нагрузки в окне текстового меню выбираем Редактировать  $\Rightarrow$  Нагрузки  $\Rightarrow$  По элементам  $\Rightarrow$  Равн. распр.  $\Rightarrow$  Установка.

В окне выбора необходимо нажать кнопки, соответствующие виду вводимой равномернораспределенной нагрузки (для ввода вертикальной нагрузки нажать  $Q_y/t$  и отжать все остальные кнопки, для ввода горизонтальной нагрузки нажать  $Q_x/t$  и отжать все остальные кнопки).

Переключатели второй группы: локал., глобал., проекц. задают тип системы координат, для равномернораспределенной нагрузки.

Выбираем систему координат глобал.

В окне выбора установить порядковый номер нагружения  $N=2$ .

В окне редактора устанавливаем величину равномернораспределенной нагрузки, с учетом правила знаков (знак «+» ставится если направление нагрузки совпадает с направлением оси, в противном случае знак «-»).

Переводим курсор в рабочее окно и указываем им на элемент, к которому приложена нагрузка.

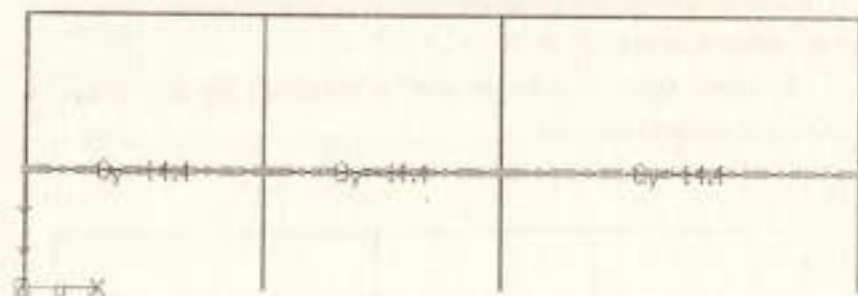


Рисунок 3.16 - Указание курсором равномернораспределенной нагрузки

Аналогично поступаем с вводом снеговой нагрузки, отнеся ее в третье нагружение. Номер нагружения  $N=3$ , величина нагрузки  $Q_s = -8.4$ .



Рисунок 3.17 - Указание курсором равномернораспределенной нагрузки

Для установки сосредоточенной нагрузки расположенной в узле в окне текстового меню выбираем **Редактировать**  $\Rightarrow$  **Нагрузки**  $\Rightarrow$  **Узловые**  $\Rightarrow$  **Узловые нагрузки**  $\Rightarrow$  **Установка**.

В окне выбора необходимо нажать кнопки, соответствующие виду вводимой узловой нагрузки. Для ввода вертикальной нагрузки необходимо нажать **Py** и отжать все остальные кнопки, для ввода горизонтальной нагрузки необходимо нажать **Px** и отжать все остальные кнопки, для ввода

сосредоточенного момента необходимо нажать **Mx** и отжать все остальные кнопки.

В окне выбора устанавливаем порядковый номер нагружения  $N=4$ .

В окне редактора устанавливаем величину нагрузки, с учетом правила знаков.

Переводим курсор в рабочее окно и указываем им на узел элемента, в котором приложена нагрузка.

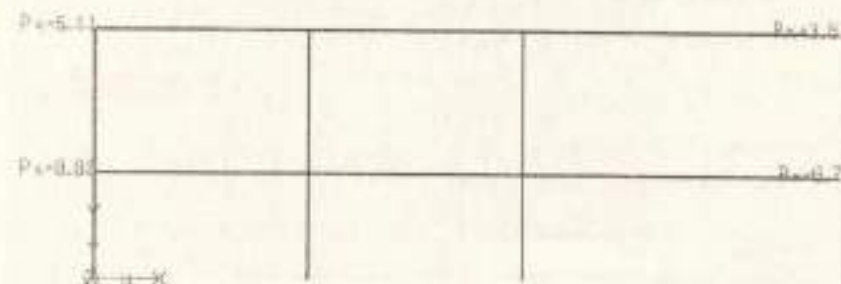


Рисунок 3.18 - Указание курсором сосредоточенной нагрузки

### 3.7 Статический расчет

Перед выполнением статического расчета необходимо запомнить данный проект. В окне текстового меню выбираем **Проекты**  $\Rightarrow$  **Запомнить**.

Из представившихся функций выбираем **Сохранить**.

В окне текстового меню выбираем **Расчет**  $\Rightarrow$  **Общий**.

В открывшемся диалоговом окне из представившихся функций выбираем **Статический расчет**.





Рисунок 3.19 - Диалоговое окно выбора типа расчета

По окончании расчета *mb-Viewer* выводит протокол статического расчета.

### 3.8 Вывод результатов

При необходимости изменения коэффициента для комбинаций в строке верхнего меню выбираем пункт **Комбинации** и в открывшемся диалоговом окне устанавливаем нужные коэффициенты в выбранных для просмотра комбинациях.



Рисунок 3.20 - Диалоговое окно корректировки комбинаций

Для вывода деформаций в окне текстового меню выбираем **Результаты** ⇒ **Графика**. В открывшемся диалоговом окне выбираем **Перемещения** и нажимаем **OK**.

В окне выбора **Коэф-т** - позволяет ввести коэффициент масштабирования изображения. **Система** - отключение/включение изображения недеформированной системы. **Nr.Комб.=1** - ввод номера комбинации нагружений.

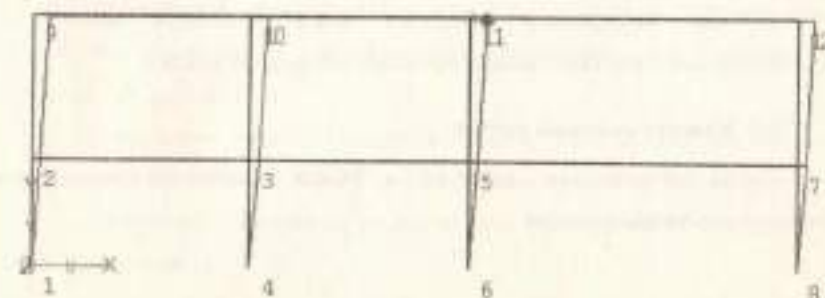


Рисунок 3.21 - Графическое изображение деформаций

В окне информации выводится номер узла системы с максимальным значением деформации.

Для вывода внутренних усилий в окне текстового меню выбираем **Результаты**  $\Rightarrow$  **Графики**. В открывшемся диалоговом окне выбираем **Усилия в стержнях** и нажимаем **ОК**.

Для просмотра эпюры продольных сил  $N$ , поперечных сил  $Q$  или изгибающих моментов  $M$  в окне выбора видов необходимо нажать  $N$ ,  $Q$  или  $M$ .

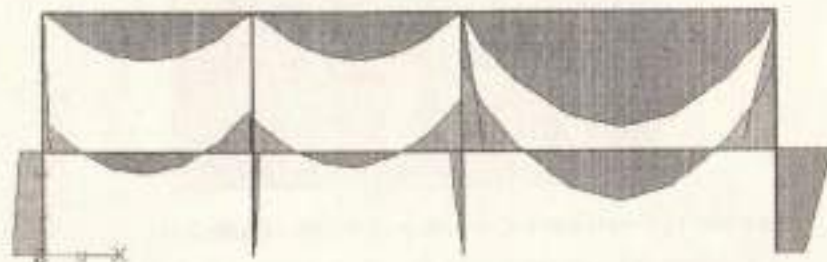


Рисунок 3.22 - Эпюра моментов

Для просмотра величин усилий в стержнях указываем курсором на стержень, после щелчка левой клавиши мыши в информационном окне появляется два значения – максимальная и минимальная величина усилия в указанном стержне.

В окне информации выводится номер элементов системы с максимальным и минимальным значениями внутренних усилий.

### 3.9 Конструктивный расчет

Перед определением арматуры в балках, необходимо определить расчетные сочетания усилий.

#### 3.9.1 Определение РСУ (расчетных сочетаний усилий)

В окне текстового меню выбираем **Расчет**  $\Rightarrow$  **Конструктивный**. В открывшемся диалоговом окне выбираем **Расчетные сочетания усилий**  $\Rightarrow$  **В сечениях стержней** и нажимаем **ОК**.



Рисунок 3.23- Диалоговое окно выбора типа расчета

В открывшемся диалоговом окне задаем исходные данные (тип нагружения, источник и коэффициенты надежности по нагрузке и длительности действия):

1-ое нагружение – всегда постоянное, подразумевается собственный вес конструкций, определяется автоматически, если задана плотность материала.

2-е нагружение определяем как длительное со своим коэффициентом по надежности по нагрузке.



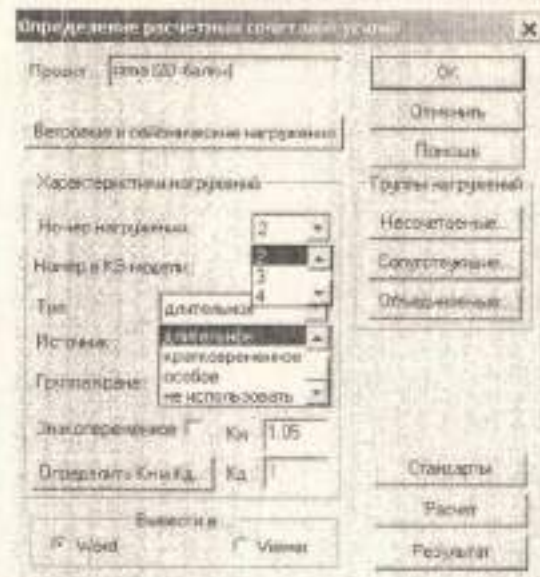


Рисунок 3.24 - Диалоговое окно определения второго нагружения

3-е нагружение определяем как кратковременное снеговое со своим коэффициентом надежности по нагрузке и длительности действия.



Рисунок 3.25 - Диалоговое окно определения третьего нагружения

4-е ветровое нагружение определяем как кратковременное прочее со своим коэффициентом надежности по нагрузке и длительности действия.



Рисунок 3.26 - Диалоговое окно определения четвертого нагружения

Нажимаем кнопку **Расчет**, в открывшемся диалоговом окне задается количество сечений в элементе, в которых будут определяться расчетные сочетания усилий.



Рисунок 3.27 - Диалоговое окно задания элементов

Переключатель **Добавить группу** позволяет задать группу элементов, для которых будут определяться РСУ и вызывает следующее диалоговое окно





Определяем тип задачи:

прямая – опция *Определение арматуры*,

обратная – опция *Проверка прочности*.

Решаем прямую задачу – на примере определения арматуры в ригеле (элемент №6).

Переключатель **Добавить** позволяет задать группу элементов, для которых будет определяться арматура, и вызывает следующее диалоговое окно.



Рисунок 3.31 - Диалоговое окно задания элементов

При помощи переключателя **Выбор в графике** в рабочем окне осуществляется выбор элементов, для которых определяется арматура.

Указывается – проводить расчет с учетом трещинообразования или нет.

Задается максимальный процент армирования.

Выбирается тип элемента – стойка (колонна) или ригель, в случае расчета стойки задается расчетная длина элемента

Переключатель **Сечение** вызывает диалоговое окно, где выбирается тип сечения и задаются его размеры.

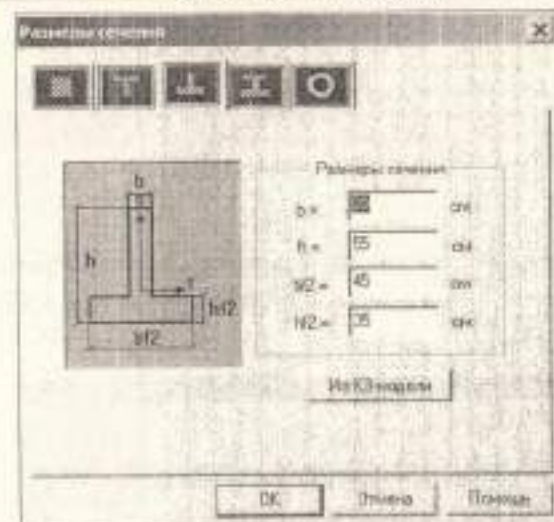


Рисунок 3.32 - Диалоговое окно задания размеров поперечного сечения

Переключатель **Защитный слой** вызывает диалоговое окно, где задаются соответствующие величины. Под толщиной защитного слоя понимаются расстояние от наружной грани элемента до центра тяжести арматуры.

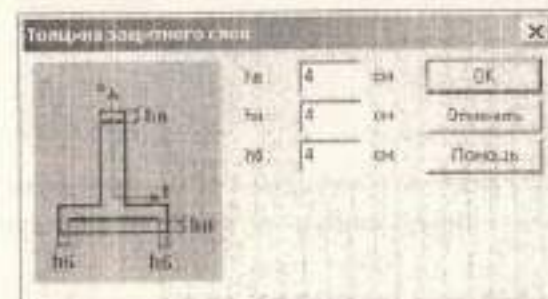


Рисунок 3.33 - Диалоговое окно задания толщины защитного слоя

Переключатель **Унификация** вызывает соответствующее диалоговое окно, где выбираются параметры унификации.

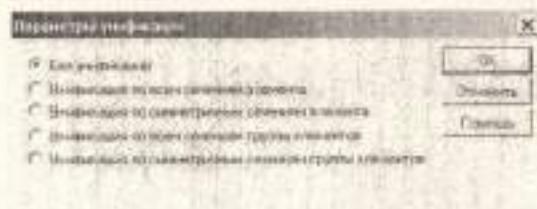


Рисунок 3.34 - Диалоговое окно задания параметров унификации

Переключатель **Подбор** вызывает диалоговое окно, где задаются соответствующие параметры.



Рисунок 3.35 - Диалоговое окно задания раскладки арматуры

Переключатель **Метод решения** позволяет выбрать метод подбора арматуры.



Рисунок 3.36 - Диалоговое окно выбора метода расчета

Переключатель **Материал** вызывает диалоговое окно, в котором задаются данные по материалам.



Рисунок 3.37 - Диалоговое окно задания материала

После задания всех исходных данных, в исходном диалоговом окне надо нажать кнопку **Расчет**. После окончания расчета появится сообщение.



Рисунок 3.38 - Диалоговое окно окончания определения арматуры

### 3.9.3 Результаты расчета армирования

Вывести результаты расчета можно в графической или табличной формах во *mb-Viewer* или *Microsoft Word*.



Для вывода результатов армирования в графической форме в окне текстового меню выбираем Результаты  $\Rightarrow$  Графика  $\Rightarrow$  Арматура в балках.

В рабочем окне появится эпюра распределения арматуры в тех элементах, в которых она была определена.

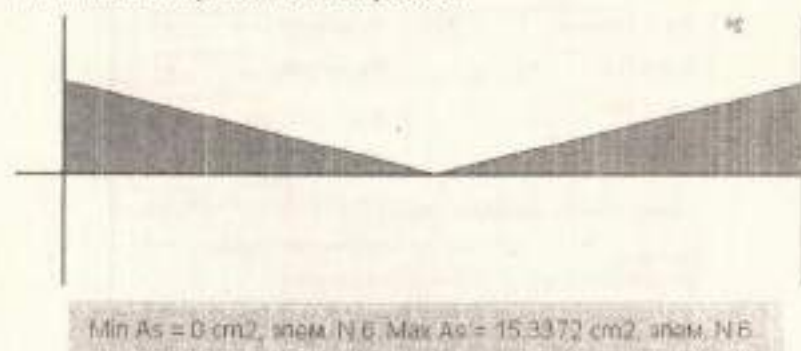


Рисунок 3.39 - Эпюра распределения верхней арматуры в ригеле.

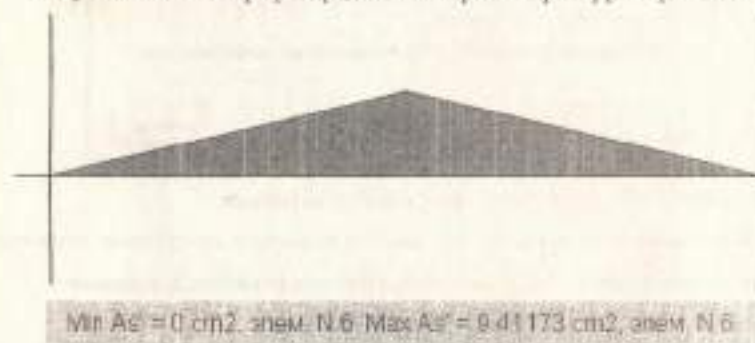


Рисунок 3.40 - Эпюра распределения нижней арматуры в ригеле.

Для просмотра результатов в табличной форме в окне текстового меню выбираем Результаты  $\Rightarrow$  Таблицы  $\Rightarrow$  Арматура в балках.

В окне выбора нажимаем Вывести  $\Rightarrow$  Вывести все.

В результате расчета на экране появляется таблица содержащая теоретическую площадь арматуры.

#### 4 АРМИРОВАНИЕ ПЛИТ

Требуется определить усилия и арматуру в железобетонной плите перекрытия опёртой по контуру и опирающуюся в центре на колонну. Толщина плиты 20 см., материал – бетон класса В20, арматура класса – АIII.

Предварительно создаем план здания в программе AutoCAD и сохраняем с расширением DXF.

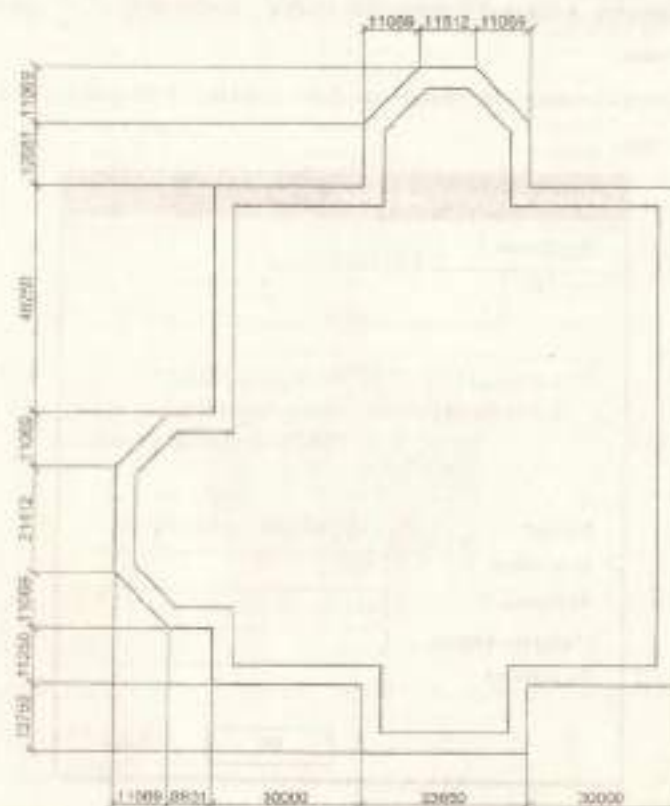


Рисунок 4.1 - Железобетонная плита перекрытия

## 4.1 Ввод расчетной схемы

## 4.1.1 Ввод плиты

Создаем новый документ, в окне текстового меню выбираем **Проекты**  $\Rightarrow$  **Новый проект**.

В открывшемся диалоговом окне в графе *Имя файла* набираем с клавиатуры имя файла - не более 8 символов, без пробелов. При необходимости указываем дополнительную информацию о проекте и разработчике.

Частичный проект сохраняем как файл позиций (POS-файл, имя файла - <Project>.pos).



Рисунок 4.2 – Диалоговое окно создания нового проекта

Ввод расчетной схемы конструкции происходит посредством так называемых «Позиций», под которыми понимаются конструктивные

элементы зданий и сооружений, как более понятные термины для инженера-проектировщика.

В окне текстового меню выбираем **Редактировать**  $\Rightarrow$  **Позиции**  $\Rightarrow$  **Плита/стена/рампа**  $\Rightarrow$  **Установка**.

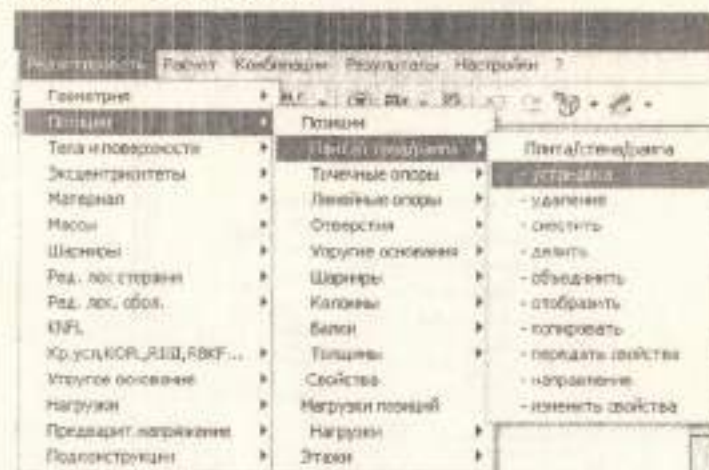


Рисунок 4.3 - Вызов команды установки плиты

В окне выбора появляются два переключателя:

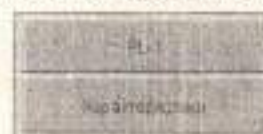


Рисунок 4.4 - Окно выбора ввода плиты

**PL-1** - позволяет ввести или изменить обозначение плиты,

**Характеристики** - вызывает диалоговое окно, в котором задаются следующие параметры:

Закладка **Материал**:

- толщина плиты в метрах, может быть постоянной или переменной;
- материал плиты, может быть изотропным или ортотропным;
- модуль упругости (E) и коэффициент Пуассона;
- плотность (Rho) материала плиты;



— коэффициент уменьшения момента инерции сечения при кручении *D<sub>tw</sub>* (в процентах, изменяется от 0% до 100%);



Рисунок 4.5 - Диалоговое окно свойств плиты, папка материал

Для ортотропной плиты - вводятся значения *x-Фактор* и *y-Фактор* на которые умножается модуль упругости *E*, чтобы получить различные жесткостные характеристики для X - и Y - направлений по отношению к глобальной системе координат.

Закладка **Нагрузки**, вводятся нагрузки:

- от собственного веса плиты *g* (при *R<sub>из</sub>* = 0 т/м³);
- временная нагрузка *p*, равномерно распределенная по всей площади плиты.

Закладка **Шаблон**: при необходимости вводятся параметры для генератора конечно-элементной сетки по методу шаблона:

- координаты точки начала наложения шаблона;
- размеры генерируемой сетки в направлении оси OR и OS;
- угол поворота накладываемого шаблона относительно оси OR.

После задания характеристик плиты начинаем вычерчивать саму плиту.



Рисунок 4.6 - Диалоговое окно свойств плиты, папка нагрузки

При помощи команды **Растр ⇒ DXF Загрузить** в качестве растра загружаем объект сохраненный как DXF-файл. Перед непосредственной загрузкой DXF-файла появляется диалоговое окно, в котором, при необходимости, осуществляется масштабирование DXF-слоя. Следует помнить, что все размеры в *Stark\_ES* воспринимаются в метрах.



Рисунок 4.7 - Диалоговое окно вставки DXF - файла



Рисунок 4.8 - Окно выбора вставки DXF - файла

После выбора переключателя **DXF Стандарты** в окне выбора появляются переключатели при помощи которых возможно:

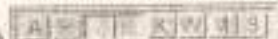
- показывать актуальный слой DXF-файла (например, N=1). При N=0 будут показаны все слои;
- перемещать DXF-слой и изменять его масштаб;
- вращать DXF-слой.

В окне информации показывается последовательность выполнения операций. Ввод необходимых численных значений осуществляется в окне редактора.

Ввод расчетной схемы конструкции происходит посредством «Позиций». В окне текстового меню выбираем Редактировать ⇒ Позиции ⇒ Плита/стена/рампa ⇒ Установка.

После задания характеристик плиты начинаем вычерчивать саму плиту. Для этого в планке переключателей 1 выбираем кнопку **F**, что позволит более точно привязываться курсором мыши к точкам пересечения линий DXF-слоя.

Общий вид планки переключателей



Для удобства ввода и более точного построения геометрии плиты можно использовать кнопки **M** и **S** в планке переключателей 2.

Кнопка **M** позволяет найти середину линии или отрезка, заданного двумя точками (начало и конец отрезка), кнопка **S** позволяет найти точки пересечения объектов, в данном случае между линиями DXF-слоя.

Область плиты задается замкнутой ломаной линией либо с помощью мыши в рабочем окне. Подводя курсор мыши к точкам пересечения линий DXF-слоя и, нажимая левую кнопку мыши, отмечаем границы плиты.

Завершается ввод плиты повторным нажатием левой клавишей мыши в первой точке ввода. Нажатие правой кнопки мыши отменяет ввод предыдущей точки. Эта функция действует для всех режимов ввода.

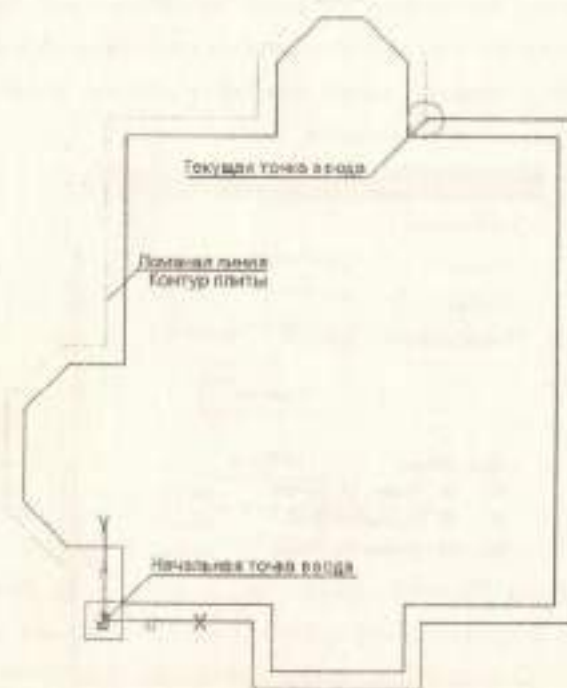


Рисунок 4.9 - Графический ввод плиты



## 4.1.2 Ввод линейных опор

Линейные опоры, в зависимости от свойств материала, имитируют характер опирания (жесткое, шарнирное и т.п.) плиты на стены с учетом их жесткостных характеристик и реальной геометрии (толщины и высоты) стены.

Для установки линейных опор в окне текстового меню выбираем Редактировать  $\Rightarrow$  Позиции  $\Rightarrow$  Линейные опоры  $\Rightarrow$  Установка.

В окне выбора появятся два переключателя: RB-1 - позволяет ввести или изменить обозначение линейной опоры. Характеристики - вызывает диалоговое окно, в котором задаются следующие параметры (для каждой опоры можно ввести свои характеристики).

После ввода значений: Толщина, Высота и Модуль упругости E нажимаем кнопку Вычислить. Значения жесткостей при этом будут откорректированы. В случае жесткого опирания необходимо убрать Поворот вокруг оси OR и Поворот вокруг оси OS, а значение Жесткости для Перемещения вдоль оси OT вводим 0.



Рисунок 4.10 - Диалоговое окно характеристик линейных опор

Ввод линейных опор осуществляем при помощи ломаной линии. Начинаем с однократного щелчка левой клавишей мыши в начальной точке ввода и заканчиваем двойным щелчком в конечной точке ввода. Нажатие правой клавиши мыши отменяет ввод предыдущей точки.

После завершения ввода линейная опора выделяется зеленым цветом.

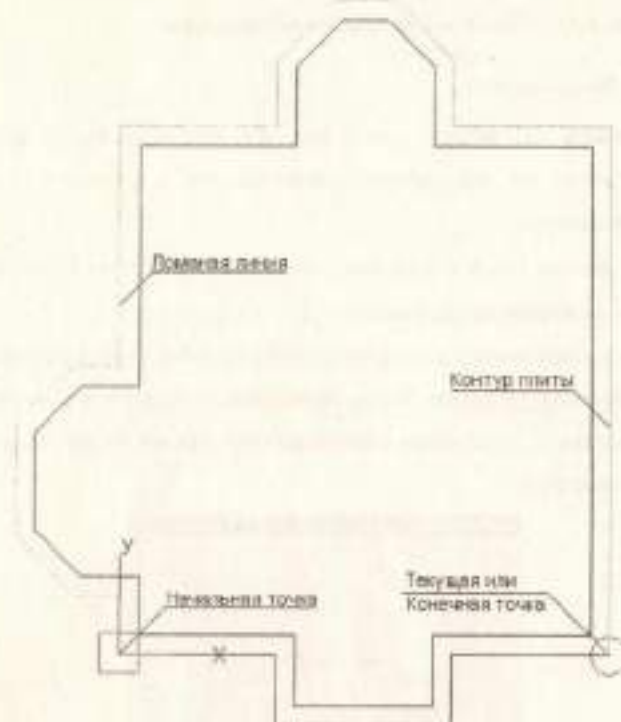


Рисунок 4.11 - Графический ввод линейных опор

После генерации конечно-элементной сетки, «линейные опоры» будут преобразованы в КЭ-узлы с пружинами определенной жесткости по выбранным степеням свободы. Первоначальные значения жесткостей этих пружин вычисляются на основе геометрических данных, задаваемых для линейной опоры.



Рисунок 4.12 – Линейные опоры после генерации

### 4.1.3 Ввод подбалок

Следующий этап работы – ввод под- или над-балок (ребер жесткости) плиты с учетом их жесткостных характеристик и реальной геометрии поперечного сечения.

Для установки балок в окне текстового меню выбираем Редактировать ⇒ Позиции ⇒ Балки ⇒ Установка.

В окне выбора появятся два переключателя: **UZ-1** - позволяет ввести или изменить обозначение балки, **Характеристики** - вызывает диалоговое окно, в котором задаются следующие параметры (для каждой балки можно ввести свои характеристики).



Рисунок 4.13 – Диалоговое окно свойств балок

Ввод балок осуществляем при помощи ломаной линии. Начинаем с однократного щелчка левой клавишей мыши в начальной точке ввода и заканчиваем двойным щелчком в конечной точке ввода. Нажатие правой клавиши мыши отменяет ввод предыдущей точки.

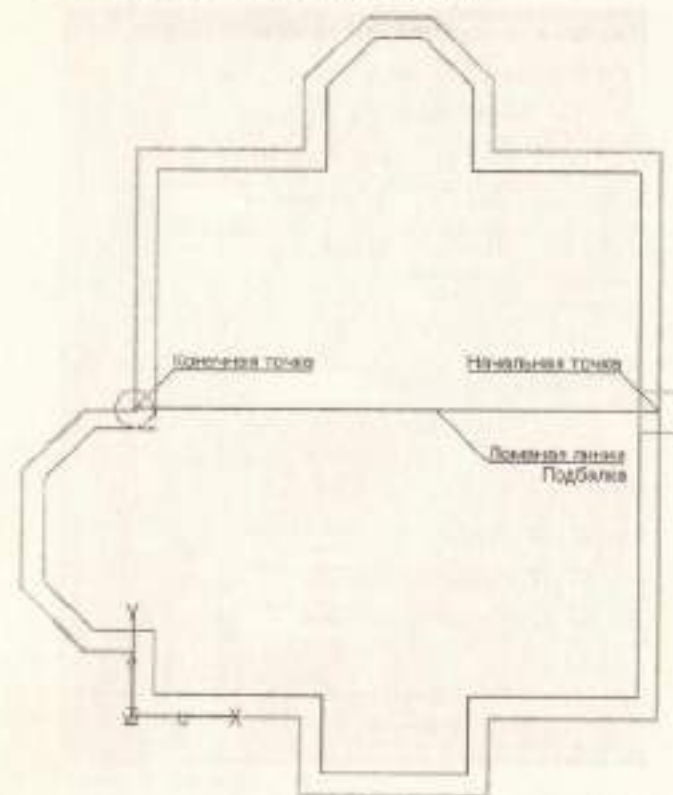


Рисунок 4.14 - Графический ввод балок

### 4.1.4 Ввод колонн

Следующий этап работы – установка колонн с учетом их жесткостных характеристик и реальной геометрии площадки опирания плиты на колонну.

Для установки балок в окне текстового меню выбираем Редактировать ⇒ Позиции ⇒ Колонны ⇒ Установка.



В окне выбора появятся два переключателя: **ST-1** - позволяет ввести или изменить обозначение колонны, **Характеристики** - вызывает диалоговое окно, в котором задаются следующие параметры (для каждой колонны можно ввести собственные характеристики):

**Свойства колонны**

Колонна: **ST-1**

☒ Прямоугольная ☐ Круглая

☐ Вкл. ☒ Давление колонн

Ширина: 0.4 м Высота: 0.4 м

Длина: 3 м Угол: 0

Модуль упругости: 30000000 н/м<sup>2</sup>

Коэффициент Пуассона: 0.2

Способ учета работы с плитой:

☐ RIB ☐ CLPL/REF ☒ не учитывать

Раст. Сжат:

☒ Перемеш. Q1

☒ Перемеш. Q2

☒ Перемеш. Q3

Жесткость:

1.6e+006 н/м<sup>2</sup>

64000 н/м<sup>2</sup>

64000 н/м<sup>2</sup>

Вызвать...

OK Отмена Помощь

Рисунок 4.15 - Диалоговое окно свойства колонны

Новую колонну устанавливаем по середине балки. Для этого на панели переключателей №2 активируем кнопку **M** и курсором указываем на балку. Эта точка будет являться центром будущей колонны.

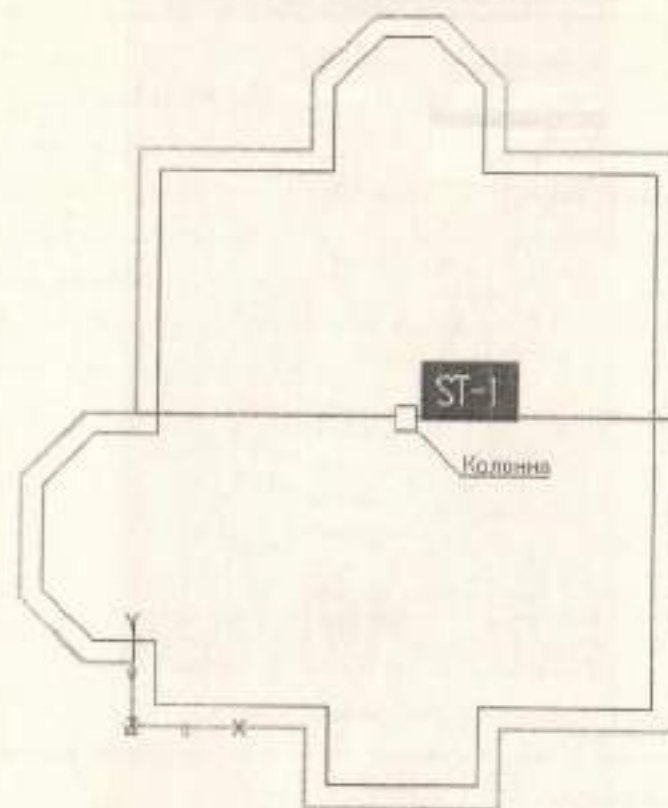


Рисунок 4.16 - Графический ввод колонны

#### 4.1.5 Редактирование свойств

Если в процессе создания расчетной схемы, по тем или иным причинам требуется изменить свойства материалов, геометрию или другие характеристики позиций, то в любой момент выполнить это можно выбрав в окне текстового меню **Редактировать** ⇒ **Позиции** ⇒ **Свойства**.

После выбора этого пункта появится диалоговое окно, в котором выбираем конструкцию **Тип позиции** и порядковый номер **Наименование**. При нажатии на кнопку **OK**, все внесенные изменения запомнятся автоматически.



Рисунок 4.17 - Диалоговое окно свойств позиций

С помощью кнопки **Геометрия** можно отредактировать координаты точек данной позиции.



Рисунок 4.18 - Диалоговое окно редактирования координат точек

## 4.1.6 Ввод нагрузок

Обратите внимание на то, что при вводе нагрузок следует задавать их расчетные значения. Нормативные значения будут определяться в дальнейшем при определении РСУ.

Для ввода сосредоточенных нагрузок в окне текстового меню выбираем **Редактировать**  $\Rightarrow$  **Позиции**  $\Rightarrow$  **Нагрузки**  $\Rightarrow$  **Нагрузки позиций**  $\Rightarrow$  **Сосредоточенные**  $\Rightarrow$  **Установка**.

Кнопка **Характеристики** вызывает диалоговое окно для указания вида и значения сосредоточенной нагрузки.

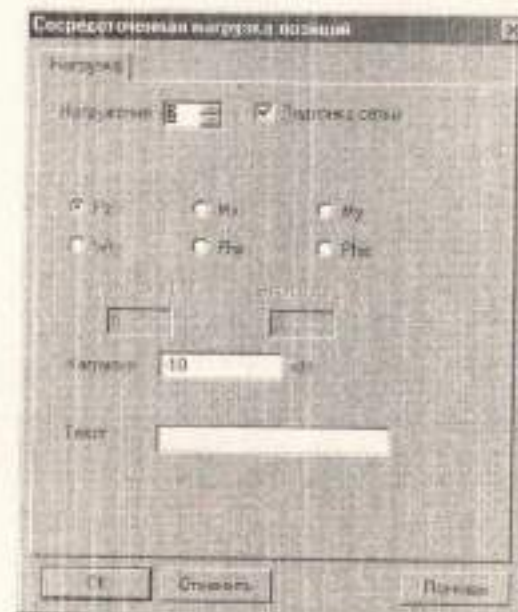


Рисунок 4.19 - Диалоговое окно свойств сосредоточенной нагрузки

При активации переключателя **Подготовка сетки** при генерации конечно-элементной сетки, точка приложения нагрузки станет узлом конечно-элементной сетки.

В окне редактора задаем координаты установки нагрузки.





Рисунок 4.20 - Окно редактора задания координат сосредоточенной нагрузки

После задания значений координат в рабочем окне на модели плиты появится изображение сосредоточенной нагрузки.

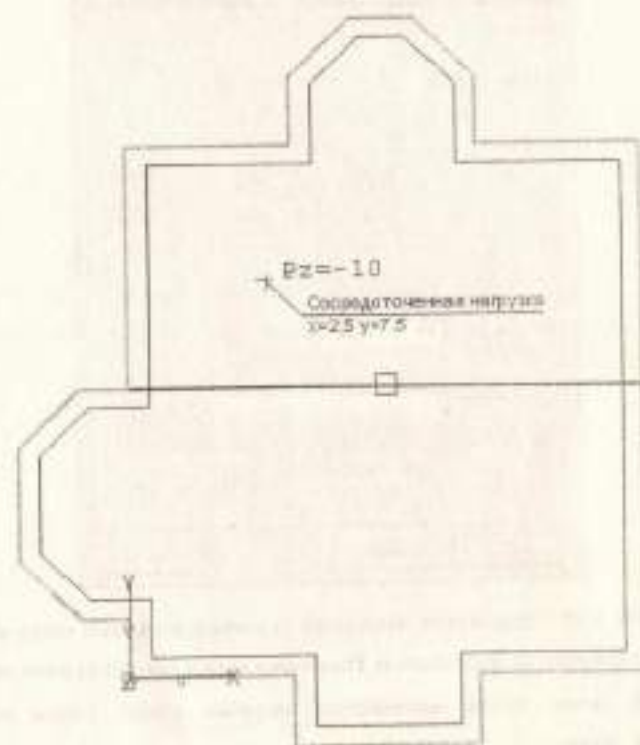


Рисунок 4.21 - Графический ввод сосредоточенной нагрузки

Для ввода линейных нагрузок в окне текстового меню выбираем Редактировать  $\Rightarrow$  Позиции  $\Rightarrow$  Нагрузки  $\Rightarrow$  Нагрузки позиций  $\Rightarrow$  Линейные  $\Rightarrow$  Установка.

Открывается диалоговое окно для указания вида и значения линейной нагрузки

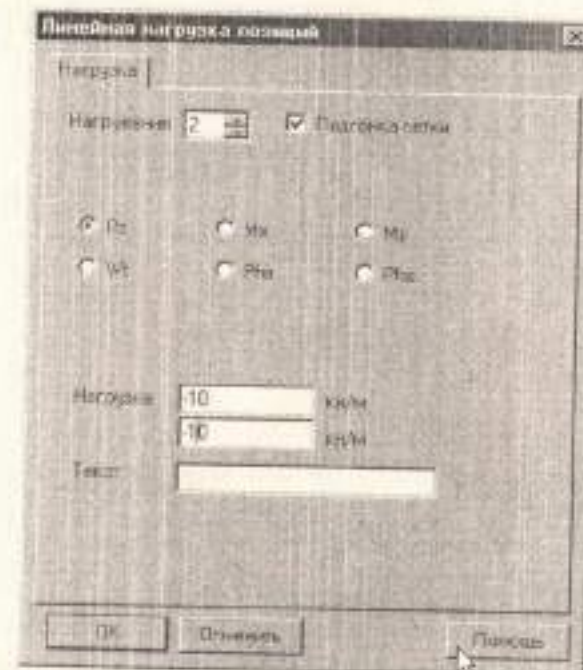


Рисунок 4.22 - Диалоговое окно свойств линейной нагрузки

В рабочем окне отмечаем на балках точки начала и конца приложения линейной нагрузки. После чего в рабочем окне на модели плиты появится изображение сосредоточенной нагрузки.

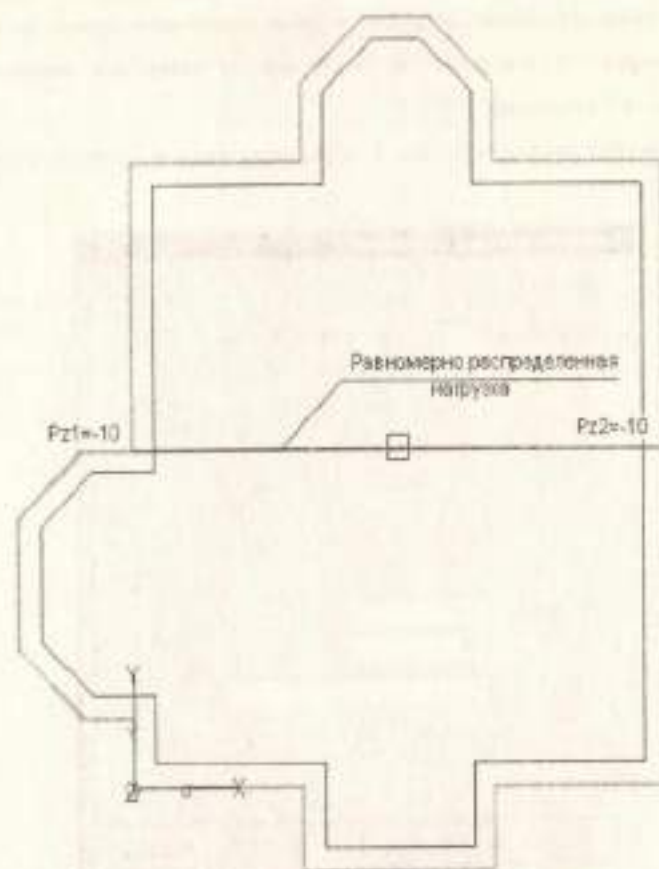


Рисунок 4.23 - Графический ввод линейной нагрузки

Для ввода поверхностных нагрузок в окне текстового меню выбираем **Редактировать ⇒ Позиции ⇒ Нагрузки ⇒ Нагрузки позиций ⇒ Поверхностные ⇒ Установка.**

Открывается диалоговое окно для указания вида и значения поверхностной нагрузки.

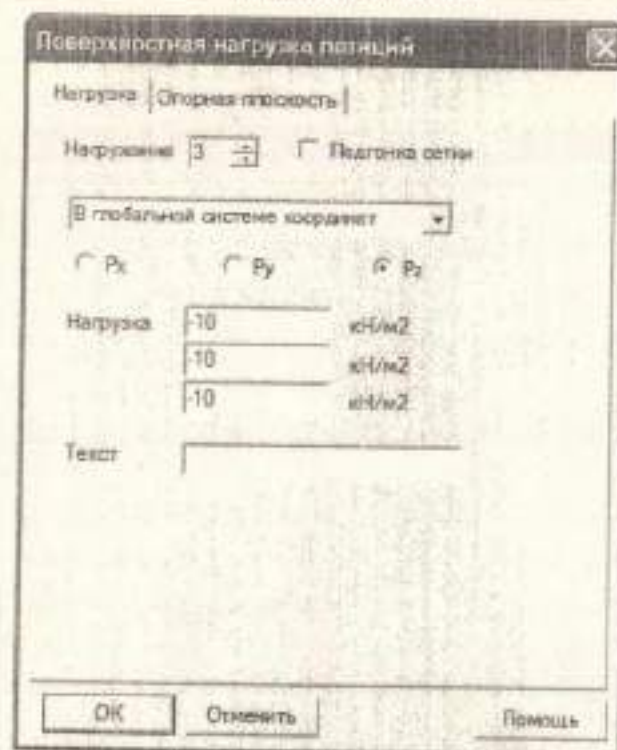


Рисунок 4.24 - Диалоговое окно свойства поверхностной нагрузки

Ввод ломаной линии начинаем с однократного нажатия левой клавиши мыши в начальной точке области действия нагрузки и завершаем повторным нажатием мыши на начальную точку этой линии. Величины нагрузок задаем для первых трёх точек области действия поверхностной нагрузки (в  $\text{кН/м}^2$ ), в остальных точках области нагружения – величины нагрузки будут автоматически интерполированы.

При нажатии правой клавиши мыши отменяется ввод предыдущих точек.



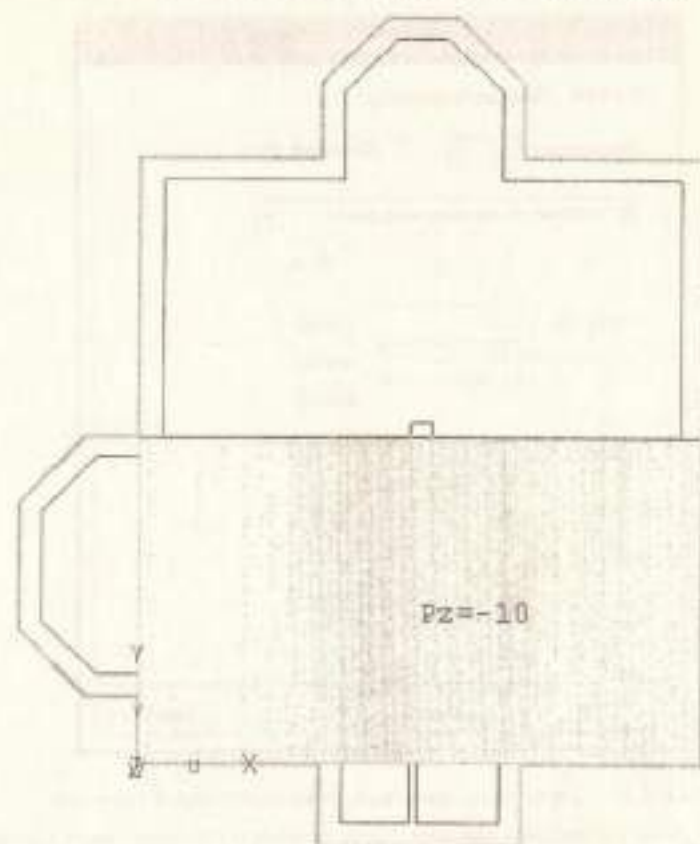


Рисунок 4.25 - Графический ввод поверхностной нагрузки

#### 4.2 Создание конечно-элементного проекта

После завершения формирования расчетной схемы приступаем к созданию конечно-элементного проекта.

Для запоминания данного проекта в окне текстового меню выбираем **Проекты ⇒ Запомнить**.

Из представившихся функций выбираем **Сохранить**.

После запоминания проекта в окне текстового меню выбираем **Полный**. Программа переходит в режим полного проекта. Заголовок программы, верхняя строка меню и *toolbar* примут другой вид:

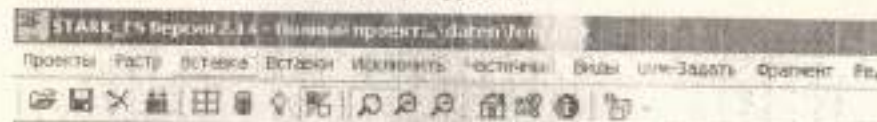


Рисунок 4.26 – Окно меню

В окне текстового меню выбираем **Вставка**. Актуальный «частичный» проект будет вставлен (перенесен) в **Полный** проект.

В окне текстового меню выбираем **Слияние ⇒ По шаблону ⇒ Шаблон**.

С помощью этого пункта меню накладывается «шаблон» сетки на конструкцию, для которой генерируется конечно-элементная сеть.

Осуществляется «грубое» разбиение конструкции на конечные элементы с учетом заданных размеров этих элементов и величина смещения и углов поворота сетки, при этом согласование полученных узлов не производится.

При необходимости, размеры КЭ-сетки можно изменить. Для этого надо отменить «частичный» проект, для которого будут изменены размеры КЭ-сетки, в окне текстового меню выбираем **Слияние ⇒ По шаблону ⇒ Размеры элементов**.

В окне выбора выбираем **Размер**, в окне редактора необходимо откорректировать размеры КЭ-сетки.

Характеристику **Колонна** задаем 1 для генерации сетки с учетом реальных размеров сечения колонны как опоры, после генерации сечение колонны будет разбито на дополнительные конечные элементы.

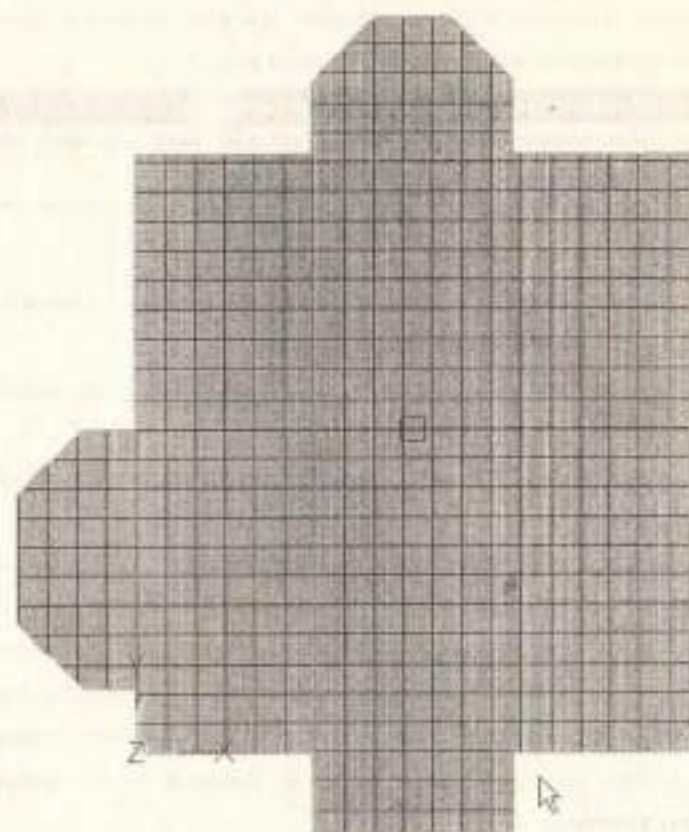


Рисунок 4.27 – Схема плиты перед генерацией

В окне текстового меню выбираем **Сливние**  $\Rightarrow$  **По шаблону**  $\Rightarrow$  **Генерация сетки**.

В рабочем окне появится диалоговое окно, в котором указываем установки генерации.

Вид сгенерированной конечно-элементной сетки.

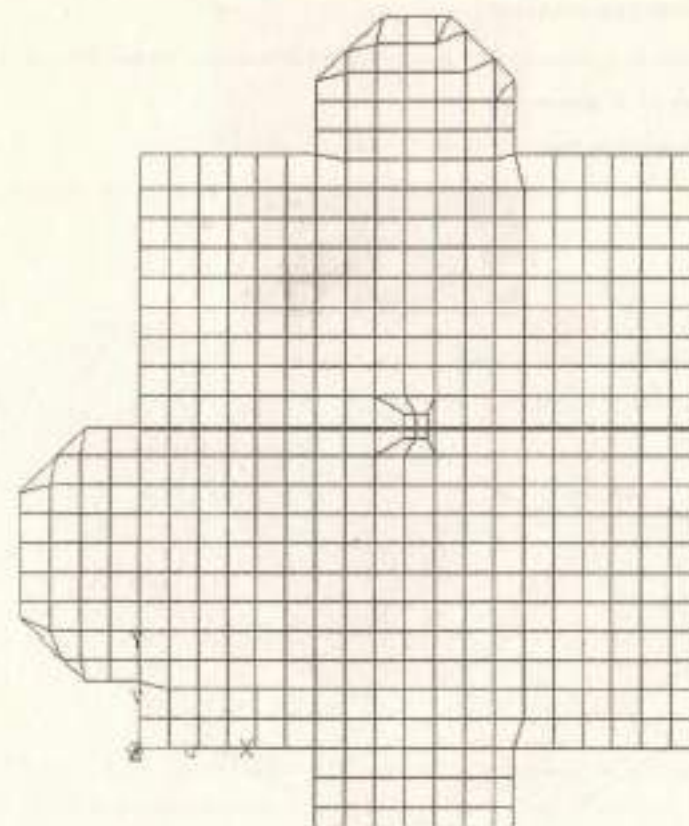


Рисунок 4.28 – Схема плиты после генерации

### 4.3 Статический расчет

В окне текстового меню выбираем **Расчет**  $\Rightarrow$  **Общий**.

В открывшемся диалоговом окне из представившихся функций выбираем **Статический расчет**.

По окончании расчета *mb-Viewer* выводит протокол статического расчета.



#### 4.4 Вывод результатов

Для вывода деформаций в окне текстового меню выбираем **Результаты**  
⇒ **Графика** ⇒ **Деформации**.

В окне выбора появится планка переключателей

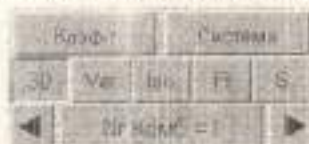


Рисунок 4.29 – Окно выбора деформаций

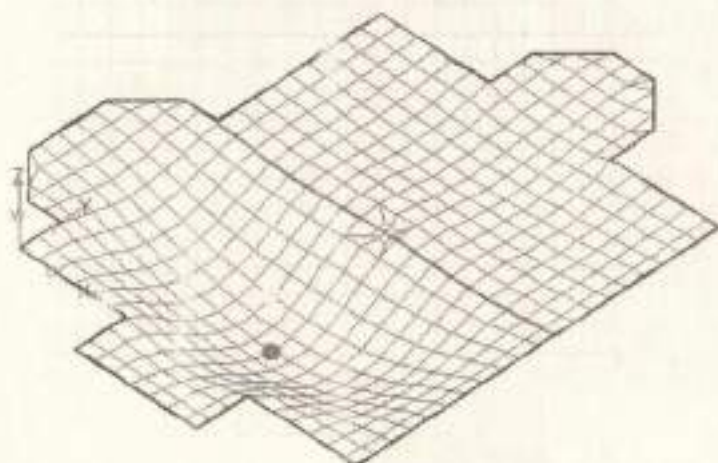


Рисунок 4.30 - Графическое изображение деформаций

Узел с максимальными деформациями высвечивается маркером. В окне информации выводится максимальное значение деформации и номер узла для данной задачи.

Для вывода внутренних усилий в плите в окне текстового меню выбираем **Результаты** ⇒ **Графика** ⇒ **Усилия** ⇒ **Усилия в элементах**.

В окне выбора появится планка переключателей.

#### 4 АРМИРОВАНИЕ ПЛИТ

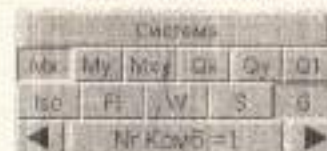


Рисунок 4.31 - Окно выбора усилий в элементах

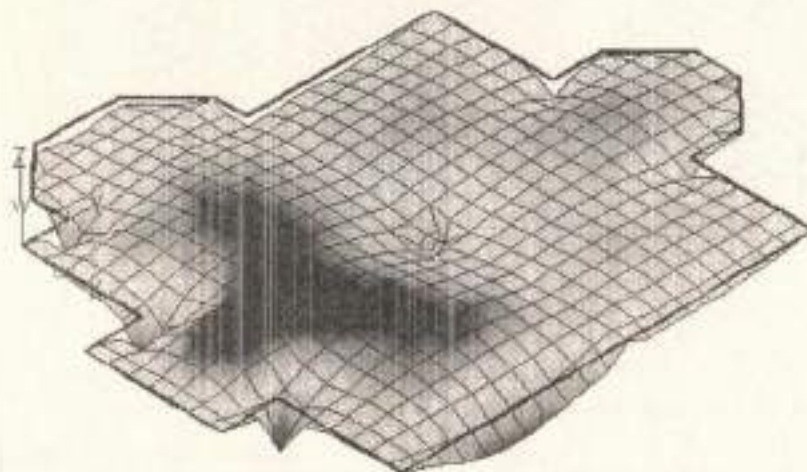


Рисунок 4.32 - Графическое изображение изгибающих моментов

В окне информации выводится максимальное и минимальное значение изгибающих моментов для данной задачи.

Для вывода внутренних усилий в подбалках в окне текстового меню выбираем **Результаты** ⇒ **Графика** ⇒ **Усилия** ⇒ **Усилия в подбалках**.

В окне выбора появится планка переключателей.

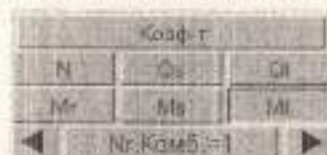


Рисунок 4.33 - Окно выбора усилий в подбалках

Отличительной особенностью является то, что при выводе Усилия в балках изгибающие моменты  $M_x$  определяются относительно оси подбалки, а при выводе Усилия в подбалках изгибающие моменты  $M_x$  определяются относительно срединной поверхности плиты.

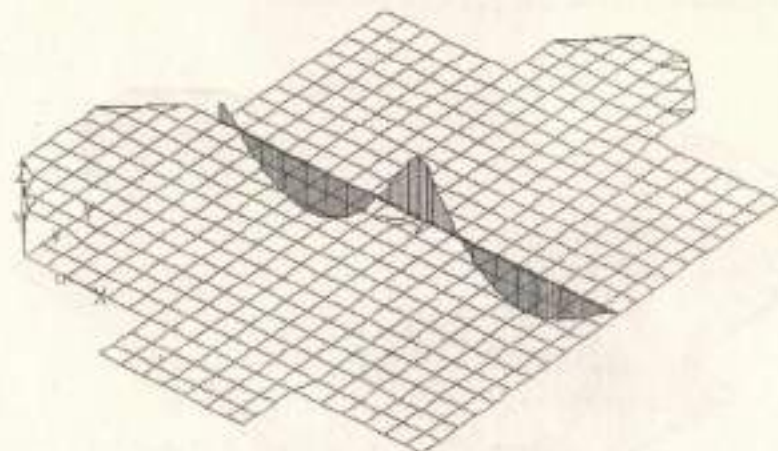


Рисунок 4.34 - Графическое изображение изгибающих моментов

В окне информации выводятся максимальное и минимальное значение изгибающих моментов (в скобках указаны номера элементов) для данной задачи.

Для вывода опорных реакций в узлах в окне текстового меню выбираем Результаты  $\Rightarrow$  Графика  $\Rightarrow$  Реакции в оврагах  $\Rightarrow$  Линии.

В окне выбора появится планка переключателей.

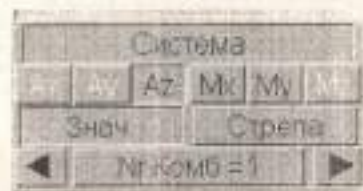


Рисунок 4.35 - Окно выбора опорных реакций

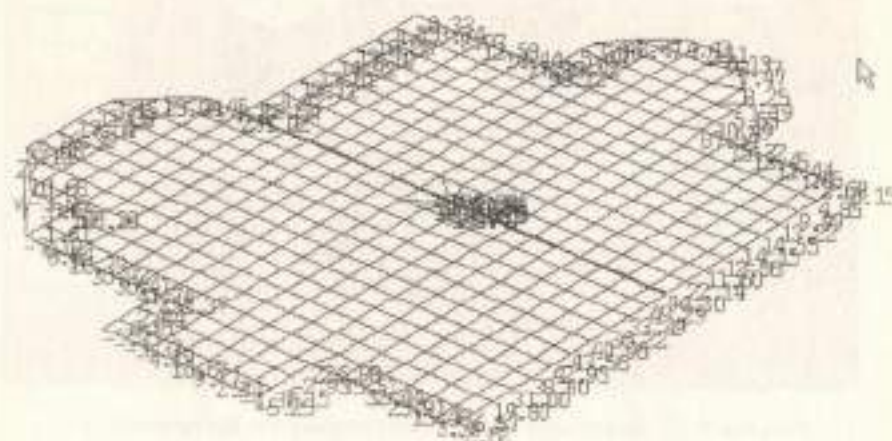


Рисунок 4.36 - Численное изображение опорных реакций

В окне информации выводятся максимальное и минимальное погонные значения опорных реакций.

## 4.5 Конструктивный расчет

### 4.5.1 Определение арматуры в плите

В окне текстового меню выбираем Результаты  $\Rightarrow$  Графика  $\Rightarrow$  Арматура в элементах  $\Rightarrow$  Задание данных.

В рабочем окне появляется диалоговое окно, в котором указываем запрашиваемые параметры и нажимаем кнопку ОК.



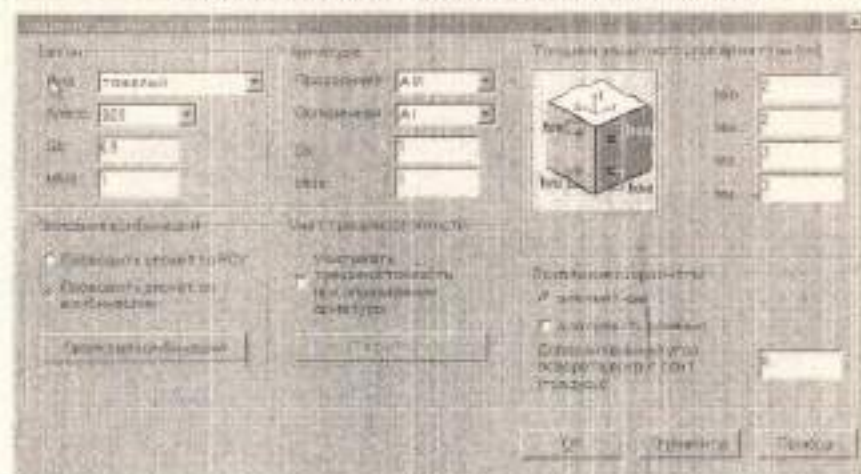


Рисунок 4.37 - Диалоговое окно задания данных для армирования

Для просмотра результатов расчета в окне текстового меню выбираем

**Результаты ⇒ Графика ⇒ Арматура в элементах ⇒ Арматура.**

В окне выбора появится планка переключателей.

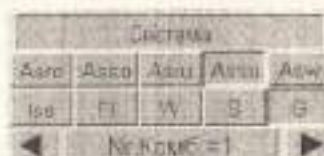


Рисунок 4.38 - Окно выбора арматуры в плите

Обозначения для арматуры в плитах:

A100 – арматура в "x"-направлении сверху [ $\text{см}^2/\text{м}$ ];

A101 – арматура в "y"-направлении сверху [ $\text{см}^2/\text{м}$ ];

A102 – арматура в "x"-направлении снизу [ $\text{см}^2/\text{м}$ ];

A103 – арматура в "y"-направлении снизу [ $\text{см}^2/\text{м}$ ];

A104 – поперечная арматура [ $\text{см}^2/\text{м}^2$ ].

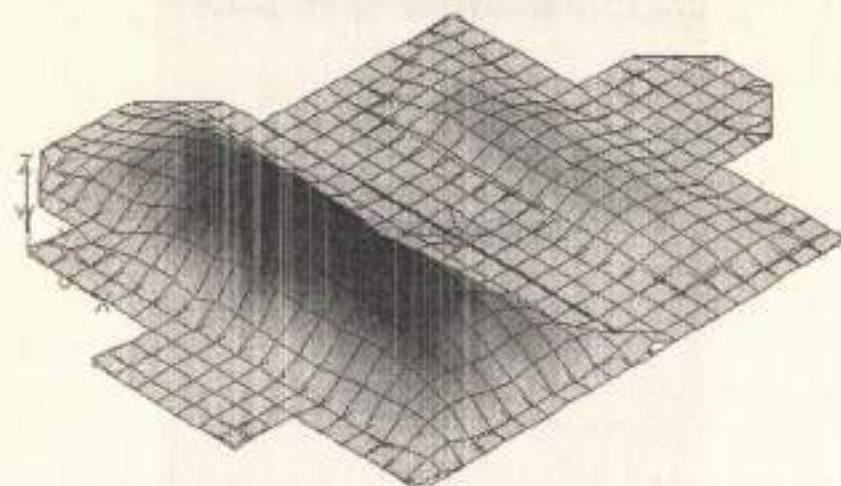


Рисунок 4.39 - Графическое изображение арматуры в плите

В окне информации выводятся максимальное и минимальное значения арматуры для данной задачи.

#### 4.5.2 Армирование подбалок

В окне текстового меню выбираем **Настройки** и в открывшемся диалоговом окне выполняем следующие установки.

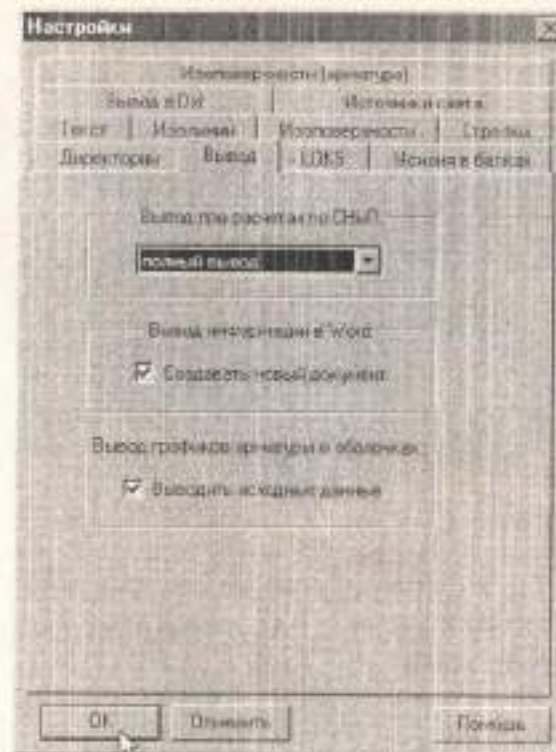


Рисунок 4.40 - Диалоговое окно задания настроек

В окне текстового меню выбираем **Расчет**  $\Rightarrow$  **Конструктивный**  $\Rightarrow$  **Арматура в подбалках**.

Определение арматуры в подбалках выполняется аналогично определению арматуры в балках (пункт 3.8.2).

## 5 ФОРМИРОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ МОДЕЛИ

### 5.1 Ввод расчетной схемы первого этажа

#### 5.1.1 Ввод плиты

В *STARK\_ES* создаем новый документ, в окне текстового меню выбираем **Проекты**  $\Rightarrow$  **Новый проект**.

Частичный проект сохраняем как файл позиций (3D POS-файл, имя файла - <Project>.pos).

Для вызова диалога с параметрами этажа в окне текстового меню выбираем **Редактировать**  $\Rightarrow$  **Позиции**  $\Rightarrow$  **Этажи**  $\Rightarrow$  **Новый**.

В открывшемся диалоговом окне заполняем строку наименования этажа, высоту, уровень и количество одноэтажных этажей.



Рисунок 5.1 - Диалоговое окно создания нового проекта

Для удобства, при дальнейшей работе, создаем растр в уровне перекрытия первого этажа, с ячейкой 1х1 м.

В окне текстового меню выбираем **Растр**  $\Rightarrow$  **Определение**.

В окне выбора задаем тип раstra **Прям** (Прямоугольный).



Затем определяем три точки. Первая точка обозначает начало координат раstra, вторая – направление «и» - оси раstra, третья – «г-к» - плоскость, в которой будет располагаться растр.

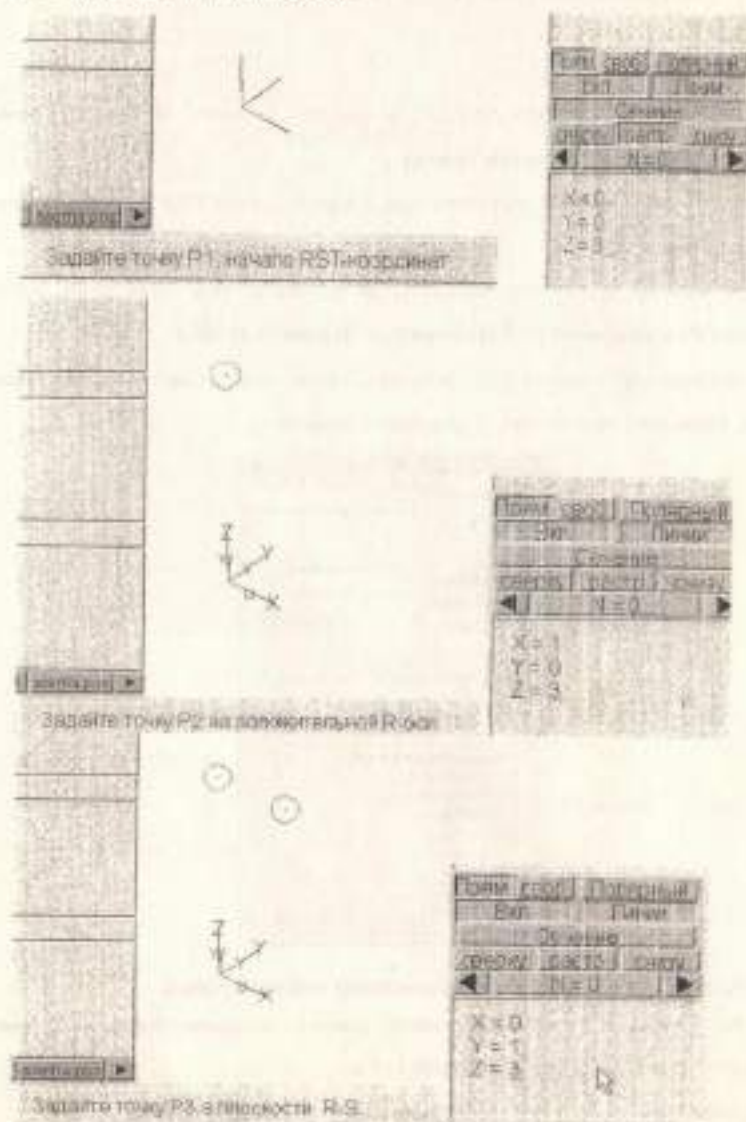


Рисунок 5.2 - Создание нового раstra

Задаем расстояние между линиями раstra  $dt$  и  $ds$ , а также угол поворота линий раstra относительно осей координат.

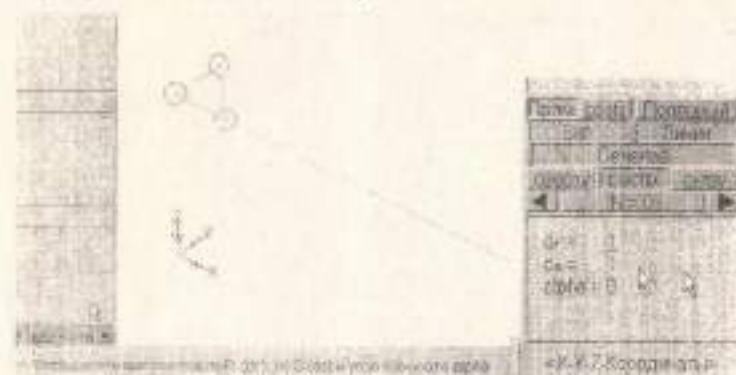


Рисунок 5.3 - Создание нового раstra

Для установки плиты перекрытия в окне текстового меню выбираем Редактировать ⇒ Позиции ⇒ Плита/стена/рампа ⇒ Установка.

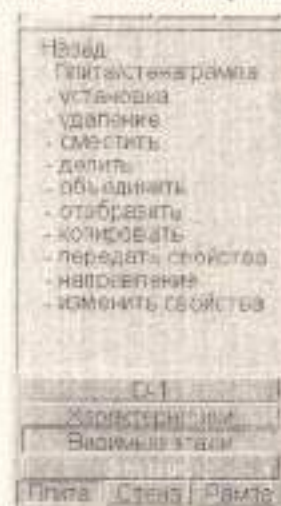


Рисунок 5.4 - Окно выбора установки плиты

В окне выбора выбираем Характеристики и в открывшемся диалоговом окне вносим следующие изменения.

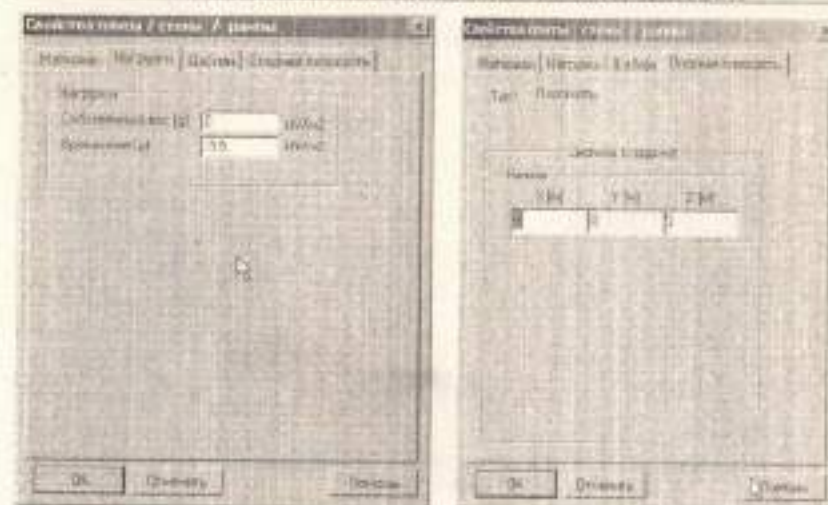


Рисунок 5.5 - Диалоговое окно свойств плиты  
Вычерчиваем плиту (пункт 2.3).

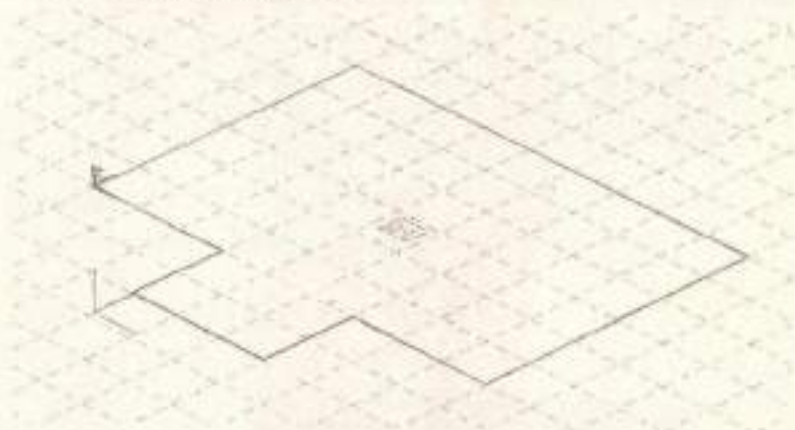


Рисунок 5.6 - Графический ввод плиты

#### 5.1.2 Ввод колонн

В окне текстового меню выбираем Редактировать ⇒ Позиции ⇒ Колонны ⇒ Устанавливаем.

В окне выбора выбираем Характеристики и в открывшемся диалоговом окне вносим следующие изменения.



Рисунок 5.7- Диалоговое окно свойств колонн  
Устанавливаем колонны (пункт 4.1.4).

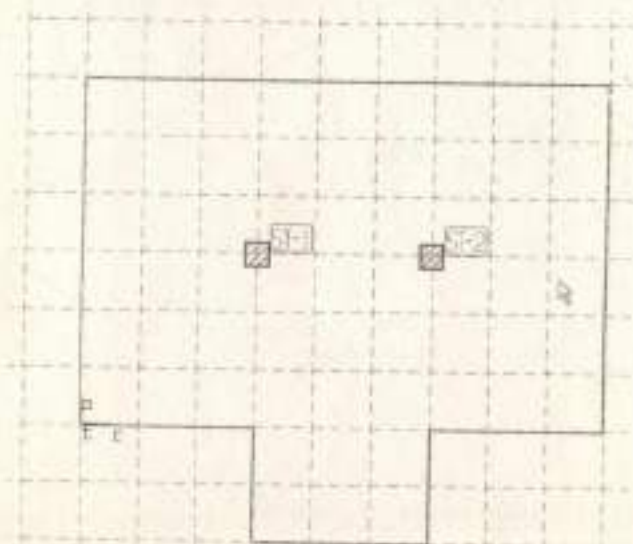


Рисунок 5.8 - Графический ввод колонн



### 5.1.3 Ввод проемов в плите

Для установки проема в плите в окне текстового меню выбираем Редактировать ⇒ Позиции ⇒ Отверстия ⇒ Установка.

Указав левой клавишей мыши в начало раstra и сделав в окне редактора следующие установки, получаем первую точку проема.



Рисунок 5.9 - Окно редактора задания координат отверстия

Повторив эту операцию для следующих точек, получаем проем.

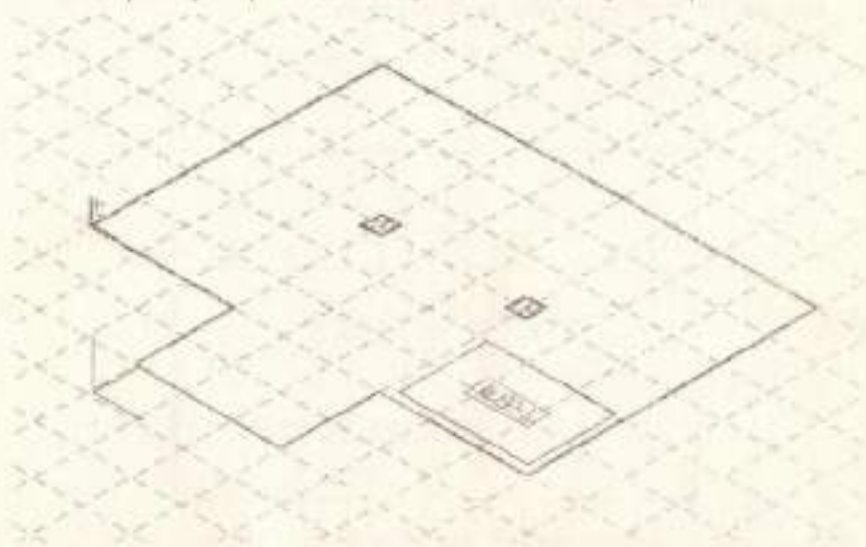


Рисунок 5.10 - Графический ввод отверстия

Привязка отверстия к наружной грани плиты – 0,2 м.

### 5.1.4 Ввод стен

Для установки стен в окне текстового меню выбираем Редактировать ⇒ Позиции ⇒ Плита/стена/рампа ⇒ Установка.



Рисунок 5.11 - Окно выбора установки стен

В окне выбора нажимаем Стена, Характеристики и в открывшемся диалоговом окне вносим следующие изменения.



Рисунок 5.12 - Диалоговое окно свойств стен

Ввод стен осуществляем при помощи ломаной линии. Начинаем с однократного нажатия левой клавиши мыши в начальной точке ввода и заканчиваем двойным щелчком в конечной точке ввода.

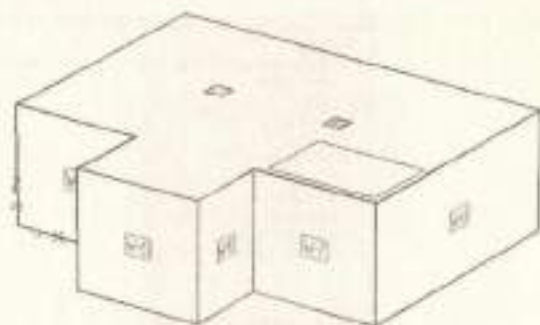


Рисунок 5.13 - Графический ввод стен

#### 5.1.5 Ввод балок

Для установки балок в окне текстового меню выбираем Редактировать ⇒ Позиции ⇒ Балки ⇒ Установка.

В окне выбора выбираем Характеристики и в открывшемся диалоговом окне вносим следующие изменения.



Рисунок 5.14 - Диалоговое окно свойств балок

Устанавливаем балки (пункт 4.1.3).

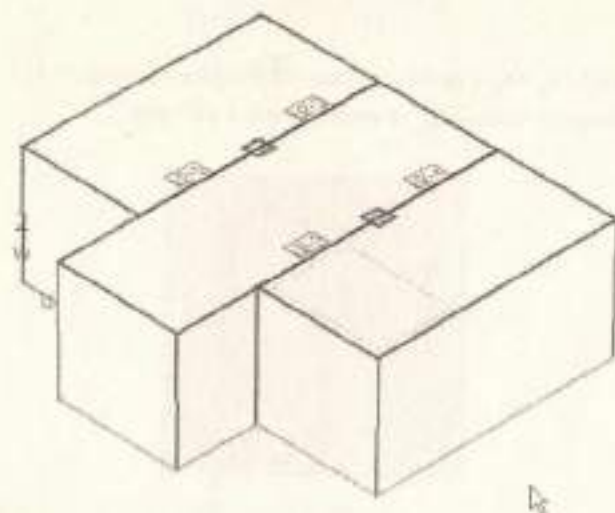


Рисунок 5.15 - Графический ввод балок

#### 5.1.6 Ввод отверстий в стене

Для установки отверстий в стенах в окне текстового меню выбираем Редактировать ⇒ Позиции ⇒ Отверстия ⇒ Установка.

Устанавливаем курсор на плоскость, в которой задаем отверстие и нажимаем F4.

В окне редактора при необходимости можно изменить тип задаваемого раstra (0 - круглый, 1 - прямоугольный).

Установка раstra в плоскости стены:

Дверной проем – 1,8\*2,2 м;

Оконные проемы на фасаде – 2,4\*1,6 м (низ на отм. 0,90 м);

Оконные проемы на торцевой стене – 1\*1,6 м с привязкой 1 и 4 м к углу фасада (только с видимой стороны).



dr = 0.5  
ds = 0.3  
alpha = 0

Рисунок 5.16 - Окно редактора задания координат отверстий  
В рабочем окне появится проекция стены с растром



Рисунок 5.17 - Графический вид проекции стены

Прямо по углам раstra, или в относительных координатах задаем размеры проема.



Рисунок 5.18 - Графический вид отверстия на проекции стены

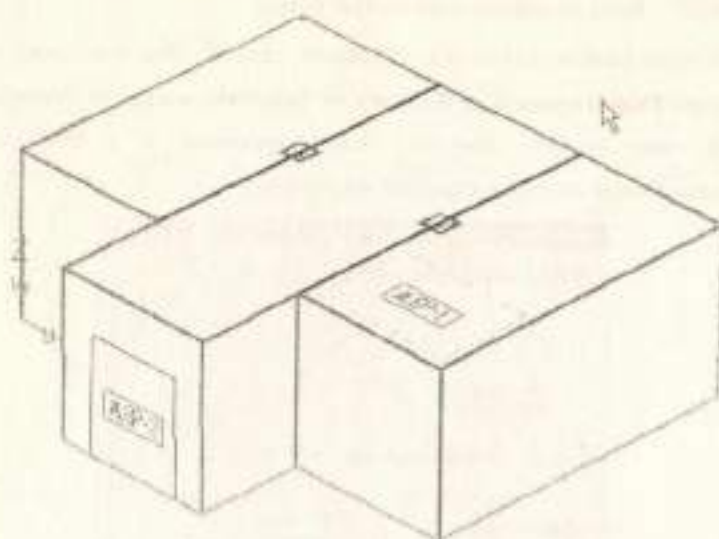


Рисунок 5.19 - Графический вид отверстия

Аналогичную процедуру выполняем для установки остальных проемов.

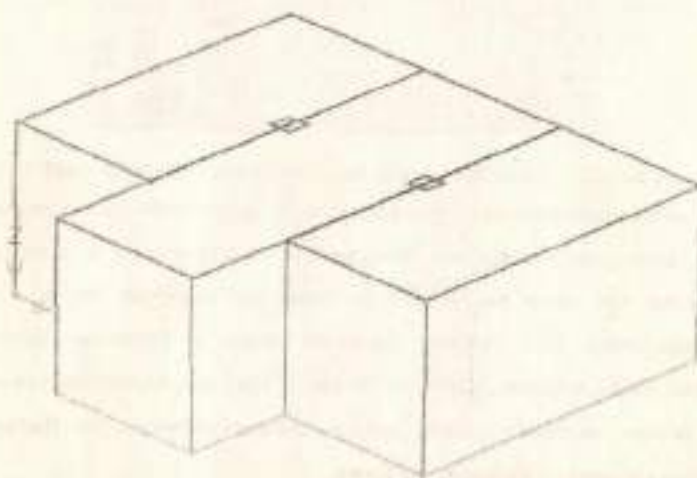


Рисунок 5.20 - Графический вид отверстий

#### 5.1.7 Ввод линейных и точечных опор

Для установки под стены линейных опор в окне текстового меню выбираем Редактировать ⇒ Позиции ⇒ Линейные опоры ⇒ Установка.

В окне выбора называем **Характеристики** и в открывшемся диалоговом окне вносим следующие изменения.



Рисунок 5.21 - Диалоговое окно характеристик линейных опор

Участки линейных опор устанавливаются аналогично участкам стен.

В окне меню выбираем **Настройки** и выключаем в окне выбора **Покрытие** при этом полученное изображение содержит марки участков линейных опор. Под дверным проемом опора не устанавливается. Под колонны устанавливаем точечные опоры с теми же характеристиками для этого в окне текстового меню выбираем **Редактировать** ⇒ **Позиция** ⇒ **Точечные опоры** ⇒ **Опереть колонну**.

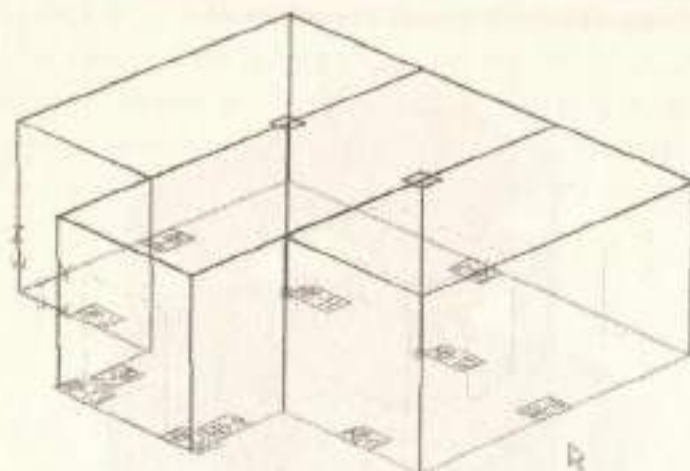


Рисунок 5.22 – Графический ввод линейных опор

## 5.2 Вход верхних этажей

Для установки 2-го и 3-го этажей в окне текстового меню выбираем Редактировать ⇒ Подмости ⇒ Этажи ⇒ Новый.

В открывшемся диалоговом окне вносим следующие изменения, после которых появится изображение 3-х этажей.



Рисунок 5.23 - Диалоговое окно создания новых этажей



Вид модели после установки 2-го и 3-го этажей.



Рисунок 5.24 - Графический ввод новых этажей  
Вид модели после удаления лишних проемов.

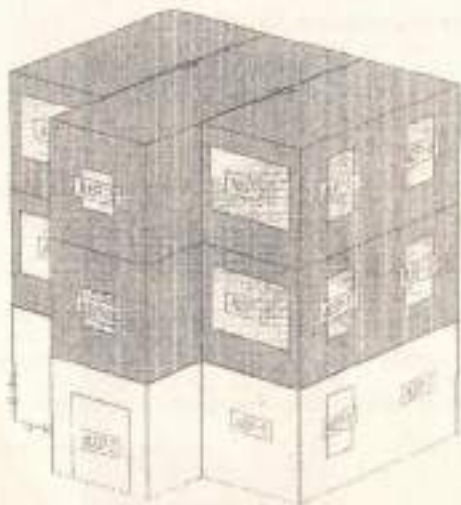


Рисунок 5.25 - Графический ввод корректировки отверстий

Вид модели после постановки козырьков в уровне покрытия и перекрытия первого этажа. Ширина козырьков принята 0,50 м. Вначале козырьки устанавливаем на покрытие, при этом используем функцию копирования элементов. Затем с помощью функции копирования все элементы козырьков переносим на перекрытие первого этажа. Изображение с включенной подсветкой.

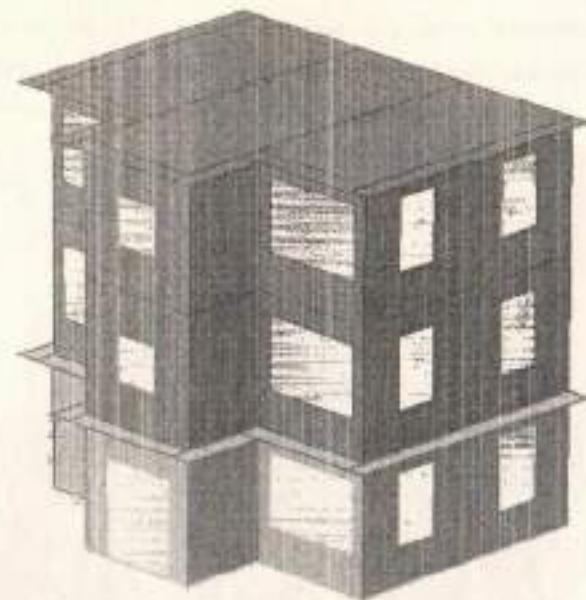


Рисунок 5.26 - Графический ввод здания

### 5.3 Создание конечно-элементного проекта

Для вставки частичного проекта в полный сохраняем документ, после чего переходим в полный проект, в окне текстового меню выбираем **Полный** после чего в окне текстового меню выбираем **Вставка**.

Используя операцию слияния, из полного проекта генерируется новый частичный КЭ-проект, содержащий всю информацию по каждому частичному проекту, входящему в полный проект.

Для РС-проектов существует возможность проведения генерации сети для создания конечно-элементного проекта по «методу наложения шаблона».

В окне текстового меню выбираем **Слияние ⇒ По шаблону ⇒ Отметить все ЧЭ**. Все частичные проекты выделяются красным цветом.

В окне текстового меню выбираем **Слияние ⇒ По шаблону ⇒ Шаблон**. На все частичные проекты накладывается шаблон будущей конечно-элементной сетки с размерами ячеек 1\*1 м. Осуществляется «грубое» разбиение конструкции на конечные элементы с учетом заданных размеров этих элементов и величин смещения и углов поворота сетки.

По желанию можно изменить размеры шаблона, а следовательно и генерируемой конечно-элементной сетки (пункт 4.2).

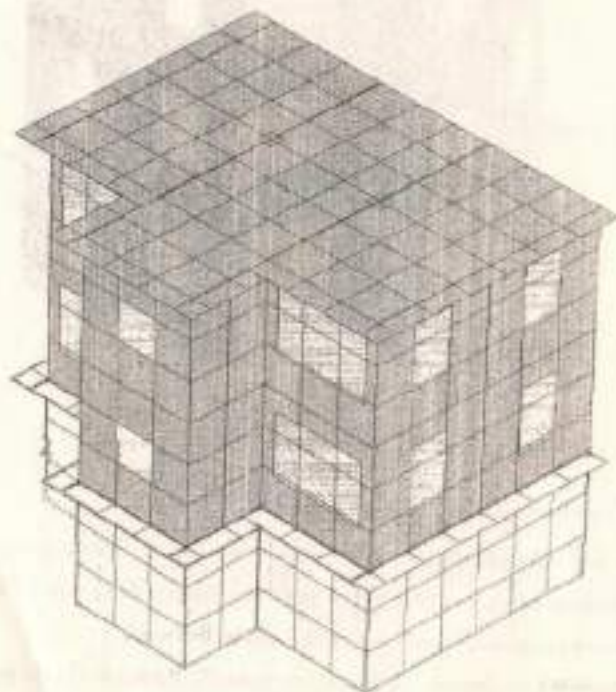


Рисунок 5.27 - Схема здания перед генерацией

В окне текстового меню выбираем **Слияние ⇒ По шаблону ⇒ Генерация сетки**.

В рабочем окне появится диалоговое окно, в котором указываем установку генерации.

После сохранения вид конечно-элементной модели будет выглядеть следующим образом.

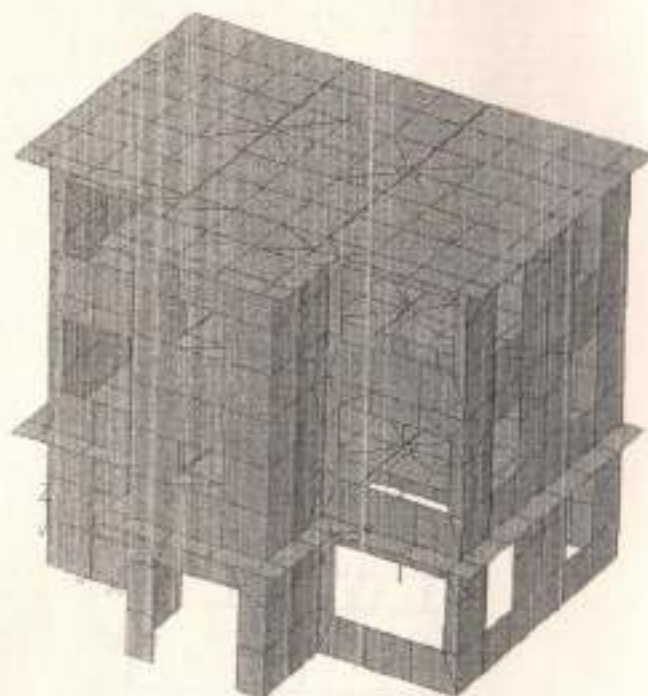


Рисунок 5.28 - Схема здания после генерации

После чего можно выполнять расчет и армировать элементы сооружения.



# 6 САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА

Задание 1 Определение внутренних усилий в балке

Первая цифра варианта	$L, м$	Вторая цифра варианта	Нагрузка	Схема (задание 1)
0	6	0	$10 кН$	1
1	5	1	$10 кН/м$	2
2	4	2	$10 кН*м$	3
3	8	3	$40 кН$	1
4	7	4	$5 кН/м$	2
5	6	5	$25 кН*м$	3
6	5	6	$25 кН$	1
7	4	7	$3 кН/м$	2
8	8	8	$4 кН*м$	3
9	7	9	$6 кН/м$	2

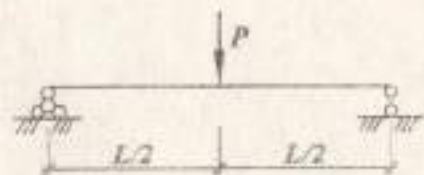


Схема 1

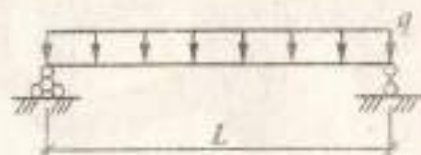


Схема 2

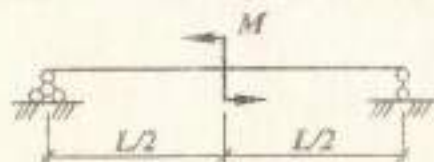


Схема 3

Задание 2 Определение внутренних усилий в раме

Первая цифра варианта	$L, м$	$H, м$	Вторая цифра варианта	$P, кН$	$M, кН*м$	$q, кН/м$	Схема (задание 2)
0	8	4	0	-	10	2	3
1	7	5	1	2	20	3	1
2	6	8	2	3	-	6	2
3	5	4	3	-	15	5	3
4	4	5	4	4	15	4	1
5	8	6	5	1	-	3	2
6	7	7	6	-	10	2	3
7	6	8	7	2	10	2	1
8	5	6	8	3	-	3	2
9	4	7	9	-	20	6	3

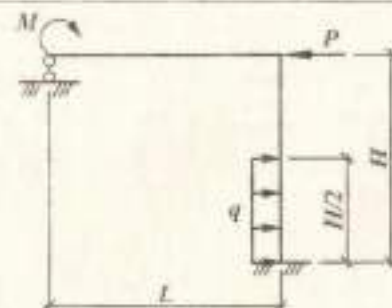


Схема 1

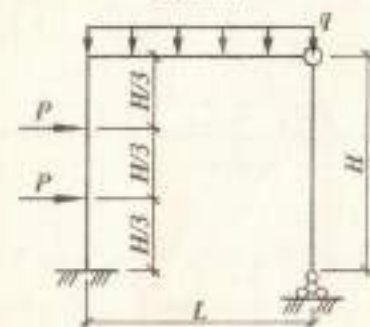


Схема 2

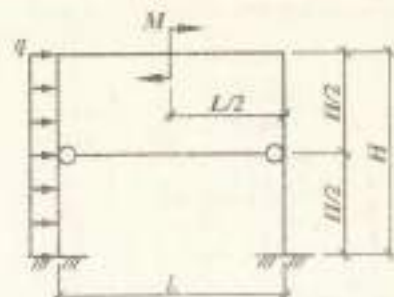


Схема 3

Задание 3. Определение внутренних усилий в многопролетной балке

Первая цифра варианта	$P$ , кН	$M$ , кН·м	$q$ , кН/м	Вторая цифра варианта	$L_1$ , м	$L_2$ , м	$L_3$ , м	$L_4$ , м	$L_5$ , м	$L_6$ , м	$L_7$ , м	Схема (задание 3)
0	10	10	2	0	1	4	3	2,5	2	1,1	-	1
1	8	10	3	1	1,1	1	4	3	2,5	2	-	2
2	6	8	4	2	1,5	1,1	1	4	3	2,5	2	3
3	4	8	5	3	2	1,5	1,1	1	4	3	2,5	4
4	2	15	6	4	2,5	2	1,5	1,1	1	4	-	1
5	6	20	1	5	3	2,5	2	1,5	1,1	1	-	2
6	4	3	2	6	4	3	2,5	2	1,5	1,1	1	3
7	2	10	3	7	1	4	3	2,5	2	1,5	1,1	4
8	8	6	4	8	1,1	1	4	3	2,5	2	-	1
9	6	15	5	9	1,5	1,1	1	4	3	2,5	-	2

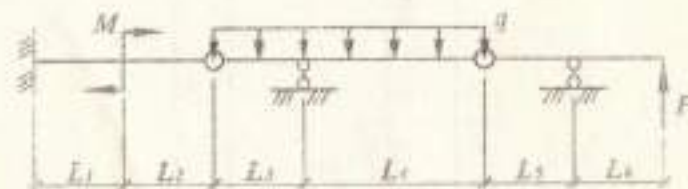


Схема 1

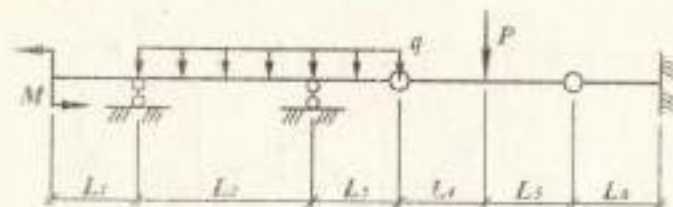


Схема 2

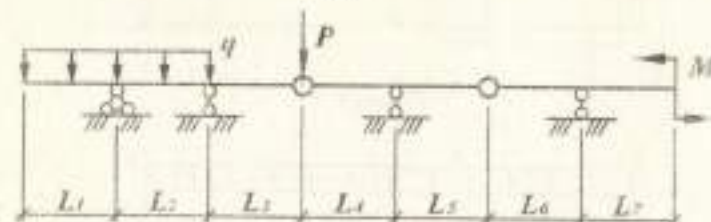


Схема 3

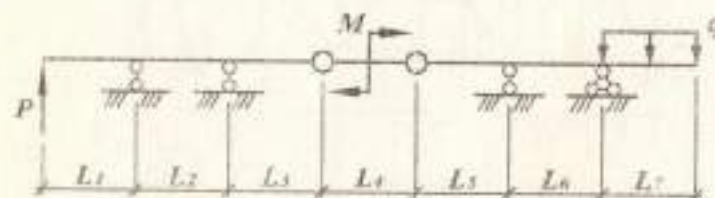


Схема 4

Задание 4. Определение внутренних усилий в ферме

Первая цифра варианта	$L_1$ , м	$H$ , м	Вторая цифра варианта	$q$ , кН/м	Схема (задание 4)
0	36	6	0	10	1
1	42	5	1	11	2
2	48	4	2	12	1
3	18	8	3	13	2
4	24	7	4	14	1
5	30	6	5	15	2
6	36	5	6	16	1
7	42	4	7	17	2
8	48	8	8	18	1
9	18	7	9	19	2



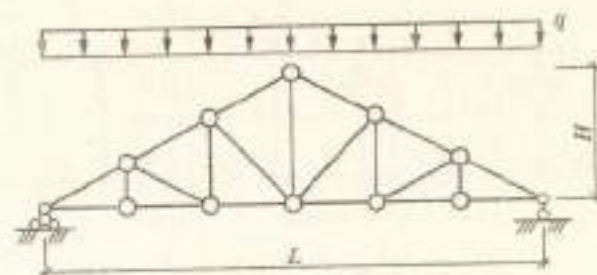


Схема 1

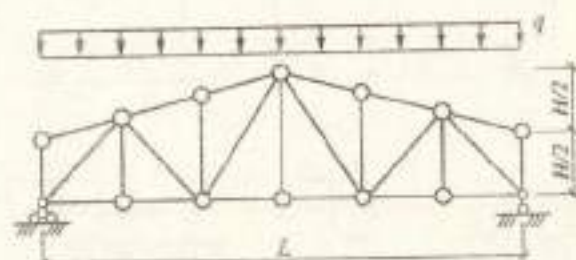


Схема 2

Таблица 3 Армирование многопролетных балок

Вариант цифра варианта	Класс бетона	Класс арматуры	Третья цифра варианта	$b$ , см	$h$ , см	$b_{гр}$ , см	$b_{пл}$ , см	$b_{ср}$ , см	$b_{ср}$ , см	$d$ , см	$d$ , см	Схема (таблица 5)
0	10	III	0	40	90	-	-	-	-	-	-	1
1	15	IV	1	40	70	70	15	-	-	-	-	2
2	20	IV	2	40	70	-	-	70	15	-	-	3
3	30	III	3	30	70	50	10	40	7	-	-	4
4	40	III	4	-	-	-	-	-	-	100	70	5
5	10	II	5	30	70	-	-	-	-	-	-	1
6	15	III	6	30	60	50	10	-	-	-	-	2
7	20	IV	7	30	60	-	-	50	7	-	-	3
8	30	II	8	20	60	35	6	45	10	-	-	4
9	40	III	9	-	-	-	-	-	-	80	40	5

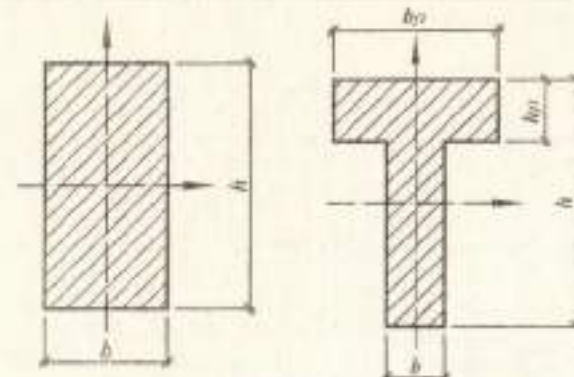


Схема 1

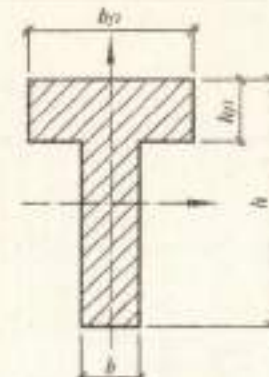


Схема 2

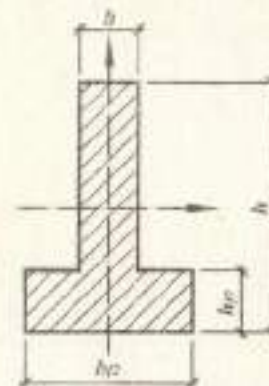


Схема 3

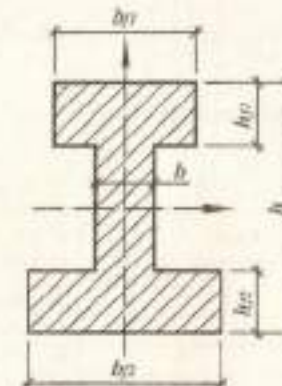


Схема 4

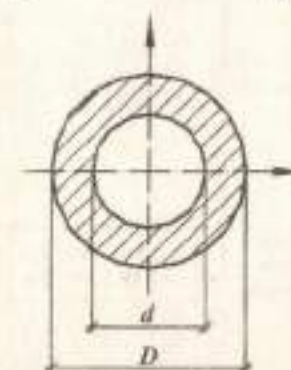


Схема 5

Задание 6 Армирование ферм

Вторая цифра варианта	Класс бетона	Класс арматуры	Третья цифра варианта	$b$ , см	$h$ , см	$b_{f1}$ , см	$b_{f2}$ , см	$h_{f1}$ , см	$h_{f2}$ , см	$D$ , см	$d$ , см	Схема (задание 5)
0	30	III	0	-	-	-	-	-	-	100	70	5
1	40	III	1	30	70	50	10	40	7	-	-	4
2	15	III	2	40	90	-	-	-	-	-	-	1
3	10	III	3	30	60	50	10	-	-	-	-	2
4	30	IV	4	30	60	-	-	50	7	-	-	3
5	20	II	5	20	60	35	6	45	10	-	-	4
6	20	III	6	-	-	-	-	-	-	80	40	5
7	40	IV	7	40	70	-	-	70	15	-	-	3
8	10	IV	8	40	70	70	15	-	-	-	-	2
9	15	II	9	30	70	-	-	-	-	-	-	1

Задание 7 Армирование рам

Колонны

Первая цифра варианта	Класс бетона	Класс арматуры	Вторая цифра варианта	$b$ , см	$h$ , см	$b_{f1}$ , см	$b_{f2}$ , см	$h_{f1}$ , см	$h_{f2}$ , см	$D$ , см	$d$ , см	Схема (задание 5)
0	10	III	0	40	90	-	-	-	-	-	-	1
1	15	IV	1	40	70	70	15	-	-	-	-	2
2	12,5	IV	2	40	70	-	-	70	15	-	-	3
3	30	III	3	30	70	50	10	40	7	-	-	4
4	40	III	4	-	-	-	-	-	-	90	70	5
5	12,5	II	5	30	70	-	-	-	-	-	-	1
6	15	III	6	30	60	50	10	-	-	-	-	2
7	20	IV	7	30	60	-	-	50	7	-	-	3
8	30	II	8	20	60	35	6	45	10	-	-	4
9	12,5	III	9	-	-	-	-	-	-	40	20	5

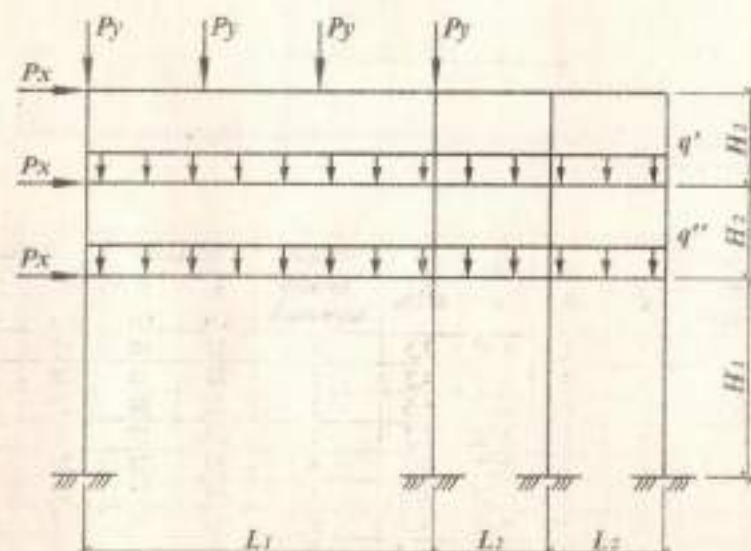
Балки

Третья цифра варианта	Класс бетона	Класс арматуры	Первая цифра варианта	$b$ , см	$h$ , см	$b_{f1}$ , см	$b_{f2}$ , см	$h_{f1}$ , см	$h_{f2}$ , см	$D$ , см	$d$ , см	Схема (задание 5)
0	20	IV	0	40	90	-	-	-	-	-	-	1
1	12,5	II	1	40	70	70	15	-	-	-	-	2
2	15	III	2	40	70	-	-	70	15	-	-	3
3	10	III	3	30	70	50	10	40	7	-	-	4

8 САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА

4	12,5	IV	4	-	-	-	-	-	-	100	70	5
5	40	IV	5	30	70	-	-	-	-	-	-	1
6	30	III	6	30	60	50	10	-	-	-	-	2
7	20	III	7	30	60	-	-	50	7	-	-	3
8	12,5	II	8	20	60	35	6	45	10	-	-	4
9	40	IV	9	-	-	-	-	-	-	80	40	5

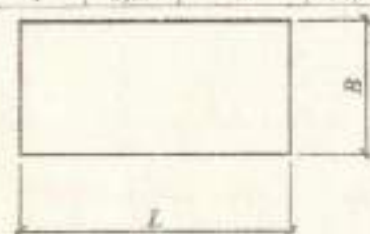
Вторая цифра варианта	$L_{f1}$ , м	$L_{f2}$ , м	$H_{f1}$ , м	$H_{f2}$ , м	Третья цифра варианта	$P_{f1}$ , кН	$P_{f2}$ , кН	$q'$ , кН/м	$q''$ , кН/м
0	9	6	3	3,1	0	16	80	6	9,6
1	18	9	4	3,2	1	15	70	7	10,7
2	12	8	5	3,3	2	14	60	8	14,1
3	15	7	6	3,4	3	13	50	9	11,2
4	9	6	7	3,5	4	12	40	10	15,3
5	18	9	8	3,1	5	11	50	11	11,4
6	15	8	3	3,2	6	10	60	12	12,6
7	9	7	4	3,3	7	9	70	13	13,9
8	12	6	5	3,4	8	8	80	14	14,7
9	15	9	6	3,5	9	7	90	15	15,8





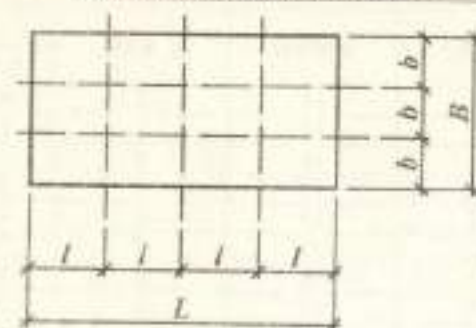
**Задание 8** Определение внутренних усилий в тонкостенных плитах при линейном оперании

Первая цифра варианта	$L$ , м	$B$ , м	$h$ , м	Вторая цифра варианта	$q$ , кН/м	$E$ , кН/м <sup>2</sup>	$R_{сж}$ , т/м
0	4	9	0,12	0	5,5	27000000	2,4
1	5	8	0,18	1	6,5	20000000	2,5
2	6	7	0,22	2	7,5	22000000	2,2
3	7	6	0,24	3	8,5	23000000	2,2
4	8	5	0,26	4	9,5	32000000	2,2
5	4	7	0,15	5	10,5	30000000	2,5
6	5	6	0,18	6	11,5	27000000	2,7
7	6	5	0,22	7	12,5	22000000	2,4
8	7	4	0,25	8	13,5	20000000	2,4
9	8	8	0,19	9	14,5	24000000	2,5



**Задание 9** Определение внутренних усилий в тонкостенных плитах при оперании на колонны

Первая цифра варианта	$L$ , м	$B$ , м	$h$ , м	$q$ , кН/м	Вторая цифра варианта	Колонны		Балки	
						$b$ , см	$h$ , см	$b$ , см	$h$ , см
0	7	4	0,25	3,5	0	15	40	15	15
1	8	8	0,19	4,5	1	20	30	20	25
2	4	9	0,12	5,5	2	25	20	25	35
3	5	8	0,18	6,5	3	30	50	15	45
4	6	7	0,22	7,5	4	35	25	20	30
5	7	6	0,24	8,5	5	40	35	25	40
6	8	5	0,26	9,5	6	15	30	15	20
7	4	7	0,15	10,5	7	20	15	20	50
8	5	6	0,18	11,5	8	25	35	25	60
9	6	5	0,22	12,5	9	30	20	15	25



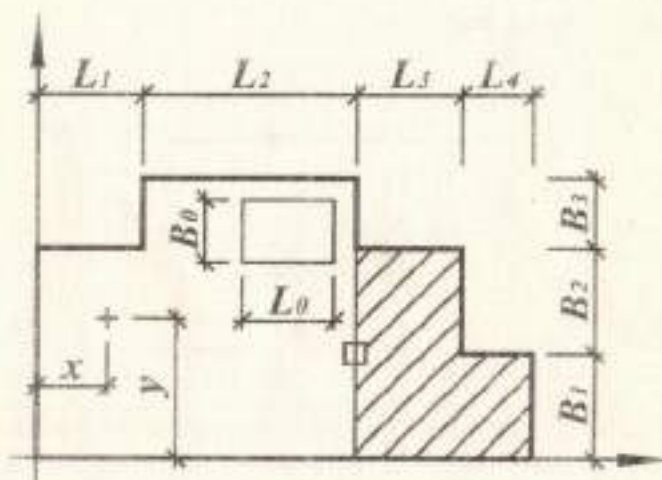
**Задание 10** Армирование плиты

Первая цифра варианта	$L_1$ , м	$L_2$ , м	$L_3$ , м	$L_4$ , м	$L_5$ , м	$X$ , м	Плита $h$ , м
0	3	8	3,5	2,1	5	1,1	0,28
1	4	9	4,5	2,2	6	1,3	0,27
2	5	10	5,5	2,3	7	1,5	0,26
3	3	11	6,5	2,4	8	1,7	0,25
4	4	12	3,5	2,6	9	1,9	0,24
5	5	13	4,5	2,7	10	2,1	0,23
6	3	14	5,5	2,8	11	2,3	0,22
7	4	15	6,5	2,9	12	2,5	0,21
8	5	16	3,5	3,1	13	2,7	0,19
9	3	17	4,5	3,2	14	2,9	0,18

Вторая цифра варианта	$B_1$ , м	$B_2$ , м	$B_3$ , м	$B_4$ , м	$Y$ , м	Колонны	
						$b$ , см	$h$ , см
0	2,1	4	2,9	1	4,1	45	40
1	2,2	5	2,8	1,5	4,2	40	35
2	2,3	6	2,7	2	4,3	35	30
3	2,4	4	2,6	2,5	4,4	30	25
4	2,5	5	2,5	1	4,5	25	30
5	2,6	6	2,4	1,5	4,6	45	35
6	2,7	4	2,9	2	4,7	40	45
7	2,8	5	2,8	2,5	4,8	35	40
8	2,9	6	2,7	1	4,9	30	35
9	2,1	4	2,6	1,5	5,1	25	30

РАСЧЕТ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ НА ЭВМ

Исходные параметры	$P, \text{кН}$	$q, \text{кН/м}$	$q', \text{кН/м}$	Балки	
				$h, \text{см}$	$h_0, \text{см}$
0	6	18	2	40	75
1	7	17	3	35	70
2	8	16	4	30	65
3	9	15	5	25	60
4	10	14	6	40	55
5	11	13	7	35	50
6	12	12	8	30	45
7	13	11	9	25	40
8	14	10	10	40	70
9	15	9	11	35	60



СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Фигурнов В.Э. IBM для пользователей. – М.: ИНФРА-М, 1995. – 432с.
2. <http://www.eurosoft.ru>
3. Руководство Пользователя ПК STARK-ES профессиональная версия 4.2 (2006). – М.: ЕВРОСОФТ, 2006.

Серый Д.Г.

Расчет железобетонных конструкций на ЭВМ

Подписано в печать 25.04.2008 г.  
Бумага газетная. Формат 60×84 1/16.  
Заказ № 328. Тираж 200 экз.

География Кубанского государственного  
аграрного университета  
350044, г. Краснодар, ул. Калинина, 13.