

МИНОБРНАУКИ РФ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Московский архитектурный институт (государственная академия)» (МАРХИ)

Кафедра «Конструкции зданий и сооружений»

ПРОЕКТ (находится в стадии разработки)

**Шубин А.Л., Ярин Л.И. (МАРХИ),
Водопьянов Р.Ю., Королёва Е.Б., Мельников А.А. (ООО Лира сервис)**

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
по выполнению РГР № 2
по дисциплине «Основы проектирования железобетонных конструкций»
**«Конструирование и расчет тонкостенных монолитных железобетонных
оболочек на прямоугольном плане»**
с применением программных комплексов
САПФИР 2015 и ЛИРА-САПР 2013 R5 (Общедоступная версия)

для студентов
направления подготовки: 070301, архитектура бакалавр
уровень подготовки: бакалавриат

УДК _____

ББК __.__

Шубин А.Л., Ярин Л.И., Водопьянов Р.Ю., Королёва Е.Б., Мельников А.А.

Методические указания по выполнению РГР № 2 по дисциплине «Основы проектирования железобетонных конструкций» «Конструирование и расчет тонкостенных монолитных железобетонных оболочек на прямоугольном плане» с применением программных комплексов САПФИР и ЛИРА-САПР / Шубин А.Л., Ярин Л.И., Водопьянов Р.Ю., Королёва Е.Б., Мельников А.А. – М.: МАРХИ, 2016. – 59 с.

Методические указания раскрывают цели, задачи, содержание и состав РГР № 2 с применением программных комплексов САПФИР и ЛИРА-САПР. Указания «Конструирование и расчет тонкостенных монолитных железобетонных оболочек на прямоугольном плане», содержат алгоритм конструирования и расчета, раскрывают последовательность решения проектной задачи. Методические указания предназначены для организации работы по выполнению РГР №2 по дисциплине «Основы проектирования железобетонных конструкций» для студентов направления подготовки: 070301, архитектура бакалавр.

**Кафедра «Конструкции здания и сооружений» МАРХИ.
Вторая расчетно-графическая работа.**

**Методическое пособие по расчету и конструированию тонкостенных
монолитных железобетонных оболочек на прямоугольном плане**

Оглавление

Оболочка отрицательной кривизны на прямоугольном плане (гипар)	5
Теоретическая часть	5
ПРИМЕР №1 – «Гипар»	9
Создание модели в препроцессоре Сапфир	11
Этап 1. Создание нового проекта и настройка его свойств	11
Этап 2. Создание гипарболического параболоида.....	12
Этап 3. Создание опорных элементов: бортовых балок	14
Этап 4. Создание закреплений	15
Этап 5. Создание загружений и назначение нагрузок	16
Этап 6. Создание конечно-элементной модели (МКЭ)	17
Этап 7. Создание файла для ПК ЛИРА-САПР.....	21
Корректировка модели. расчет и анализ результатов в ВИЗОР.....	21
Этап 8. Открытие расчетной схемы в ПК ЛИРА-САПР	21
Этап 9. Задание параметров материалов элементам схемы.....	22
Этап 10. Генерация таблицы РСН	26
Этап 11. Полный расчет схемы	27
Этап 12. Просмотр и анализ результатов статического расчета.....	27
Этап 13. Вычисление и просмотр главных напряжений	30
Этап 14. Просмотр и анализ результатов армирования	31
Составные оболочки отрицательной гауссовой кривизны (составные гипары).....	33
Теоретическая часть	33
ПРИМЕР №2а – «Шатер с колоннами и фермами»	36
Этап 2. Создание составной оболочки типа «шатер».....	37
Этап 3. Создание опорных элементов: колонн, ферм и балок.....	40
Этап 4. Создание закреплений	47
Этап 6. Создание конечно-элементной модели (МКЭ)	47
Этап 7. Создание файла для ПК ЛИРА-САПР.....	55
ПРИМЕР №2б – «Шатер с подкосами и балками»	56
Этап 3. Создание опорных элементов: колонн и балок.....	56
ПРИМЕР №3а – «Грибок с одной колонной».....	64

Этап 2. Создание составной оболочки типа «грибок»	65
Этап 3. Создание опорных элементов: колонн, ферм и балок.....	68
Этап 4. Создание закреплений	74
Этап 6. Создание конечно-элементной модели (МКЭ)	74
Этап 7. Создание файла для ПК ЛИРА-САПР.....	83
ПРИМЕР №3Б – «Грибок с наклонными колоннами»	84
Этап 3. Создание опорных элементов: колонн и балок.....	84
Этап 4. Создание закреплений	91
ПРИМЕР №4 – «Цветок».....	93
Этап 2. Создание составной оболочки типа «цветок».....	94
Этап 3. Создание опорных элементов: колонн, ферм и балок.....	96
Этап 4. Создание закреплений	103
Этап 6. Создание конечно-элементной модели (МКЭ)	104
Этап 7. Создание файла для ПК ЛИРА-САПР.....	111
Выпуклая тонкостенная оболочка на прямоугольном плане.....	113
Теоретическая часть	113
ПРИМЕР №5 – «Выпуклая оболочка»	114
Этап 2. Создание выпуклой оболочки	116
Этап 3. Создание опорных элементов: колонн и балок.....	120
Этап 4. Создание закреплений	128
Этап 6. Создание конечно-элементной модели (МКЭ)	128
Этап 7. Создание файла для ПК ЛИРА-САПР.....	134
ЛИТЕРАТУРА	135

Оболочка отрицательной кривизны на прямоугольном плане (гипар)

Теоретическая часть

Оболочки отрицательной гауссовой кривизны (гипары), рис.1, в основном, применяются для зданий с планом в виде прямоугольника с соотношением сторон от 1:1 до 1:2.

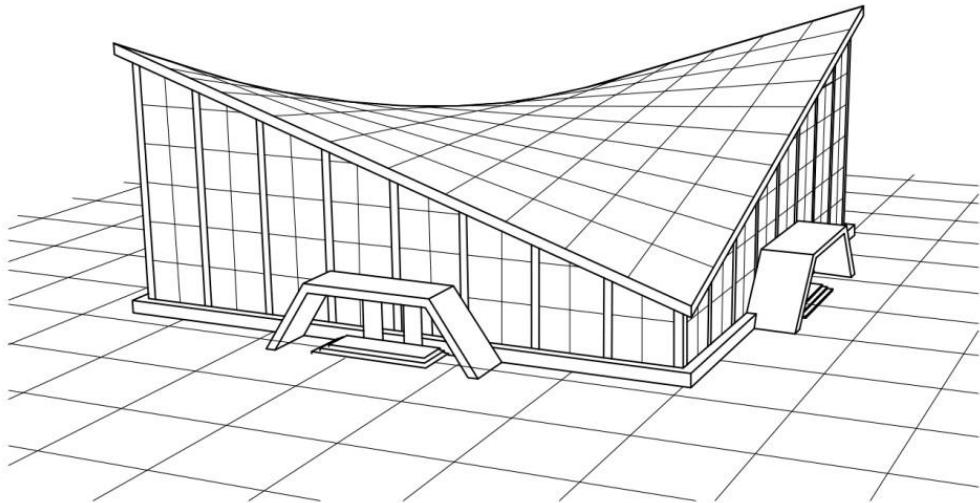


Рис. 1. Железобетонный гипар на квадратном плане.

1. Срединная поверхность оболочки, в координатах, представленных на рис. 2 выражается уравнением

$$Z = f x y / (\alpha b) \quad (1)$$

где: f – стрела подъема; α и b – размеры половины стороны прямоугольного основания, соответственно в направлениях X и Y .

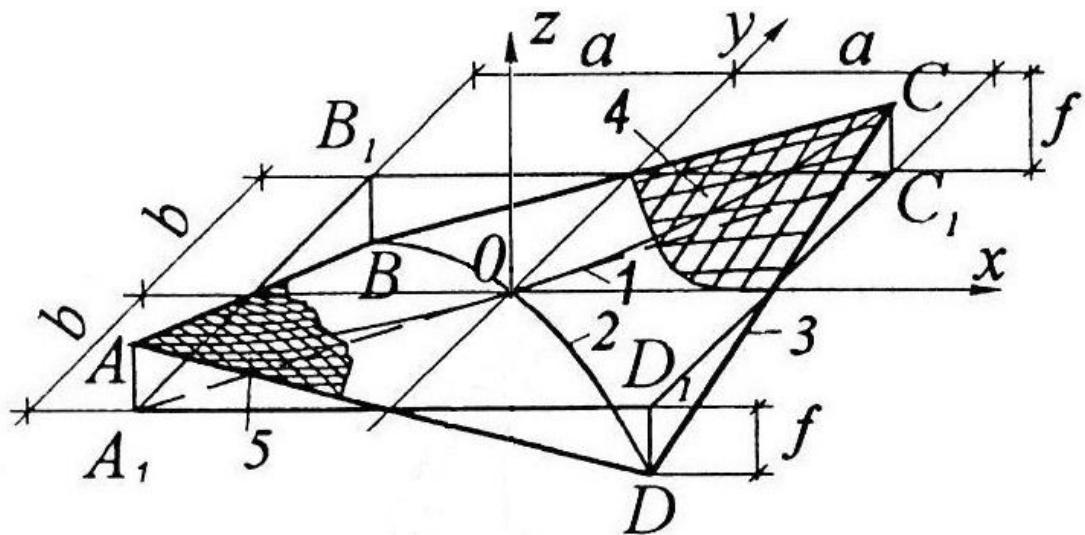
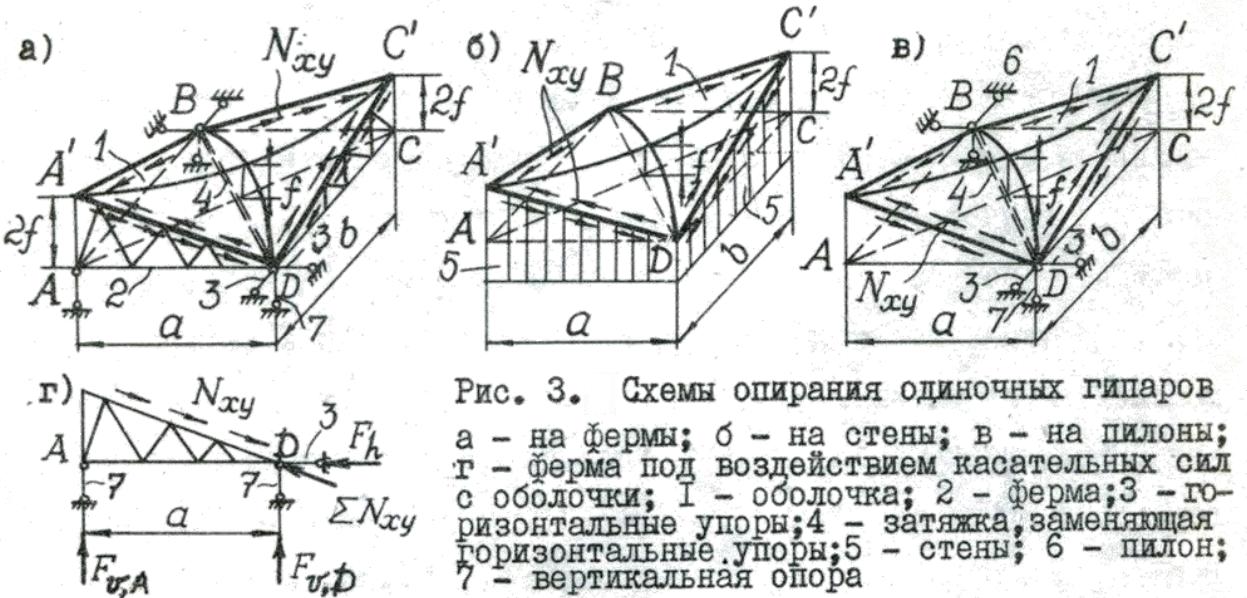


Рис. 2. Гиперболический параболоид на прямоугольном плане:

- 1 - главная вогнутая парабола; 2 - то же, выпуклая; 3 - прямолинейная образующая;
4 - прямые линии поверхности; 5 - кривые линии поверхности;

2. Такими оболочками перекрывают пролеты от 6 до 70 м. Различают пологие оболочки со стрелой подъема f от $1/10$ до $1/5$ пролета и непологие оболочки со стрелой подъема f от $1/5$ до $1/2$ пролета. Конструктивно оболочка состоит из собственно оболочки (скорлупы) и

бортовых элементов на которые оболочка опирается. Высота бортового элемента принимается в пределах от 1/60 до 1/80 пролета в зависимости от условий его опирания. Бортовые элементы опираются на диафрагмы которыми могут служить фермы, балки, колонны и сплошные стены, рис. 3, или оболочка также может опираться только на два отдельных фундамента в нисходящих углах. Распор в этих углах может восприниматься



как фундаментами, так и затяжкой, расположенной ниже уровня пола помещения. Исходя из характера статической работы опорного контура оболочки, колонны в ее нисходящих углах могут быть усилены, рис. 4. Если контурные элементы опираются на железобетонные колонны, то размеры поперечного сечения колонн должны быть такими, чтобы обеспечить их гибкость относительно любой оси не более $\lambda \leq 120$. Для прямоугольных колонн это условие обеспечивается, если ширина колонны вычисляется по эмпирической формуле

$$b_k = 7H_k/120, \quad (2)$$

где: b_k – ширина сечения колонны; H_k – высота колонны.

Толщина оболочек назначается в пределах $1/400 \div 1/600$ большего пролета, но не менее 40 мм (по конструктивным требованиям). При пролетах более 36 м рекомендуется устраивать ребра высотой от 1/100 до 1/120 пролета, ширина ребер от 1/5 до 1/2 их высоты. В местах сопряжения оболочки с бортовыми элементами необходимо предусматривать увеличение толщины оболочки в 1,5 - 2 раза для размещения второго ряда арматуры, чтобы воспринимать при опорные изгибающие моменты. Эти сопряжения необходимо выполнять гладкими на ширине не менее 10 толщин оболочки от бортового элемента, рис.5. С точки зрения статической работы можно предположить, что выпуклые параболы оболочки работают подобно аркам на сжатие, а вогнутые зоны на растяжение подобно гибким нитям. Сжатые зоны оболочки необходимо проверить на устойчивость.

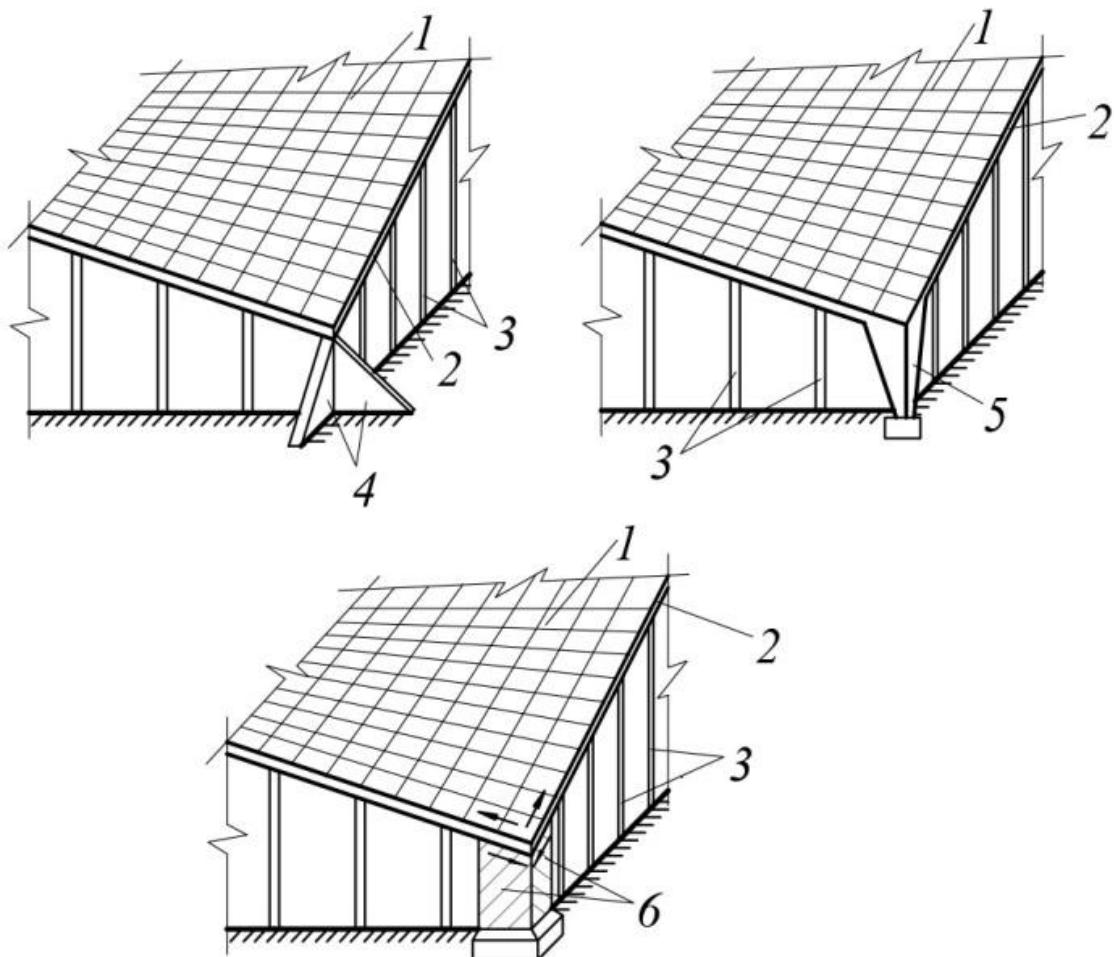


Рис. 4. Железобетонный гипар усиленный угловыми устоями:
 1 - плита гипара; 2 – контурная балка; 3 – колонны; 4 – угловые контрфорсы; 5 – угловые
 упоры; 6 – угловые стенные упоры

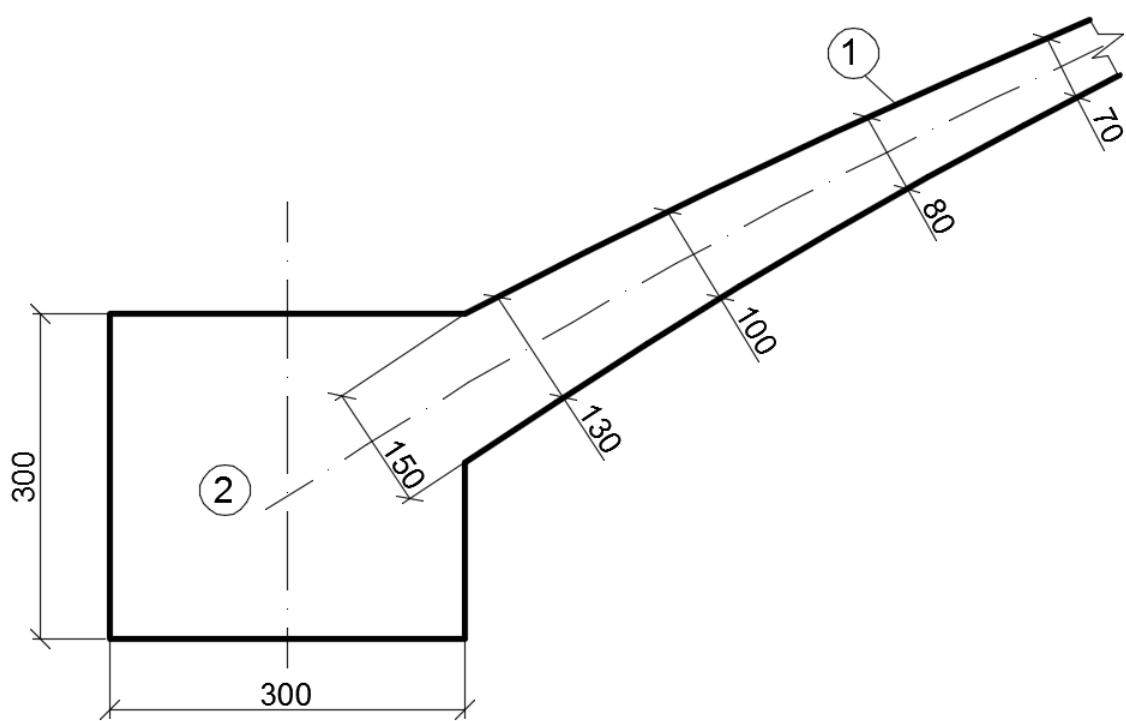


Рис. 5. Примыкание оболочки к бортовому элементу:

1 – оболочка; 2 – бортовой элемент

Устойчивость оболочки считается обеспеченной, если средняя интенсивность распределенной нагрузки q_{av} не превышает ее критического значения q_{cr}

$$q_{av} \leq q_{cr} = 0,05 E_b \cdot t^2 / (Rav)^2, \quad (3)$$

где: E_b – начальный модуль упругости бетона; t - толщина оболочки; Rav – средний радиус кривизны главной выпуклой параболы оболочки (вдоль диагонали основания), вычисляемый по соотношению

$$Rav = (\ell^2 / 8f) + f/2, \quad (4)$$

где: f – стрела подъема оболочки; ℓ - длина диагонали основания.

3. В качестве материалов для возведения оболочки должен применяться бетон классов В20 и выше и проволочная и стержневая арматура. Для армирования поля оболочки используется проволочная арматура класса В400, диаметром от 4 до 6 мм, которая укладывается с шагом 100, 150 или 200 мм. Арматурные стержни могут располагаться как параллельно сторонам основания, так и параллельно диагоналям основания, рис. 6. Для армирования контурных элементов применяется стержневая арматура классов А400 и выше.

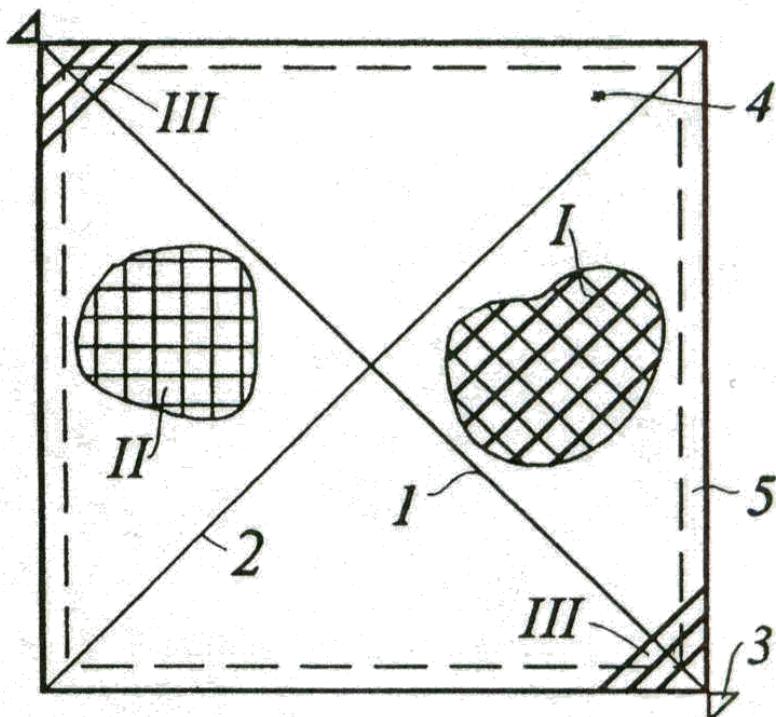


Рис. 6. Схемы армирования гипара:

I – сетка со стержнями вдоль диагоналей; II – сетка со стержнями вдоль контурных элементов; III – дополнительная арматура в угловых зонах;

1 – выпуклая главная парабола; 2 – вогнутая главная парабола; 3 – опора; 4 – собственно оболочка; 5 – бортовой элемент

4. В качестве расчетных принимаются два сочетания нагрузок: I сочетание - постоянная нагрузка (вес несущих конструкций и конструкций кровли) плюс снеговая нагрузка по всей поверхности оболочки; II сочетание - постоянная нагрузка плюс снеговая нагрузка на половине поверхности оболочки.

ПРИМЕР №1 – «Гипар»

Рассчитать и законструировать монолитную железобетонную оболочку отрицательной гауссовой кривизны (гипар) с утепленной кровлей, на прямоугольном плане размерами $2\alpha = 24\text{м} \times 2b = 18\text{м}$ с опиранием на два нисходящих угла.

Снеговой район - III.

Расчет и конструирование выполнить с применением программного комплекса «ЛИРА-САПР».

Принимаем геометрические параметры оболочки: $f = 24\text{м}/6 = 4\text{м}$; высоту контурного элемента

$$h_{\text{кон}} = 24\text{м}/80 = 0.3\text{м} = 30\text{ см},$$

ширину контурного элемента из конструктивных соображений принимаем равной высоте

$$b_{\text{кон}} = 30\text{ см};$$

толщина средней части оболочки

$$t = 24\text{ м}/500 = 0,048\text{ м}; \text{ принимаем } t = 5\text{ см}.$$

Толщина оболочки в месте примыкания к бортовому элементу на ширине 1,5м плавно меняется от 15 см до 7 см (для конечно элементной схемы: в полосе 0.5 м от контурного элемента – 13 см, в полосе 0,5 м до 1 м – 10 см, от 1м до 1,5 м – 8 см), рис. 5.

Форма срединной поверхности будет описываться соотношением (1) в виде

$$z = 4 \times y/(144) \quad (5)$$

Принимаем материалы согласно [6]:

бетон класса В25, $R_b = 14,5\text{ МПа}$, $R_{bt} = 1,05\text{ МПа}$, $\gamma_{b2} = 0,9$, $E_b = 30000\text{ МПа}$.

Для собственно оболочки принимаем проволочную арматуру класса В400, $R_s = 410\text{ МПа}$,

$R_{sc} = 375\text{ МПа}$, для бортовых элементов и колонн арматуру класса А400, $R_s = 365\text{ МПа}$,

$R_{sc} = 375\text{ МПа}$.

Нагрузки на конструкцию приведены в Таблице 1.

Проверим устойчивость оболочки по соотношению (1), вычислим средний радиус кривизны главной выпуклой параболы:

$$\ell = (24^2 + 24^2)^{0,5} = 33,94\text{ м},$$
$$Rav = \ell^2 / (8f) + f/2 = 33,94^2 / (8 \cdot 4) + 4/2 = 38\text{ м},$$

Вычисляем критическую нагрузку

$$q_{cr} = 0,05 E_b \cdot t^2 / (Rav)^2 = 0,05 \cdot 30000 \cdot (100) \cdot 0,05^2 / (38)^2 = 0,260 \text{ т/м}^2 = 2600 \text{ н/м}^2.$$

Полная расчетная нагрузка на оболочку:

$$qav = 507 + 1375 + 2000 = 3882 \text{ н/м}^2 > q_{cr} = 2600 \text{ н/м}^2.$$

Устойчивость оболочки не обеспечена. Увеличиваем толщину оболочки до $t = 7\text{ см}$.

Полная расчетная нагрузка на оболочку:

$$qav = 507 + 1925 + 2000 = 4432 \text{ н/м}^2.$$

$$q_{cr} = 0,05 E_b \cdot t^2 / (Rav)^2 = 0,05 \cdot 30000 \cdot (100) \cdot 0,07^2 / (38)^2 = 0,509 \text{ т/м}^2 = 5090 \text{ н/м}^2 > 4432 \text{ н/м}^2.$$

Устойчивость обеспечена.

Нагрузки на конструкцию.

Таблица 1.

Наименование элементов конструкции	Нормативное значение нагрузки ($\text{Н}/\text{м}^2$)	Коэффициент надежности по нагрузке γ_f	Расчетное значение нагрузки ($\text{Н}/\text{м}^2$)
Постоянная нагрузка.			
1. Кровля из мягких рулонных материалов	100	1,3	130
2. Выравнивающий слой из шпатлевки по армированной пластмассовой сетке $t=1.0 \text{ см}, \rho=20000 \text{ Н}/\text{м}^3$	200	1,3	260
3. Утеплитель из пеноплекса $t=10 \text{ см}$, на клею $\rho=800 \text{ Н}/\text{м}^3$	80	1,3	104
4. Пароизоляция	10	1,3	13
5. Собственный вес железобетонной оболочки $t=5 \text{ см}, \rho=25000 \text{ Н}/\text{м}^3$, $g_{\text{нор}}=1250 \text{ Н}/\text{м}^2, g_{\text{рас}}=1375 \text{ Н}/\text{м}^2$	Учитывается автоматически при работе комплекса ЛИРА-САПР		
И Т О Г О	390	1,3	507
Временная (снеговая) нагрузка			
III снеговой район	1400	1,428	2000

Создание модели в препроцессоре Сапфир

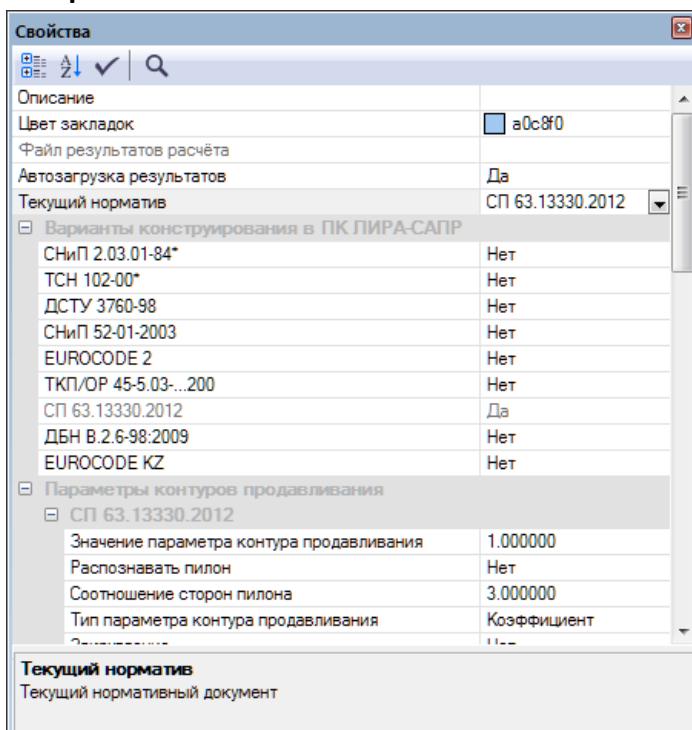
Для того чтобы начать работу с ПК САПФИР, выполните следующие команды Windows:
Пуск ⇒ Программы ⇒ LIRA SAPR⇒ ЛИРА-САПР 2013 (Некоммерческая версия) ⇒ САПФИР 2015.

Этап 1. Создание нового проекта и настройка его свойств

- Для создания нового проекта откройте меню приложения и выберите пункт **Новый** (кнопка  на панели инструментов).

Настройка свойств проекта

- Вызовите диалоговое окно **Параметры** щелчком по кнопке  - **Свойства проекта** (панель **Проект** на вкладке **Создание**)
- В этом диалоговом окне выберите новый вариант конструирования **СП 63.13330.2012**
- Щелкните по кнопке **Применить**.
- Затем выберите его как Текущий норматив.
- Щелкните по кнопке **Применить**.
- В строке вариант конструирования **СНиП 2.03.01-84*** выберите значение «нет». Остальные параметры оставьте по умолчанию (рис.1.1).
- Щелкните по кнопке **Применить**.



*Рис.1.1. Диалоговое окно **Параметры***

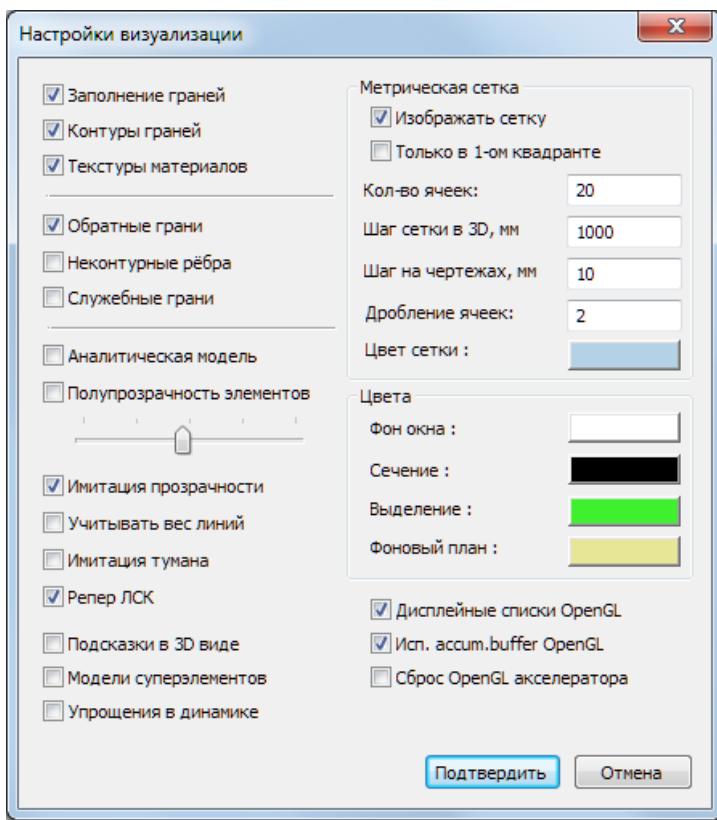
Визуализация рабочего пространства

- Для настройки визуализации рабочего пространства щелкните по кнопке **визуализации** на панели инструментов **Визуализация**.
- В открывшемся диалоговом окне **Настройки визуализации** задайте кол-во ячеек – **20** (рис.1.2)



Настройки

- После этого щелкните по кнопке **Подтвердить**, чтобы закрыть диалоговое окно и применить сделанные изменения.



*Рис. 1.2. Диалоговое окно **Настройки визуализации***

Задание имени проекта

- Для сохранения информации о проекте откройте меню приложения и выберите пункт  **Сохранить** (кнопка на панели быстрого доступа).
- В появившемся диалоговом окне **Сохранить как** задайте:
- имя файла – **ФИО**;
 - папку, в которую будет сохранен этот проект.
- Щелкните по кнопке **Сохранить**.

Этап 2. Создание гипарболического параболоида

- Выполните щелчок по кнопке  **Гипарболический параболоид** - **Гипарболический параболоид** в раскрывающемся списке **3D тела** (панель **Поверхности** на вкладке **Создание**).
- Начните построение 4-х точек (вершин гипарболического параболоида):
- нажмите клавишу **X** на клавиатуре (активируется поле ввода координаты **X** в окне координат) и введите значение **12000**;
 - переключитесь с помощью стрелки вниз на клавиатуре на координату **Y** и введите для нее значение **(-9000)**;
 - переключитесь с помощью стрелки вниз на клавиатуре на координату **Z** и введите для нее значение **(-4000)**;
 - подтвердите ввод координат клавишей **Enter** на клавиатуре (введется первая точка (вершина) и в динамике будет отрисовываться гипар);

- таким же образом введите координаты оставшихся трех вершин гипарболического параболоида: **(12000, 9000, 4000), (-12000, 9000, -4000), (-12000, -9000, 4000)**;
- нажмите клавишу **Esc** для выхода из построения гипарболического параболоида.



Для ввода координат с клавиатуры используйте следующие горячие клавиши:

X – активация поля для ввода координаты X;

Y – активация поля для ввода координаты Y;

Z – активация поля для ввода координаты Z;

L – ввод значения длины (отступа от последней созданной точки);

U – активация поля для ввода значения угла от оси X;

Стрелки вверх/вниз - переключение между полями редактирования в окне координат

Клавиша **Enter** – подтверждение ввода

- Выделите гипар щелкнув по нему левой кнопкой мышки
- В служебном окне **Свойства** задайте следующие данные:
 - В диалоговом окне **Материалы** (рис.2.1) выберите из списка материал **Бетон B25**

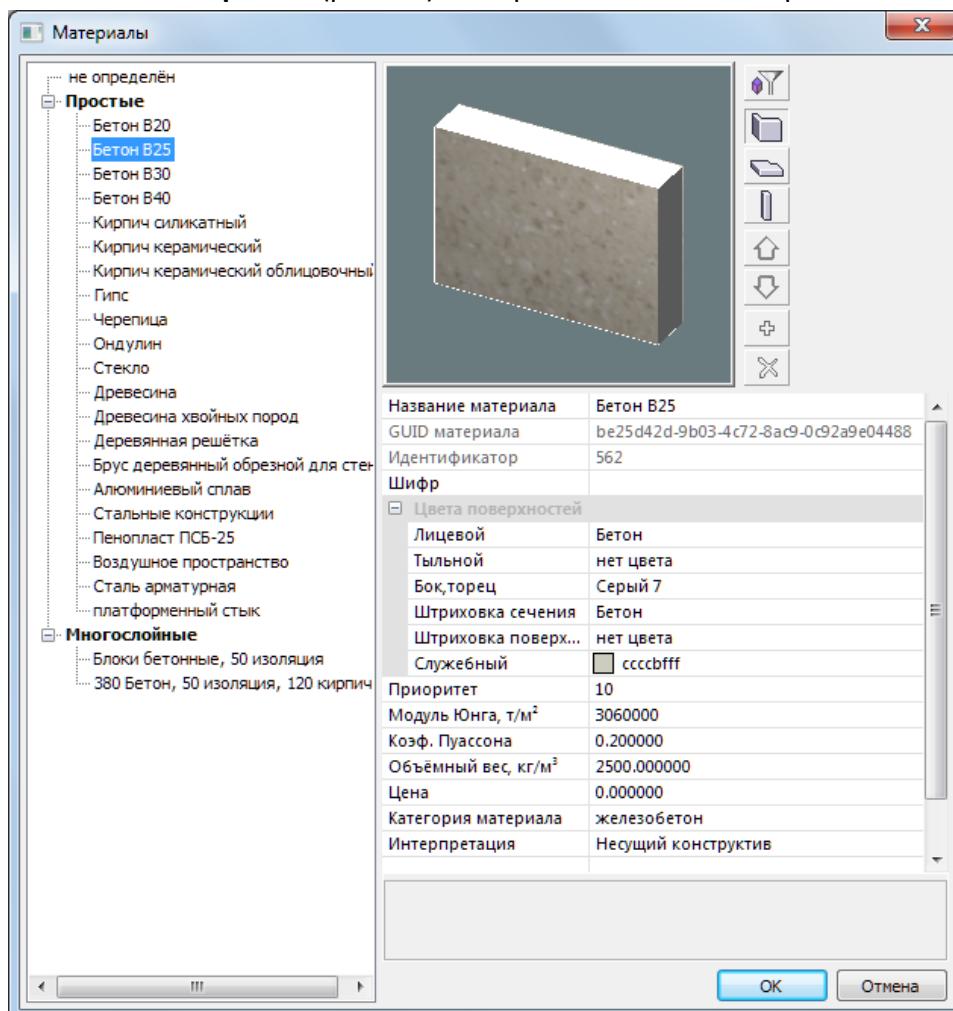
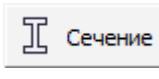


Рис.2.1. Диалоговое окно **Материалы**

- После этого щелкните по кнопке **OK** (после закрытия списка строка **Материал** как текущий выбранный материал);
- В строке **Количество ячеек по U** укажите значение **36**;
- В строке **Количество ячеек по V** укажите значение **48**;

- После этого щелкните по кнопке  - Применить.

Этап 3. Создание опорных элементов: бортовых балок

- Выполните щелчок по кнопке  - Балка в раскрывающемся списке Балка (панель Инструменты построения на вкладке Создание). В диалоговом окне свойств отобразятся свойства построения балки.
- В диалоговом окне Свойства построения: Балка щелкните напротив строки Материал.
- В открывшемся диалоговом окне Материалы (рис.2.1) выберите из списка материал Бетон B25.
- После этого щелкните по кнопке OK (после закрытия списка строка Бетон B25 демонстрируется напротив параметра Материал как текущий выбранный материал).
- Вызовите диалоговое окно Параметры сечения (рис.2.2) щелчком по кнопке  в строке свойств инструмента Балка.
- В открывшемся диалоговом окне задайте следующие параметры:
 - в списке типов сечений выберите тип Прямоугольник(S0);
 - задайте параметр $b=300\text{мм}$;
 - задайте параметр $h=300\text{мм}$
- После этого щелкните по кнопке OK.

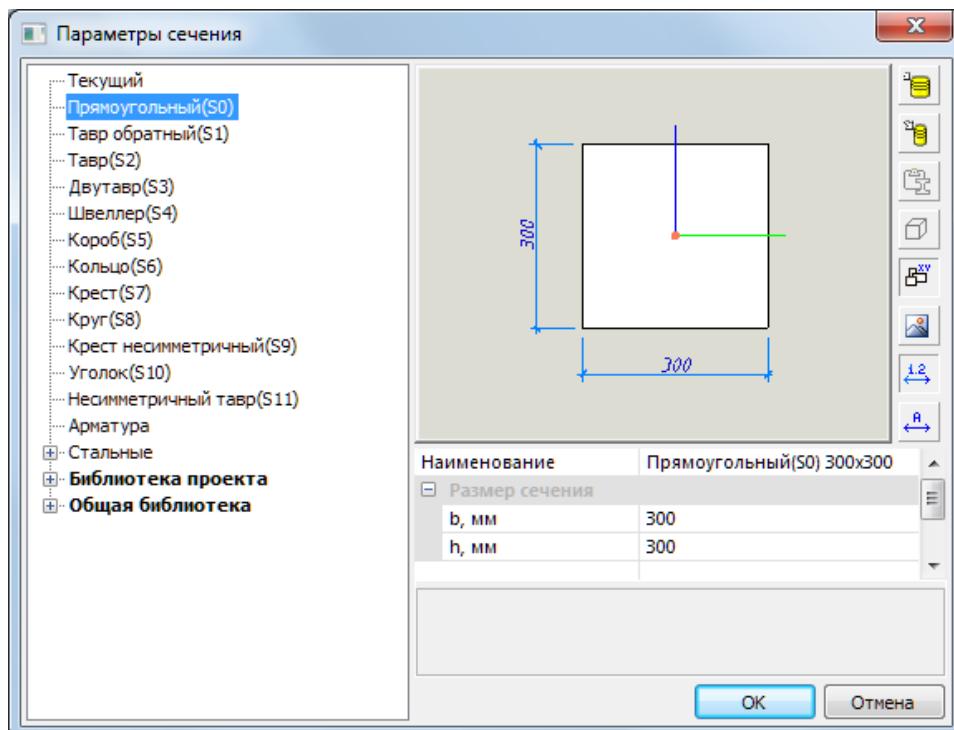


Рис.2.2 Диалоговое окно Параметры сечения

- В строке свойств инструмента Балка выберите способ построения  - Отрезок

- Тип высотной привязки - - с отключенной фиксацией уровня этажа. Такая привязка позволит расположить аналитический стержень балки как угодно в пространстве.
- Переключитесь для удобства построения в режим Визуализация конструктивно-аналитической модели -
- Постройте 4 отдельных балки, последовательно указывая 1-ю точку – «начало» и 2-ю точку –«конец» каждой из них в соответствующих точках, указанных на (рис.2.3) :

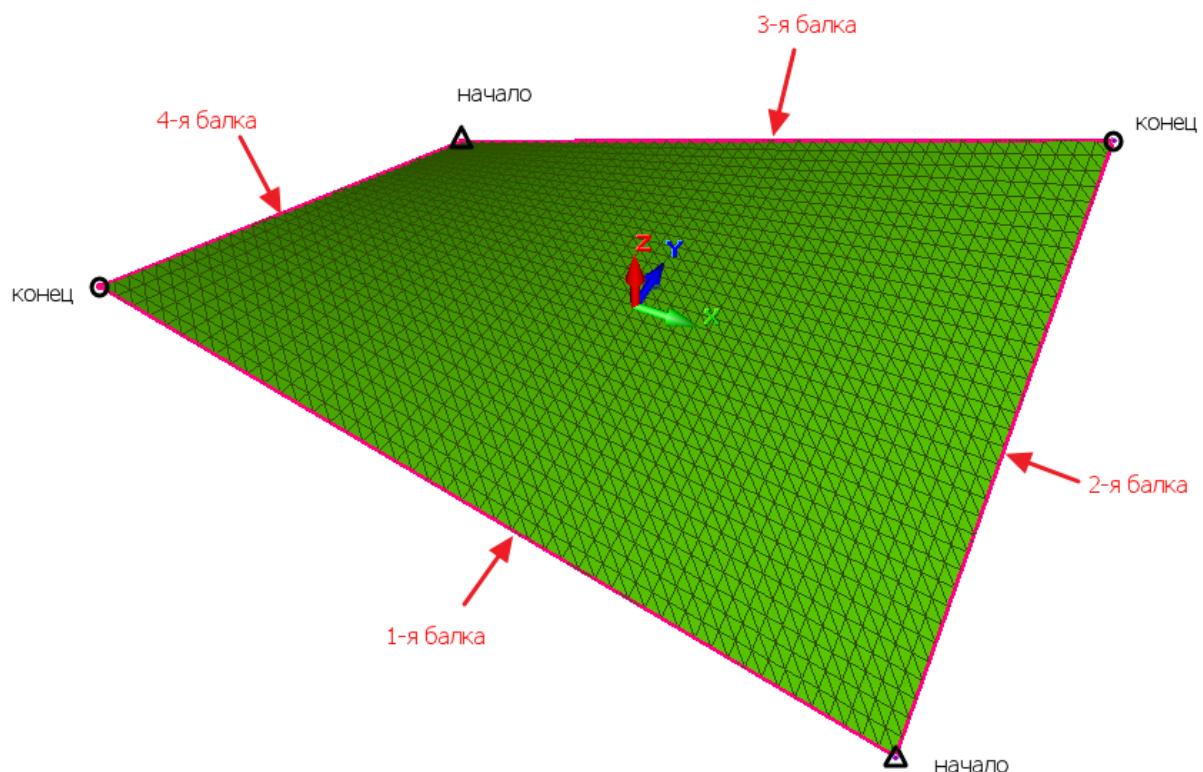


Рис.2.3 Расположение в схеме точек «начало» и «конец» для балок

Этап 4. Создание закреплений

- В служебном окне Структура выполните щелчок правой кнопки мыши по папке Балки, выберите из появившегося контекстного меню Выделить
- Выполните щелчок по кнопке - Жесткое защемление (панель Аналитическая модель: корректировка на вкладке Аналитика). В диалоговом строке свойств из раскрывающегося списка выберите - Начало балки, стены.
- Нажмите на кнопку - Наложить выбранные граничные условия.

Этап 5. Создание загружений и назначение нагрузок

- Щелкните по кнопке Загрузки - Загружения (панель Нагрузки на вкладке Создание).
- В открывшемся окне редактора загружений откорректируйте строки как на рисунке ниже:

№ п/п	Название загружения	Вид загружения	Коэффициент	Доля длины	Кол-во на	ID загруж...
1	Собственный вес	Постоянное	1.10	1.00	0	1
2	Пирог Кровли	Постоянное	1.3	1.00	0	2
3	Временная (Снеговая)	Кратковременное	1.43	0.5	0	3
	<Создать новое загружение>	0				

OK Отмена применять коэффициенты надёжности по нагрузке

Рис.3.1 Диалоговое окно Редактор загружений

- Щелкните по кнопке - Штамп нагрузки (панель Нагрузки на вкладке Создание).
- В строке свойств инструмента Нагрузка задайте следующее:
 - Способ построения нагрузки Прямоугольник
 - загружение – Пирог Кровли;
 - в начале – 0.039 тс/м²;
 - в конце – 0.039 тс/м²;
 Значение 0.039 тс/м² получили путем сложения всех нормативных нагрузок пирога кровли.
- Наводим курсор на вершину Гипара, нажатием правой кнопки мыши вызываем контекстное меню и переводим ЛСК в точку (рис.3.2).

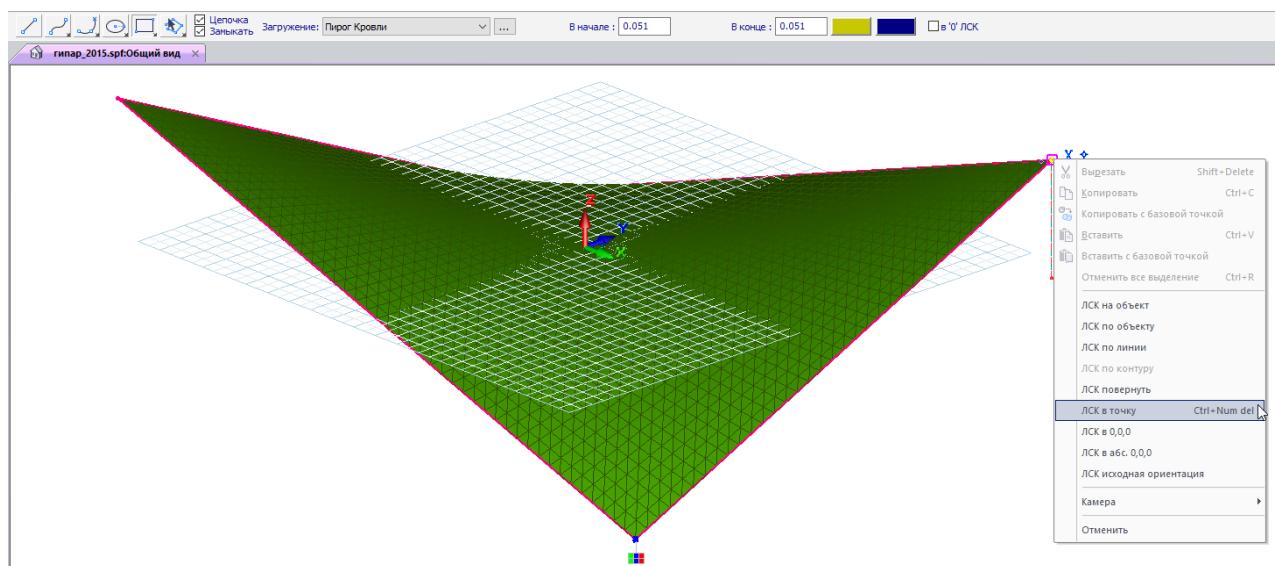


Рис.3.2 Перенос ЛСК

- Указав одну из вершин гипара, растягиваем резиновую нить нагрузки до другой вершины гипара. При построении нагрузки контролируем активность кнопки Фиксированного уровня локатора (рис.3.3).

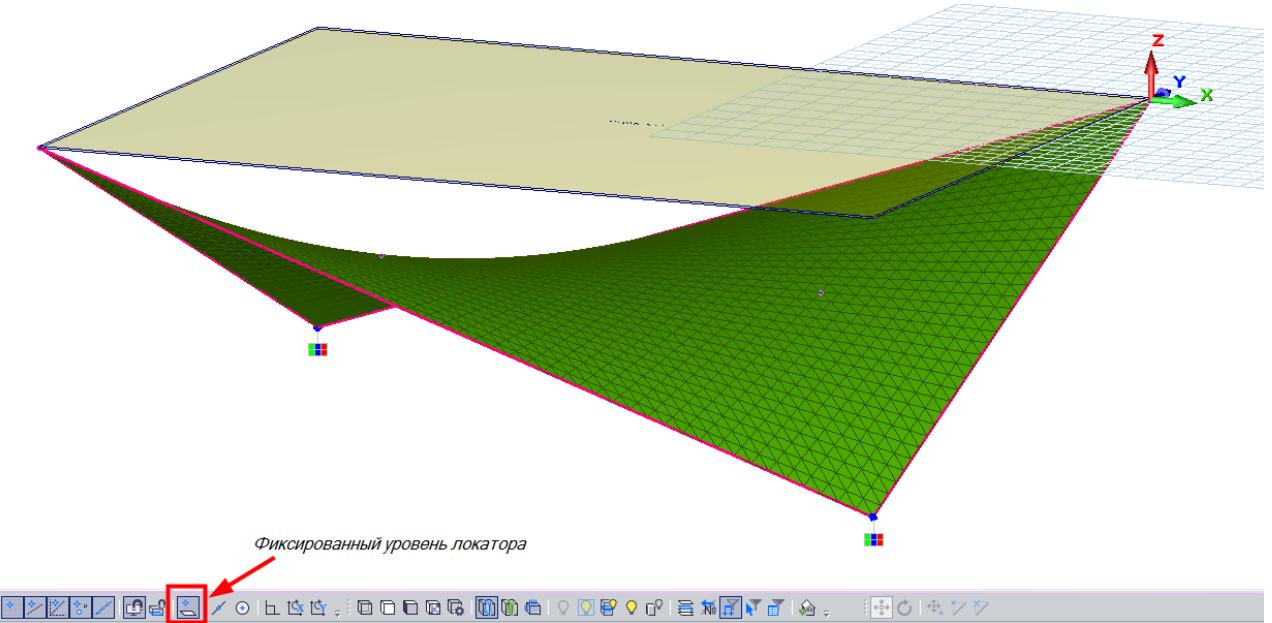


Рис.3.3 Визуализация нагрузки по площади гипара

Повторяем процедуру задания нагрузки уже для снега:

- Щелкните по кнопке - Штамп нагрузки (панель Нагрузки на вкладке Создание).
- В строке свойств инструмента Нагрузка задайте следующее:
 - Способ построения нагрузки Прямоугольник
 - загружение – Временная (Снеговая);
 - в начале – 0.14 тс/м²;
 - в конце – 0.14 тс/м²;
- Указываем по очереди вершины гипара.

Этап 6. Создание конечно-элементной модели (МКЭ)

Создание расчетной модели

- Вызовите диалоговое окно **Создать новую расчетную модель** (рис.4.1) щелчком по кнопке - Расчетная модель (на вкладке Аналитика).
- Кнопка **Расчетная модель** переключает из режима создания расчетной схемы к инструментам расчетной модели и обратно.
- В открывшемся диалоговом окне щелкните по кнопке **OK** (откроется новая закладка окна под названием **ФИО.spf:Расчетная модель**).

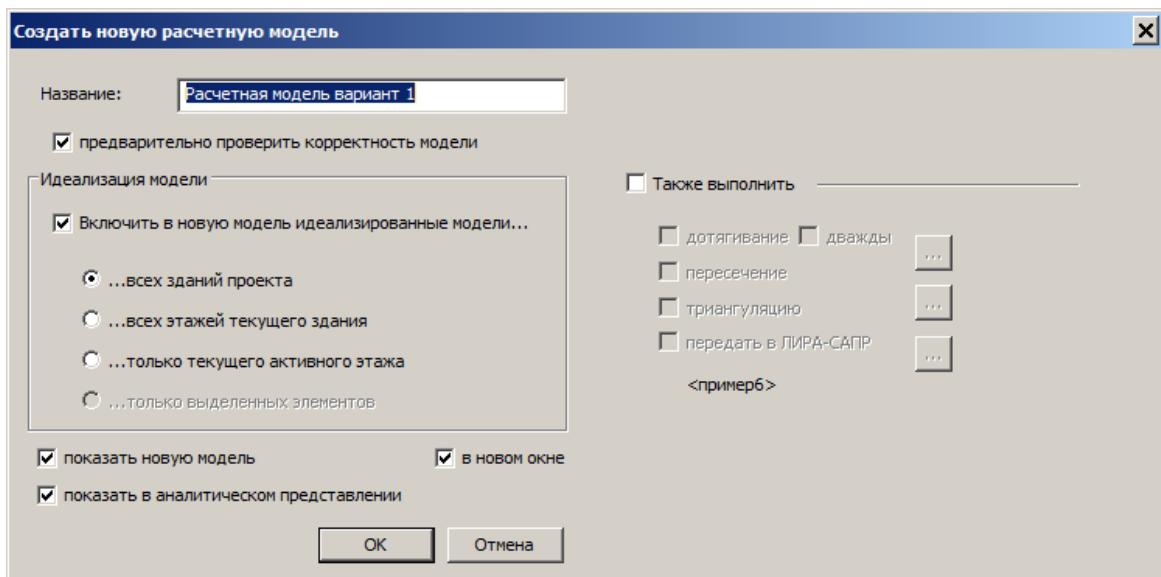


Рис.4.1. Диалоговое окно **Создать новую расчетную модель**



Перед созданием расчетной модели автоматически пройдет проверка модели на ошибки. Если программа обнаружит ошибки, она выдаст предупреждение. Ошибочные элементы рекомендуется устранить.

Корректировка свойств расчетной модели

- Вызовите диалоговое окно Параметры (рис.4.2) щелчком по кнопке  - Свойства расчетной модели (панель Расчетная модель: создание на вкладке Аналитика).
- В открывшемся диалоговом окне задайте L поиска – 8000 мм (Величина, равная высоте гипара). Данная процедура необходима чтобы нагрузка «нашла опору» на плоскости гипара.
- После этого щелкните по кнопке OK.

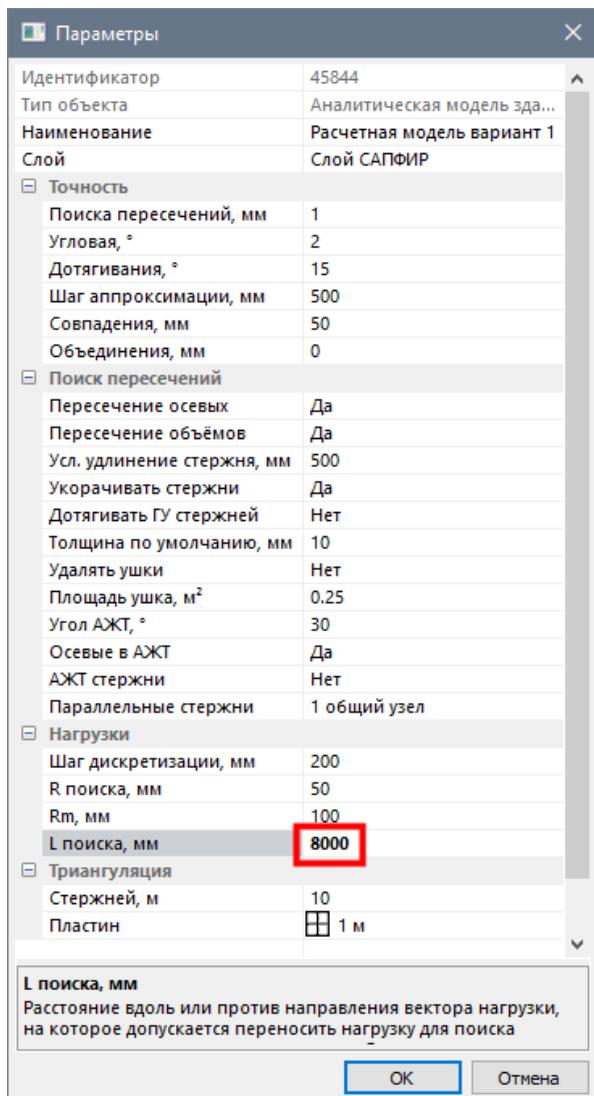


Рис.4.2. Диалоговое окно **Параметры**

Идеализация модели

- Щелкните по кнопке  - Найти пересечения в раскрывающемся списке Пересечь (панель Расчетная модель: триангуляция на вкладке Аналитика).
- В открывшемся диалоговом окне САПФИР (рис.4.3) щелкните по кнопке Да.

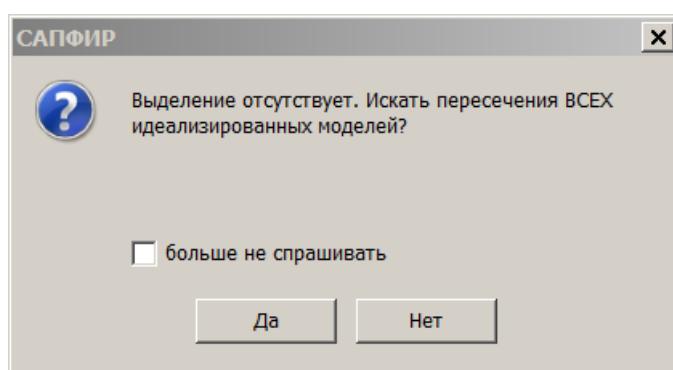


Рис.4.3. Диалоговое окно **САПФИР**

- Расчетная модель с выполненными пересечениями будет выглядеть следующим образом (рис.4.4)

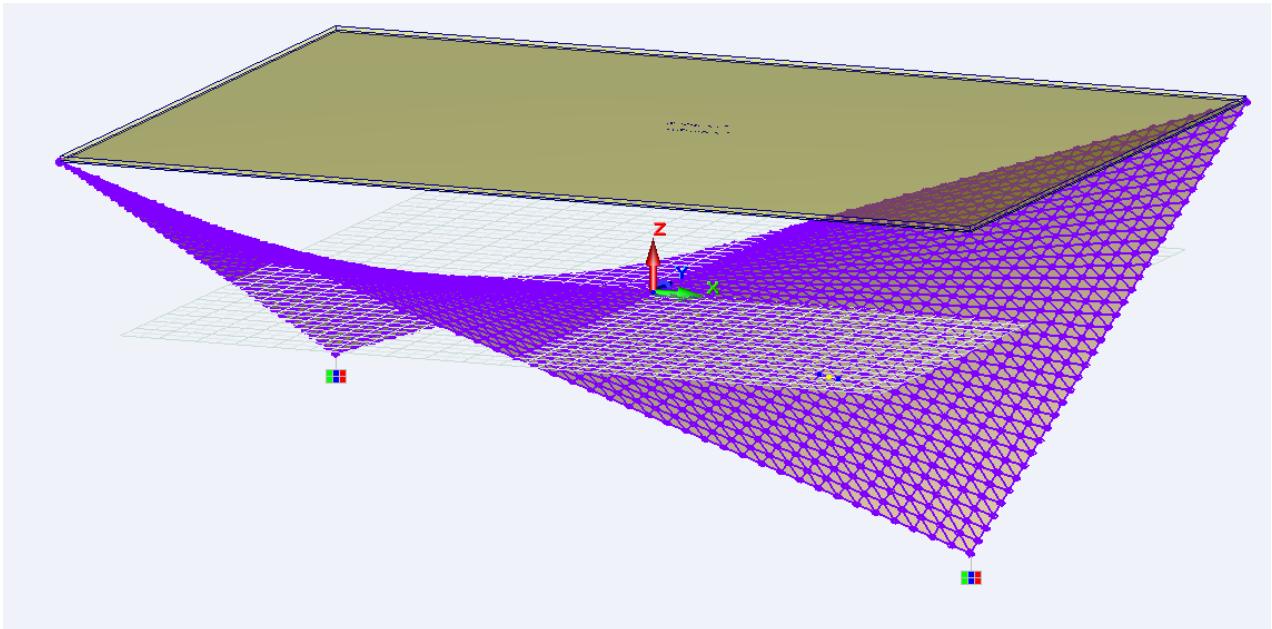


Рис.4.4. Расчетная модель с выполненными пересечениями

Триангуляция модели

- Вызовите диалоговое окно **Настройки триангуляции** (рис.4.5) щелчком по кнопке **Настройки** (панель **Расчетная модель: триангуляция** на вкладке **Аналитика**). 
- В открывшемся диалоговом окне задайте следующее:
 - **триангуляция пластин** – треугольная;
 - **шаг, м** – 0.5.
- После этого щелкните по кнопке **Назначить**.

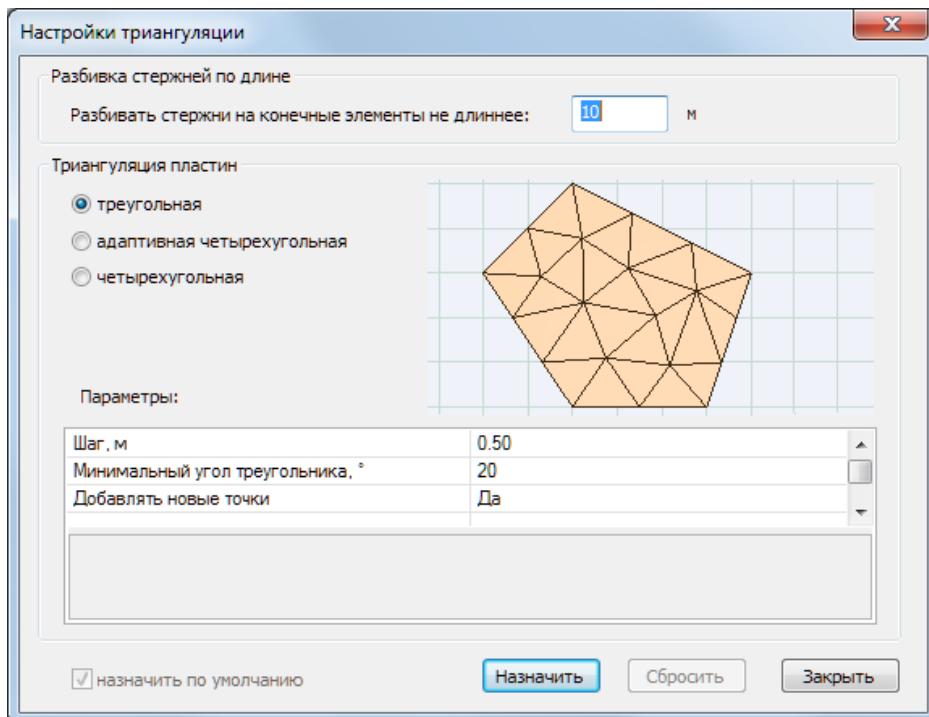


Рис.4.5. Диалоговое окно **Настройки триангуляции**

- Для разбивки на КЭ щелкните по кнопке  - Создать триангуляционную сеть в раскрывающемся списке Сеть (панель Расчетная модель: триангуляция на вкладке Аналитика).

Этап 7. Создание файла для ПК ЛИРА-САПР

- Чтобы открыть конечно-элементную схему в ПК ЛИРА-САПР щелкните по кнопке  - Открыть в раскрывающемся списке Открыть (панель Расчет в ЛИРА-САПР на вкладке Аналитика).
- Программа создаст файл в формате *.s2l в каталоге, где сохранён файл Сапфира в формате *.spf, и откроет этот файл в системе ВИЗОР-САПР.

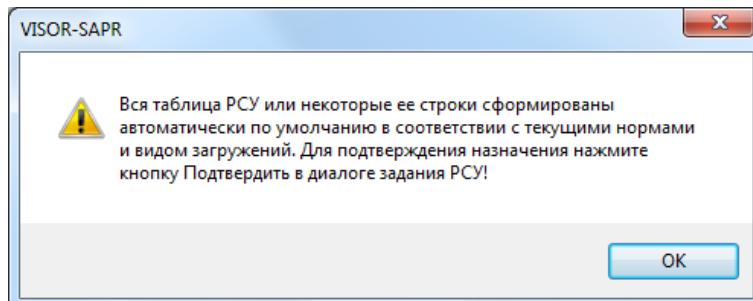


Чтобы сохранить файл САПФИР для ЛИРА-САПР без автоматического открытия в системе ВИЗОР-САПР, щелкните по кнопке  - Сохранить в раскрывающемся списке Открыть (панель Расчет в ЛИРА-САПР на вкладке Аналитика). В открывшемся диалоге можно задать имя для файла в формате *.s2l и выбрать папку для сохранения. Для импорта файла .s2l в ВИЗОР-САПР следует зайти в меню Приложения (значок  в левом верхнем углу окна) и выбрать Импорт файлов S2L САПФИР.

Корректировка модели. расчет и анализ результатов в ВИЗОР

Этап 8. Открытие расчетной схемы в ПК ЛИРА-САПР

- При открытии расчетной схемы в ВИЗОР-САПР система выдаст сообщение (рис.6.1).



Rис.6.1. Диалоговое окно VISOR-SAPR

- Щелкните по кнопке OK.
- В открывшемся окне Расчетные сочетания усилий щелкните по кнопке  (рис.6.2).

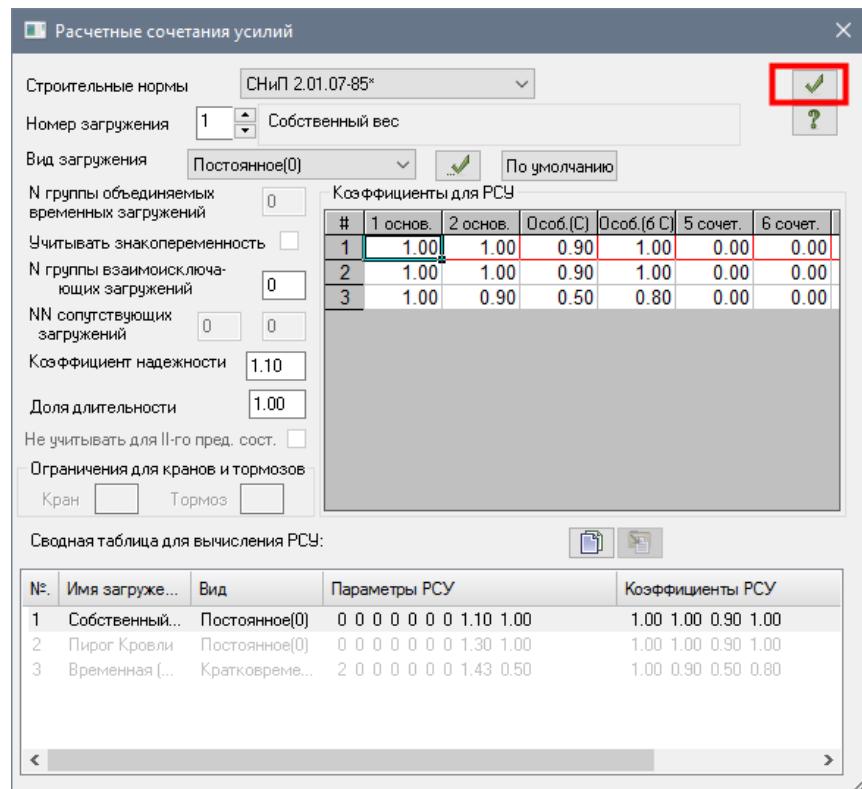
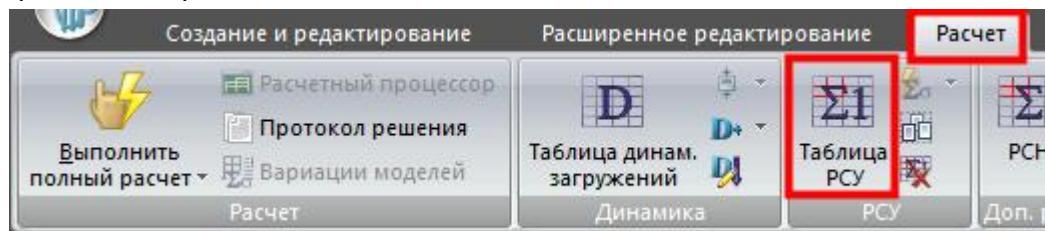


Рис.6.1. Диалоговое окно Расчетные сочетания усилий

!!! Если Диалоговое окно Расчетные сочетания усилий не появилось, то вызвать его можно через закладку Расчет:



Этап 9. Задание параметров материалов элементам схемы.

Корректировка материалов для железобетонных конструкций

- Щелчком по кнопке - Ж/б (панель Конструирование на вкладке Создание и редактирование) вызовите диалоговое окно Жесткости и материалы (рис.7.1).

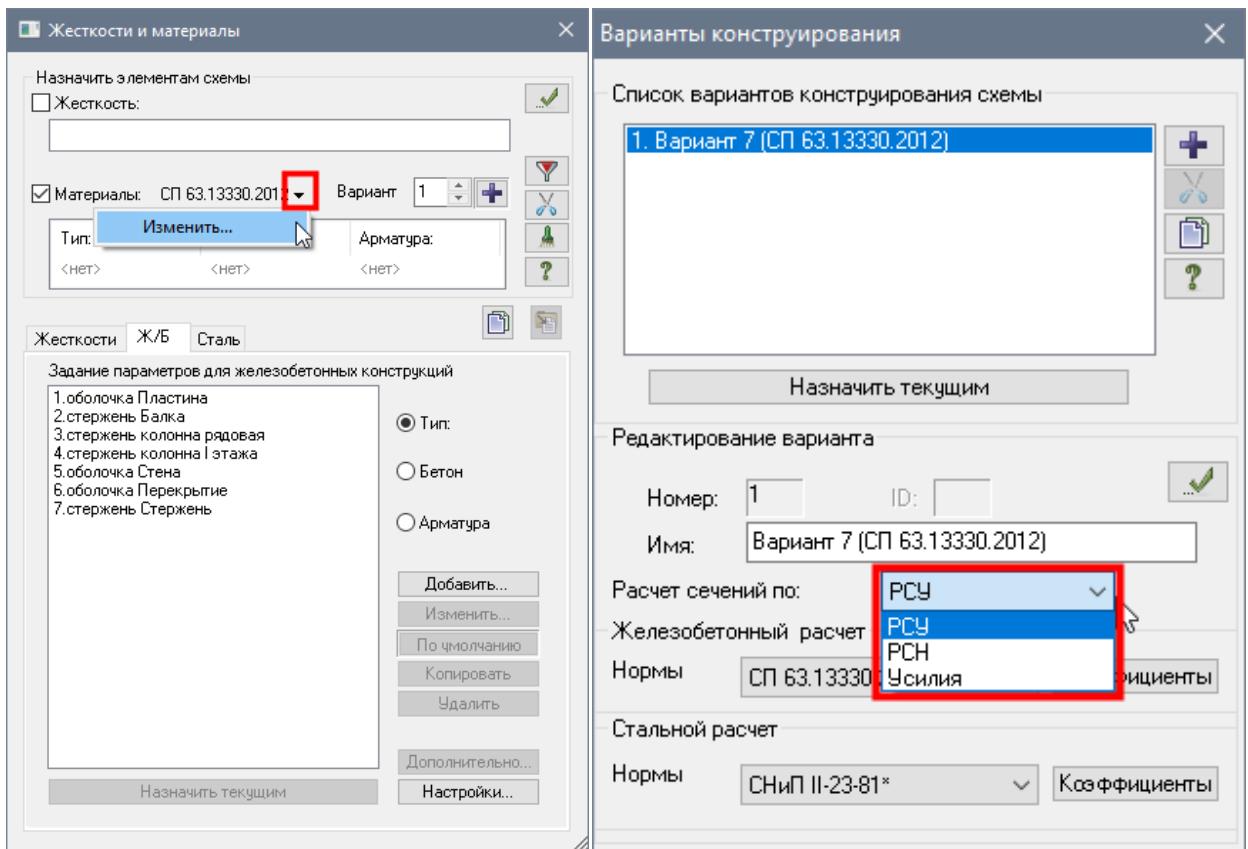


Рис.7.1. Диалоговое окно Жесткости и материалы

- После этого выделите строку 1.оболочка Пластина и щелкните по кнопке Изменить.
- На экран выводится диалоговое окно Общие характеристики (рис.7.2), в котором при необходимости можно откорректировать данные. В частности защитные слои. Максимальный защитный слой 1/3 сечения.

- После внесения изменений щелкните по кнопке – Подтвердить.
- Аналогичную процедуру редактирования выполните для Бетона и Арматуры.
- При необходимости изменения расчета сечений с РСУ на РСЧ, возможно изменить варианты конструирования.

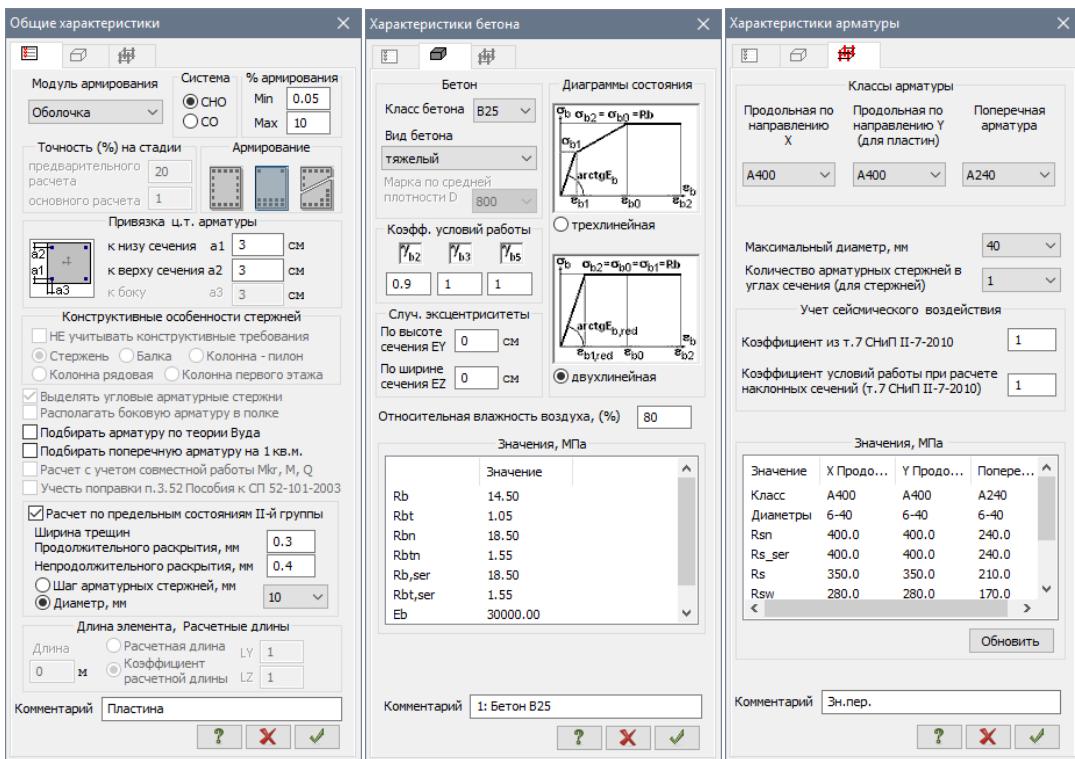


Рис.7.2. Диалоговые окна *Общие характеристики, Бетон, Арматура*

- В диалоговом окне **Показать** в третьей закладке снимите флагок **Нагрузки**. Затем в первой закладке установите флагок **Местные оси пластин и объемных КЭ** (рис.7.3).

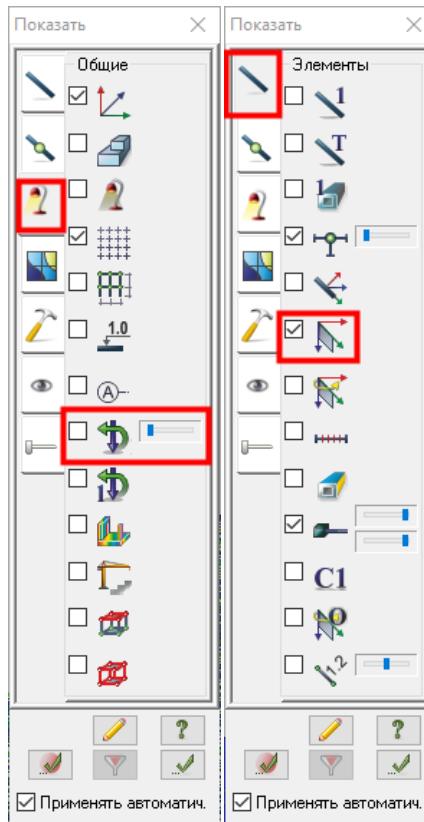


Рис.7.3. Диалоговое окно

Показать

- Щелкните по кнопке – **Флаги рисования** на панели инструментов **Панель выбора** (по умолчанию находится в нижней области рабочего окна).

- В середине гипара локально могут быть неправильно направлены местные оси пластин, (рис.7.4).

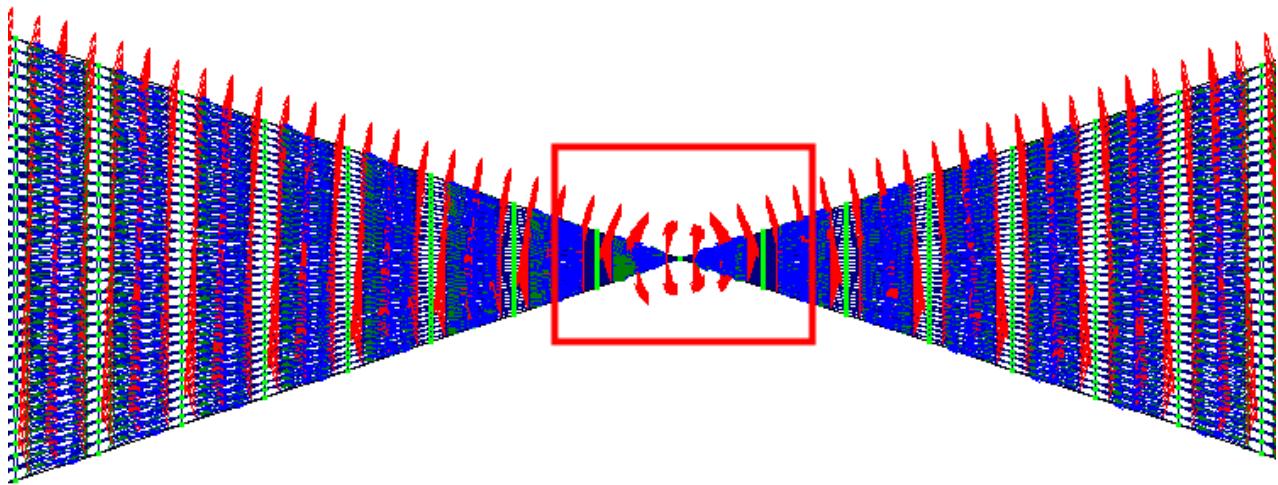
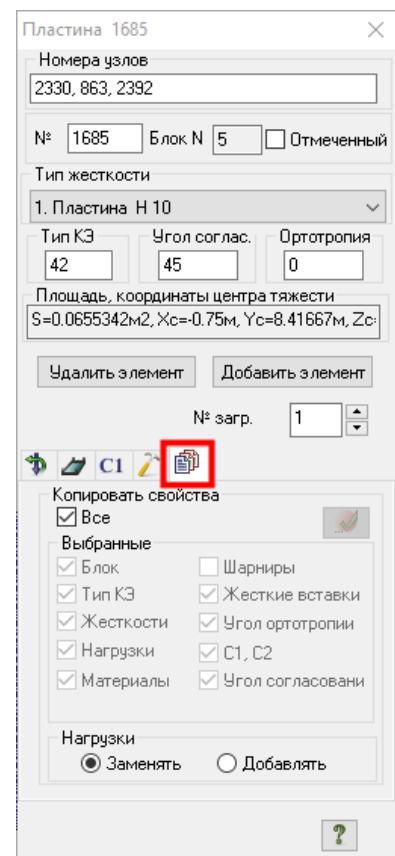


Рис.7.4. Направление местных осей гипара

- Местные оси должны быть направлены во всех элементах схемы наверх. Для исправления направления местных осей , щелкните по кнопке – **Информация об узле или элементе** на панели инструментов **Панель выбора** и укажите курсором на любой пластинчатый элемент, в котором местная ось «смотрит наверх» . Затем перейдите в последнюю закладку, (рис.7.5).

- Щелкните по кнопке – **Отметка элементов** И отметьте группу элементов в которых местная ось направлена вверх (можно выбрать и элементы в которых местная ось направлена корректно). Затем в окне **Информация об элементе** выберете **Подтвердить** (рис.7.6).



*Рис.7.5. Диалоговое окно
Информация об элементе*

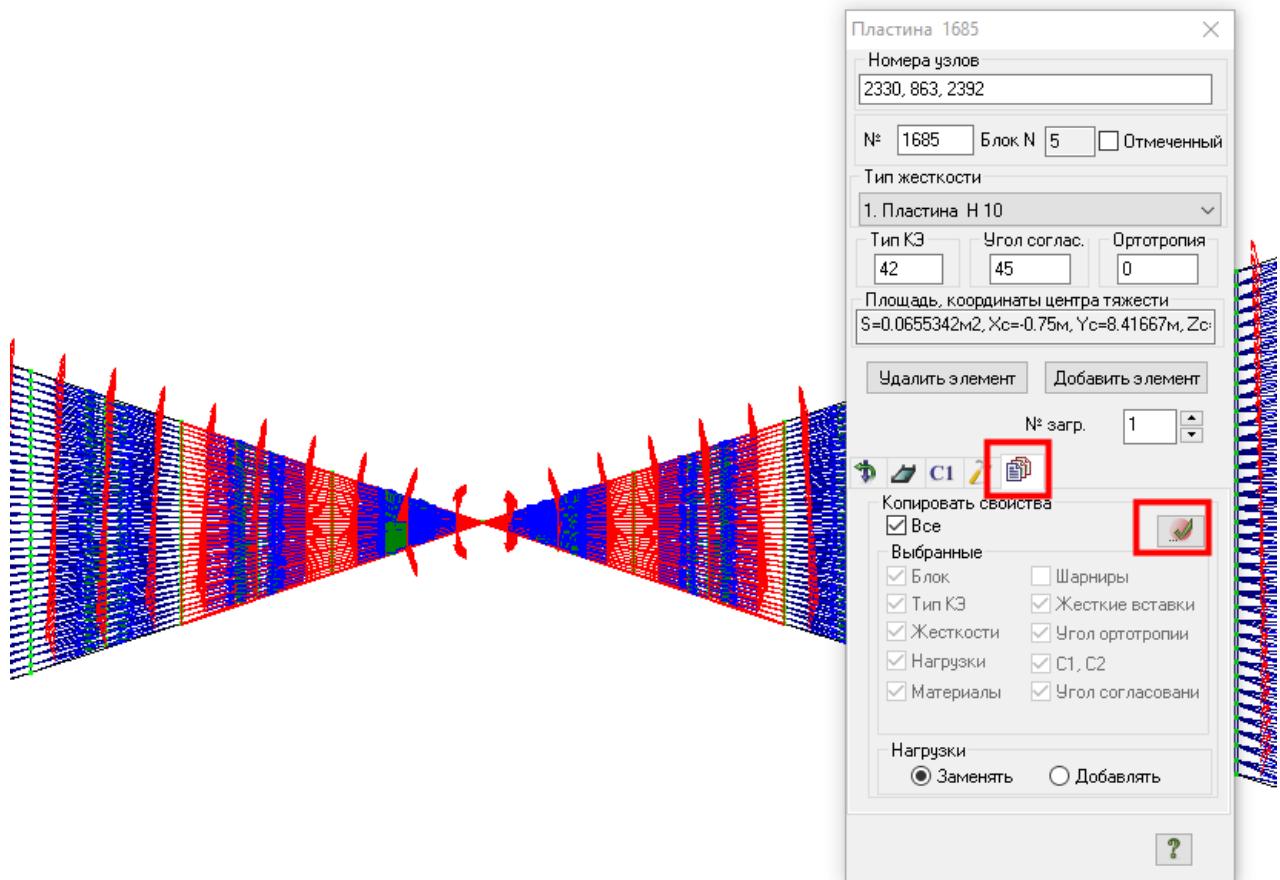


Рис.7.6. Копирование свойств объекта

- После выполнения процедуры копирования свойств, местные оси развернутся наверх:
- В диалоговом окне **Показать** в первой закладке Снимите флажок **Местные оси пластин и объемных КЭ** (рис.7.3).

Этап 10. Генерация таблицы РСН

- Щелчком по кнопке – РСН (панель Доп. расчеты на вкладке Расчет) вызовите диалоговое окно **Расчетные сочетания нагрузок** (рис.8.1).
- Так как вид загружений задавался в диалоговом окне **Редактор загружений** в САПФИРе таблица РСН сформировалась автоматически с параметрами, принятыми по умолчанию для каждого загружения. Далее нужно задать сочетания. Данная процедура необходима для последующего просмотра результатов от комбинаций нагрузок
- Для задания сочетаний выполните следующие действия:
 - в списке сочетаний выделите строку 1 основное и после этого щелкните по кнопке **Добавить**;

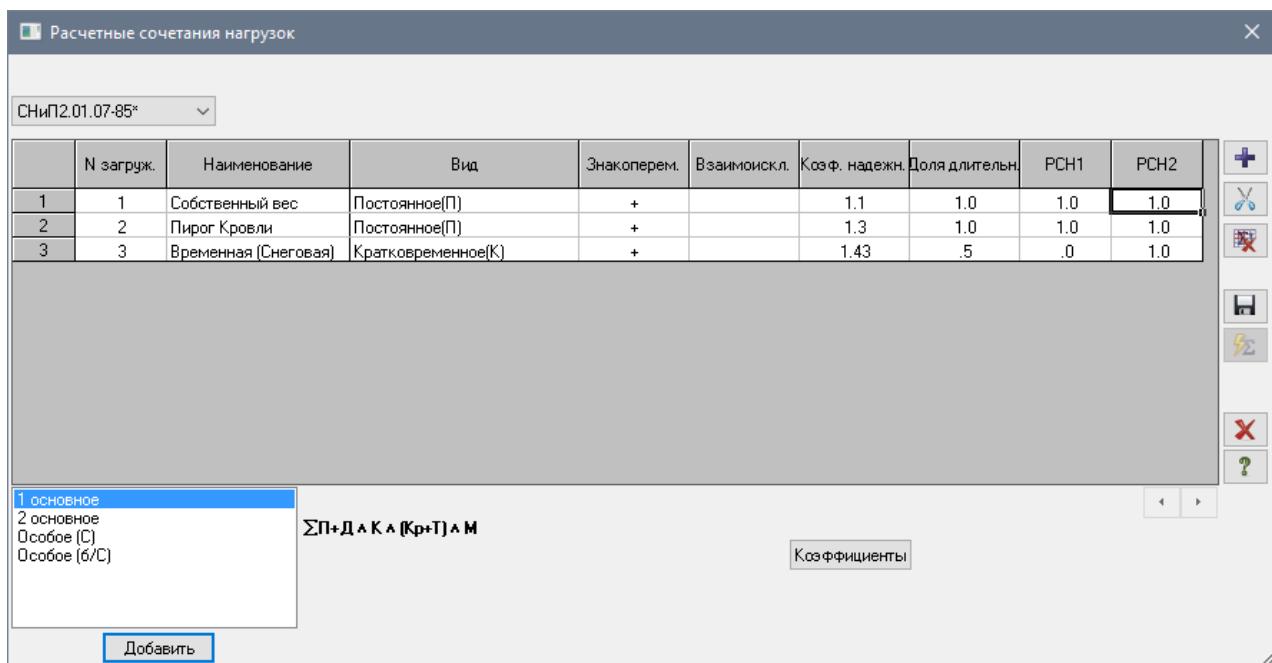


Рис.8.1. Диалоговое окно *Расчетные сочетания нагрузок*

- После этого щелкните по кнопке - Сохранить данные, чтобы сохранить все введенные данные.
- Закройте диалоговое окно Расчетные сочетания нагрузок щелчком по кнопке – Закрыть.

Этап 11. Полный расчет схемы

- Сохраните задачу, используя сочетание клавиш Ctrl+S.
- Запустите задачу на расчет щелчком по кнопке – Выполнить расчет (панель Расчет на вкладке Расчет.)

Этап 12. Просмотр и анализ результатов статического расчета

После расчета задачи, просмотр и анализ результатов статического и динамического расчетов осуществляется на вкладке Анализ.

- В режиме просмотра результатов расчета по умолчанию расчетная схема отображается с учетом перемещений узлов. Для отображения схемы без учета перемещений узлов щелкните по кнопке – Исходная схема (панель Деформации на вкладке Анализ).

Вывод на экран эпюор внутренних усилий

- Выведите на экран эпюру M_y щелчком по кнопке – Эпюры M_y (панель Усилия в стержнях на вкладке Анализ).
- Для вывода эпюры Q_z щелкните по кнопке – Эпюры поперечных сил Q_z (панель Усилия в стержнях на вкладке Анализ).

➤ Для вывода эпюры N щелкните по кнопке  – Эпюры продольных сил N (панель Усилия в стержнях на вкладке Анализ).

➤ Чтобы вывести мозаику усилия N , выберите команду  – Мозаика усилий в стержнях в раскрывающемся списке Эпюры/мозаика усилий (панель Усилия в стержнях на вкладке Анализ) (рис.10.1).

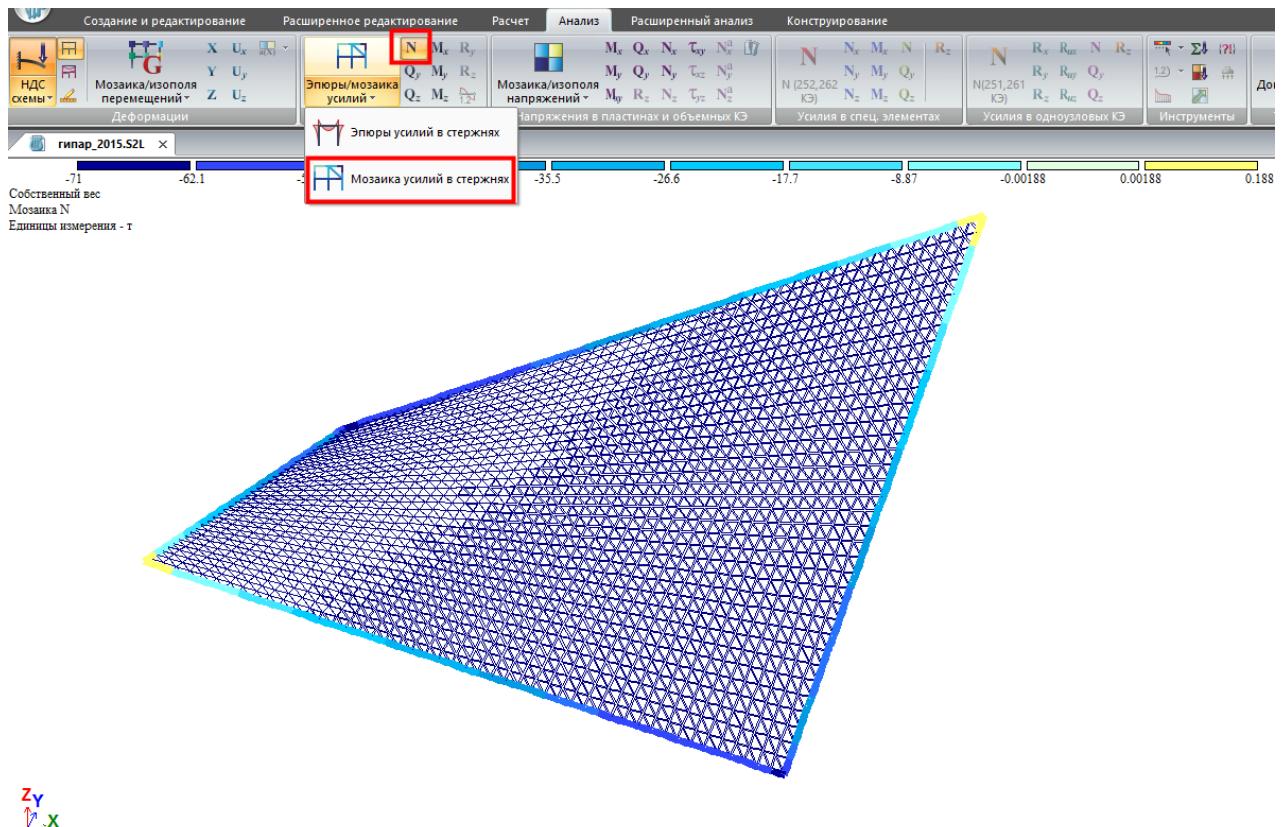


Рис.10.1. Мозаика усилий N в стержнях

Смена номера текущего загружения

➤ В строке состояния (находится в нижней области рабочего окна) в раскрывающемся списке Сменить номер загружения выберите строку следующего загружения (рис.10.2)

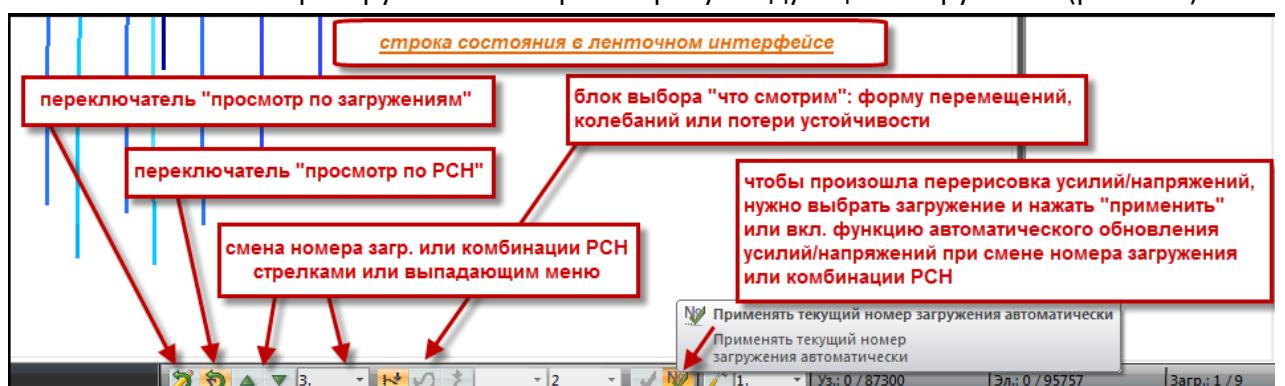


Рис.10.2. Описание строки состояния

Анализ результатов расчета по РСН

➤ Переключитесь на визуализацию результатов расчета по РСН щелчком по кнопке  – Перейти к анализу результатов по РСН в строке состояния (рис.10.2).

- Для переключения номера РСН, в строке состояния в раскрывающемся списке **Сменить номер загружения** выберите строку соответствующую нужному сочетанию и щелкните по



– Применить.

- и щелкните по кнопке – Применить.

Вывод на экран изополей перемещений

- Чтобы вывести на экран изополя перемещений по направлению Z, выберите команду



– Изополя перемещений в глобальной системе в раскрывающемся списке



– Изополя

Мозаика/изополя перемещений и после этого щелкните по кнопке

– Изополя перемещений по Z (панель Деформации на вкладке Анализ) (рис.10.3).

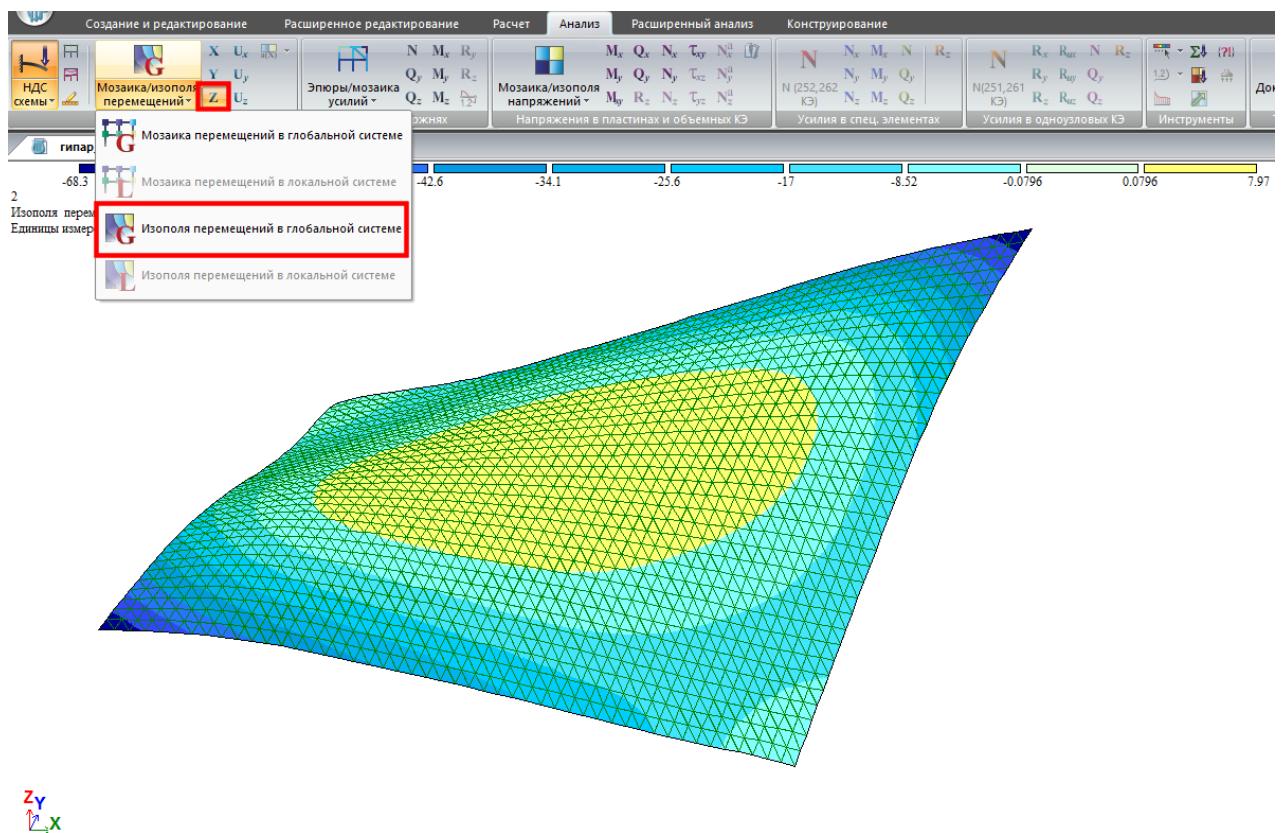


Рис.10.3. Изополя перемещений в глобальной системе по Z

Вывод на экран мозаик напряжений

- Чтобы вывести на экран мозаику напряжений по Mx, выберите команду – Мозаика напряжений в раскрывающемся списке Мозаика/изополя напряжений и после этого щелкните по кнопке – Мозаика напряжений по Mx (панель Напряжения в пластинах и объемных КЭ на вкладке Анализ).

- Для отображения мозаики напряжений по Nx, щелкните по кнопке – Мозаика напряжений по Nx (панель Напряжения в пластинах и объемных КЭ на вкладке Анализ) (рис.10.4).

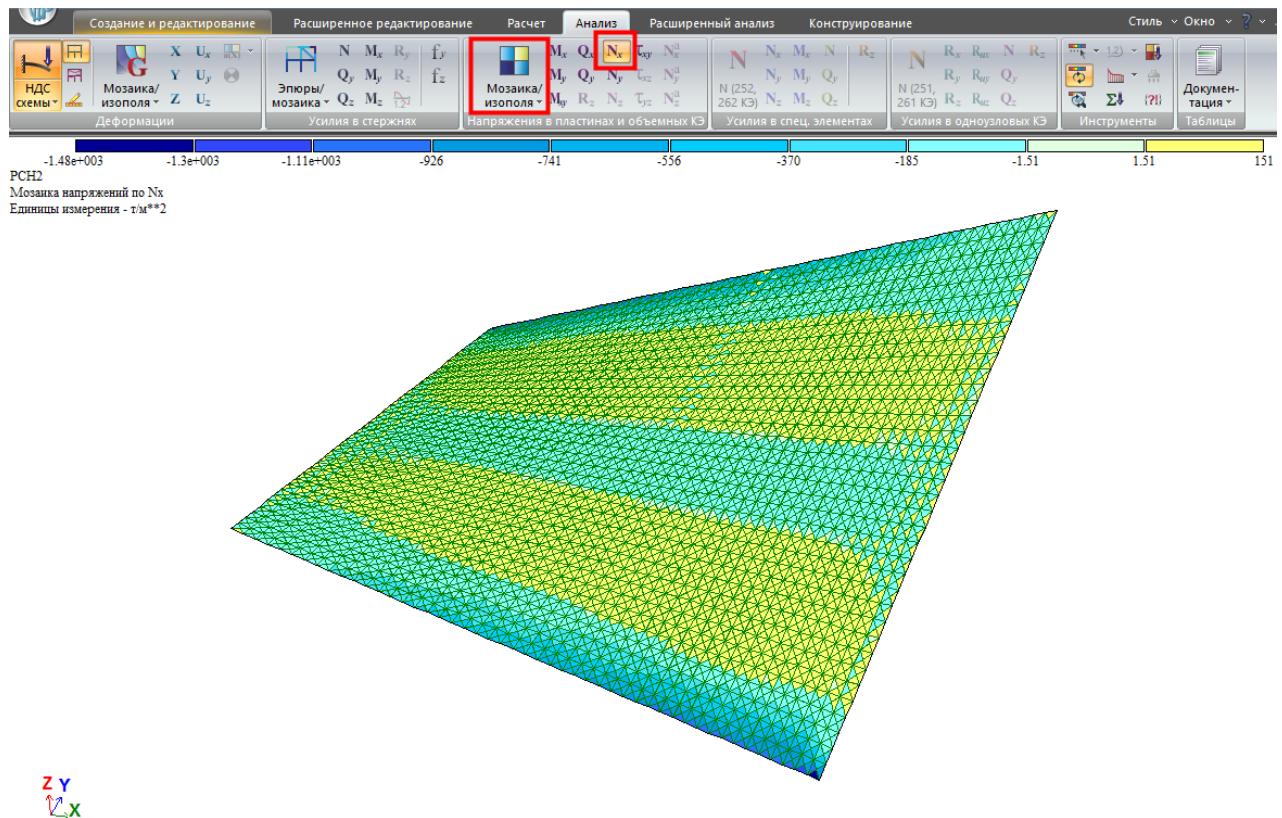


Рис.10.4. Мозаика напряжений N_x

Этап 13. Вычисление и просмотр главных напряжений

- Чтобы выполнить расчет главных напряжений, перейдите в закладку Расширенный анализ и выберете Литера Расчет (рис.11.1).
- В открывшемся диалоговом окне выберете расчет по сочетаниям. Затем щелкните по кнопке Выполнить расчет.

После расчета Мозаика/Изополя Литеры станут активными. (рис.11.2).

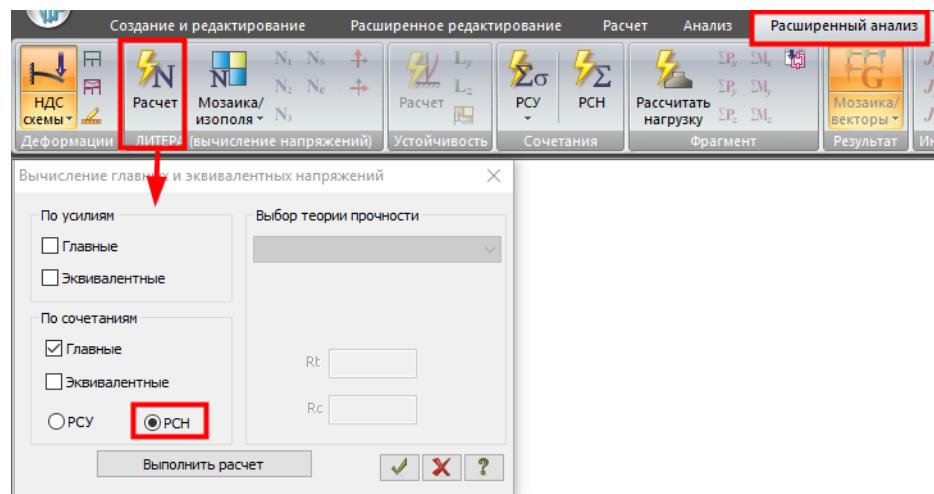


Рис.11.1. Диалоговое окно Вычисление главных и эквивалентных напряжений

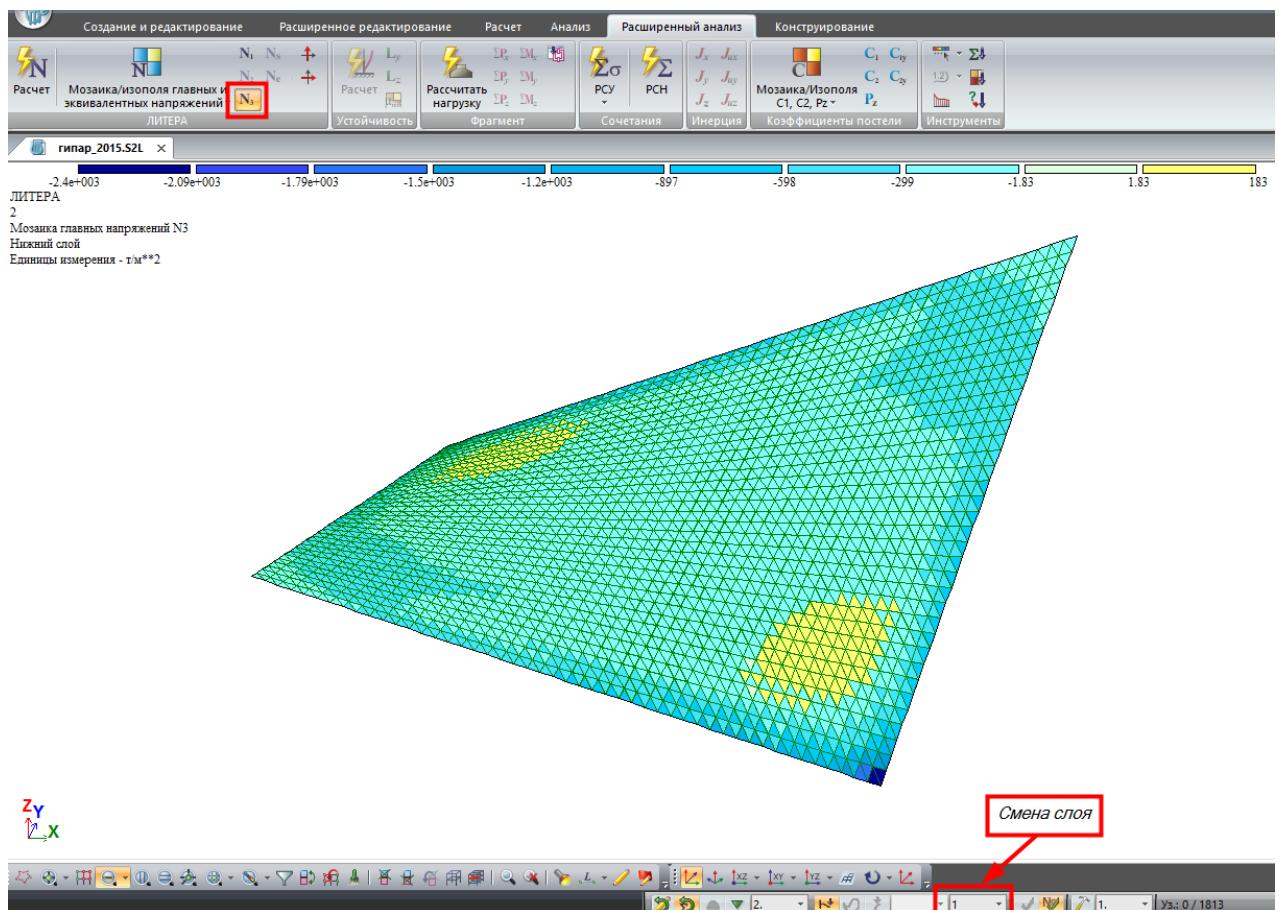


Рис.11.2. Мозаика главных напряжений

Этап 14. Просмотр и анализ результатов армирования



После расчета задачи, просмотр и анализ результатов армирования осуществляется на вкладке **Конструирование** (для стандартного стиля ленточного интерфейса) (рис.12.1)..

Просмотр результатов армирования

- Для просмотра информации о подобранный арматуре в одном из пластинчатых конечных элементов, щелкните по кнопке – **Информация об узле или элементе** на панели инструментов **Панель выбора** и укажите курсором на любой пластинчатый элемент.
 - В появившемся диалоговом окне перейдите на закладку **Арматура продольная** (в этом окне содержится полная информация о выбранном элементе, в том числе и с результатами подбора арматуры).
 - Чтобы посмотреть мозаику отображения площасти нижней арматуры в пластинах по направлению оси X1, щелкните по кнопке – **Нижняя арматура в пластинах по оси X1** (панель **ЖБ: армирование пластин** на вкладке **Конструирование**).
 - Чтобы посмотреть мозаику отображения площасти нижней арматуры в пластинах по направлению оси Y1, щелкните по кнопке – **Нижняя арматура в пластинах по оси Y1** (панель **ЖБ: армирование пластин** на вкладке **Конструирование**).
- Аналогично можно посмотреть верхнее армирование.



Рис.12.1. Вкладка конструирование

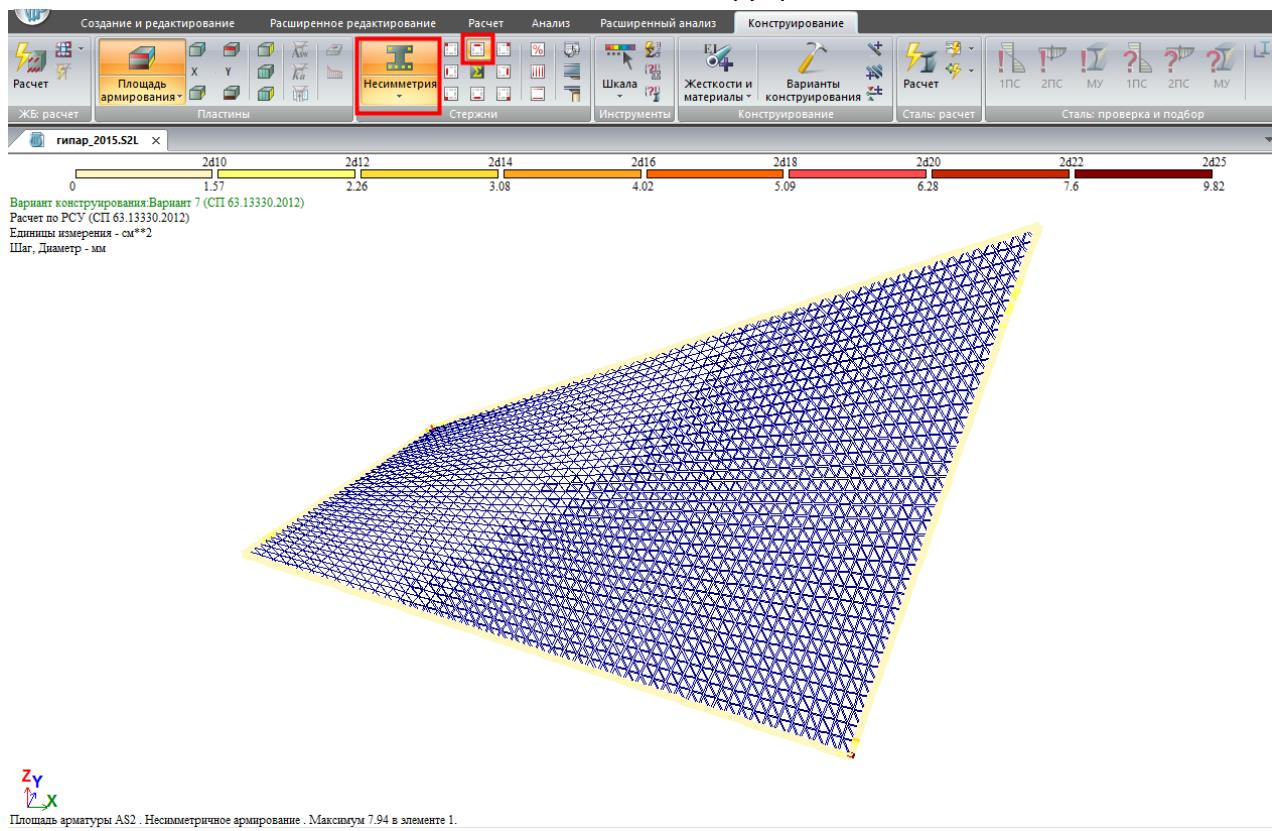


Рис.12.2. Верхнее армирование опорного контура

Составные оболочки отрицательной гауссовой кривизны (составные гипары)

Теоретическая часть

Составные оболочки отрицательной гауссовой кривизны (составные гипары), могут применяться для зданий с планом в виде прямоугольника с соотношением сторон от 1:1 до 1:2. В данном пособии рассматривается расчет и конструирование трех типов составных оболочек под условными называниями: «шатер» (составная оболочка с горизонтально расположенными коньками), «грибок» (оболочка с горизонтальным внешним контуром и с опорой на одну центральную колонну) и «цветок» (оболочка с горизонтальными ендовами и с опорой на четыре колонны, расположенные по центрам сторон основания), рис.1.

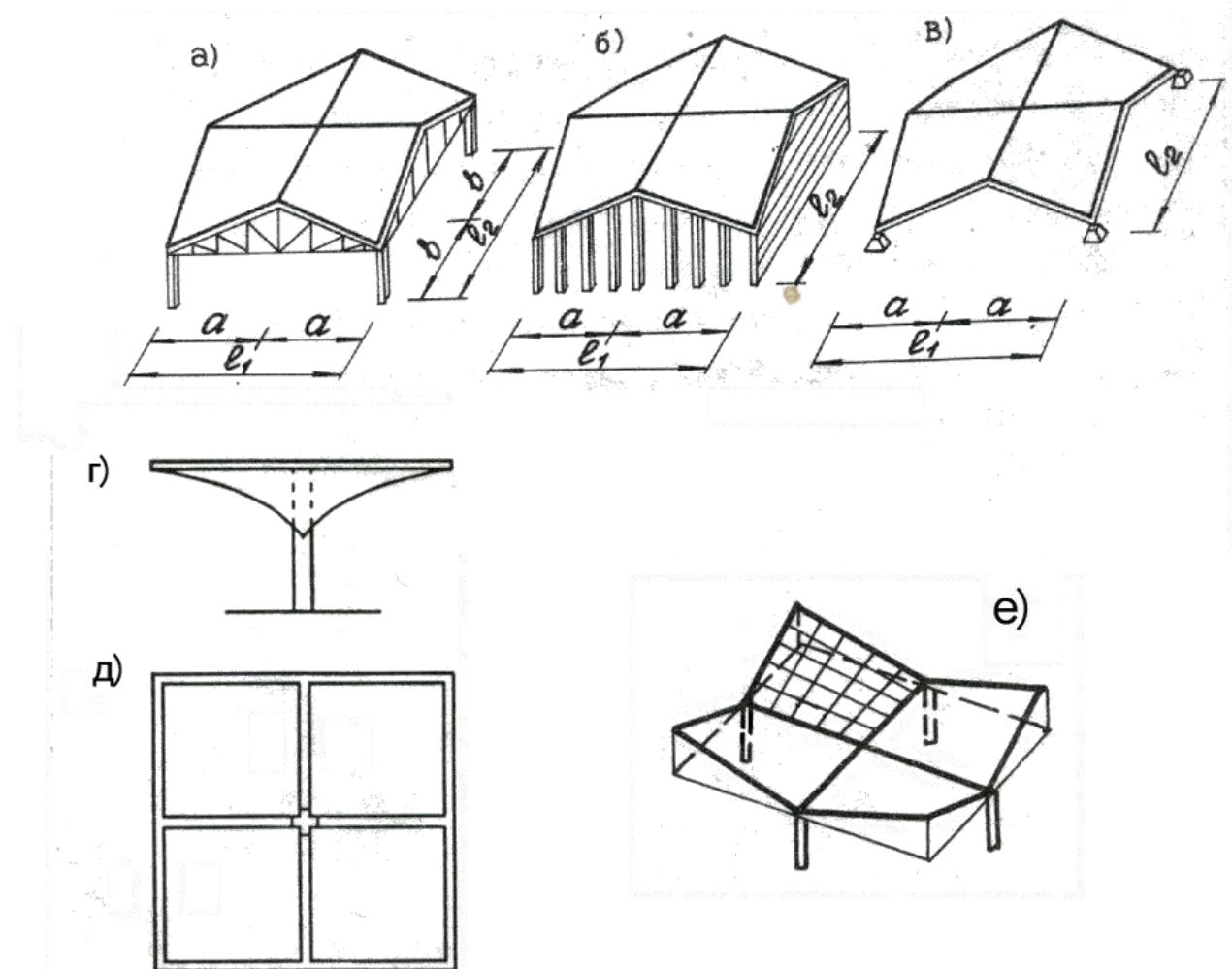


Рис. 1. Железобетонные гипары на квадратном плане:

а÷в – шатровый гипар; а – с опиранием на фермы; б – с опиранием на колонны и стены; в – с опиранием в ниспадающих углах на фундамент; г, д – гипар типа «грибок»; е – типа «цветок»

1. Составными оболочками перекрывают пролеты от 12 до 60 м. Различают пологие оболочки со стрелой подъема f от $1/10$ до $1/5$ пролета и непологие оболочки со стрелой подъема f от $1/5$ до $1/2$ пролета. Конструктивно оболочка состоит из собственно оболочки (скорлупы) и бортовых элементов на которые оболочка опирается. Высота бортового элемента принимается в пределах от $1/40$ до $1/80$ пролета в зависимости от условий его

опищения и величины пролета. Бортовые элементы опираются на диафрагмы которыми могут служить фермы, балки, колонны или сплошные стены, рис. 1. Если контурные элементы опираются на железобетонные колонны, то размеры поперечного сечения колонн должны быть такими, чтобы обеспечить их гибкость относительно любой оси не более $\lambda \leq 120$. Для прямоугольных колонн это условие обеспечивается, если ширина колонны вычисляется по эмпирической формуле

$$b_k = 7H_k/120, \quad (2)$$

где: b_k – ширина сечения колонны; H_k – высота колонны.

Толщина оболочек назначается в пределах $1/400 \div 1/600$ пролета гипара, но не менее 40 мм (конструктивное требование). При пролете гипара более 36 м возможно устройство ребер высотой от $1/100$ до $1/120$ пролета. Ширина ребер принимается от $1/5$ до $1/2$ их высоты. В местах сопряжения оболочки с бортовыми элементами необходимо предусматривать увеличение толщины оболочки в 1,5 - 2 раза для размещения второго ряда арматуры, чтобы воспринимать при опорные изгибающие моменты. Эти сопряжения необходимо выполнять гладкими на ширине не менее 10 толщин оболочки от бортового элемента. С точки зрения статической работы можно предположить, что выпуклые параболы оболочки работают подобно аркам на сжатие, а вогнутые зоны на растяжение подобно гибким нитям. Сжатые зоны оболочки необходимо проверить на устойчивость.

Устойчивость оболочки считается обеспеченной, если средняя интенсивность распределенной нагрузки q_{av} не превышает ее критического значения q_{cr}

$$q_{av} \leq q_{cr} = 0,05 E_b \cdot t^2 / (Rav)^2, \quad (3)$$

где: E_b – начальный модуль упругости бетона; t - толщина оболочки; Rav – средний радиус кривизны главной выпуклой параболы базовой оболочки (вдоль диагонали основания), вычисляемый по соотношению

$$Rav = (\ell^2 / 8f_p) + f_p / 2, \quad (4)$$

где: f_p – стрела подъема выпуклой параболы оболочки, определяемая в середине диагонали базового гипара; ℓ - длина диагонали основания базового гипара.

2. Поверхность составных оболочек состоит из четырех сочлененных базовых гипаров, по линии стыков которых устраиваются прямолинейные бортовые элементы.

Срединная поверхность базового гипара (четверти оболочки), в координатах, представленных на рис. 2 выражается уравнением

$$Z = f x y / (\alpha b). \quad (1)$$

где: f – стрела подъема; α и b – размеры сторон прямоугольного основания базового гипара, соответственно в направлениях X и Y.

3. В качестве материалов для возведения оболочки должен применяться бетон классов B20 и выше и проволочная и стержневая арматура. Для армирования поля оболочки используется проволочная арматура класса B400, диаметром от 4 до 6 мм, которая укладывается с шагом 100, 150 или 200 мм. Арматурные стержни могут располагаться как параллельно сторонам основания, так и параллельно диагоналям основания базового гипара, рис. 3. Для армирования контурных элементов применяется стержневая арматура классов A400 и выше, а при необходимости и напрягаемая проволочная арматура классов B500 и выше.

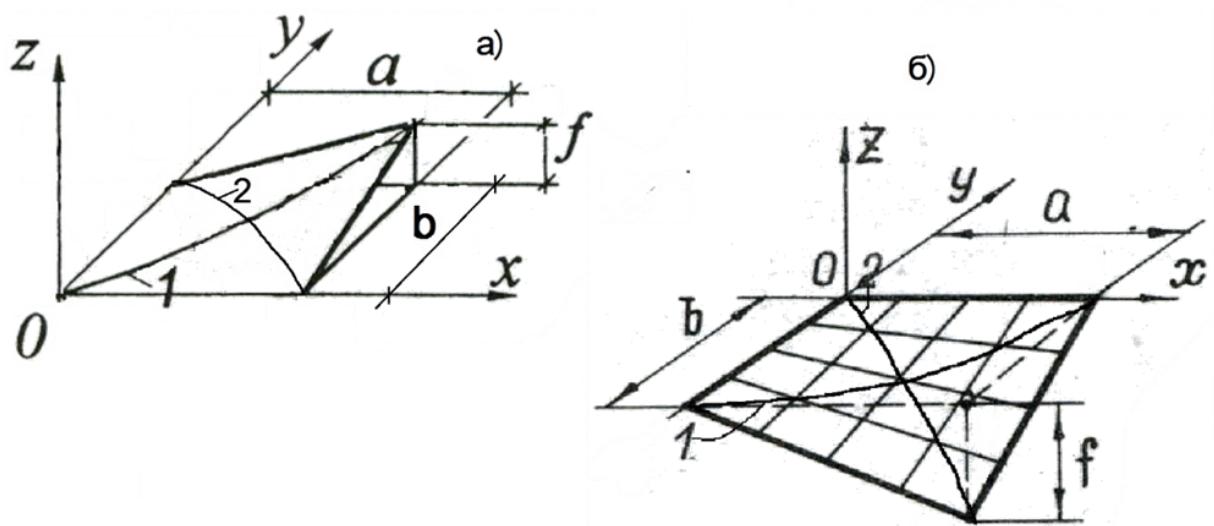


Рис. 2. Базовый гиперболический параболоид на прямоугольном плане:
а) – для построения оболочки типа «цветок»; б) – для построения оболочки типа «грибок»
1 - главная вогнутая парабола; 2 - то же, выпуклая

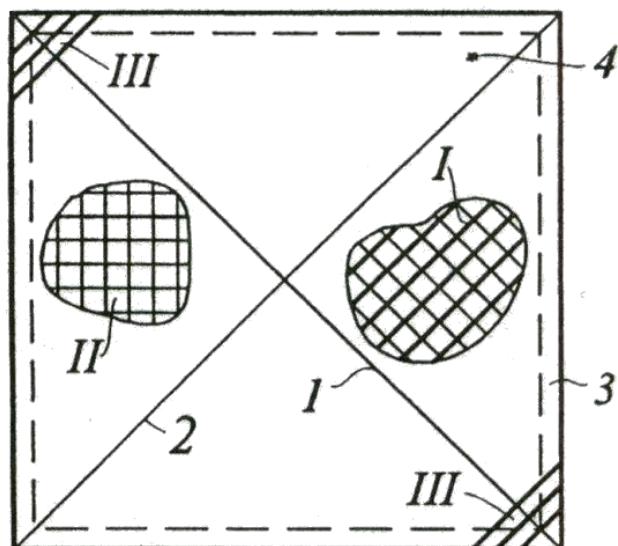


Рис. 3. Схемы армирования гипара:

- I – сетка со стержнями вдоль диагоналей;
- II – сетка со стержнями вдоль контурных элементов;
- III – дополнительная арматура в угловых зонах;
- 1 – выпуклая главная парабола;
- 2 – вогнутая главная парабола;
- 3 – бортовой элемент;
- 4 – собственно оболочка

4. В качестве расчетных принимаются два сочетания нагрузок: I сочетание - постоянная нагрузка (вес несущих конструкций и конструкций кровли) плюс снеговая нагрузка по всей поверхности оболочки; II сочетание - постоянная нагрузка плюс снеговая нагрузка на половине поверхности оболочки.

ПРИМЕР №2а – «Шатер с колоннами и фермами»

Рассчитать и законструировать монолитную железобетонную оболочку отрицательной гауссовой кривизны типа «шатер» с утепленной кровлей, на прямоугольном плане размерами $2a = 24\text{м} \times 2b = 24\text{м}$. Снеговой район - III. Высота опорных колонн 4 м. В качестве диафрагм принимаем металлические фермы, в которых верхним поясом является бортовой элемент оболочки. Длину панели фермы принимаем равной 3 м. В качестве нижнего пояса принимаем прямоугольные трубы сечением $260 \times 160 \times 8\text{ мм}$, для решетки используем такие же трубы квадратного сечения $160 \times 8\text{ мм}$.

Сборку схемы выполняем в препроцессоре САПФИР, а расчет и конструирование в программном комплексе «ЛИРА-САПР».

В качестве базовой принимаем оболочку на квадратном плане, со стороной $a = 12\text{ м}$. Принимаем геометрические параметры базового гипара: $f = 24\text{м}/6 = 4\text{м}$; высоту контурного элемента

$$h_{\text{кон}} = 24\text{м}/80 = 0.3\text{м} = 30\text{ см},$$

ширину контурного элемента из конструктивных соображений принимаем равной высоте

$$b_{\text{кон}} = 30\text{ см};$$

толщина средней части оболочки

$$t = 12\text{ м}/300 = 0,04\text{ м}; \text{ принимаем } t = 5\text{ см}.$$

Форма срединной поверхности базовой оболочки будет описываться соотношением (1)

$$z = 4x \cdot y / (12^2) = x \cdot y / 36 \quad (5)$$

Характеристики материалов принимаем согласно [6]:

бетон класса В25, $R_b = 14,5\text{ МПа}$, $R_{bt} = 1,05\text{ МПа}$, $\gamma_{b2} = 0,9$, $E_b = 30000\text{ МПа}$.

Для собственно оболочки принимаем проволочную арматуру класса В400, $R_s = 410\text{ МПа}$, $R_{sc} = 375\text{ МПа}$, для бортовых элементов и колонн арматуру класса А400, $R_s = 365\text{ МПа}$, $R_{sc} = 375\text{ МПа}$.

Нагрузки на конструкцию приведены в Таблице 1 для Примера №1 «Гипар».

Проверим устойчивость оболочки по соотношению (3).

Вычислим средний радиус кривизны главной выпуклой параболы.

$$\ell = (\alpha^2 + b^2)^{0.5} = (12^2 + 12^2)^{0.5} = 16,97\text{ м}.$$

Вычисляем стрелу подъема главной выпуклой параболы базового гипара. Максимальная стрела подъема f_p находится в точке с координатами $x = a/2$, $y = b/2$. По соотношению (5) находим

$$f_p = z(\alpha/2, b/2) = f \cdot (\alpha/2 \cdot b/2) / (\alpha b) = f / 4 = 4 / 4 = 1\text{ м}.$$

$$Rav = \ell^2 / (8f_p) + f_p/2 = 16,97^2 / (8 \cdot 1) + 1/2 = 36,5\text{ м},$$

Вычисляем критическую нагрузку

$$q_{\text{cr}} = 0,05 E_b \cdot t^2 / (Rav)^2 = 0,05 \cdot 30000 \cdot (100) \cdot 0,05^2 / (36,5)^2 = 0,281 \text{ т/м}^2 = 2810 \text{ н/м}^2.$$

Полная расчетная нагрузка на оболочку:

$$q_{\text{av}} = 507 + 1375 + 2000 = 3882 \text{ н/м}^2.$$

$$q_{\text{cr}} = 2810 \text{ н/м}^2 < 3882 \text{ н/м}^2.$$

Устойчивость оболочки не обеспечена. Увеличиваем толщину оболочки до $t = 7\text{ см}$.

Пересчитываем полную расчетную нагрузку на оболочку:

$$q_{\text{av}} = 507 + (0,07 \cdot 25000 \cdot 1,1) + 2000 = 4432 \text{ н/м}^2.$$

$$q_{\text{cr}} = 0,05 E_b \cdot t^2 / (Rav)^2 = 0,05 \cdot 30000 \cdot 100 \cdot 0,07^2 / (36,5)^2 = 0,5516 \text{ т/м}^2 = 5516 \text{ н/м}^2.$$

$5516 \text{ н/m}^2 > 4432 \text{ н/m}^2$. Устойчивость обеспечена.

Толщина оболочки в месте примыкания к бортовому элементу на ширине 1,0 м плавно меняется от 14 см до 7 см (для конечно элементной схемы: в полосе 0,5м от контурного элемента – 11 см, в полосе от 0,5 м до 1 м – 9 см), рис. 4.

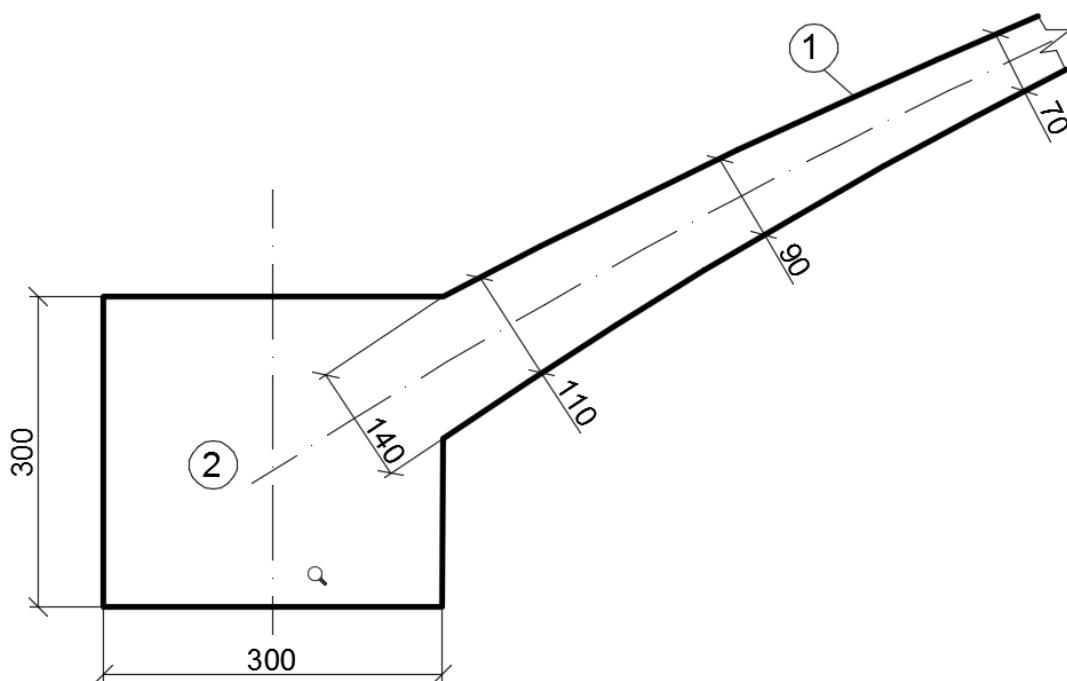


Рис. 4. Примыкание оболочки к бортовому элементу: 1 – оболочка; 2 – бортовой элемент

Этап 2. Создание составной оболочки типа «шатер»

(Этап 1 «Создание нового проекта и настройка его свойств» см. в примере с «Гипаром»)

Редактирование Структуры проекта

- Вызовите диалог создания нового здания щелчком по кнопке - **Создать здание** в служебном окне **Структура**
- В появившемся диалоговом окне введите название «Оболочка типа «шатер»» (рис.2.1)

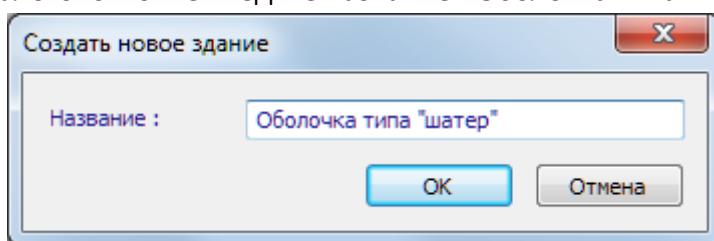


Рис. 2.1. Диалоговое окно **Создать новое здание**

- Нажмите на кнопку **OK**
- Щелкните по кнопке - **Создать этаж** в служебном окне **Структура**
- В поле ввода **Высота этажа** введите значение «4000» (рис.2.2)

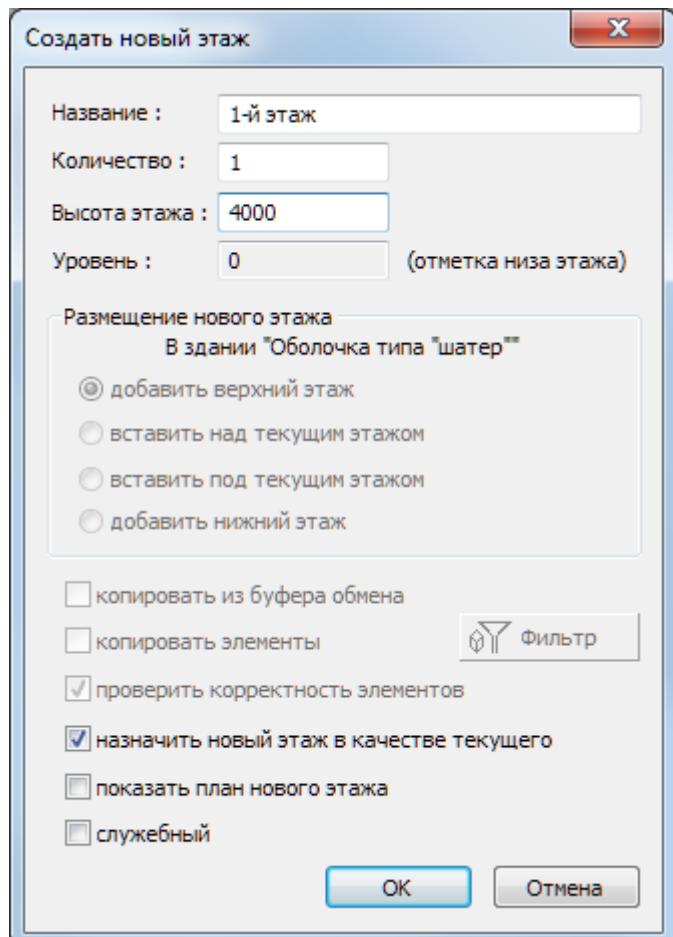


Рис. 2.2. Диалоговое окно Создать новый этаж

- Нажмите на кнопку **OK**

Создание оболочки типа «шатер»

- Выполните щелчок по кнопке - **Линии и поверхности** (панель Поверхности на вкладке Создание).
- Нажмите на кнопку - **Новая функция** в закладке **Поверхность z=f(x,y)**
- В диалоговом окне введите следующие значения в полях (рис.2.3):
 - **z=f(x,y) – a*x*y;**
 - **Параметры – a=1/36;**
 - **x min = 0, max=-12;**
 - **y min = 0, max=12;**
 - **n = 24;**
 - **n = 24**

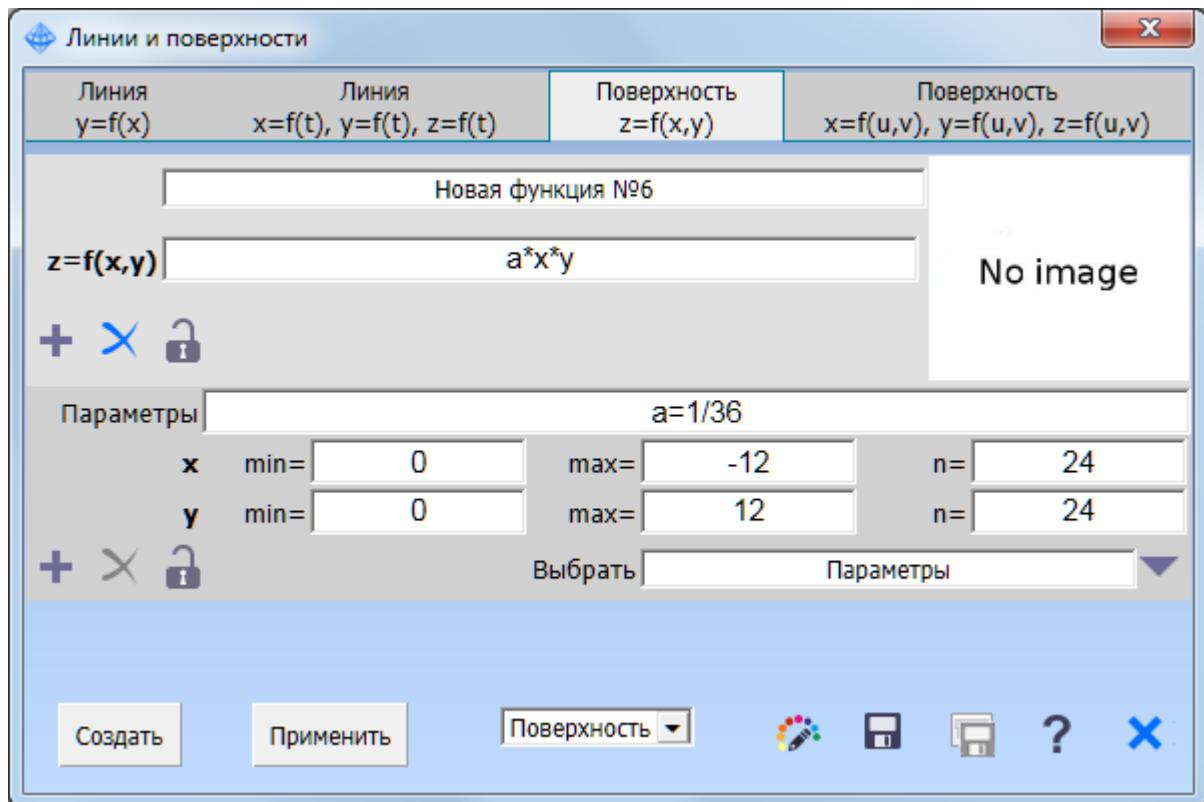


Рис. 2.3. Диалоговое окно **Линии и поверхности**

- Нажмите на кнопку **Создать**
- Нажмите на кнопку - Выход
- Выделите поверхность щелкнув по ней левой кнопкой мышки
 - В строке **Интерпретация** выберите из раскрывающегося списка - **Несущий конструктив**
 - После этого щелкните по кнопке - **Применить**.
- Не снимая выделения с оболочки щелкните по кнопке - **Поворот вокруг ЛСК** в раскрывающемся списке **Поворот** на панели **Корректировка** на вкладке **Редактирование**
- В диалоговом окне задайте следующие данные (рис.2.4):
 - Угол поворота – 90;
 - Число повторений – 3;
 - Поставьте «галочку» напротив строки **сделать копию объектов**
 - Нажмите на кнопку **Выполнить**

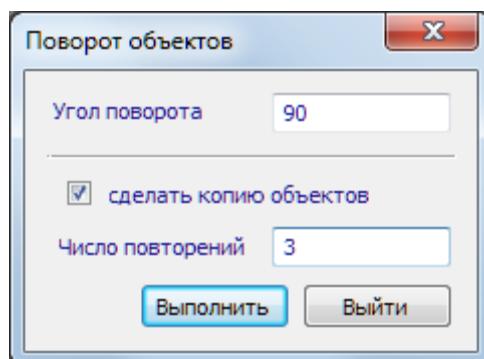


Рис.2.4. Диалоговое окно **Поворот объектов**

- С зажатой кнопкой **Shift** произведите выделение, кликнув левой кнопкой мышки по невыделенным частям оболочки



- Щелкните по кнопке - **Перенос по координатам** на в раскрывающемся списке **Перенос** на панели **Корректировка** в закладке **Редактирование**
- В диалоговом окне в строке **Приращение Z, мм** введите значение – **8000** (рис.2.5)
- Нажмите на кнопку **Выполнить**
- Нажмите кнопку **Esc**

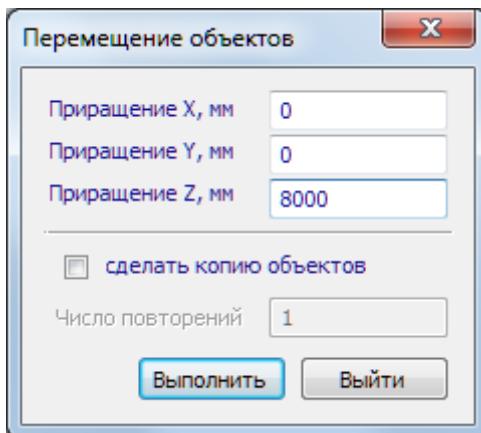


Рис.2.5. Диалоговое окно Перемещение объектов

Этап 3. Создание опорных элементов: колонн, ферм и балок

Создание колонн



- Выполните щелчок по кнопке - **Колонна** в раскрывающемся списке **Колонна** (панель **Инструменты построения** на вкладке **Создание**). В диалоговом окне свойств отобразятся свойства построения колонны.
- В диалоговом окне **Свойства построения: Колонна** щелкните напротив строки **Материал**.
- В открывшемся диалоговом окне **Материалы** выберите из списка материал **Бетон Б25**.
- После этого щелкните по кнопке **OK** (после закрытия списка строка **Бетон Б25** демонстрируется напротив параметра **Материал** как текущий выбранный материал).
- Вызовите диалоговое окно **Параметры сечения** (рис.3.1) щелчком по кнопке в строке свойств инструмента Колонна.
- В открывшемся диалоговом окне задайте следующие параметры:
 - в списке типов сечений выберите тип **Прямоугольник(S0)**;
 - задайте параметр **b=500мм**;
 - задайте параметр **h=500мм**
- После этого щелкните по кнопке **OK**.

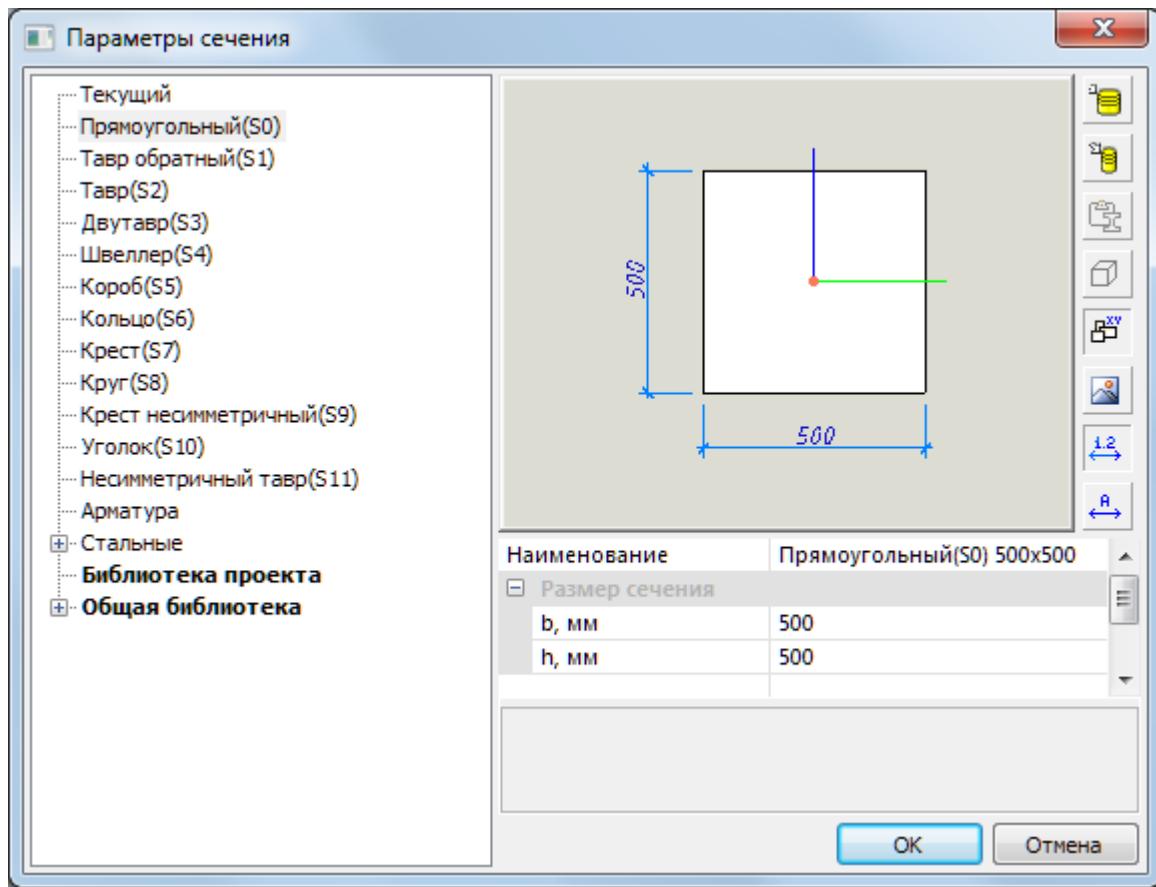


Рис.3.1. Диалоговое окно **Параметры сечения**

- В строке **Формировать АЖТ** установите значение – нет.
- Отключите кнопку - Формировать контуры продавливания на панели свойств инструмента Колонна
- Нажмите на кнопку - **Вид сверху** на панели **Проекции и виды**
- Произведите расстановку колонн в углах оболочки с помощью щелчка левой кнопки мышки (рис.3.2)

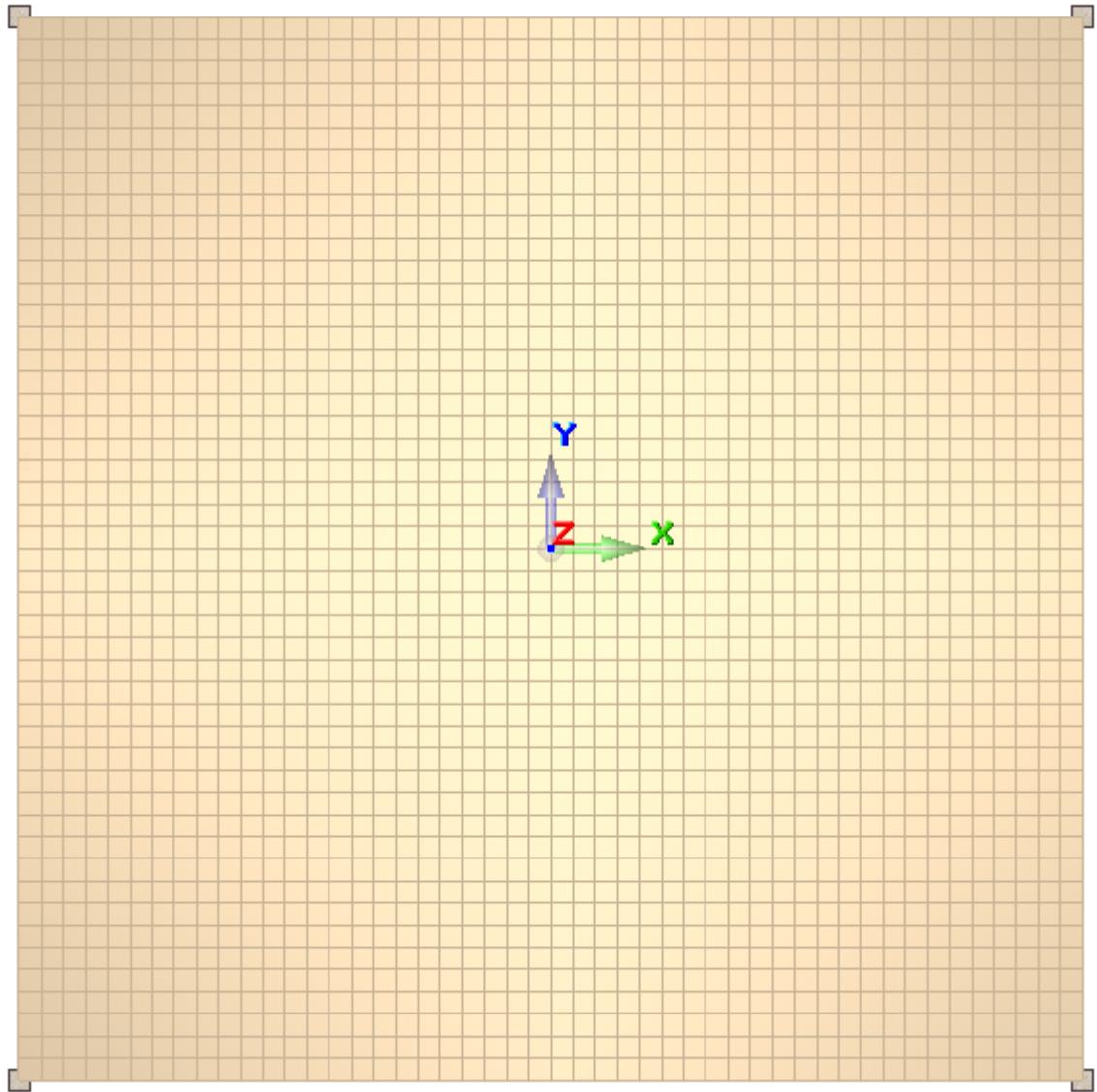


Рис.3.2. Схема расположения колонн по углам оболочки

Создание ферм



- Выполните щелчок по кнопке - Двускатная ферма в раскрывающемся списке **Ферма** (панель Инструменты построения на вкладке **Создание**).
- Нажмите на кнопку Параметры в строке свойств инструмента **Ферма**.
- В появившемся диалогов окне задайте следующие параметры:
 - **H2, мм** – 4000;
 - **Длина фермы, мм** – 24000;
 - **Кол-во секций, шт.** – 4;
- Нажмите на кнопку - Решетка.
- Выберите тип решетки - Треугольная с дополнительными стойками T007
- Задайте следующие сечения для элементов:

- Верхний пояс - Прямоугольный(S0) 300x300;
- Нижний пояс - Прямоугольная труба Гн.0240 x 160 x 8;
- Стойки - Прямоугольная труба 160 x 160 x 8;
- Раскосы - Прямоугольная труба 160 x 160 x 8

- После этого щелкните по кнопке - Сохранить и выйти.
- Щелкните по кнопке - Аналитическая модель на панели Визуализация
- Установите две фермы, указав щелчком левой кнопки мышки точки вставки (верх стержня колонн) 1 и 2 (рис.3.3)

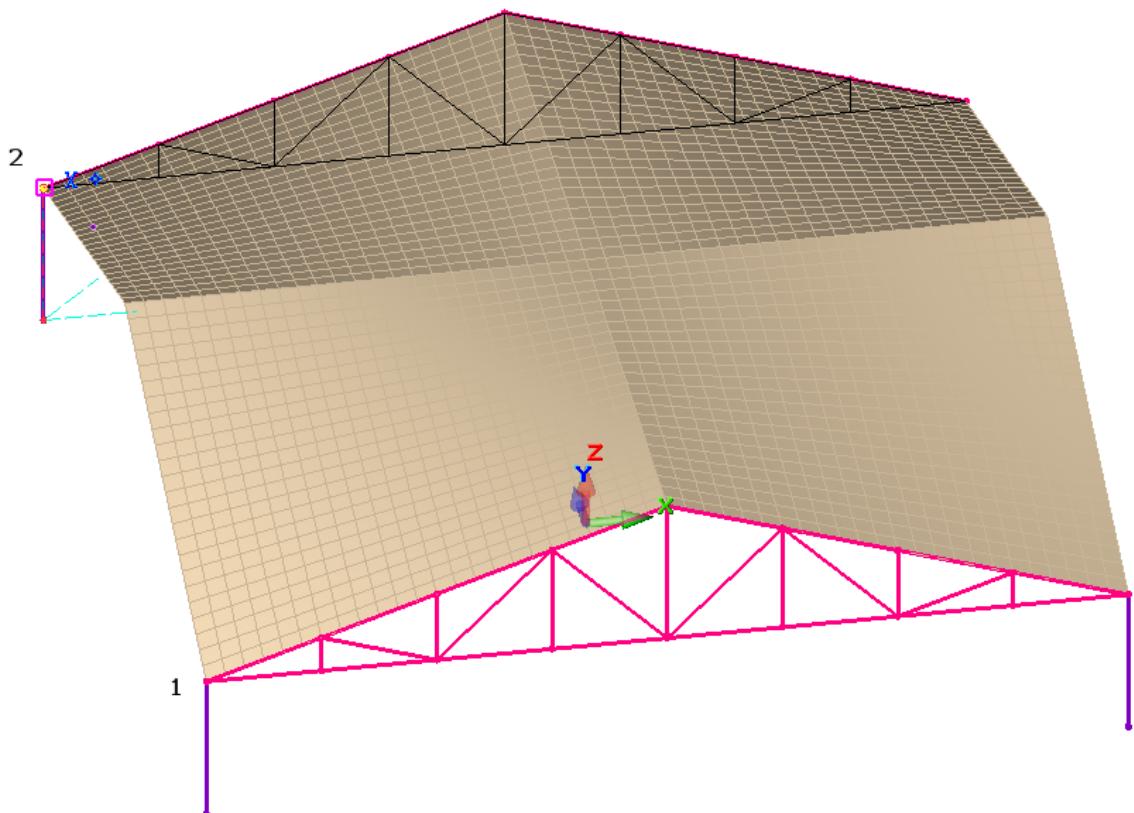


Рис.3.3. Точки 1 и 2 для вставки ферм

- В строке свойств инструмента Ферма в поле ввода напротив значению 90
- Сделайте расстановку двух оставшихся ферм (рис.3.4)

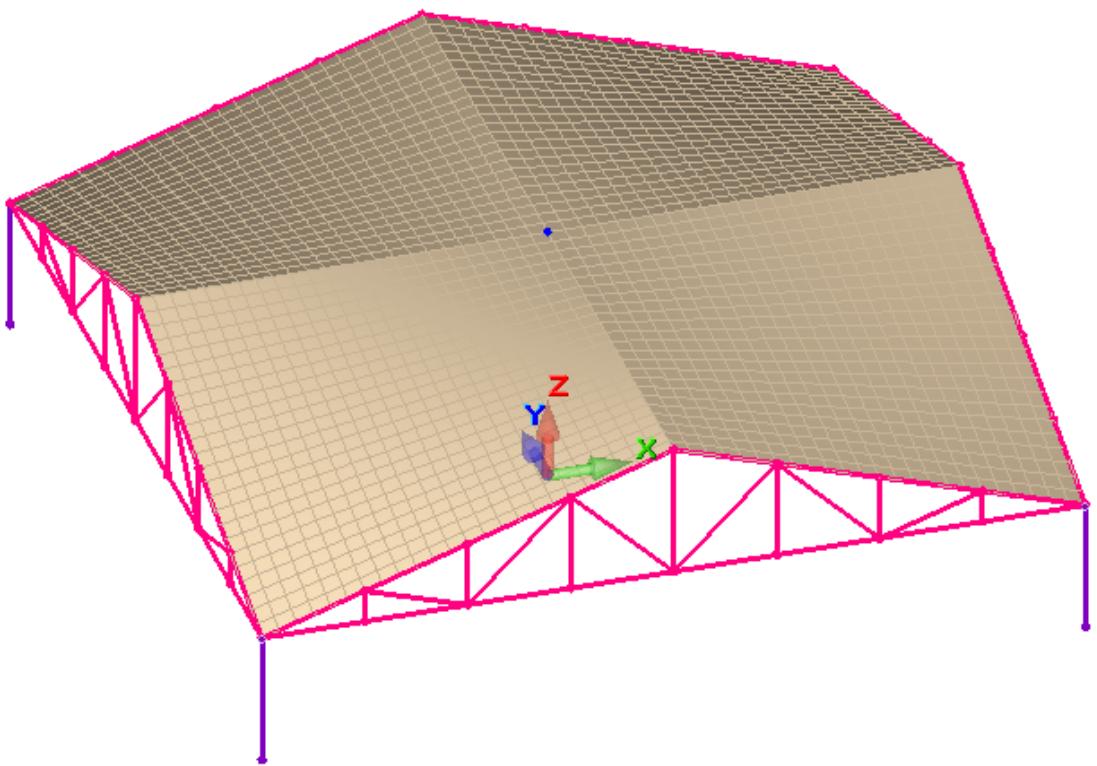


Рис.2.10. Схема расположения ферм в модели

Создание контурных элементов - балок



- Выполните щелчок по кнопке - Балка в раскрывающемся списке Балка (панель Инструменты построения на вкладке Создание). В диалоговом окне свойств отобразятся свойства построения балки.
- В диалоговом окне Свойства построения: Балка щелкните напротив строки Материал.
- В открывшемся диалоговом окне Материалы (рис.3.5) выберите из списка материал Бетон B25.

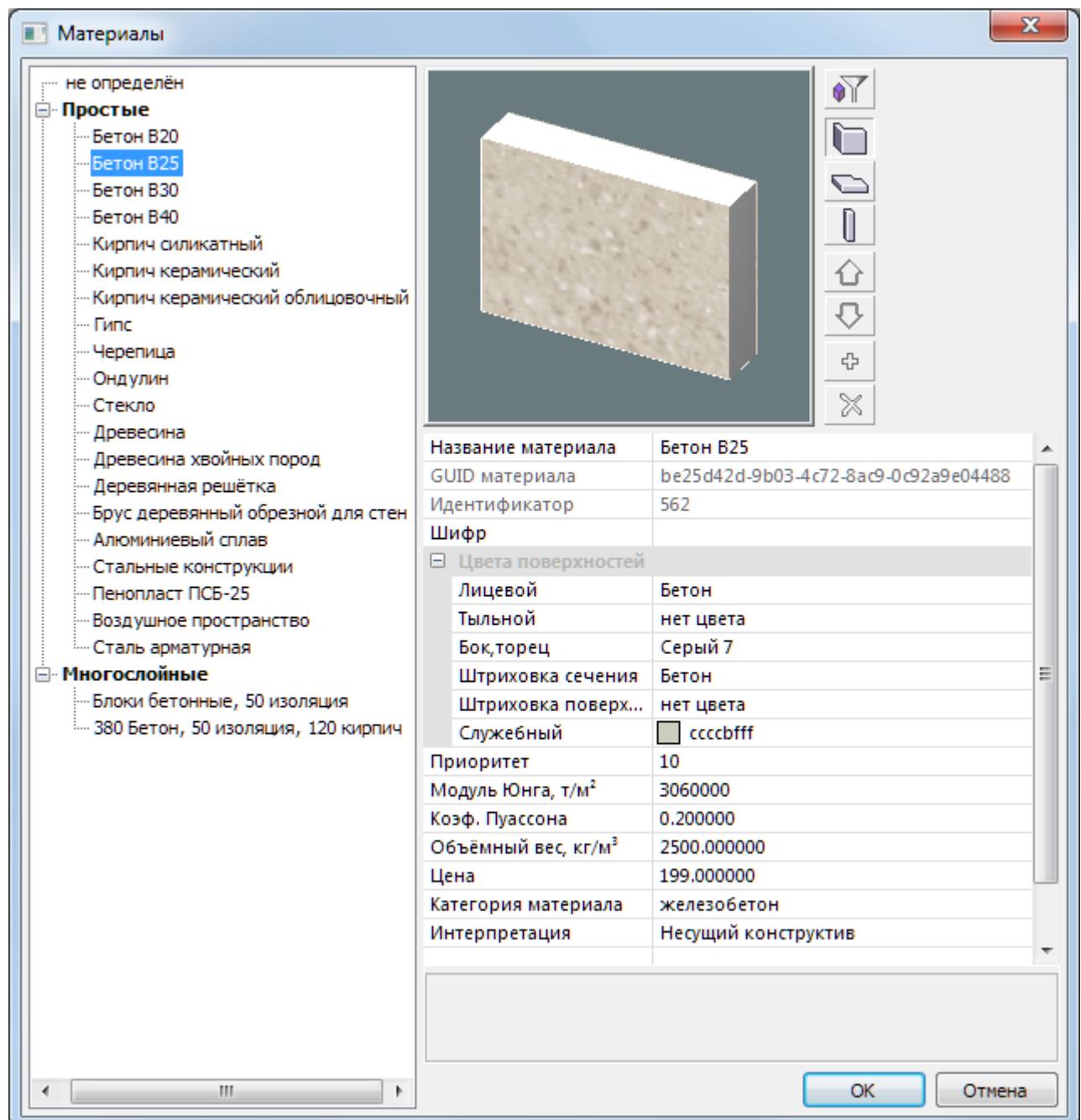


Рис.3.5. Диалоговое окно **Материалы**

- После этого щелкните по кнопке **OK** (после закрытия списка строка **Бетон B25** демонстрируется напротив параметра **Материал** как текущий выбранный материал).
- Вызовите диалоговое окно **Параметры сечения** (рис.3.6) щелчком по кнопке в строке свойств инструмента Балка.
- В открывшемся диалоговом окне задайте следующие параметры:
 - в списке типов сечений выберите тип **Прямоугольник(S0)**;
 - задайте параметр **b=300мм**;
 - задайте параметр **h=300мм**
- После этого щелкните по кнопке **OK**.

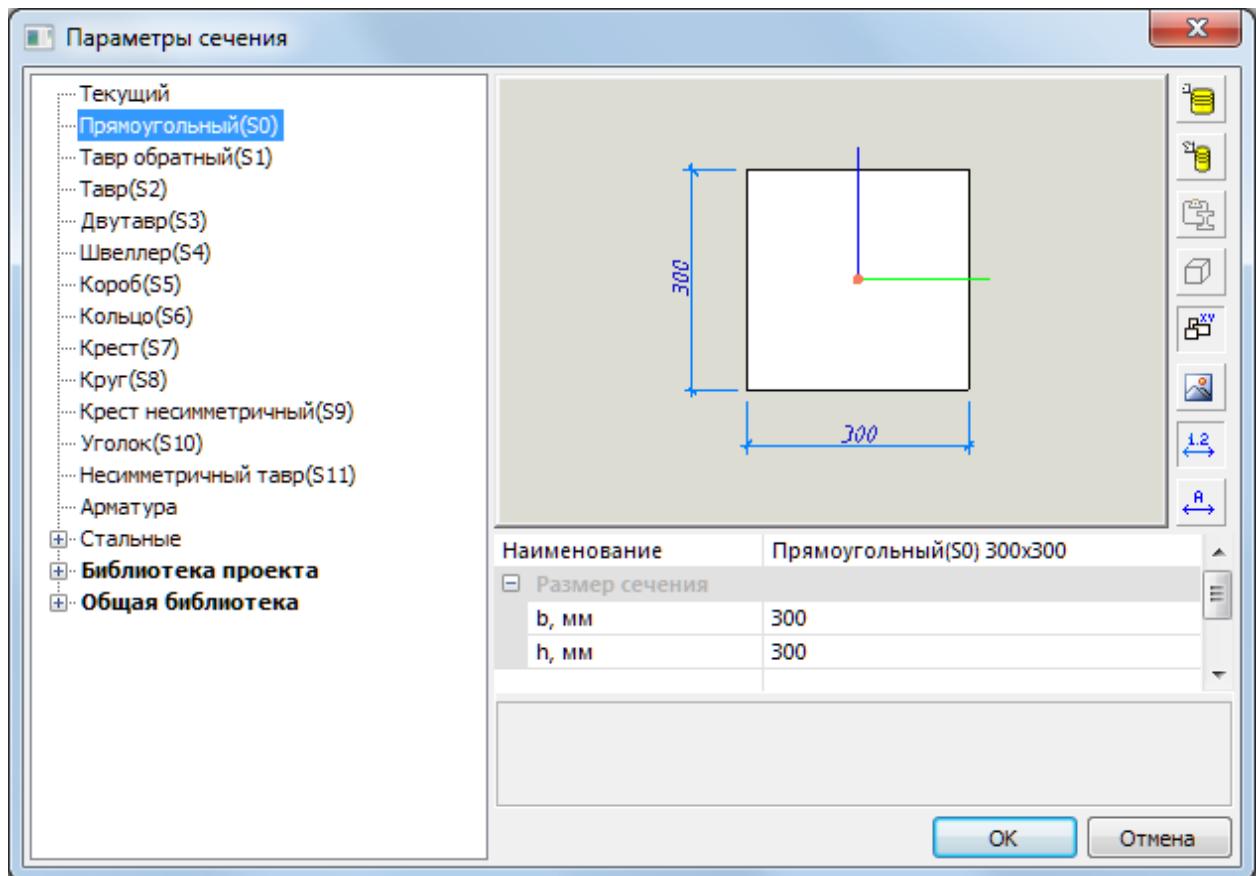


Рис.3.6 Диалоговое окно **Параметры сечения**

- В строке свойств инструмента Балка выберите способ построения - Отрезок
- Произведите построение 2-х балок, последовательно указывая левой кнопкой мышки начало и конец для каждой из балок. Точки 1 и 2 – начало и конец первой балки, точки 3 и 4 – соответственно второй (рис.3.7)

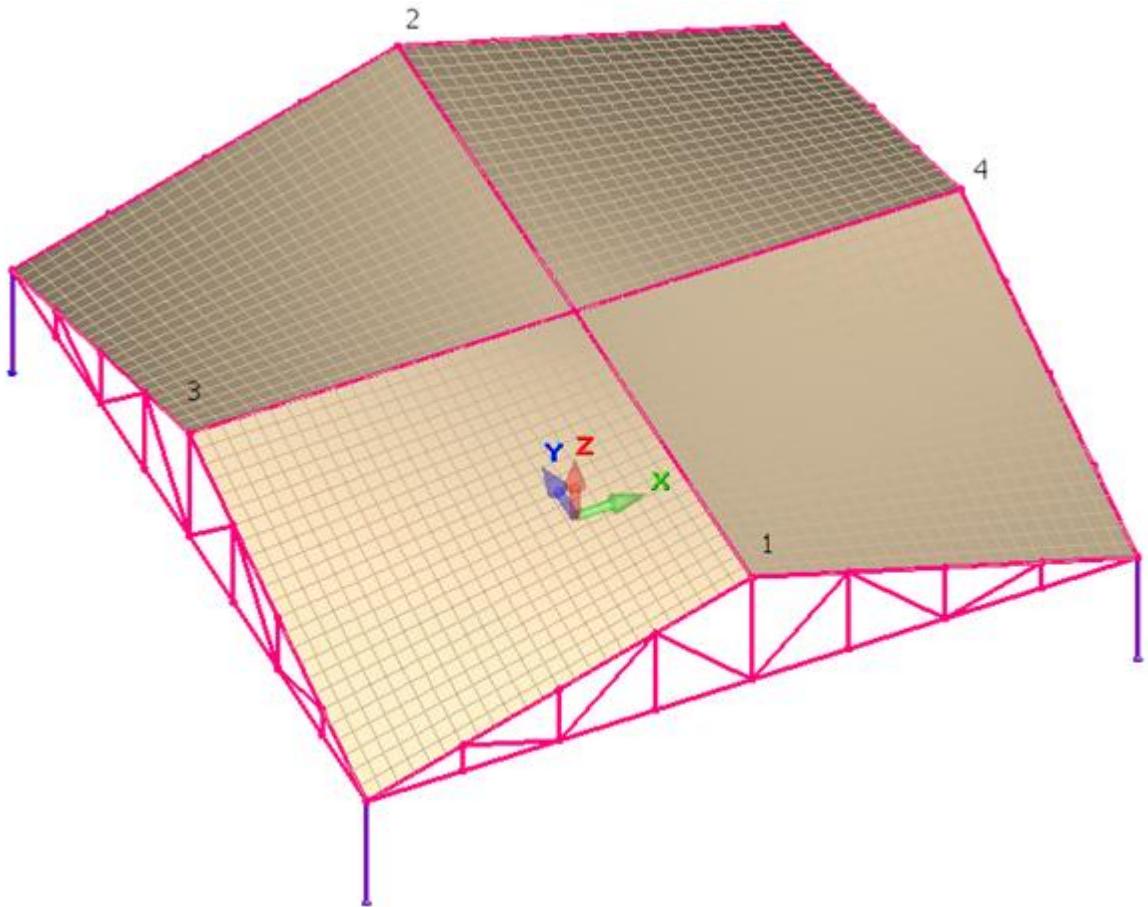


Рис.3.7 Расположение балок в модели. 1 и 2 – точки начала и конца первой балки, 3 и 4 – второй.

Этап 4. Создание закреплений

Создание закреплений

- В служебном окне **Структура** выполните щелчок правой кнопки мышки по папке **Колонны**, выберите из появившегося контекстного меню **Выделить** 
- Выполните щелчок по кнопке  - **Жесткое защемление** (панель **Аналитическая модель: корректировка** на вкладке **Аналитика**). В строке свойств из раскрывающегося списка выберите  - **Низ колонны, стены**.
- Нажмите на кнопку  - **Наложить выбранные граничные условия**.
- **Отожмите кнопку**  - **Аналитическая модель** на панели **Визуализация**
- **Нажмите кнопку Esc**

(Этап 5 «Создание загружений и назначение нагрузок» см. в примере с «Гипаром»)

Этап 6. Создание конечно-элементной модели (МКЭ)

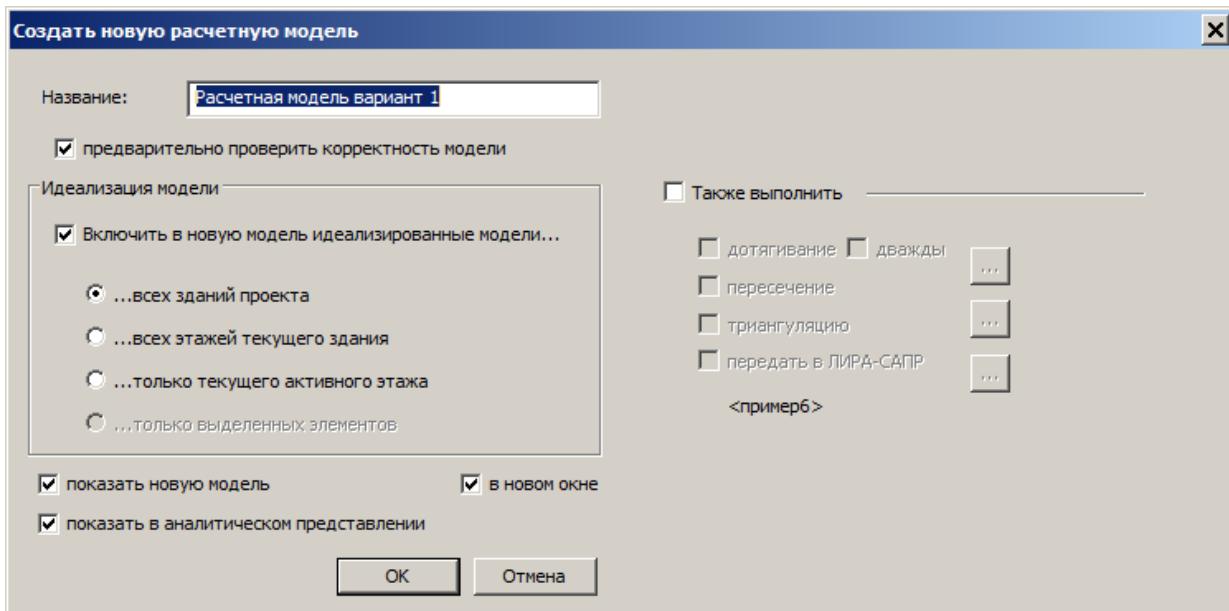
Создание расчетной модели

- Вызовите диалоговое окно **Создать новую расчетную модель** (рис.5.1) щелчком по кнопке  - **Расчетная модель** (на вкладке **Аналитика**).



Кнопка **Расчетная модель** переключает из режима создания расчетной схемы к инструментам расчетной модели и обратно.

- В открывшемся диалоговом окне щелкните по кнопке **OK** (откроется новая закладка окна под названием **ФИО.spf:Расчетная модель**).



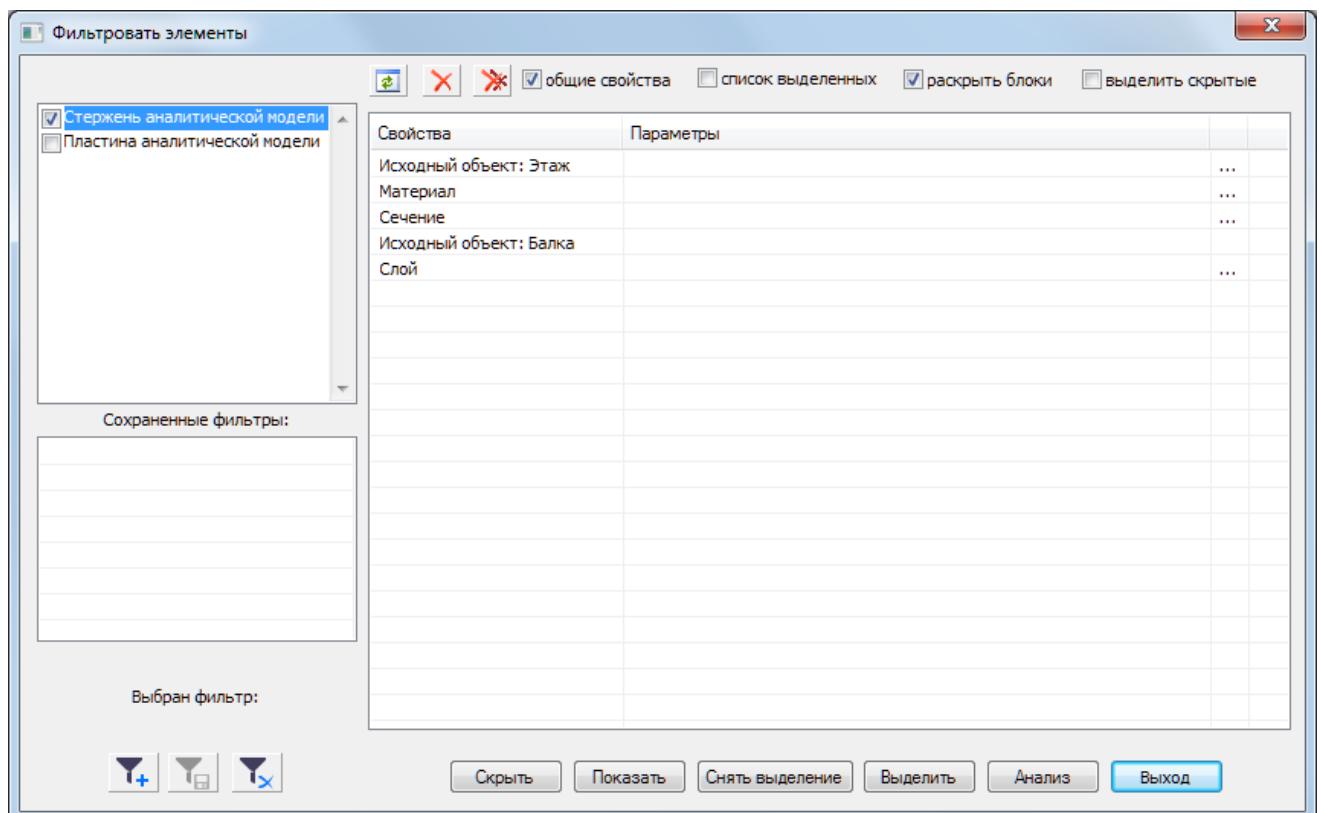
*Рис.5.1. Диалоговое окно **Создать новую расчетную модель***



Перед созданием расчетной модели автоматически пройдет проверка модели на ошибки. Если программа обнаружит ошибки, она выдаст предупреждение. Ошибочные элементы рекомендуется устранить.

Назначение материала и толщин пластинам оболочки

- В фильтре - **Фильтр элементов** на панели **Визуализация** указываем следующее:
- ставим «галочку» напротив **Стержень аналитической модели**
 - выбираем команду **Скрыть** (рис.5.2)
 - убираем «галочку» напротив **Стержень аналитической модели**
 - ставим «галочку» напротив **Пластина аналитической модели**
 - выбираем команду **Выделить**
 - закрываем диалог щелкнув по кнопке **Выход**



*Рис.5.2. Диалоговое окно **Фильтровать элементы***

- Для выделенных пластин в служебном окне Параметры назначаем материал:
 - В диалоговом окне **Материалы** (рис.5.3) выберите из списка материал **Бетон Б25**

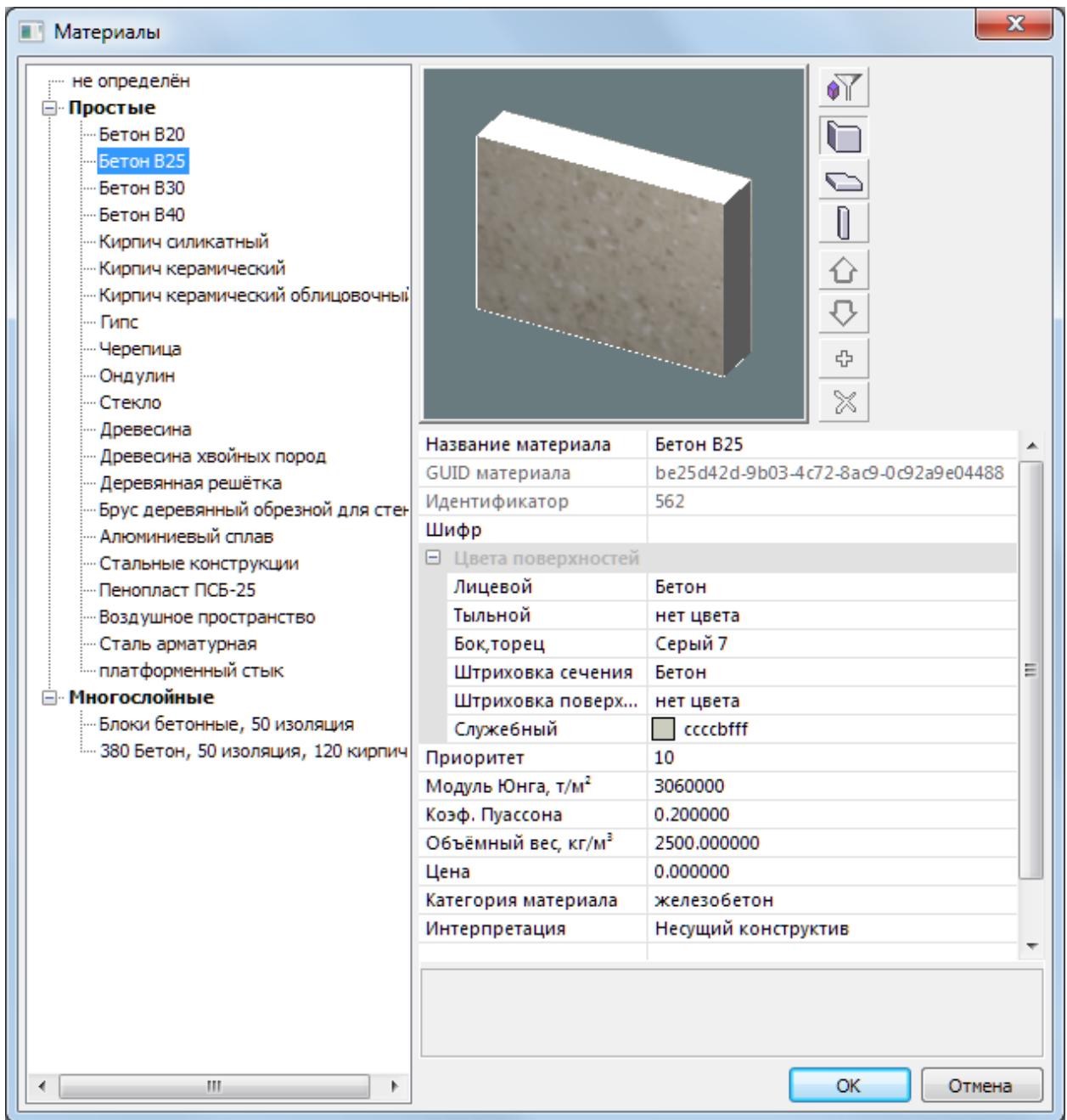
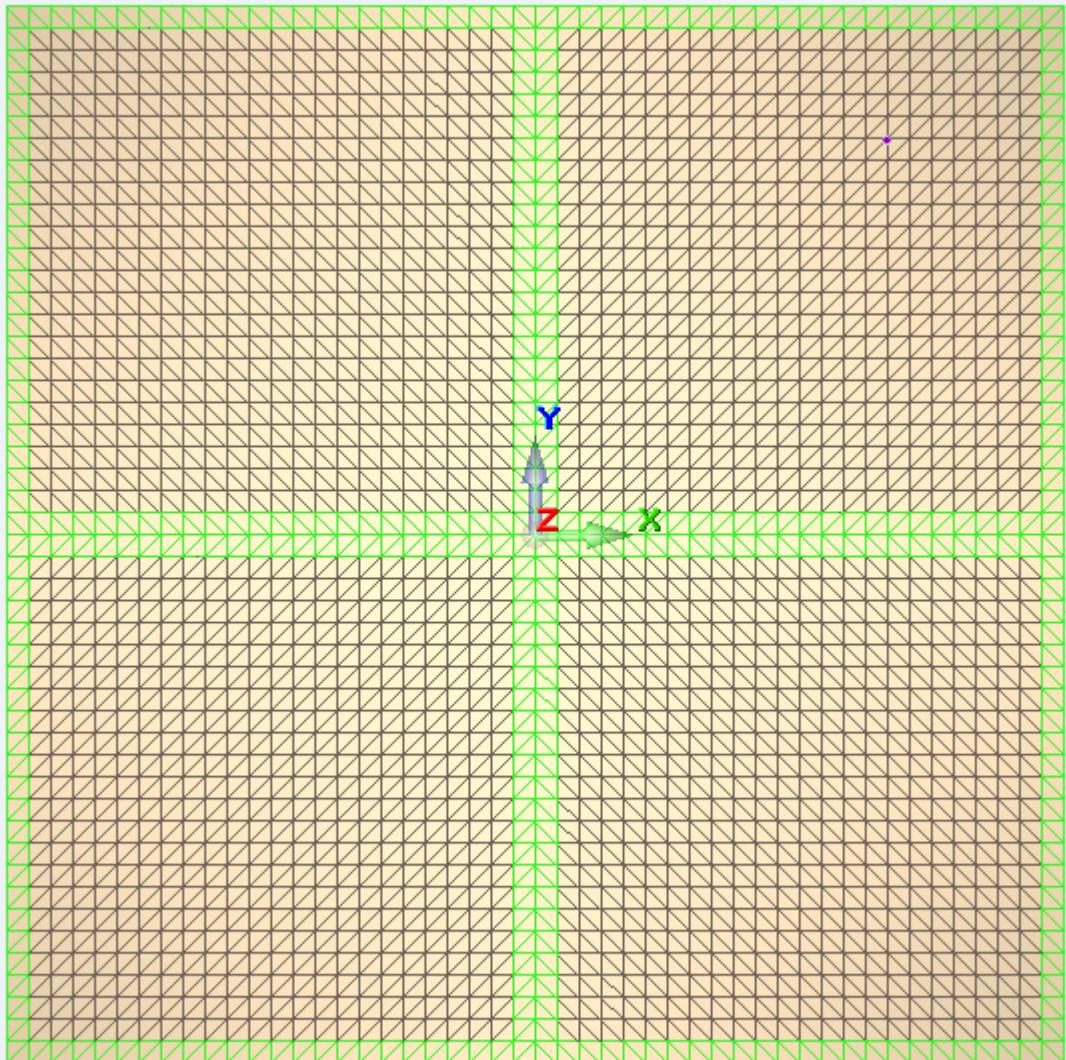


Рис.5.3. Диалоговое окно **Материалы**

- После этого щелкните по кнопке **OK** (после закрытия списка строка **Бетон B25** демонстрируется напротив параметра **Материал** как текущий выбранный материал);
- После этого щелкните по кнопке - **Применить**.
- Нажмите кнопку **Esc** для снятия выделения.
- Щелкните по кнопке - **Вид сверху** на панели **Проекции и виды**
- Для задания полосе пластин шириной 0,5 м от контурного элемента толщины 110 мм:
 - Способом выделения «рамка» с зажатой кнопкой **Shift** выделяем пластины оболочки, расположенные на расстоянии 0,5 м от контурных элементов (рис. 5.4)



**Рис.5.4. Выделение пластин на расстоянии 0,5 м от контурных элементов
(визуализируется зеленым цветом)**

- В служебном окне **Параметры** назначаем выделенным пластинам толщину 110 мм (рис.5.5)
- После этого щелкните по кнопке ✓ - Применить

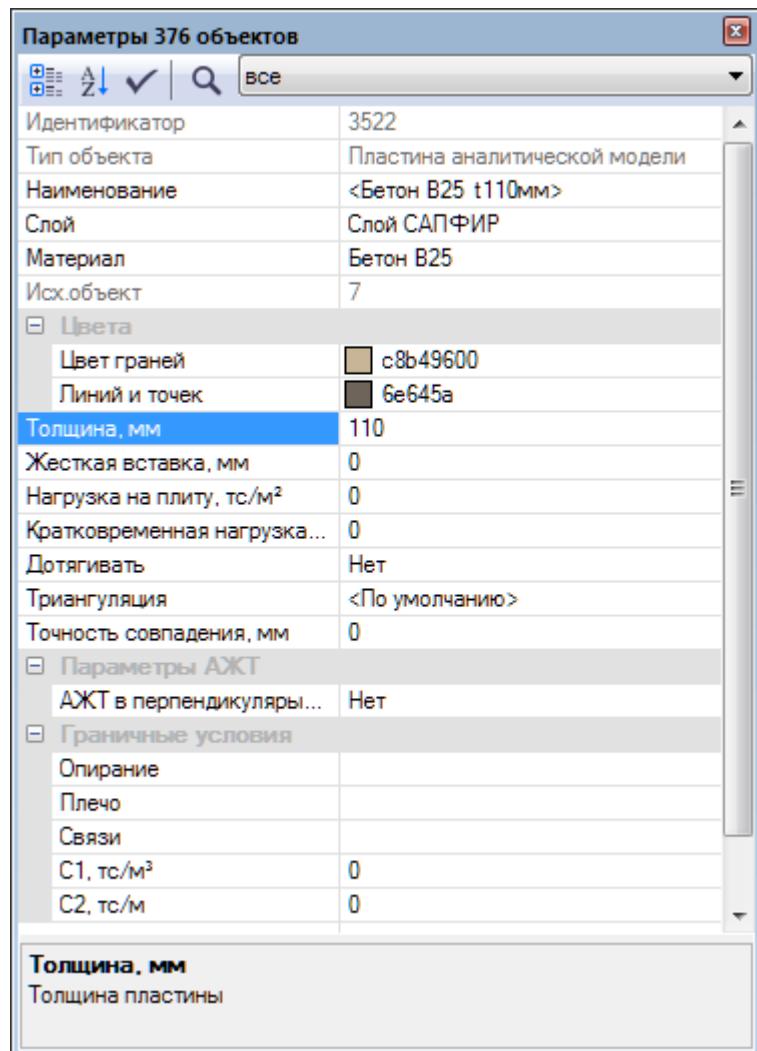


Рис.5.5. Служебное окно Параметры

- Нажимаем на кнопку - Скрыть выделенные на панели Визуализация
- Для задания пластинам в полосе от 0,5 м до 1 м от контурных элементов толщины 90 мм:
 - Способом выделения «рамка» с зажатой кнопкой Shift выделяем полосу крайних пластин оболочки шириной 0,5 м (рис.5.6)

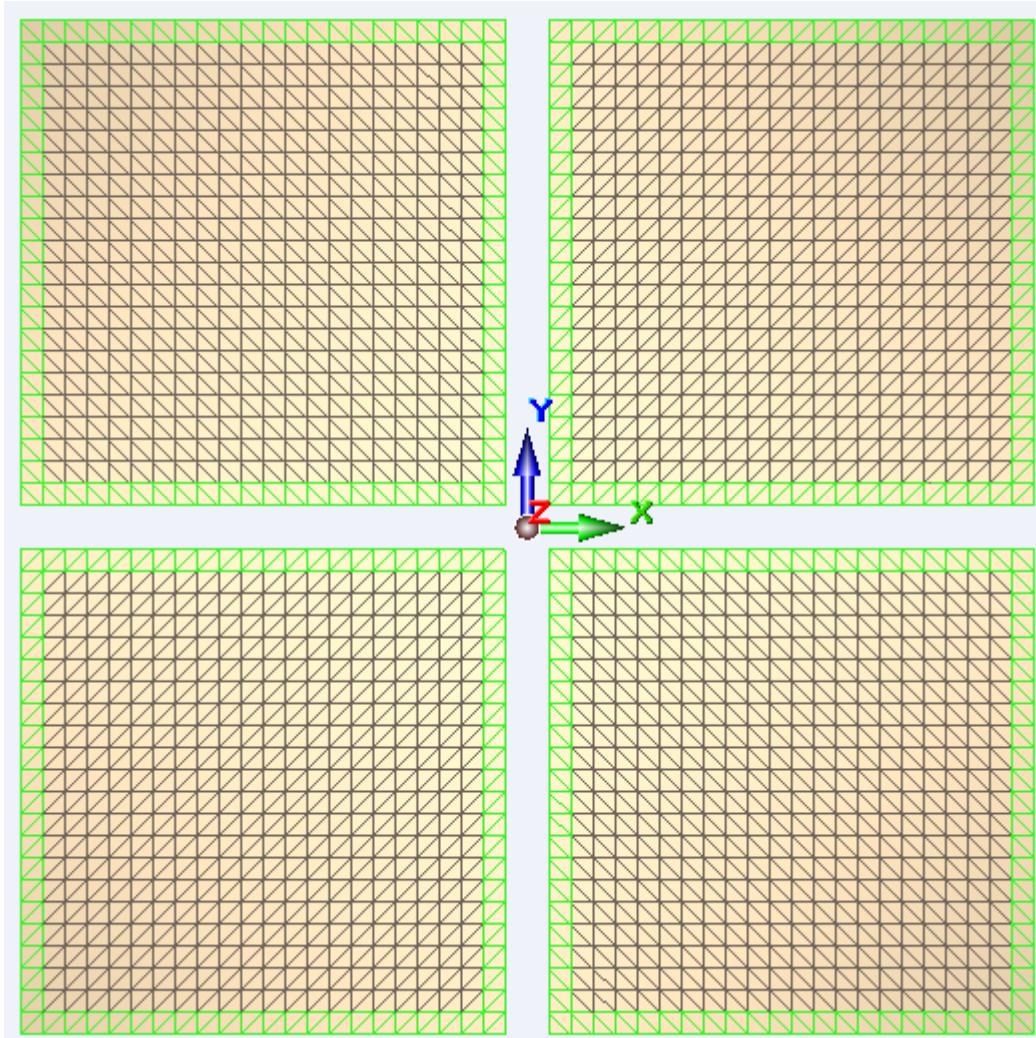


Рис.5.6. Выделение пластин на расстоянии от 0,5 м до 1 м от контурных элементов (визуализируется зеленым цветом)

- В служебном окне Параметры назначаем выделенным пластинам толщину 90 мм
- После этого щелкните по кнопке - Применить

• Нажимаем на кнопку - Скрыть выделенные на панели Визуализация

- Для задания оставшимся пластинам толщины 70 мм:
- Способом выделения «рамка» выделяем оставшиеся пластины оболочки
 - В служебном окне Параметры назначаем выделенным пластинам толщину 70 мм

- После этого щелкните по кнопке - Применить
- Щелкаем по кнопке - Показать все элементы на панели Визуализация

Идеализация модели

- Щелкните по кнопке - Найти пересечения в раскрывающемся списке Пересечь (панель Расчетная модель: триангуляция на вкладке Аналитика).
- В открывшемся диалоговом окне САПФИР (рис.5.7) щелкните по кнопке Да.

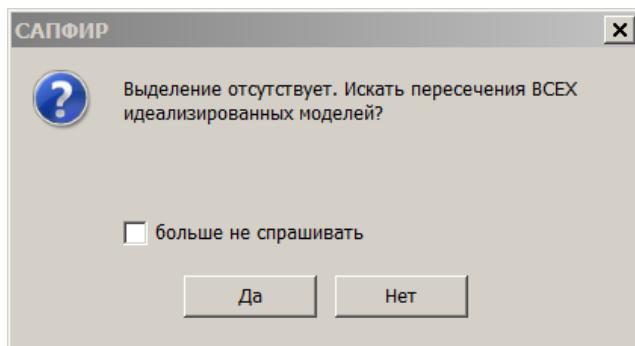


Рис.5.7. Диалоговое окно САПФИР

- Расчетная модель с выполненными пересечениями будет выглядеть следующим образом (рис.5.8)

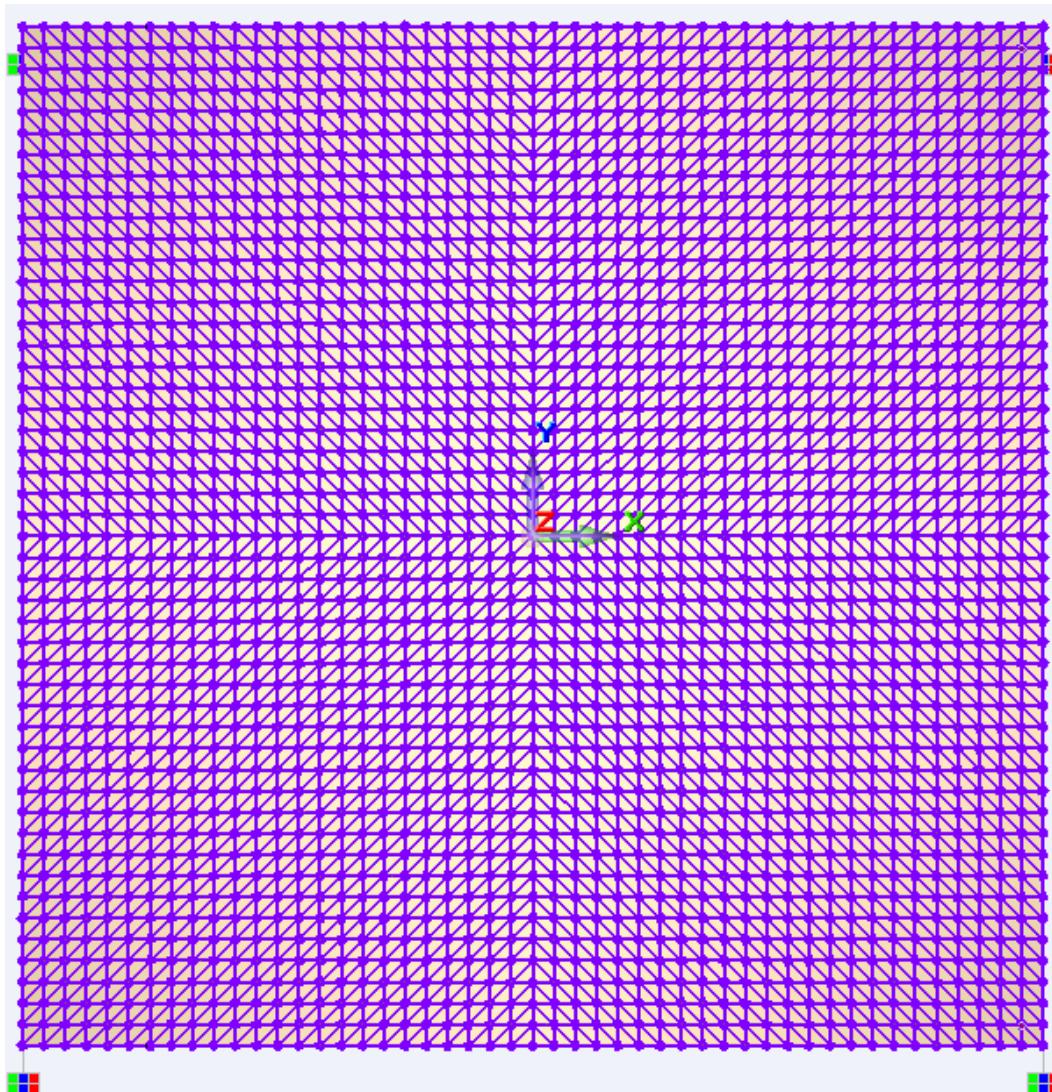
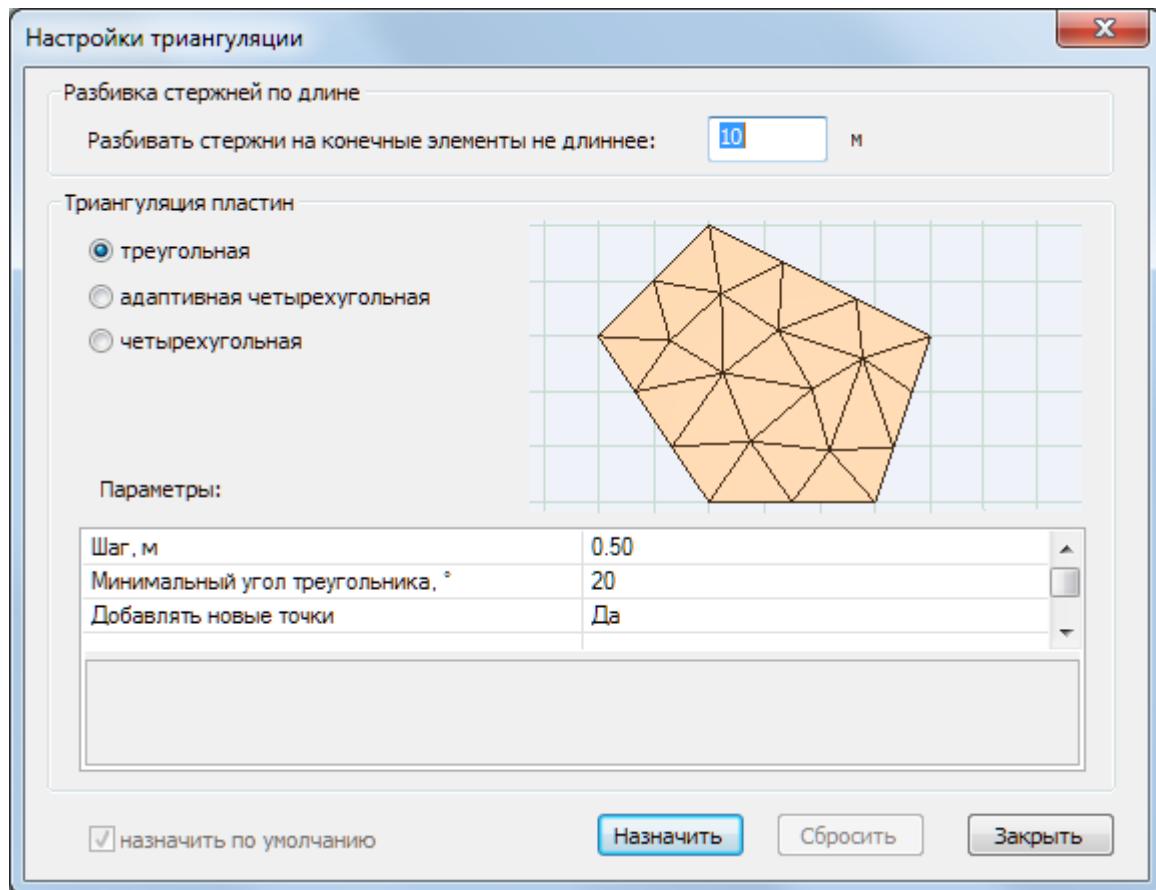


Рис.5.8. Расчетная модель гипара с найденными пересечениями (визуализируются фиолетовым цветом)

Триангуляция модели

- Вызовите диалоговое окно **Настройки триангуляции** (рис.5.9) щелчком по кнопке **Настройки** (панель **Расчетная модель: триангуляция** на вкладке **Аналитика**). 
- В открывшемся диалоговом окне задайте следующее:
 - **триангуляция пластин** – треугольная;
 - **шаг, м** – 0.5.

- После этого щелкните по кнопке **Назначить**.



*Рис.5.9. Диалоговое окно **Настройки триангуляции***

- Для разбивки на КЭ щелкните по кнопке - **Создать триангуляционную сеть** в раскрывающемся списке **Сеть** (панель **Расчетная модель: триангуляция** на вкладке **Аналитика**).

Этап 7. Создание файла для ПК ЛИРА-САПР

- Чтобы открыть конечно-элементную схему в ПК ЛИРА-САПР щелкните по кнопке - **Открыть** в раскрывающемся списке **Открыть** (панель **Расчет** в **ЛИРА-САПР** на вкладке **Аналитика**).
- Программа создаст файл в формате *.s2l в каталоге, где сохранён файл Сапфира в формате *.spf, и откроет этот файл в системе **ВИЗОР-САПР**.



Чтобы сохранить файл САПФИР для ЛИРА-САПР без автоматического открытия в



системе **ВИЗОР-САПР**, щелкните по кнопке - **Сохранить** в раскрывающемся списке **Открыть** (панель **Расчет** в **ЛИРА-САПР** на вкладке **Аналитика**). В открывшемся диалоге можно задать имя для файла в формате *.s2l и выбрать папку для сохранения.

(Этапы 8-14 «Корректировка модели. расчет и анализ результатов в ВИЗОР» см. в примере с «Гипаром»)

ПРИМЕР №26 – «Шатер с подкосами и балками»

Для второго варианта шатра рассмотрим этап 3 отдельно (остальное аналогично предыдущему примеру)

Этап 3. Создание опорных элементов: колонн и балок

Создание колонн



- Выполните щелчок по кнопке - Колонна в раскрывающемся списке Колонна (панель Инструменты построения на вкладке Создание). В диалоговом окне свойств отобразятся свойства построения колонны.
- В диалоговом окне Свойства построения: Колонна щелкните напротив строки Материал.
- В открывшемся диалоговом окне Материалы выберите из списка материал Бетон B25.
- После этого щелкните по кнопке OK (после закрытия списка строка Бетон B25 демонстрируется напротив параметра Материал как текущий выбранный материал).
- Вызовите диалоговое окно Параметры сечения (рис.3.1) щелчком по кнопке Сечение в строке свойств инструмента Колонна.
- В открывшемся диалоговом окне задайте следующие параметры:
 - в списке типов сечений выберите тип Прямоугольник(S0);
 - задайте параметр **b**=500мм;
 - задайте параметр **h**=500мм
- После этого щелкните по кнопке OK.

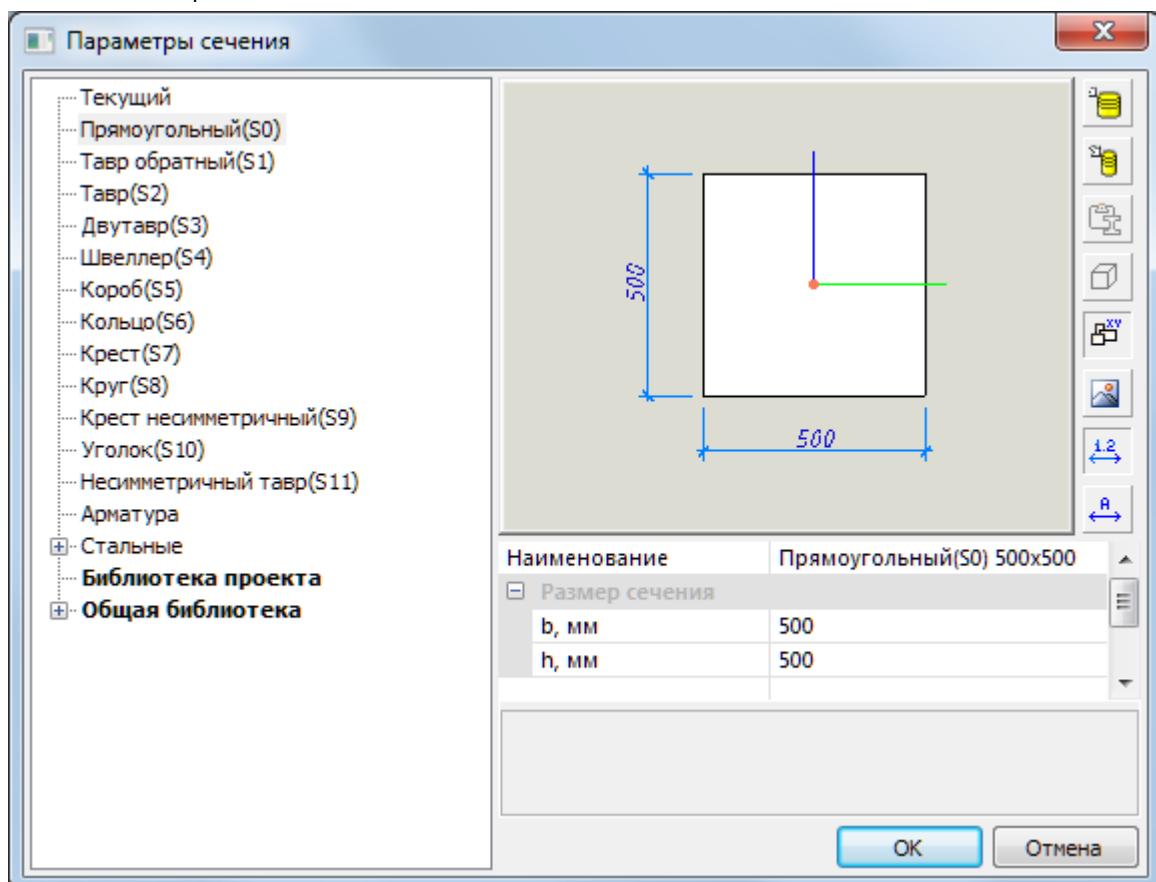


Рис.3.1. Диалоговое окно Параметры сечения

- В строке **Формировать АЖТ** установите значение – нет.
- Отключите кнопку  - Формировать контуры продавливания на панели свойств инструмента Колонна
- Нажмите на кнопку  - **Вид сверху** на панели **Проекции и виды**
- Произведите расстановку колонн в углах оболочки с помощью щелчка левой кнопки мышки (рис.3.2)

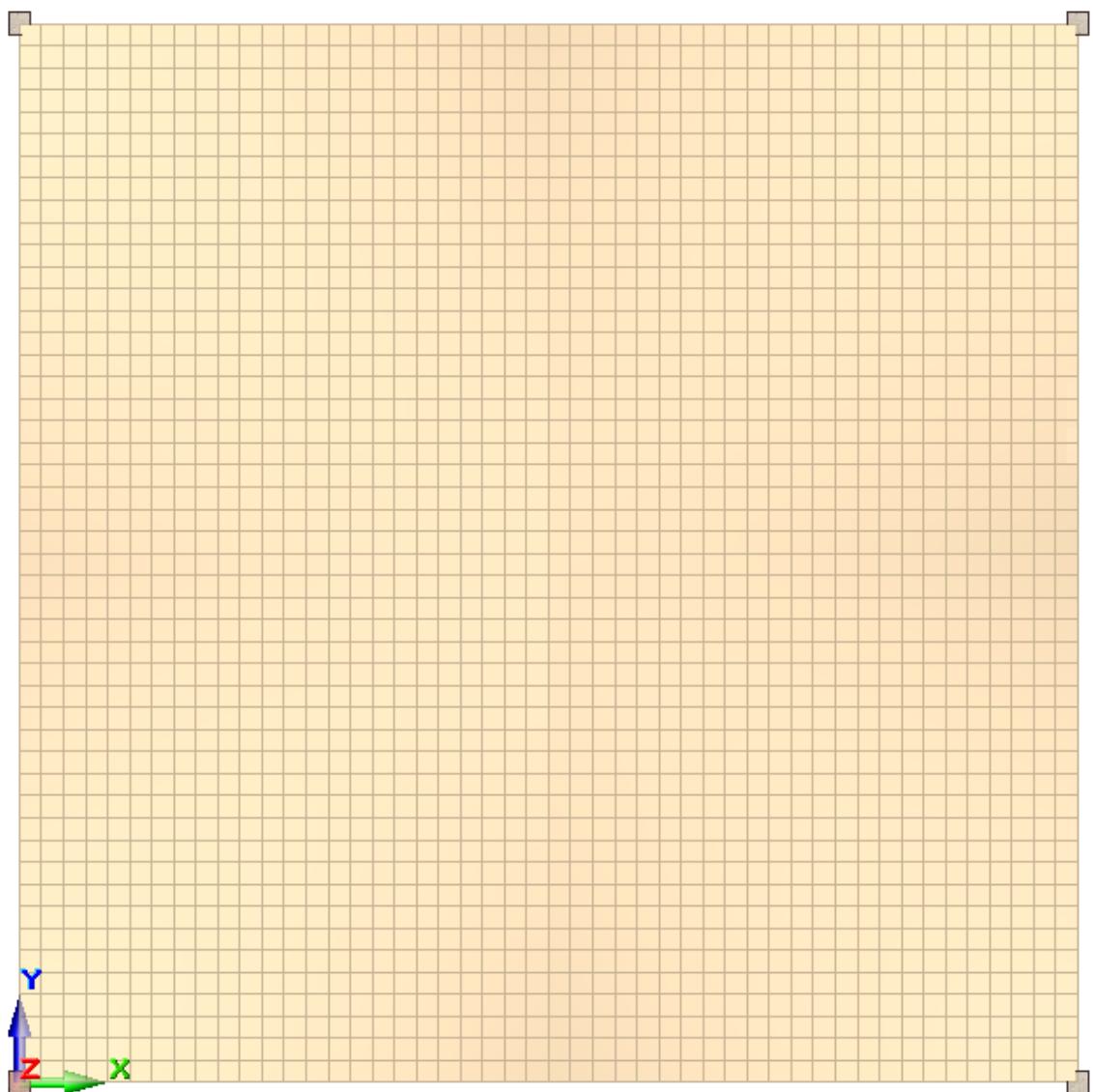


Рис.3.2. Схема расстановки колонн

Создание подкосов и контурных элементов - балок

- Выполните щелчок по кнопке  - **Балка** в раскрывающемся списке **Балка** (панель **Инструменты построения** на вкладке **Создание**). В диалоговом окне свойств отобразятся свойства построения балки.
- В диалоговом окне **Свойства построения: Балка** щелкните напротив строки **Материал**.
- В открывшемся диалоговом окне **Материалы** (рис.3.3) выберите из списка материал **Бетон B25**.

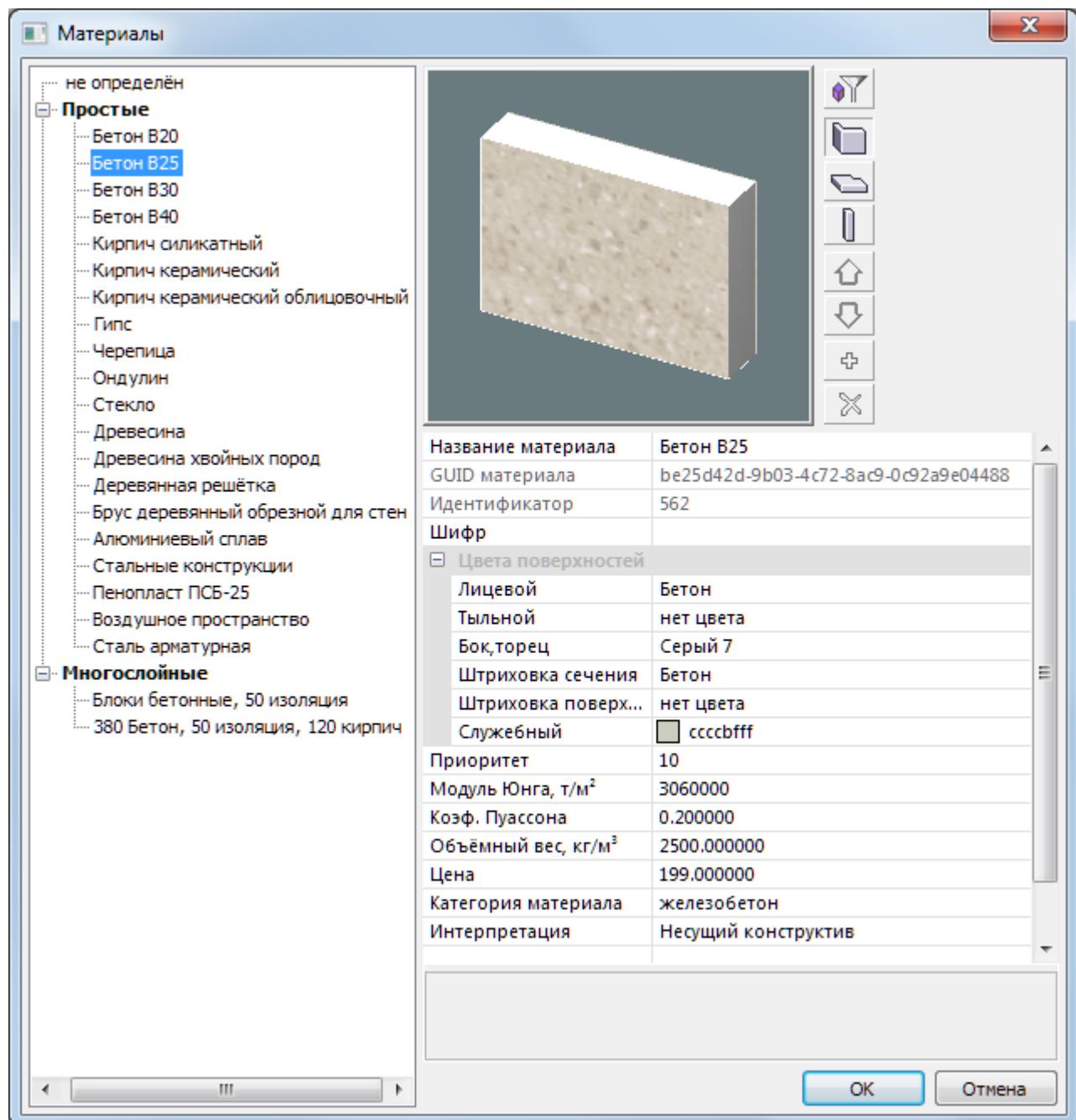


Рис.3.3. Диалоговое окно **Материалы**

- После этого щелкните по кнопке **OK** (после закрытия списка строка **Бетон B25** демонстрируется напротив параметра **Материал** как текущий выбранный материал).
- Вызовите диалоговое окно **Параметры сечения** (рис.3.4) щелчком по кнопке в строке свойств инструмента Балка.
- В открывшемся диалоговом окне задайте следующие параметры:
 - в списке типов сечений выберите тип **Прямоугольник(S0)**;
 - задайте параметр **b=500мм**;
 - задайте параметр **h=500мм**
- После этого щелкните по кнопке **OK**.

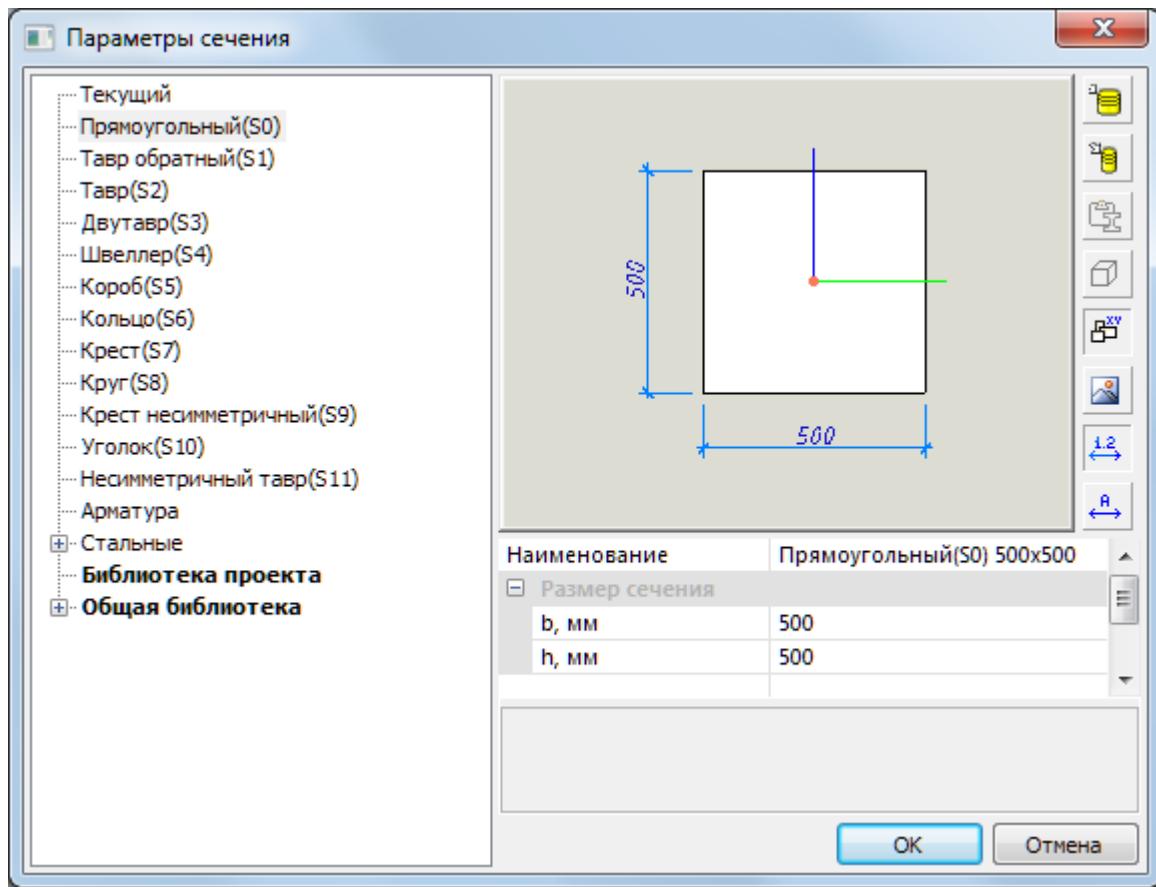


Рис.3.4 Диалоговое окно **Параметры сечения**

- Нажмите на кнопку - Аналитическая модель на панели **Визуализация**
- В строке свойств инструмента Балка выберите способ построения - Отрезок
- Произведите построение подкосов с помощью инструмента Балка (рис.3.5)

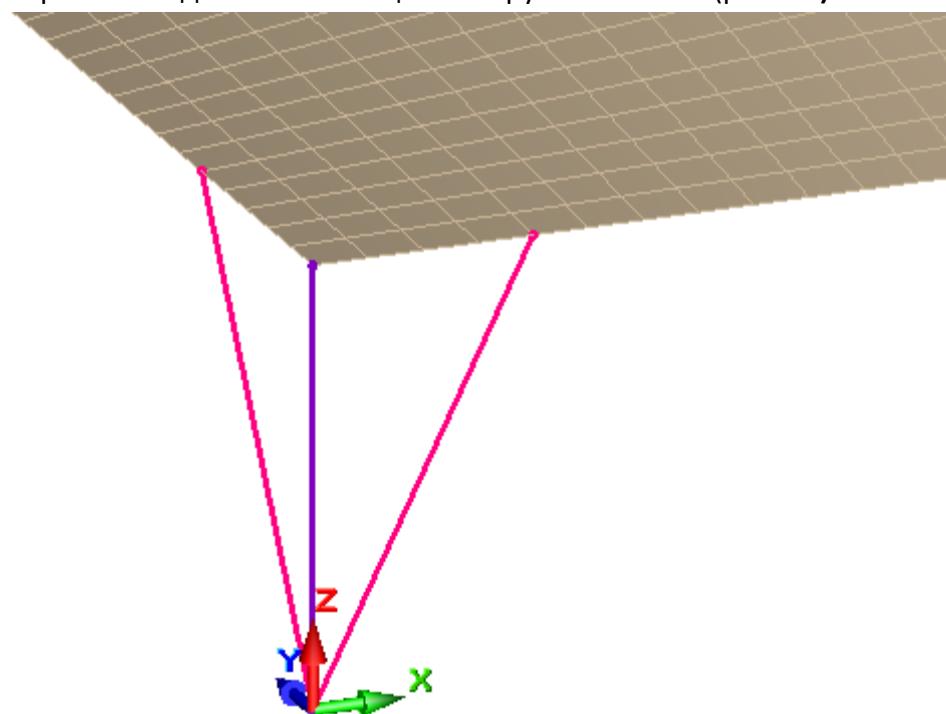
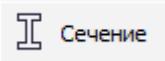
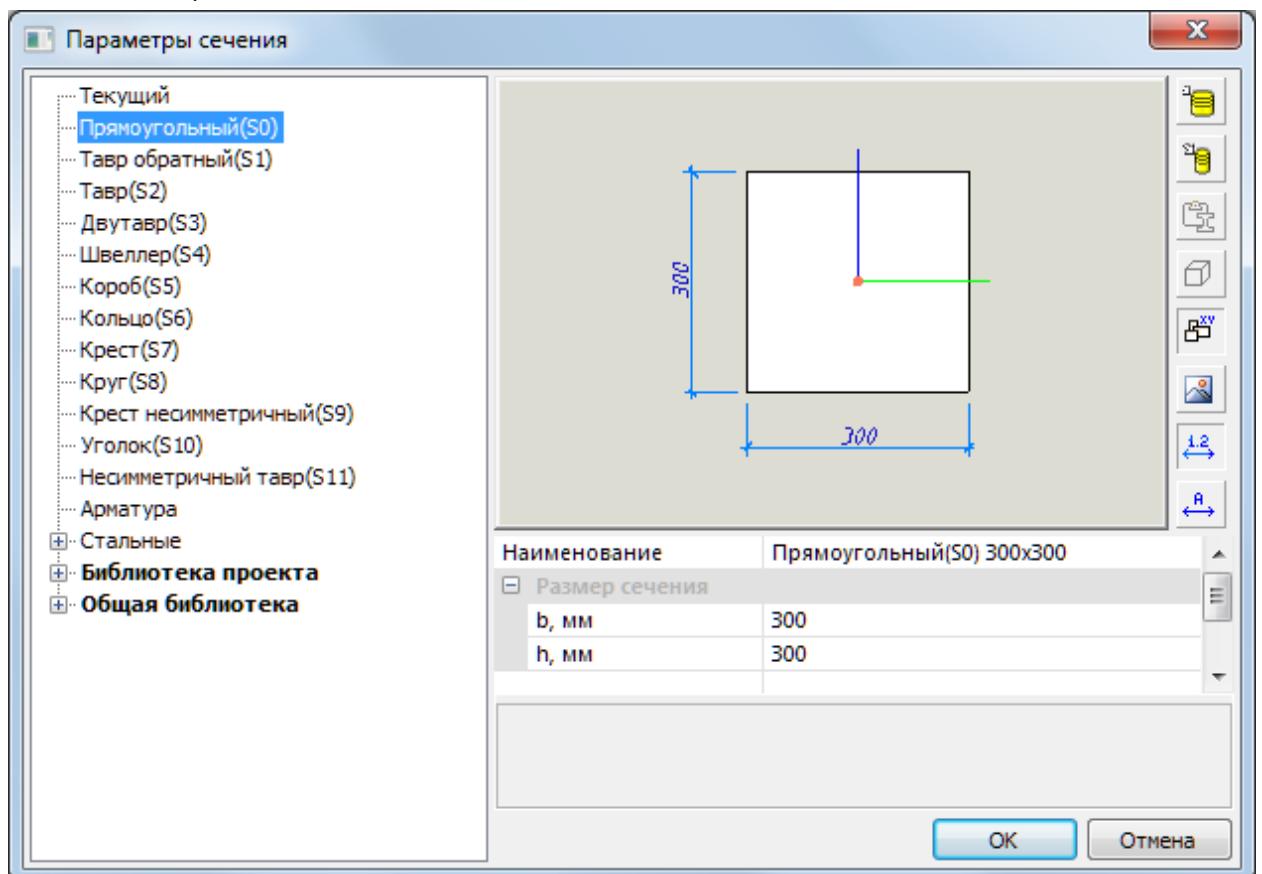


Рис.3.5 Расположение подкосов относительно колонн и оболочки в модели (красным цветом).

- Вызовите диалоговое окно **Параметры сечения** (рис.3.6) щелчком по кнопке  в строке свойств инструмента Балка.
- В открывшемся диалоговом окне задайте следующие параметры:
 - в списке типов сечений выберите тип **Прямоугольник(S0)**;
 - задайте параметр **b=300мм**;
 - задайте параметр **h=300мм**
- После этого щелкните по кнопке **OK**.



*Рис.3.6 Диалоговое окно **Параметры сечения***

- В строке свойств инструмента Балка выберите способ построения  - **Прямоугольник**
- Произведите построение наружных контурных элементов – горизонтальных балок. Для этого укажите две точки по диагонали: 1 и 2 (рис.3.7).

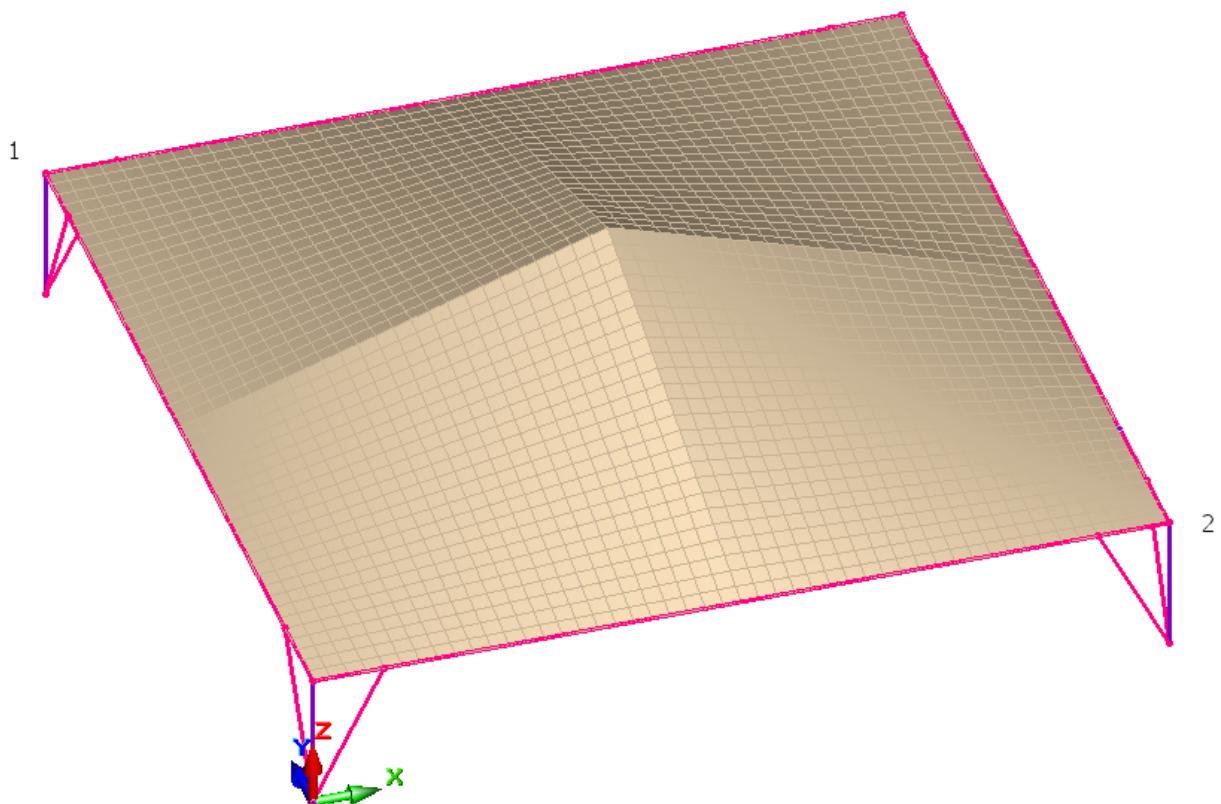


Рис.3.7 Расположение наружных горизонтальных контурных элементов в модели (красным цветом).

- Вызовите диалоговое окно **Параметры сечения** (рис.3.8) щелчком по кнопке в строке свойств инструмента Балка.
- В открывшемся диалоговом окне задайте следующие параметры:
 - в списке типов сечений выберите тип **Прямоугольник(S0)**;
 - задайте параметр **b=500мм**;
 - задайте параметр **h=300мм**
- После этого щелкните по кнопке **OK**.

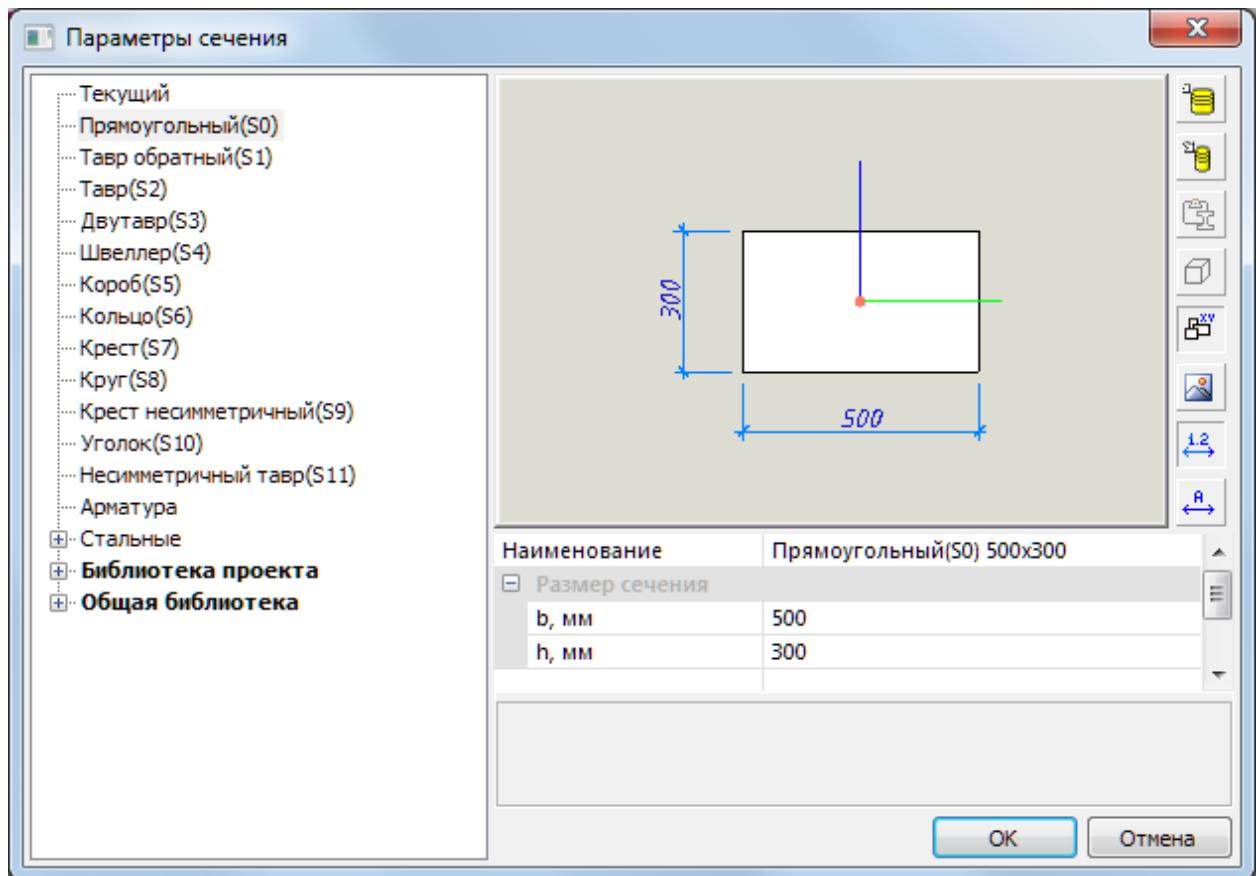


Рис.3.8 Диалоговое окно **Параметры сечения**

- В строке свойств инструмента Балка выберите способ построения - Отрезок
- Произведите построение 4-х балок, последовательно указывая левой кнопкой мышки начало и конец для каждой из балок (рис.3.9)

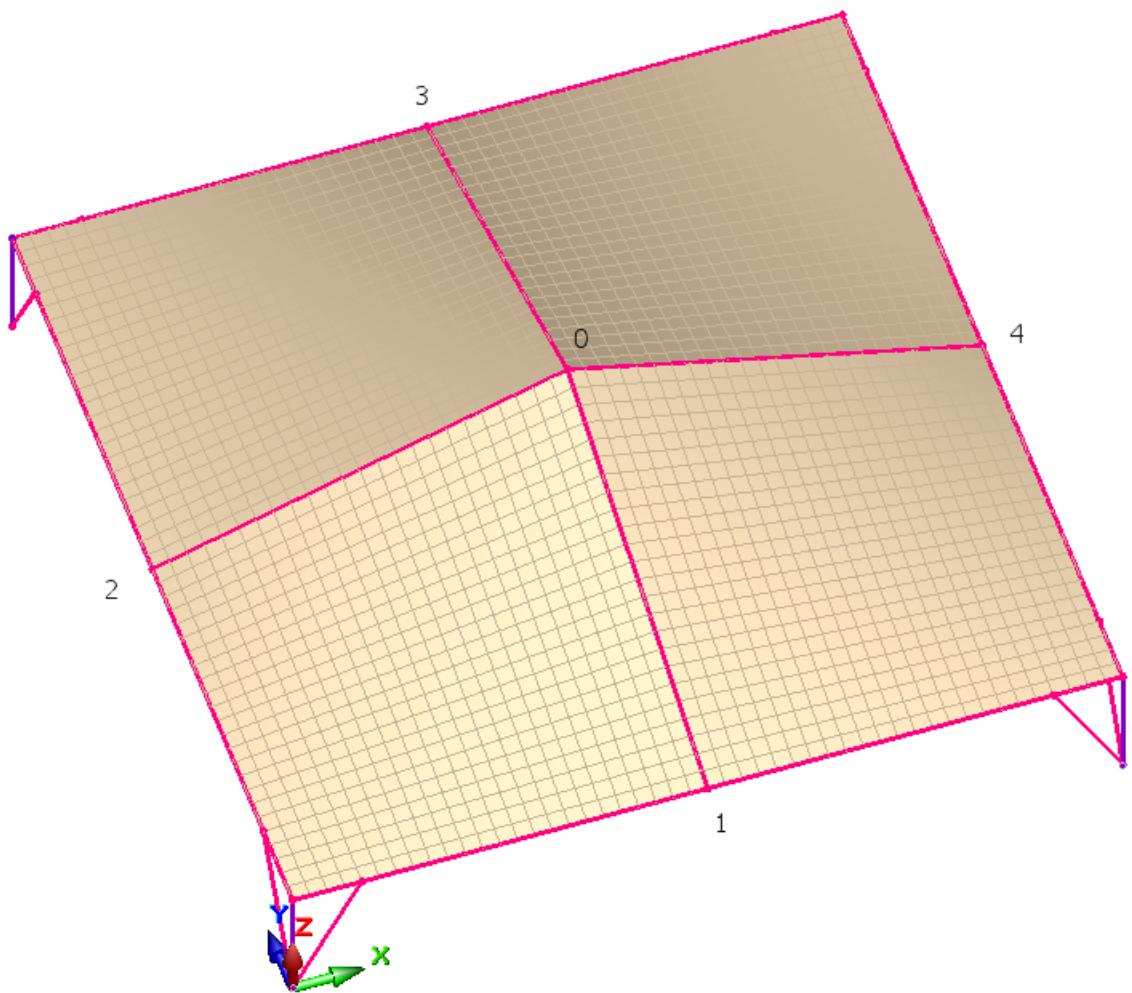


Рис.3.9 Расположение внутренних балок в модели.

Точки 0 и 1 – начало и конец для первой балки, 0 и 2 – соответственно для второй, 0 и 3 – для третьей, 0 и 4 – для четвертой

ПРИМЕР №3а – «Грибок с одной колонной»

Рассчитать и законструировать монолитную железобетонную оболочку отрицательной гауссовой кривизны типа «грибок» с утепленной кровлей, на прямоугольном плане размерами $2a = 24\text{м} \times 2b = 24\text{м}$.

Высота опорной колонны 3 м. Снеговой район - III.

Расчет и конструирование выполнить с применением программного комплекса «ЛИРА-САПР».

В качестве базовой принимаем оболочку на квадратном плане, со стороной $a = 12\text{ м}$, рис.2 б.

Принимаем геометрические параметры базового гипара:

$$f = 24\text{м}/6 = 4\text{м};$$

высоту контурных элементов

$$h_{кон} = 24\text{м}/80 = 0.3\text{м} = 30\text{ см},$$

ширину наружных контурных элементов из конструктивных соображений принимаем равной высоте

$$b_{кон} = 30\text{ см},$$

а ширину внутренних контурных элементов

$$b_{вкон} = 50\text{ см};$$

толщина средней части оболочки $t = 12\text{ м}/200 = 0.06\text{ м}$; принимаем $t = 7\text{ см}$.

Опорную колонну принимаем сечением $50 \times 50\text{ см}$.

Форма срединной поверхности базовой оболочки будет описываться соотношением (5), смотри Пример 1.

Характеристики материалов принимаем согласно [6]:

бетон класса В25, $R_b = 14,5\text{ МПа}$, $R_{bt} = 1,05\text{ Мпа}$, $\gamma_{b2} = 0,9$, $E_b = 30000\text{ МПа}$.

Для собственно оболочки принимаем проволочную арматуру класса В400, $R_s = 410\text{ МПа}$,

$R_{sc} = 375\text{ МПа}$, для бортовых элементов и колонн арматуру класса А400, $R_s = 365\text{ Мпа}$,

$R_{sc} = 375\text{ МПа}$.

Нагрузки на конструкцию приведены в Таблице 1 в примере №1 «Гипар».

Проверим устойчивость оболочки по соотношению (3).

Согласно вычислениям в примере 1

полная расчетная нагрузка на оболочку:

$$q_{av} = 507 + (0.07 \cdot 25000 \cdot 1.1) + 2000 = 4432 \text{ н/м}^2.$$

$$q_{cr} = 0,05 E_b \cdot t^2 / (Rav)^2 = 0,05 \cdot 30000 \cdot 100 \cdot 0,07^2 / (36,5)^2 = 0,5516 \text{ т/м}^2 = 5516 \text{ н/м}^2.$$

$$5516 \text{ н/м}^2 > 4432 \text{ н/м}^2. \text{ Устойчивость обеспечена.}$$

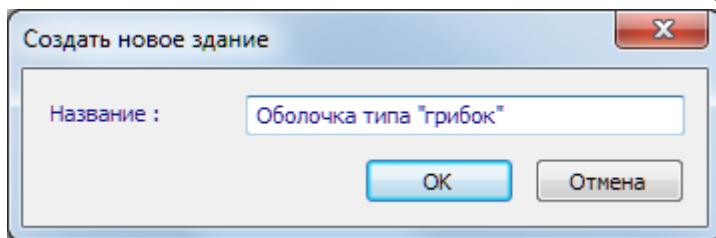
Толщина оболочки в месте примыкания к бортовому элементу на ширине 1,0 м плавно меняется от 14 см до 7 см (для конечно элементной схемы: в полосе 0.5м от контурного элемента – 11 см, в полосе от 0,5 м до 1 м – 9 см), см. рисунок в примере 2а «Шатёр».

Этап 2. Создание составной оболочки типа «грибок»

(Этап 1 «Создание нового проекта и настройка его свойств» см. в примере с «Гипаром»)

Редактирование Структуры проекта

- Вызовите диалог создания нового здания щелчком по кнопке  - **Создать здание** в служебном окне **Структура**
- В появившемся диалоговом окне введите название «Оболочка типа «грибок»» (рис.2.1)



*Рис. 2.1. Диалоговое окно **Создать новое здание***

- Нажмите на кнопку **OK**
- Щелкните по кнопке  - **Создать этаж** в служебном окне **Структура**
- Нажмите на кнопку **OK**

Создание оболочки типа «грибок»

- Выполните щелчок по кнопке  - **Линии и поверхности** (панель **Поверхности** на вкладке **Создание**).
- Нажмите на кнопку  - **Новая функция** в закладке **Поверхность $z=f(x,y)$**
- В диалоговом окне введите следующие значения в полях (рис.2.2):
 - $z=f(x,y) - a*x*y;$
 - **Параметры – $a=1/36$;**
 - **$x \text{ min} = 0, \text{ max}=12;$**
 - **$y \text{ min} = 0, \text{ max}=-12;$**
 - **$n = 24;$**
 - **$n = 24$**

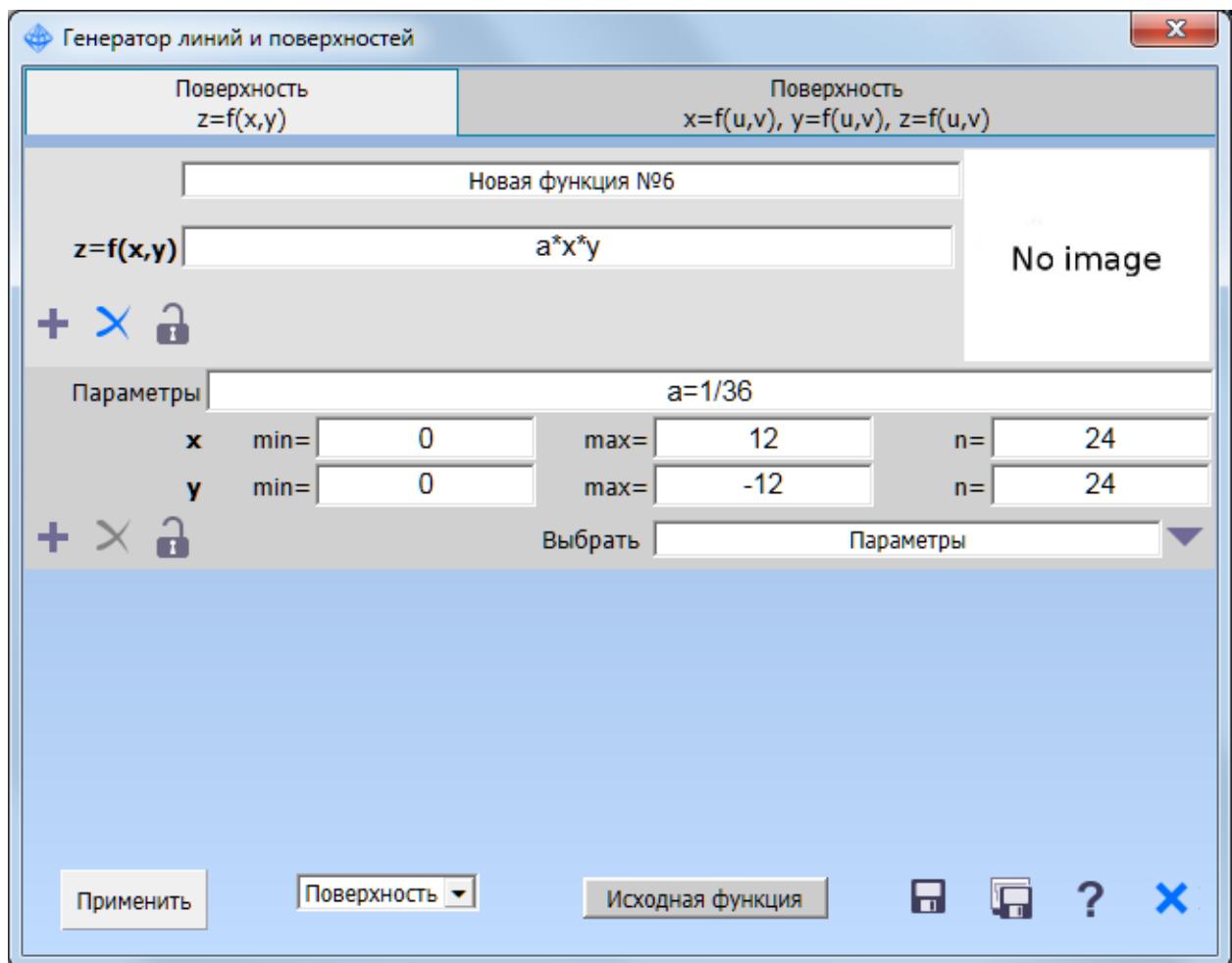


Рис. 2.2. Диалоговое окно **Линии и поверхности**

- Нажмите на кнопку **Создать**
- Нажмите на кнопку - Выход
- Выделите поверхность щелкнув по ней левой кнопкой мышки
 - В строке **Интерпретация** выберите из раскрывающегося списка - **Несущий конструктив**
 - После этого щелкните по кнопке - **Применить**.
- Подведите курсор к точке оболочки с координатами: X=12000; Y=-12000; Z=-4000
- Нажмите правую кнопку мышки. Из появившегося контекстного меню выберите команду – **ЛСК в точку** (рис.2.3)

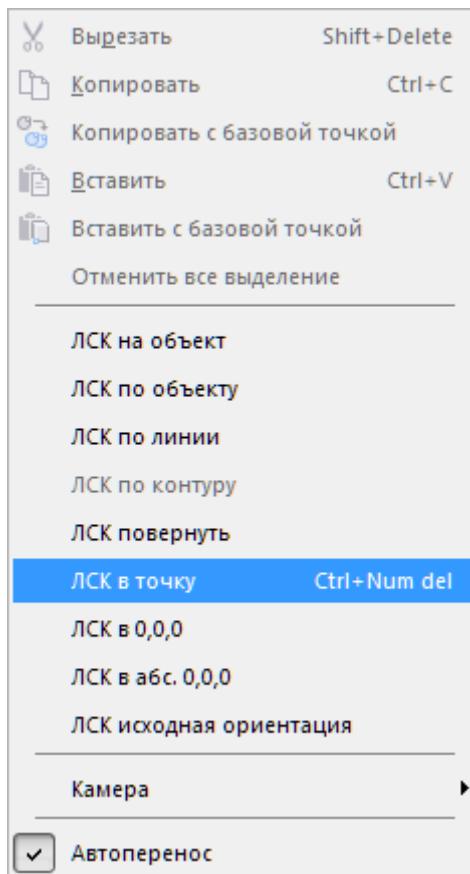


Рис. 2.3. Контекстное меню правой кнопки мышки

- Не снимая выделения с оболочки щелкните по кнопке  - Поворот вокруг ЛСК в раскрывающемся списке Поворот на панели Корректировка на вкладке Редактирование
- В диалоговом окне задайте следующие данные (рис.2.4):
 - Угол поворота – 90;
 - Число повторений – 3;
 - Поставьте «галочку» напротив строки сделать копию объектов
 - Нажмите на кнопку Выполнить

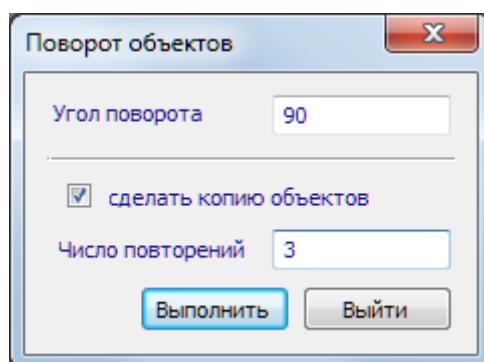


Рис.2.4. Диалоговое окно Поворот объектов

- С зажатой кнопкой Shift произведите выделение, кликнув левой кнопкой мышки по невыделенным частям оболочки
- Щелкните по кнопке  - Перенос по координатам на в раскрывающемся списке Перенос на панели Корректировка в закладке Редактирование
- В диалоговом окне в строке Приращение Z, мм введите значение – 7000 (рис.2.5)

- Нажмите на кнопку **Выполнить**
- Нажмите кнопку **Esc**

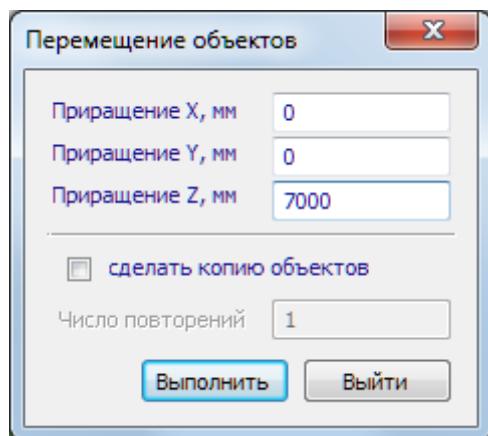
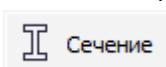


Рис.2.5. Диалоговое окно Перемещение объектов

- Нажмите правую кнопку мышки. Из появившегося контекстного меню выберите – ЛСК в 0,0,0

Этап 3. Создание опорных элементов: колонн, ферм и балок

Создание колонн

- Выполните щелчок по кнопке  - Колонна в раскрывающемся списке Колонна (панель Инструменты построения на вкладке Создание). В диалоговом окне свойств отобразятся свойства построения колонны.
- В диалоговом окне Свойства построения: Колонна щелкните напротив строки Материал.
- В открывшемся диалоговом окне Материалы выберите из списка материал Бетон B25.
- После этого щелкните по кнопке OK (после закрытия списка строка Бетон B25 демонстрируется напротив параметра Материал как текущий выбранный материал).
- Вызовите диалоговое окно Параметры сечения (рис.3.1) щелчком по кнопке  в строке свойств инструмента Колонна.
- В открывшемся диалоговом окне задайте следующие параметры:
 - в списке типов сечений выберите тип Прямоугольник(S0);
 - задайте параметр b=500мм;
 - задайте параметр h=500мм
- После этого щелкните по кнопке OK.

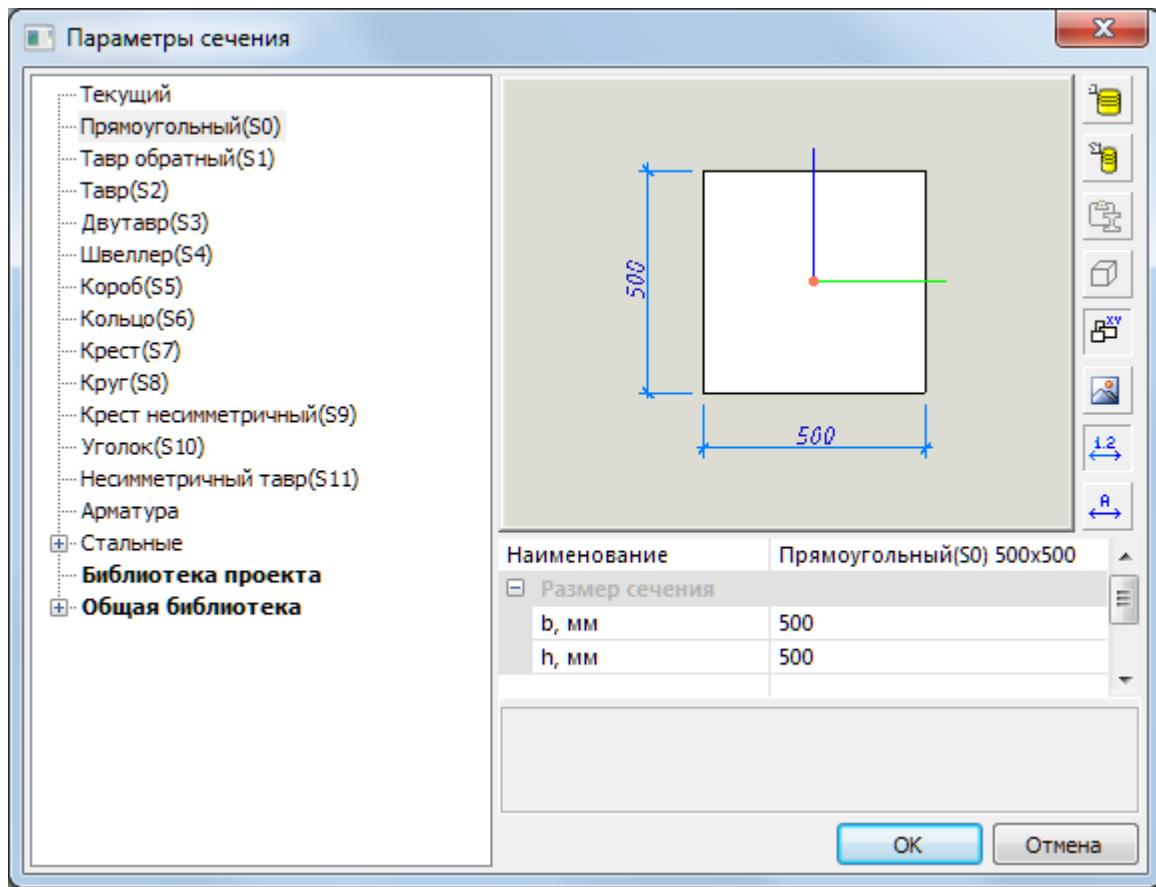


Рис.3.1. Диалоговое окно Параметры сечения

- В строке **Формировать АЖТ** установите значение – нет.
 - Отключите кнопку  - Формировать контуры продавливания на панели свойств инструмента Колонна
 - Нажмите на кнопку  - **Вид сверху** на панели **Проекции и виды**
 - Установите колонну в центр оболочки
- Создание контурных элементов - балок
- Выполните щелчок по кнопке  - **Балка в раскрывающемся списке Балка** (панель **Инструменты построения** на вкладке **Создание**). В диалоговом окне свойств отобразятся свойства построения балки.
 - В диалоговом окне **Свойства построения: Балка** щелкните напротив строки **Материал**.
 - В открывшемся диалоговом окне **Материалы** (рис.3.2) выберите из списка материал **Бетон B25**.

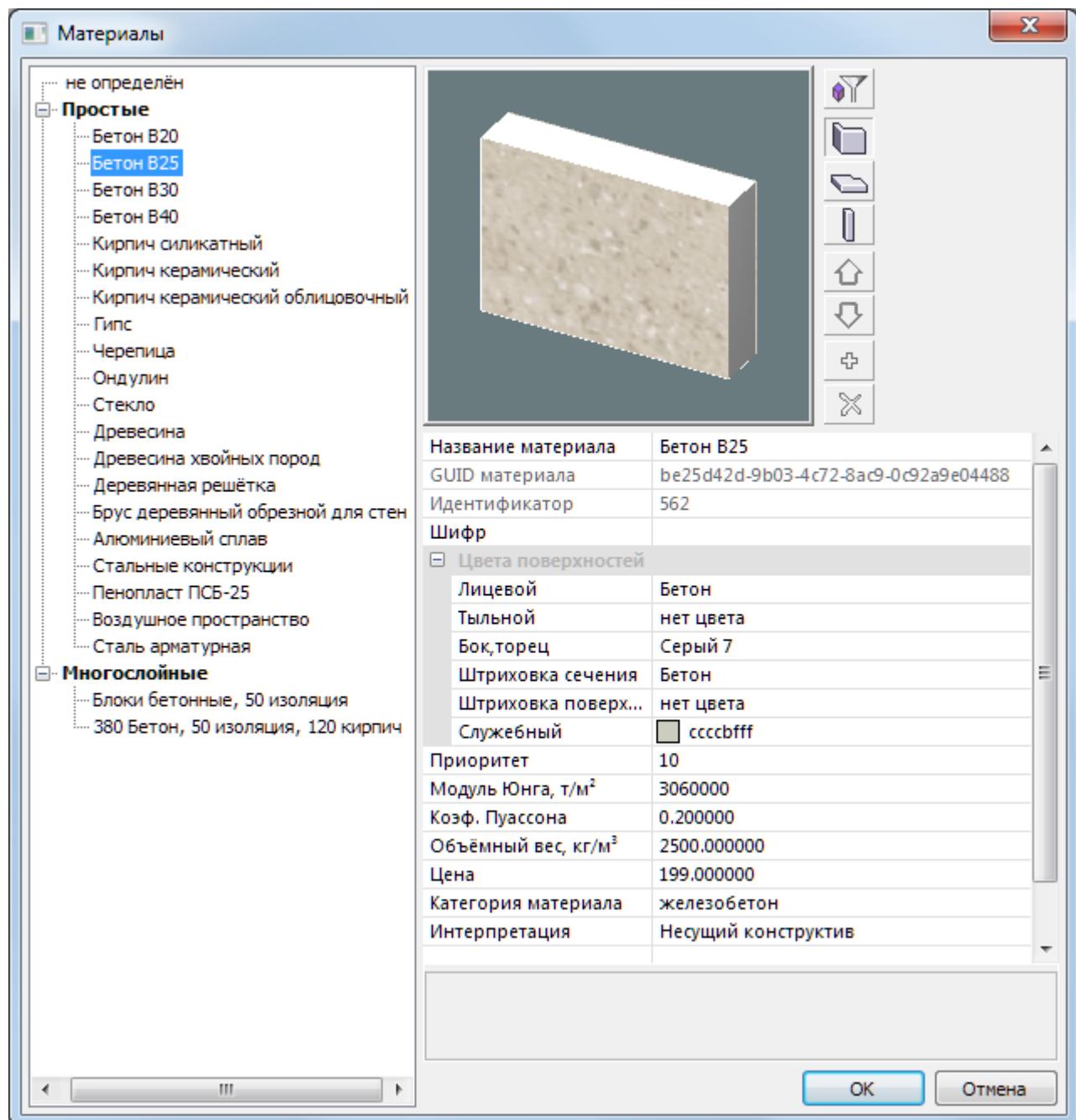


Рис.3.2. Диалоговое окно Материалы

- После этого щелкните по кнопке **OK** (после закрытия списка строка **Бетон B25** демонстрируется напротив параметра **Материал** как текущий выбранный материал).
- Вызовите диалоговое окно **Параметры сечения** (рис.3.3) щелчком по кнопке  в строке свойств инструмента Балка.
- В открывшемся диалоговом окне задайте следующие параметры:
 - в списке типов сечений выберите тип **Прямоугольник(S0)**;
 - задайте параметр **b=300мм**;
 - задайте параметр **h=300мм**
- После этого щелкните по кнопке **OK**.

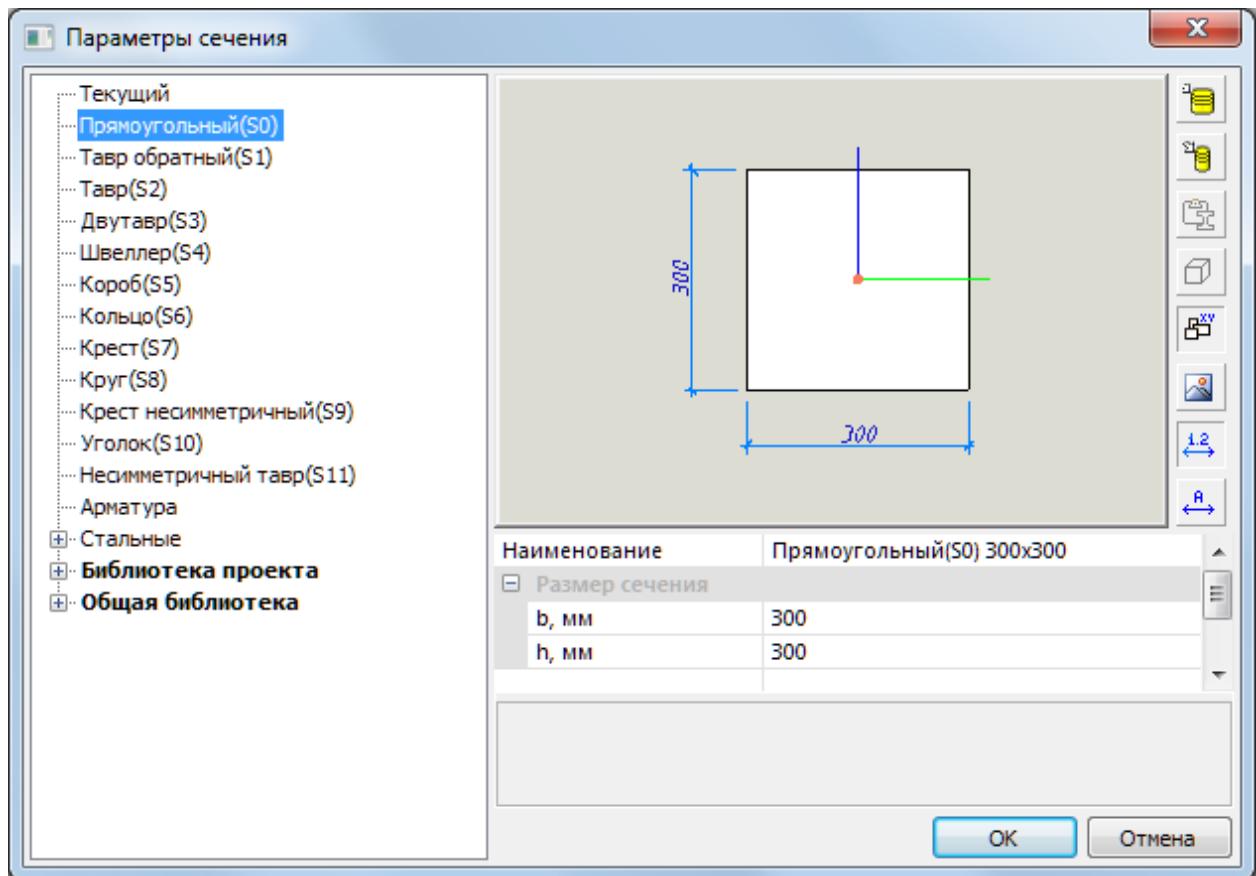
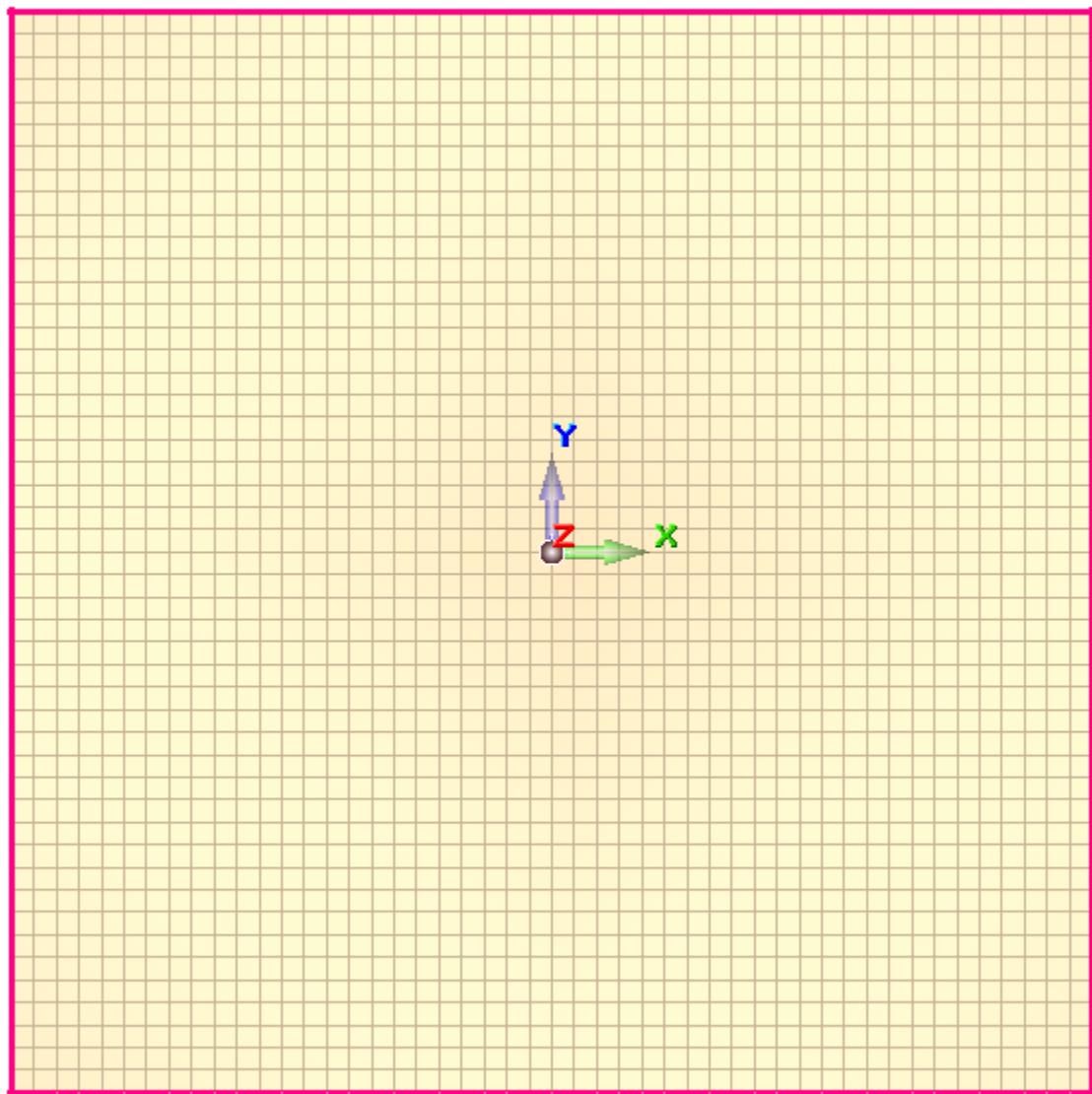


Рис.3.3 Диалоговое окно Параметры сечения

- Нажмите на кнопку - Аналитическая модель на панели Визуализация
- В строке свойств инструмента Балка выберите способ построения - Прямоугольник
- Произведите построение наружных контурных элементов – балок, указав две точки диагонали прямоугольника (1 и 2) на оболочке(рис.3.4)

1



2

Рис.3.4 Расположение наружных контурных элементов в модели (красным цветом). 1 и 2 – точки диагонали прямоугольника.

- Вызовите диалоговое окно **Параметры сечения** (рис.3.5) щелчком по кнопке в строке свойств инструмента Балка.
- В открывшемся диалоговом окне задайте следующие параметры:
 - в списке типов сечений выберите тип **Прямоугольник(S0)**;
 - задайте параметр **b=500мм**;
 - задайте параметр **h=300мм**
- После этого щелкните по кнопке **OK**.

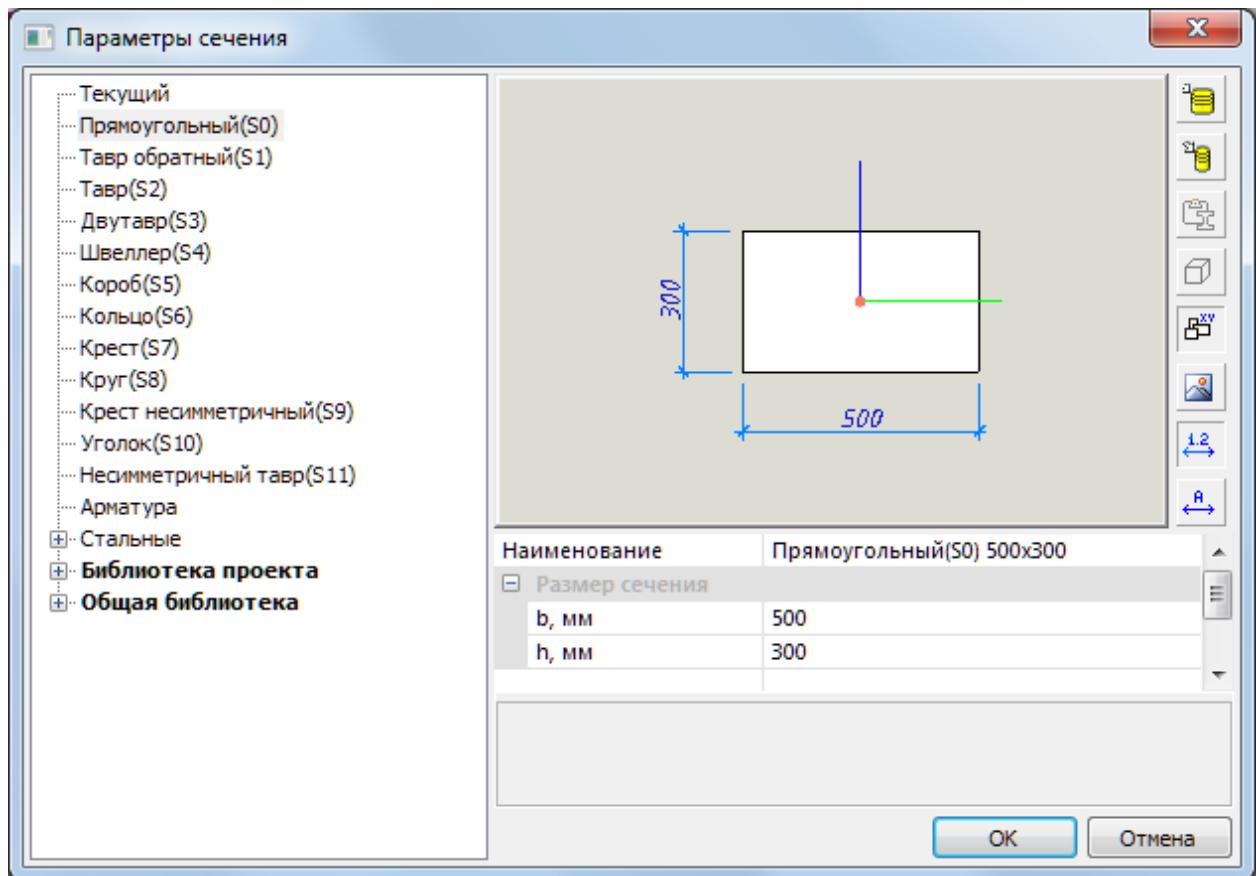


Рис.3.5 Диалоговое окно **Параметры сечения**

- В строке свойств инструмента Балка выберите способ построения - Отрезок
- Произведите построение 4-х балок, последовательно указывая левой кнопкой мышки начало и конец для каждой из балок (рис.3.6)

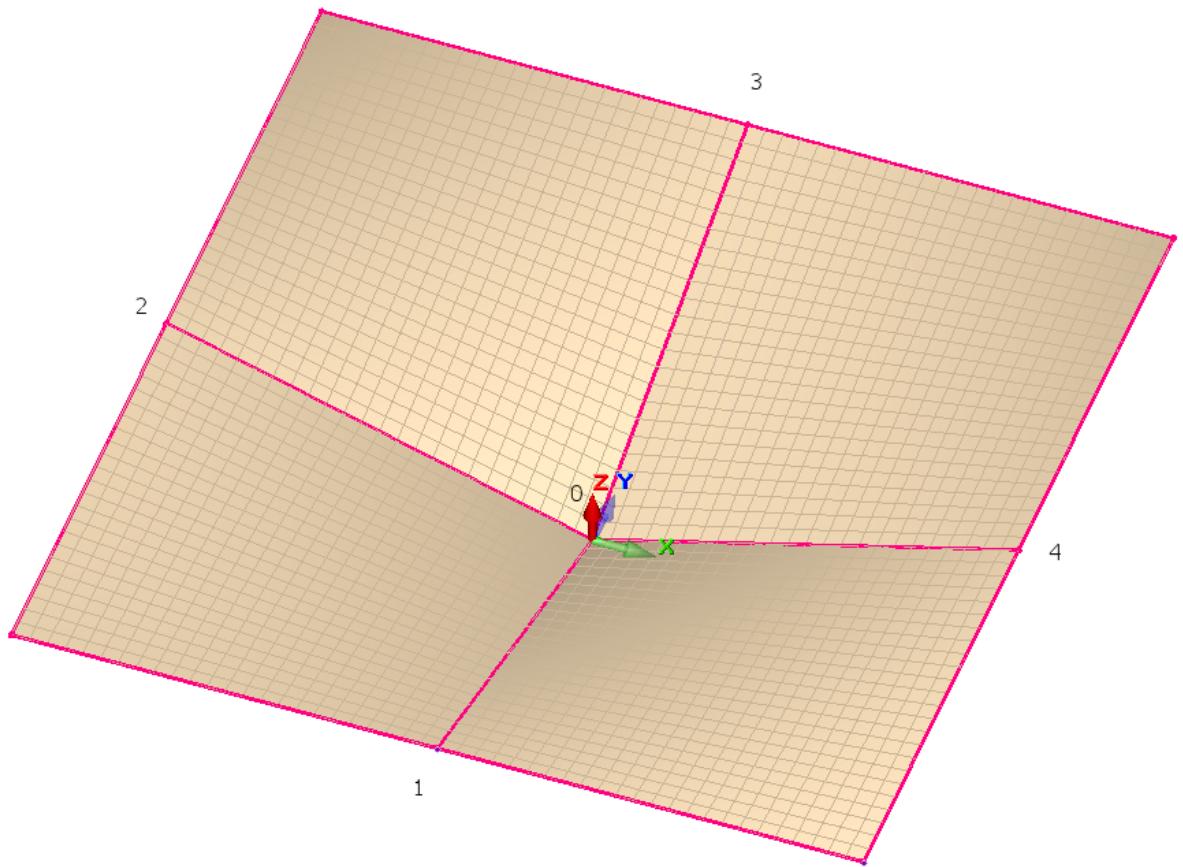


Рис.3.6 Расположение внутренних балок в модели. Точки 0 и 1 – начало и конец для первой балки, 0 и 2 – соответственно для второй, 0 и 3 – для третьей, 0 и 4 – для четвертой

Этап 4. Создание закреплений

- В служебном окне **Структура** выполните щелчок правой кнопки мышки по папке **Колонны**, выберите из появившегося контекстного меню **Выделить** 
- Выполните щелчок по кнопке  - **Жесткое защемление** (панель **Аналитическая модель: корректировка** на вкладке **Аналитика**). В строке свойств из раскрывающегося списка выберите  - **Низ колонны, стены**.
- Нажмите на кнопку  - **Наложить выбранные граничные условия**.
- **Отожмите кнопку**  - **Аналитическая модель** на панели **Визуализация**
- **Нажмите кнопку** **Esc**

(Этап 5 «Создание загружений и назначение нагрузок» см. в примере с «Гипаром»)

Этап 6. Создание конечно-элементной модели (МКЭ)

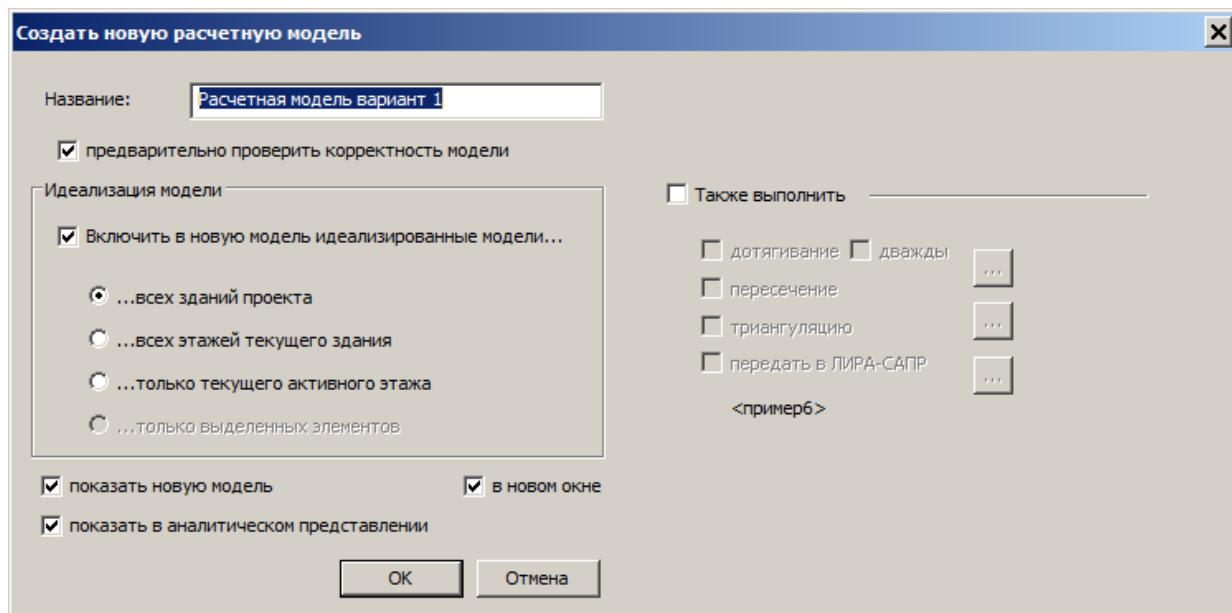
Создание расчетной модели

- Вызовите диалоговое окно **Создать новую расчетную модель** (рис.5.1) щелчком по кнопке  - **Расчетная модель** (на вкладке **Аналитика**).



Кнопка **Расчетная модель** переключает из режима создания расчетной схемы к инструментам расчетной модели и обратно.

- В открывшемся диалоговом окне щелкните по кнопке **OK** (откроется новая закладка окна под названием **ФИО.spf:Расчетная модель**).



*Рис.5.1. Диалоговое окно **Создать новую расчетную модель***



Перед созданием расчетной модели автоматически пройдет проверка модели на ошибки. Если программа обнаружит ошибки, она выдаст предупреждение. Ошибочные элементы рекомендуется устранить.

Назначение материала и толщин пластинам оболочки

- В фильтре - **Фильтр элементов** на панели **Визуализация** указываем следующее:
- ставим «галочку» напротив **Стержень аналитической модели**
 - выбираем команду **Скрыть** (рис.5.2)
 - убираем «галочку» напротив **Стержень аналитической модели**
 - ставим «галочку» напротив **Пластина аналитической модели**
 - выбираем команду **Выделить**
 - закрываем диалог щелкнув по кнопке **Выход**

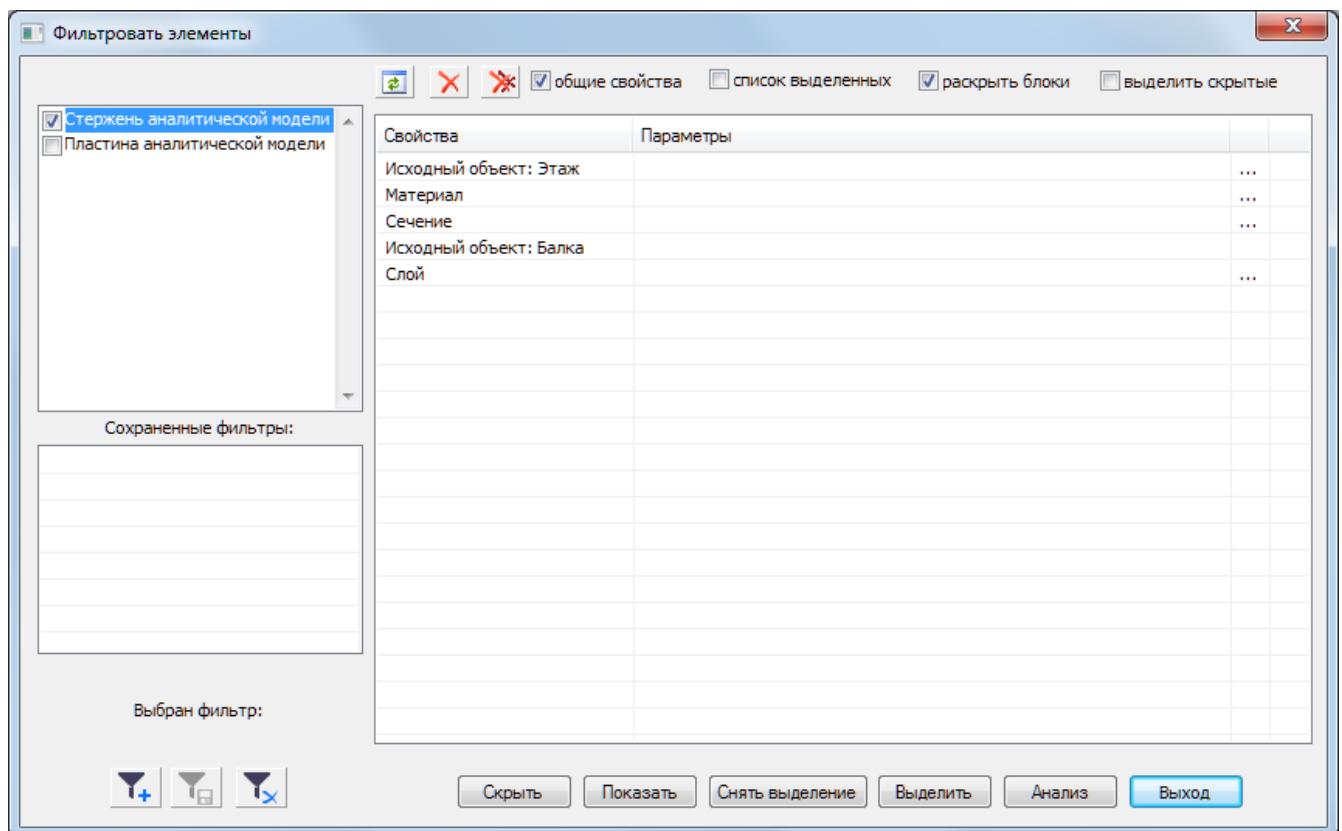


Рис.5.2. Диалоговое окно **Фильтровать элементы**

- Для выделенных пластин в служебном окне Параметры назначаем материал:
- В диалоговом окне **Материалы** (рис.5.3) выберите из списка материал **Бетон Б25**

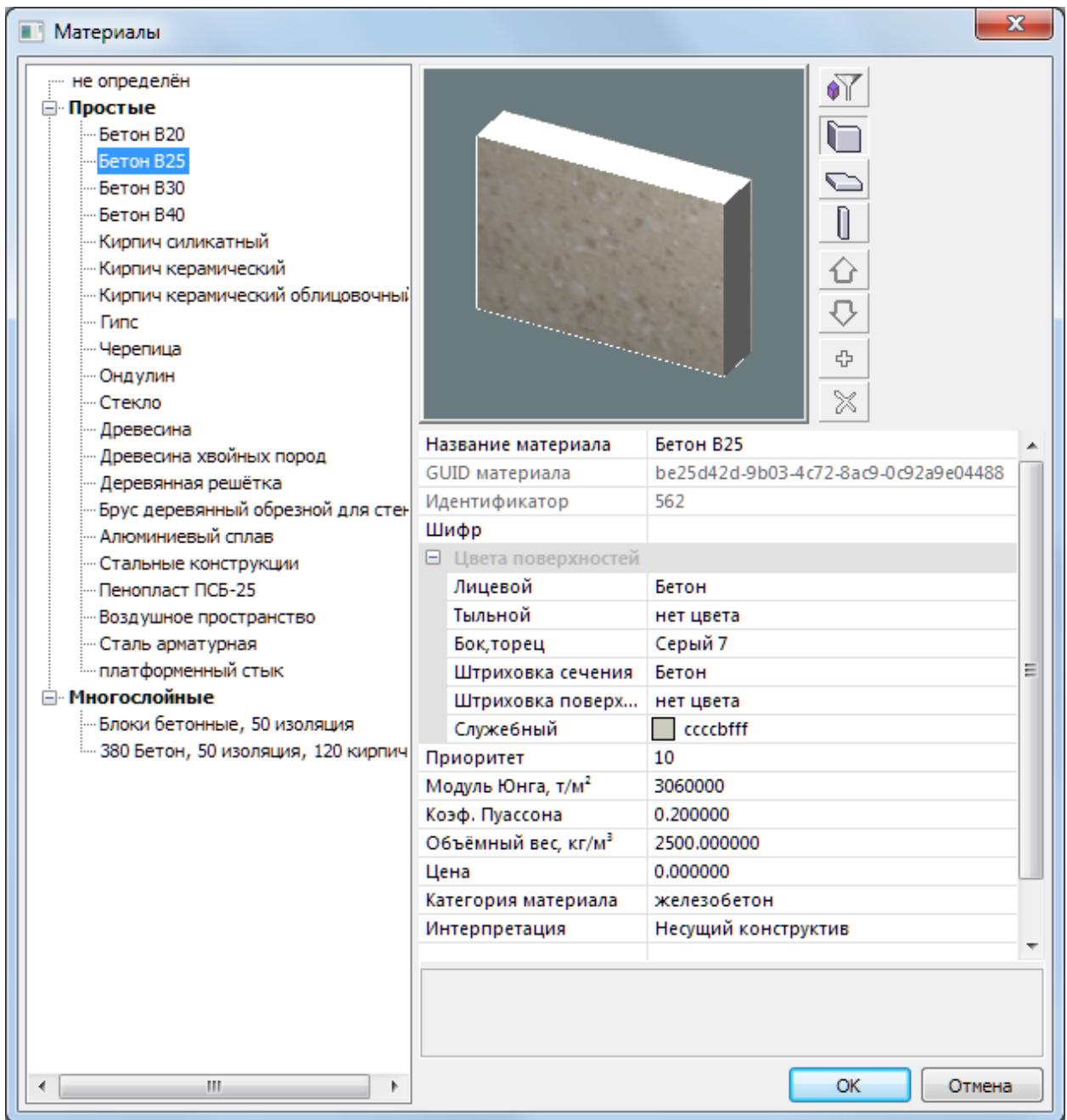
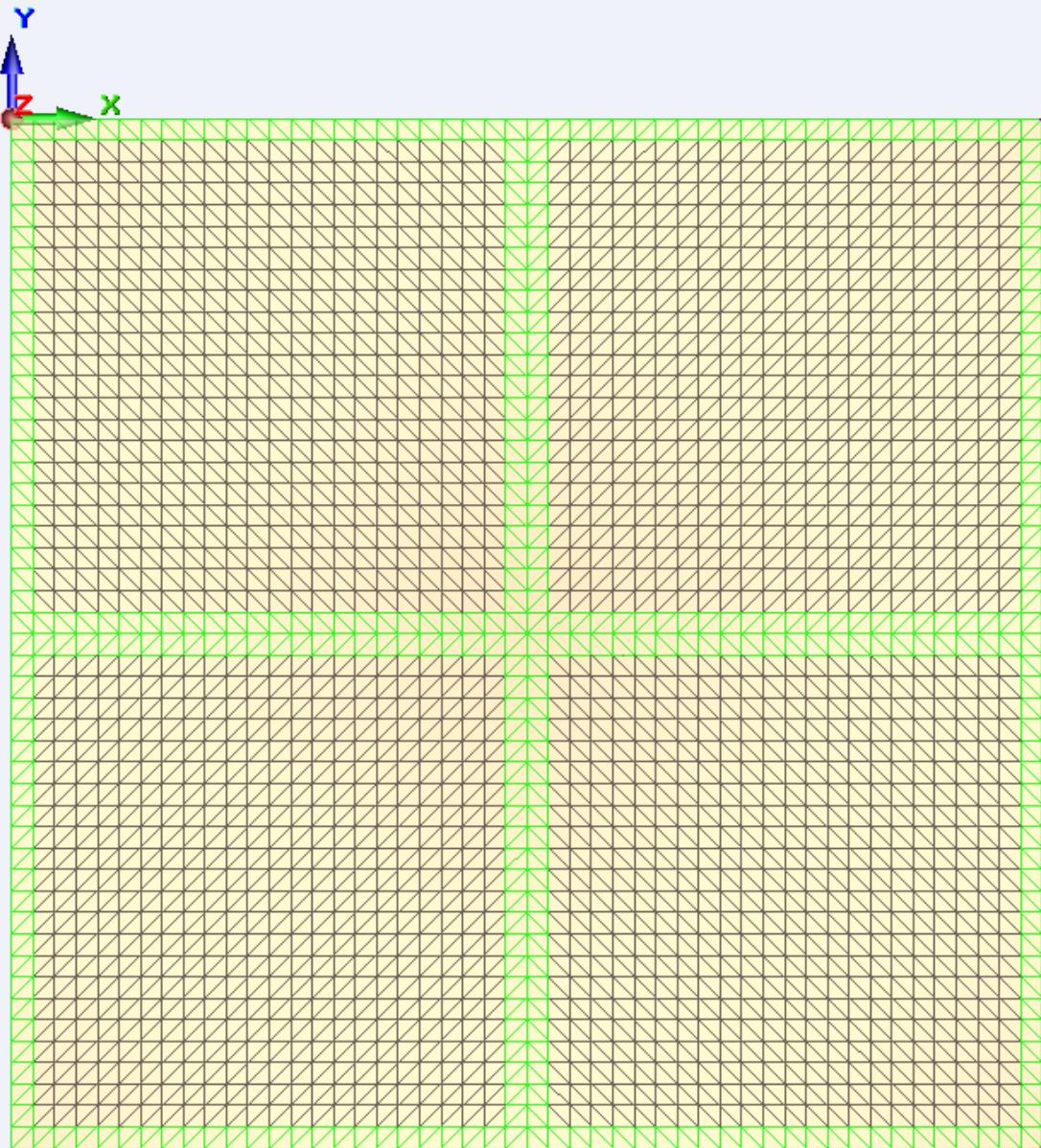


Рис.5.3. Диалоговое окно **Материалы**

- После этого щелкните по кнопке **OK** (после закрытия списка строка **Бетон B25** демонстрируется напротив параметра **Материал** как текущий выбранный материал);
- После этого щелкните по кнопке - **Применить**.
- Нажмите кнопку **Esc** для снятия выделения.
- Щелкните по кнопке - **Вид сверху** на панели **Проекции и виды**
- Для задания полосам пластин шириной 0,5 м от балочных элементов толщины 110 мм:
 - Способом выделения «рамка» с зажатой кнопкой **Shift** выделяем пластины оболочки, расположенные на расстоянии 0,5 м от балочных элементов (рис. 5.4)



**Рис.5.4. Выделение пластин на расстоянии 0,5 м от балочных элементов
(визуализируется зеленым цветом)**

- В служебном окне **Параметры** назначаем выделенным пластинам толщину 110 мм (рис.5.5)
- После этого щелкните по кнопке - **Применить**

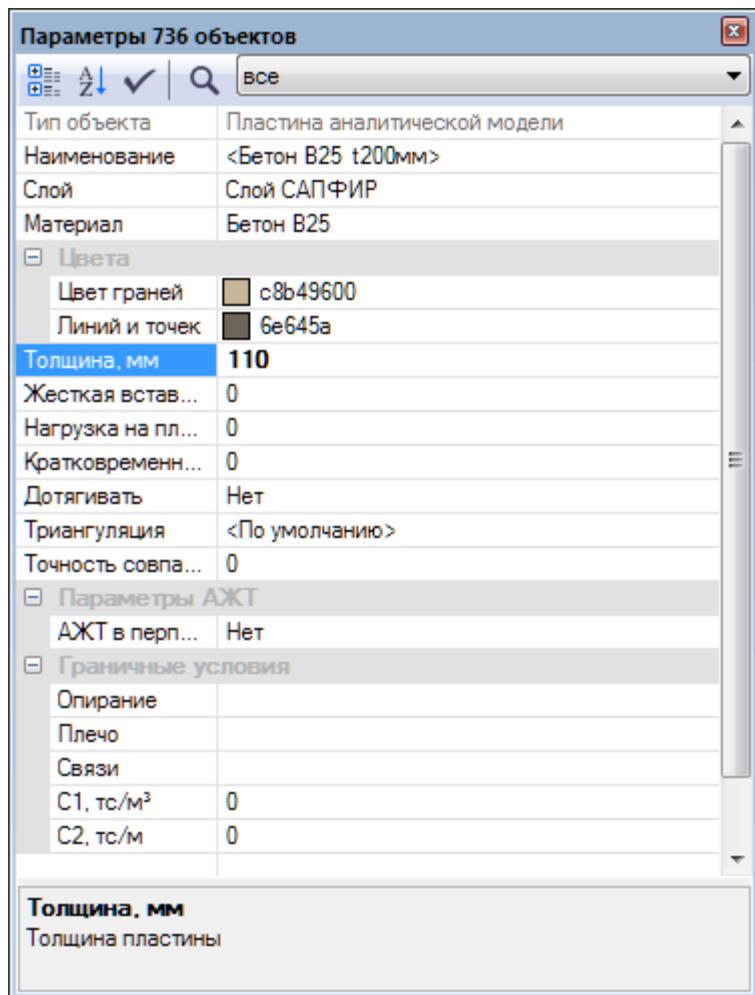


Рис.5.5. Служебное окно Параметры

- Нажимаем на кнопку - Скрыть выделенные на панели Визуализация
- Для задания пластинам в полосе от 0,5 м до 1 м от контурных элементов толщины 90 мм:
 - Способом выделения «рамка» с зажатой кнопкой Shift выделяем полосу пластин оболочки шириной 0,5 м (рис.5.6)

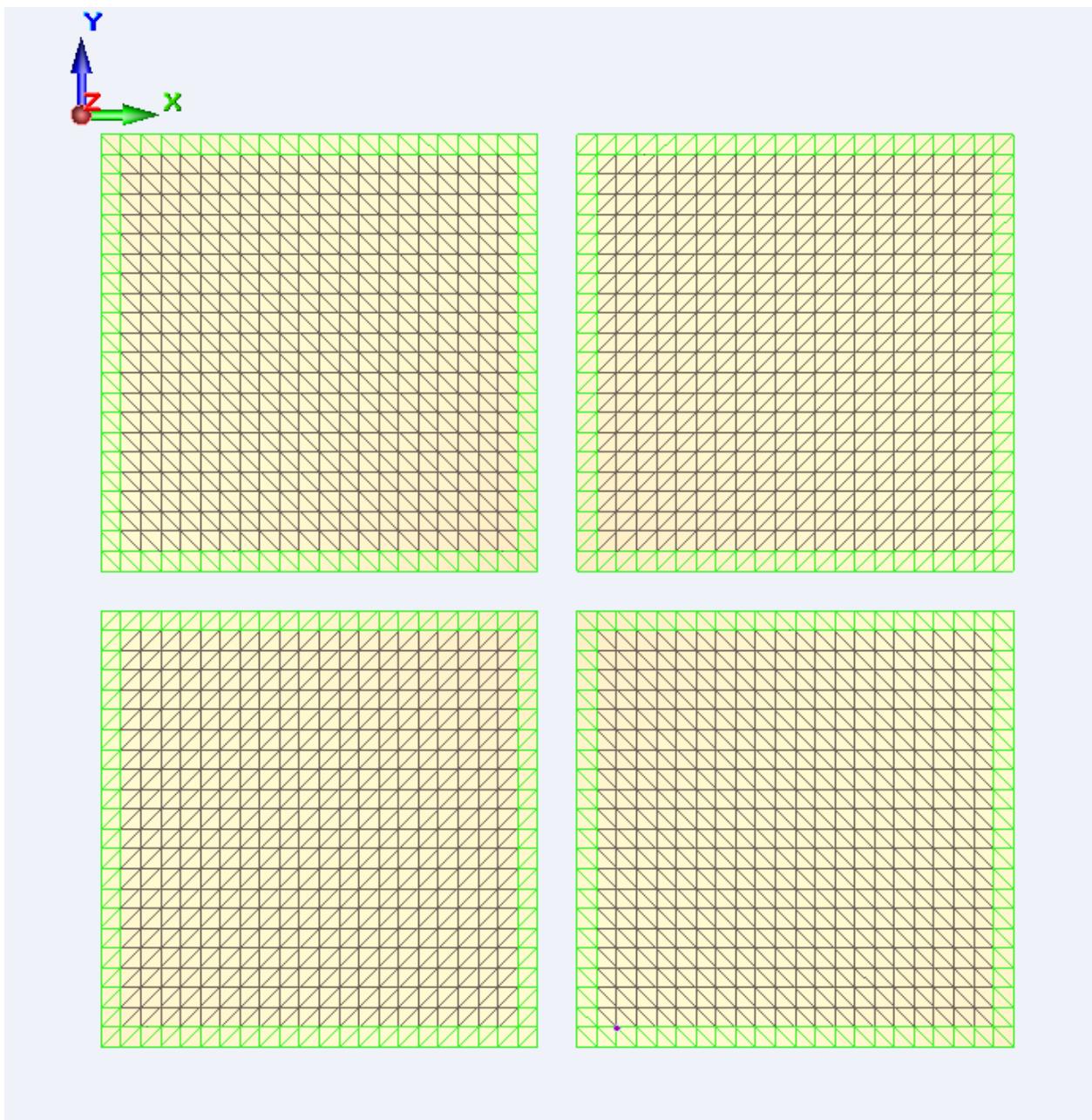


Рис.5.6. Выделение пластин на расстоянии от 0,5 м до 1 м от балочных элементов (визуализируется зеленым цветом)

- В служебном окне Параметры назначаем выделенным пластинам толщину 90 мм
 - После этого щелкните по кнопке - Применить
 - Нажимаем на кнопку - Скрыть выделенные на панели Визуализация
- Для задания оставшимся пластинам толщины 70 мм:
- Способом выделения «рамка» выделяем оставшиеся пластины оболочки
 - В служебном окне Параметры назначаем выделенным пластинам толщину 70 мм
- После этого щелкните по кнопке - Применить
- Щелкаем по кнопке - Показать все элементы на панели Визуализация

Идеализация модели

- Щелкните по кнопке  - Найти пересечения в раскрывающемся списке Пересечь (панель Расчетная модель: триангуляция на вкладке Аналитика).
- В открывшемся диалоговом окне САПФИР (рис.5.7) щелкните по кнопке Да.

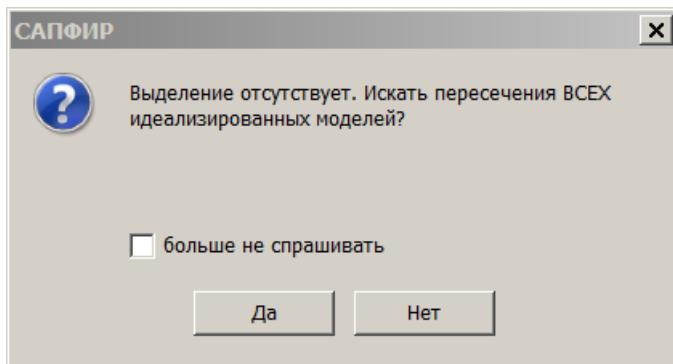


Рис.5.7. Диалоговое окно САПФИР

- Расчетная модель с выполненными пересечениями будет выглядеть следующим образом (рис.5.8)

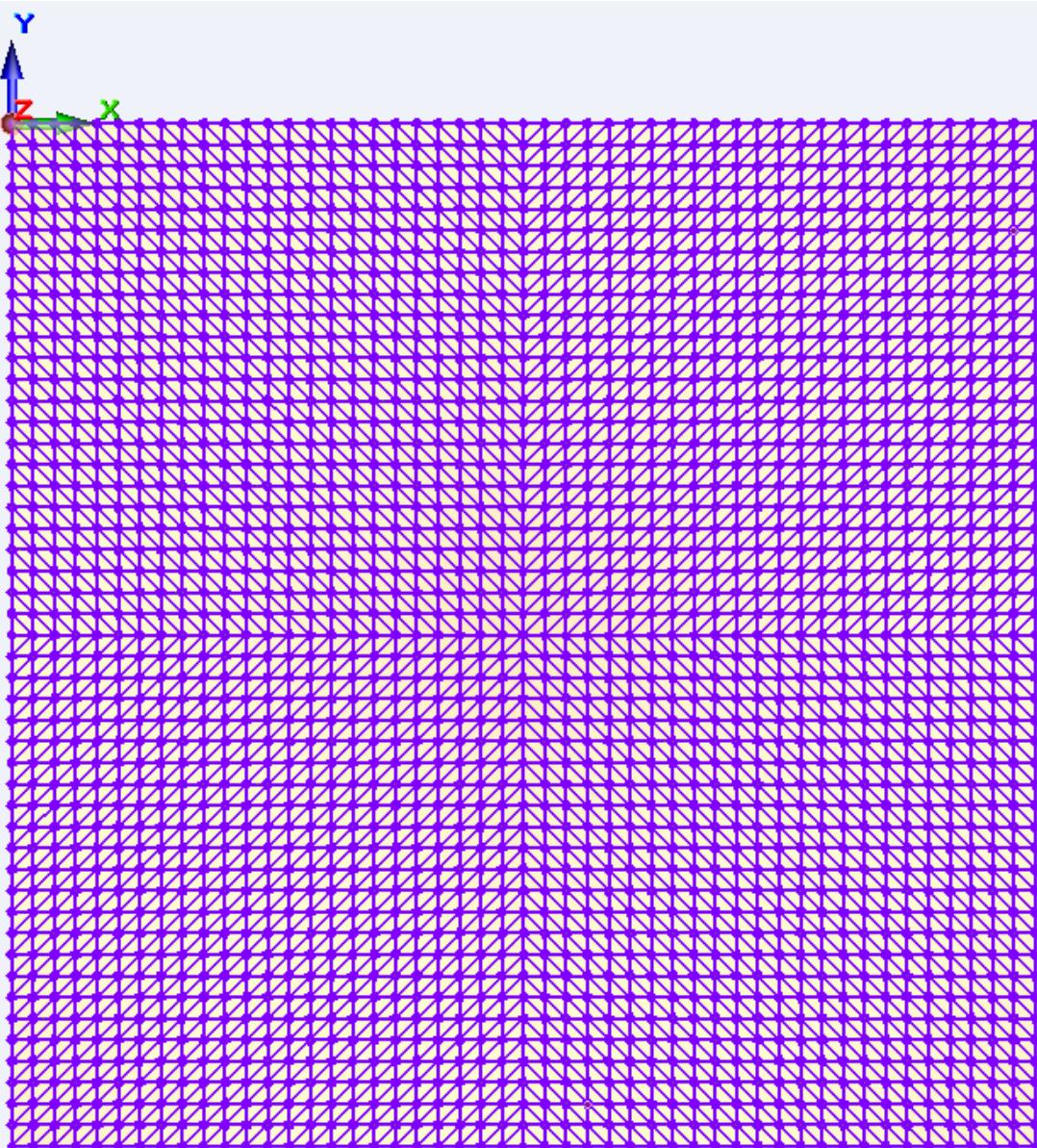
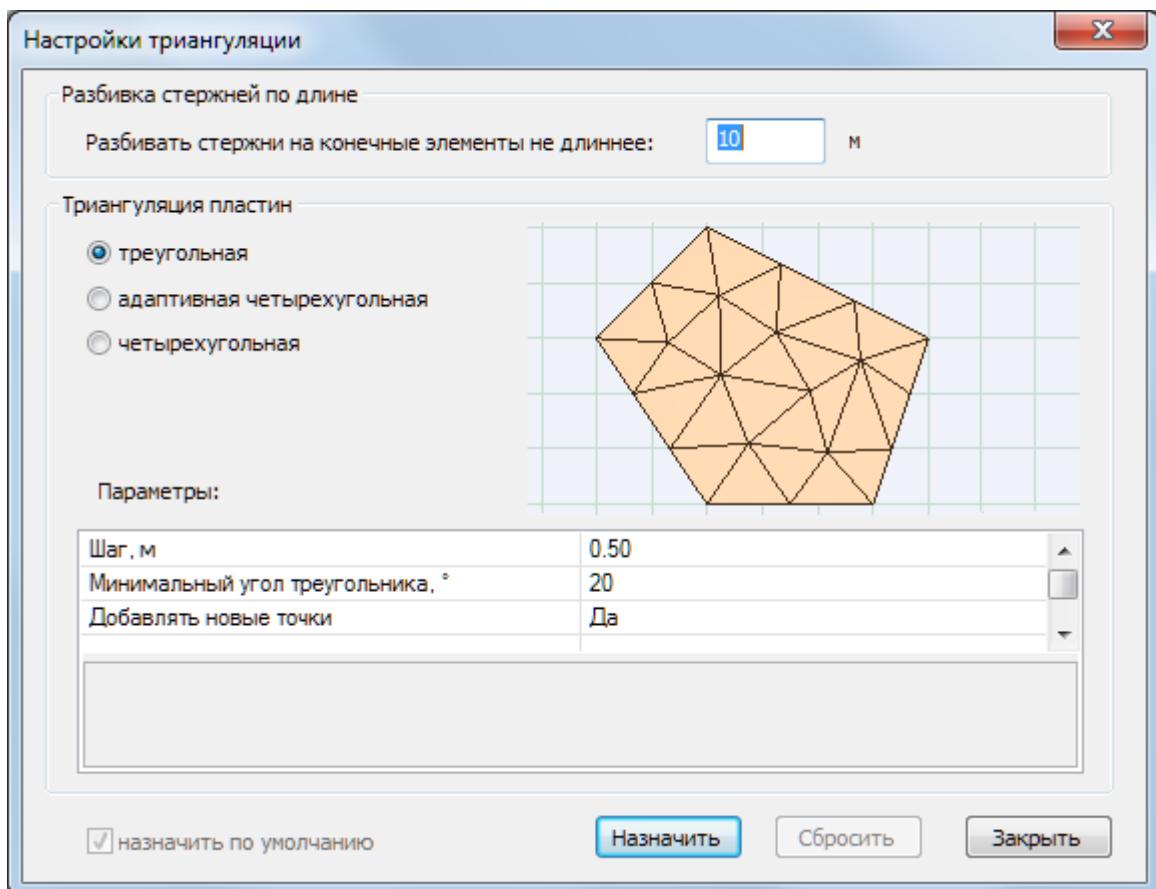


Рис.5.8. Расчетная модель гипара с найденными пересечениями (визуализируются фиолетовым цветом)

Триангуляция модели

- Вызовите диалоговое окно **Настройки триангуляции** (рис.5.9) щелчком по кнопке **Настройки** (панель **Расчетная модель: триангуляция** на вкладке **Аналитика**). 
- В открывшемся диалоговом окне задайте следующее:
 - **триангуляция пластин** – треугольная;
 - **шаг, м** – 0.5.
- После этого щелкните по кнопке **Назначить**.



*Рис.5.9. Диалоговое окно **Настройки триангуляции***

- Для разбивки на КЭ щелкните по кнопке - **Создать триангуляционную сеть** в раскрывающемся списке **Сеть** (панель **Расчетная модель: триангуляция** на вкладке **Аналитика**).

Этап 7. Создание файла для ПК ЛИРА-САПР

- Чтобы открыть конечно-элементную схему в ПК ЛИРА-САПР щелкните по кнопке - **Открыть в раскрывающемся списке Открыть** (панель **Расчет в ЛИРА-САПР** на вкладке **Аналитика**).
- Программа создаст файл в формате *.s2l в каталоге, где сохранён файл Сапфира в формате *.spf, и откроет этот файл в системе **ВИЗОР-САПР**.



Чтобы сохранить файл САПФИР для ЛИРА-САПР без автоматического открытия в



*системе **ВИЗОР-САПР**, щелкните по кнопке - **Сохранить в раскрывающемся списке Открыть** (панель **Расчет в ЛИРА-САПР** на вкладке **Аналитика**). В открывшемся диалоге можно задать имя для файла в формате *.s2l и выбрать папку для сохранения.*

(Этапы 8-14 «Корректировка модели. расчет и анализ результатов в ВИЗОР» см. в примере с «Гипаром»)

ПРИМЕР №36 – «Грибок с наклонными колоннами»

Для второго варианта «грибка» рассмотрим этап 3 и 4 отдельно (остальное аналогично предыдущему примеру)

Этап 3. Создание опорных элементов: колонн и балок

Создание колонн

- Выполните щелчок по кнопке  - Балка в раскрывающемся списке Балка (панель Инструменты построения на вкладке Создание). В диалоговом окне свойств отобразятся свойства построения балки.
- В диалоговом окне Свойства построения: Балка щелкните напротив строки Материал.
- В открывшемся диалоговом окне Материалы (рис.3.1) выберите из списка материал Бетон B25.

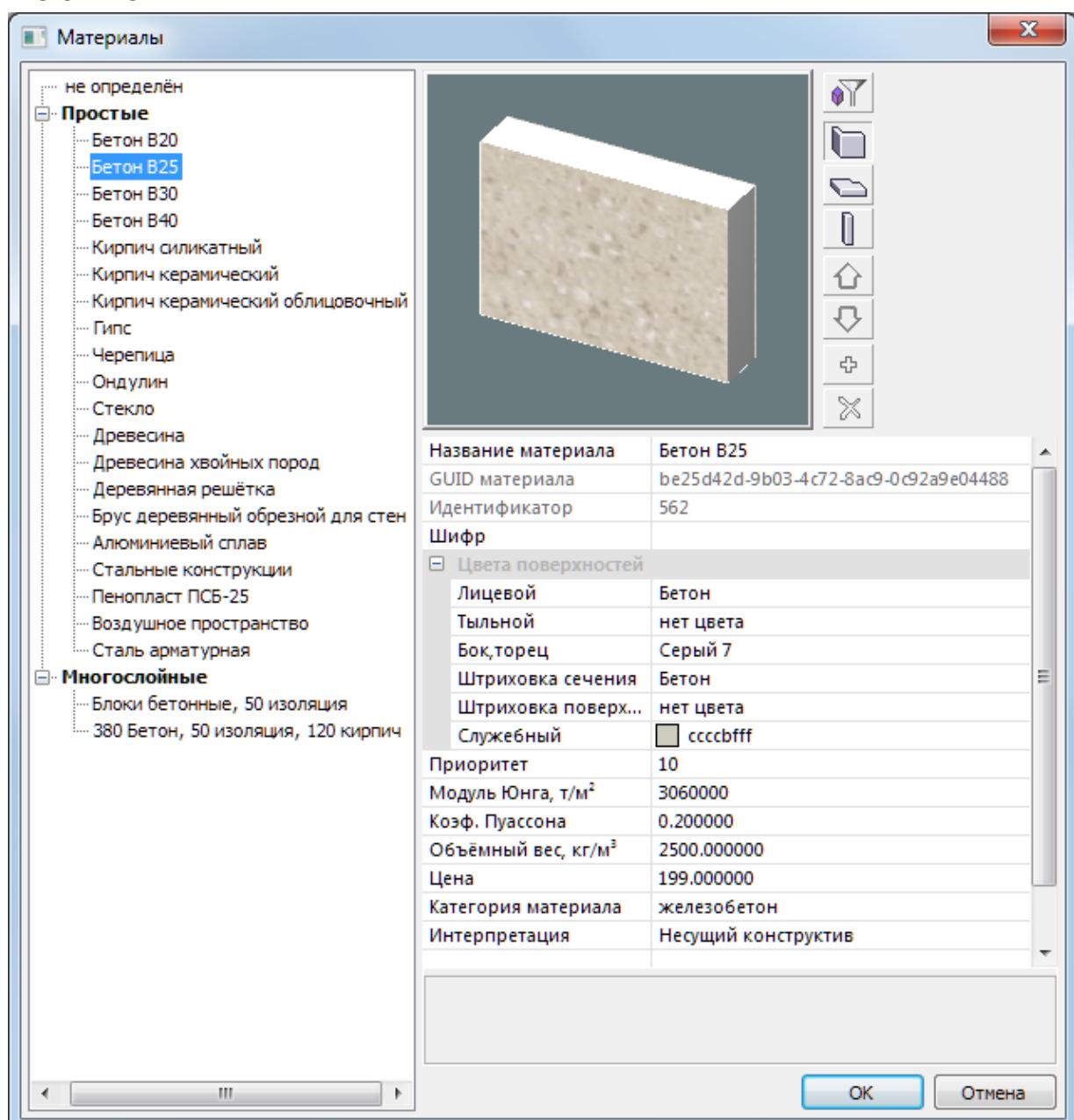
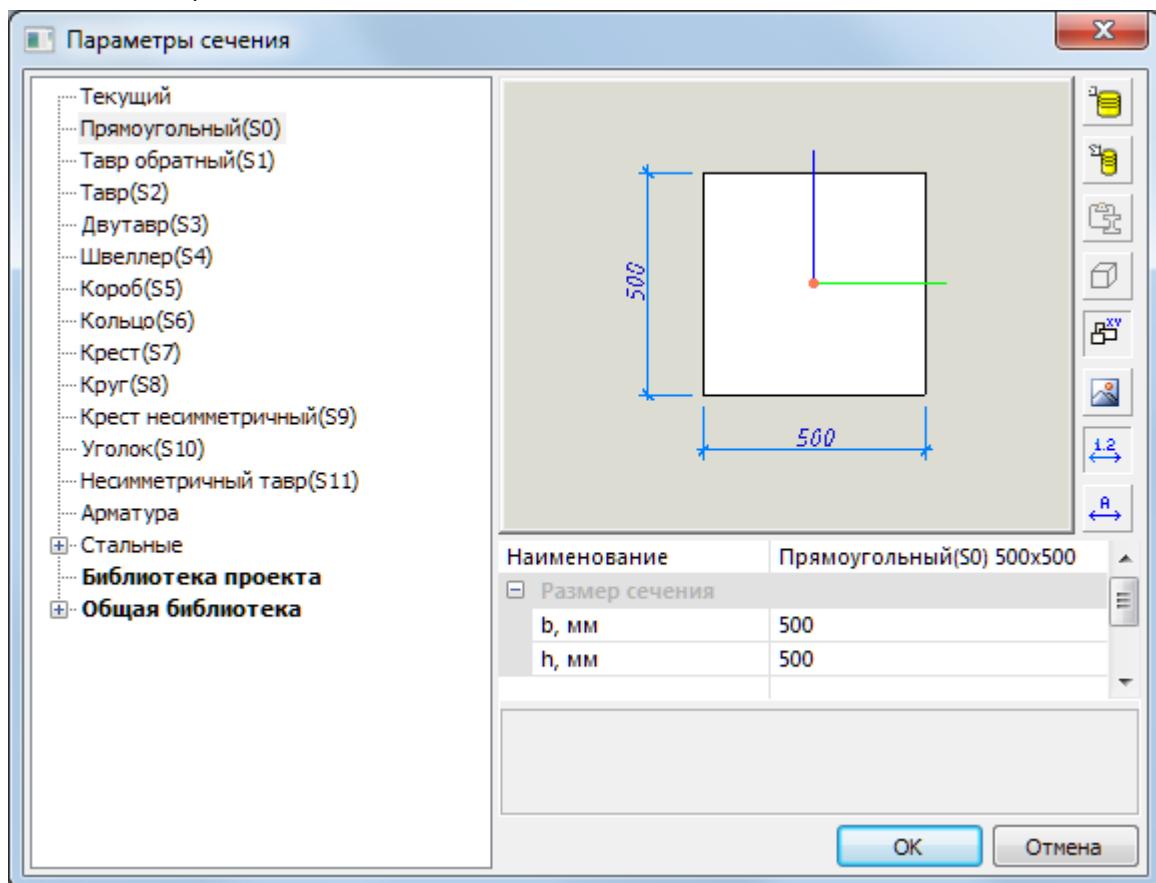


Рис.3.1. Диалоговое окно Материалы

- После этого щелкните по кнопке **OK** (после закрытия списка строка **Бетон Б25** демонстрируется напротив параметра **Материал** как текущий выбранный материал).
- Вызовите диалоговое окно **Параметры сечения** (рис.3.2) щелчком по кнопке  в строке свойств инструмента Балка.
- В открывшемся диалоговом окне задайте следующие параметры:
 - в списке типов сечений выберите тип **Прямоугольник(S0)**;
 - задайте параметр **b=500мм**;
 - задайте параметр **h=500мм**
- После этого щелкните по кнопке **OK**.



*Рис.3.2 Диалоговое окно **Параметры сечения***

- Нажмите на кнопку  - Аналитическая модель на панели **Визуализация**
- В строке свойств инструмента Балка выберите способ построения  - Отрезок
- Произведите построение наклонных колонн с помощью инструмента Балка (рис.3.3). **Начало балки должно соответствовать низу колонны, конечная точка балки – верху колонны.**

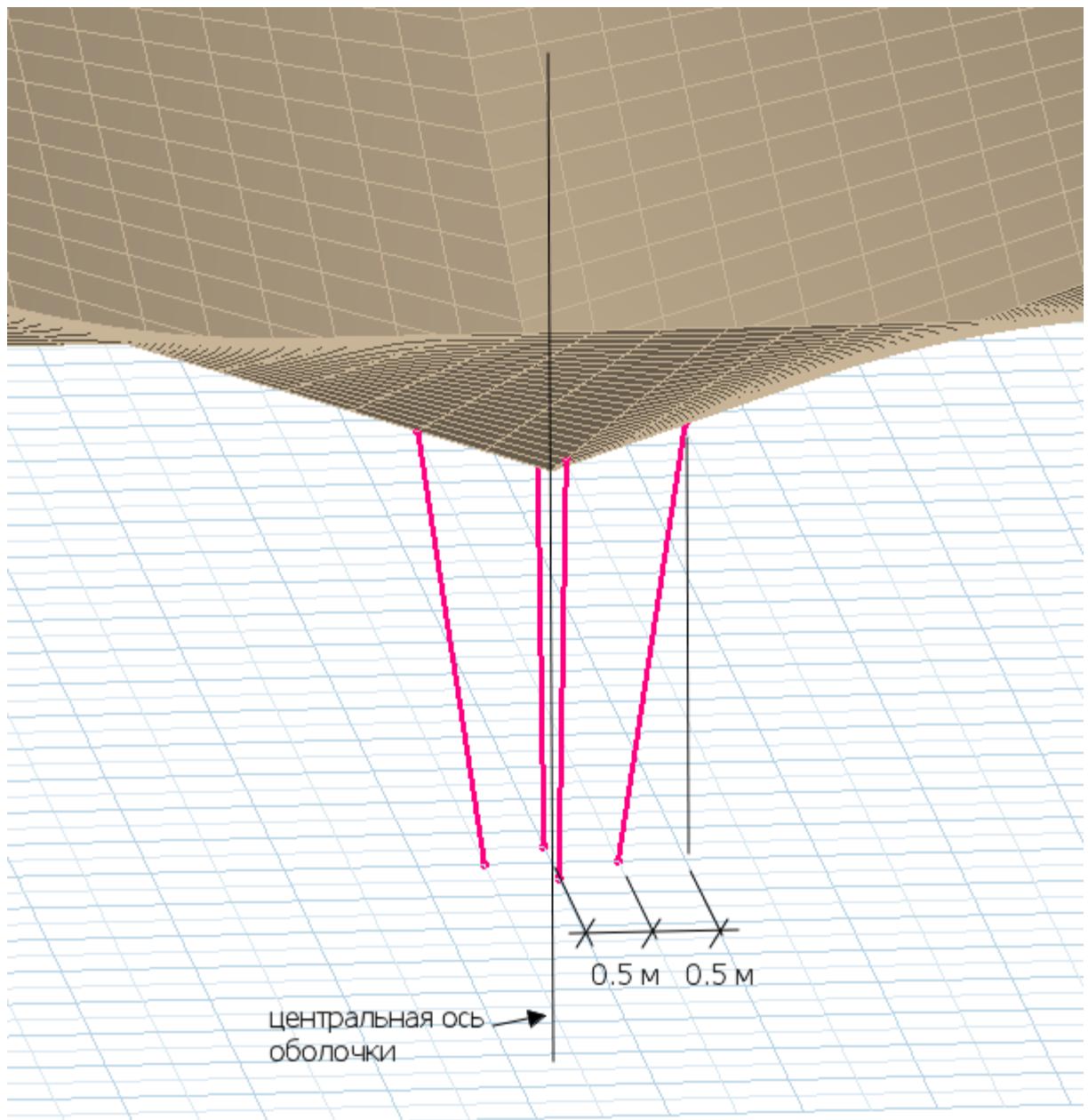


Рис.3.3 Расположение наклонных колонн в модели (красным цветом).

Создание контурных элементов - балок



- Выполните щелчок по кнопке **Балка в раскрывающемся списке Балка** (панель **Инструменты построения** на вкладке **Создание**). В диалоговом окне свойств отобразятся свойства построения балки.
- В диалоговом окне **Свойства построения: Балка** щелкните напротив строки **Материал**.
- В открывшемся диалоговом окне **Материалы** (рис.3.4) выберите из списка материал **Бетон B25**.

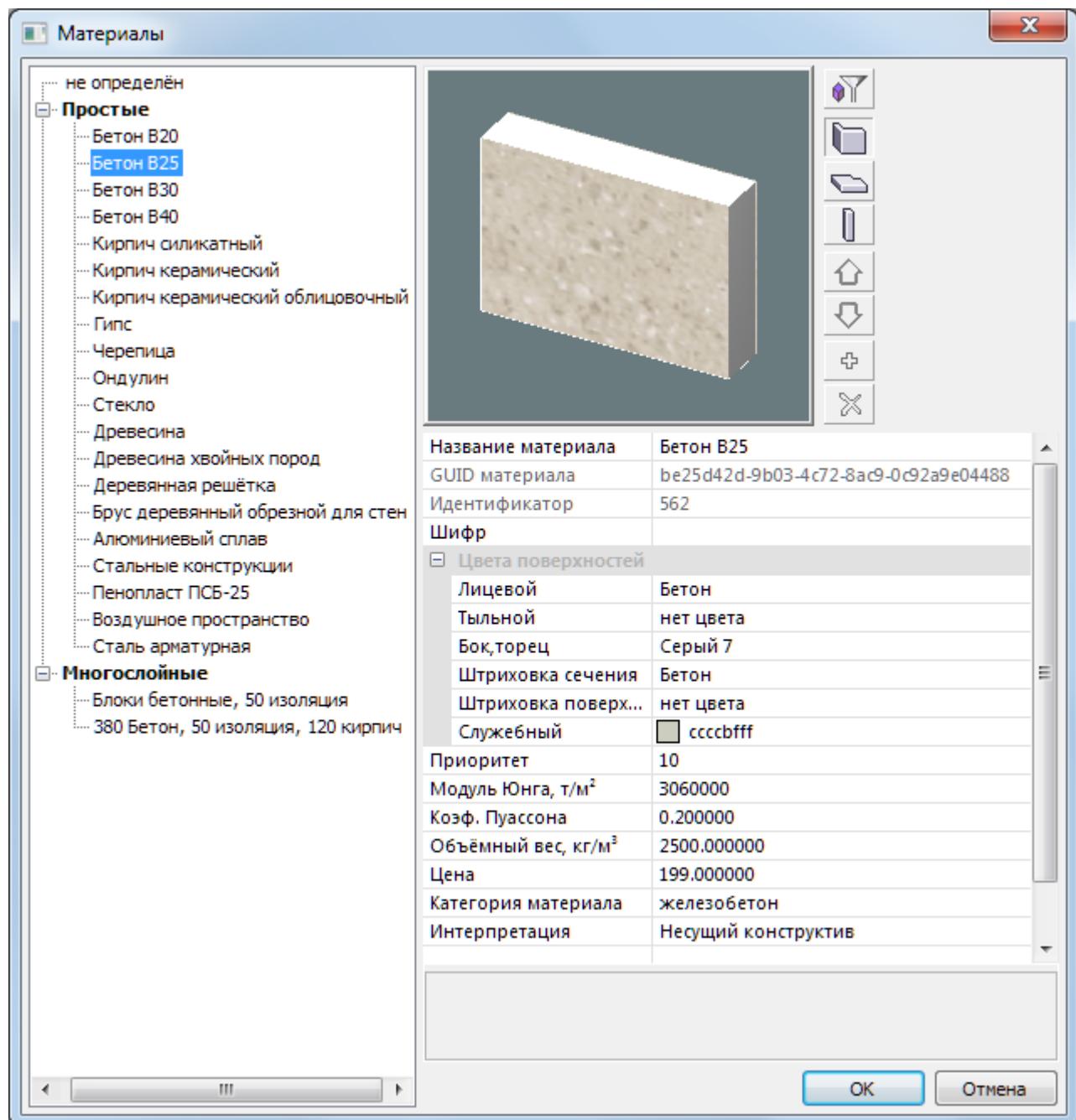


Рис.3.4. Диалоговое окно **Материалы**

- После этого щелкните по кнопке **OK** (после закрытия списка строка **Бетон B25** демонстрируется напротив параметра **Материал** как текущий выбранный материал).
- Вызовите диалоговое окно **Параметры сечения** (рис.3.5) щелчком по кнопке  в строке свойств инструмента Балка.
- В открывшемся диалоговом окне задайте следующие параметры:
 - в списке типов сечений выберите тип **Прямоугольник(S0)**;
 - задайте параметр **b=300мм**;
 - задайте параметр **h=300мм**
- После этого щелкните по кнопке **OK**.

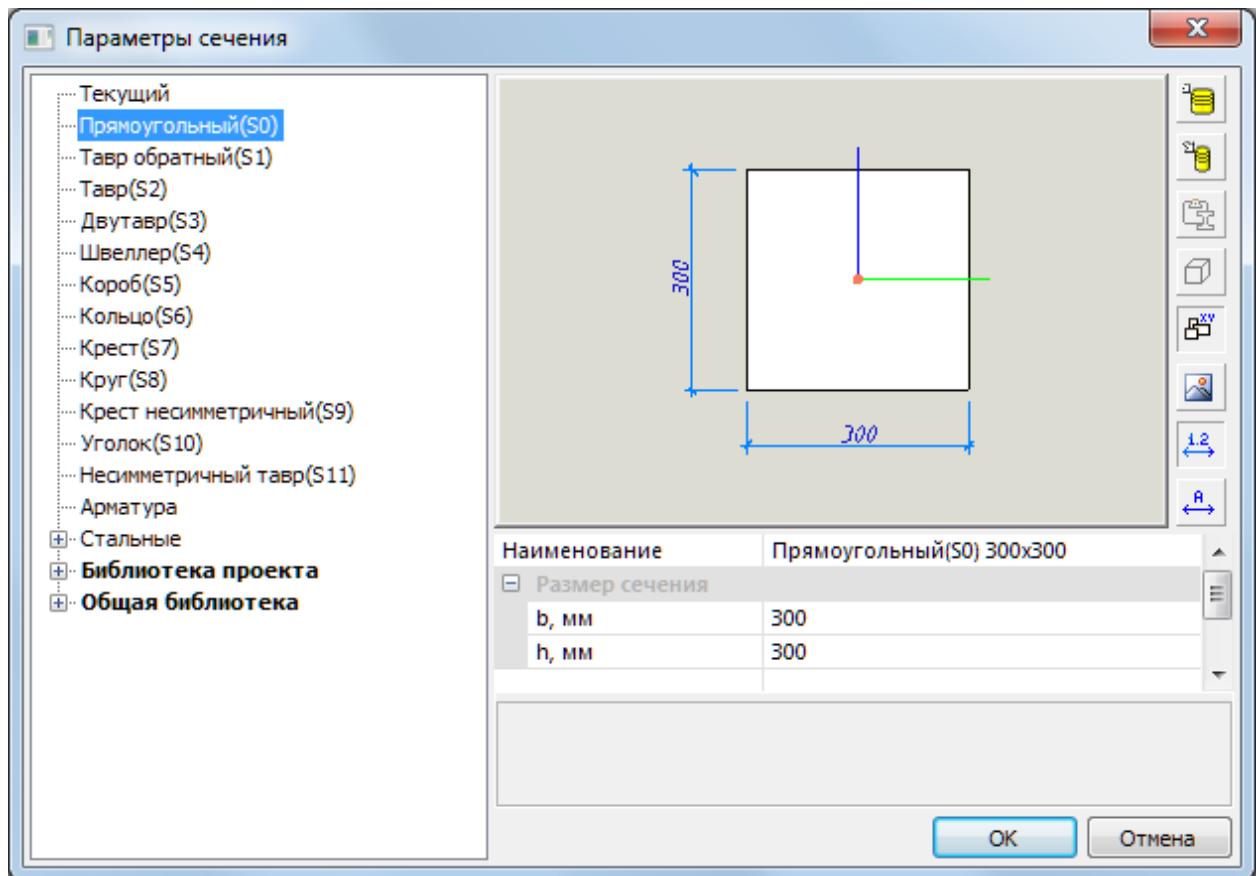


Рис.3.5 Диалоговое окно Параметры сечения

- Нажмите на кнопку - Аналитическая модель на панели Визуализация
- В строке свойств инструмента Балка выберите способ построения - Прямоугольник
- Произведите построение наружных контурных элементов – балок, указав две точки диагонали прямоугольника (1 и 2) на оболочке(рис.3.6)

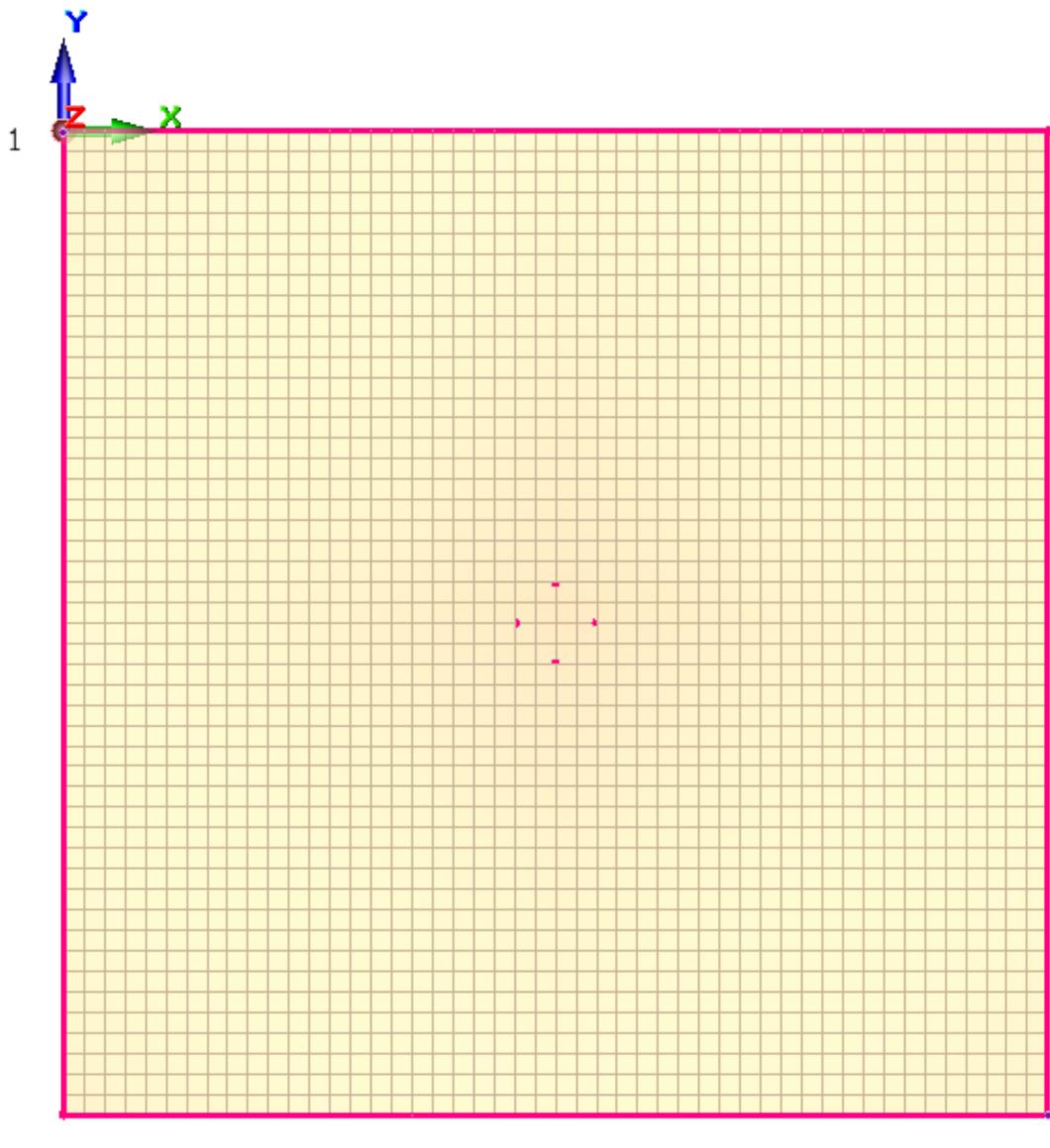


Рис.3.6 Расположение наружных контурных элементов в модели (красным цветом). 1 и 2 – точки диагонали прямоугольника.

- Вызовите диалоговое окно **Параметры сечения** (рис.3.7) щелчком по кнопке в строке свойств инструмента Балка.
- В открывшемся диалоговом окне задайте следующие параметры:
 - в списке типов сечений выберите тип **Прямоугольник(S0)**;
 - задайте параметр **b=500мм**;
 - задайте параметр **h=300мм**
- После этого щелкните по кнопке **OK**.

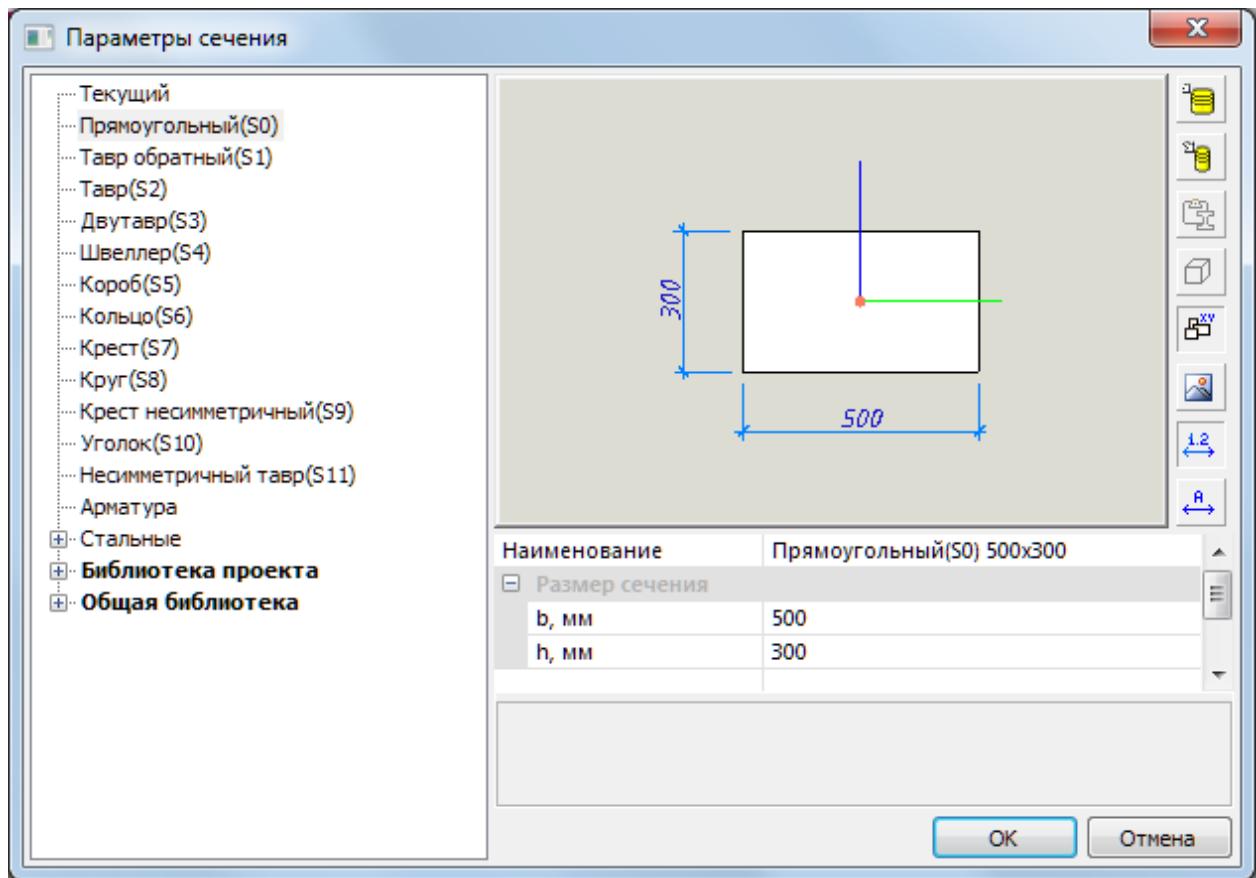


Рис.3.7 Диалоговое окно Параметры сечения

- В строке свойств инструмента Балка выберите способ построения - Отрезок
- Произведите построение 4-х балок, последовательно указывая левой кнопкой мышки начало и конец для каждой из балок (рис.3.8)

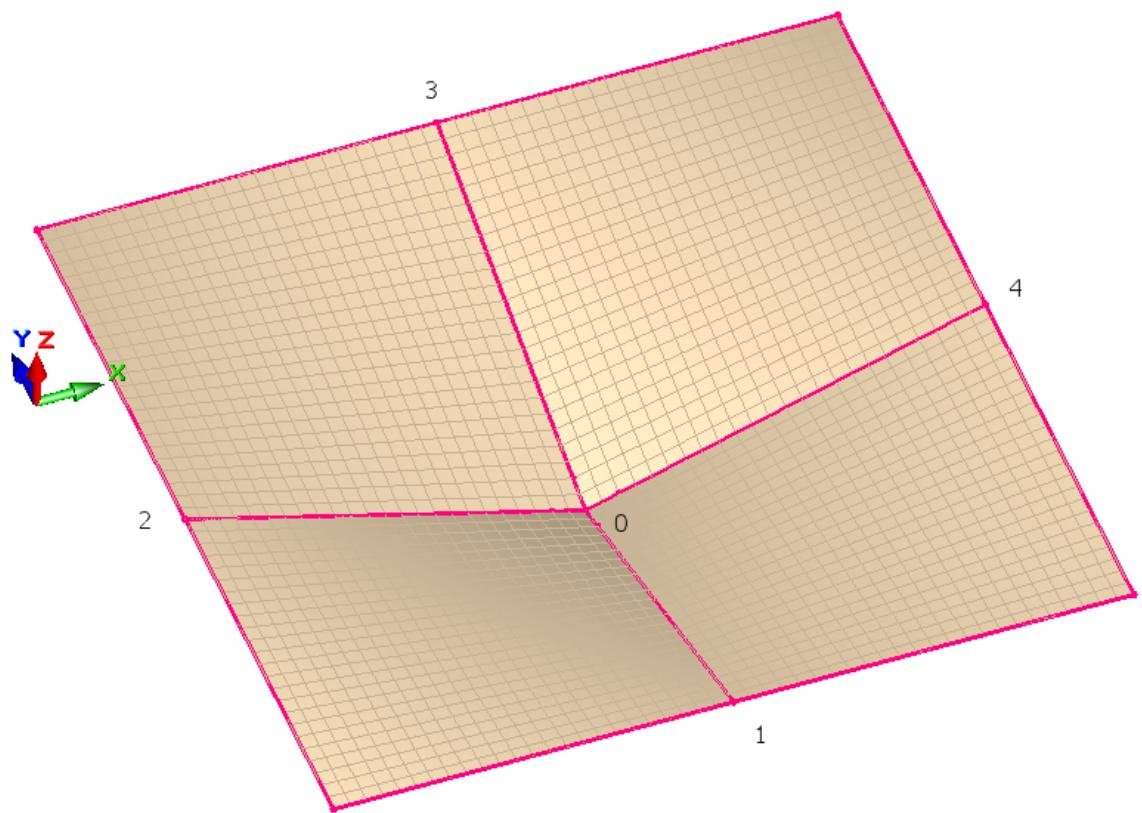


Рис.3.8 Расположение внутренних балок в модели. Точки 0 и 1 – начало и конец для первой балки, 0 и 2 – соответственно для второй, 0 и 3 – для третьей, 0 и 4 – для четвертой

Этап 4. Создание закреплений

- В фильтре - **Фильтр элементов** на панели **Визуализация** указываем следующее:
 - ставим «галочку» напротив **Балка**
 - для **свойства Сечение** выбираем из раскрывающегося списка параметр – **Прямоугольный(S0) – 500x500**
 - выбираем команду **Выделить** (рис.4.1)
 - закрываем диалог щелкнув по кнопке **Выход**

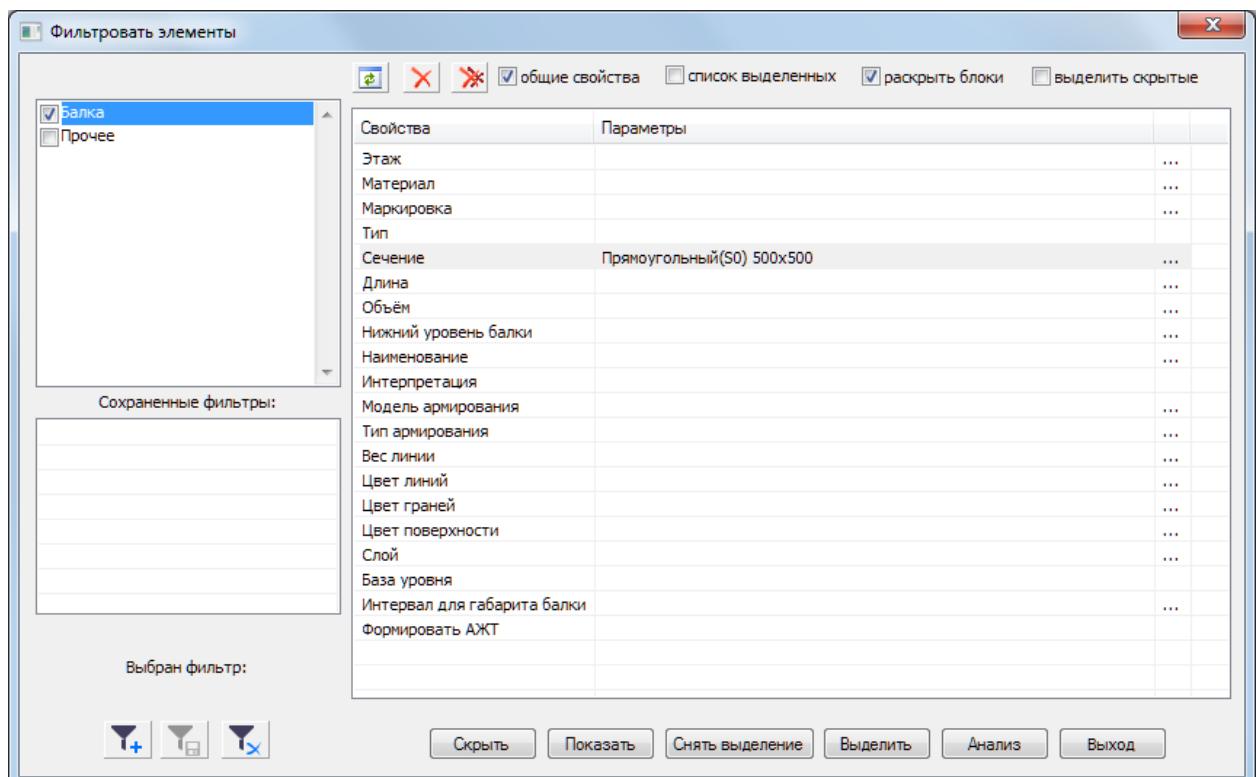


Рис.4.1. Диалоговое окно **Фильтровать элементы**

- Выполните щелчок по кнопке - **Жесткое защемление** (панель **Аналитическая модель: корректировка** на вкладке **Аналитика**). В строке свойств из раскрывающегося списка выберите - **Начало балки, стены**.
- Нажмите на кнопку - **Наложить выбранные граничные условия**.
- Отожмите кнопку - **Аналитическая модель** на панели **Визуализация**
- Нажмите кнопку **Esc**

ПРИМЕР №4 – «Цветок»

Рассчитать и законструировать монолитную железобетонную оболочку отрицательной гауссовой кривизны типа «цветок» с утепленной кровлей, на прямоугольном плане размерами $2a = 24\text{м} \times 2b = 24\text{м}$.

Снеговой район - III. Высота опорных колонн 4 м.

Расчет и конструирование выполнить с применением программного комплекса «ЛИРА – САПР».

В качестве базовой принимаем оболочку на квадратном плане, со стороной $a = 12\text{ м}$, рис. 2а.

Принимаем геометрические параметры базового гипара:

$$f = 24\text{м}/6 = 4\text{м};$$

высоту контурных элементов

$$h_{\text{кон}} = 24\text{м}/80 = 0.3\text{м} = 30\text{ см},$$

ширину наружных контурных элементов из конструктивных соображений принимаем равной высоте

$$b_{\text{кон}} = 30\text{ см},$$

а ширину внутренних контурных элементов

$$b_{\text{вкон}} = 50\text{ см};$$

толщина средней части оболочки

$$t = 12\text{ м}/200 = 0,06\text{ м}; \text{ принимаем } t = 7\text{ см}.$$

Принимаем опорные колонны сечение 50 × 50 см.

Форма срединной поверхности базовой оболочки будет описываться соотношением (5), смотри Пример 1.

Характеристики материалов принимаем согласно [6]:

бетон класса В25, $R_b = 14,5\text{ МПа}$, $R_{bt} = 1,05\text{ МПа}$, $\gamma_{b2} = 0,9$, $E_b = 30000\text{ МПа}$.

Для собственно оболочки принимаем проволочную арматуру класса В400, $R_s = 410\text{ МПа}$,

$R_{sc} = 375\text{ МПа}$, для бортовых элементов и колонн арматуру класса А400, $R_s = 365\text{ МПа}$,

$R_{sc} = 375\text{ МПа}$.

Нагрузки на конструкцию приведены в Таблице 1 в примере №1 «Гипар».

Проверим устойчивость оболочки по соотношению (3).

Согласно вычислениям в примере 1 полная расчетная нагрузка на оболочку:

$$q_{av} = 507 + (0.07 \cdot 25000 \cdot 1.1) + 2000 = 4432 \text{ Н/м}^2.$$

$$q_{cr} = 0,05 E_b \cdot t^2 / (Rav)^2 = 0,05 \cdot 30000 \cdot 100 \cdot 0,07^2 / (36,5)^2 = 0,5516 \text{ т/м}^2 = 5516 \text{ Н/м}^2.$$

$$5516 \text{ Н/м}^2 > 4432 \text{ Н/м}^2. \text{ Устойчивость обеспечена.}$$

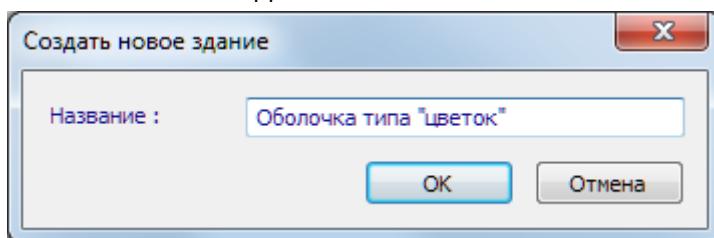
Толщина оболочки в месте примыкания к бортовому элементу на ширине 1,0 м плавно меняется от 14 см до 7 см (для конечно элементной схемы: в полосе 0,5 м от контурного элемента – 11 см, в полосе от 0,5 м до 1 м – 9 см), см. рисунок в примере 2а «Шатёр».

Этап 2. Создание составной оболочки типа «цветок»

(Этап 1 «Создание нового проекта и настройка его свойств» см. в примере с «Гипаром»)

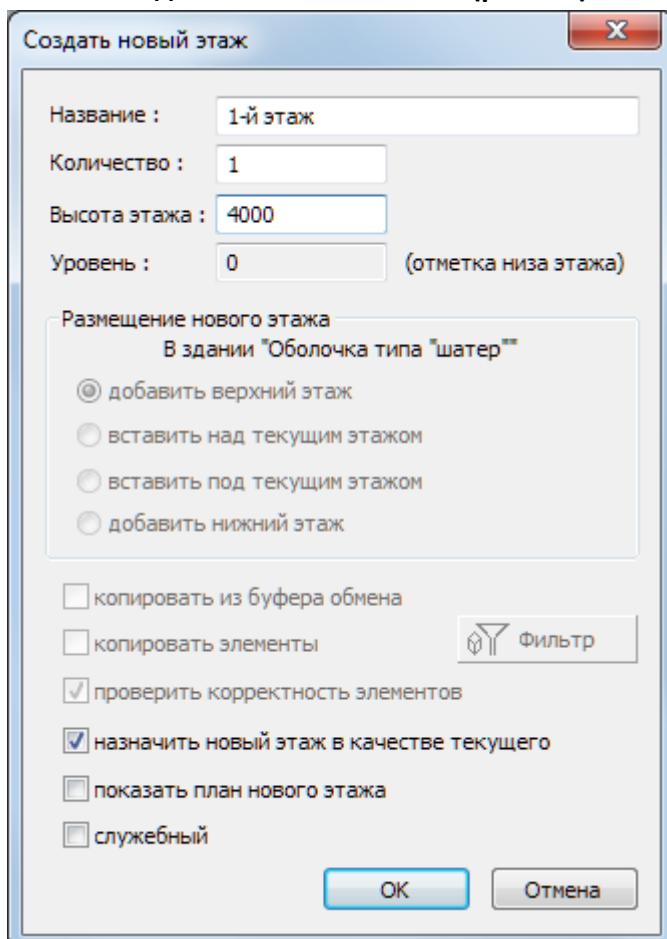
Редактирование Структуры проекта

- Вызовите диалог создания нового здания щелчком по кнопке  - **Создать здание** в служебном окне **Структура**
- В появившемся диалоговом окне введите название «Оболочка типа «цветок»» (рис.2.1)



*Рис. 2.1. Диалоговое окно **Создать новое здание***

- Нажмите на кнопку **OK**
- Щелкните по кнопке  - **Создать этаж** в служебном окне **Структура**
- В поле ввода **Высота этажа** введите значение «4000» (рис.2.2)



*Рис. 2.2. Диалоговое окно **Создать новый этаж***

- Нажмите на кнопку **OK**

Создание оболочки типа «цветок»

- Выполните щелчок по кнопке  - **Линии и поверхности** (панель **Поверхности** на вкладке **Создание**).

- Нажмите на кнопку  - **Новая функция** в закладке **Поверхность z=f(x,y)**
- В диалоговом окне введите следующие значения в полях (рис.2.3):
 - $z=f(x,y) = a*x^y$;
 - Параметры – $a=1/36$;
 - $x \text{ min} = 0, \text{ max}=12$;
 - $y \text{ min} = 0, \text{ max}=12$;
 - $n = 24$;
 - $n = 24$

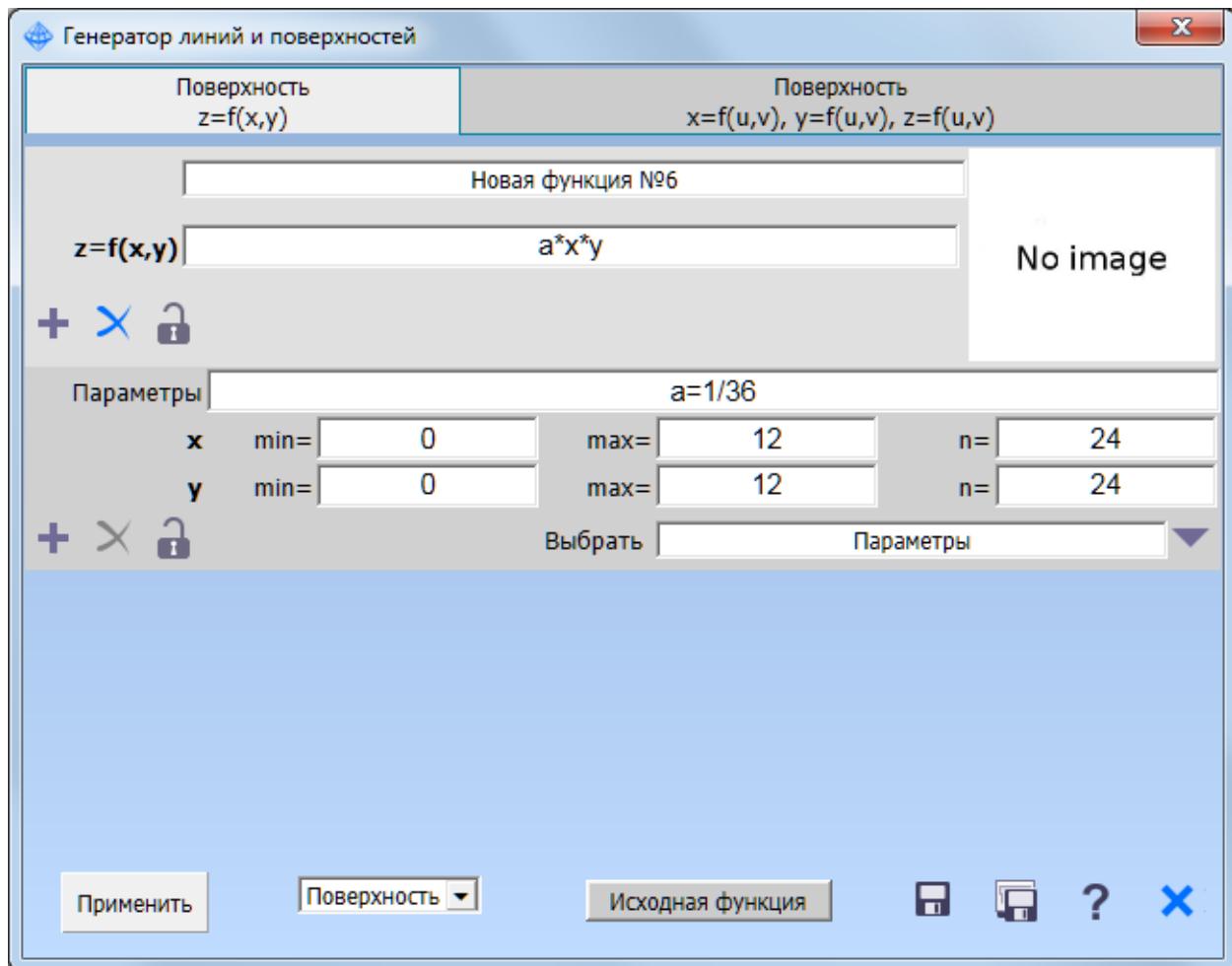


Рис. 2.3. Диалоговое окно Линии и поверхности

- Нажмите на кнопку **Создать** 
- Нажмите на кнопку  - **Выход**
- Выделите поверхность щелкнув по ней левой кнопкой мышки
 - В строке **Интерпретация** выберите из раскрывающегося списка - **Несущий конструктив**
 - После этого щелкните по кнопке  - **Применить.**
- Не снимая выделения с оболочки щелкните по кнопке  - **Поворот вокруг ЛСК** в раскрывающемся списке **Поворот** на панели **Корректировка** на вкладке **Редактирование**

- В диалоговом окне задайте следующие данные (рис.2.4):
 - Угол поворота – 90;
 - Число повторений – 3;
 - Поставьте «галочку» напротив строки сделать копию объектов
 - Нажмите на кнопку Выполнить

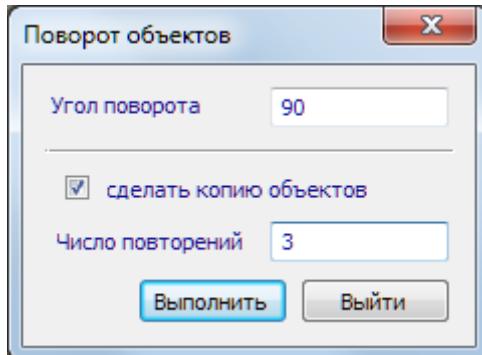


Рис.2.4. Диалоговое окно Поворот объектов

- С зажатой кнопкой **Shift** произведите выделение, кликнув левой кнопкой мышки по невыделенным частям оболочки



- Щелкните по кнопке - Перенос по координатам на в раскрывающемся списке Перенос на панели Корректировка в закладке Редактирование
- В диалоговом окне в строке Приращение Z, мм введите значение – 4000 (рис.2.5)
- Нажмите на кнопку Выполнить
- Нажмите кнопку Esc

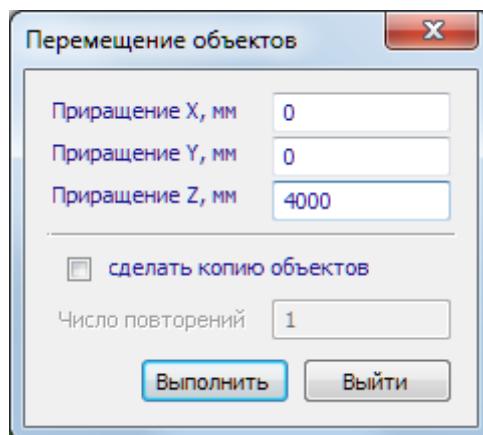


Рис.2.5. Диалоговое окно Перемещение объектов

[Этап 3. Создание опорных элементов: колонн, ферм и балок](#)

Создание колонн



- Выполните щелчок по кнопке - Колонна в раскрывающемся списке Колонна (панель Инструменты построения на вкладке Создание). В диалоговом окне свойств отобразятся свойства построения колонны.
- В диалоговом окне Свойства построения: Колонна щелкните напротив строки Материал.
- В открывшемся диалоговом окне Материалы выберите из списка материал Бетон B25.

- После этого щелкните по кнопке **OK** (после закрытия списка строка **Бетон Б25** демонстрируется напротив параметра **Материал** как текущий выбранный материал).
- Вызовите диалоговое окно **Параметры сечения** (рис.3.1) щелчком по кнопке  в строке свойств инструмента Колонна.
- В открывшемся диалоговом окне задайте следующие параметры:
 - в списке типов сечений выберите тип **Прямоугольник(S0)**;
 - задайте параметр **b=500мм**;
 - задайте параметр **h=500мм**
- После этого щелкните по кнопке **OK**.

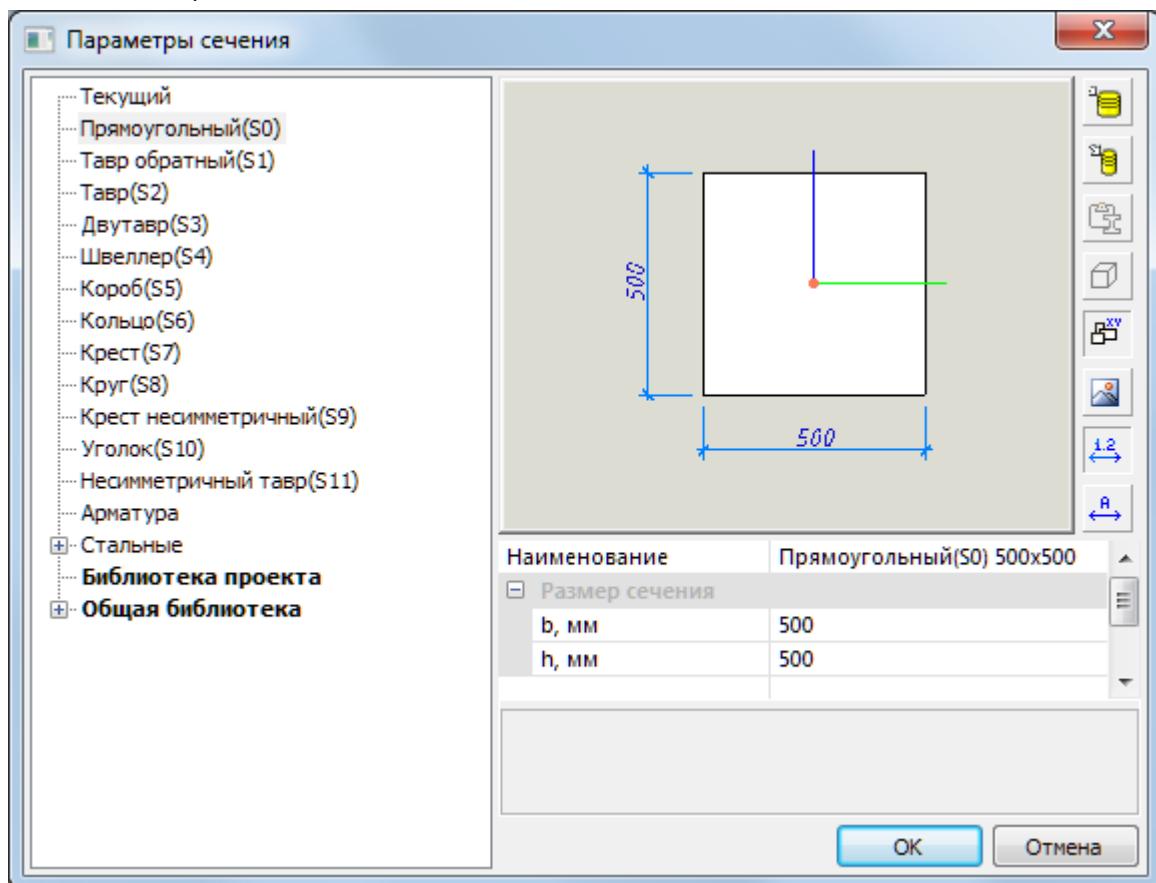


Рис.3.1. Диалоговое окно Параметры сечения

- В строке **Формировать АЖТ** установите значение – нет.
- Отключите кнопку  - Формировать контуры продавливания на панели свойств инструмента Колонна
- Нажмите на кнопку  - **Вид сверху** на панели **Проекции и виды**
- Произведите расстановку колонн в серединах сторон оболочки с помощью щелчка левой кнопки мышки (рис.3.2)

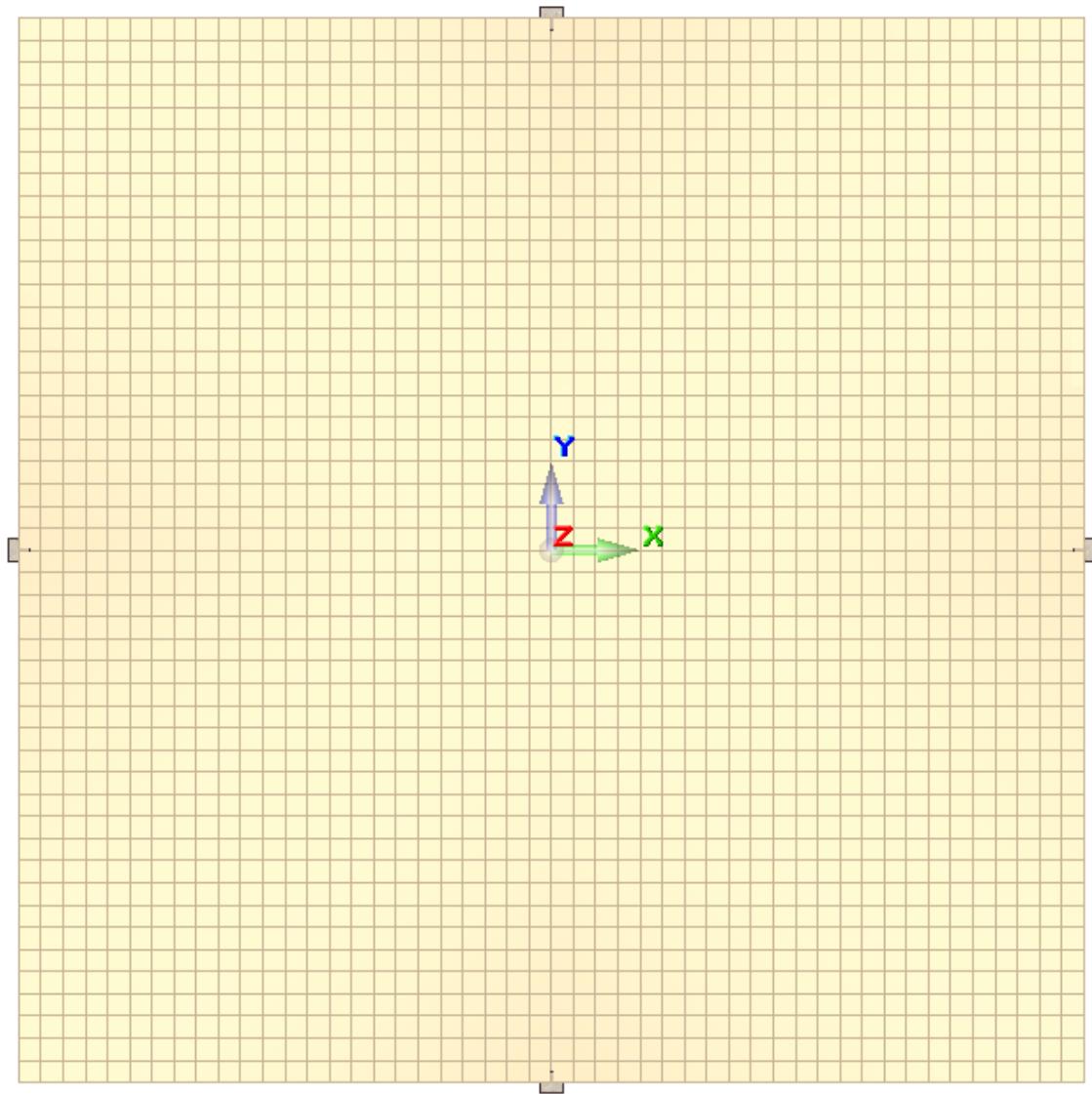


Рис.3.2. Схема расположения колонн

Создание контурных элементов - балок



- Выполните щелчок по кнопке  - Балка в раскрывающемся списке **Балка** (панель **Инструменты построения** на вкладке **Создание**). В диалоговом окне свойств отобразятся свойства построения балки.
- В диалоговом окне **Свойства построения: Балка** щелкните напротив строки **Материал**.
- В открывшемся диалоговом окне **Материалы** (рис.3.3) выберите из списка материал **Бетон 25**.

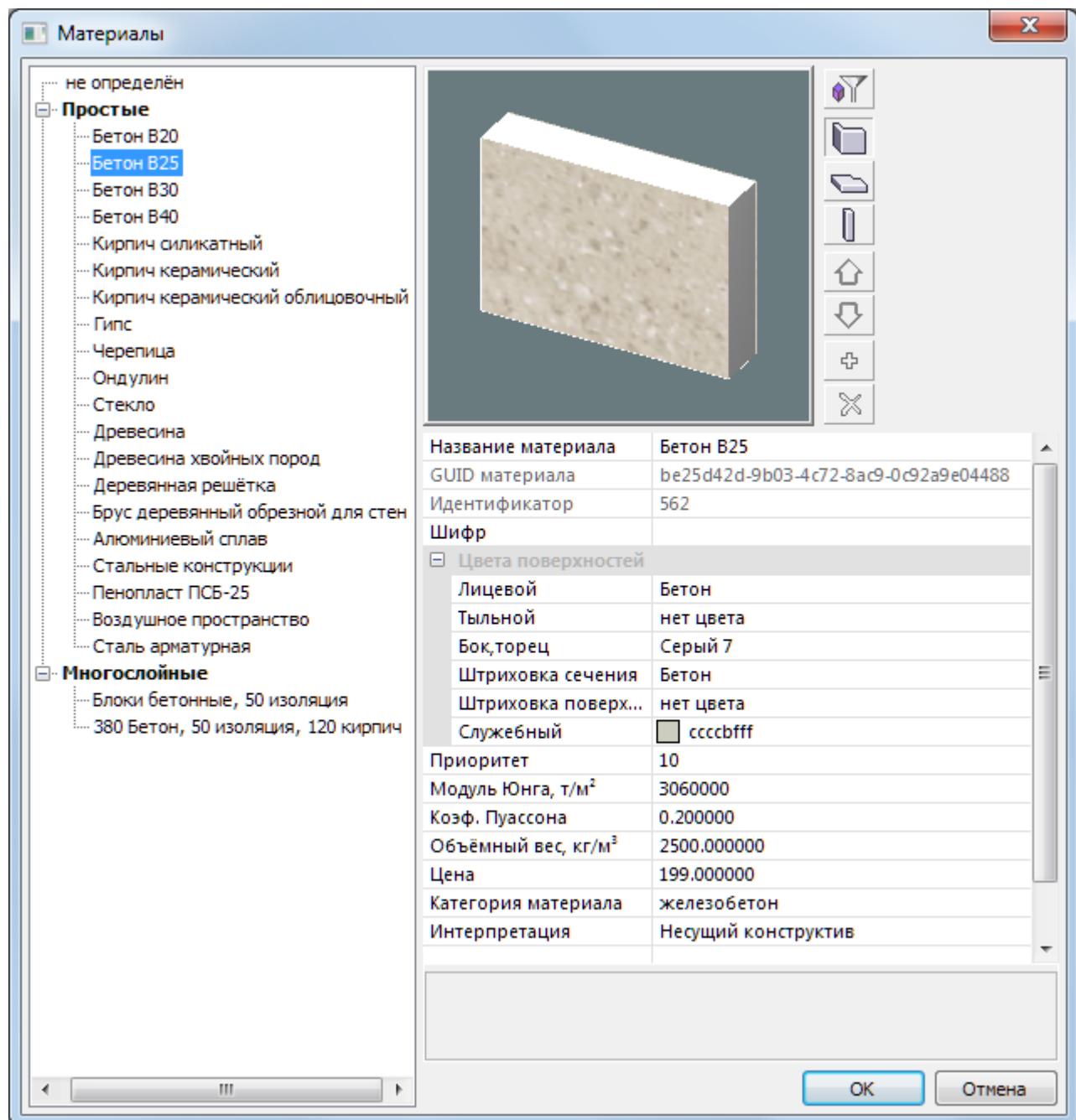


Рис.3.3. Диалоговое окно **Материалы**

- После этого щелкните по кнопке **OK** (после закрытия списка строка **Бетон B25** демонстрируется напротив параметра **Материал** как текущий выбранный материал).
- Вызовите диалоговое окно **Параметры сечения** (рис.3.4) щелчком по кнопке  в строке свойств инструмента Балка.
- В открывшемся диалоговом окне задайте следующие параметры:
 - в списке типов сечений выберите тип **Прямоугольник(S0)**;
 - задайте параметр **b=300мм**;
 - задайте параметр **h=300мм**
- После этого щелкните по кнопке **OK**.

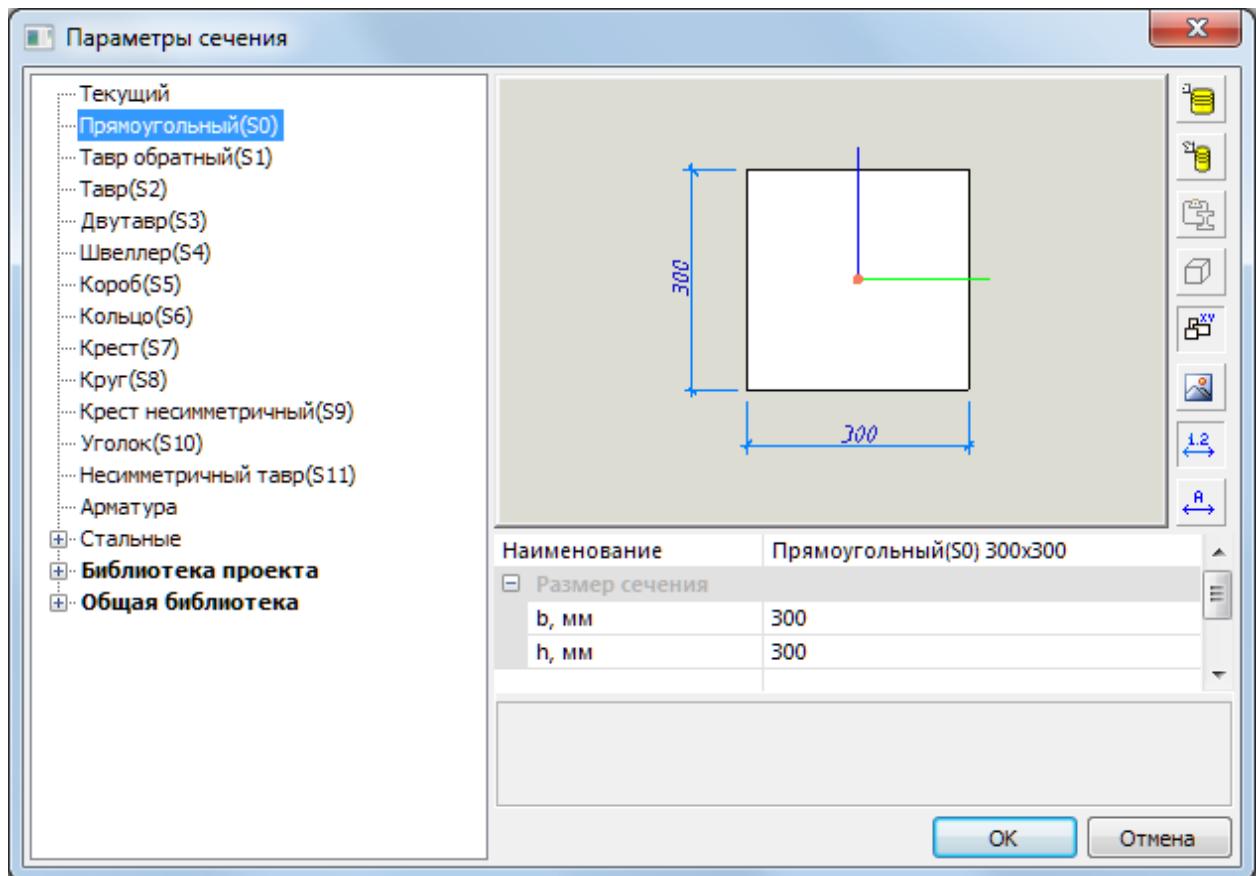


Рис.3.4 Диалоговое окно Параметры сечения

- Нажмите на кнопку - Аналитическая модель на панели Визуализация
- В строке свойств инструмента Балка выберите способ построения - Отрезок
- Произведите построение наружных контурных элементов – наклонных балок. Для этого последовательно соедините балками точки 1 – 9 по наружному контуру оболочки (рис.3.5)

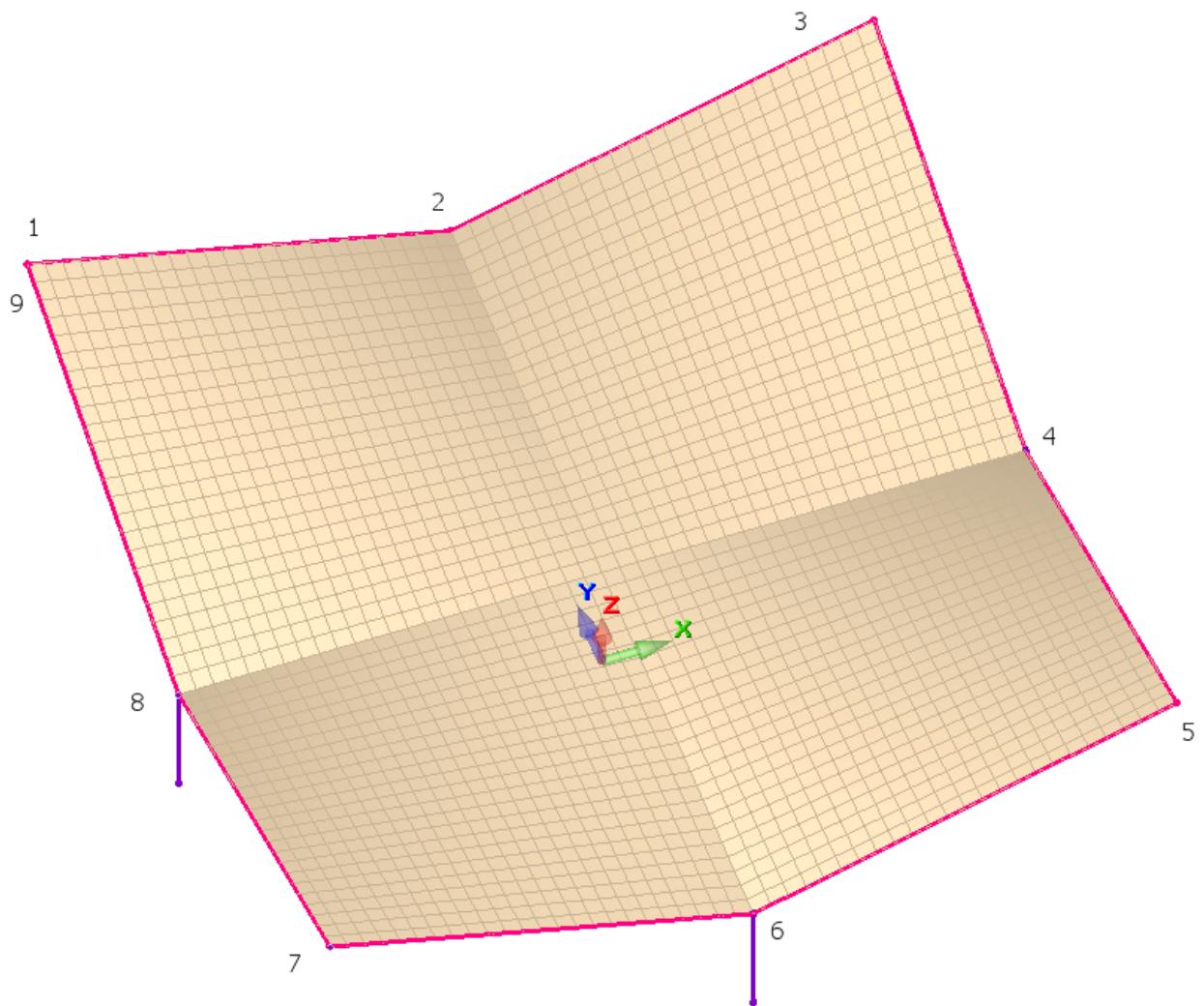


Рис.3.5 Расположение наружных контурных элементов в модели (красным цветом).

- Вызовите диалоговое окно **Параметры сечения** (рис.3.6) щелчком по кнопке в строке свойств инструмента Балка.
- В открывшемся диалоговом окне задайте следующие параметры:
 - в списке типов сечений выберите тип **Прямоугольник(S0)**;
 - задайте параметр **b=500мм**;
 - задайте параметр **h=300мм**
- После этого щелкните по кнопке **OK**.

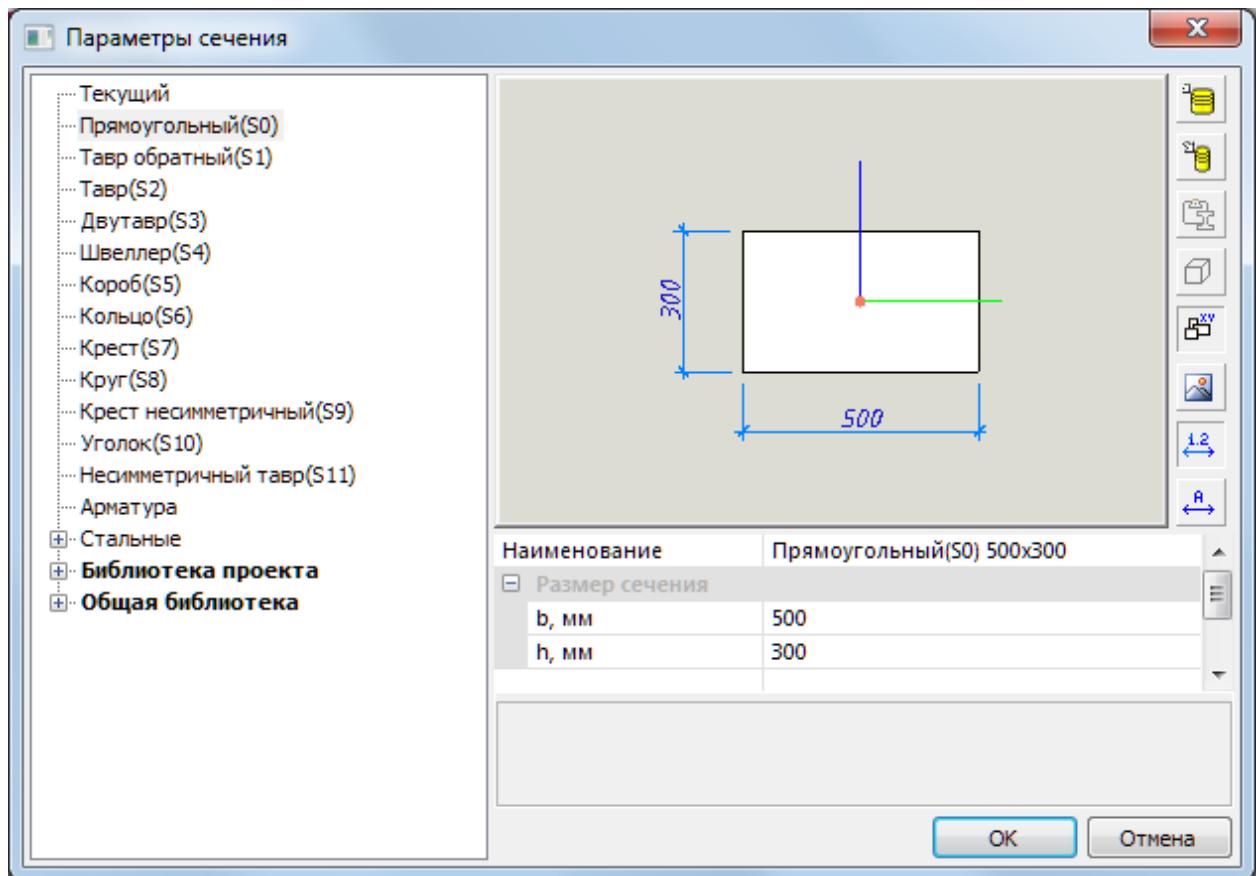


Рис.3.6 Диалоговое окно **Параметры сечения**

- В строке свойств инструмента Балка выберите способ построения - Отрезок
- Произведите построение 2-х балок, последовательно указывая левой кнопкой мышки начало и конец для каждой из балок (рис.3.7)

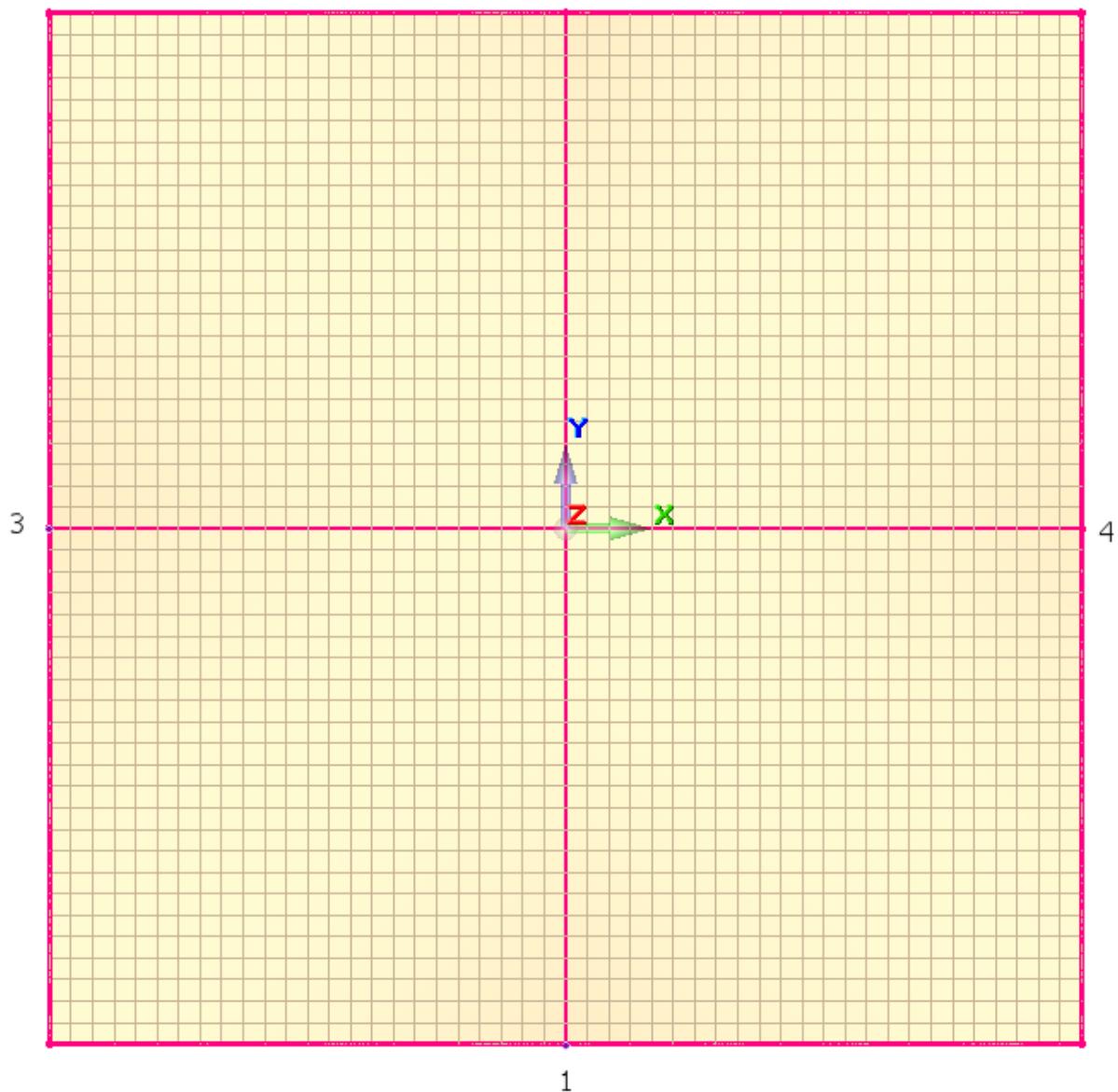


Рис.3.7 Расположение внутренних балок в модели. 1 и 2 – точки начала и конца первой балки, 3 и 4 – второй

Этап 4. Создание закреплений

- В служебном окне **Структура** выполните щелчок правой кнопки мышки по папке **Колонны**, выберите из появившегося контекстного меню **Выделить** 
 - Выполните щелчок по кнопке  - **Жесткое защемление** (панель **Аналитическая модель: корректировка** на вкладке **Аналитика**). В строке свойств из раскрывающегося списка выберите  - **Низ колонны, стены**.
 - Нажмите на кнопку  - **Наложить выбранные граничные условия**.
 - Отожмите кнопку  - **Аналитическая модель** на панели **Визуализация**
 - Нажмите кнопку **Esc**
- (Этап 5 «Создание загружений и назначение нагрузок» см. в примере с «Гипаром»)

Этап 6. Создание конечно-элементной модели (МКЭ)

Создание расчетной модели

- Вызовите диалоговое окно **Создать новую расчетную модель** (рис.5.1) щелчком по кнопке  - **Расчетная модель** (на вкладке **Аналитика**).



Кнопка **Расчетная модель** переключает из режима создания расчетной схемы к инструментам расчетной модели и обратно.

- В открывшемся диалоговом окне щелкните по кнопке **OK** (откроется новая закладка окна под названием **ФИО.spf:Расчетная модель**).

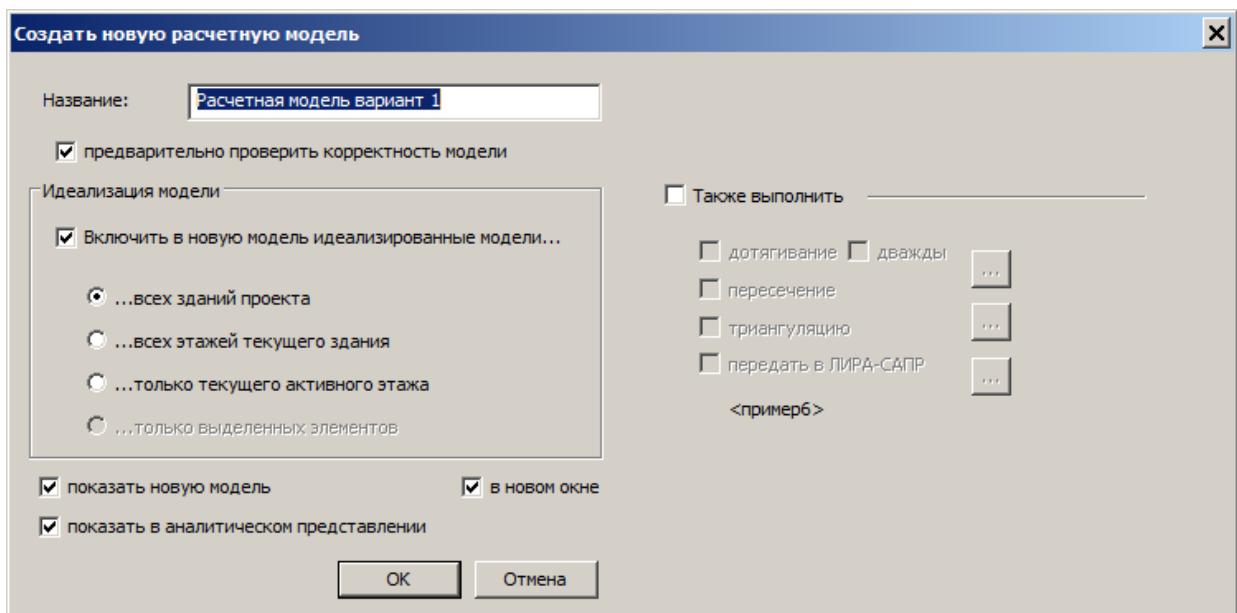


Рис.5.1. Диалоговое окно Создать новую расчетную модель



Перед созданием расчетной модели автоматически пройдет проверка модели на ошибки. Если программа обнаружит ошибки, она выдаст предупреждение. Ошибочные элементы рекомендуется устранить.

Назначение материала и толщин пластинам оболочки

- В фильтре  - **Фильтр элементов** на панели **Визуализация** указываем следующее:
- ставим «галочку» напротив **Стержень аналитической модели**
 - выбираем команду **Скрыть** (рис.5.2)
 - убираем «галочку» напротив **Стержень аналитической модели**
 - ставим «галочку» напротив **Пластина аналитической модели**
 - выбираем команду **Выделить**
 - закрываем диалог щелкнув по кнопке **Выход**

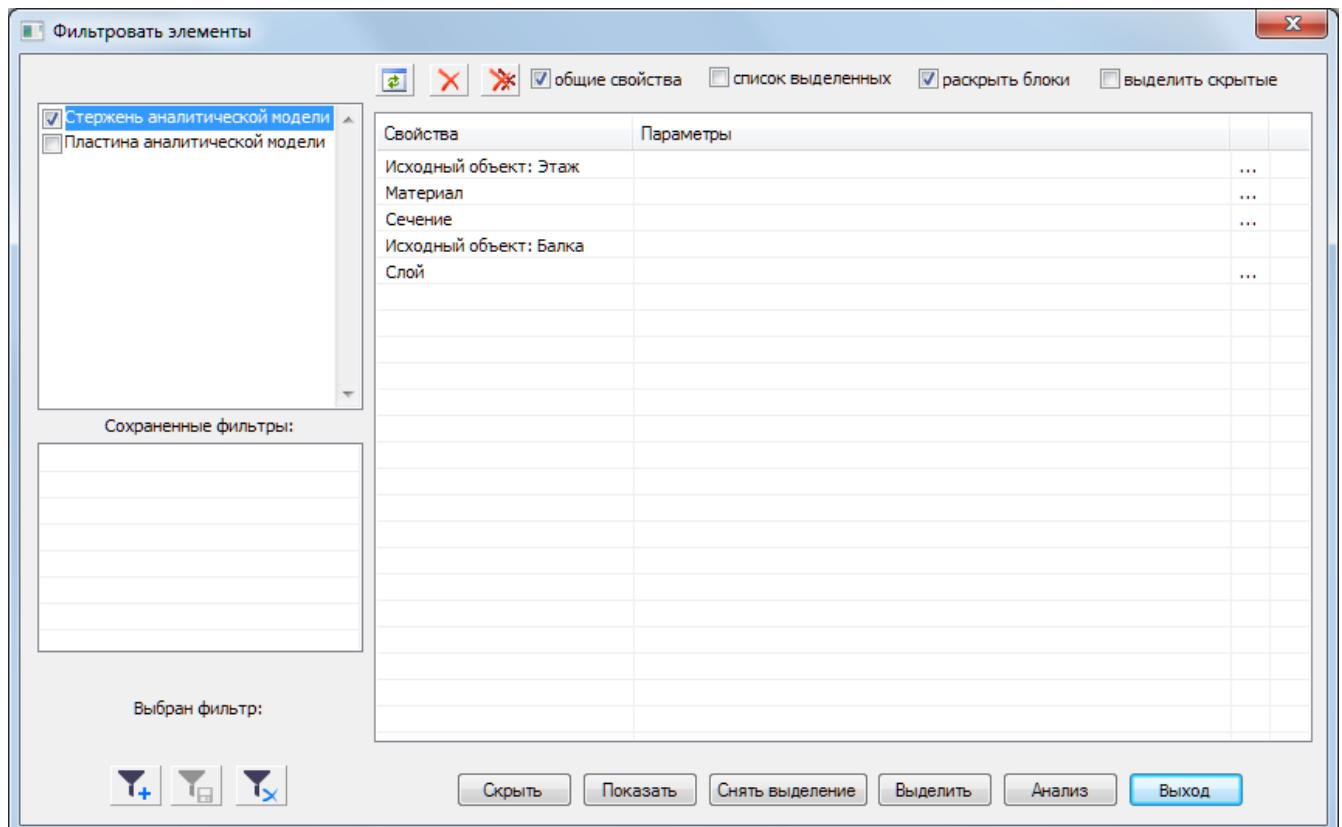


Рис.5.2. Диалоговое окно **Фильтровать элементы**

- Для выделенных пластин в служебном окне Параметры назначаем материал:
- В диалоговом окне **Материалы** (рис.5.3) выберите из списка материал **Бетон Б25**

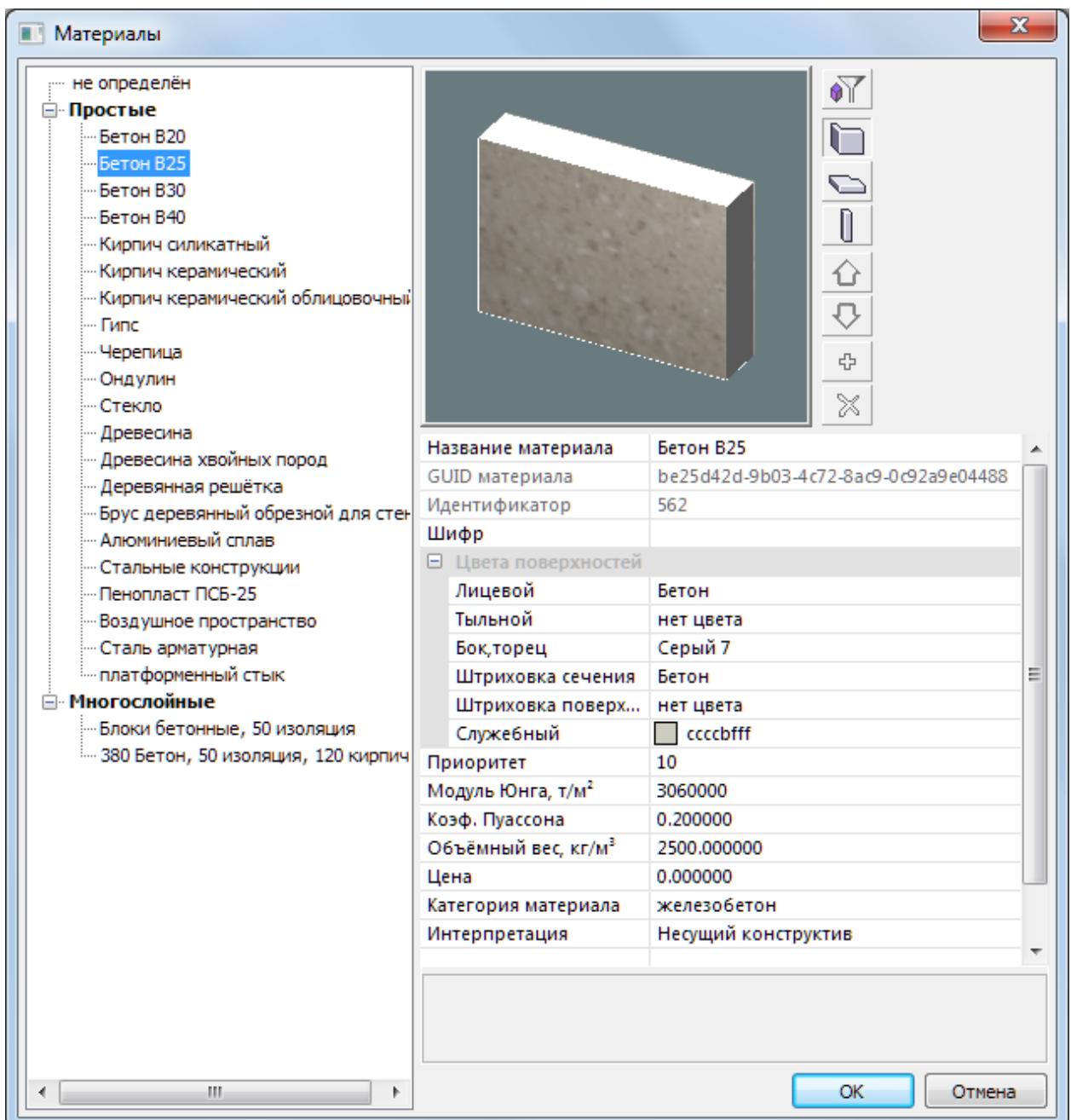
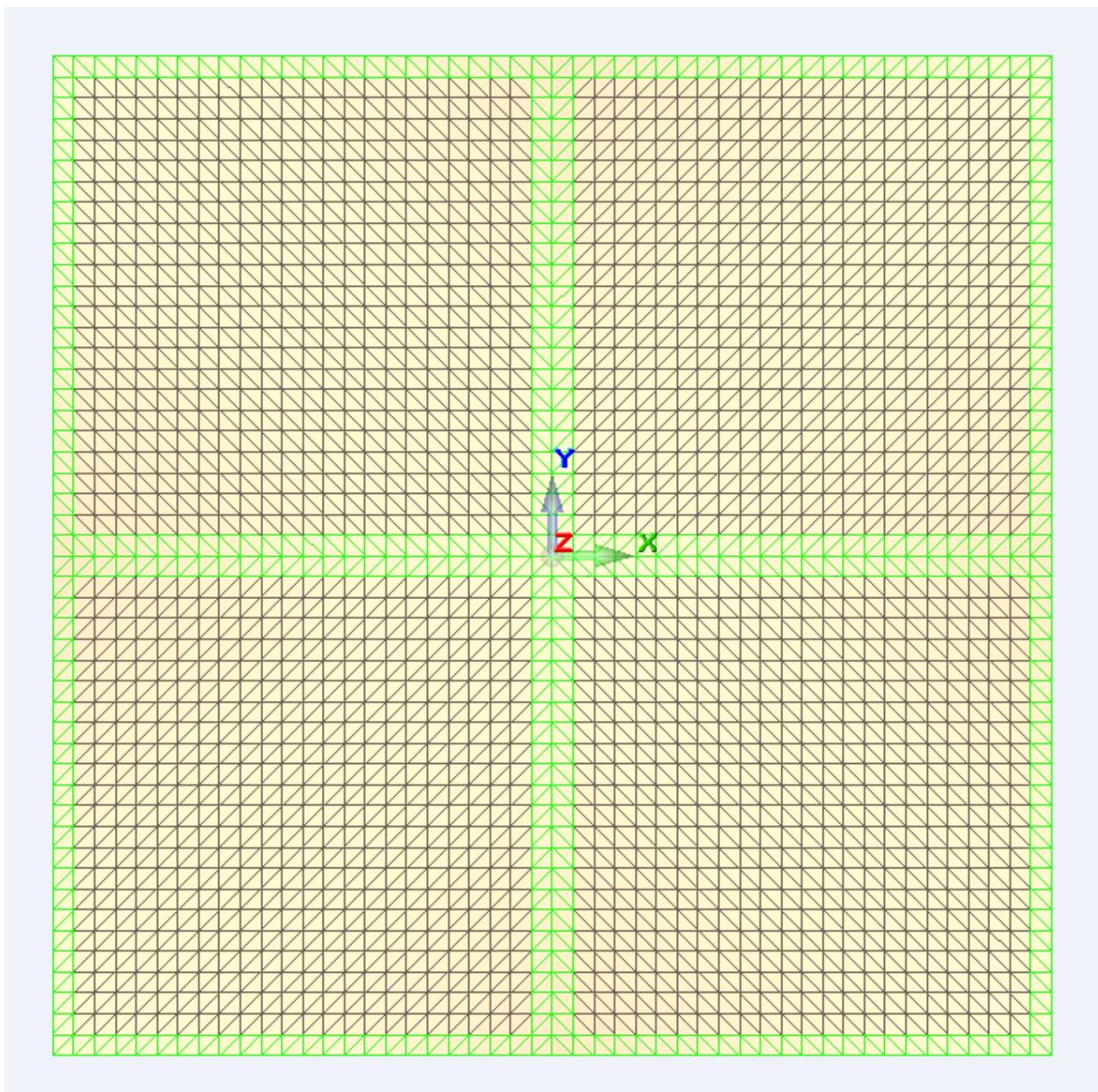


Рис.5.3. Диалоговое окно *Материалы*

- После этого щелкните по кнопке **OK** (после закрытия списка строки **Бетон B25** демонстрируется напротив параметра **Материал** как текущий выбранный материал);
- После этого щелкните по кнопке - **Применить**.
- Нажмите кнопку **Esc** для снятия выделения.
- Щелкните по кнопке - **Вид сверху** на панели **Проекции и виды**
- Для задания полосам пластин шириной 0,5 м от балочных элементов толщины 110 мм:
 - Способом выделения «рамка» с зажатой кнопкой **Shift** выделяем пластины оболочки, расположенные на расстоянии 0,5 м от балочных элементов (рис. 5.4)



**Рис.5.4. Выделение пластин на расстоянии 0,5 м от балочных элементов
(визуализируется зеленым цветом)**

- В служебном окне **Параметры** назначаем выделенным пластинам толщину 110 мм (рис.5.5)
- После этого щелкните по кнопке - **Применить**

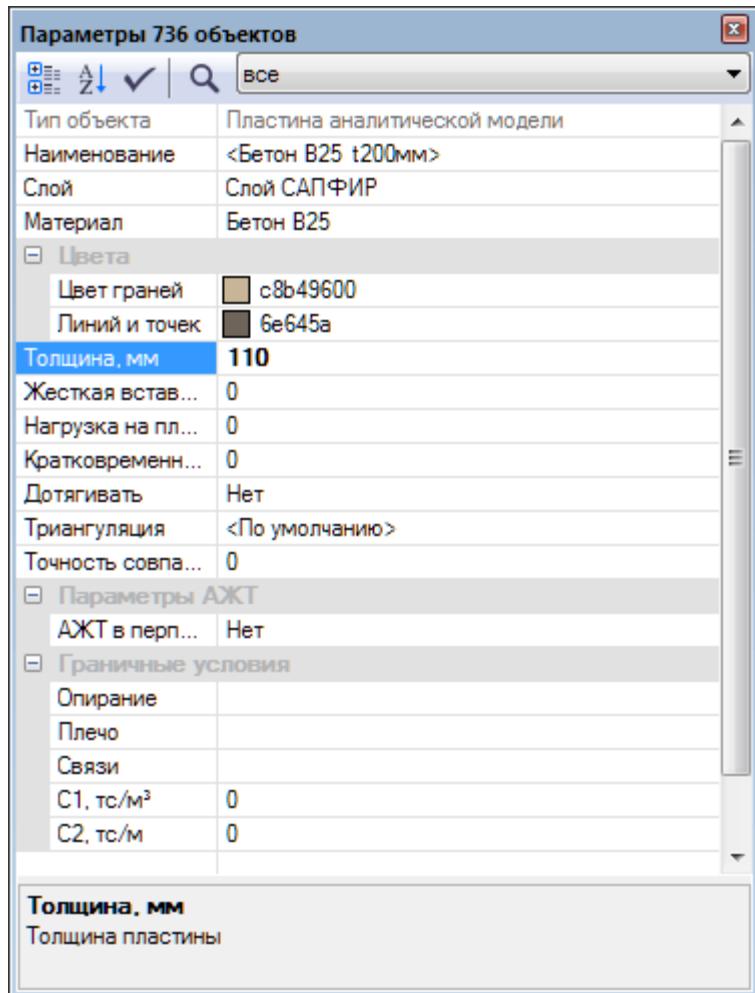
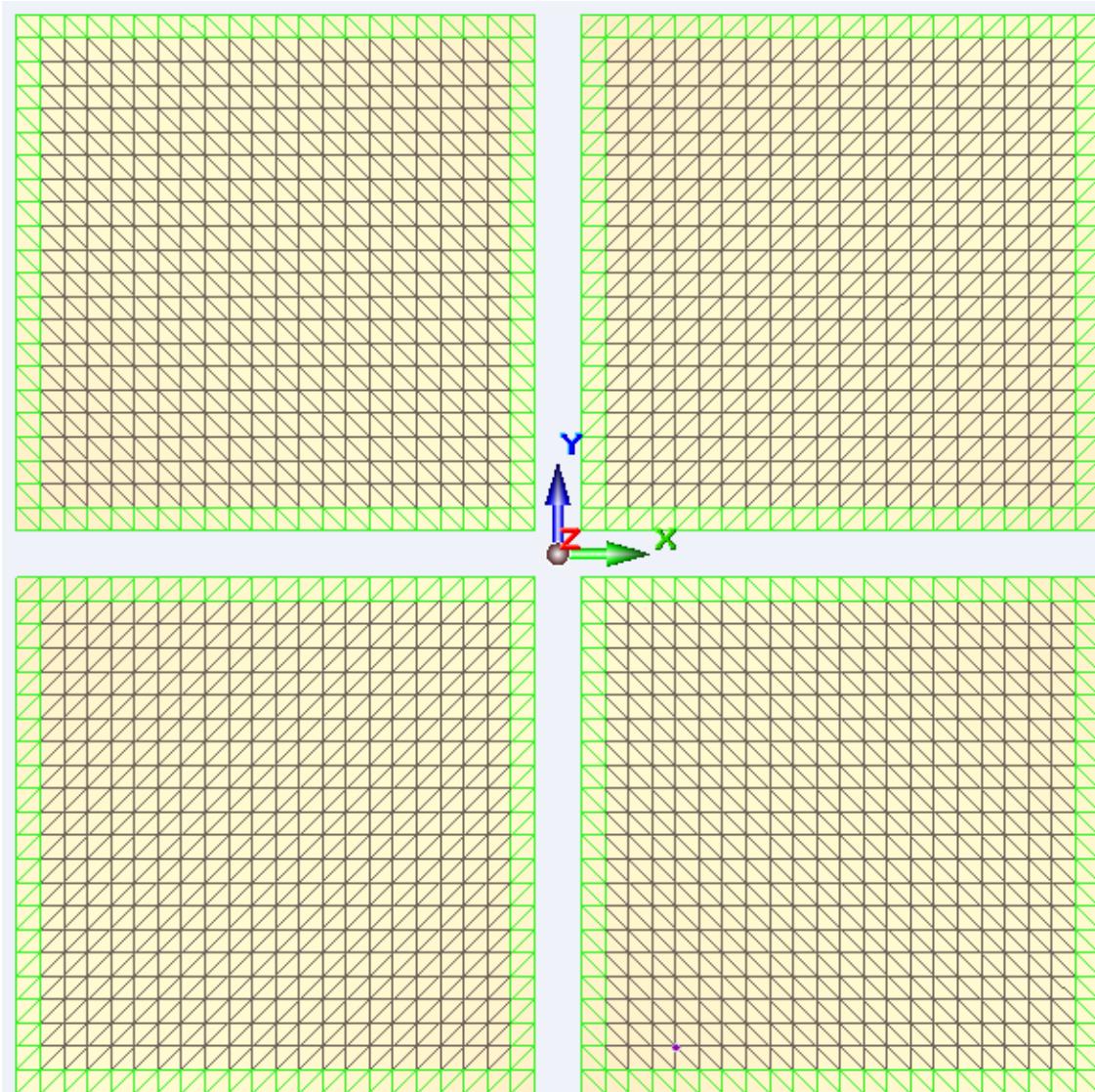


Рис.5.5. Служебное окно Параметры

- Нажимаем на кнопку - Скрыть выделенные на панели Визуализация
- Для задания пластинам в полосе от 0,5 м до 1 м от контурных элементов толщины 90 мм:
 - Способом выделения «рамка» с зажатой кнопкой Shift выделяем полосу пластин оболочки шириной 0,5 м (рис.5.6)



**Рис.5.6. Выделение пластин на расстоянии от 0,5 м до 1 м от балочных элементов
(визуализируется зеленым цветом)**

- В служебном окне Параметры назначаем выделенным пластинам толщину 90 мм

• После этого щелкните по кнопке - Применить

• Нажимаем на кнопку - Скрыть выделенные на панели Визуализация

➤ Для задания оставшимся пластинам толщины 70 мм:

- Способом выделения «рамка» выделяем оставшиеся пластины оболочки
- В служебном окне Параметры назначаем выделенным пластинам толщину 70 мм

➤ После этого щелкните по кнопке - Применить

➤ Щелкаем по кнопке - Показать все элементы на панели Визуализация

Идеализация модели

- Щелкните по кнопке - Найти пересечения в раскрывающемся списке Пересечь (панель Расчетная модель: триангуляция на вкладке Аналитика).
- В открывшемся диалоговом окне САПФИР (рис.5.7) щелкните по кнопке Да.

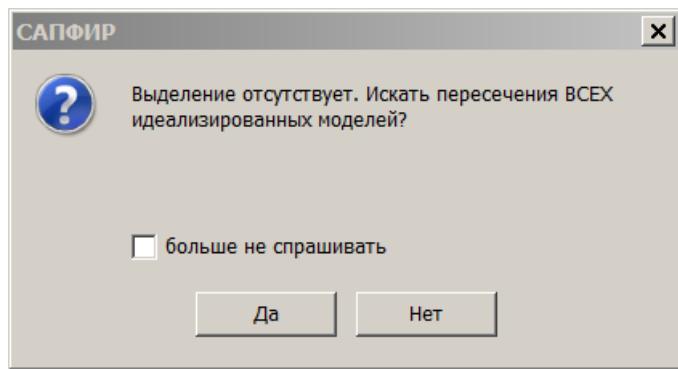


Рис.5.7. Диалоговое окно САПФИР

- Расчетная модель с выполненными пересечениями будет выглядеть следующим образом (рис.5.8)

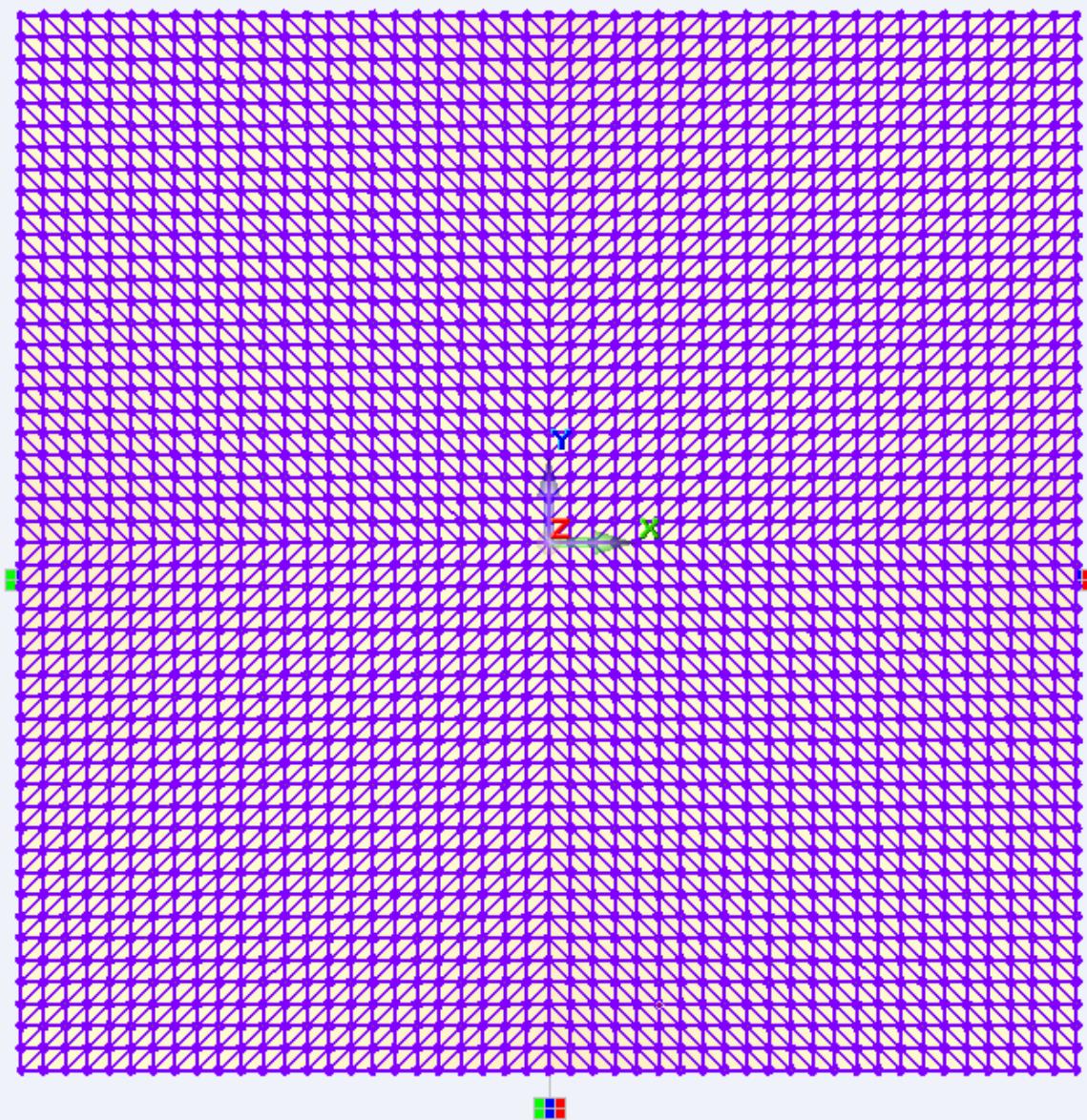


Рис.5.8. Расчетная модель гипара с найденными пересечениями (визуализируются фиолетовым цветом)

Триангуляция модели

- Вызовите диалоговое окно **Настройки триангуляции** (рис.5.9) щелчком по кнопке **Настройки** (панель **Расчетная модель: триангуляция** на вкладке **Аналитика**).
- В открывшемся диалоговом окне задайте следующее:
 - **триангуляция пластин** – треугольная;
 - **шаг, м** – 0.5.
- После этого щелкните по кнопке **Назначить**.

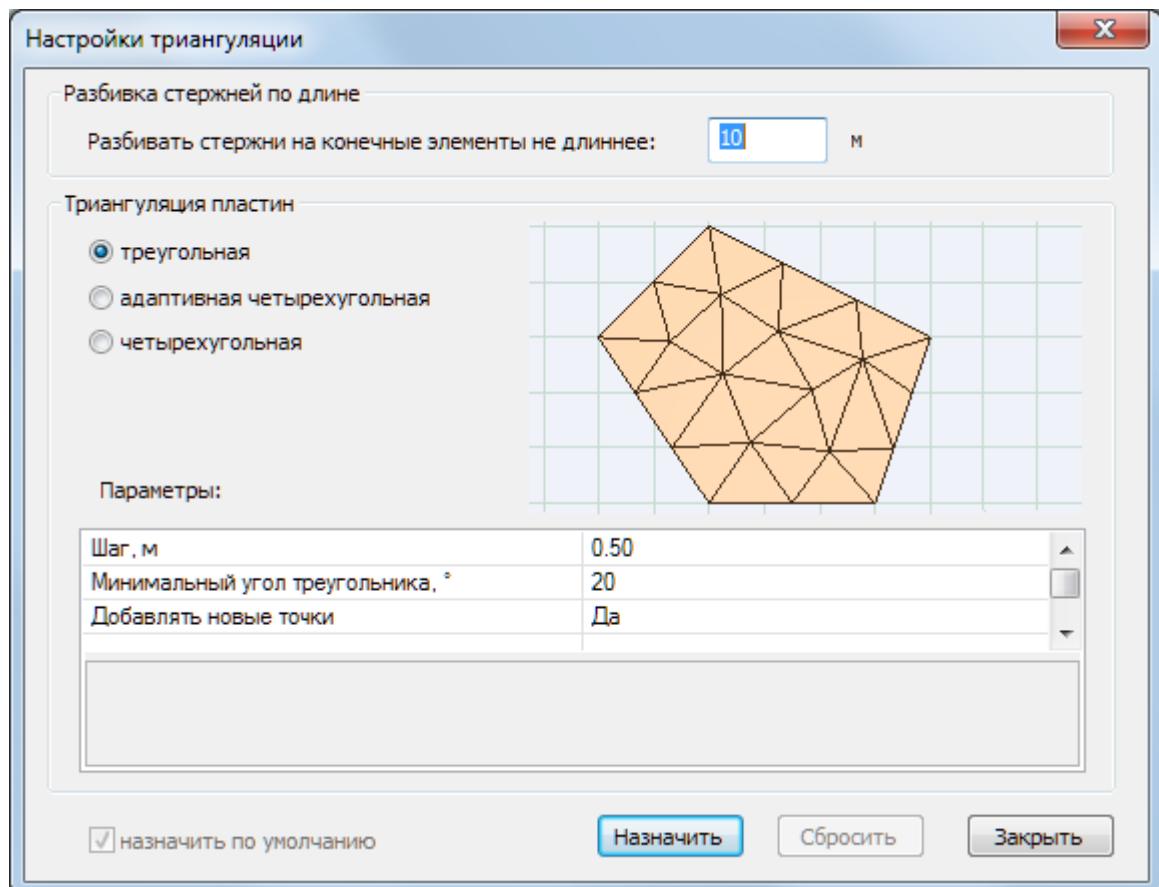


Рис.5.9. Диалоговое окно **Настройки триангуляции**

- Для разбивки на КЭ щелкните по кнопке - **Создать триангуляционную сеть** в раскрывающемся списке **Сеть** (панель **Расчетная модель: триангуляция** на вкладке **Аналитика**).

Этап 7. Создание файла для ПК ЛИРА-САПР

- Чтобы открыть конечно-элементную схему в ПК ЛИРА-САПР щелкните по кнопке - **Открыть в раскрывающемся списке Открыть** (панель **Расчет в ЛИРА-САПР** на вкладке **Аналитика**).
- Программа создаст файл в формате *.s2l в каталоге, где сохранён файл Сапфира в формате *.spf, и откроет этот файл в системе **ВИЗОР-САПР**.



Чтобы сохранить файл САПФИР для ЛИРА-САПР без автоматического открытия в



системе **ВИЗОР-САПР**, щелкните по кнопке - Сохранить в раскрывающемся списке **Открыть** (панель **Расчет** в **ЛИРА-САПР** на вкладке **Аналитика**). В открывшемся диалоге можно задать имя для файла в формате *.s2l и выбрать папку для сохранения.

(Этапы 8-14 «Корректировка модели. расчет и анализ результатов в ВИЗОР» см. в примере с «Гипаром»)

Выпуклая тонкостенная оболочка на прямоугольном плане

Теоретическая часть

1. Оболочки двойкой положительной кривизны, в основном, применяются для зданий с планом в виде прямоугольника с соотношением сторон от 1:1 до 1:1,5. Диапазон перекрываемых пролетов от 12 до 120 м. Стрела подъема f принимается в пределах от 1/10 до 1/5 пролета. Толщина назначается в пределах 1/500 ÷ 1/600 большего пролета, но не менее 50 мм (по конструктивным требованиям). Конструктивно оболочка состоит из собственно оболочки (скорлупы) и жестких бортовых диафрагм, на которые оболочка опирается. При пролетах более 30 м возможно устройство ребер высотой от 1/100 до 1/120 пролета, ширина ребер от 1/5 до 1/2 их высоты. Диафрагмами могут служить фермы, арки или криволинейные балки, колонны и сплошные стены рис. 1.

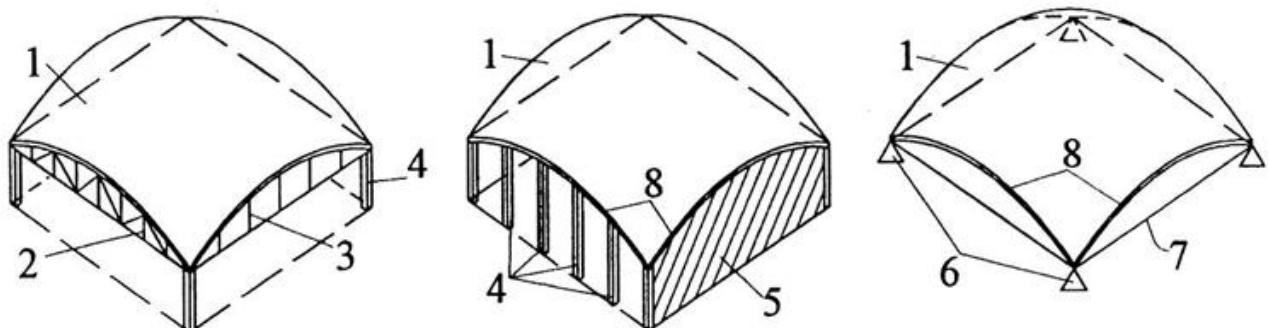


Рис. 1. Типы опорных конструкций оболочек:

1 - оболочка; 2 - ферма; 3 - арка; 4 - колонны; 5 - стена; 6 – опорные фундаменты,
7 – затяжка, 8 – криволинейная балка

Толщину и армирование средней сжатой зоны принимают конструктивно и проверяют расчетом на устойчивость оболочки. Устойчивость оболочки считается обеспеченной, если средняя интенсивность распределенной нагрузки q_{av} не превышает ее критического значения q_{cr}

$$q_{av} \leq q_{cr} = 0,05 E_b \cdot t^2 / (R_x \cdot R_y), \quad (1)$$

где: E_b – начальный модуль упругости бетона; t – толщина оболочки; R_x и R_y – главные радиусы кривизны поверхности оболочки, вычисляемые по соотношению

$$R = (\ell^2 / 8f) + f/2, \quad (2)$$

где f – стрела подъема относительно рассматриваемого разреза поверхности оболочки.

Толщину приопорных зон (в местах стыка с бортовым контуром) увеличивают в 1,5 - 2 раза для размещения второго ряда арматуры, для восприятия приопорных изгибающих моментов. Размеры поперечного сечения верхней части бортовых диафрагм, собственно бортового контура, зависят от типа бортовой диафрагмы. Если в качестве бортовой диафрагмы применяются железобетонные фермы, то высота бортового контура принимается в пределах от 1/60 до 1/80 пролета. Если арки или криволинейные балки, то от 1/40 до 1/60 пролета. Если колонны, то от 1/8 до 1/12 шага колонн. Если сплошная стена, то высота контура принимается равной толщине стены. Во всех случаях ширина бортового элемента должна быть $b_{кон} \geq 0,5 h_{кон}$. Если бортовая диафрагма выполняется в виде колонн, то размеры их поперечного сечения должны быть такими, чтобы обеспечить гибкость колонн

относительно любой оси не более $\lambda \leq 120$. Для прямоугольных колонн это условие обеспечивается, если ширина колонны вычисляется по эмпирической формуле

$$b_k = 7H_k/120, \quad (3)$$

где H_k – высота колонны диафрагмы.

2. За срединную поверхность пологих оболочек обычно принимается поверхность эллиптического параболоида, которая в координатах, приведенных на рис. 2.1 выражается уравнением

$$Z = f_x + f_y - [(f_x/a^2)x^2 + (f_y/b^2)y^2], \quad (4)$$

где: f_x, f_y – стрела подъема соответственно в плоскостях XOZ и YOZ ; a и b – размеры половины сторон прямоугольного основания, соответственно в направлениях X и Y . Размеры полутора сторон основания принимаются кратными 2 или 3 метрам.

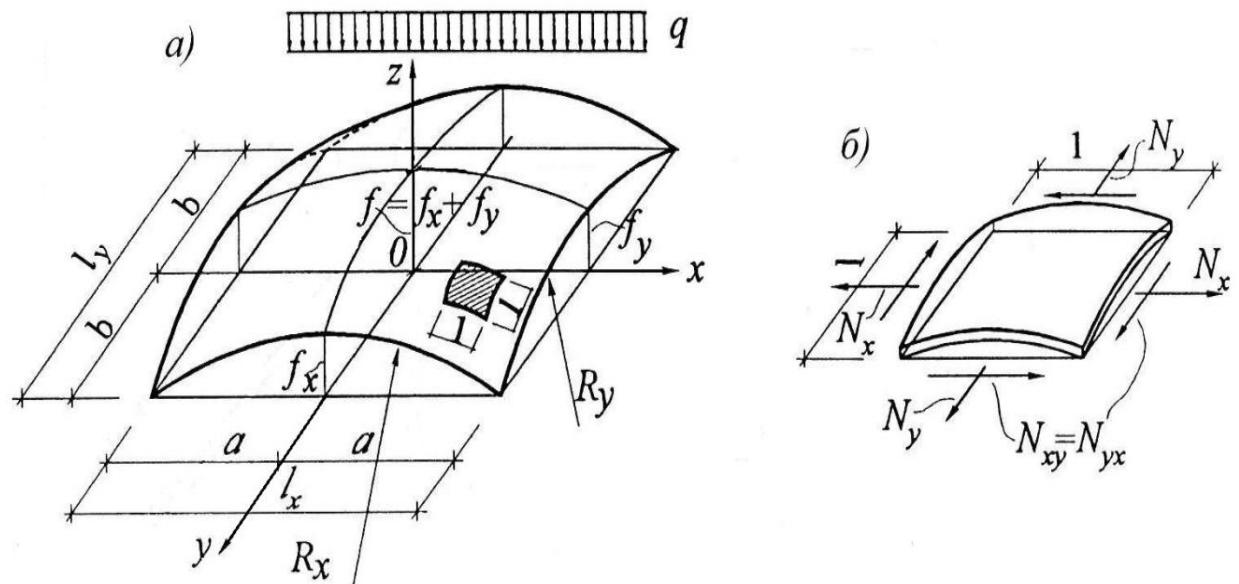


Рис . 2. К расчету пологой оболочки в виде эллиптического параболоида:
а - геометрическая схема; б - схема усилий в элементе срединной поверхности

3. В качестве материалов для возведения оболочек используется бетон классов В20 и выше. Для армирования собственно оболочки используется проволочная арматура класса В400, диаметром от 4 до 6 мм, которая укладывается с шагом 100, 150 или 200 мм. Для армирования контурных элементов применяется стержневая арматура классов А400 и выше.
4. В качестве расчетных принимаются два сочетания нагрузок: I сочетание - постоянная нагрузка (вес несущих конструкций и конструкций кровли) плюс снеговая нагрузка по всей поверхности оболочки; II сочетание - постоянная нагрузка плюс снеговая нагрузка на половине поверхности оболочки.

ПРИМЕР №5 – «Выпуклая оболочка»

Рассчитать и законструировать монолитную железобетонную выпуклую оболочку на прямоугольном плане размерами $2a = 48\text{м} \times 2b = 36\text{м}$ с торцевыми диафрагмами в виде колонн с утепленной кровлей. Высоту колонн в углах оболочки принять равной 3м.

Снеговой район - III.

Расчет и конструирование выполнить с применением программного комплекса «ЛИРА-САПР».

Принимаем геометрические параметры оболочки: $f_x = 48\text{м}/8 = 6\text{м}$; $f_y = 36\text{м}/8 = 4,5\text{м}$; шаг колонн - 6м; максимальная высота колонны составляет $H_k = f_x + 3\text{м} = 6\text{м} + 3\text{м} = 9\text{м}$; размеры поперечного сечения колонн диафрагмы вычислим по формуле (3):

$$h_k = b_k = 7H_k/120 = 7 \cdot 9/120 = 0,525\text{м},$$

принимаем колонны сечением 55 x 55 см; высоту контурного элемента

$$h_{кон} = 6\text{м}/12 = 0,5\text{м} = 50\text{ см},$$

ширину контурного элемента из конструктивных соображений принимаем равной ширине колонн

$$b_{кон} = 55\text{ см};$$

толщина средней части оболочки

$$t = 48\text{ м}/600 = 0,08\text{ м}; \text{ принимаем } t = 8\text{ см}.$$

Толщина оболочки в месте примыкания к бортовому элементу на ширине 1,5м плавно меняется от 20 см до 8 см (для конечно элементной схемы: в полосе 0.5м от контурного элемента – 18 см, в полосе от 0,5 м до 1м – 13см, от 1м до 1,5м - 9см), рис. 3.

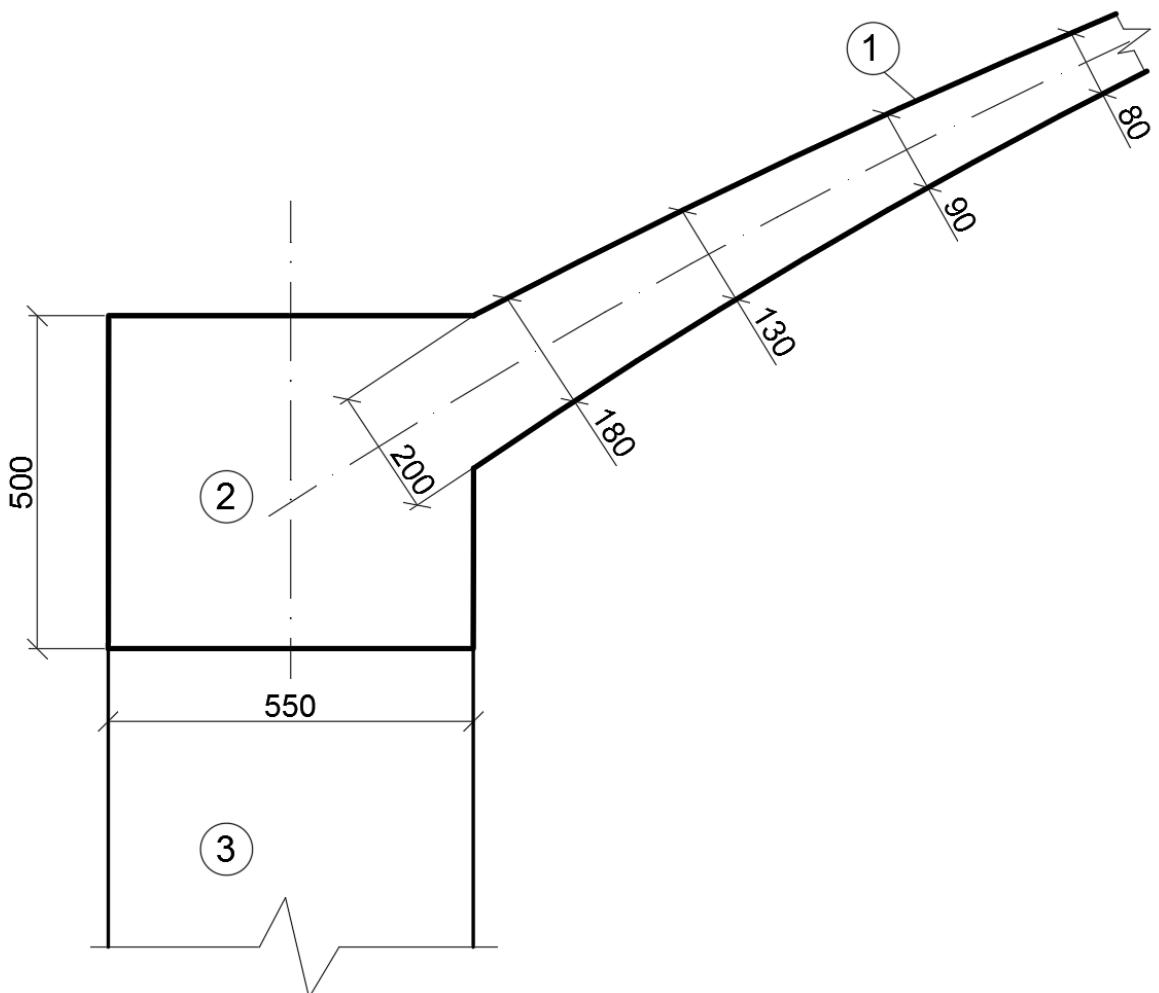


Рис. 3. Узел примыкания оболочки к бортовому элементу

1 - оболочка, 2 – бортовой элемент, 3 – колонна

Форма срединной поверхности будет описываться соотношением (4) в виде

$$Z = 6 + 4,5 - [(6/24^2)x^2 + (4,5/18^2)y^2]. \quad (5)$$

Принимаем материалы согласно [6]:

бетон класса В25, $R_b = 14,5\text{ МПа}$, $R_{bt} = 1,05\text{ МПа}$, $\gamma_{b2} = 0,9$, $E_b = 30000\text{ МПа}$.

Для собственно оболочки принимаем проволочную арматуру класса В400, $R_s = 410\text{ МПа}$,

$R_{sc} = 375$ МПа, для бортовых элементов и колонн арматуру класса A400, $R_s = 365$ МПа, $R_{sc} = 375$ МПа.

Нагрузки на конструкцию приведены в Таблице 1 в примере №1 «Гипар».

Проверим устойчивость оболочки по соотношению (1), вычислим главные радиусы кривизны:

$$R_x = ((2\alpha)^2 / 8f_x) + f_x/2 = 48^2/(8 \cdot 6) + 6/2 = 51 \text{ м},$$
$$R_y = ((2b)^2 / 8f_y) + f_y/2 = 36^2/(8 \cdot 4,5) + 4,5/2 = 38,25 \text{ м}.$$

Критическая нагрузка

$$q_{cr} = 0,05 E_b \cdot t^2 / (R_x \cdot R_y) = 0,05 \cdot 30000 \cdot (100) \cdot 0,08^2 / (51 \cdot 38,25) = 0,492 \text{ т/м}^2 = 4920 \text{ Н/м}^2.$$

Полная расчетная нагрузка на оболочку:

$$q_{av} = 507 + 2200 + 2000 = 4707 \text{ Н/м}^2 < q_{cr} = 4920 \text{ Н/м}^2.$$

Устойчивость оболочки обеспечена.

Этап 2. Создание выпуклой оболочки

(Этап 1 «Создание нового проекта и настройка его свойств» см. в примере с «Гипаром»)

Редактирование Структуры проекта

- Вызовите диалог создания нового здания щелчком по кнопке  - **Создать здание** в служебном окне **Структура**
- В появившемся диалоговом окне введите название «Выпуклая оболочка» (рис.2.1)

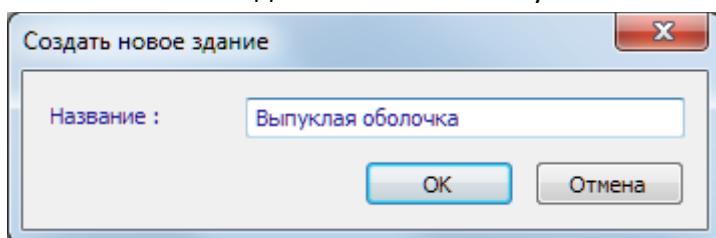
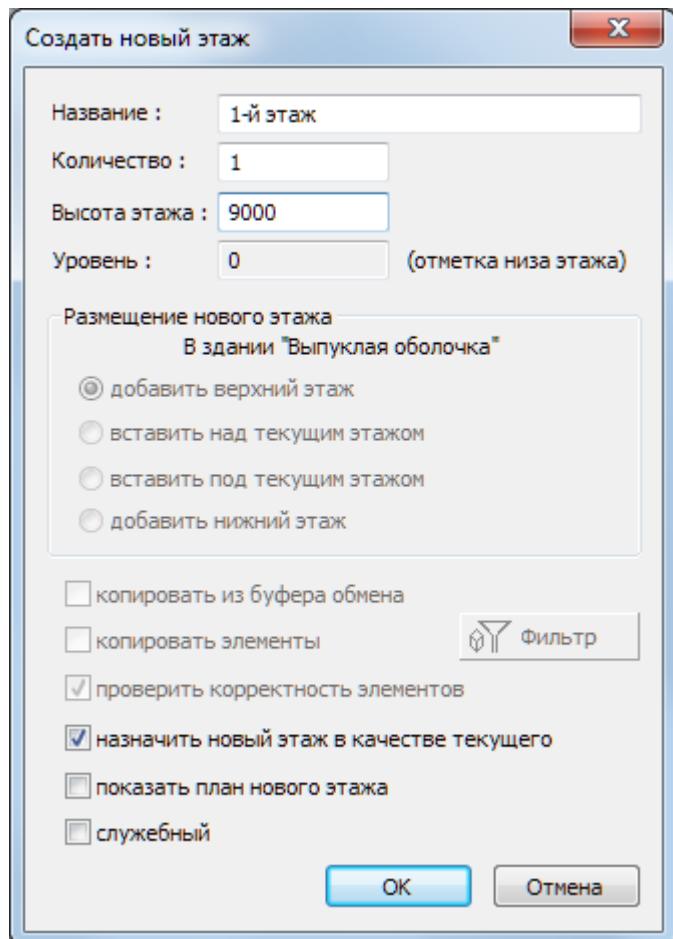


Рис. 2.1. Диалоговое окно Создать новое здание

- Нажмите на кнопку **OK**
- Щелкните по кнопке  - **Создать этаж** в служебном окне **Структура**
- В поле ввода **Высота этажа** введите значение «9000» (рис.2.2)



*Рис. 2.2. Диалоговое окно **Создать новый этаж***

- Нажмите на кнопку **OK**

Создание выпуклой оболочки

- Выполните щелчок по кнопке  - **Линии и поверхности** (панель **Поверхности** на вкладке **Создание**).
- Нажмите на кнопку  - **Новая функция** в закладке **Поверхность $z=f(x,y)$**
- В диалоговом окне введите следующие значения в полях (рис.2.3):
 - $z=f(x,y) = a - ((6/24*24))*x*x + (4.5/(18*18))*y*y;$
 - **Параметры – a=6+4.5;**
 - **x min = -24, max=24;**
 - **y min = -18, max=18;**
 - **n = 96;**
 - **n = 72**

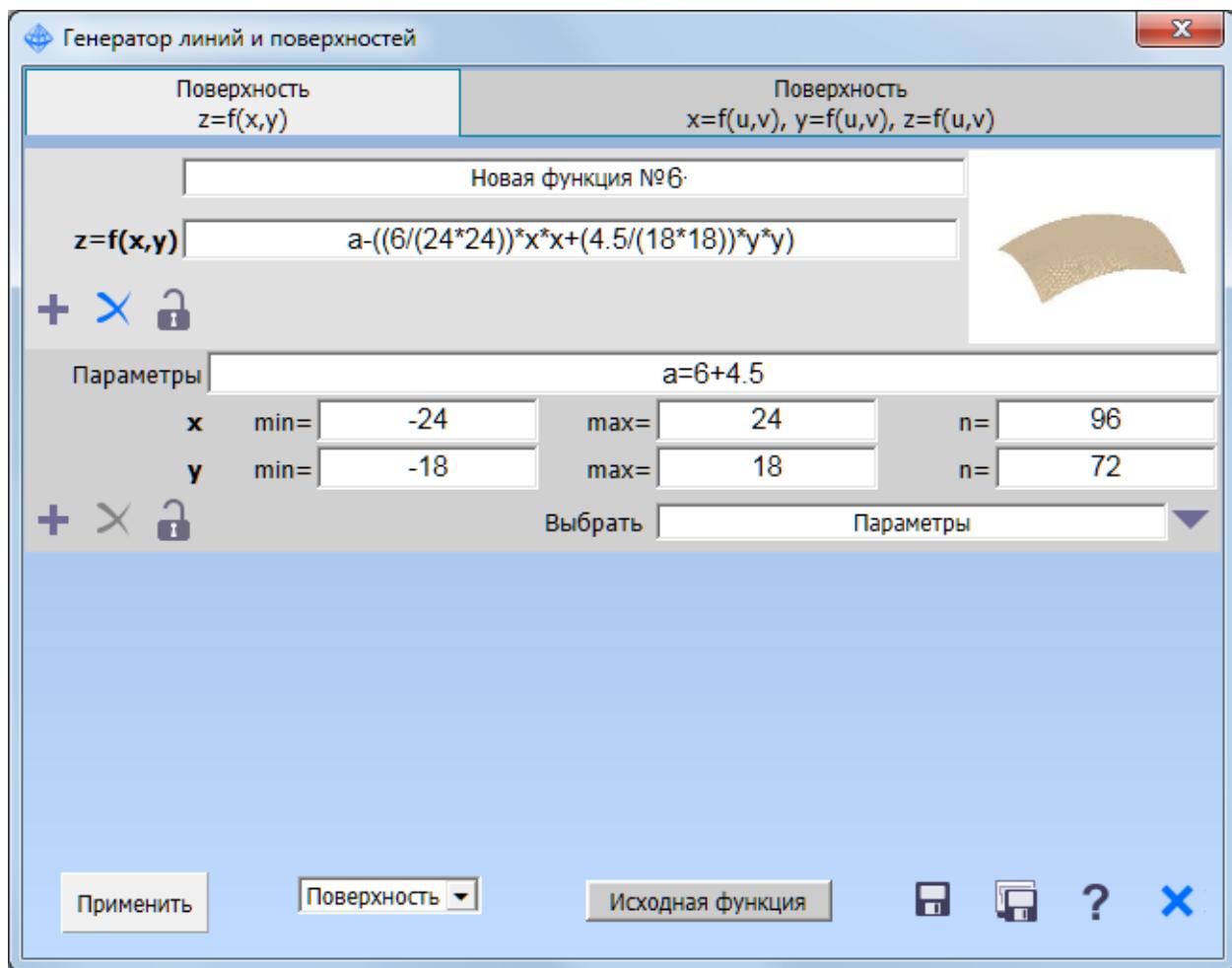


Рис. 2.3. Диалоговое окно **Линии и поверхности**

- Нажмите на кнопку **Создать** 
- Нажмите на кнопку  - Выход
- Выделите поверхность щелкнув по ней левой кнопкой мышки
- В служебном окне **Свойства** задайте следующие данные:
 - В диалоговом окне **Материалы** (рис.2.4) выберите из списка материал **Бетон B25**

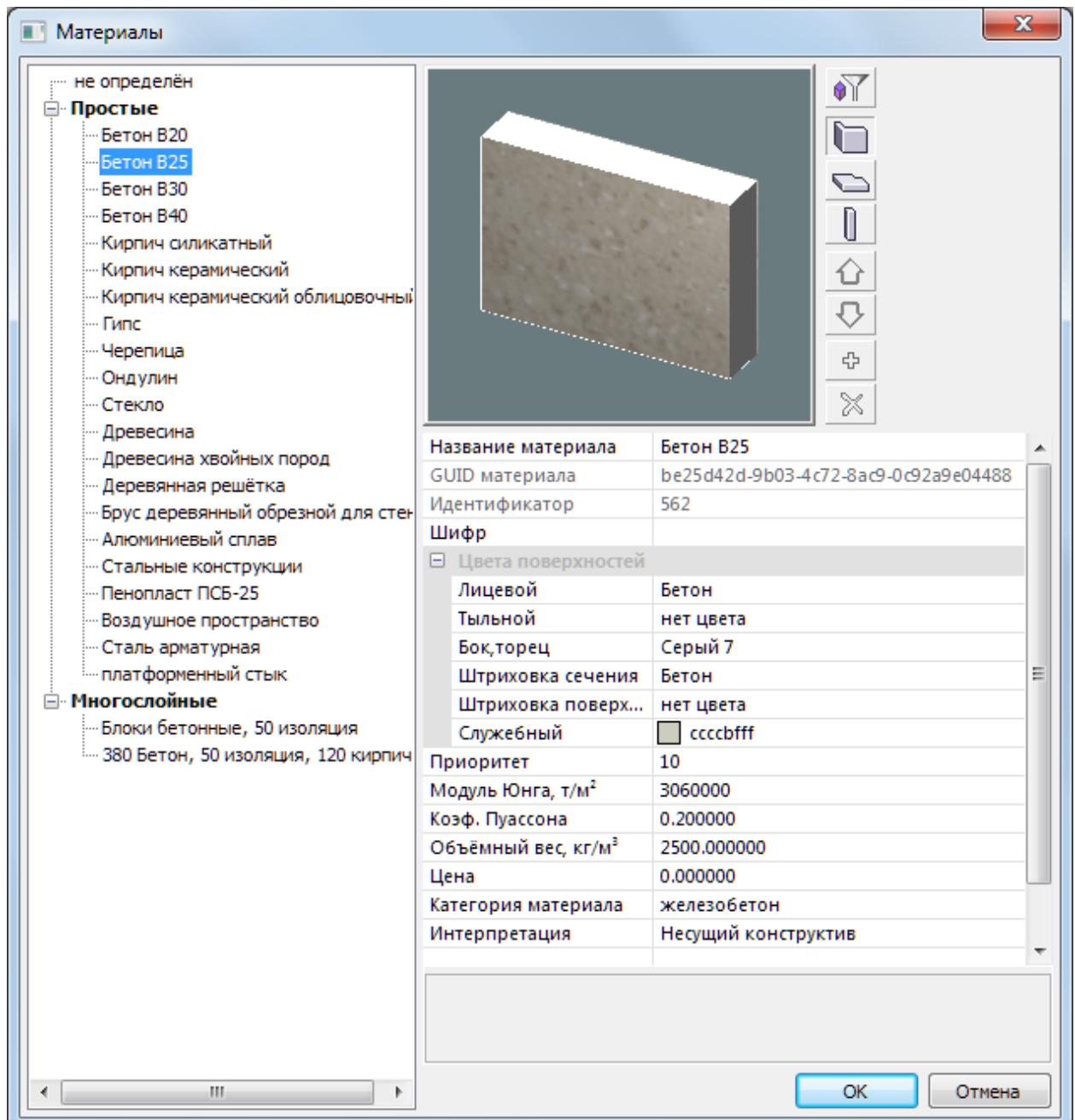


Рис.2.4. Диалоговое окно Материалы

- После этого щелкните по кнопке **OK** (после закрытия списка строка **Бетон B25** демонстрируется напротив параметра **Материал** как текущий выбранный материал);
- В строке **Интерпретация** выберите из раскрывающегося списка - **Несущий конструктив**
- После этого щелкните по кнопке - **Применить**.



- Щелкните по кнопке - **Перенос по координатам** на в раскрывающемся списке **Перенос** на панели **Корректировка** в закладке **Редактирование**
- В диалоговом окне в строке **Приращение Z, мм** введите значение – **3000** (рис.2.6)
- Нажмите на кнопку **Выполнить**
- Нажмите кнопку **Esc**

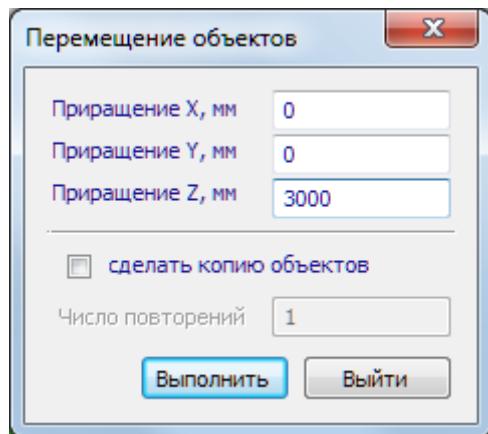


Рис.2.6. Диалоговое окно *Перемещение объектов*

Этап 3. Создание опорных элементов: колонн и балок

Создание Колонн



- Выполните щелчок по кнопке - **Колонна** в раскрывающемся списке **Колонна** (панель **Инструменты построения** на вкладке **Создание**). В диалоговом окне свойств отобразятся свойства построения колонны.
- В диалоговом окне **Свойства построения: Колонна** щелкните напротив строки **Материал**.
- В открывшемся диалоговом окне **Материалы** выберите из списка материал **Бетон B25**.
- После этого щелкните по кнопке **OK** (после закрытия списка строка **Бетон B25** демонстрируется напротив параметра **Материал** как текущий выбранный материал).
- Вызовите диалоговое окно **Параметры сечения** (рис.3.1) щелчком по кнопке в строке свойств инструмента Колонна.
- В открывшемся диалоговом окне задайте следующие параметры:
 - в списке типов сечений выберите тип **Прямоугольник(S0)**;
 - задайте параметр **b=550мм**;
 - задайте параметр **h=550мм**
- После этого щелкните по кнопке **OK**.

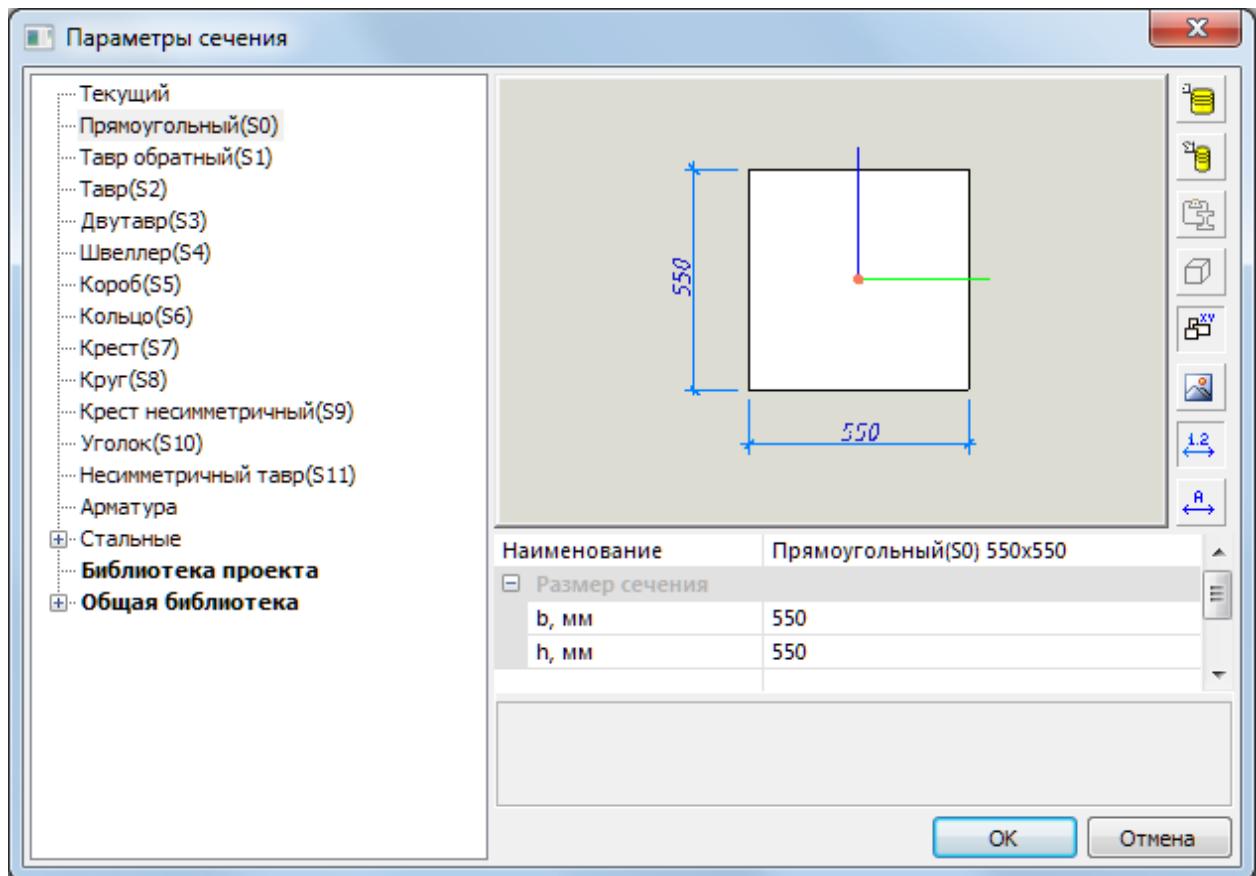


Рис.3.1. Диалоговое окно Параметры сечения

- В строке **Автоподрезка колонны по плите** установите значение - нет.
- В строке **Формировать АЖТ** установите значение – нет.
- Отключите кнопку  - Формировать контуры продавливания на панели свойств инструмента Колонна
- Нажмите на кнопку  - **Вид сверху** на панели **Проекции и виды**
- Произведите расстановку колонн с шагом 6м по периметру оболочки с помощью щелчка левой кнопки мышки (рис.3.2)

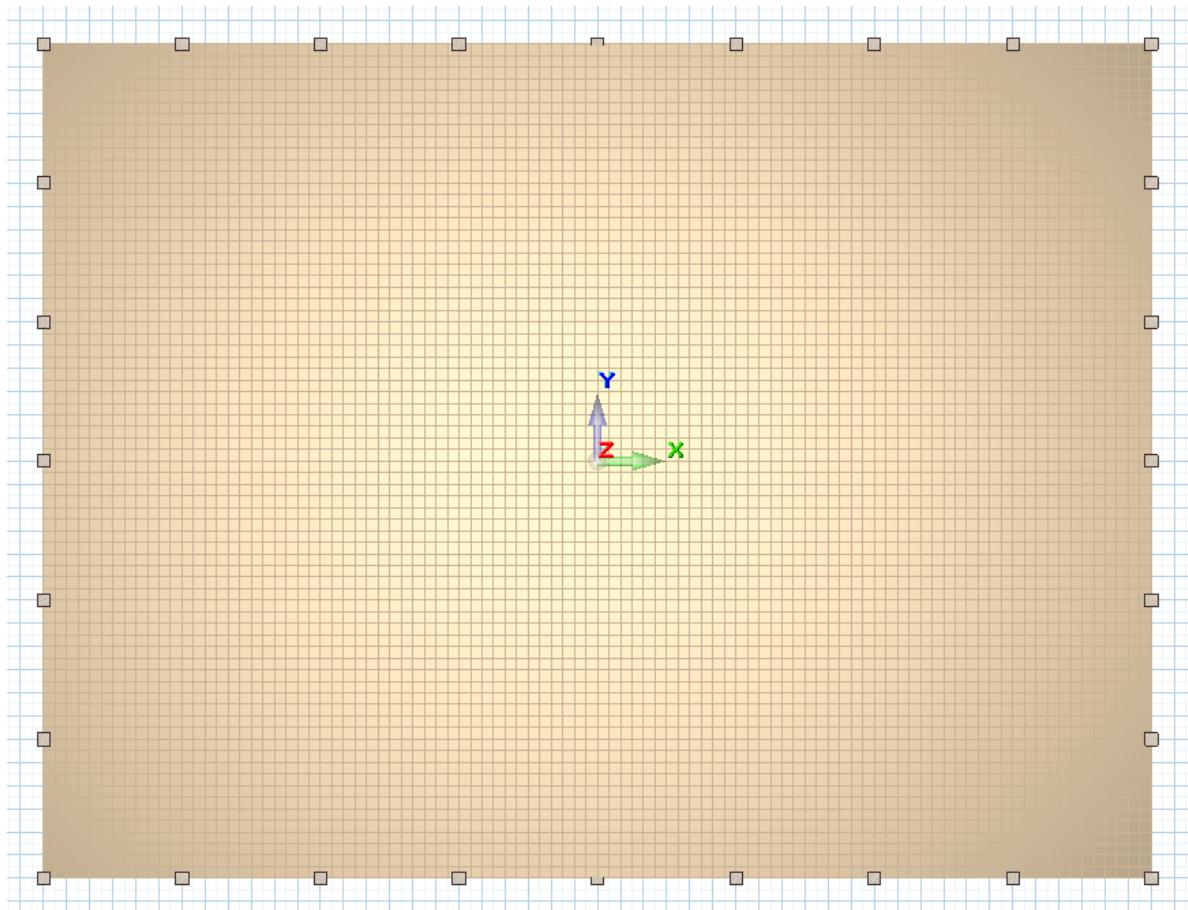


Рис.3.2. Схема расстановки колонн по периметру оболочки

- Щелчком левой кнопки мышки выделите 4 колонны (рис.3.3)

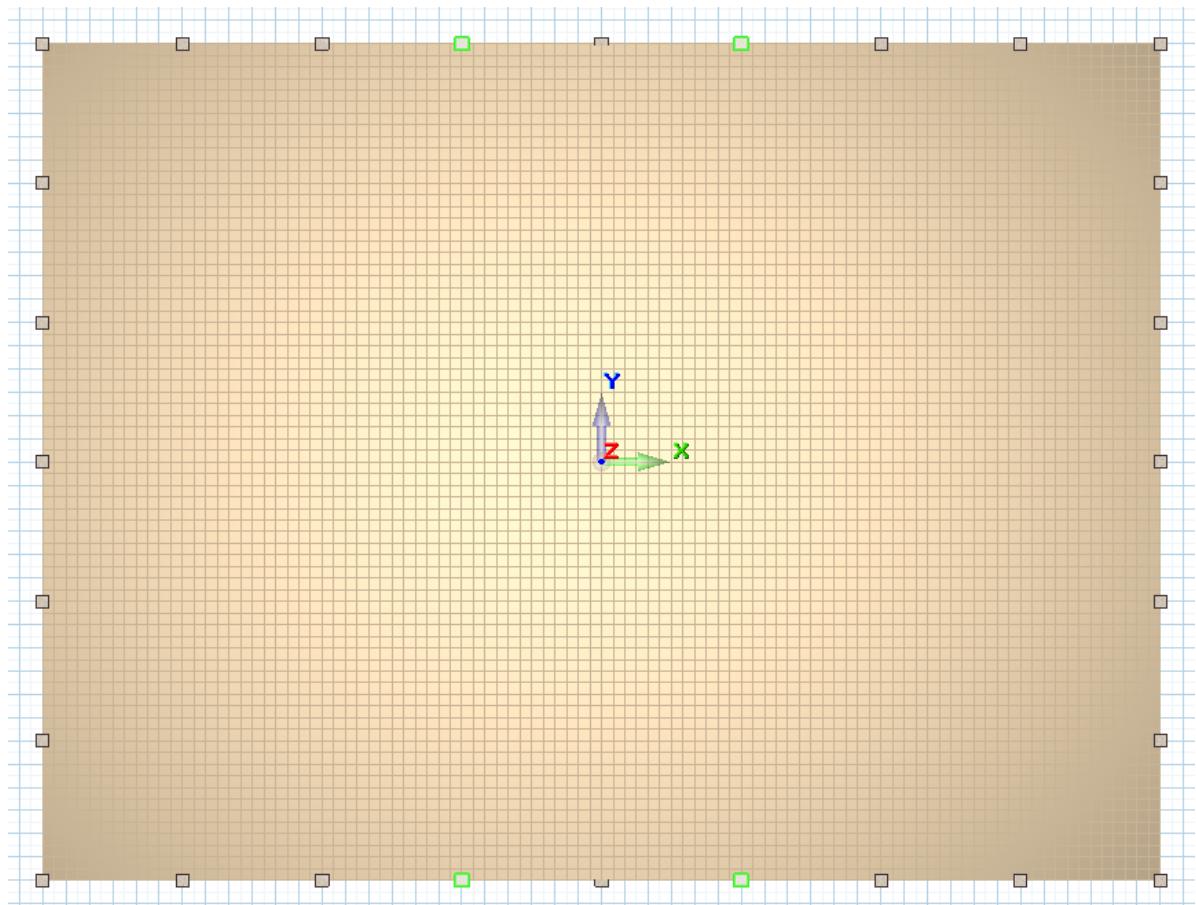


Рис.3.3. Выделение колонн (выделенные колонны показаны зеленым цветом)

➤ В служебном окне **Параметры** укажите (рис.3.4):

- **Высотная привязка** – От низа этажа;
- **Возвышение, мм** – 8625

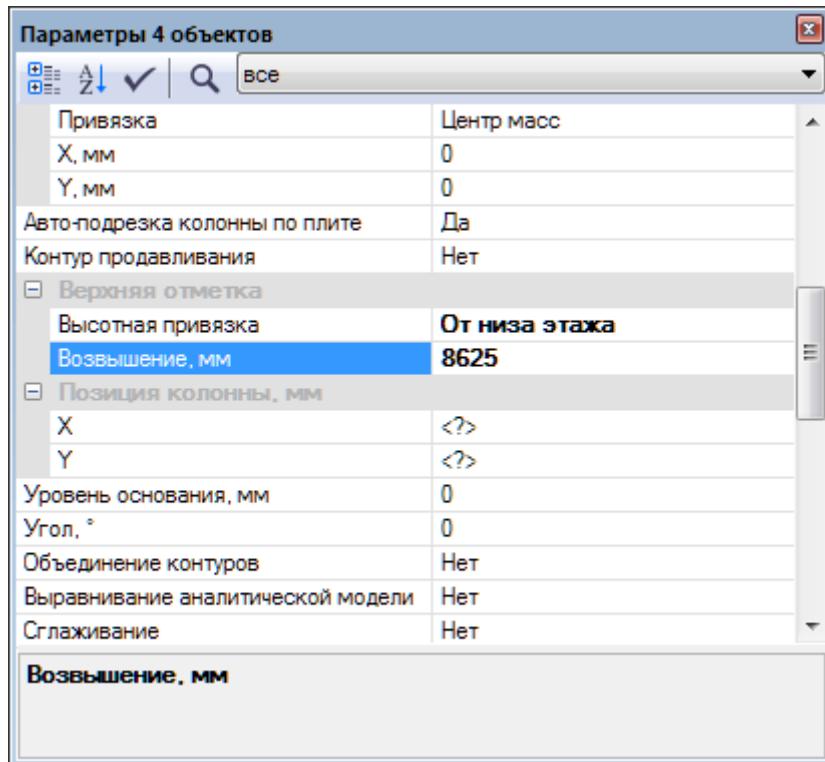


Рис.3.4. Служебное окно **Параметры**



Для того, чтобы определить значение параметра **Возвышение, мм**, необходимо подвести курсор мыши к соответствующей точке на оболочке. В **окне ввода координат** укажется расположение этой точки относительно оси Z (рис.3.5).

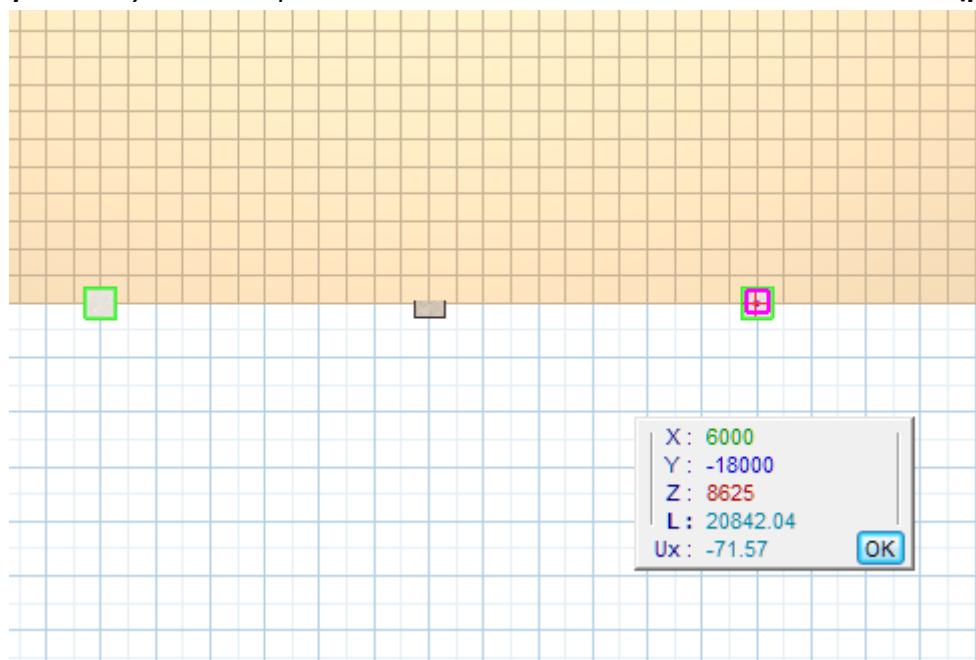


Рис.3.5. Считывание координат точки через **Окно ввода координат**

➤ Измените параметры **Высотная привязка** и **Возвышение, мм** для оставшихся колонн (рис.3.6)

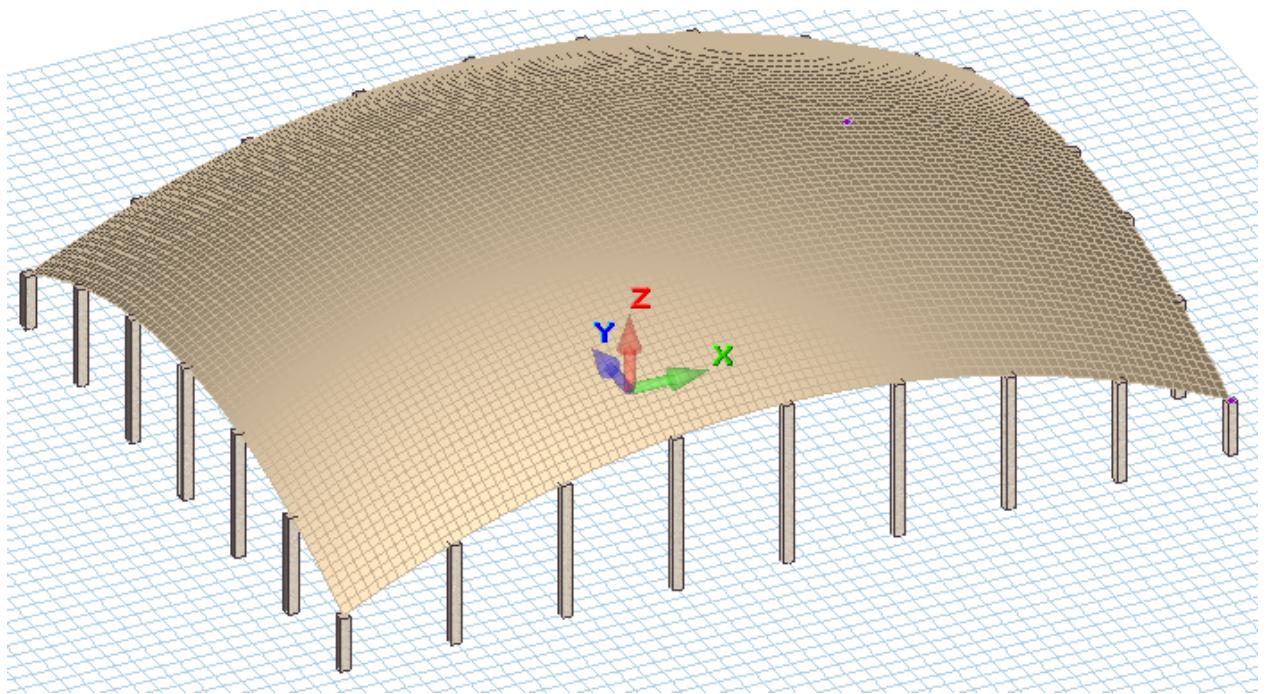


Рис.3.6. Колонны с отредактированными параметрами по периметру оболочки

Создание контурных элементов - балок



- Выполните щелчок по кнопке - Балка в раскрывающемся списке **Балка** (панель **Инструменты построения** на вкладке **Создание**). В диалоговом окне свойств отобразятся свойства построения балки.
- В диалоговом окне **Свойства построения: Балка** щелкните напротив строки **Материал**.
- В открывшемся диалоговом окне **Материалы** (рис.3.7) выберите из списка материал **Бетон B25**.

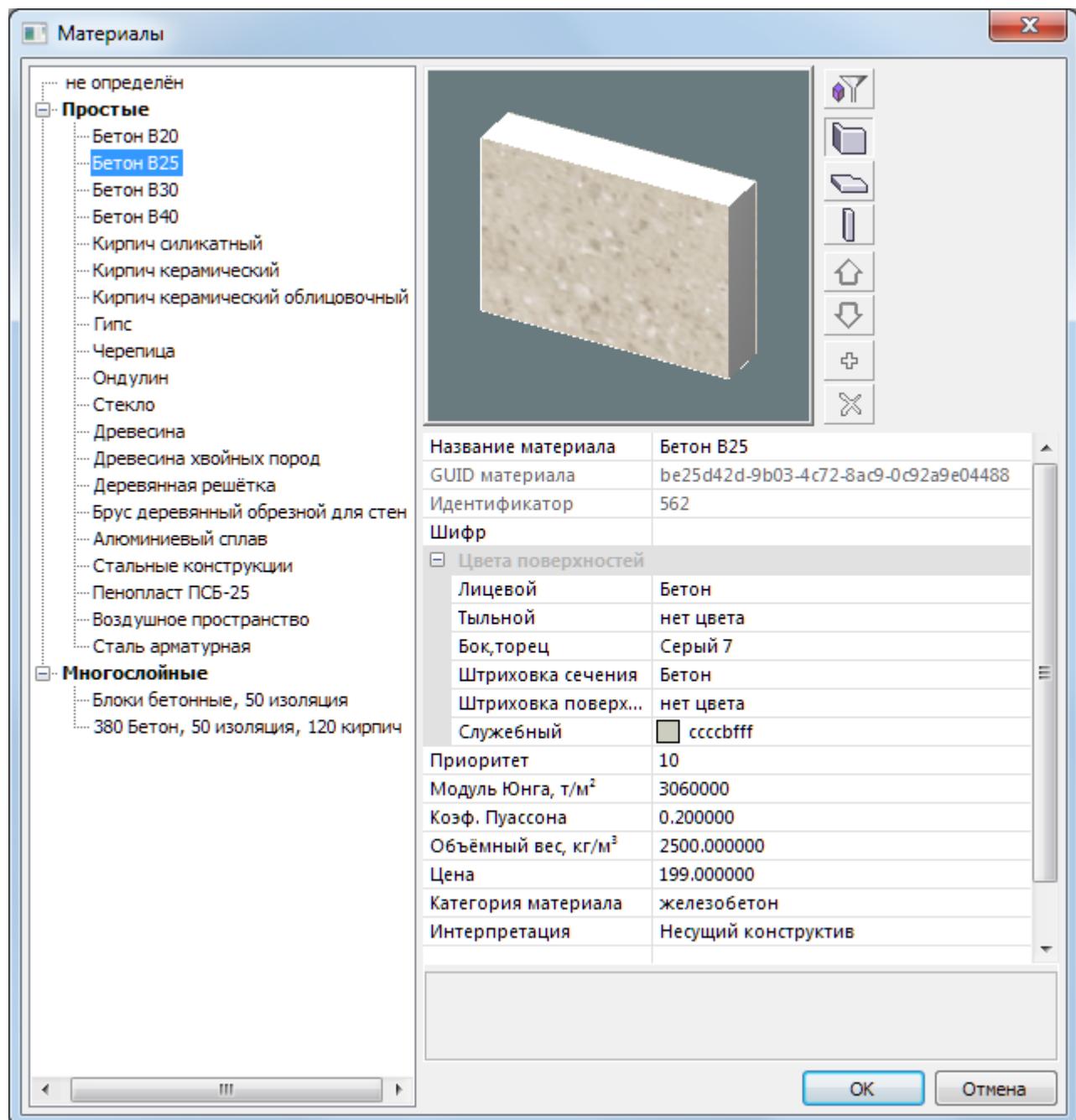


Рис.3.7. Диалоговое окно **Материалы**

- После этого щелкните по кнопке **OK** (после закрытия списка строка **Бетон B25** демонстрируется напротив параметра **Материал** как текущий выбранный материал).
- Вызовите диалоговое окно **Параметры сечения** (рис.3.8) щелчком по кнопке  в строке свойств инструмента Балка.
- В открывшемся диалоговом окне задайте следующие параметры:
 - в списке типов сечений выберите тип **Прямоугольник(S0)**;
 - задайте параметр **b=550мм**;
 - задайте параметр **h=500мм**
- После этого щелкните по кнопке **OK**.

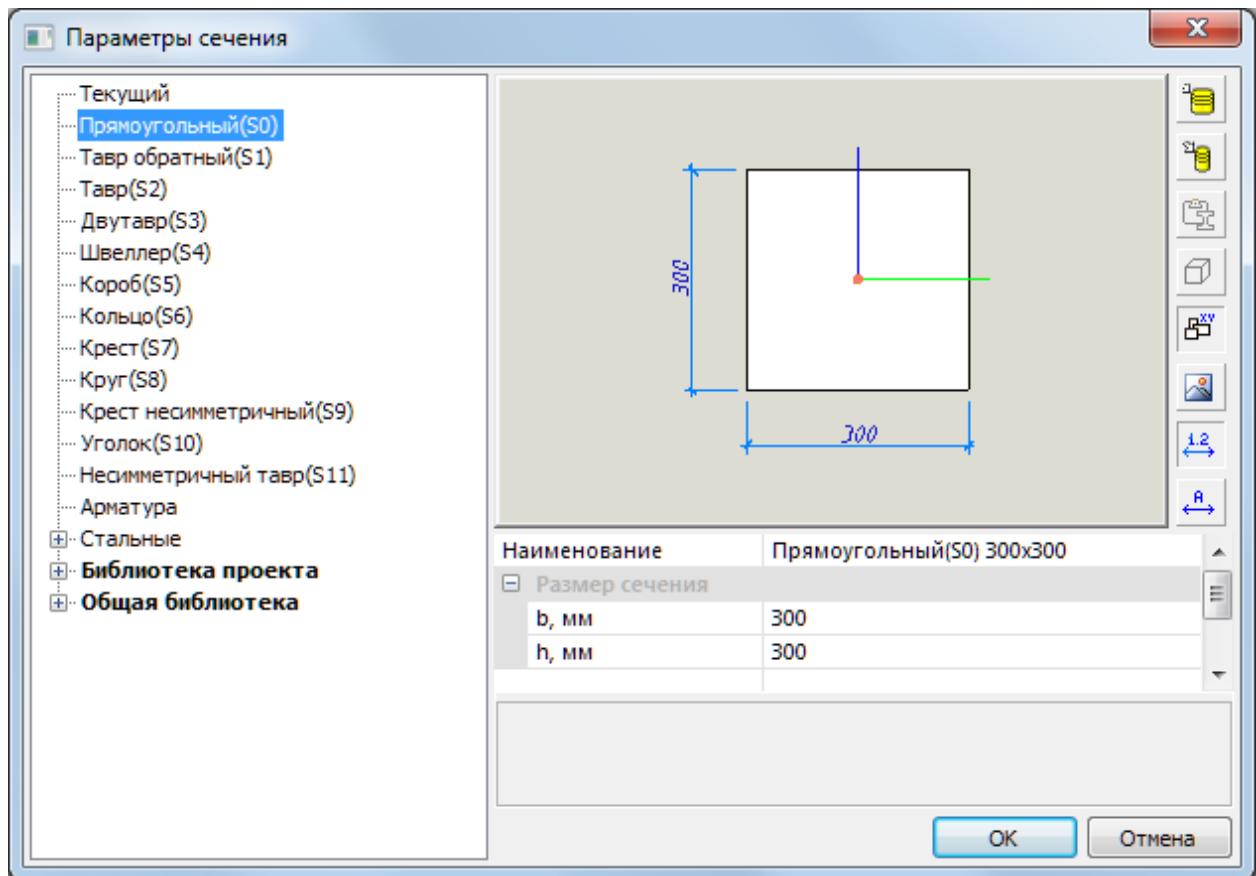


Рис.3.8 Диалоговое окно Параметры сечения

- Нажмите на кнопку - Аналитическая модель на панели Визуализация
- В строке свойств инструмента Балка выберите способ построения - Отрезок
- Произведите построение 2-х наружных контурных балок: одну вдоль короткой и вторую вдоль длинной стороны оболочки. Осевую линию балки вводите последовательно соединяя контрольные точки по краю оболочки (рис.3.9)

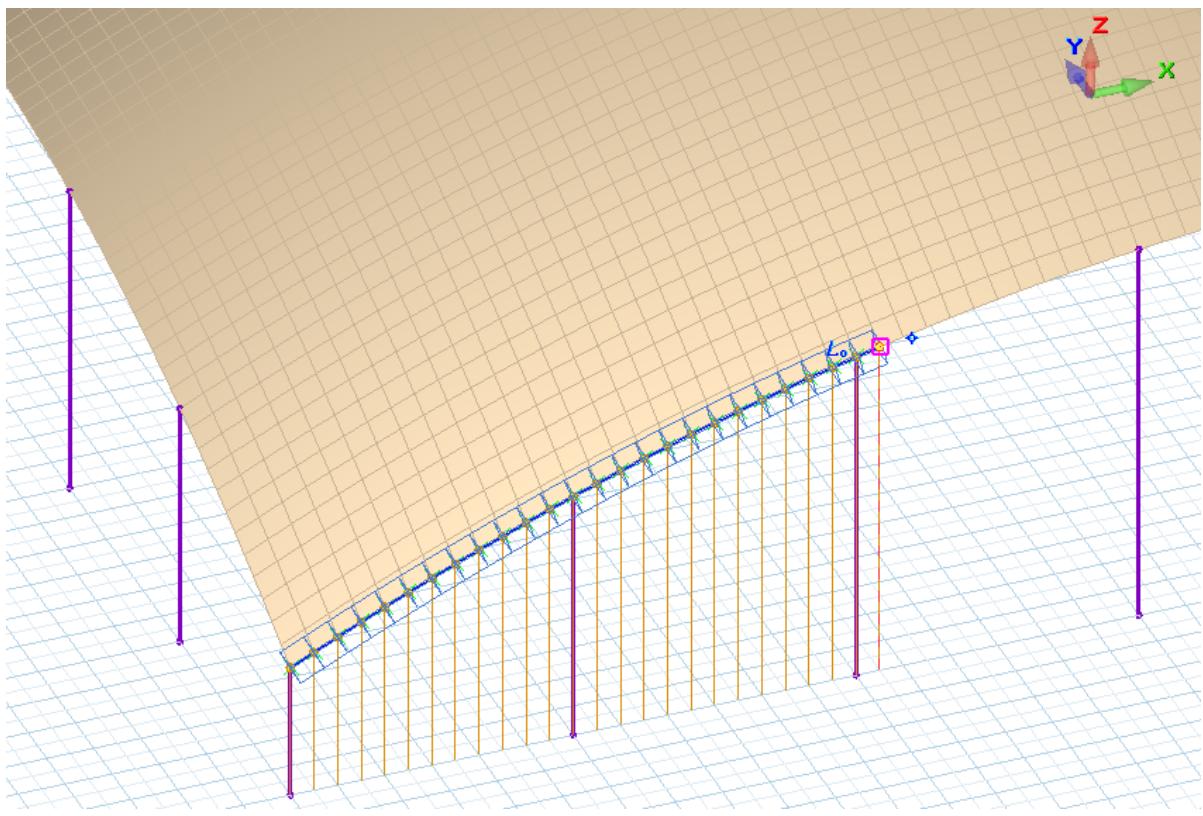
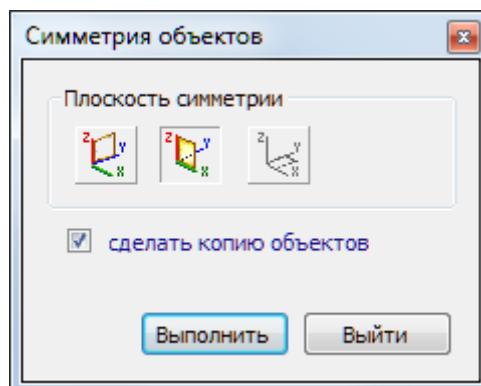


Рис.3.9 Введение осевой линии балки.

- Щелчком левой кнопки мышки выделите балку вдоль длинной стороны оболочки
- Выполните щелчок по кнопке - **Зеркало** (панель **Корректировка** на вкладке **Редактирование**). В диалоговом окне укажите (рис.3.10):
 - Плоскость симметрии – XOZ;
 - Поставьте галочку в строке **сделать копию объектов**
 - Нажмите кнопку **Выполнить**



*Рис.3.10 Диалоговое окно **симметрия объектов**.*

- Щелчком левой кнопки мышки выделите балку вдоль короткой стороны оболочки
- Выполните щелчок по кнопке - **Зеркало** (панель **Корректировка** на вкладке **Редактирование**). В диалоговом окне укажите:
 - Плоскость симметрии – YOZ;
 - Поставьте галочку в строке **сделать копию объектов**
 - Нажмите кнопку **Выполнить**
- Нажмите кнопку Esc

Этап 4. Создание закреплений

- В служебном окне **Структура** выполните щелчок правой кнопки мышки по папке **Колонны**, выберите из появившегося контекстного меню **Выделить** 
- Выполните щелчок по кнопке  - **Жесткое защемление** (панель **Аналитическая модель: корректировка** на вкладке **Аналитика**). В строке свойств из раскрывающегося списка выберите  - **Низ колонны, стены**.
- Нажмите на кнопку  - **Наложить выбранные граничные условия**.
- **Отожмите** кнопку  - **Аналитическая модель** на панели **Визуализация**
- **Нажмите** кнопку **Esc**

(Этап 5 «Создание загружений и назначение нагрузок» см. в примере с «Гипаром»)

Этап 6. Создание конечно-элементной модели (МКЭ)

Создание расчетной модели

- Вызовите диалоговое окно **Создать новую расчетную модель** (рис.5.1) щелчком по кнопке  - **Расчетная модель** (на вкладке **Аналитика**).
 Кнопка **Расчетная модель** переключает из режима создания расчетной схемы к инструментам расчетной модели и обратно.
- В открывшемся диалоговом окне щелкните по кнопке **OK** (откроется новая закладка окна под названием **ФИО.spf:Расчетная модель**).

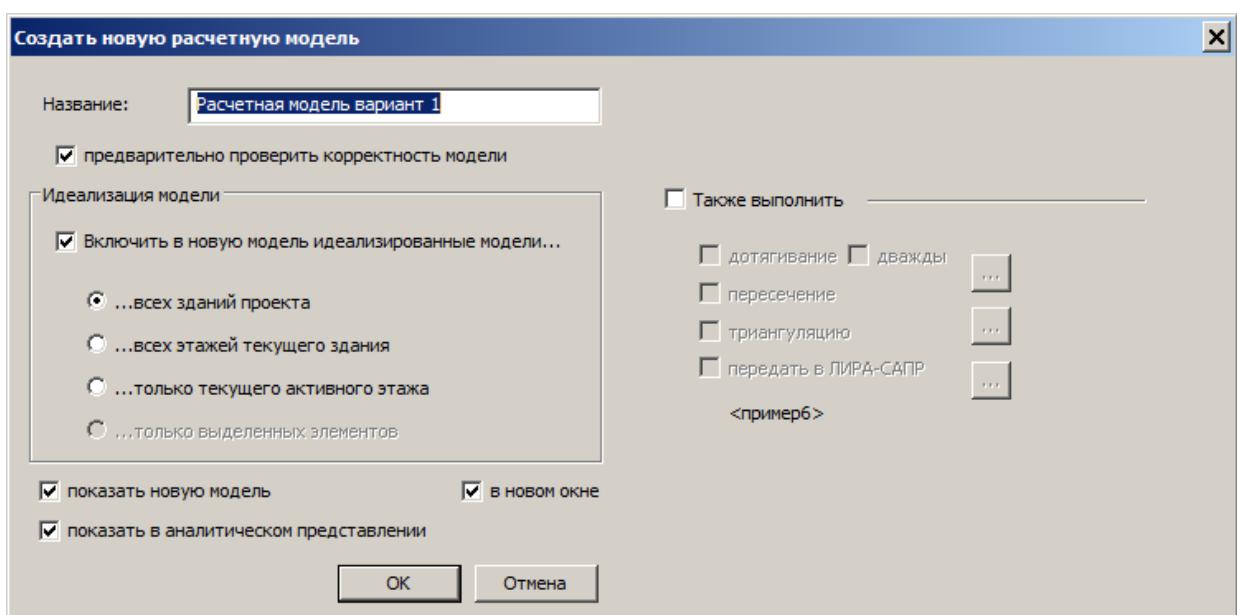


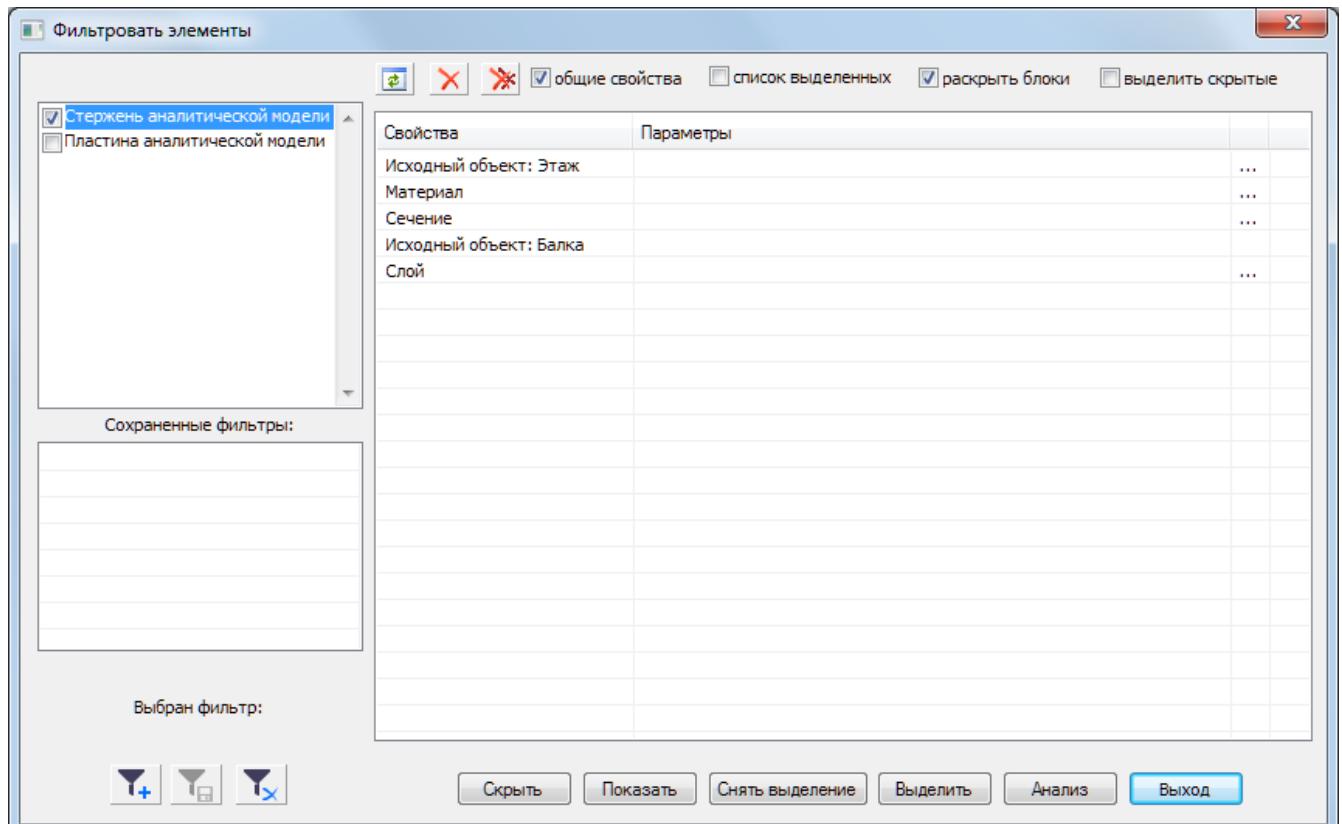
Рис.5.1. Диалоговое окно **Создать новую расчетную модель**



Перед созданием расчетной модели автоматически пройдет проверка модели на ошибки. Если программа обнаружит ошибки, она выдаст предупреждение. Ошибочные элементы рекомендуется устранить.

Назначение материала и толщин пластинам оболочки

- В фильтре  - **Фильтр элементов** на панели **Визуализация** указываем следующее:
- ставим «галочку» напротив **Стержень аналитической модели**
 - выбираем команду **Скрыть** (рис.5.2)
 - убираем «галочку» напротив **Стержень аналитической модели**
 - ставим «галочку» напротив **Пластина аналитической модели**
 - выбираем команду **Выделить**
 - закрываем диалог щелкнув по кнопке **Выход**



*Рис.5.2. Диалоговое окно **Фильтровать элементы***

- Для выделенных пластин в служебном окне **Параметры** назначаем материал:
- В диалоговом окне **Материалы** (рис.5.3) выберите из списка материал **Бетон Б25**

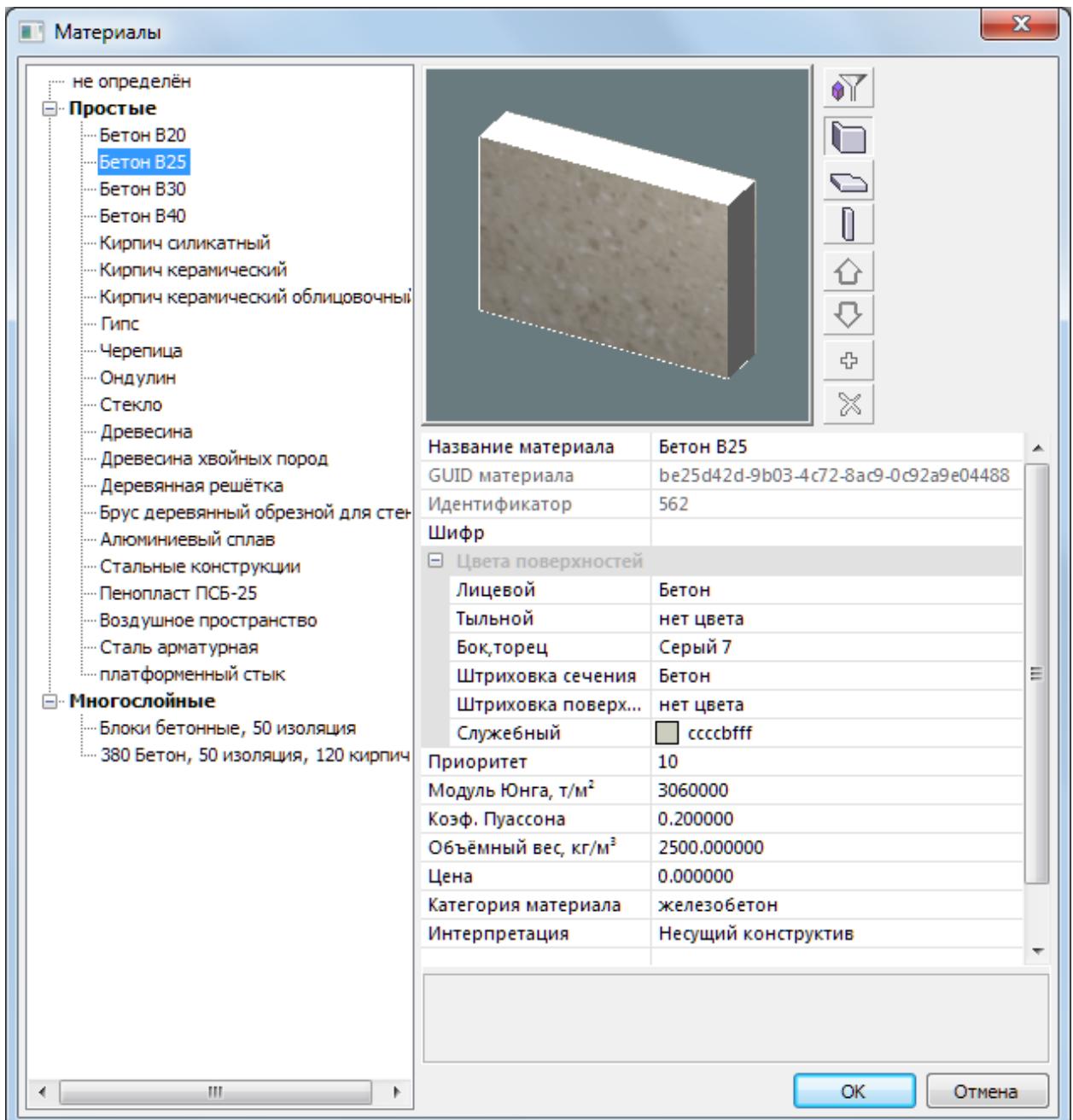


Рис.5.3. Диалоговое окно **Материалы**

- После этого щелкните по кнопке **OK** (после закрытия списка строки **Бетон B25** демонстрируется напротив параметра **Материал** как текущий выбранный материал);
- После этого щелкните по кнопке - **Применить**.
- Нажмите кнопку **Esc** для снятия выделения.
- Щелкните по кнопке - **Вид сверху** на панели **Проекции и виды**
- Для задания полосам пластин шириной 0,5 м от балочных элементов толщины 180 мм:
 - Способом выделения «рамка» с зажатой кнопкой **Shift** выделяем пластины оболочки, расположенные на расстоянии 0,5 м от балочных элементов (рис. 5.4)

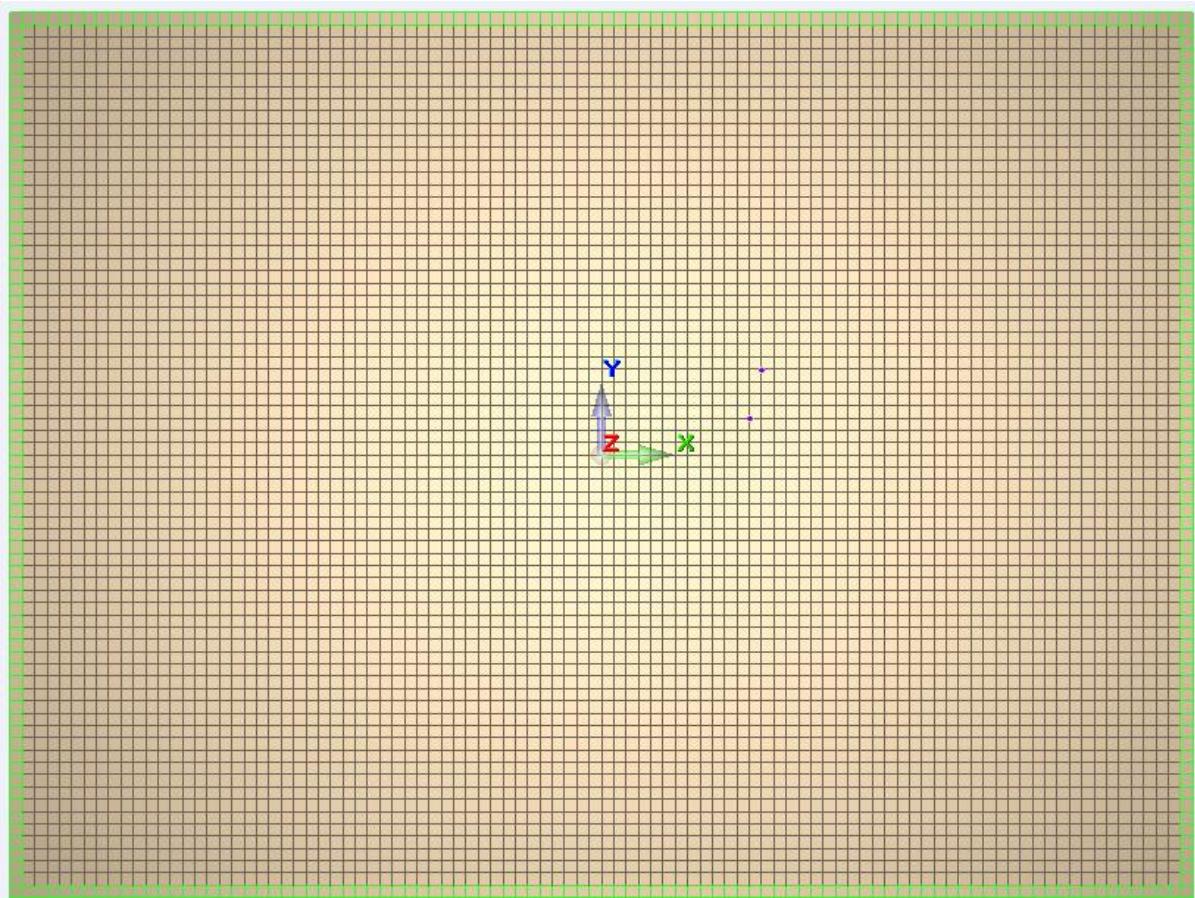


Рис.5.4. Выделение пластин на расстоянии 0,5 м от балочных элементов
(визуализируется зеленым цветом)

- В служебном окне **Параметры** назначаем выделенным пластинам толщину 180 мм (рис.5.5)
- После этого щелкните по кнопке - **Применить**

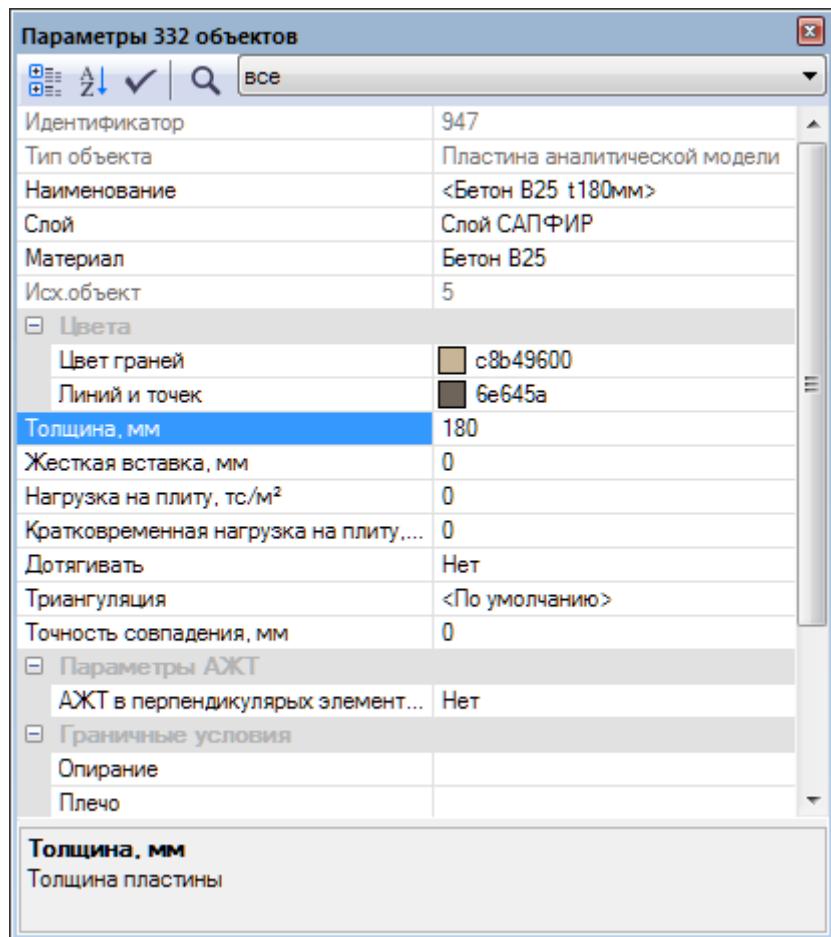


Рис.5.5. Служебное окно **Параметры**

- Нажимаем на кнопку - **Скрыть выделенные** на панели **Визуализация**
- Для задания пластинам в полосе от 0,5 м до 1 м от контурных элементов толщины 130 мм:
 - Способом выделения «рамка» с зажатой кнопкой Shift выделяем крайнюю полосу пластин оболочки шириной 0,5 м
 - В служебном окне Параметры назначаем выделенным пластинам толщину 130 мм
 - После этого щелкните по кнопке - **Применить**
 - Нажимаем на кнопку - **Скрыть выделенные** на панели **Визуализация**
- Для задания пластинам в полосе от 1 м до 1,5 м от контурных элементов толщины 90 мм:
 - Способом выделения «рамка» с зажатой кнопкой Shift выделяем крайнюю полосу пластин оболочки шириной 0,5 м
 - В служебном окне Параметры назначаем выделенным пластинам толщину 90 мм
 - После этого щелкните по кнопке - **Применить**
 - Нажимаем на кнопку - **Скрыть выделенные** на панели **Визуализация**
- Для задания оставшимся пластинам толщины 80 мм:
 - Способом выделения «рамка» выделяем оставшиеся пластины оболочки
 - В служебном окне Параметры назначаем выделенным пластинам толщину 80 мм

- После этого щелкните по кнопке  - Применить
- Щелкаем по кнопке  - Показать все элементы на панели Визуализация

Нахождение пересечений между элементами

- Щелкните по кнопке  - Найти пересечения в раскрывающемся списке Пересечь (панель Расчетная модель: триангуляция на вкладке Аналитика).
- В открывшемся диалоговом окне САПФИР (рис.5.6) щелкните по кнопке Да.

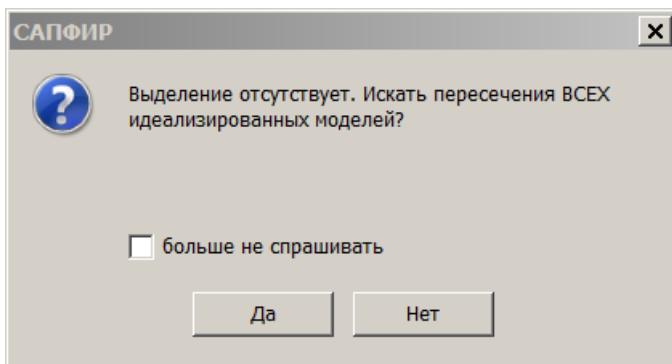


Рис.5.6. Диалоговое окно САПФИР

- Расчетная модель с выполненными пересечениями будет выглядеть следующим образом (рис.5.7)

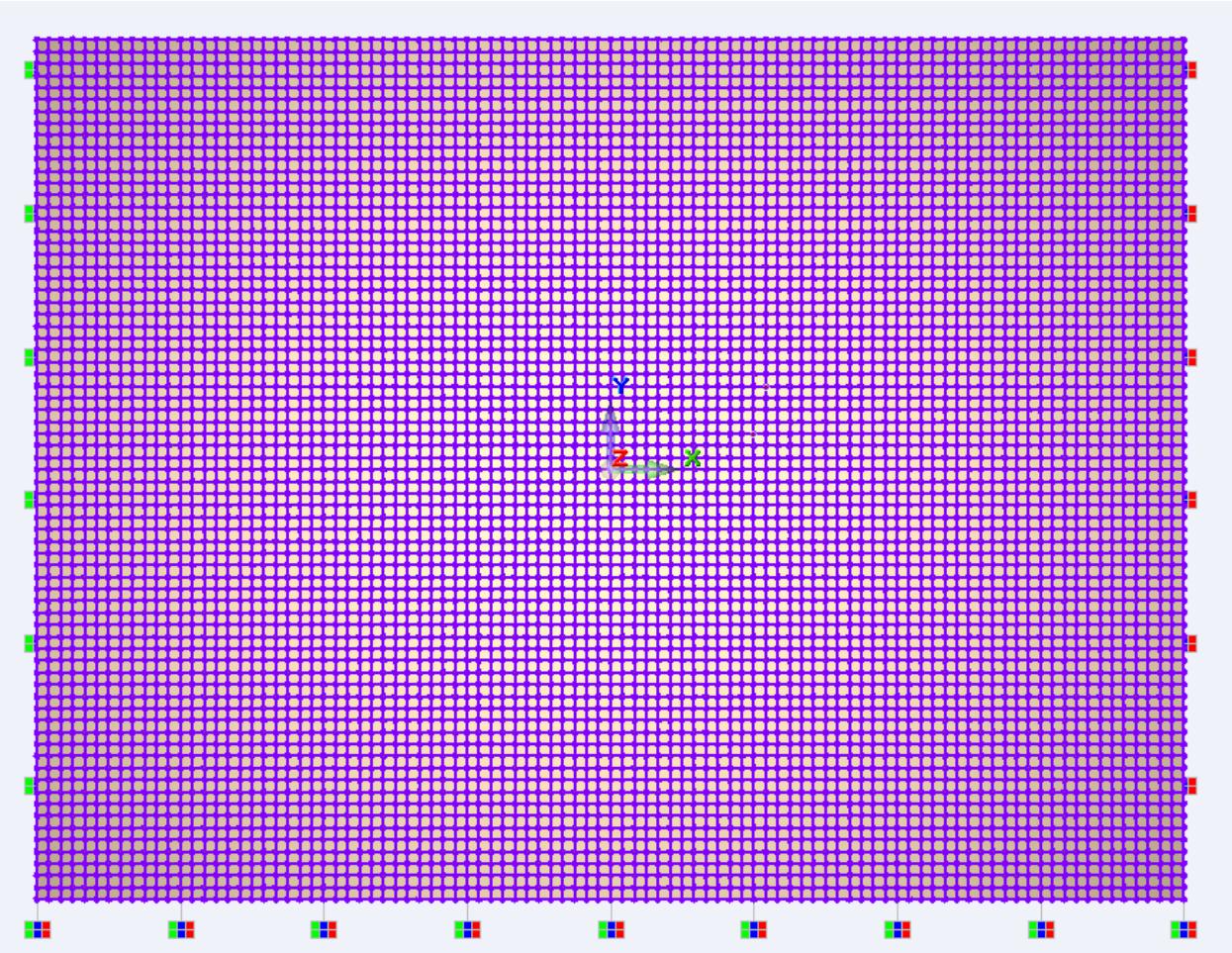


Рис.5.7. Расчетная модель выпуклой оболочки с найденными пересечениями (визуализируются фиолетовым цветом)

Этап 7. Создание файла для ПК ЛИРА-САПР

- Чтобы открыть конечно-элементную схему в ПК ЛИРА-САПР щелкните по кнопке  - **Открыть в раскрывающемся списке Открыть** (панель **Расчет** в **ЛИРА-САПР** на вкладке **Аналитика**).
- Программа создаст файл в формате *.s2l в каталоге, где сохранён файл Сапфира в формате *.spf, и откроет этот файл в системе **ВИЗОР-САПР**.



Чтобы сохранить файл САПФИР для ЛИРА-САПР без автоматического открытия в



*системе ВИЗОР-САПР, щелкните по кнопке  - **Сохранить в раскрывающемся списке Открыть** (панель **Расчет** в **ЛИРА-САПР** на вкладке **Аналитика**). В открывшемся диалоге можно задать имя для файла в формате *.s2l и выбрать папку для сохранения.*

(Этапы 8-14 «Корректировка модели. расчет и анализ результатов в ВИЗОР» см. в примере с «Гипаром»)

ЛИТЕРАТУРА

1. Инженерные конструкции. Учебник, под редакцией В. В. Ермолова. – М.: «Архитектура-С», 2007.
2. Байков В. Н., Сигалов Э. Е. Железобетонные конструкции. Общий курс. – М.: Стройиздат, 1985.
3. Лебедева Н. В. Фермы, арки, тонкостенные пространственные конструкции. – М.: «Архитектура-С», 2006.
4. Лебедева Н. В. Железобетонные оболочки отрицательной кривизны. Расчет и конструирование. Учебное пособие. – М.: МАРХИ, 1986.
5. Водопьянов Р. Ю., Титок В. П., Артамонова А. Е. ЛИРА-САПР. Учебное пособие. Электронное издание. – Киев – Москва.: 2015.
6. СНиП 2.03.01 - 84*. Бетонные и железобетонные конструкции – М.: «Госстрой России», 2003.
7. СНиП 2.01.07-85* Нагрузки и воздействия – М.: «Госстрой России», 2003.
8. Пособие по проектированию бетонных и железобетонных конструкций из тяжелого бетона без предварительного напряжения арматуры (к СП 52-101-2003) – М: 2005.