

Геометрическое моделирование

цилиндрических оболочек

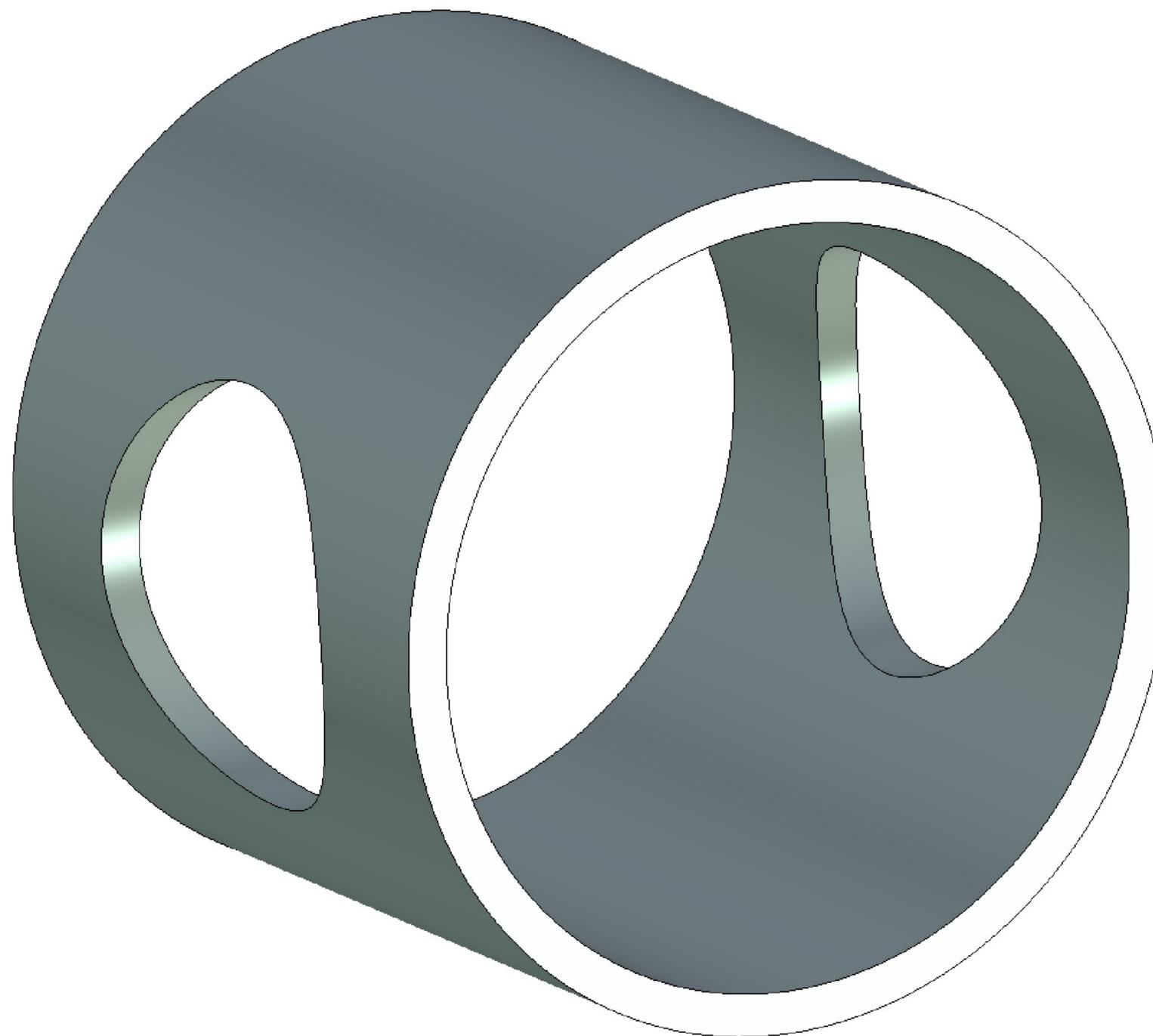
с круговыми отверстиями

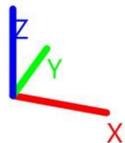
в среде ВК SCAD

путем сборки параметрически заданных

поверхностей и копирования схемы

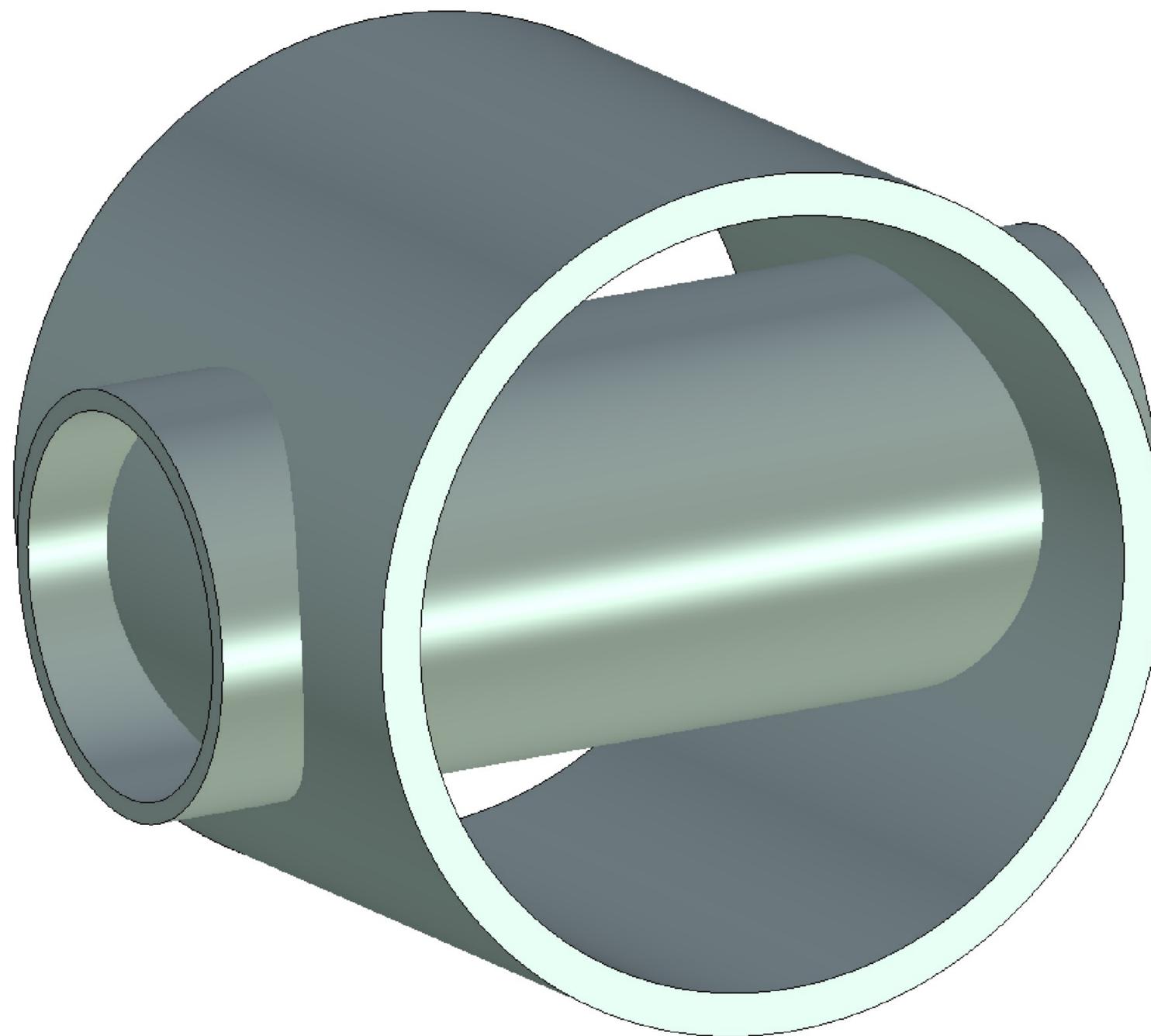
применительно к тоннелям глубокого заложения

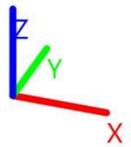


		Цилиндрическая оболочка с круговыми отверстиями	
		Расчетная схема	
			
SCAD версия : 21.1.3.1			
			

Описание геометрической модели

- Отверстия в цилиндрической оболочке образуются вследствие продавливания ее другой цилиндрической оболочкой меньшего радиуса;
- Оси обеих оболочек лежат в горизонтальной плоскости и пересекаются под прямым углом (оси X и Y общей системы координат соответственно);
- Проекции линий контуров отверстий на вертикальную плоскость, содержащую ось цилиндрической оболочки, являются окружностями (плоскость XZ).



		Цилиндрическая оболочка с круговыми отверстиями	
		Расчетная схема	
			
SCAD версия : 21.1.3.1			
			

Обозначение целей

геометрического моделирования

- За пределами отверстий организовать для цилиндрической оболочки регулярную сетку из прямоугольных четырехузловых конечных элементов оболочки типа 44;
- В пределах круговых отверстий организовать скрытые рамы проемов из четырехузловых конечных элементов оболочки типа 44 со сгущением сетки в радиальном направлении (по толщине рамы);
- Внешние контуры рам проемов принять квадратными в вертикальных проекциях для организации плавного перехода к регулярной сетке цилиндрической оболочки.

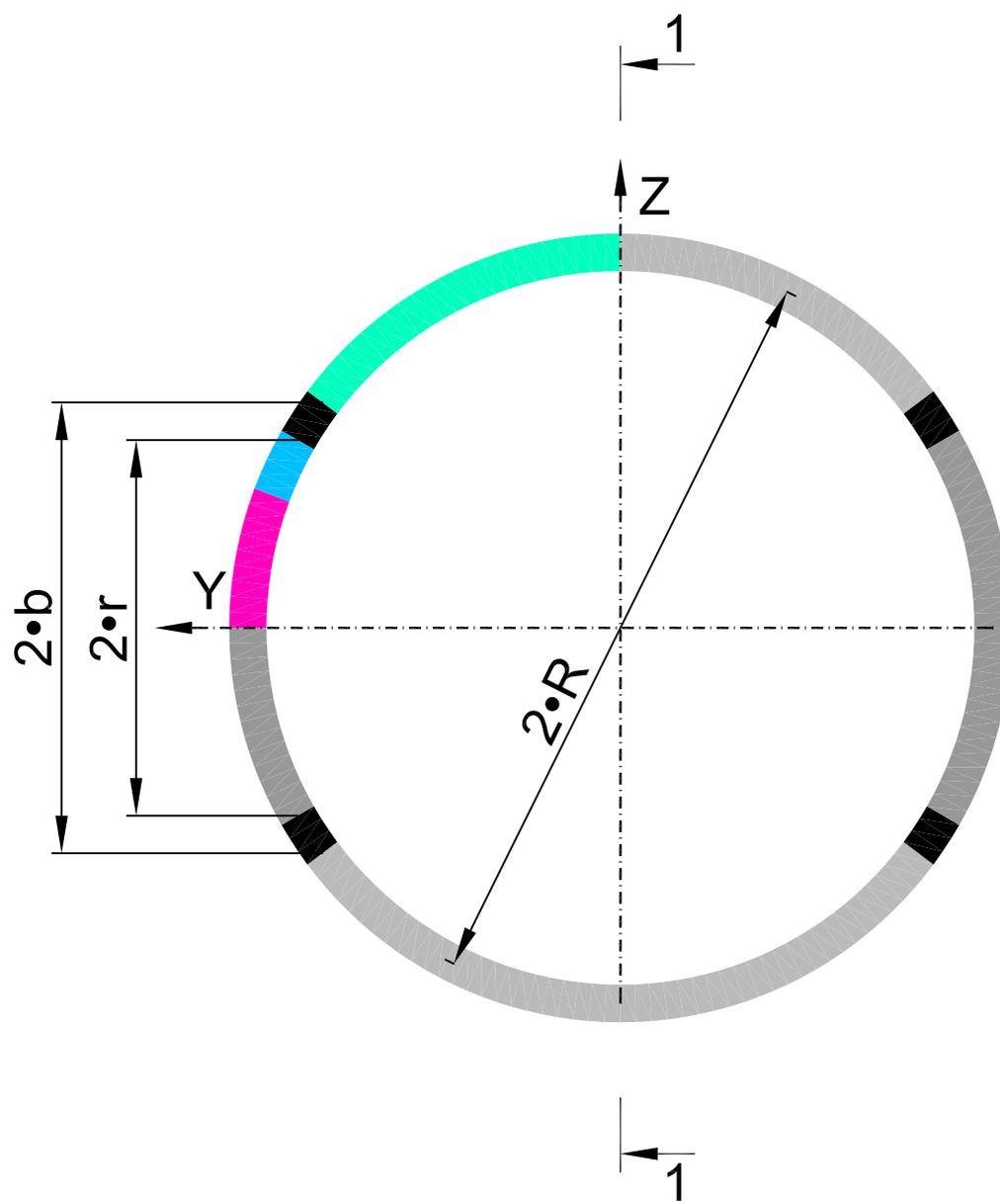
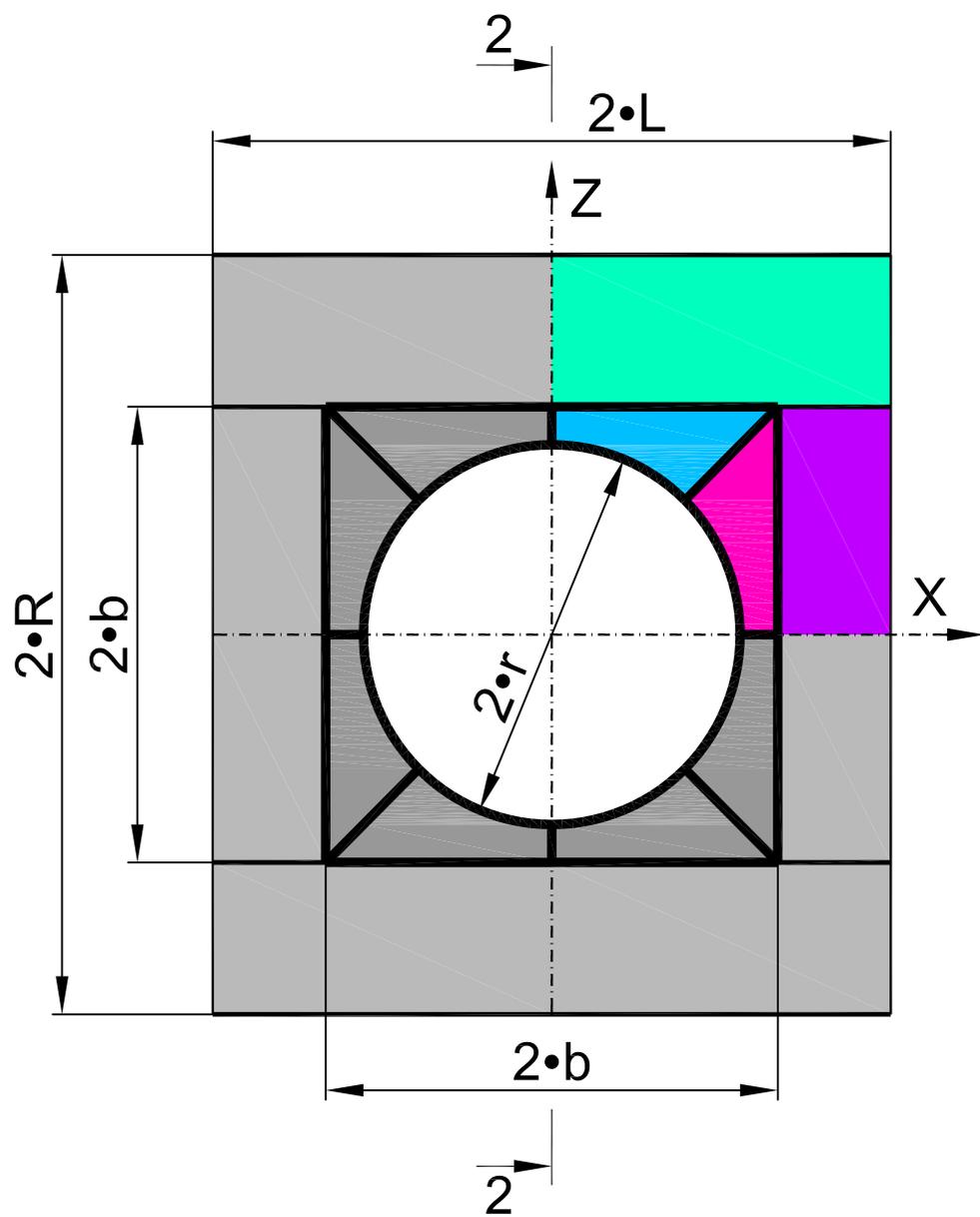
Исходные данные

для геометрического моделирования

- Заданные:
 - Радиус срединной поверхности цилиндрической оболочки $R=10\text{м}$;
 - Радиус проекции контуров отверстий на вертикальную плоскость, содержащую ось цилиндрической оболочки $r=5\text{м}$;
 - Длина повторяющегося участка вдоль оси цилиндрической оболочки $2\cdot L=18\text{м}$.
- Принятые:
 - Габаритные размеры рамы проема в вертикальной плоскости $2\cdot b=12\text{м}$ (минимальная толщина рамы составляет $1/10$ пролета отверстия в свету).

Определение количества типовых участков поверхностей цилиндрической оболочки на продольном разрезе (при $Y \geq 0$)

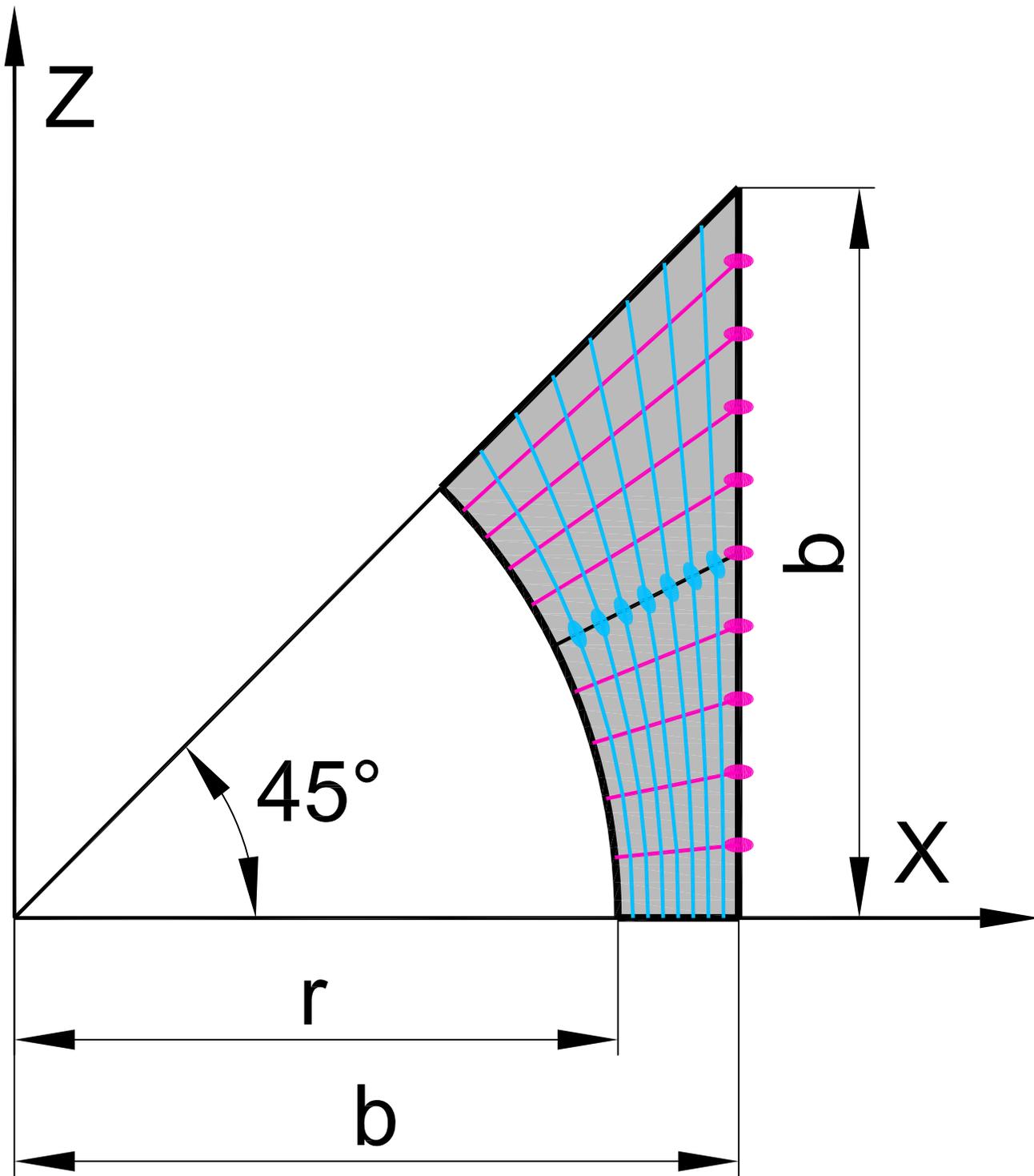
1. Первый октант рамы проема $X \in \left[\frac{\sqrt{2}}{2} \cdot r; b \right] Z \in [0; b];$
2. Второй октант рамы проема $X \in [0; b] Z \in \left[\frac{\sqrt{2}}{2} \cdot r; b \right];$
3. Часть цилиндрической оболочки первого квадранта, примыкающая к раме проема сбоку $X \in [b; L] Z \in [0; b];$
4. Часть цилиндрической оболочки первого квадранта, примыкающая к раме проема сверху $X \in [0; L] Z \in [b; R].$



Семейства линий сетки конечных элементов

первого октанта рамы проема

- Первое семейство линий сетки конечных элементов образуется путем деления половины высоты внешнего контура b на $N_s=10$ частей и опусканием отрезков, перпендикулярных внутреннему контуру $\frac{\pi \cdot r}{4}$. Параметр поверхности $s \in [0; 1]$ $s = 0, \frac{1}{N_s}, \frac{2}{N_s}, \dots, 1$;
- Второе семейство линий сетки конечных элементов образуется путем деления отрезков линий первого семейства a на $N_t=8$ частей и соединением соответствующих узлов отрезков между собой, образуя многоугольники, вписанные в параболы. Параметр поверхности $t \in [0; 1]$ $t = 0, \frac{1}{N_t}, \frac{2}{N_t}, \dots, 1$.



Вычисление координат сетки конечных элементов

первого октанта рамы проема

в зависимости от параметров s и t

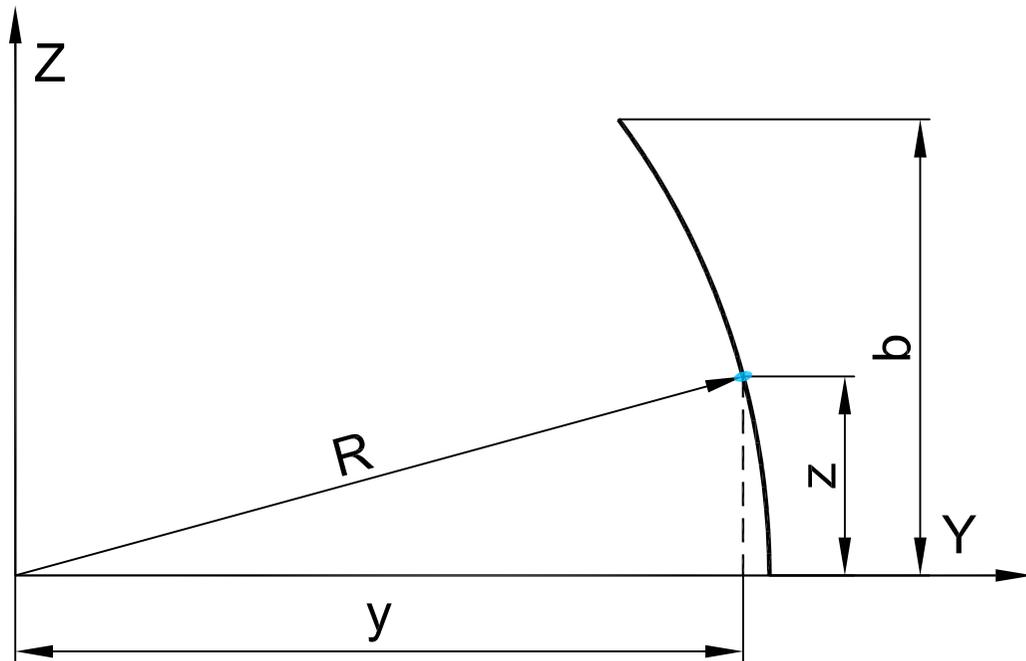
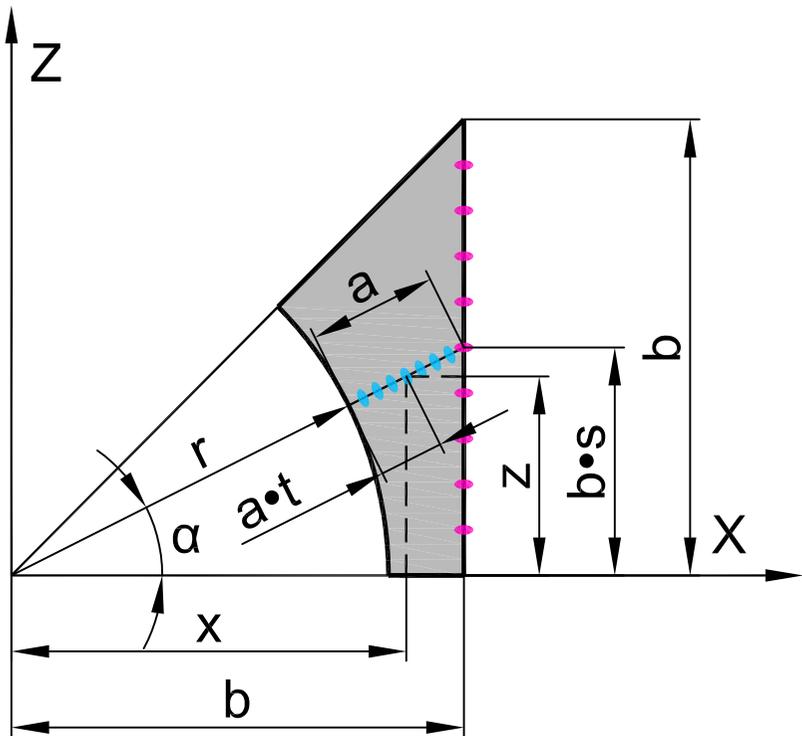
- **Формулы:**

$$\sin \alpha = \frac{b \cdot s}{\sqrt{b^2 + (b \cdot s)^2}}; \quad \cos \alpha = \frac{b}{\sqrt{b^2 + (b \cdot s)^2}}; \quad a = \frac{b}{\cos \alpha} - r;$$

$$X = (r + a \cdot t) \cdot \cos \alpha = r \cdot (1 - t) \cdot \frac{1}{\sqrt{1+s^2}} + b \cdot t;$$

$$Z = (r + a \cdot t) \cdot \sin \alpha = r \cdot (1 - t) \cdot \frac{s}{\sqrt{1+s^2}} + b \cdot t \cdot s;$$

$$Y = \sqrt{R^2 - Z^2} = \sqrt{R^2 - \left[r \cdot (1 - t) \cdot \frac{s}{\sqrt{1+s^2}} + b \cdot t \cdot s \right]^2};$$



- Аналитическое представление в среде ВК SCAD:

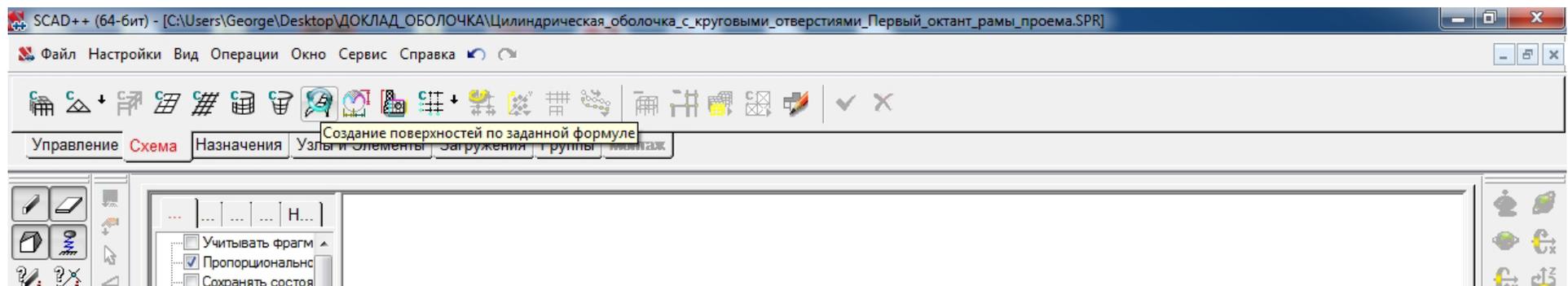
$$X = 5*(1-t)*(1/\sqrt{1+s^2})+6*t;$$

$$Y = \sqrt{10^2-(5*(1-t)*(s/\sqrt{1+s^2})+6*t*s)^2};$$

$$Z = 5*(1-t)*(s/\sqrt{1+s^2})+6*t*s.$$

Создание параметрической поверхности первого октанта рамы проема в препроцессоре ВК SCAD

Активируется окно "Аналитически задаваемые поверхности" путем нажатия кнопки "Создание поверхностей по заданной формуле" в закладке "Схема":



В окне "Аналитически задаваемые поверхности" выбирается закладка "Параметрическая поверхность", в которой задаются:

- **зависимости координат X , Y , Z от параметров s , t ;**
- **шаги табулирования параметров N_s , N_t ;**
- **вид разбиения – четырехугольный;**
- **вид элементов – пластины;**
- **тип элемента – 44 (четырёхузловой элемент оболочки);**
- **жесткости:**
 - **материал – бетон тяжелый класса В30;**
 - **толщина пластин – 1м.**

Аналитически задаваемые поверхности



Поверхность по формуле

Параметрическая поверхность

$$X = 5 \cdot (1-t) \cdot (1/\sqrt{1+s^2}) + 6t$$

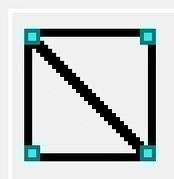
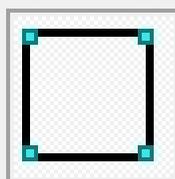
$$Y = \sqrt{10^2 - (5 \cdot (1-t) \cdot (s/\sqrt{1+s^2}) + 6t \cdot s)^2}$$

$$Z = 5 \cdot (1-t) \cdot (s/\sqrt{1+s^2}) + 6t \cdot s$$

N_s 10

N_t 8

Вид разбиения



Вид элементов

Стержни

Пластины



Жесткости

Тип элемента - 44



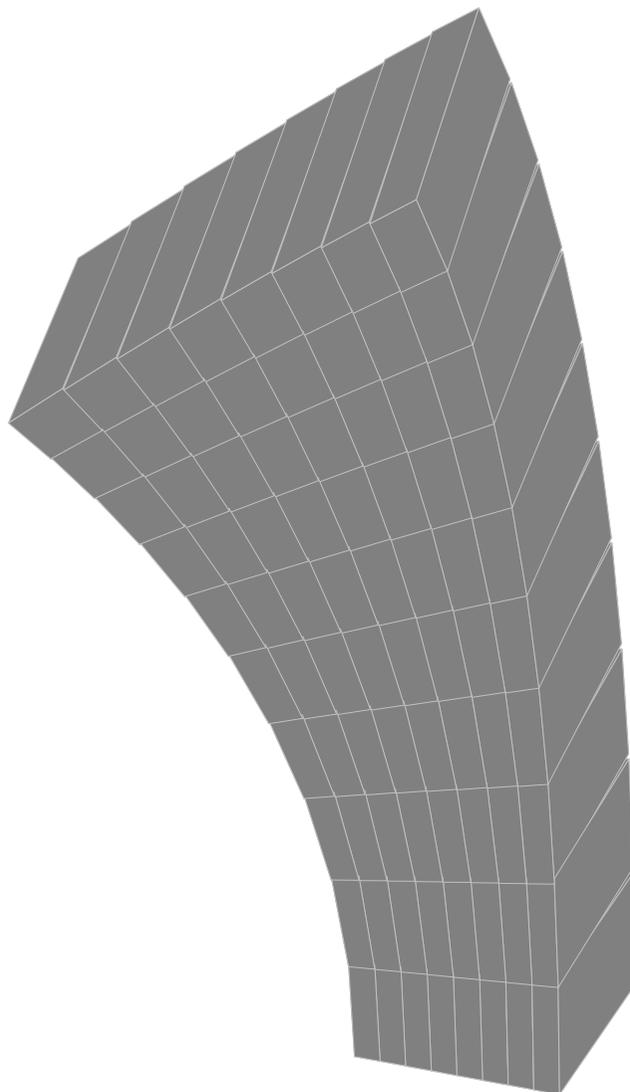
OK

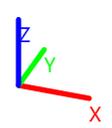


Отмена



Справка



		Цилиндрическая оболочка с круговыми отверстиями	
		Расчетная схема	
	SCAD версия : 21.1.3.1		



Изотропия

Материал

Бетон тяжелый В30

Объемный вес 2,5 Т/м³

Параметры

Модуль упругости 3310000 Т/м²

Коэффициент Пуассона 0,2

Козф. линейного расширения 1,е-005 1/°С

Толщина пластин 1 м

Тип жесткости

Толщина

м

Имя типа

жесткости

- Изотропия
- Ортотропия
- Плоско-напряженное состояние
- Плоская деформация

Имя типа жесткости

 Использовать описание в качестве имени

OK

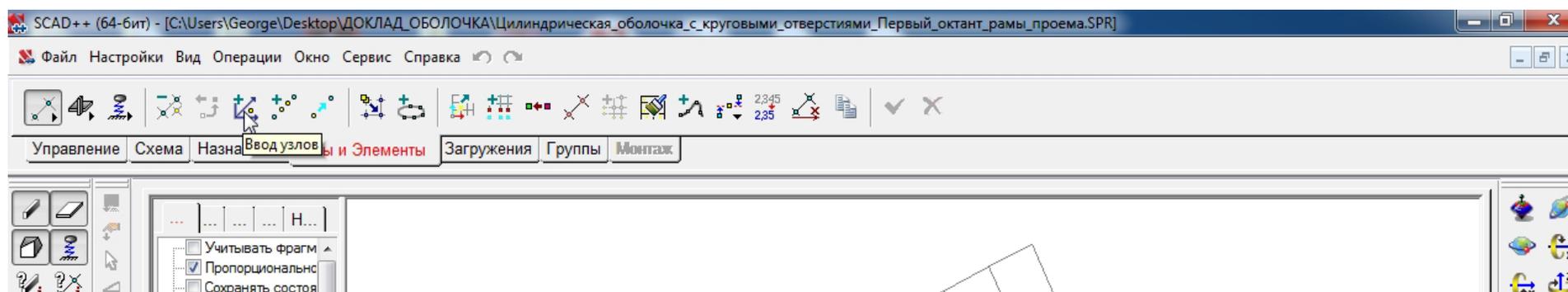


Отмена

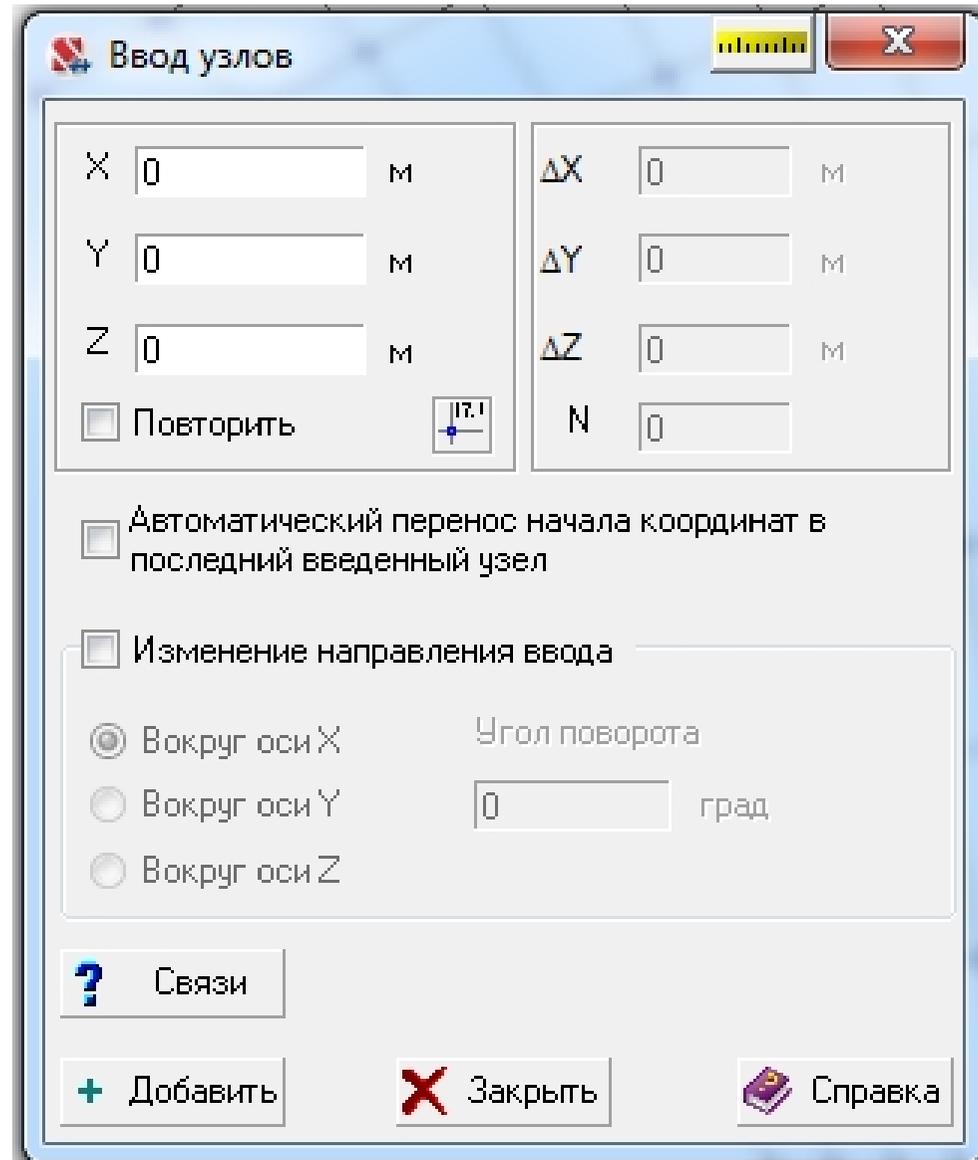


Справка

Активируется окно "Ввод узлов" путем нажатия кнопки "Ввод узлов" в закладке "Узлы и элементы":



В окне "Ввод узлов" задаются координаты узла для последующей сборки подсхем: $X = Y = Z = 0$.



Ввод узлов

X	0	м	ΔX	0	м
Y	0	м	ΔY	0	м
Z	0	м	ΔZ	0	м
<input type="checkbox"/> Повторить			N	0	

Автоматический перенос начала координат в последний введенный узел

Изменение направления ввода

Вокруг оси X Угол поворота

Вокруг оси Y 0 град

Вокруг оси Z

? Связи

+ Добавить X Закрыть Справка



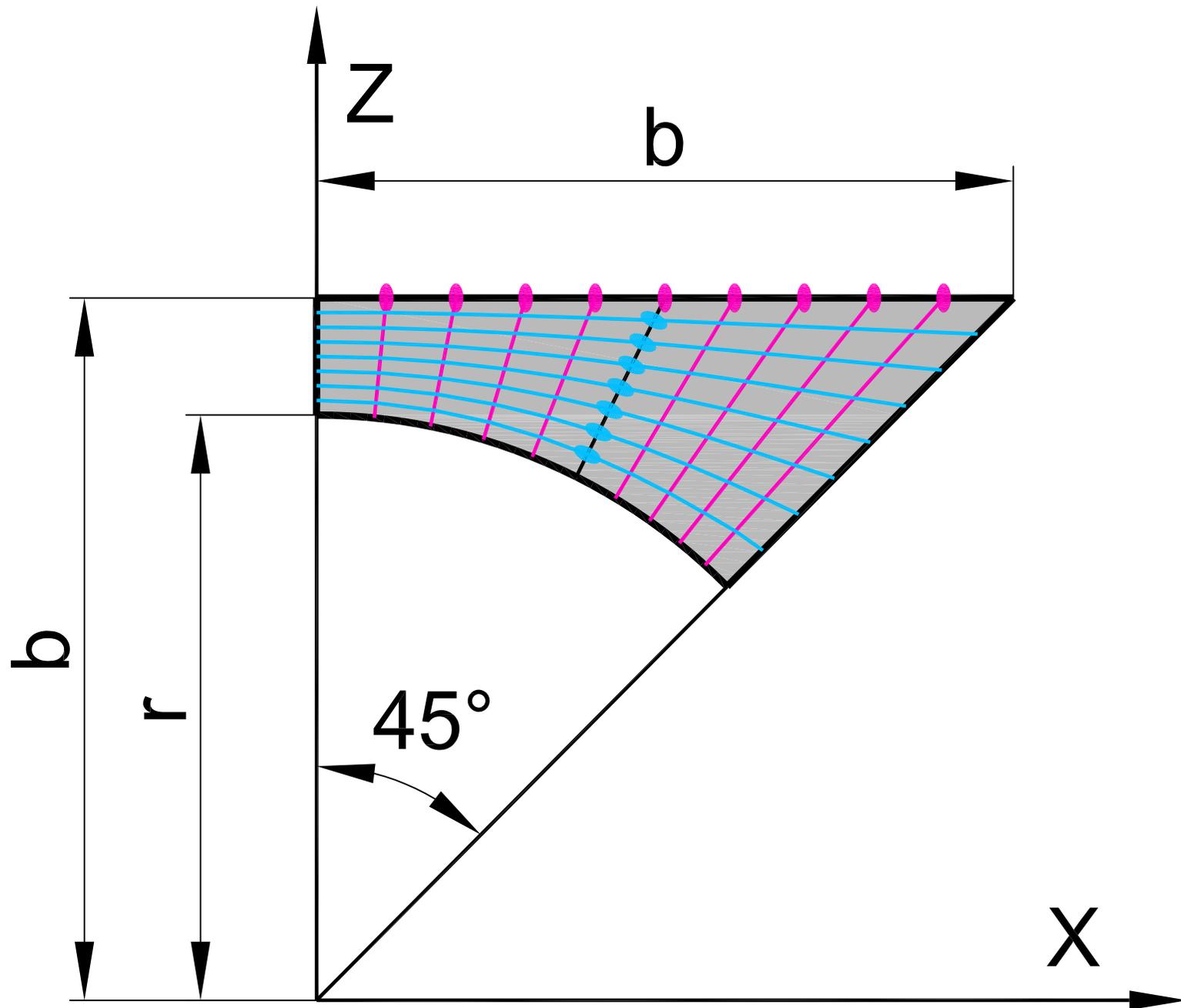
Узел H...

- Учитывать фрагм
- Пропорциональн
- Сохранять состоя
- Показывать окно
- Показывать инфс
- Показывать общу
- Показывать имен
- Координационные
- Размерные линии
- Удаление линий н
- Прозрачность
- Освещение
- Таблицы
- Стержни
- Пластины
- Объемные элеме
- Специальные эле
- Узлы
- Номера узлов
- Совпадающие узл
- Показывать удал
- Цветовое отобра
- Связи
- Показывать объе
- Номера элементс
- Цветовое отобра
- Показывать групп
- Показывать групп
- Типы элементов
- Номера типов же
- Шарниры
- Жесткие вставки
- Отображение сме
- Показывать удал
- Показывать совп
- Местные оси эле
- Преднапряжение
- Направления выд
- Спектр жесткости
- Модуль Юнга
- Качество триангу
- Узловые нагрузки
- Заданные пере
- Распределенные
- Сосредоточенные



Семейства линий сетки конечных элементов второго октанта рамы проема

- Первое семейство линий сетки конечных элементов образуется путем деления половины ширины внешнего контура b на $N_s=10$ частей и опусканием отрезков, перпендикулярных внутреннему контуру $\frac{\pi \cdot r}{4}$. Параметр поверхности $s \in [0; 1]$ $s = 0, \frac{1}{N_s}, \frac{2}{N_s}, \dots, 1$;
- Второе семейство линий сетки конечных элементов образуется путем деления отрезков линий первого семейства a на $N_t=8$ частей и соединением соответствующих узлов отрезков между собой, образуя многоугольники, вписанные в параболы. Параметр поверхности $t \in [0; 1]$ $t = 0, \frac{1}{N_t}, \frac{2}{N_t}, \dots, 1$.



Вычисление координат сетки конечных элементов

второго октанта рамы проема

в зависимости от параметров s и t

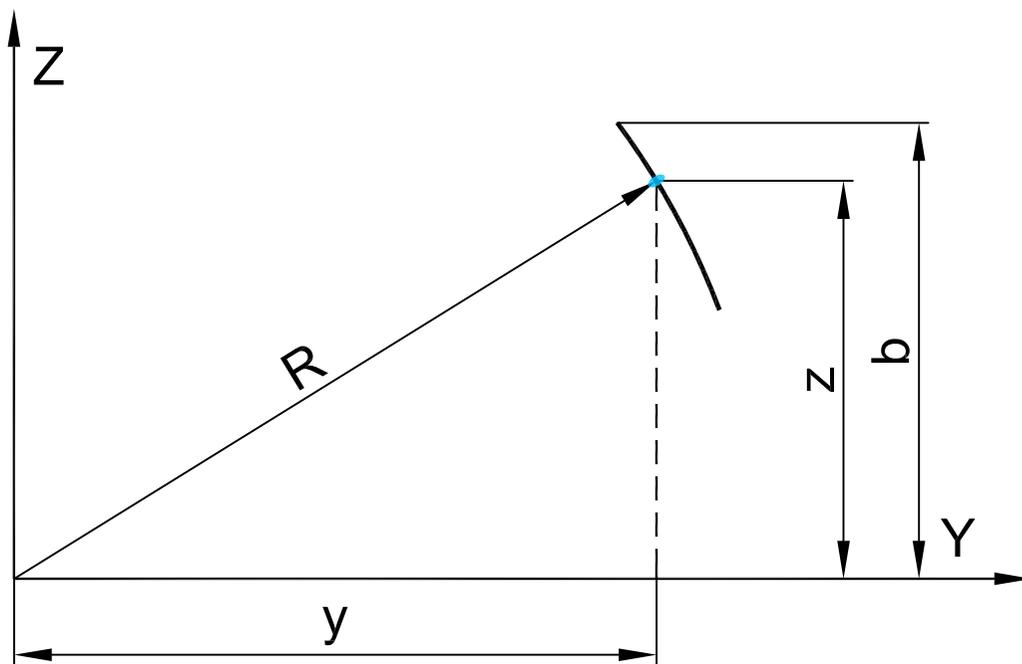
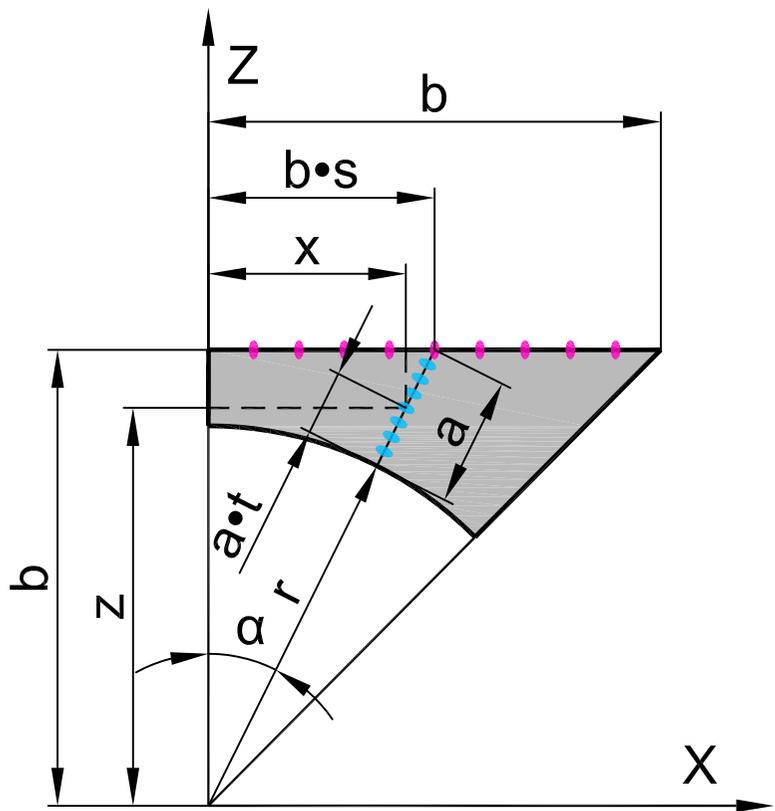
- **Формулы:**

$$\sin \alpha = \frac{b \cdot s}{\sqrt{b^2 + (b \cdot s)^2}}; \quad \cos \alpha = \frac{b}{\sqrt{b^2 + (b \cdot s)^2}}; \quad a = \frac{b}{\cos \alpha} - r;$$

$$X = (r + a \cdot t) \cdot \sin \alpha = r \cdot (1 - t) \cdot \frac{s}{\sqrt{1+s^2}} + b \cdot t \cdot s;$$

$$Z = (r + a \cdot t) \cdot \cos \alpha = r \cdot (1 - t) \cdot \frac{1}{\sqrt{1+s^2}} + b \cdot t;$$

$$Y = \sqrt{R^2 - Z^2} = \sqrt{R^2 - \left[r \cdot (1 - t) \cdot \frac{1}{\sqrt{1+s^2}} + b \cdot t \right]^2};$$



- Аналитическое представление в среде ВК SCAD:

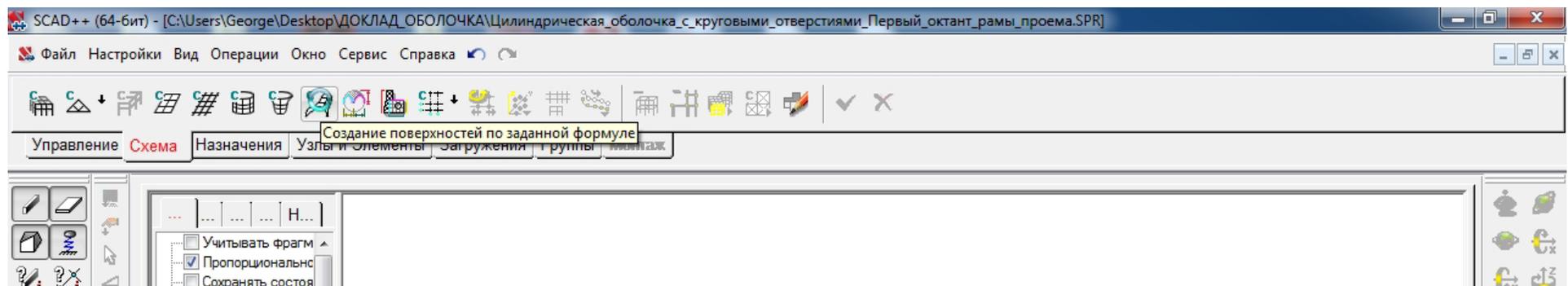
$$X = 5*(1-t)*(s/\text{sqrt}(1+s^2))+6*t*s;$$

$$Y = \text{sqrt}(10^2-(5*(1-t)*(1/\text{sqrt}(1+s^2))+6*t)^2);$$

$$Z = 5*(1-t)*(1/\text{sqrt}(1+s^2))+6*t.$$

Создание параметрической поверхности второго октанта рамы проема в препроцессоре ВК SCAD

Активируется окно "Аналитически задаваемые поверхности" путем нажатия кнопки "Создание поверхностей по заданной формуле" в закладке "Схема":



В окне "Аналитически задаваемые поверхности" выбирается закладка "Параметрическая поверхность", в которой задаются:

- **зависимости координат X, Y, Z от параметров s, t ;**
- **шаги табулирования параметров N_s, N_t ;**
- **вид разбиения – четырехугольный;**
- **вид элементов – пластины;**
- **тип элемента – 44 (четырёхузловой элемент оболочки);**
- **жесткости:**
 - **материал – бетон тяжелый класса В30;**
 - **толщина пластин – 1м.**

Аналитически задаваемые поверхности



Поверхность по формуле

Параметрическая поверхность

$$X = 5 \cdot (1-t) \cdot (s / \sqrt{1+s^2}) + 6t \cdot s$$

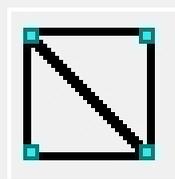
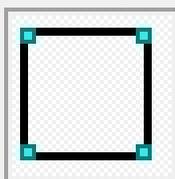
$$Y = \sqrt{10^2 - (5 \cdot (1-t) \cdot (1 / \sqrt{1+s^2}) + 6t)^2}$$

$$Z = 5 \cdot (1-t) \cdot (1 / \sqrt{1+s^2}) + 6t$$

N_s 10

N_t 8

Вид разбиения



Вид элементов

Стержни

Пластины



Жесткости

Тип элемента - 44



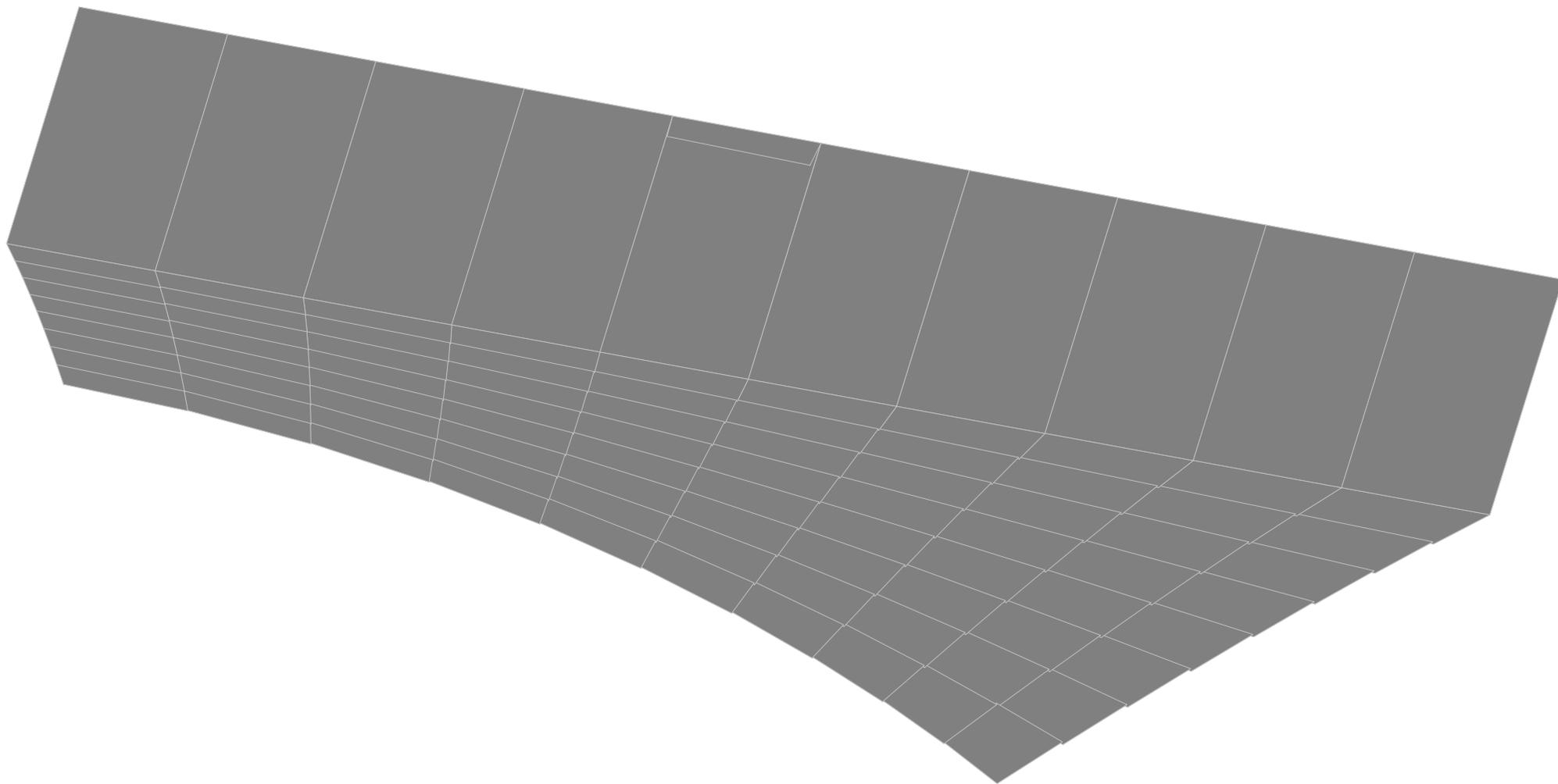
OK

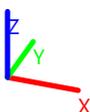


Отмена

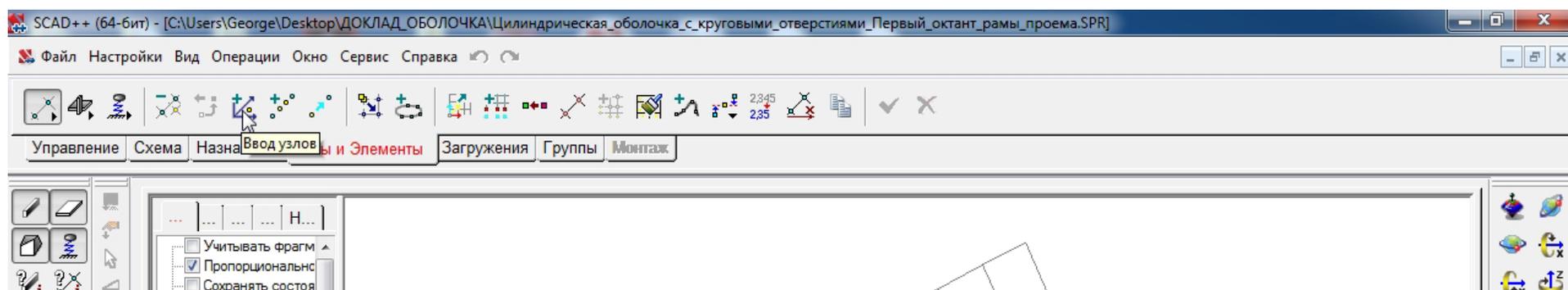


Справка

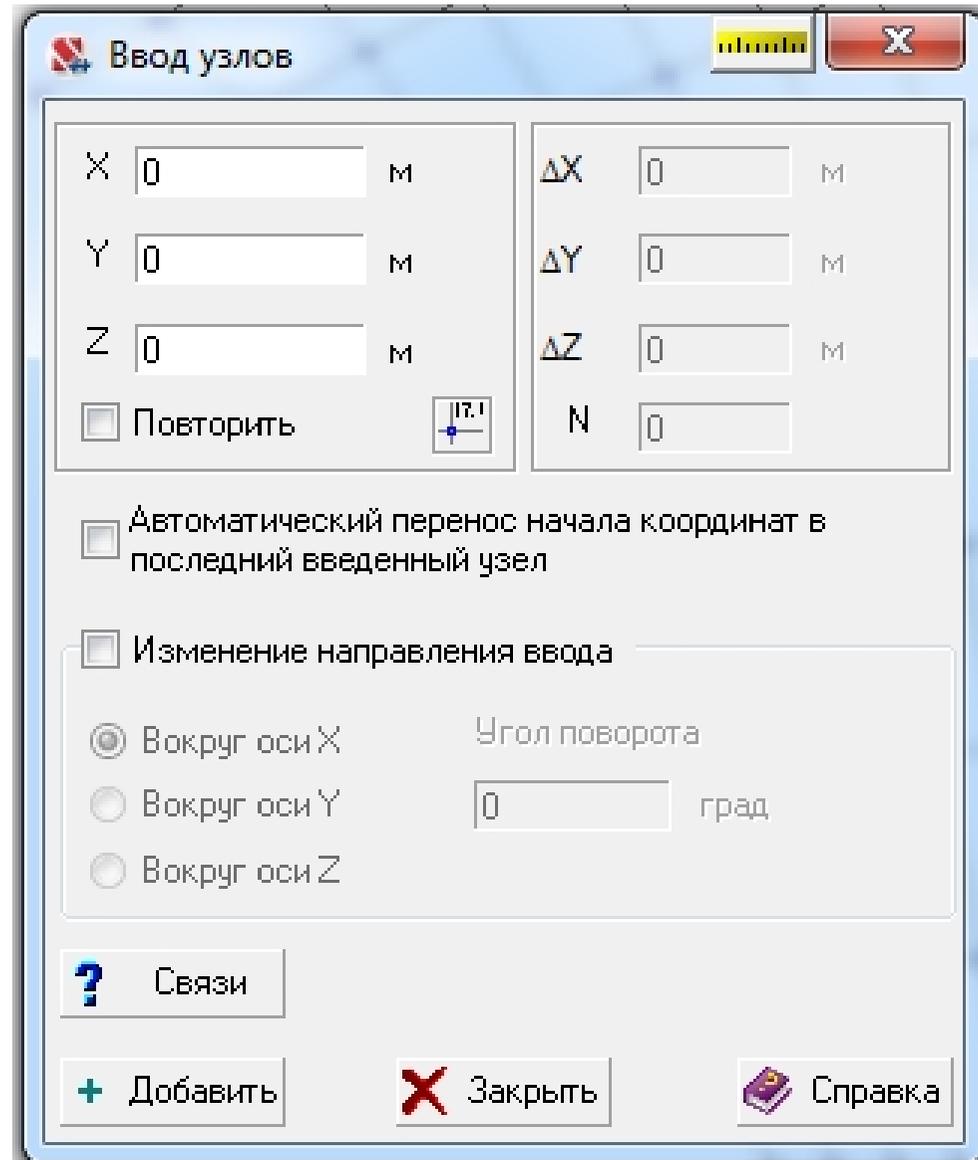


		Цилиндрическая оболочка с круговыми отверстиями	
		Расчетная схема	
	SCAD версия : 21.1.3.1		

Активируется окно "Ввод узлов" путем нажатия кнопки "Ввод узлов" в закладке "Узлы и элементы":



В окне "Ввод узлов" задаются координаты узла для последующей сборки подсхем: $X = Y = Z = 0$.



Ввод узлов

X	0	м	ΔX	0	м
Y	0	м	ΔY	0	м
Z	0	м	ΔZ	0	м
<input type="checkbox"/> Повторить			N	0	

Автоматический перенос начала координат в последний введенный узел

Изменение направления ввода

Вокруг оси X Угол поворота

Вокруг оси Y 0 град

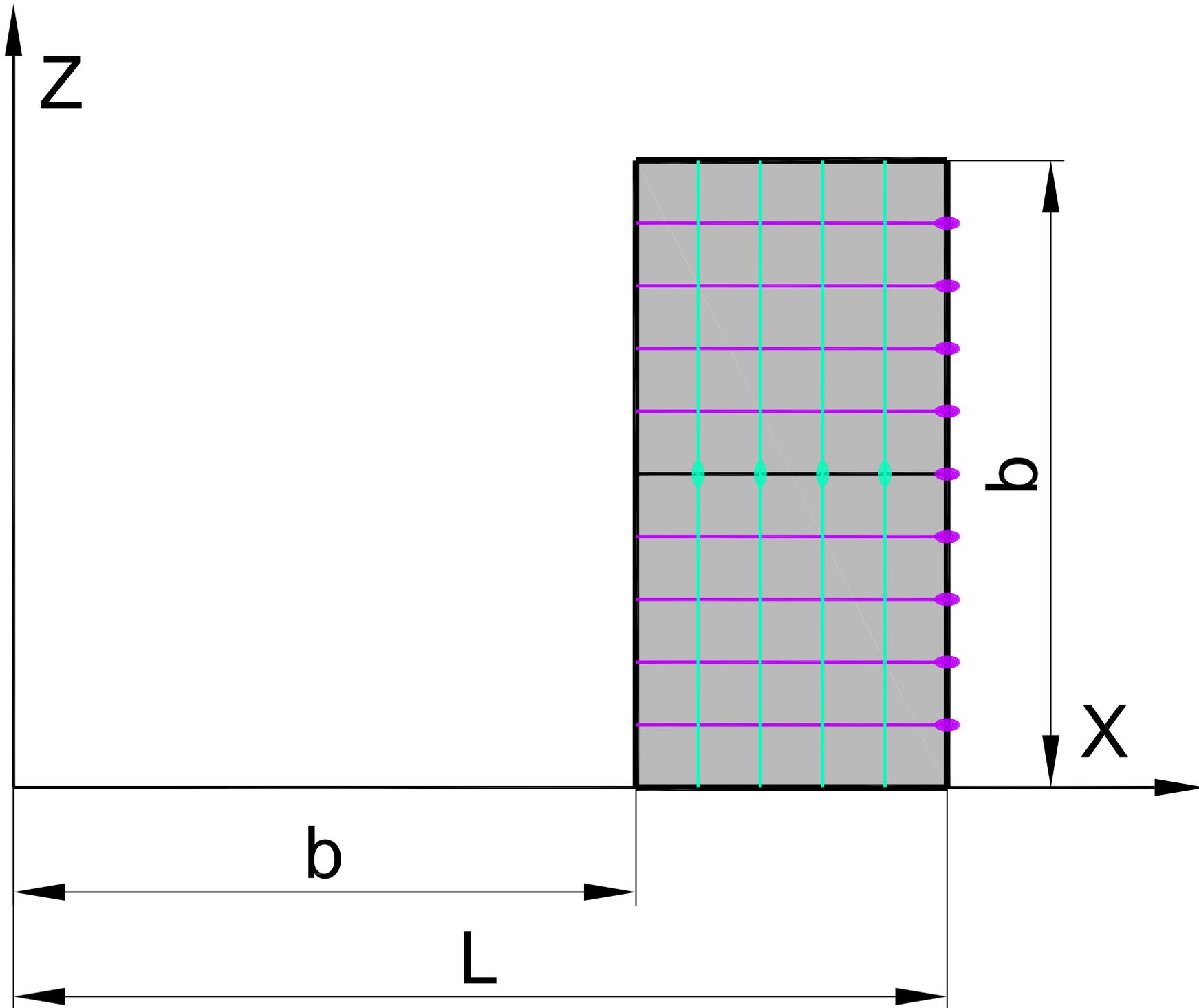
Вокруг оси Z

? Связи

+ Добавить X Закрыть Справка

Семейства линий сетки конечных элементов части цилиндрической оболочки первого квадранта, примыкающей к раме проема сбоку

- Первое семейство линий сетки конечных элементов образуется путем деления высоты оболочки, равной половине высоты внешнего контура примыкающей рамы проема b , на $N_s=10$ частей и проведением горизонтальных отрезков вдоль образующих оболочки на ширину оболочки a . Параметр поверхности $s \in [0; 1]$
 $s = 0, \frac{1}{N_s}, \frac{2}{N_s}, \dots, 1;$
- Второе семейство линий сетки конечных элементов образуется путем деления отрезков линий первого семейства a на $N_t=5$ частей и соединением соответствующих узлов отрезков между собой, образуя многоугольники, вписанные в окружности. Параметр поверхности $t \in [0; 1]$
 $t = 0, \frac{1}{N_t}, \frac{2}{N_t}, \dots, 1.$



Вычисление координат сетки конечных элементов части цилиндрической оболочки первого квадранта, примыкающей к раме проема сбоку в зависимости от параметров s и t

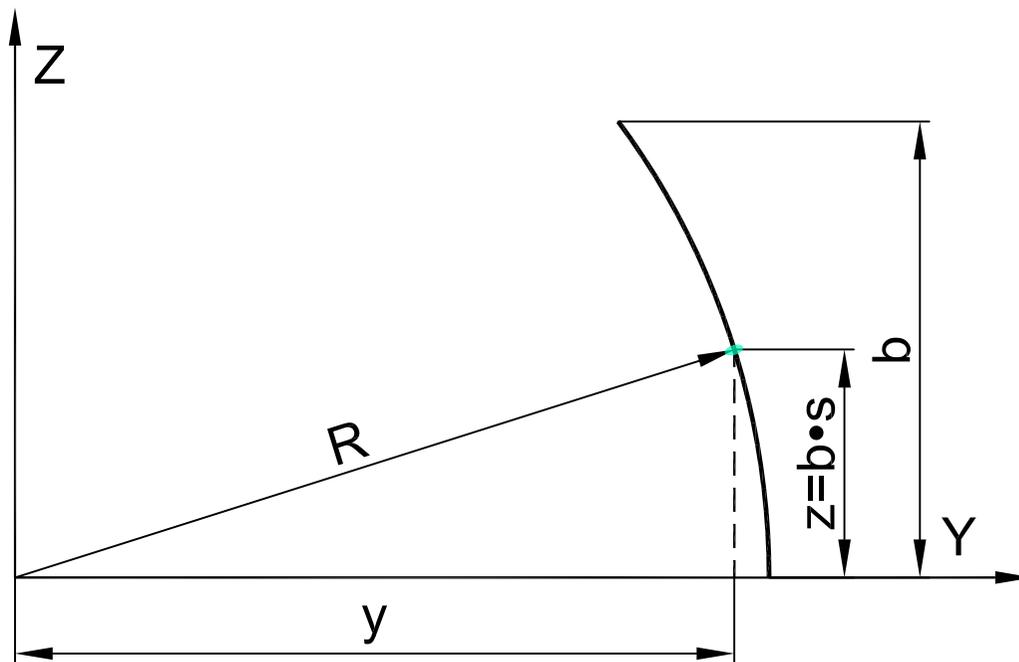
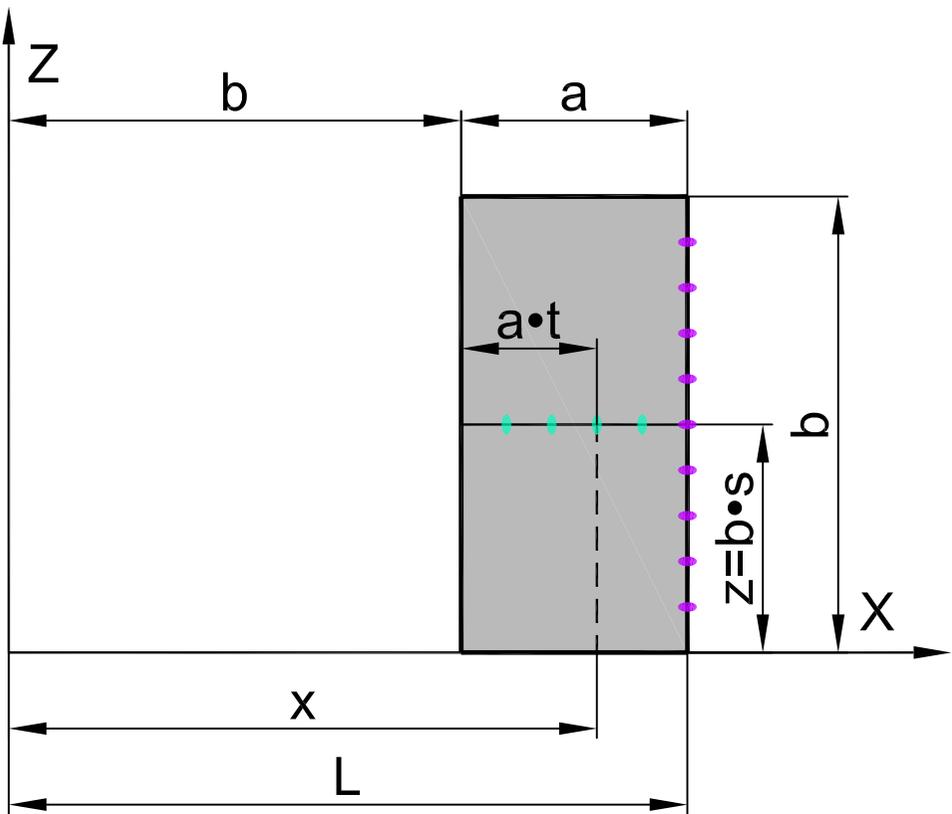
- **Формулы:**

$$a = L - b;$$

$$X = b + a \cdot t;$$

$$Z = b \cdot s;$$

$$Y = \sqrt{R^2 - Z^2} = \sqrt{R^2 - [b \cdot s]^2};$$



- Аналитическое представление в среде ВК SCAD:

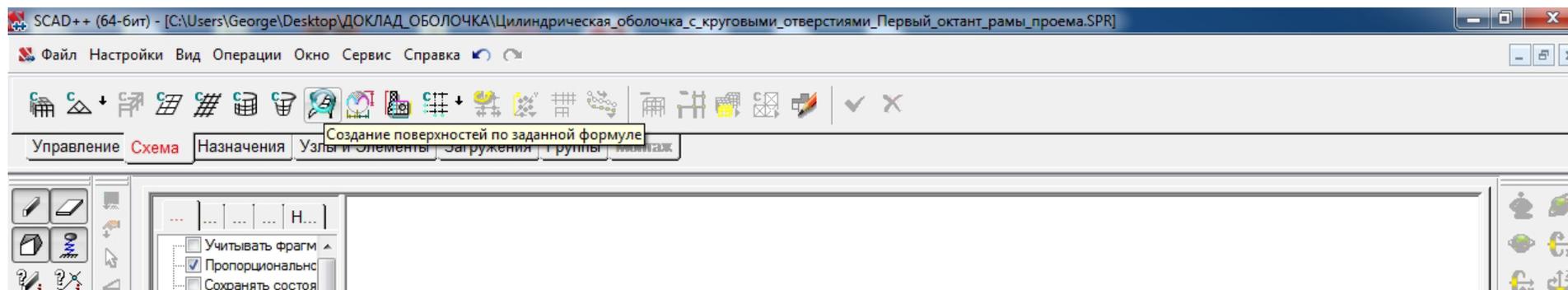
$$X = 6 + 3 * t;$$

$$Y = \text{sqrt}(10^2 - (6 * s)^2);$$

$$Z = 6 * s.$$

Создание параметрической поверхности части цилиндрической оболочки первого квадранта, примыкающей к раме проема сбоку в препроцессоре BK SCAD

Активируется окно "Аналитически задаваемые поверхности" путем нажатия кнопки "Создание поверхностей по заданной формуле" в закладке "Схема":



В окне "Аналитически задаваемые поверхности" выбирается закладка "Параметрическая поверхность", в которой задаются:

- **зависимости координат X , Y , Z от параметров s , t ;**
- **шаги табулирования параметров N_s , N_t ;**
- **вид разбиения – четырехугольный;**
- **вид элементов – пластины;**
- **тип элемента – 44 (четырёхузловой элемент оболочки);**
- **жесткости:**
 - **материал – бетон тяжелый класса В30;**
 - **толщина пластин – 1м.**

Аналитически задаваемые поверхности



Поверхность по формуле

Параметрическая поверхность

$$X = 6 + 3t$$

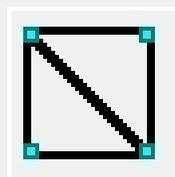
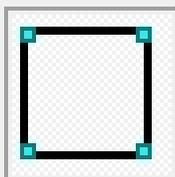
$$Y = \sqrt{10^2 - (6 + s)^2}$$

$$Z = 6 + s$$

N_s 10

N_t 5

Вид разбиения



Вид элементов

Стержни

Пластины



Жесткости

Тип элемента - 44



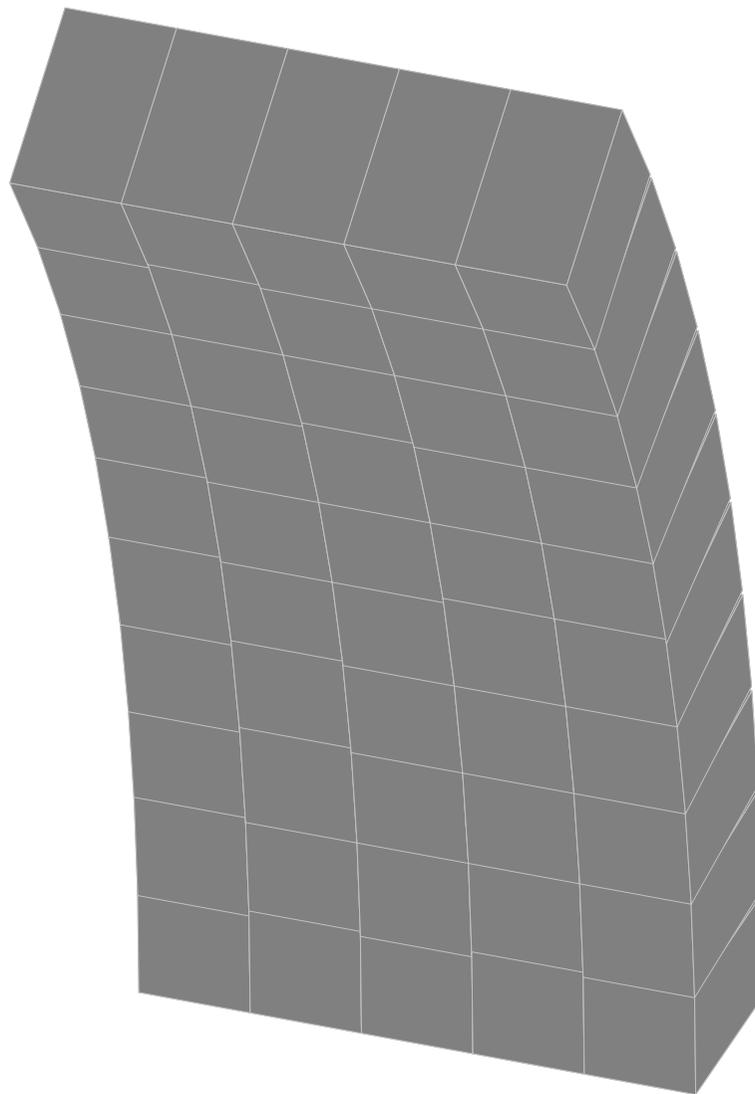
OK

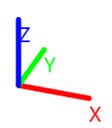


Отмена

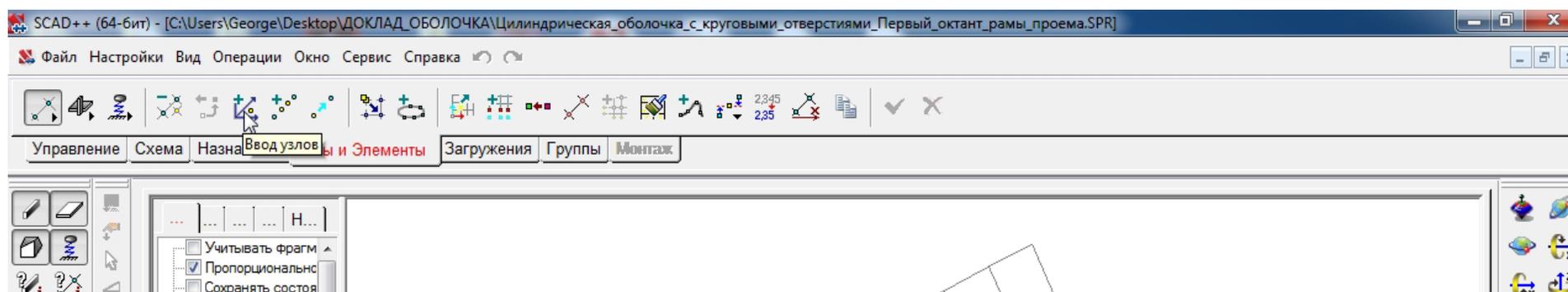


Справка

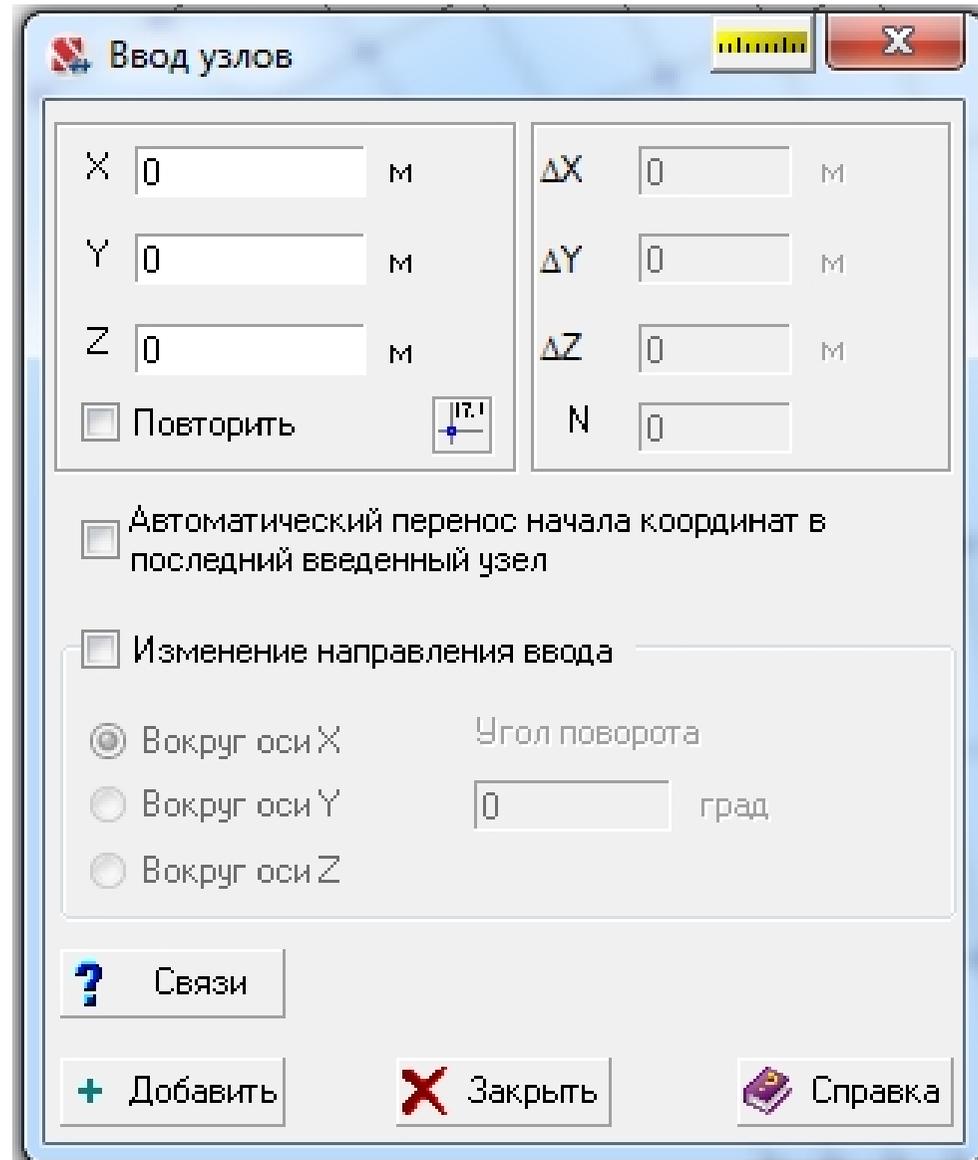


		Цилиндрическая оболочка с круговыми отверстиями	
		Расчетная схема	
	SCAD версия : 21.1.3.1		

Активируется окно "Ввод узлов" путем нажатия кнопки "Ввод узлов" в закладке "Узлы и элементы":



В окне "Ввод узлов" задаются координаты узла для последующей сборки подсхем: $X = Y = Z = 0$.



Ввод узлов

X	0	м	ΔX	0	м
Y	0	м	ΔY	0	м
Z	0	м	ΔZ	0	м
<input type="checkbox"/> Повторить			N	0	

Автоматический перенос начала координат в последний введенный узел

Изменение направления ввода

Вокруг оси X Угол поворота

Вокруг оси Y 0 град

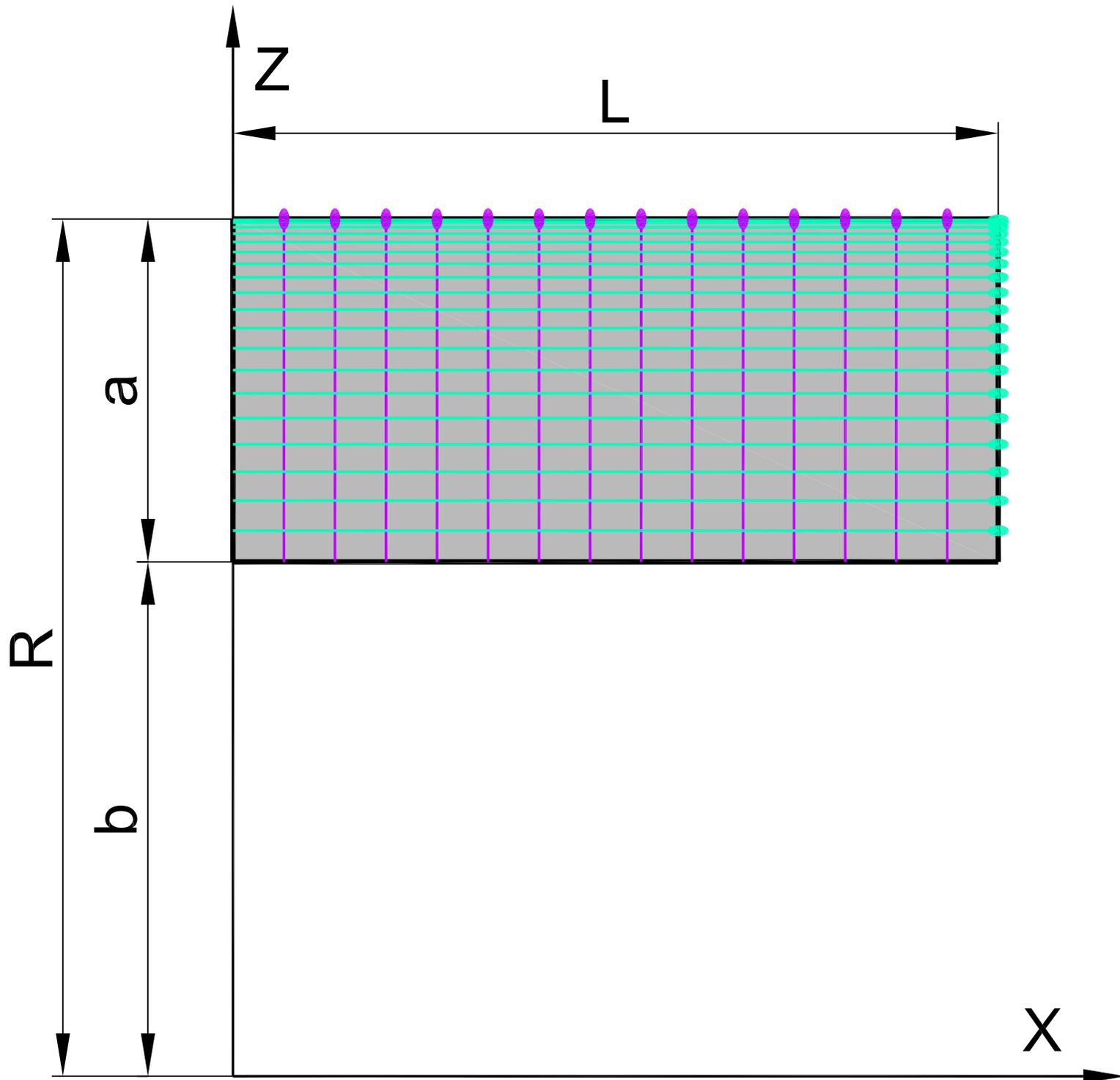
Вокруг оси Z

? Связи

+ Добавить X Закрыть Справка

Семейства линий сетки конечных элементов части цилиндрической оболочки первого квадранта, примыкающей к раме проема сверху

- Первое семейство линий сетки конечных элементов образуется путем деления длины оболочки, равной половине длины повторяющегося участка L , на $N_s=15$ частей и проведением вертикальных дуг окружностей по поперечным сечениям оболочки на высоту a . Параметр поверхности $s \in [0; 1]$ $s = 0, \frac{1}{N_s}, \frac{2}{N_s}, \dots, 1$;
- Второе семейство линий сетки конечных элементов образуется путем деления дуг окружностей линий первого семейства высотой a на $N_t=20$ частей и соединением горизонтальными отрезками соответствующих узлов дуг окружностей между собой, образуя многоугольники, вписанные в окружности для линий первого семейства. Параметр поверхности $t \in [0; 1]$ $t = 0, \frac{1}{N_t}, \frac{2}{N_t}, \dots, 1$.



Вычисление координат сетки конечных элементов части цилиндрической оболочки первого квадранта, примыкающей к раме проема сверху в зависимости от параметров s и t

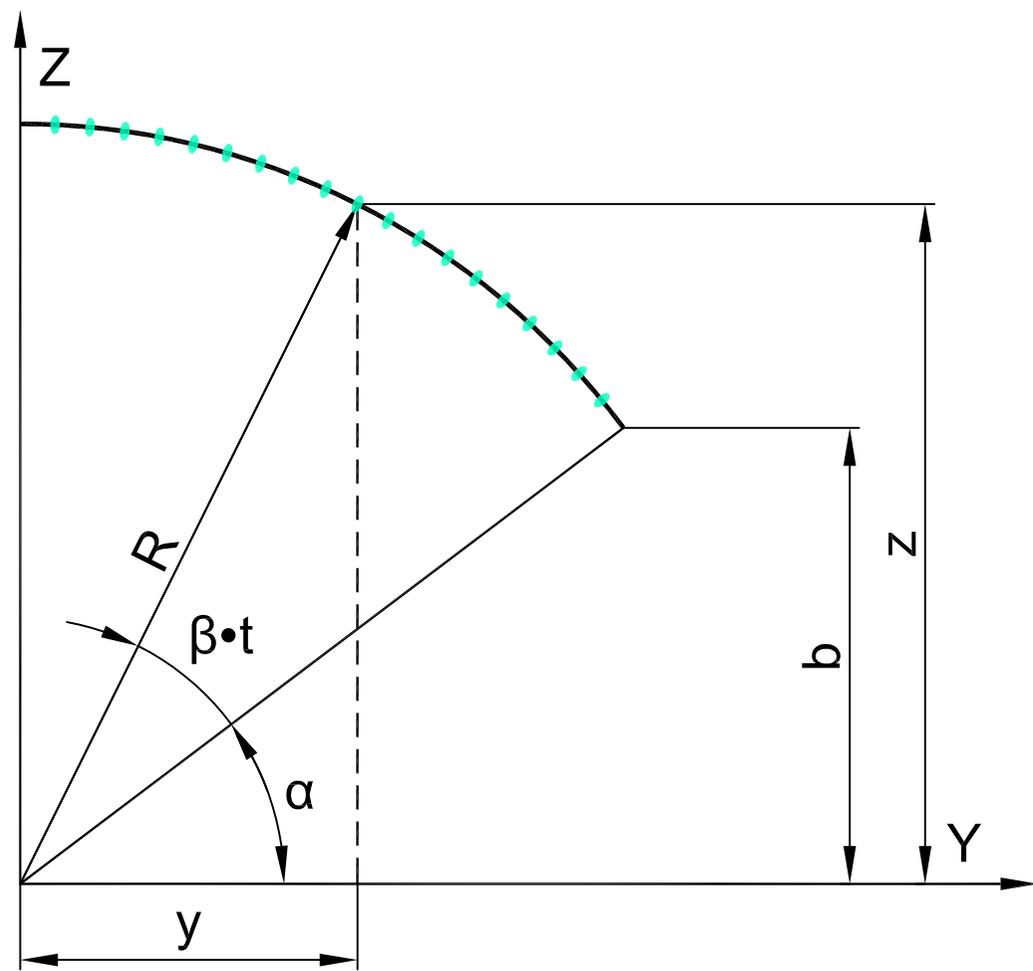
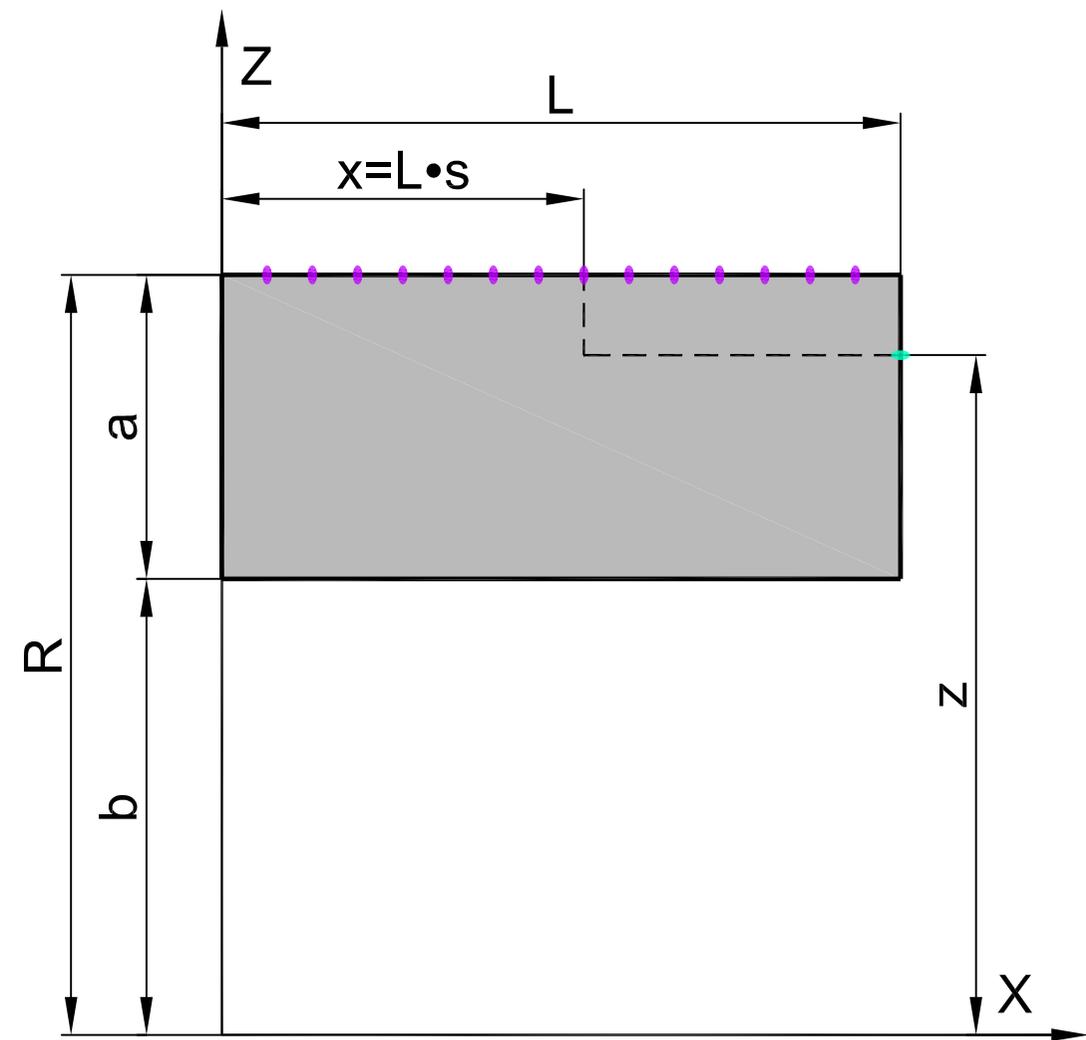
- **Формулы:**

$$a = R - b; \quad \alpha = \arcsin\left(\frac{b}{R}\right); \quad \beta = \frac{\pi}{2} - \alpha;$$

$$X = L \cdot s;$$

$$Y = R \cdot \cos(\alpha + \beta \cdot t);$$

$$Z = R \cdot \sin(\alpha + \beta \cdot t);$$



- Аналитическое представление в среде ВК SCAD:

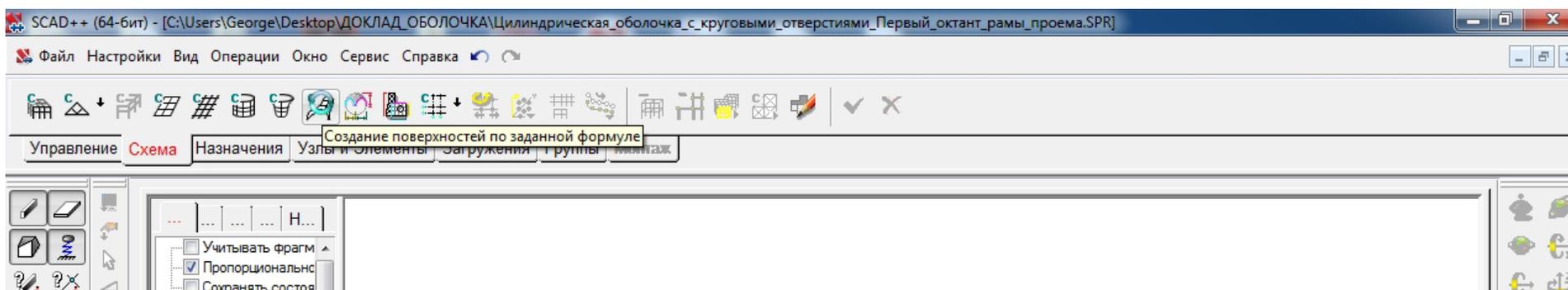
$$X = 6*s;$$

$$Y = 10*\cos(\text{asin}(6/10)*(1-t)+90*t);$$

$$Z = 10*\sin(\text{asin}(6/10)*(1-t)+90*t).$$

Создание параметрической поверхности части цилиндрической оболочки первого квадранта, примыкающей к раме проема сбоку в препроцессоре BK SCAD

Активируется окно "Аналитически задаваемые поверхности" путем нажатия кнопки "Создание поверхностей по заданной формуле" в закладке "Схема":



В окне "Аналитически задаваемые поверхности" выбирается закладка "Параметрическая поверхность", в которой задаются:

- **зависимости координат X, Y, Z от параметров s, t ;**
- **шаги табулирования параметров N_s, N_t ;**
- **вид разбиения – четырехугольный;**
- **вид элементов – пластины;**
- **тип элемента – 44 (четырёхузловой элемент оболочки);**
- **жесткости:**
 - **материал – бетон тяжелый класса В30;**
 - **толщина пластин – 1м.**

Аналитически задаваемые поверхности



Поверхность по формуле

Параметрическая поверхность

X =

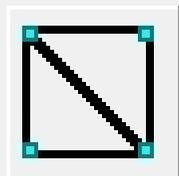
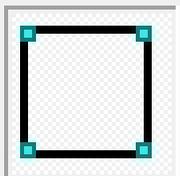
Y =

Z =

N_s

N_t

Вид разбиения



Вид элементов

Стержни

Пластины

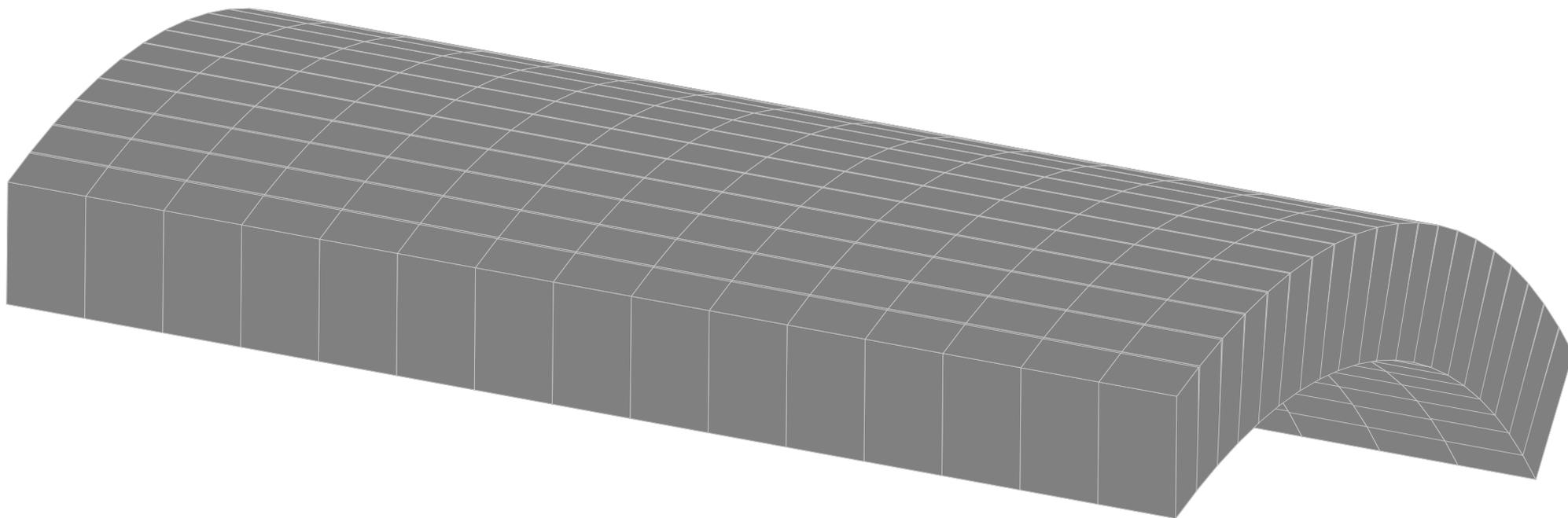
? Жесткости

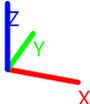
Тип элемента - 44

ОК

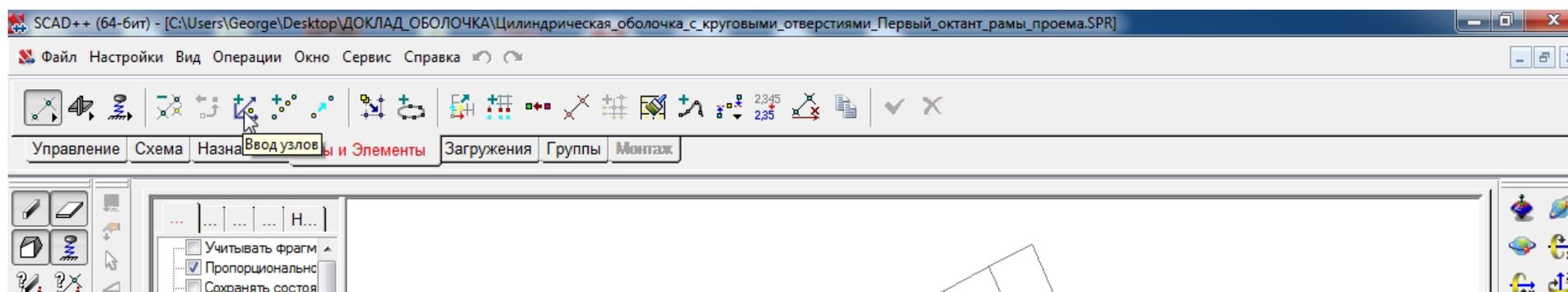
Отмена

Справка

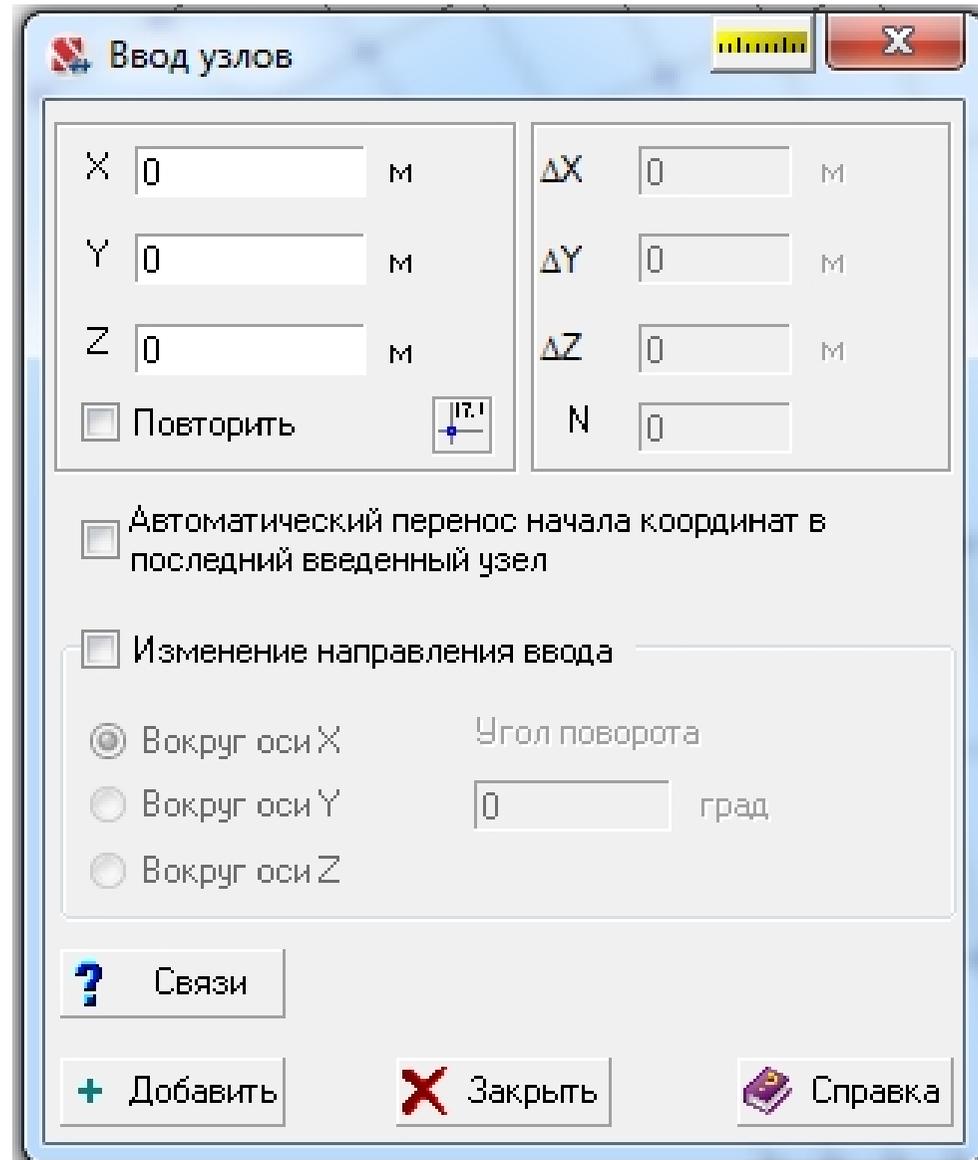


		Цилиндрическая оболочка с круговыми отверстиями	
		Расчетная схема	
			
SCAD версия : 21.1.3.1			
			

Активируется окно "Ввод узлов" путем нажатия кнопки "Ввод узлов" в закладке "Узлы и элементы":



В окне "Ввод узлов" задаются координаты узла для последующей сборки подсхем: $X = Y = Z = 0$.



Ввод узлов

X	0	м	ΔX	0	м
Y	0	м	ΔY	0	м
Z	0	м	ΔZ	0	м
<input type="checkbox"/> Повторить			N	0	

Автоматический перенос начала координат в последний введенный узел

Изменение направления ввода

Вокруг оси X Угол поворота

Вокруг оси Y 0 град

Вокруг оси Z

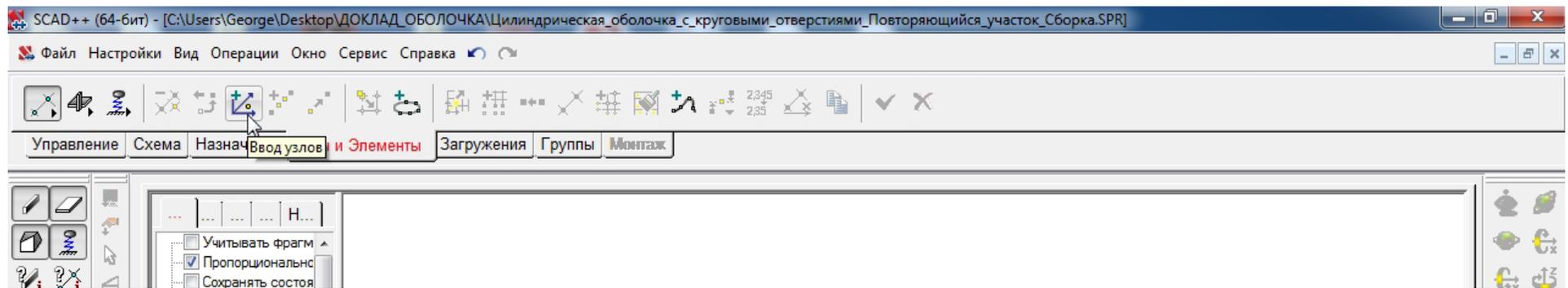
? Связи

+ Добавить X Закрыть Справка

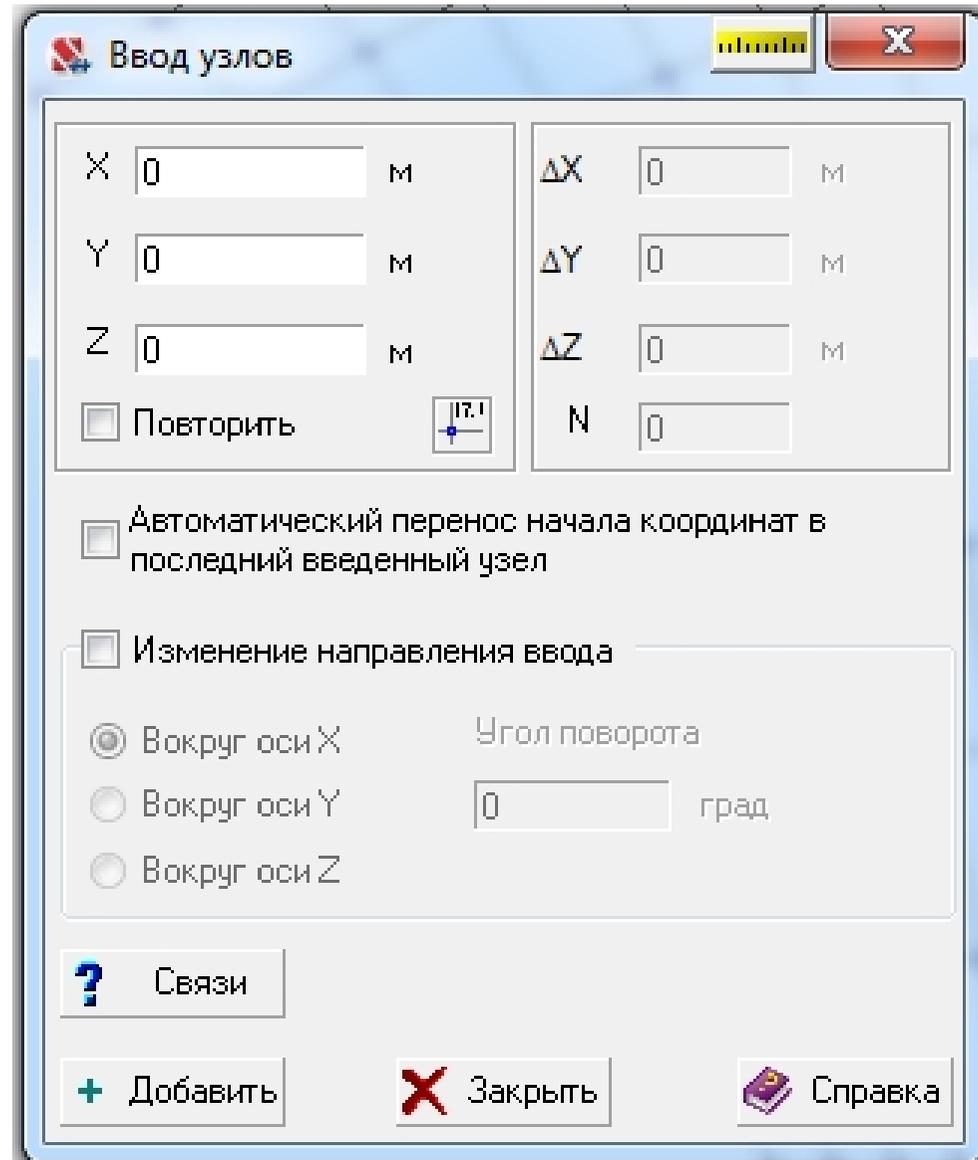
Сборка схем типовых участков

поверхностей цилиндрической оболочки

Активируется окно "Ввод узлов" путем нажатия кнопки "Ввод узлов" в закладке "Узлы и элементы":



В окне "Ввод узлов" задаются координаты узла для последующей сборки подсхем: $X = Y = Z = 0$.



Ввод узлов

X	0	м	ΔX	0	м
Y	0	м	ΔY	0	м
Z	0	м	ΔZ	0	м
<input type="checkbox"/> Повторить			N	0	

Автоматический перенос начала координат в последний введенный узел

Изменение направления ввода

Вокруг оси X Угол поворота

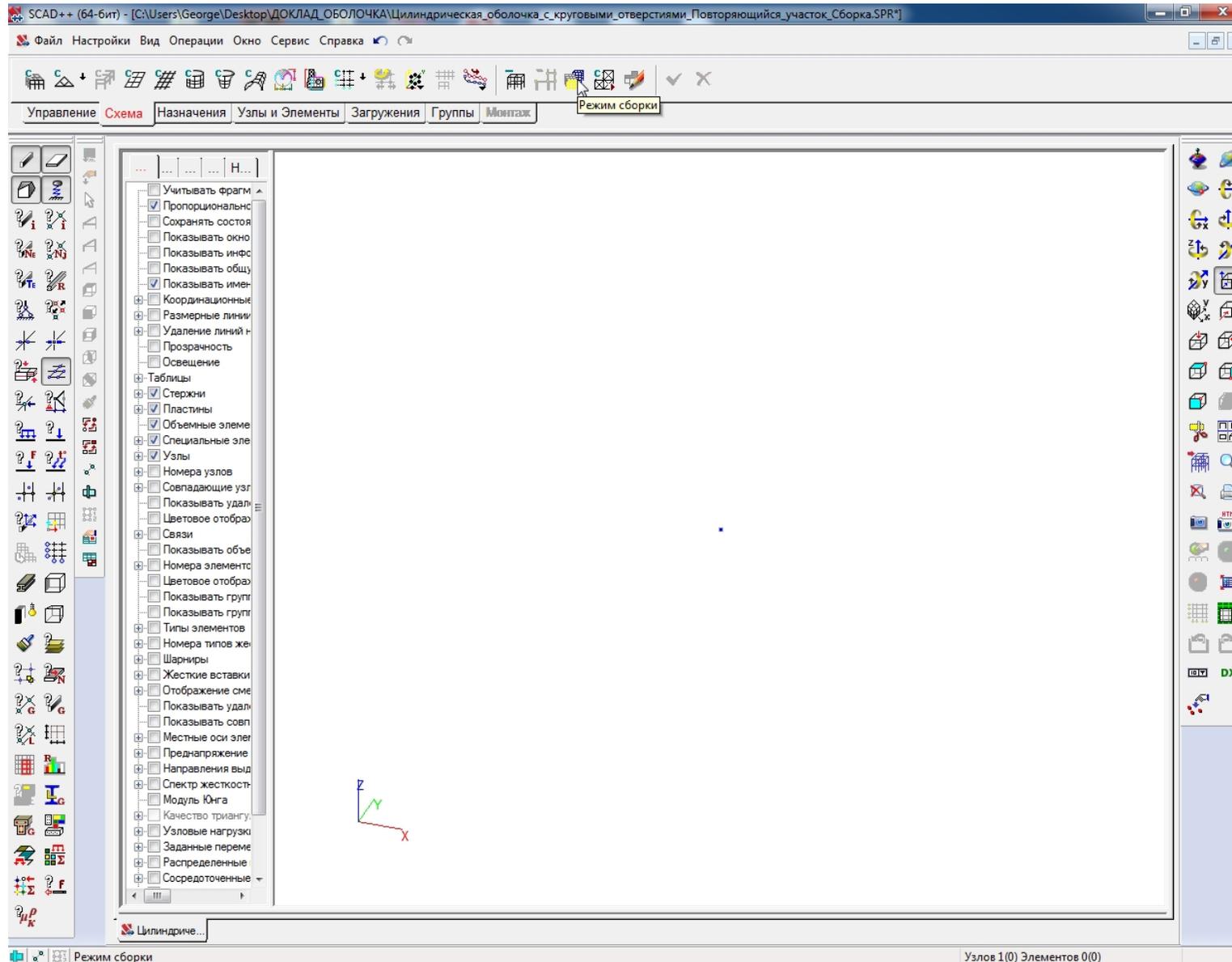
Вокруг оси Y 0 град

Вокруг оси Z

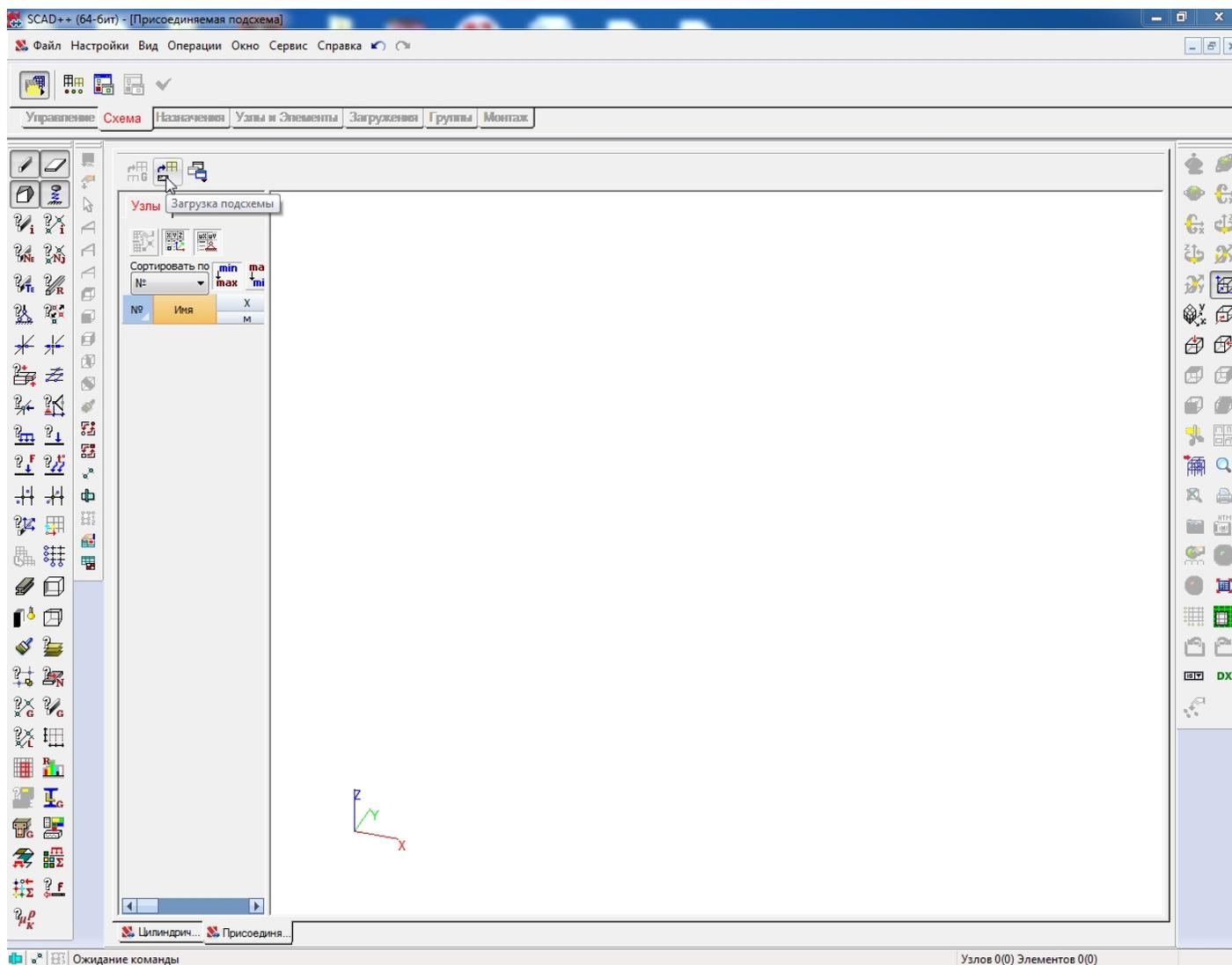
? Связи

+ Добавить X Закрыть Справка

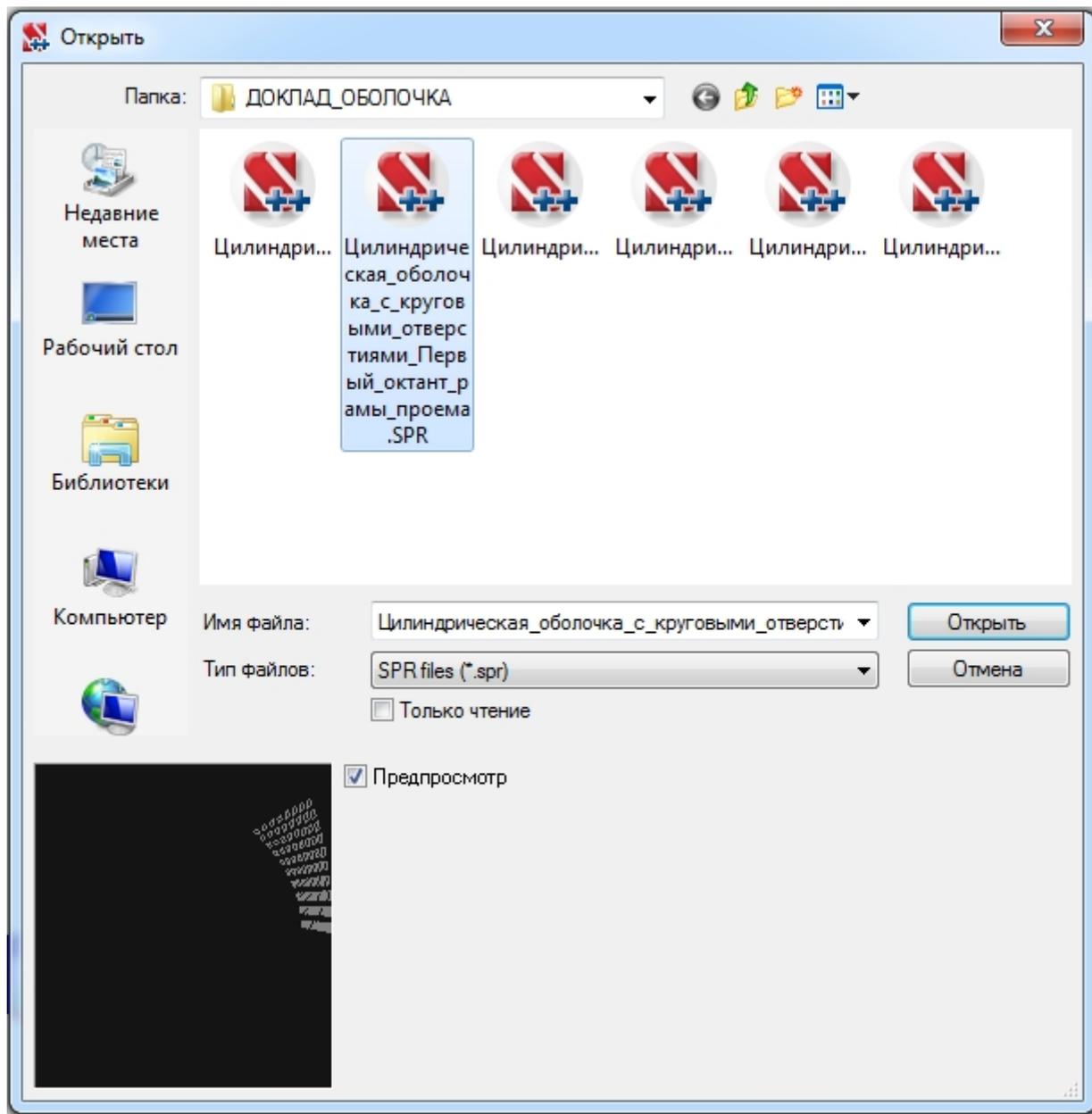
Активируется инструментальная панель режима сборки путем нажатия кнопки "Режим сборки" в закладке "Схема":



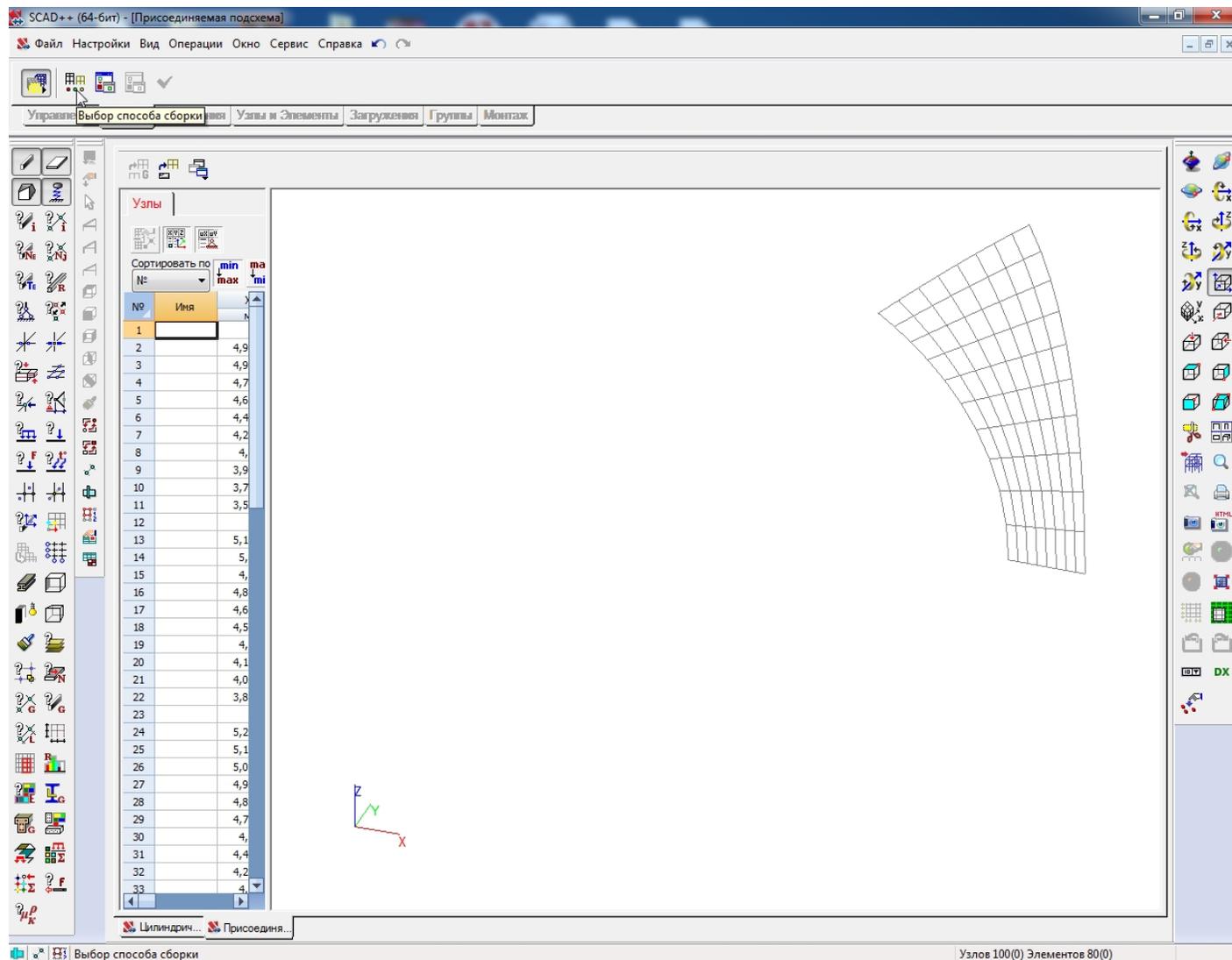
Активируется окно "Открыть" путем нажатия кнопки "Загрузка подсхемы" при нажатой кнопке "Активировать присоединяемую схему":



В окне "Открыть" указывается имя файла присоединяемой подсхемы Первого октанта рамы проема:



Активируется окно "Сборка схемы" путем нажатия кнопки "Выбор способа сборки" в инструментальной панели режима сборки:



В окне "Сборка схемы" определяются:

- **Правила сборки, принятые по умолчанию;**
- **Точность сборки – 0.000001;**
- **Способ сборки – "Привязка к одному узлу" с параметрами, принятыми по умолчанию.**

Правила сборки

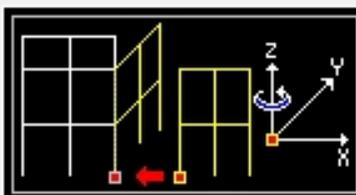
- Удалять совпадающие элементы
- Удалять совпадающие узлы
- Отсутствие связи между совпавшими узлами
- "Шарнирное" соединение в узлах

Объединить перемещения по:

X Y Z Ux Uy Uz

Точность сборки

- Объединять одинаковые жесткости с разными именами



- Включить нагрузки подсхемы в схему
- Записать нагрузки подсхемы в группы
- Игнорировать нагрузки подсхемы

- Привязка к точке с заданными координатами

X Y Z

Ось вращения Угол поворота

Сборка выполняется установкой схемы в заданную точку и поворотом вокруг одной из осей общей системы координат, перемещенной в точку сборки

Стыковка по трем узлам

- 1 - Привязка к двум узлам
- 2 - Совпадение трех узлов

Сборка выполняется совмещением узлов стыковки:
1 - совмещаются красный и зеленый, а желтый узел определяет плоскость сборки;
2 - совмещаются три узла

- Привязка к двум узлам

Угол поворота φ

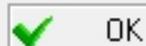
Сборка выполняется совмещением двух узлов и разворотом схемы вокруг линии, проходящей через эти узлы на угол φ (в градусах)

- Привязка к одному узлу

Ось вращения Угол поворота

Сборка выполняется совмещением узлов стыковки и поворотом схемы вокруг одной из осей общей системы координат, перемещенной в узел сборки.

- Множественная сборка
- Учитывать ранее отмеченные узлы

Все размеры задаются в Все углы задаются в 

OK



Отмена



Справка

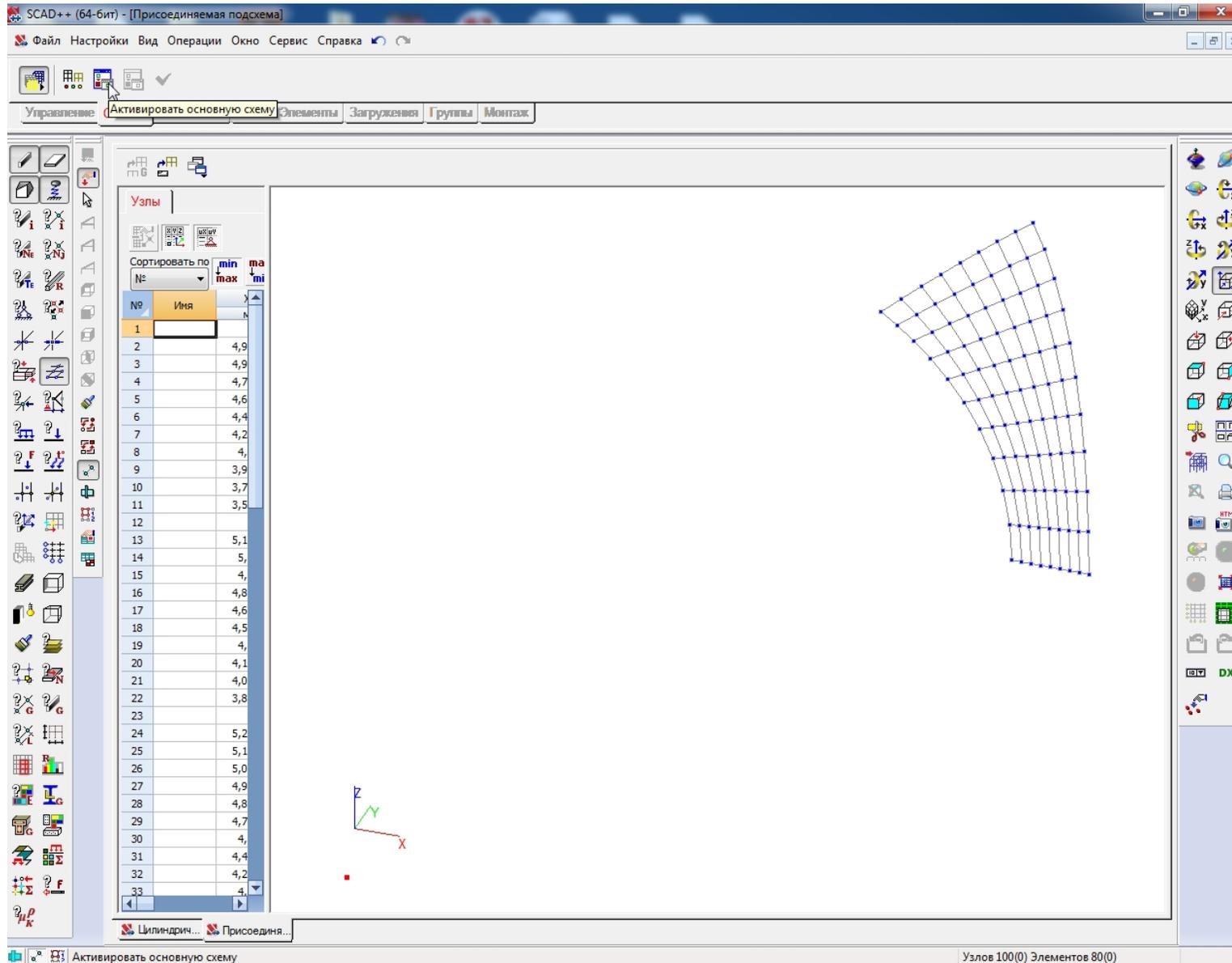
Для Присоединяемой подсхемы Первого октанта рамы проема выбирается узел привязки с координатами $X = Y = Z = 0$:

The screenshot shows the SCAD++ (64-bit) interface for a sub-scheme. The main window displays a 3D grid structure representing a frame opening. A coordinate system (X, Y, Z) is visible in the lower-left corner of the 3D view. The 'Узлы' (Nodes) table lists 33 nodes with their coordinates. The first node (№ 1) is highlighted, corresponding to the origin (0, 0, 0).

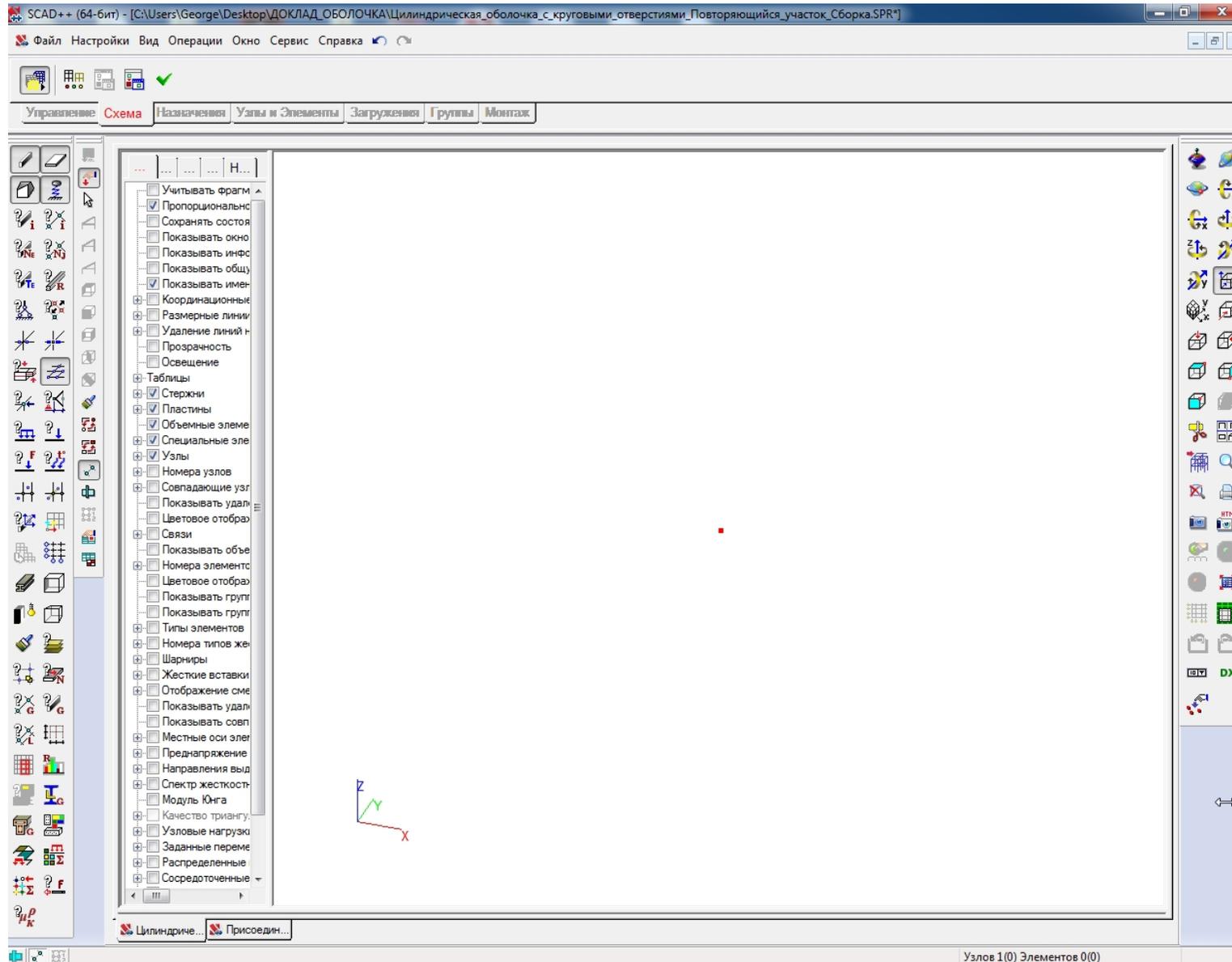
№	Имя	X	Y	Z
1		0	0	0
2		4,9	0	0
3		4,9	0	4,9
4		4,7	0	4,7
5		4,6	0	4,6
6		4,4	0	4,4
7		4,2	0	4,2
8		4	0	4
9		3,9	0	3,9
10		3,7	0	3,7
11		3,5	0	3,5
12		0	5,1	0
13		0	5	0
14		0	4,9	0
15		0	4,8	0
16		0	4,6	0
17		0	4,5	0
18		0	4,4	0
19		0	4,2	0
20		0	4,1	0
21		0	4,0	0
22		0	3,8	0
23		0	3,5	0
24		0	5,2	0
25		0	5,1	0
26		0	5,0	0
27		0	4,9	0
28		0	4,8	0
29		0	4,7	0
30		0	4,6	0
31		0	4,4	0
32		0	4,2	0
33		0	4	0

Узлов 100(0) Элементов 80(0)

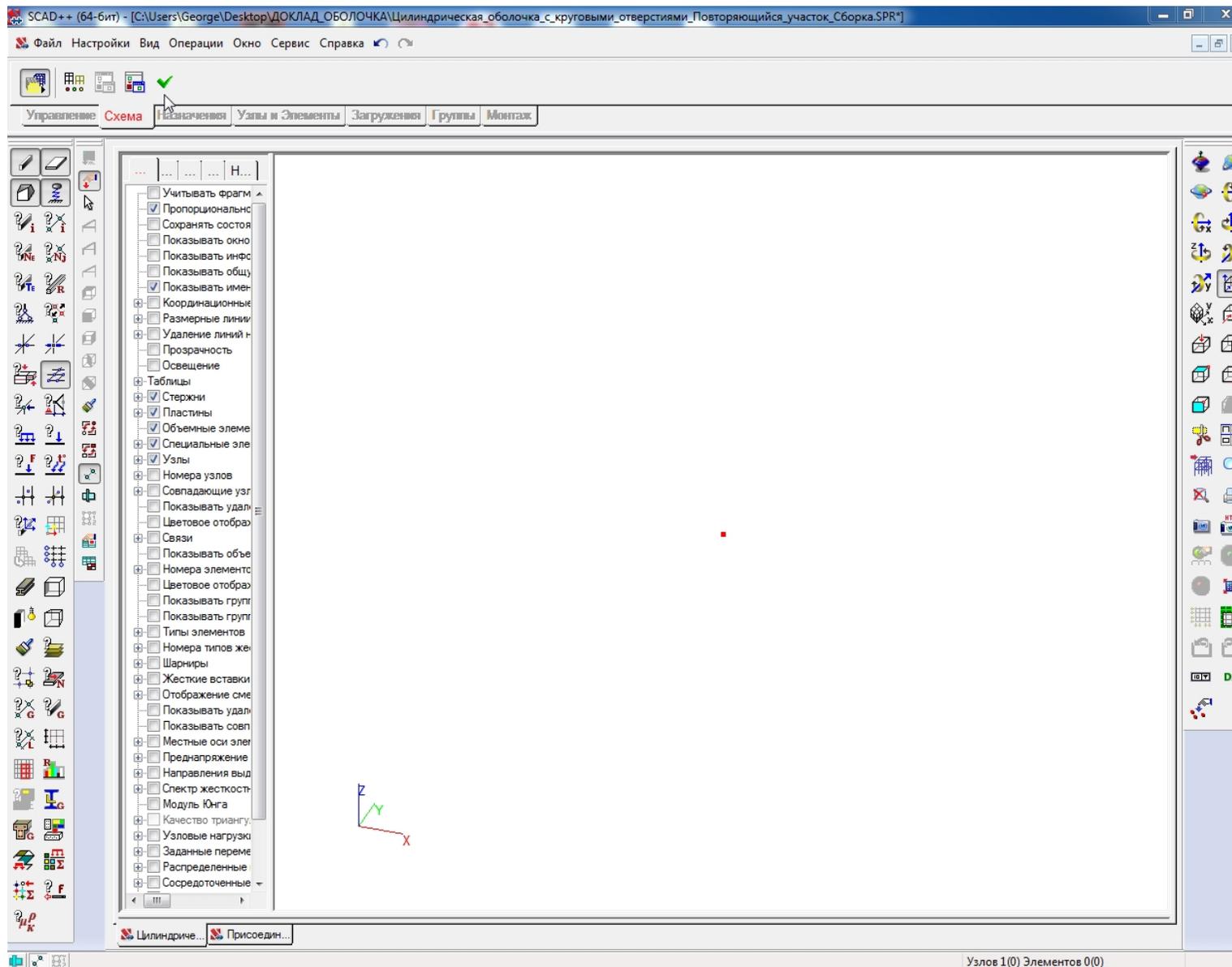
Осуществляется переход к основной схеме путем нажатия кнопки "Активировать основную схему":



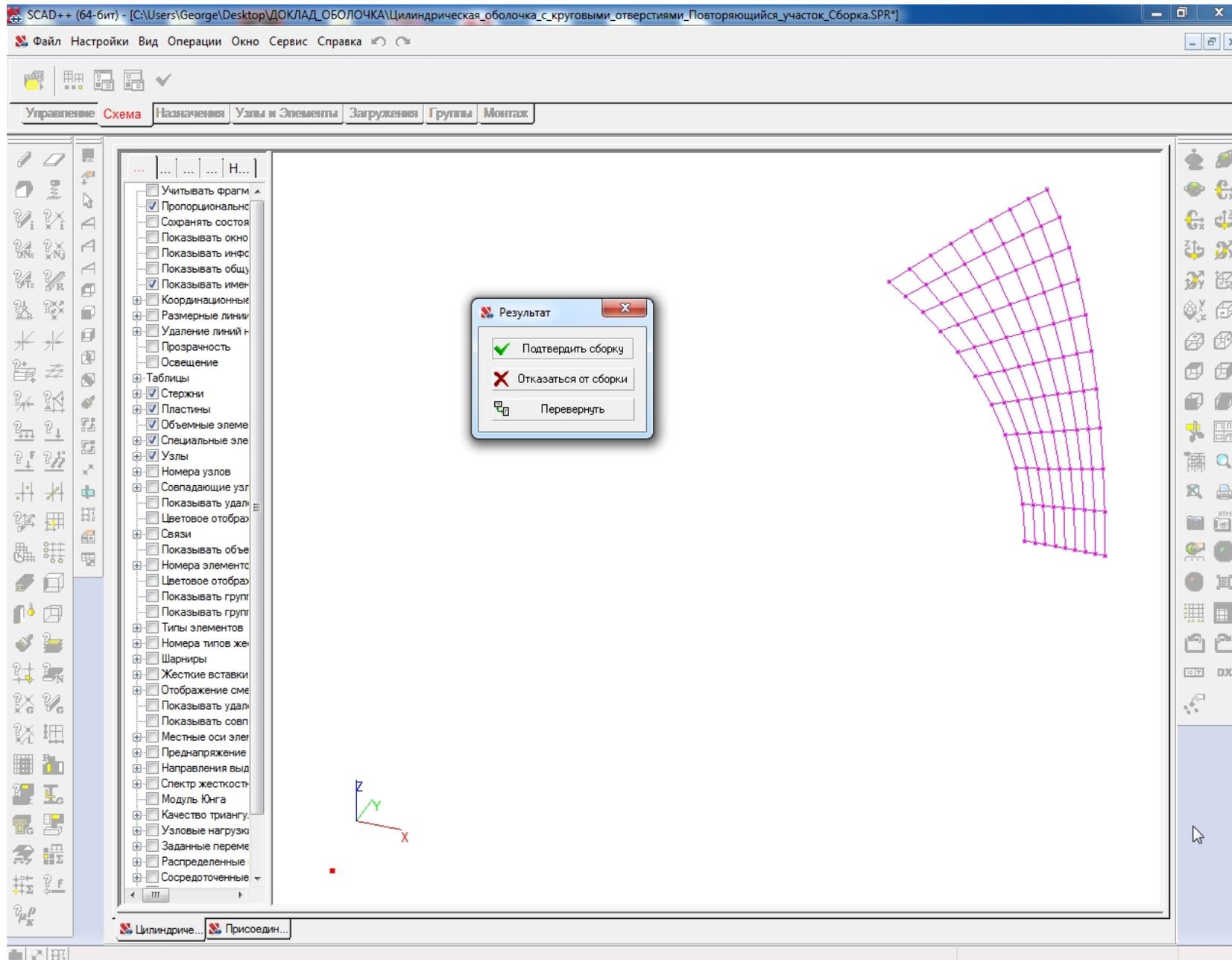
Для Основной схемы выбирается узел привязки с координатами
 $X = Y = Z = 0$:



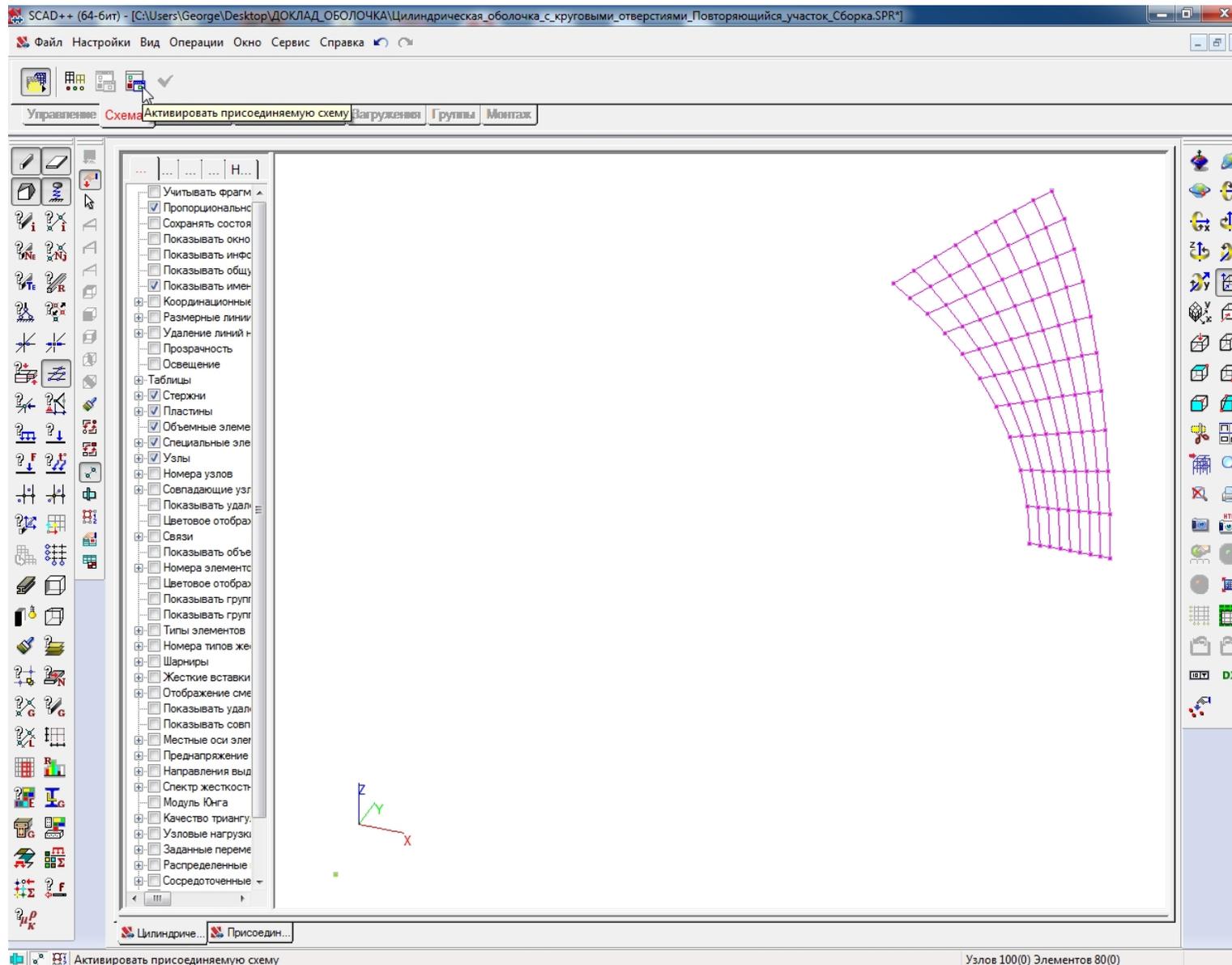
Активируется окно "Результат" путем нажатия кнопки "Произвести сборку" в инструментальной панели режима сборки:



В окне "Результат" выбирается кнопка "Подтвердить сборку":

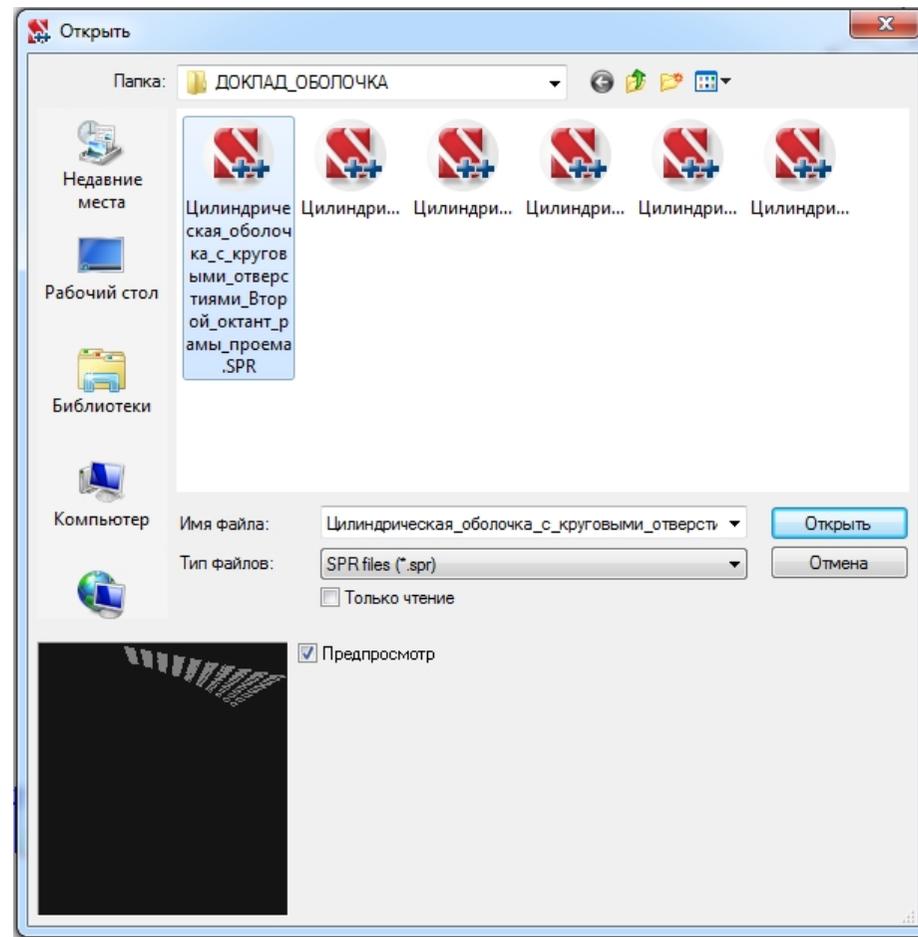


Осуществляется переход к присоединяемой схеме путем нажатия кнопки "Активировать основную схему":



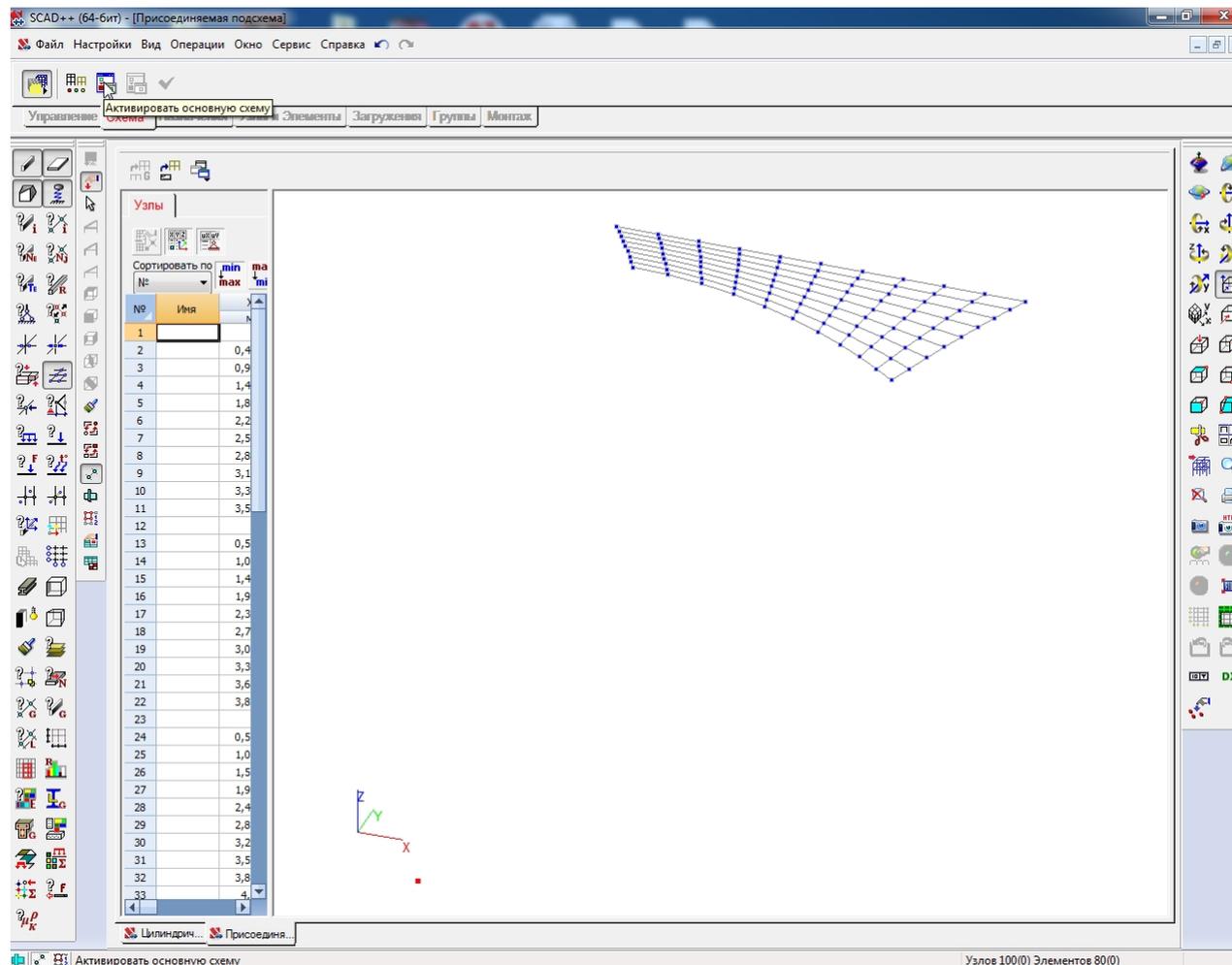
Активируется окно "Открыть" путем нажатия кнопки "Загрузка подсхемы" при нажатой кнопке "Активировать присоединяемую схему";

В окне "Открыть" указывается имя файла присоединяемой подсхемы Второго октанта рамы проема:

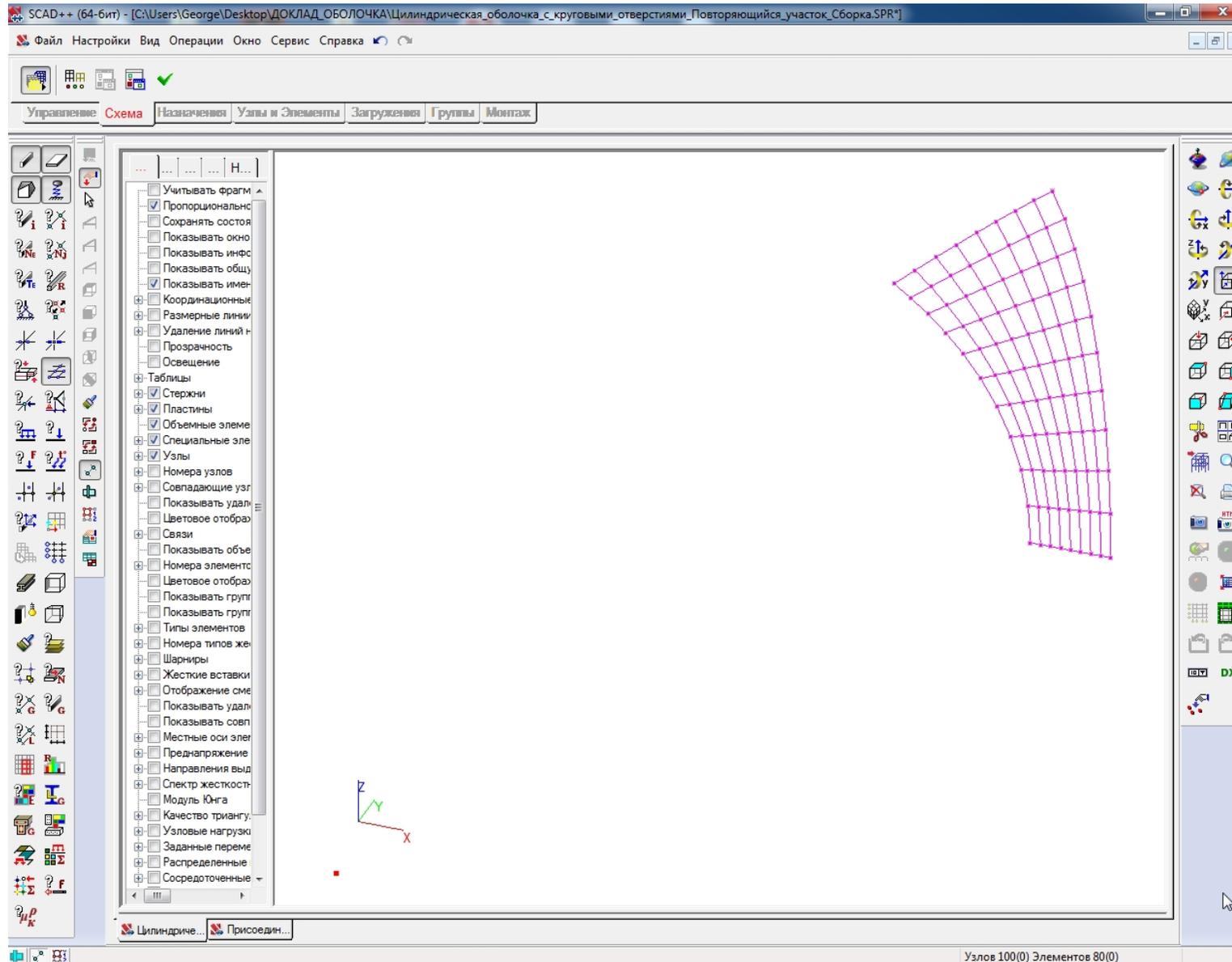


Для Присоединяемой подсхемы Второго октанта рамы проема выбирается узел привязки с координатами $X = Y = Z = 0$;

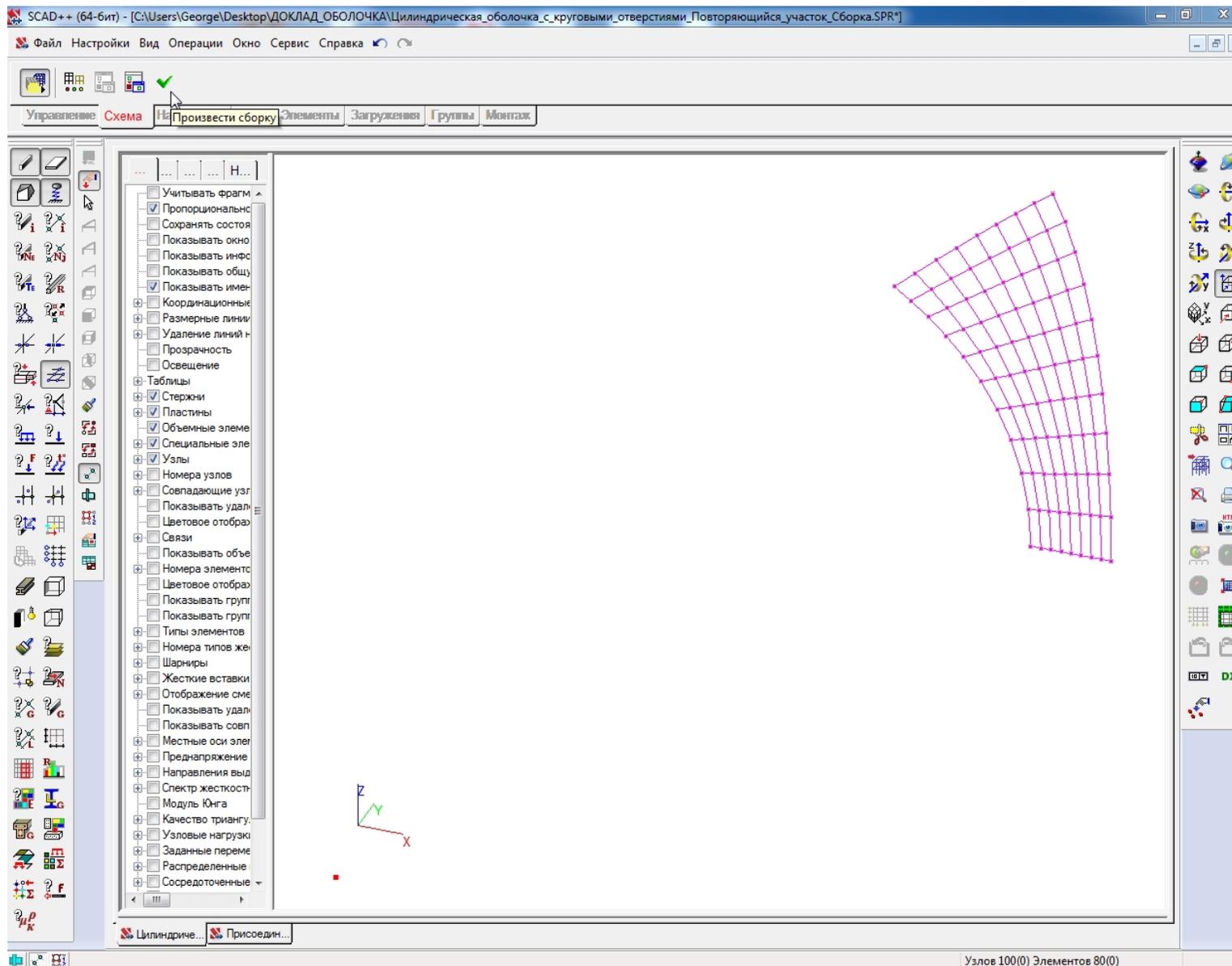
Осуществляется переход к основной схеме путем нажатия кнопки "Активировать основную схему":



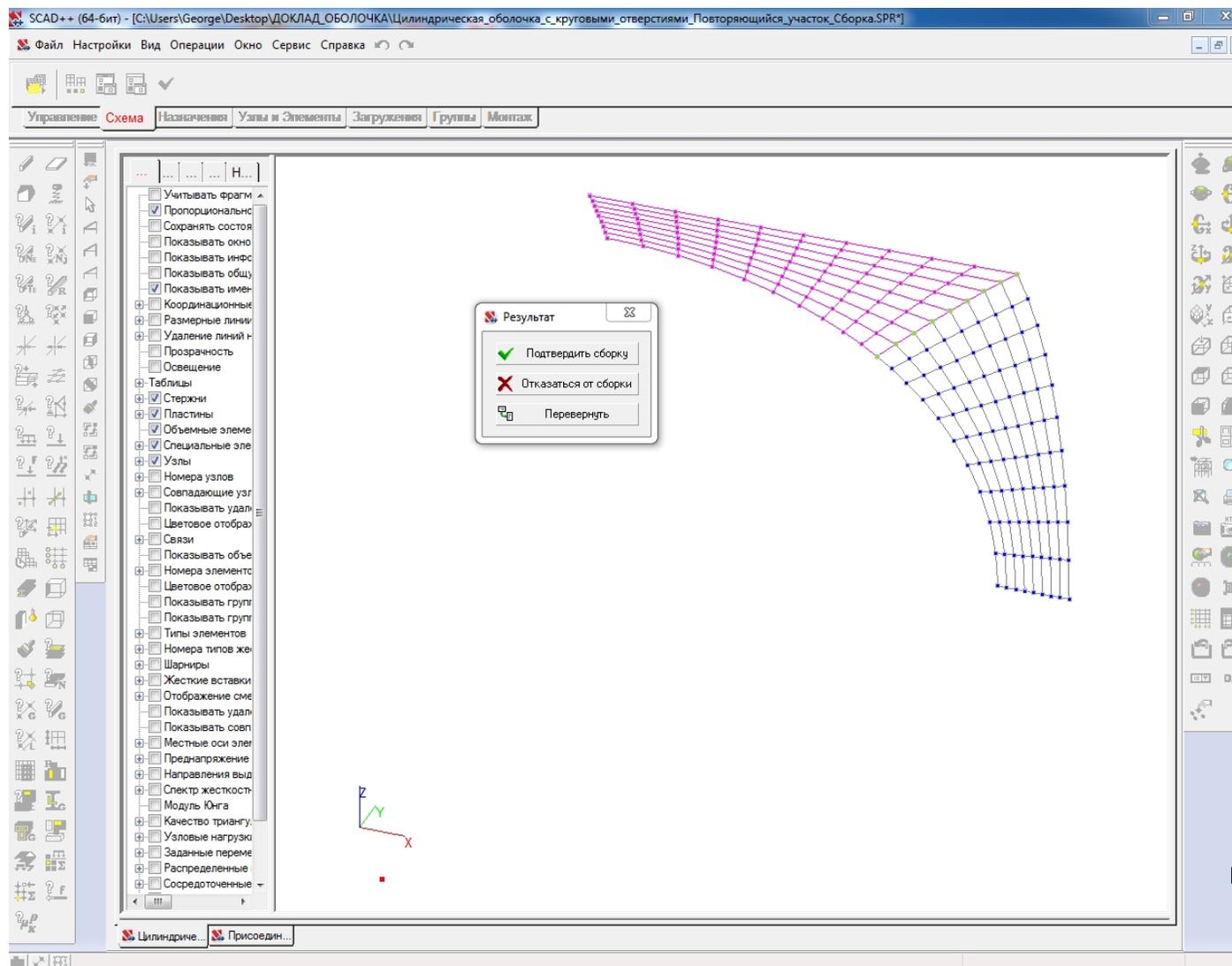
Для Основной схемы выбирается узел привязки с координатами
 $X = Y = Z = 0$:



Активируется окно "Результат" путем нажатия кнопки "Произвести сборку" в инструментальной панели режима сборки:



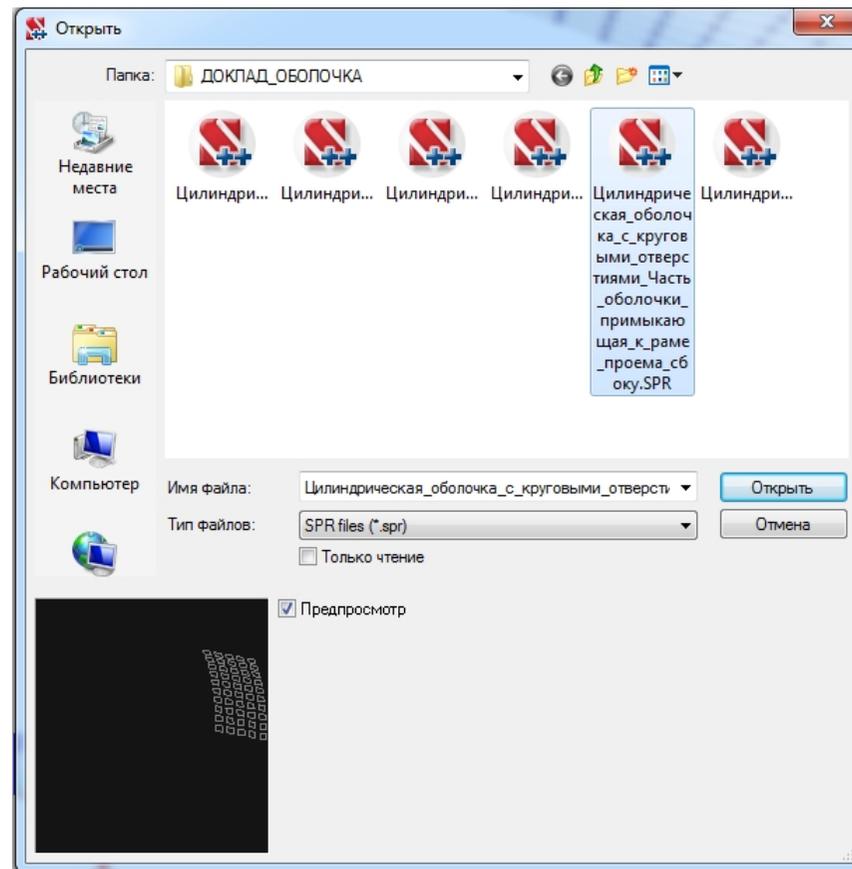
В окне "Результат" выбирается кнопка "Подтвердить сборку":



Осуществляется переход к присоединяемой схеме путем нажатия кнопки "Активировать основную схему";

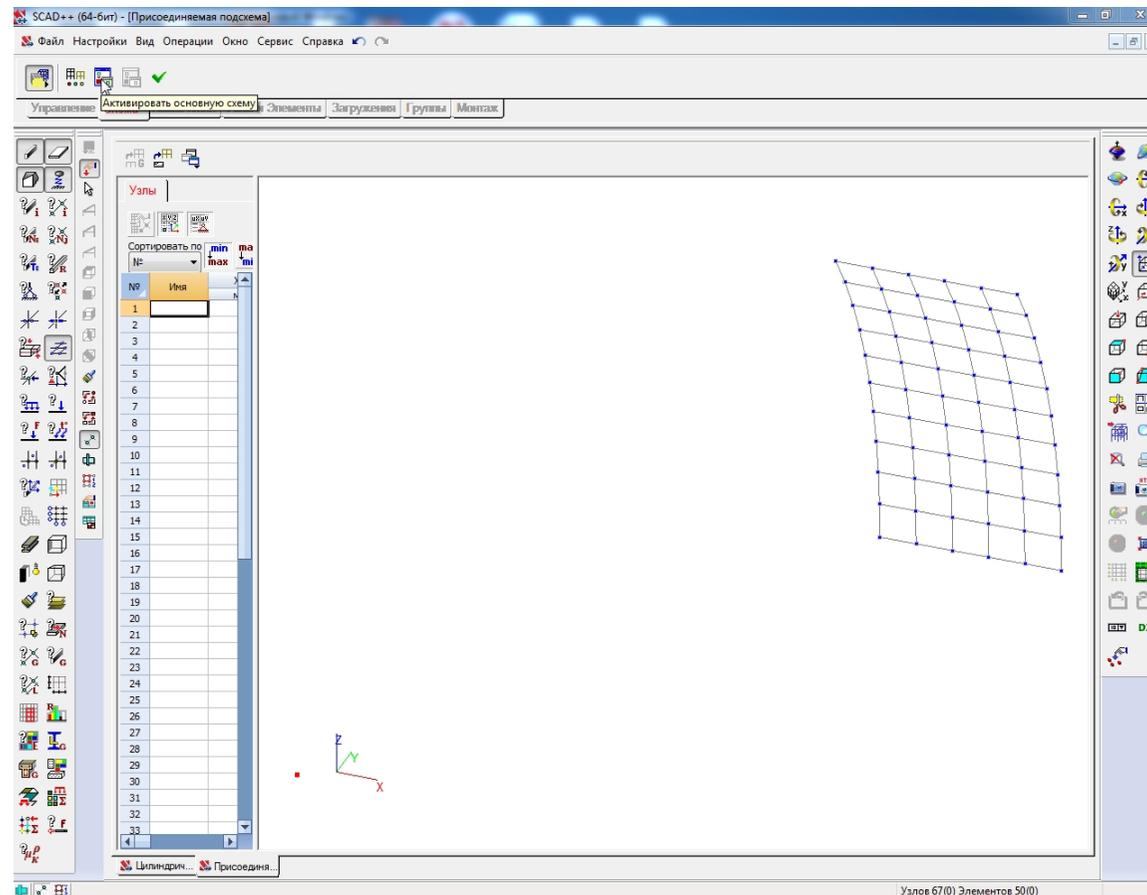
Активируется окно "Открыть" путем нажатия кнопки "Загрузка подсхемы" при нажатой кнопке "Активировать присоединяемую схему";

В окне "Открыть" указывается имя файла присоединяемой подсхемы Часть оболочки первого квадранта, присоединяемой к раме проема сбоку:

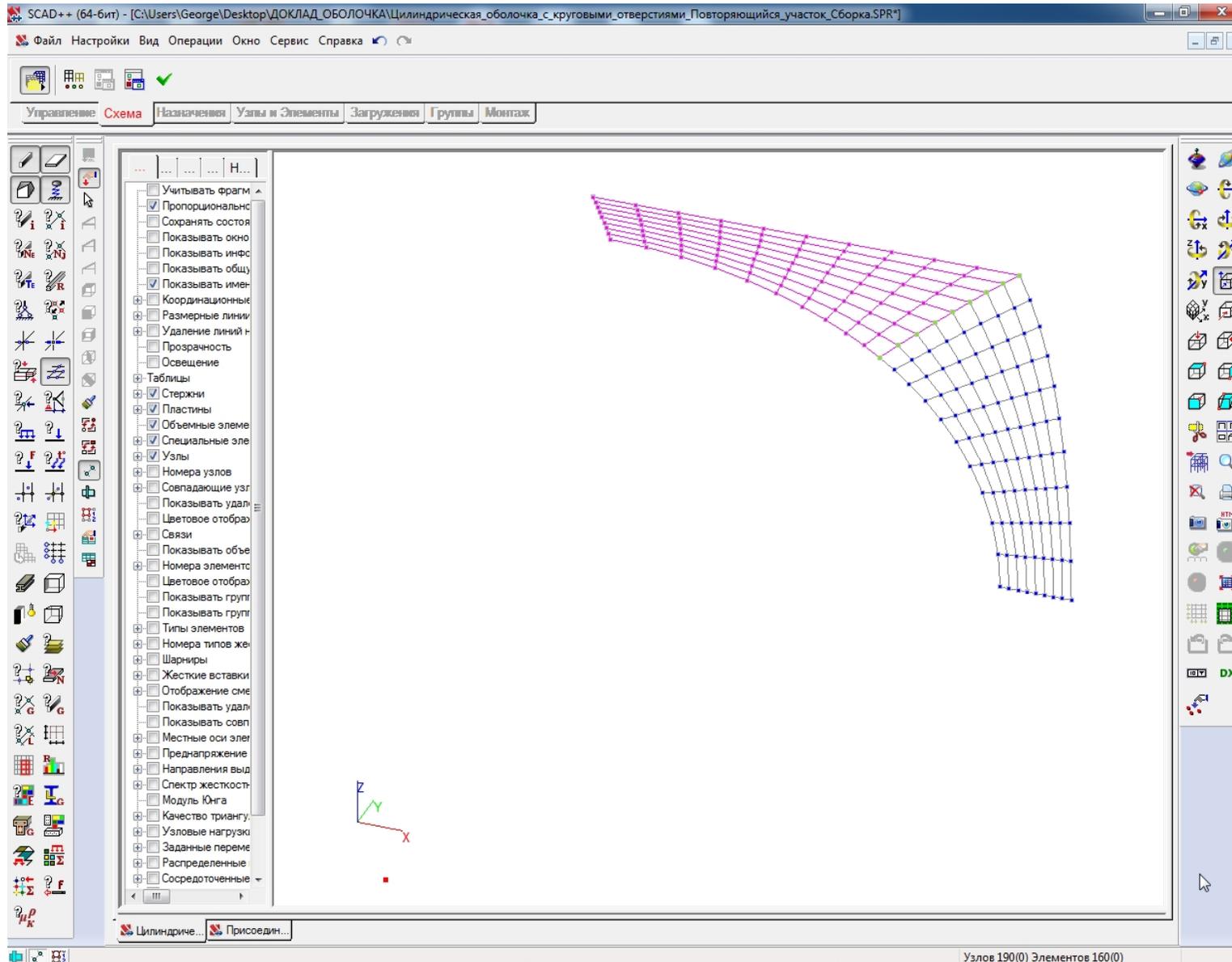


Для Присоединяемой подсхемы Часть оболочки первого квадранта, присоединяемой к раме проема сбоку, выбирается узел привязки с координатами $X = Y = Z = 0$;

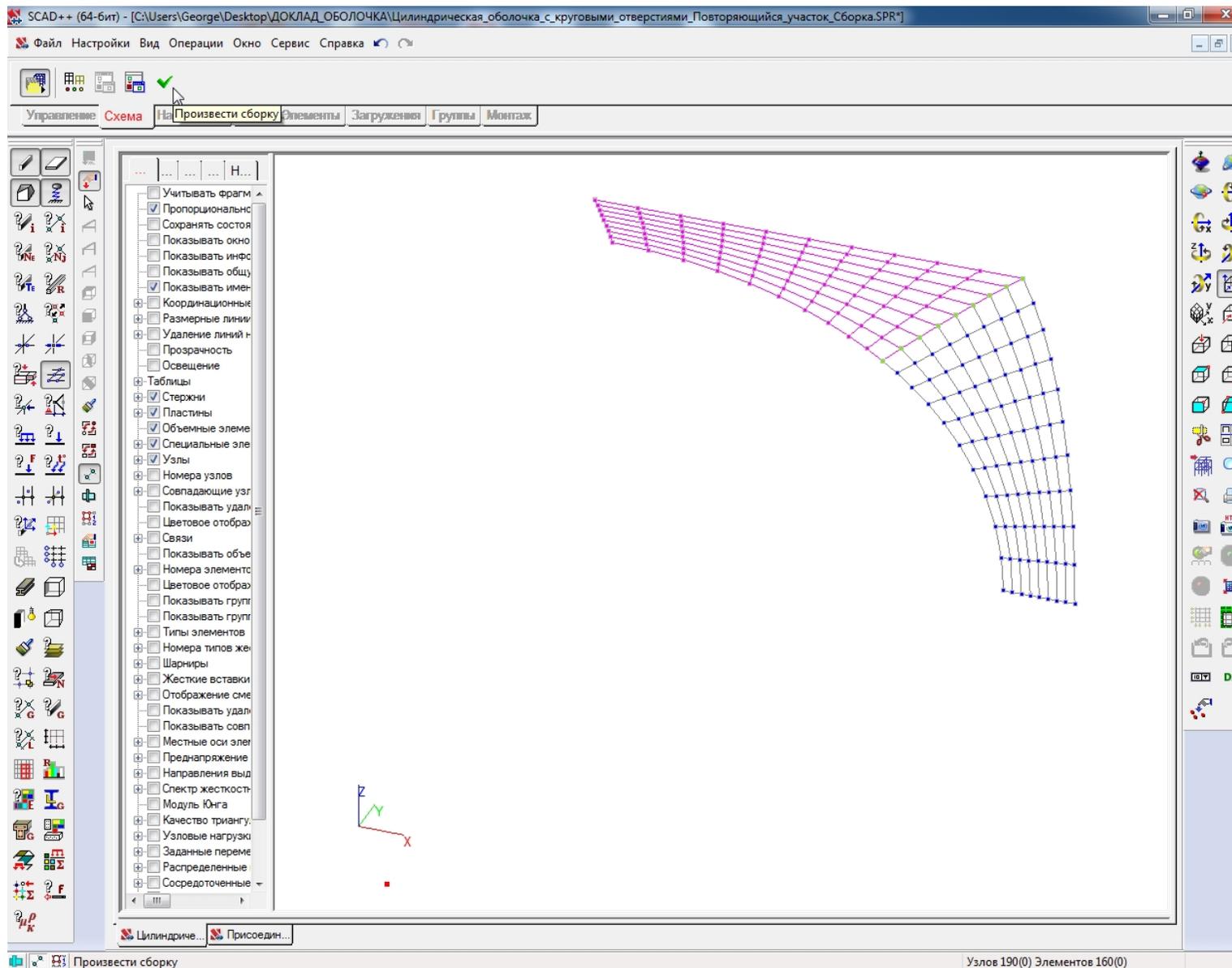
Осуществляется переход к основной схеме путем нажатия кнопки "Активировать основную схему":



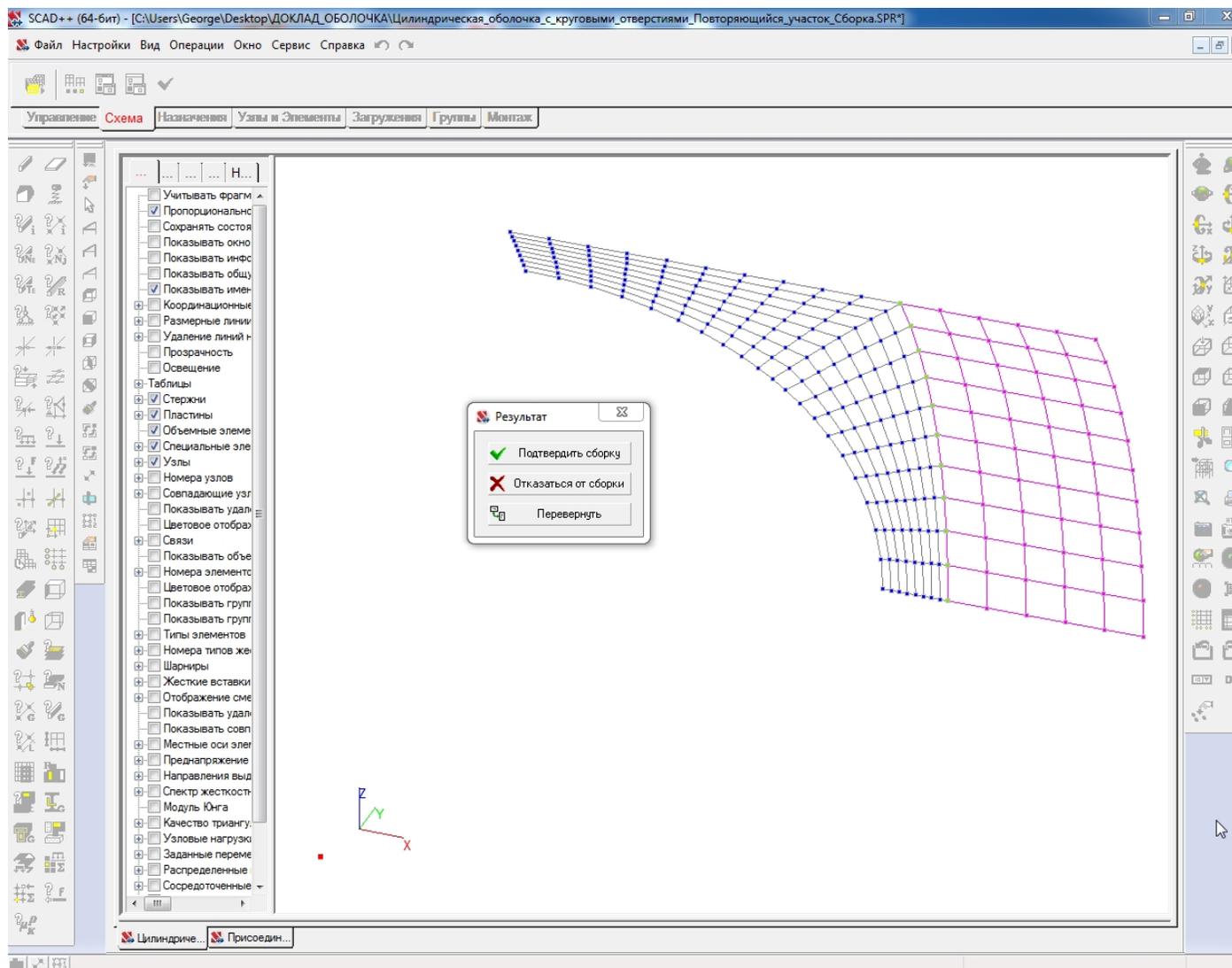
Для Основной схемы выбирается узел привязки с координатами
 $X = Y = Z = 0$:



Активируется окно "Результат" путем нажатия кнопки "Произвести сборку" в инструментальной панели режима сборки:



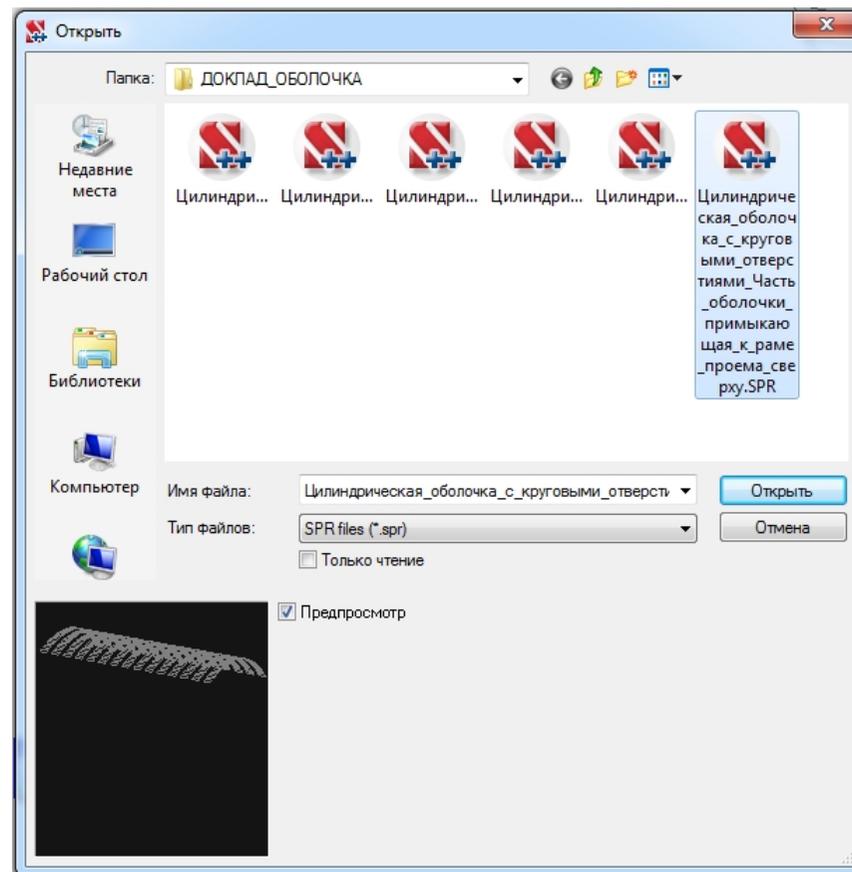
В окне "Результат" выбирается кнопка "Подтвердить сборку":



Осуществляется переход к присоединяемой схеме путем нажатия кнопки "Активировать основную схему";

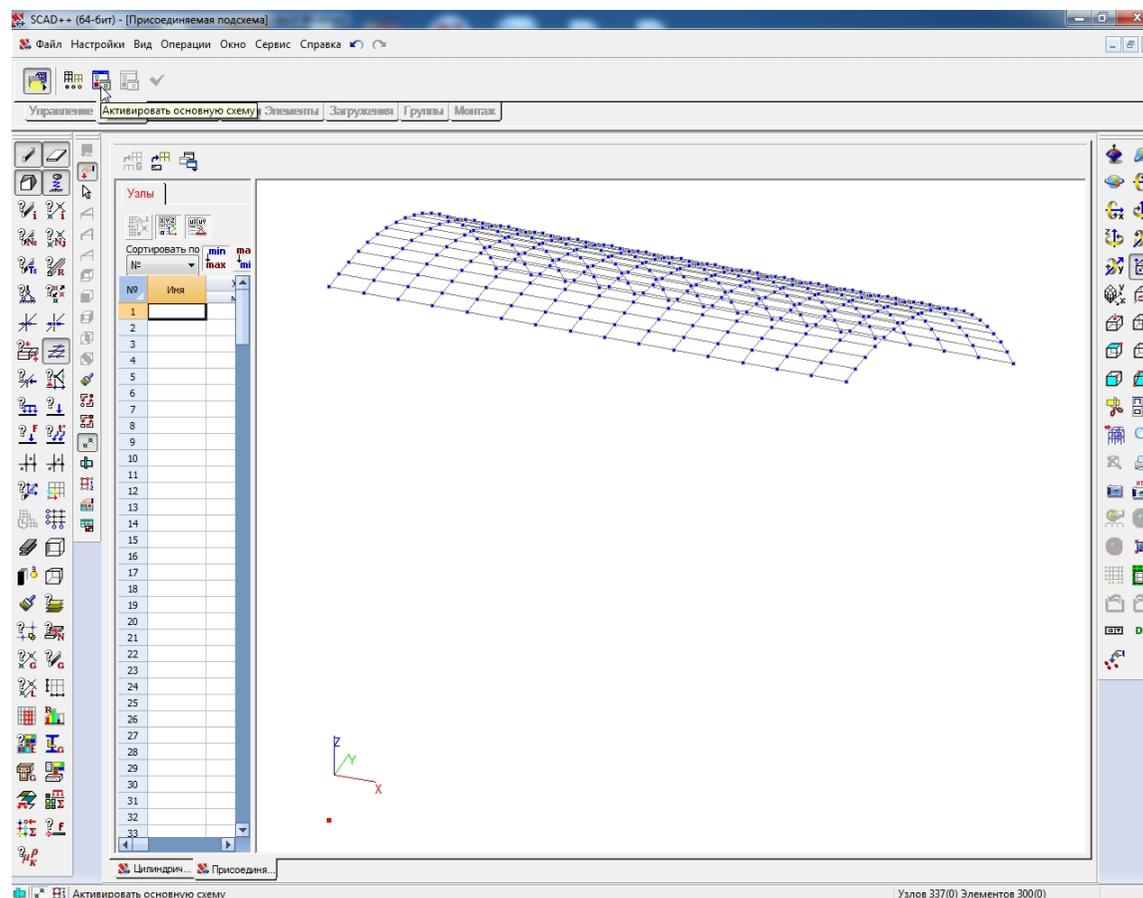
Активируется окно "Открыть" путем нажатия кнопки "Загрузка подсхемы" при нажатой кнопке "Активировать присоединяемую схему";

В окне "Открыть" указывается имя файла присоединяемой подсхемы Часть оболочки первого квадранта, присоединяемой к раме проема сверху:

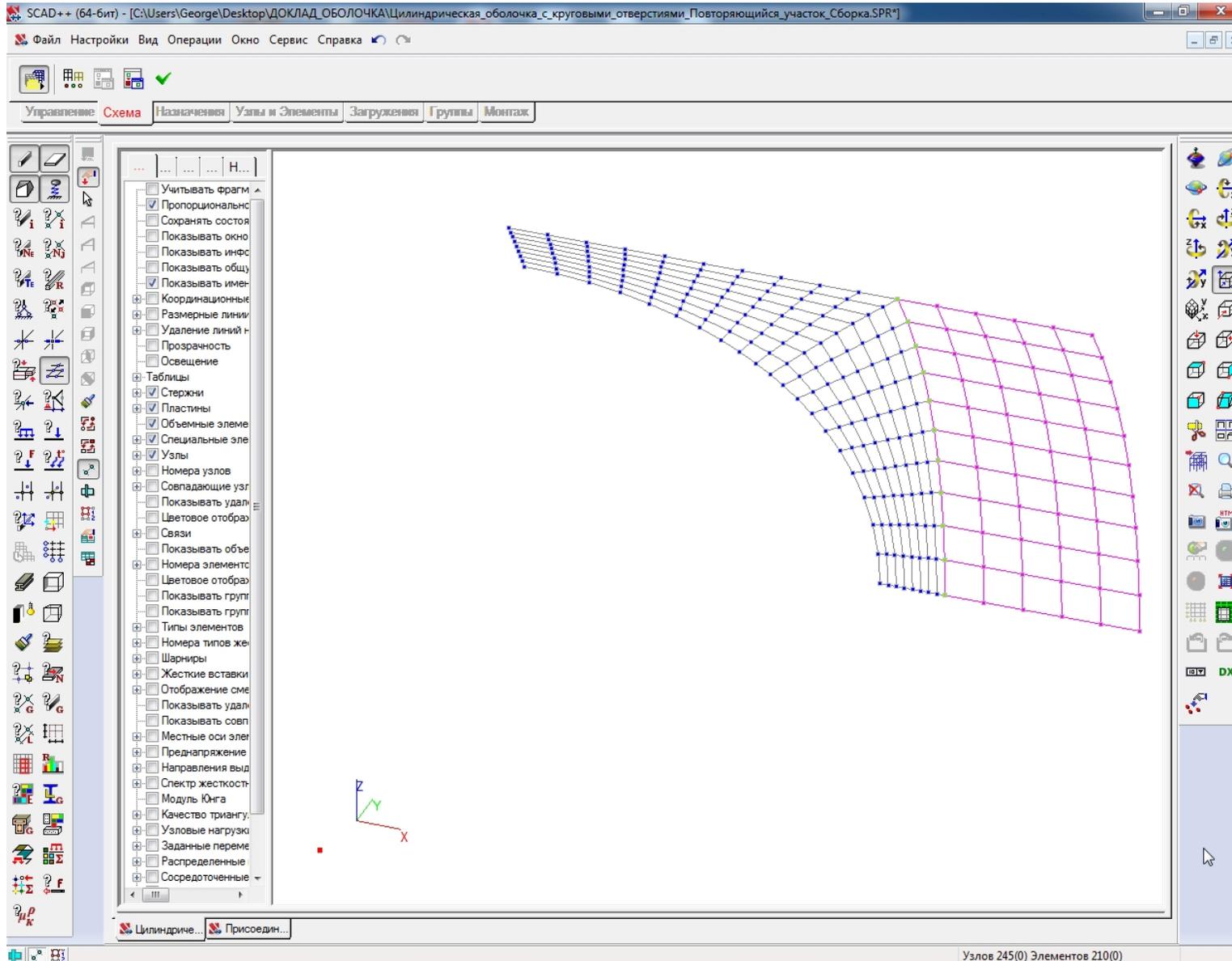


Для Присоединяемой подсхемы Часть оболочки первого квадранта, присоединяемой к раме проема сверху, выбирается узел привязки с координатами $X = Y = Z = 0$;

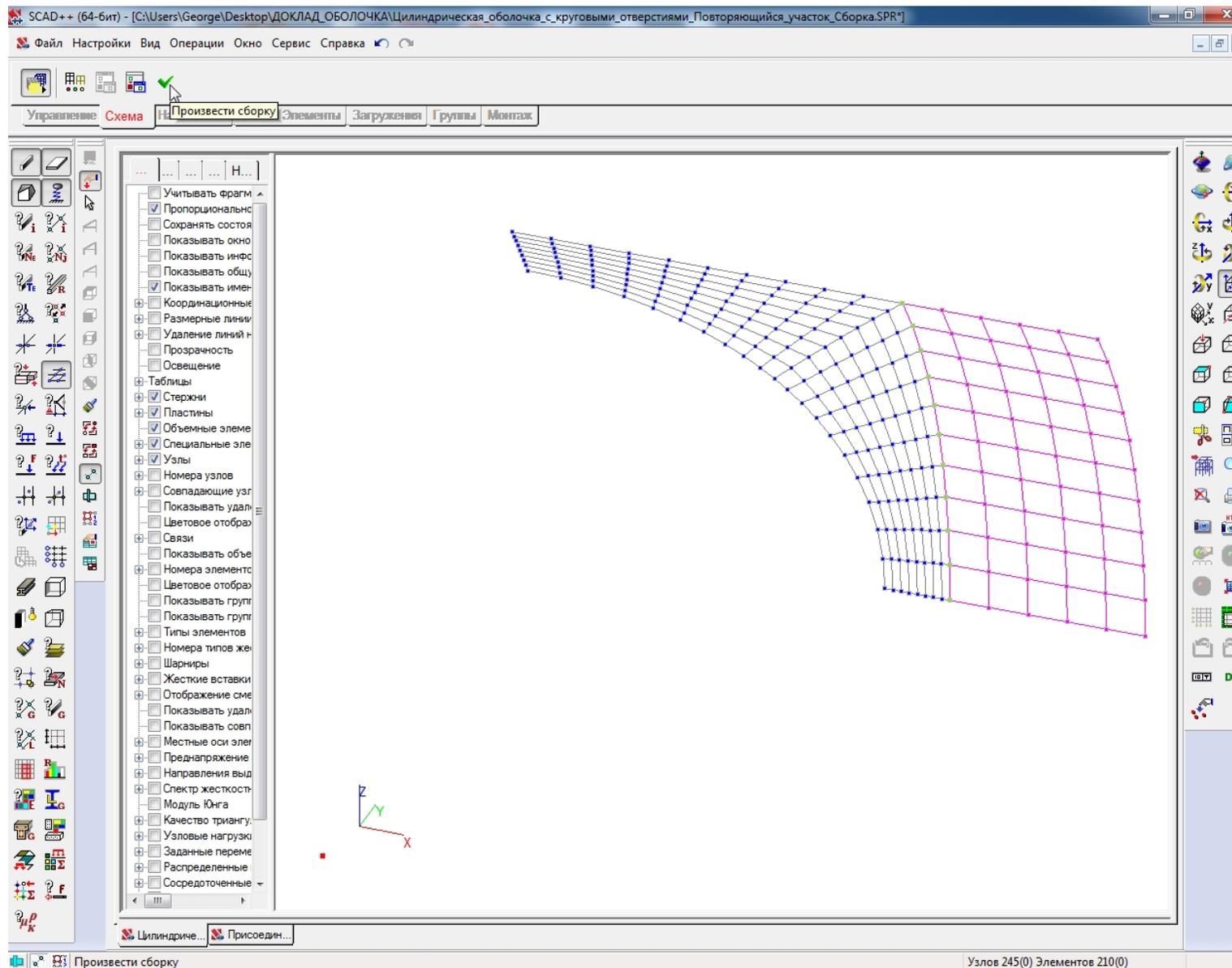
Осуществляется переход к основной схеме путем нажатия кнопки "Активировать основную схему":



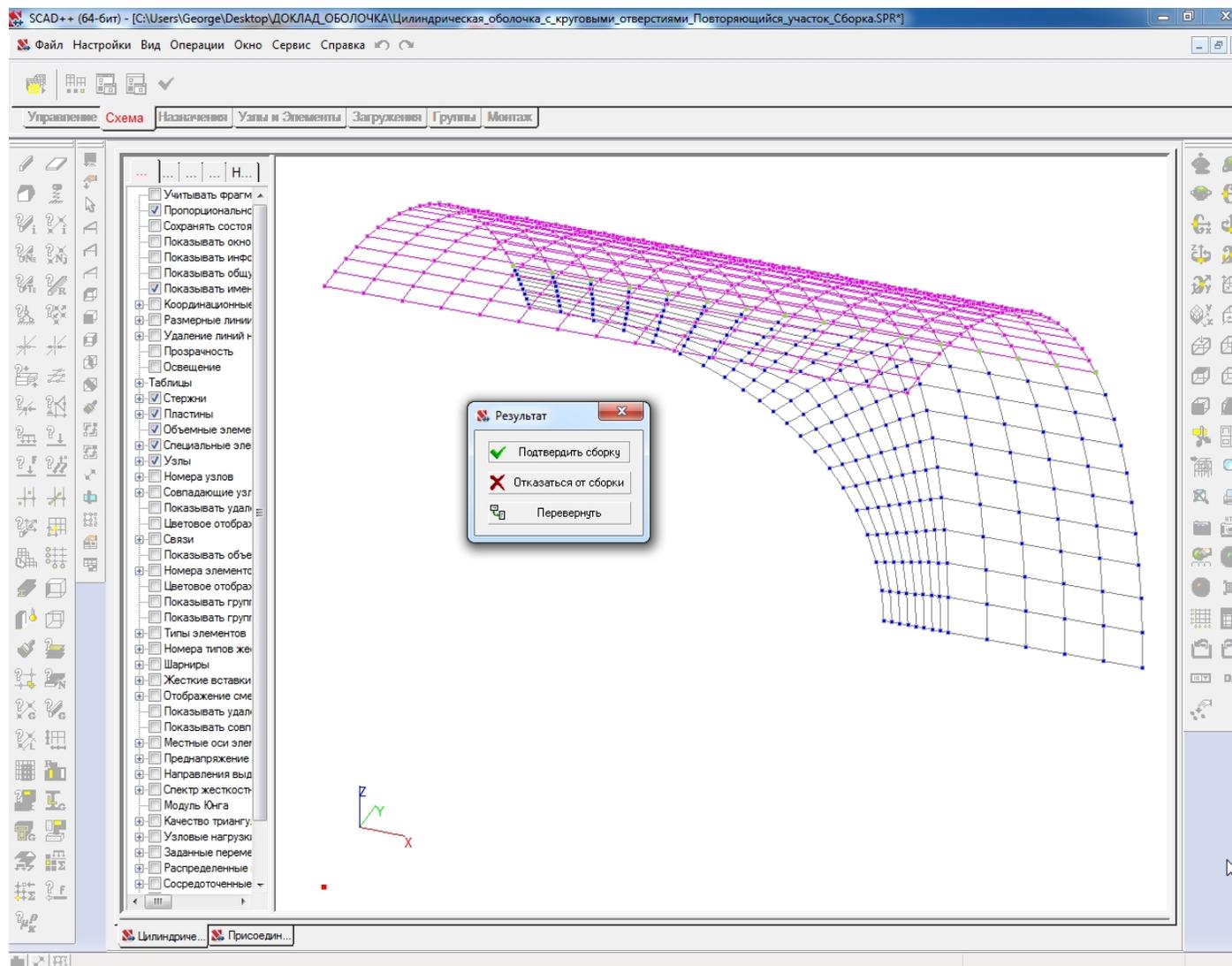
Для Основной схемы выбирается узел привязки с координатами
 $X = Y = Z = 0$:



Активируется окно "Результат" путем нажатия кнопки "Произвести сборку" в инструментальной панели режима сборки:

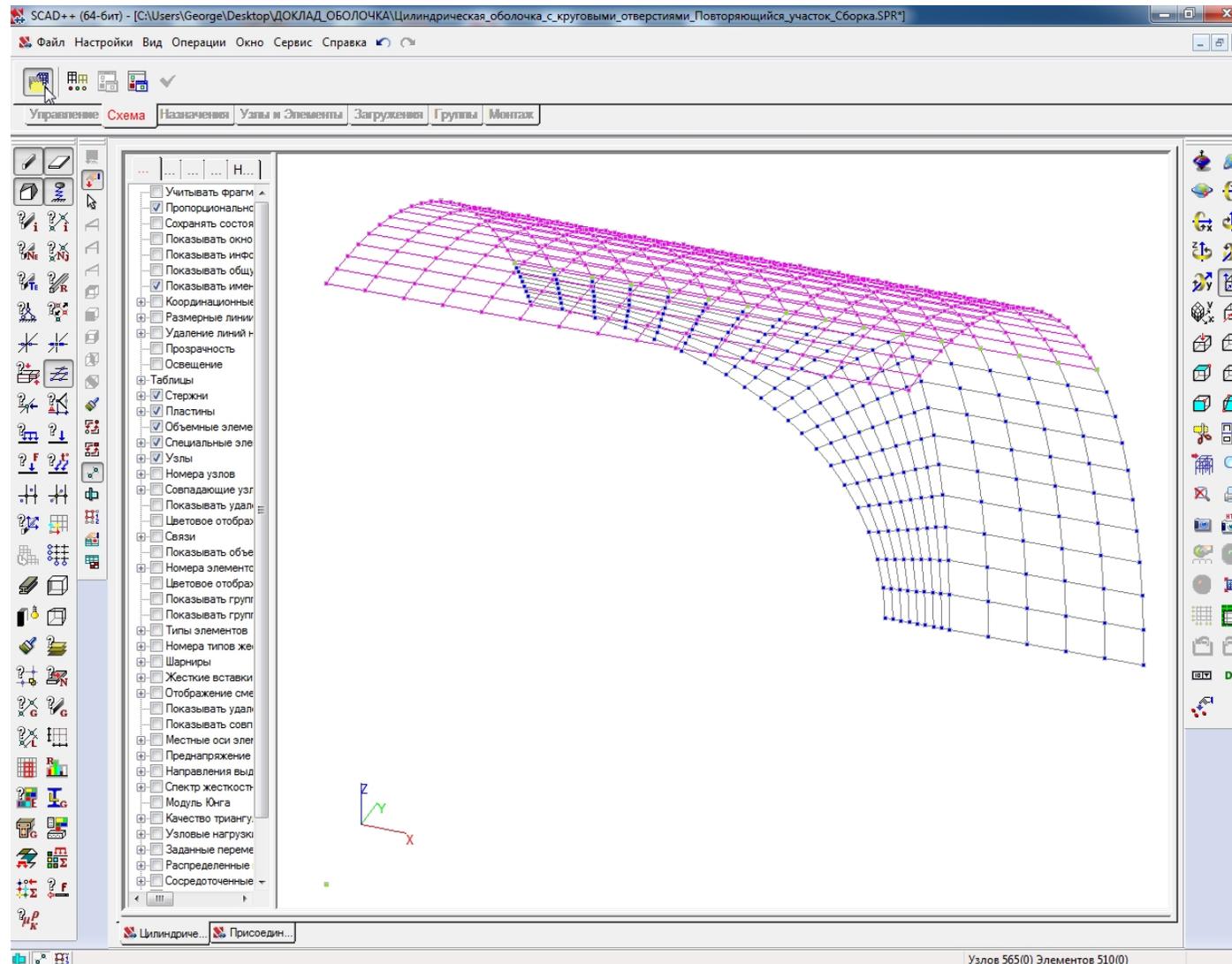


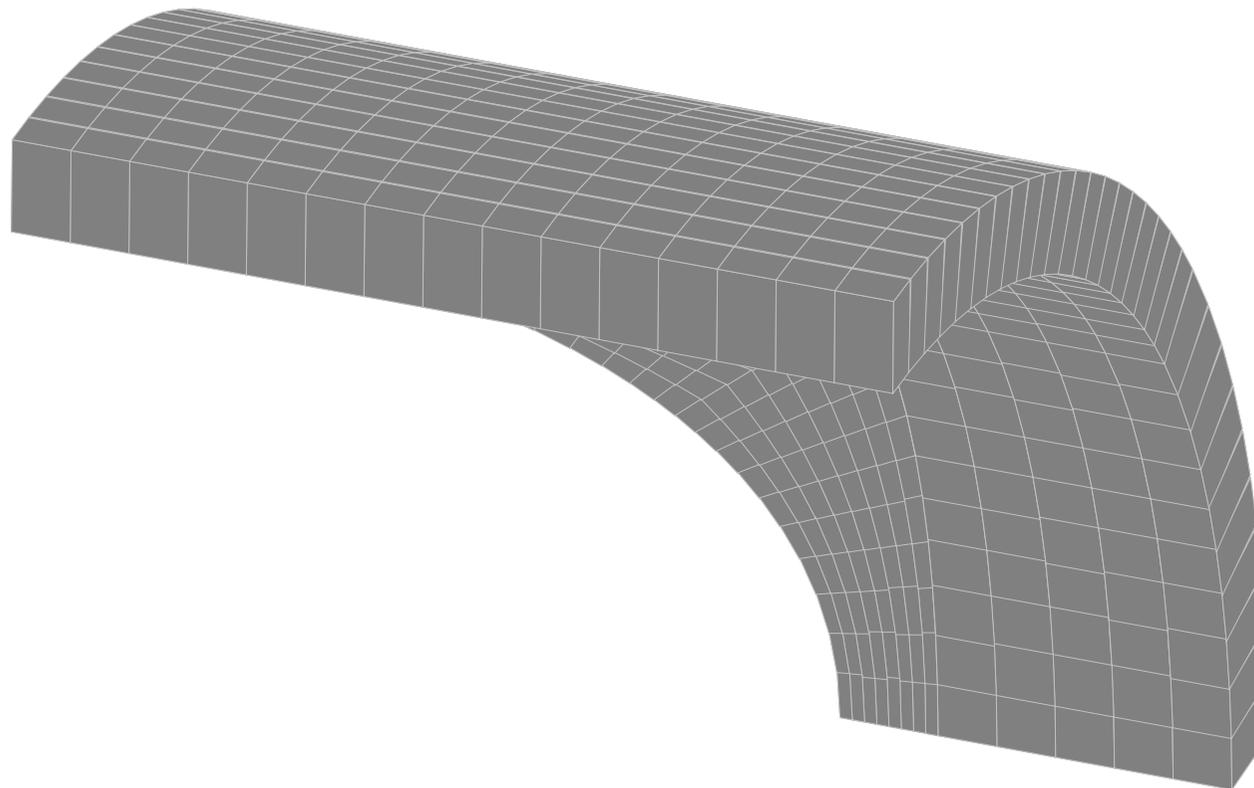
В окне "Результат" выбирается кнопка "Подтвердить сборку":

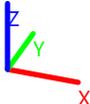


Осуществляется переход к присоединяемой схеме путем нажатия кнопки "Активировать основную схему";

Осуществляется выход из инструментальной панели режима сборки путем нажатия кнопки "Режим сборки" в закладке "Схема":

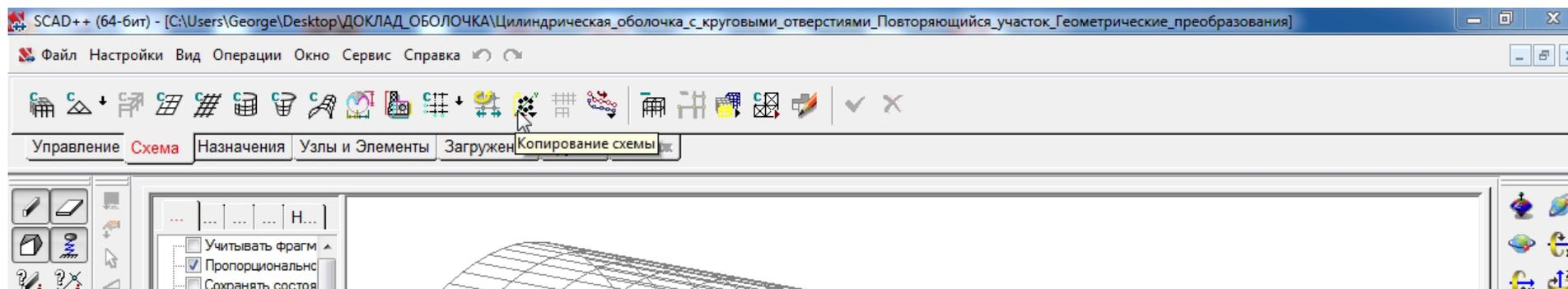




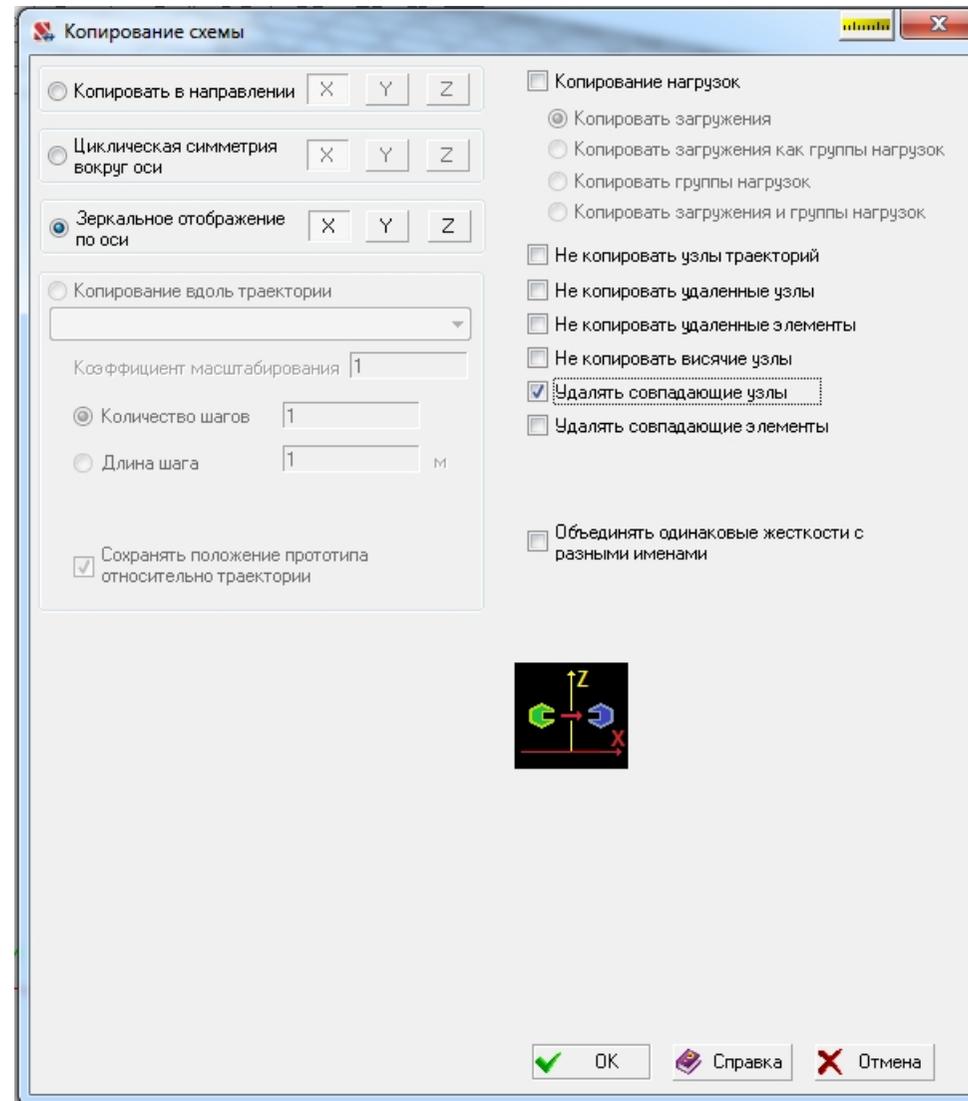
		Цилиндрическая оболочка с круговыми отверстиями	
		Расчетная схема	
			
SCAD версия : 21.1.3.1			
			

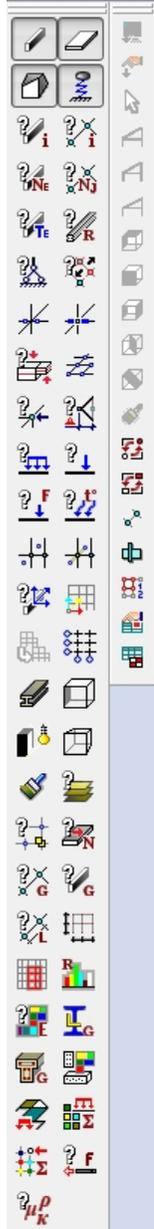
Копирование схемы, собранной из типовых участков поверхностей цилиндрической оболочки

Активируется окно "Копирование схемы" путем нажатия кнопки "Копирование схемы" в закладке "Схема":

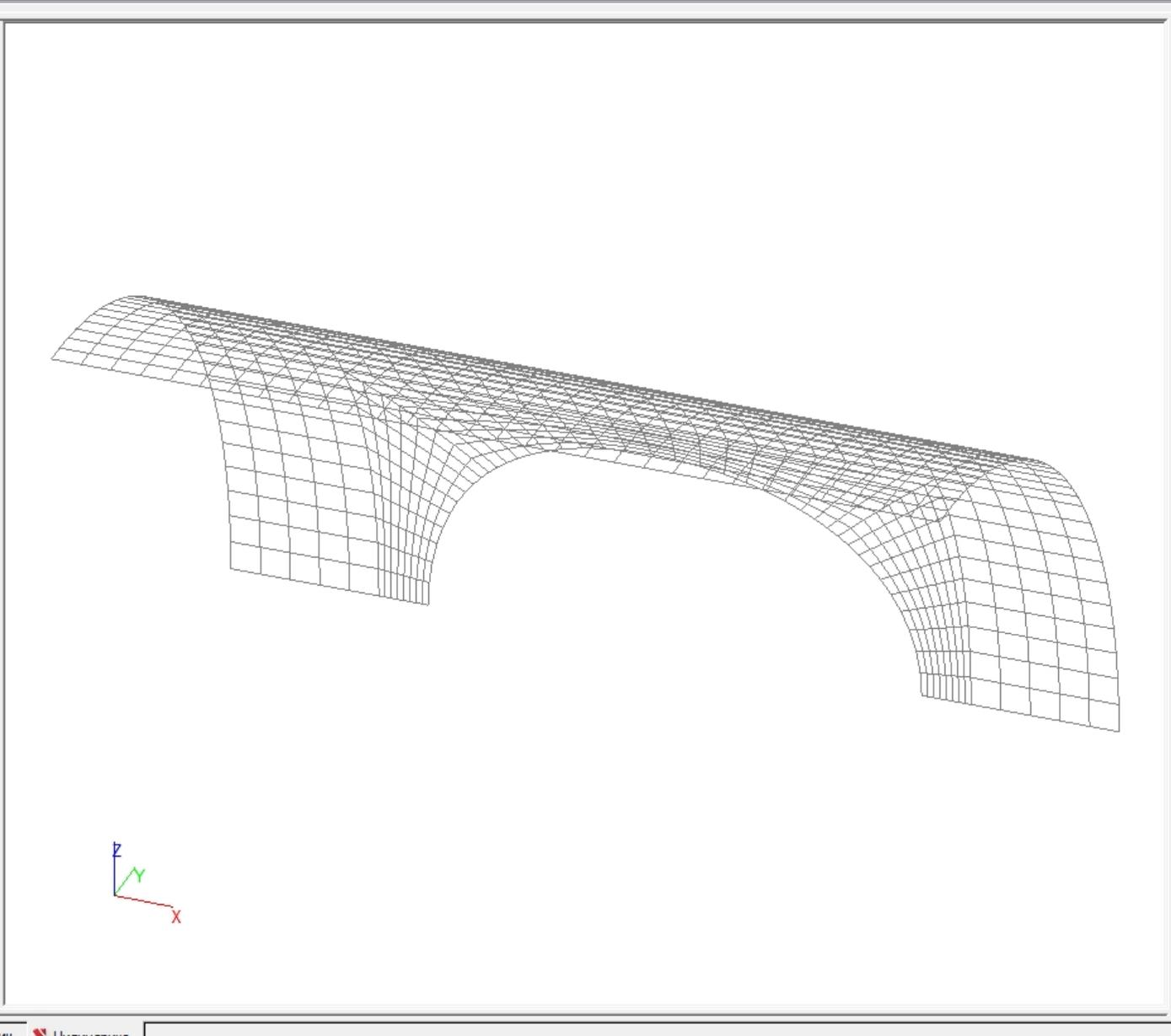


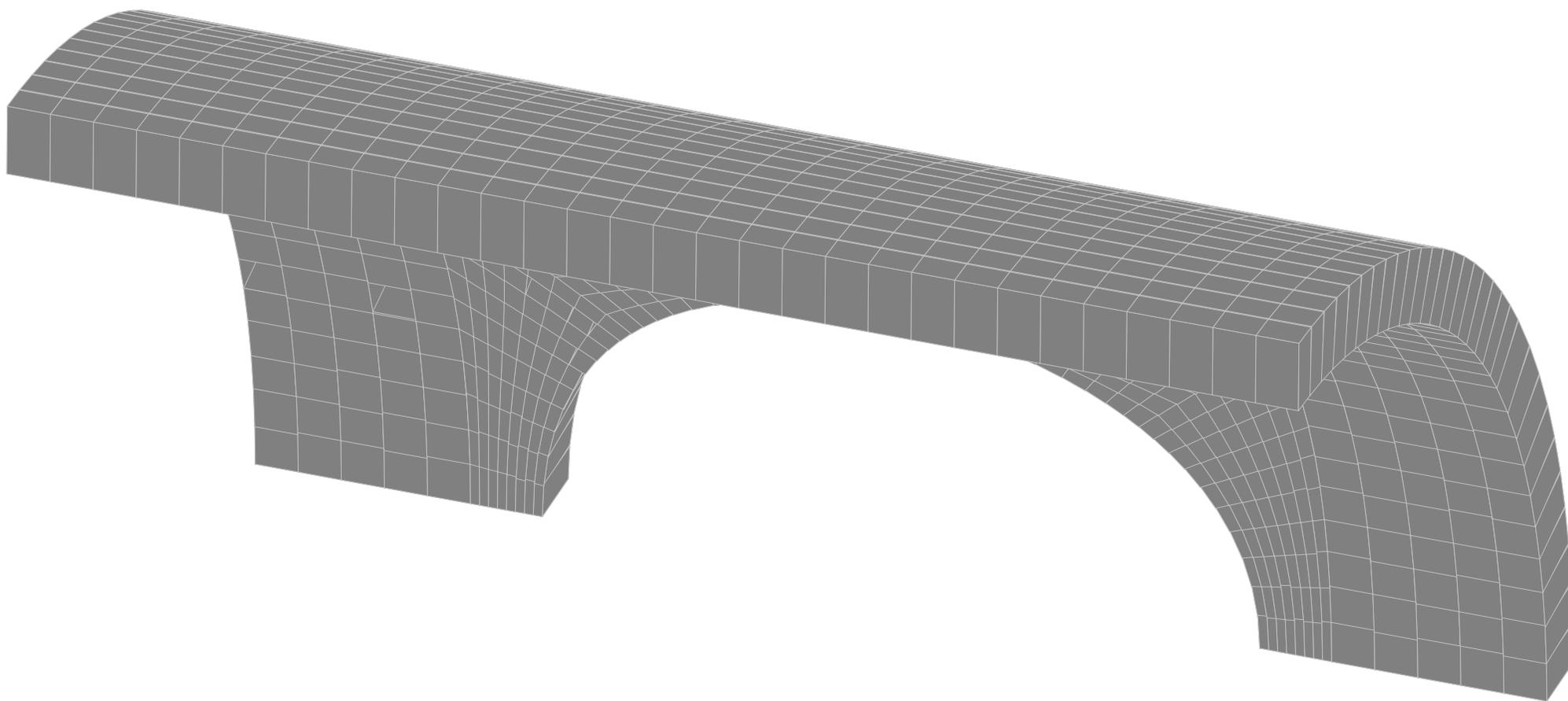
В окне "Копирование схемы" выбирается режим копирования "Зеркальное отображение по оси X", в правилах обслуживания копий устанавливается маркер "Удалять совпадающие узлы":

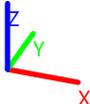




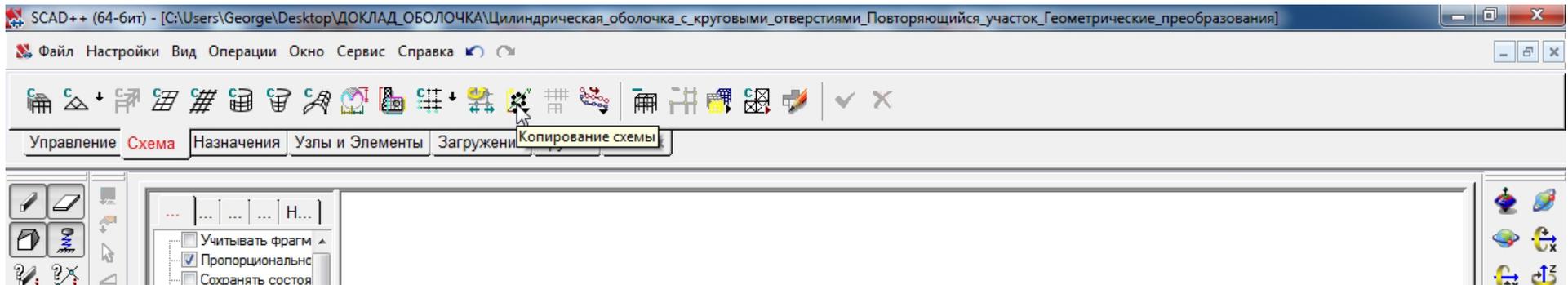
- Учитывать фрагм
- Пропорциональнс
- Сохранять состоя
- Показывать окно
- Показывать инфс
- Показывать общу
- Показывать имен
- Координационные
- Размерные линии
- Удаление линий н
- Прозрачность
- Освещение
- Таблицы
- Стержни
- Пластины
- Объемные элеме
- Специальные эле
- Узлы
- Номера узлов
- Совпадающие узл
- Показывать удал
- Цветовое отобра
- Связи
- Показывать объе
- Номера элементс
- Цветовое отобра
- Показывать групп
- Показывать групп
- Типы элементов
- Номера типов же
- Шарниры
- Жесткие вставки
- Отображение сме
- Показывать удал
- Показывать совп
- Местные оси элег
- Преднапряжение
- Направления выд
- Спектр жесткост
- Модуль Юнга
- Качество триангу
- Узловые нагрузки
- Заданные переме
- Распределенные
- Сосредоточенные



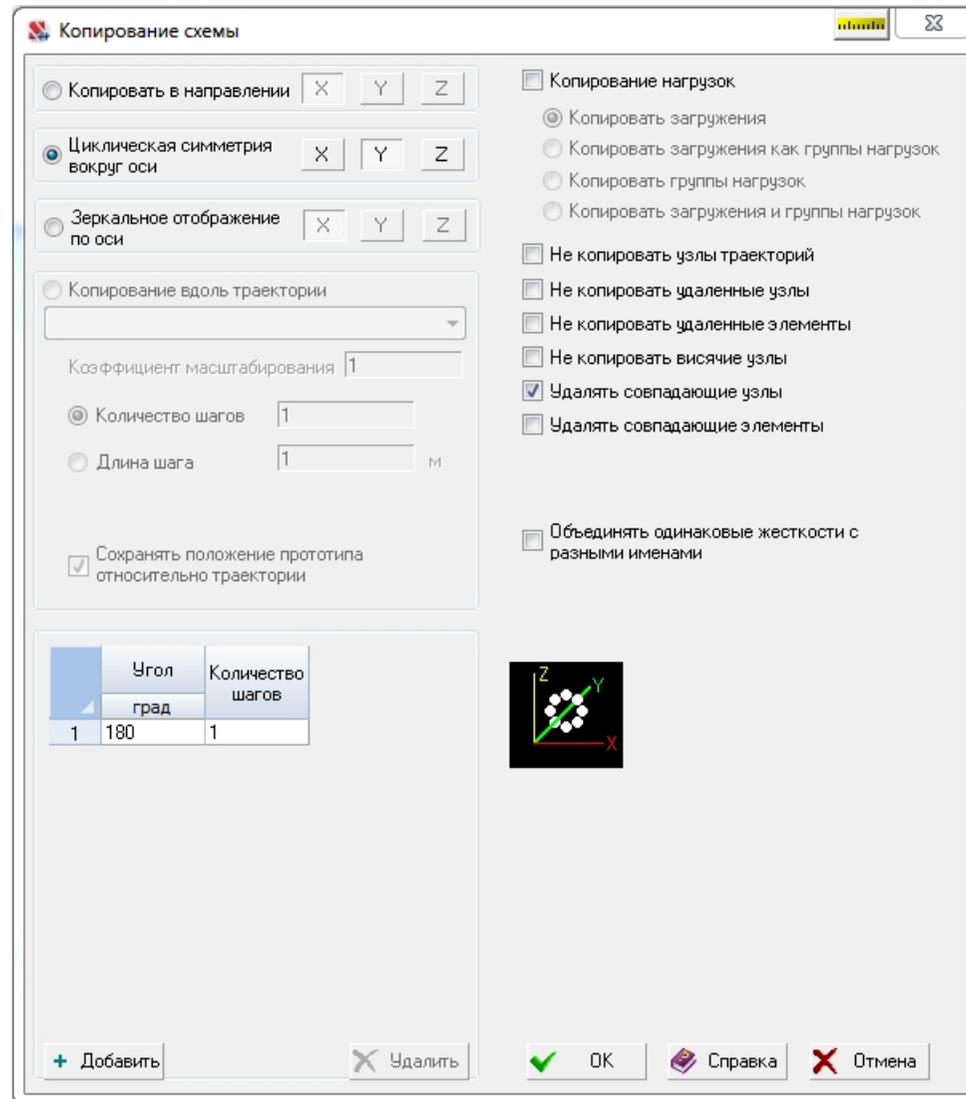


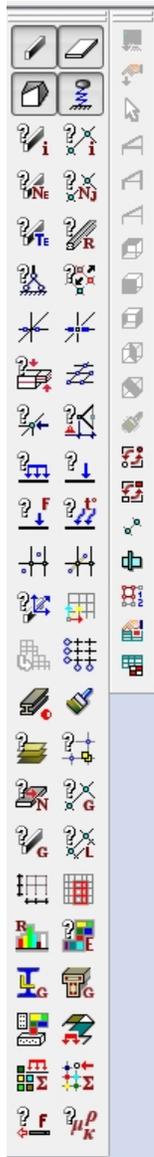
		Цилиндрическая оболочка с круговыми отверстиями	
		Расчетная схема	
			
SCAD версия : 21.1.3.1			

Активируется окно "Копирование схемы" путем нажатия кнопки "Копирование схемы" в закладке "Схема":

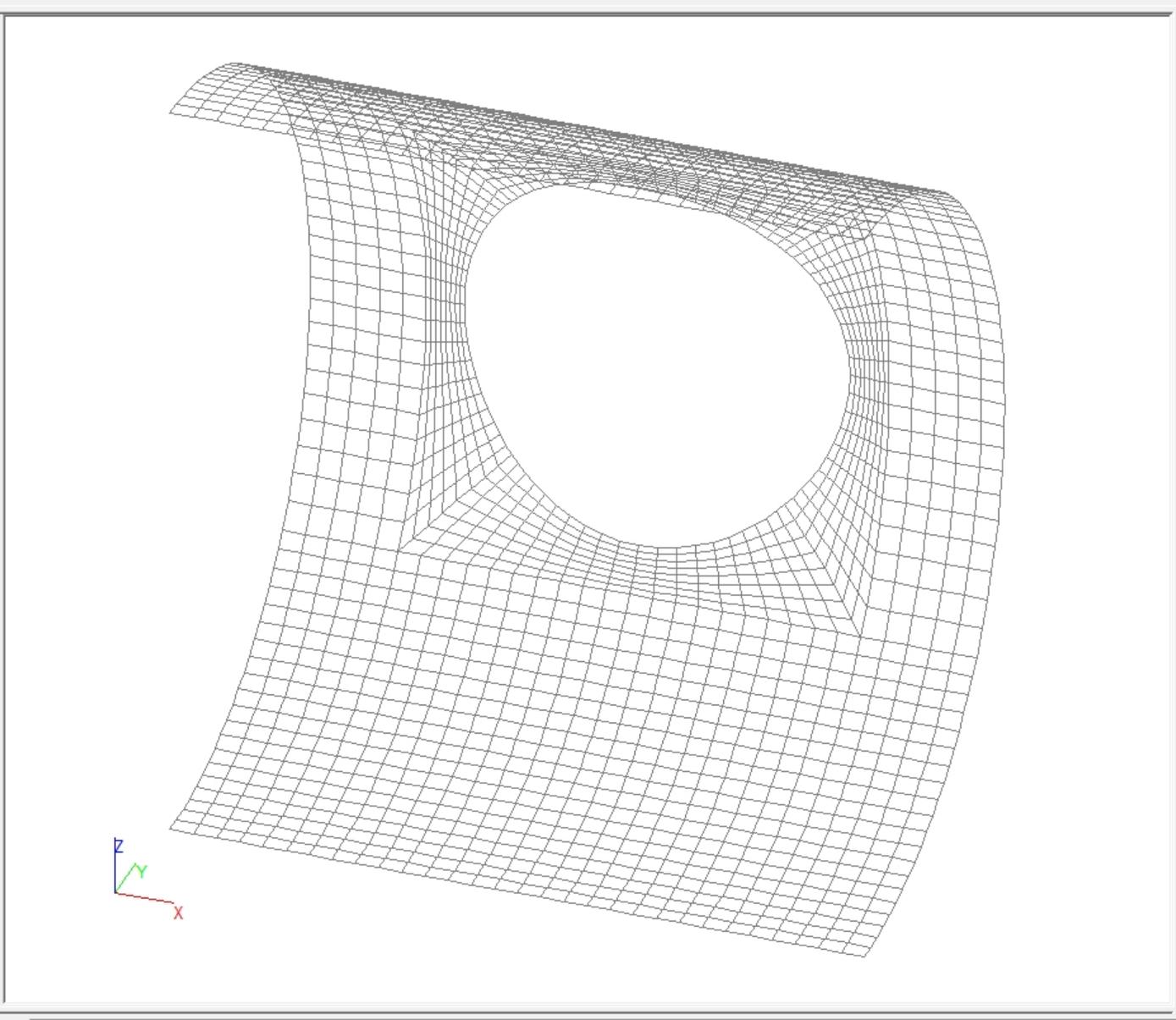


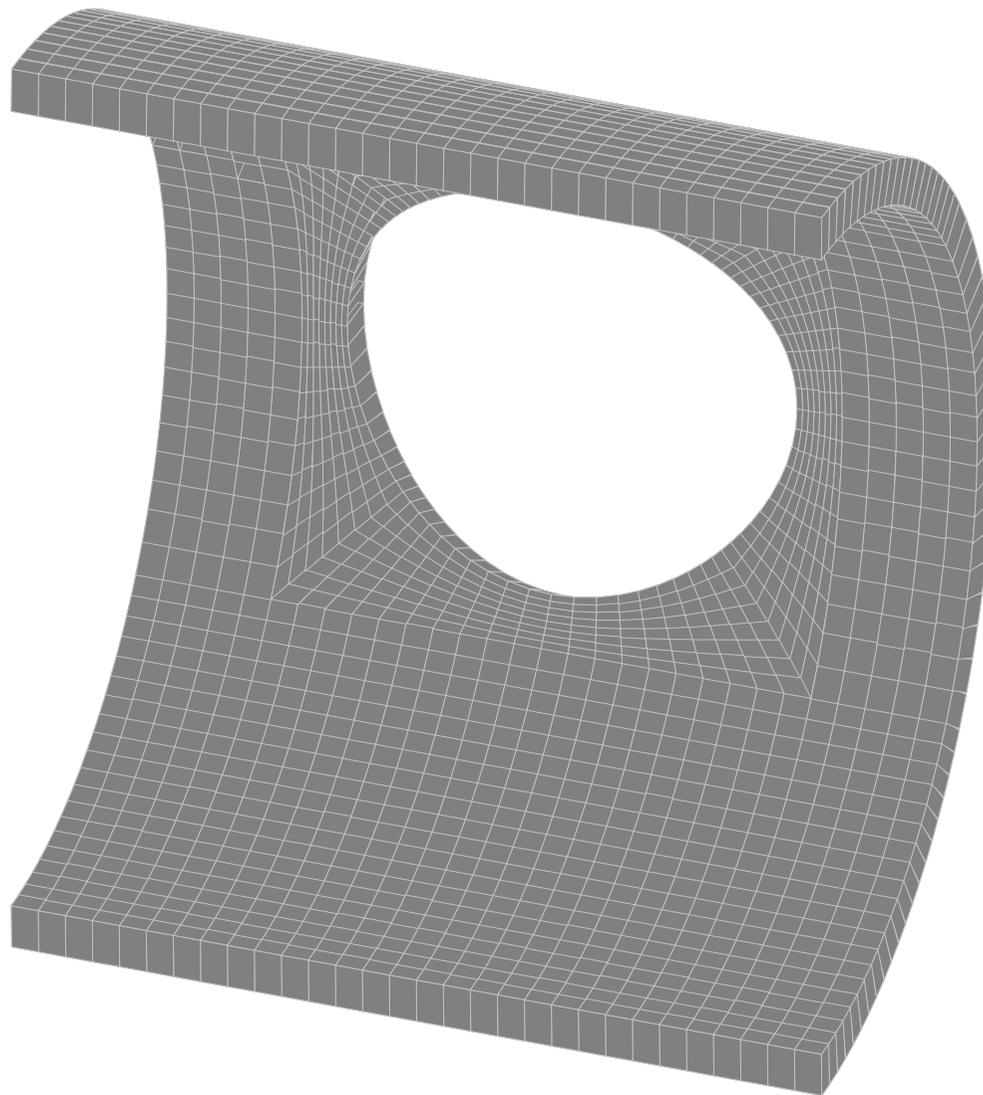
В окне "Копирование схемы" выбирается режим копирования "Циклическая симметрия вокруг оси Y", в правилах обслуживания копий устанавливается маркер "Удалять совпадающие узлы":

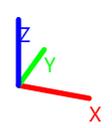




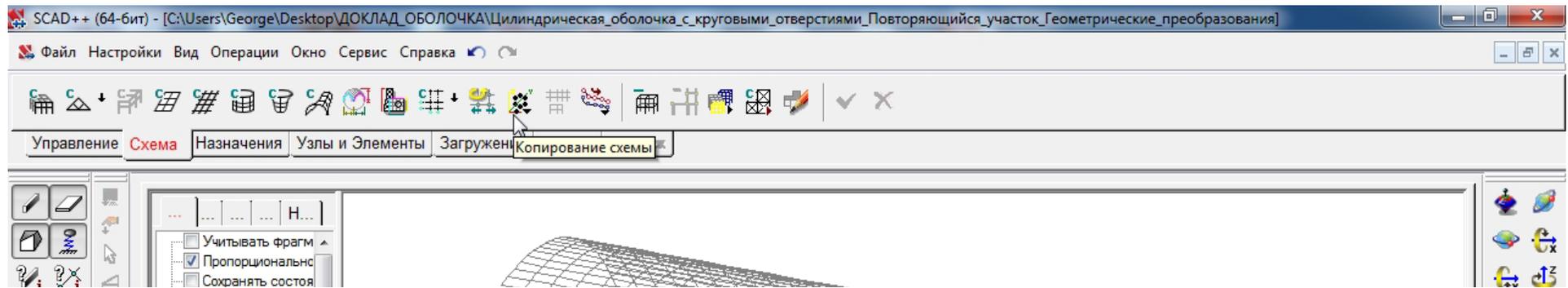
- Учитывать фрагм
- Пропорциональнс
- Сохранять состоя
- Показывать окно
- Показывать инфс
- Показывать общу
- Показывать имен
- Координационные
- Размерные линии
- Удаление линий н
- Прозрачность
- Освещение
- Таблицы
- Стержни
- Пластины
- Объемные элеме
- Специальные эле
- Узлы
- Номера узлов
- Совпадающие узл
- Показывать удал
- Цветовое отобра
- Связи
- Показывать объе
- Номера элементс
- Цветовое отобра
- Показывать групп
- Показывать групп
- Типы элементов
- Номера типов же
- Шарниры
- Жесткие вставки
- Отображение сме
- Показывать удал
- Показывать совп
- Местные оси эле
- Преднапряжение
- Направления выд
- Спектр жесткост
- Модуль Юнга
- Качество триангу
- Узловые нагрузки
- Заданные пере
- Распределенные
- Сосредоточенные



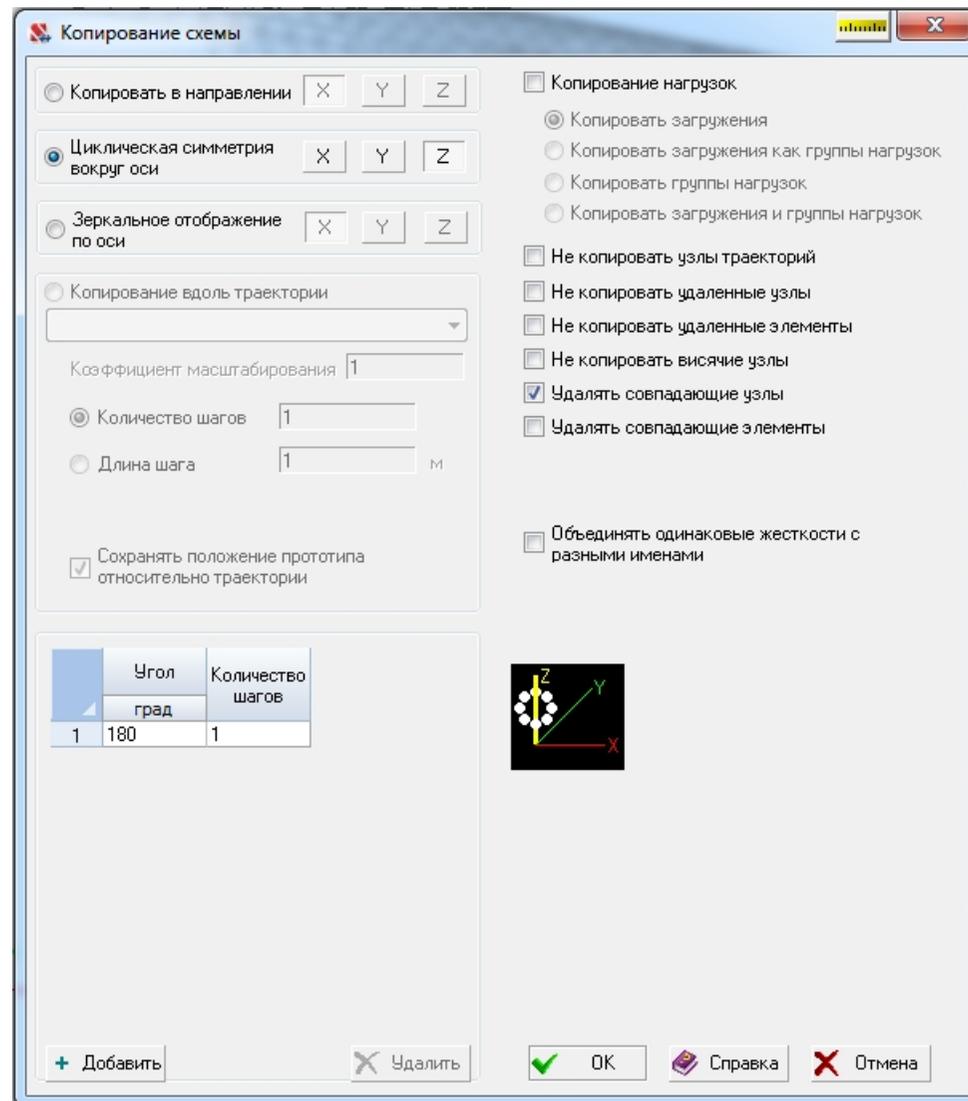


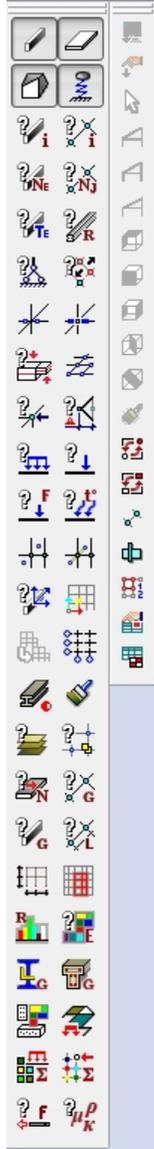
		Цилиндрическая оболочка с круговыми отверстиями	
		Расчетная схема	
			
SCAD версия : 21.1.3.1			

Активируется окно "Копирование схемы" путем нажатия кнопки "Копирование схемы" в закладке "Схема":

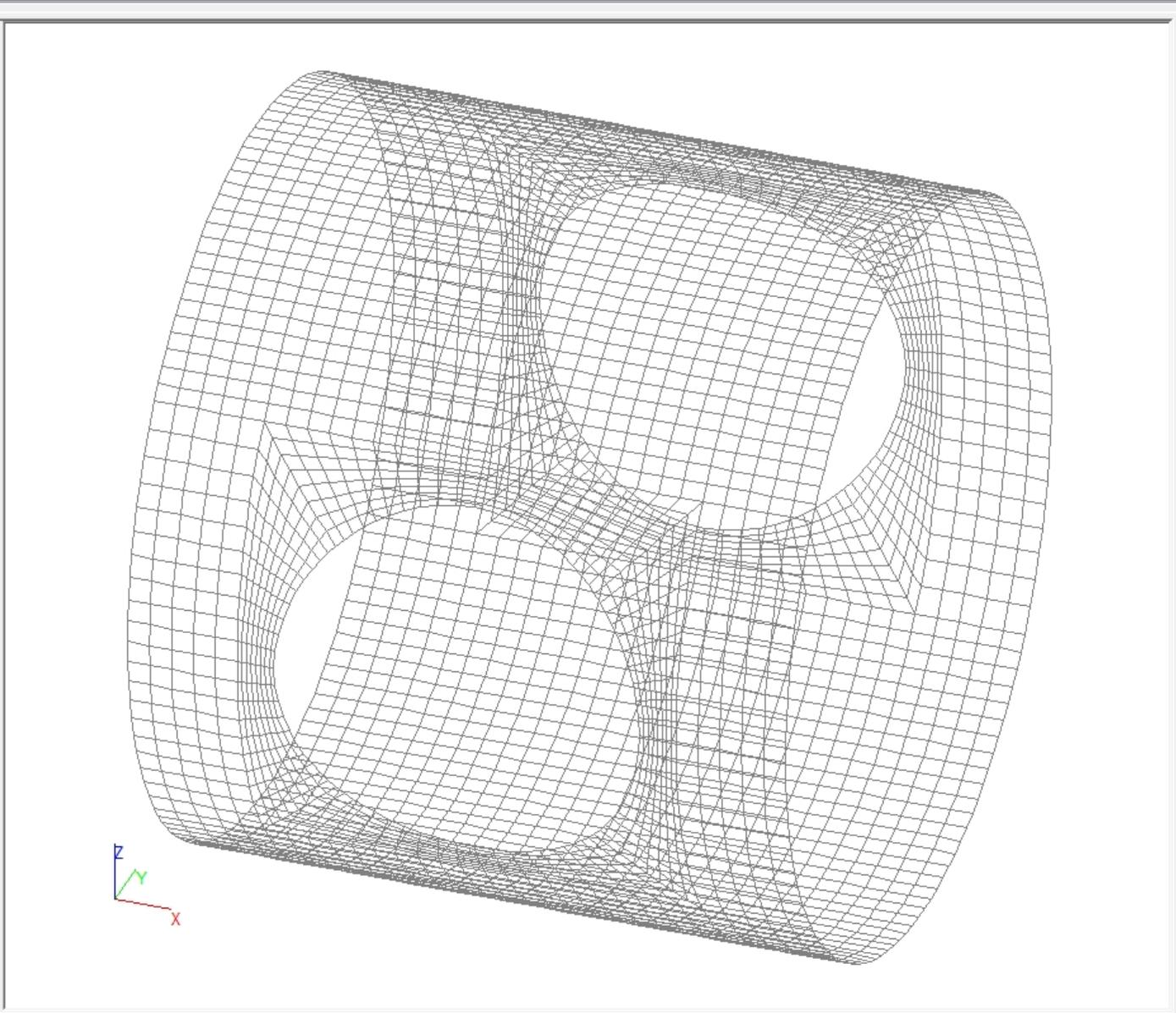


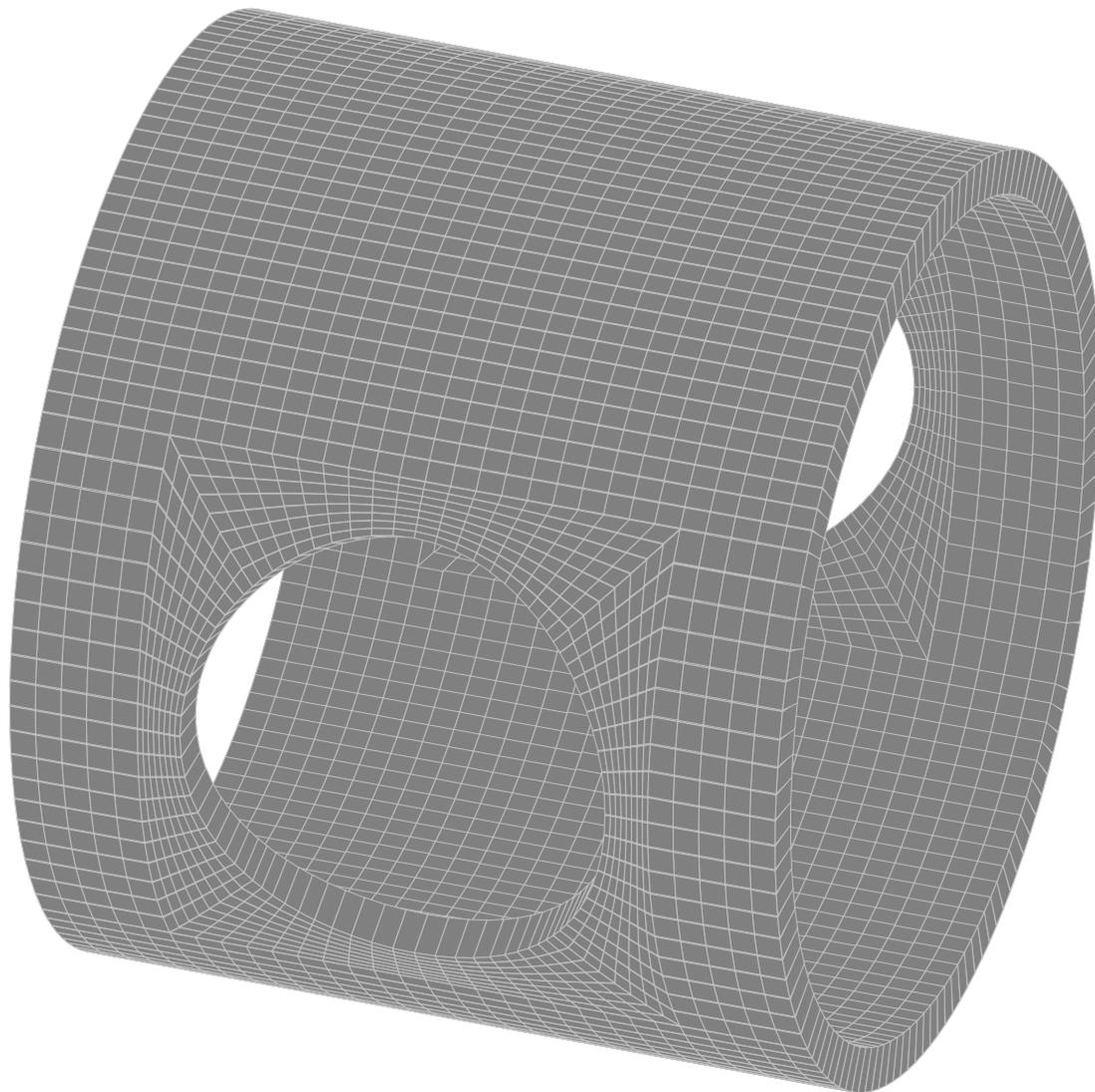
В окне "Копирование схемы" выбирается режим копирования "Циклическая симметрия вокруг оси Z", в правилах обслуживания копий устанавливается маркер "Удалять совпадающие узлы":

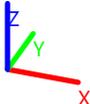


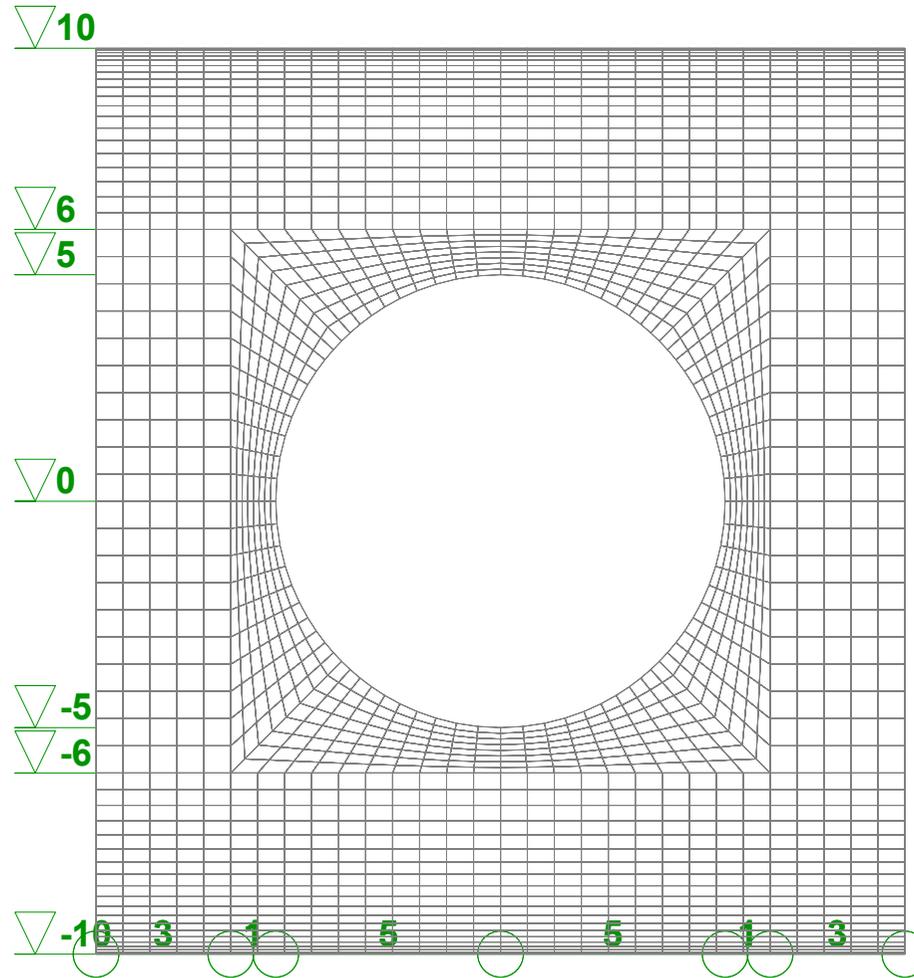


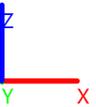
- Учитывать фрагм
- Пропорциональнс
- Сохранять состоя
- Показывать окно
- Показывать инфс
- Показывать общу
- Показывать имен
- Координационные
- Размерные линии
- Удаление линий н
- Прозрачность
- Освещение
- Таблицы
- Стержни
- Пластины
- Объемные элеме
- Специальные эле
- Узлы
- Номера узлов
- Совпадающие узл
- Показывать удал
- Цветовое отобра
- Связи
- Показывать объе
- Номера элементс
- Цветовое отобра
- Показывать групп
- Показывать групп
- Типы элементов
- Номера типов же
- Шарниры
- Жесткие вставки
- Отображение сме
- Показывать удал
- Показывать совп
- Местные оси эле
- Преднапряжение
- Направления выд
- Спектр жесткост
- Модуль Юнга
- Качество триангу
- Узловые нагрузки
- Заданные пере
- Распределенные
- Сосредоточенные

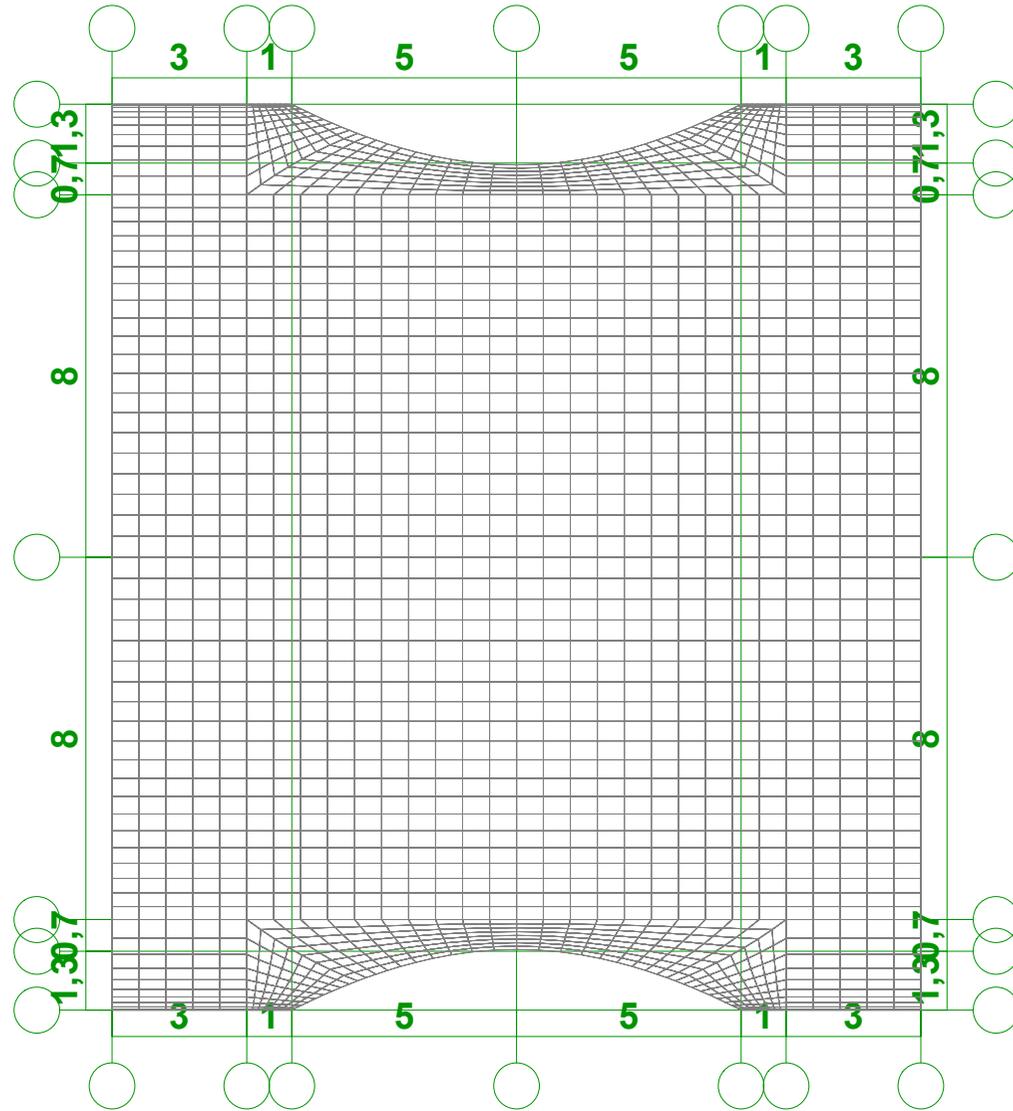


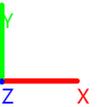


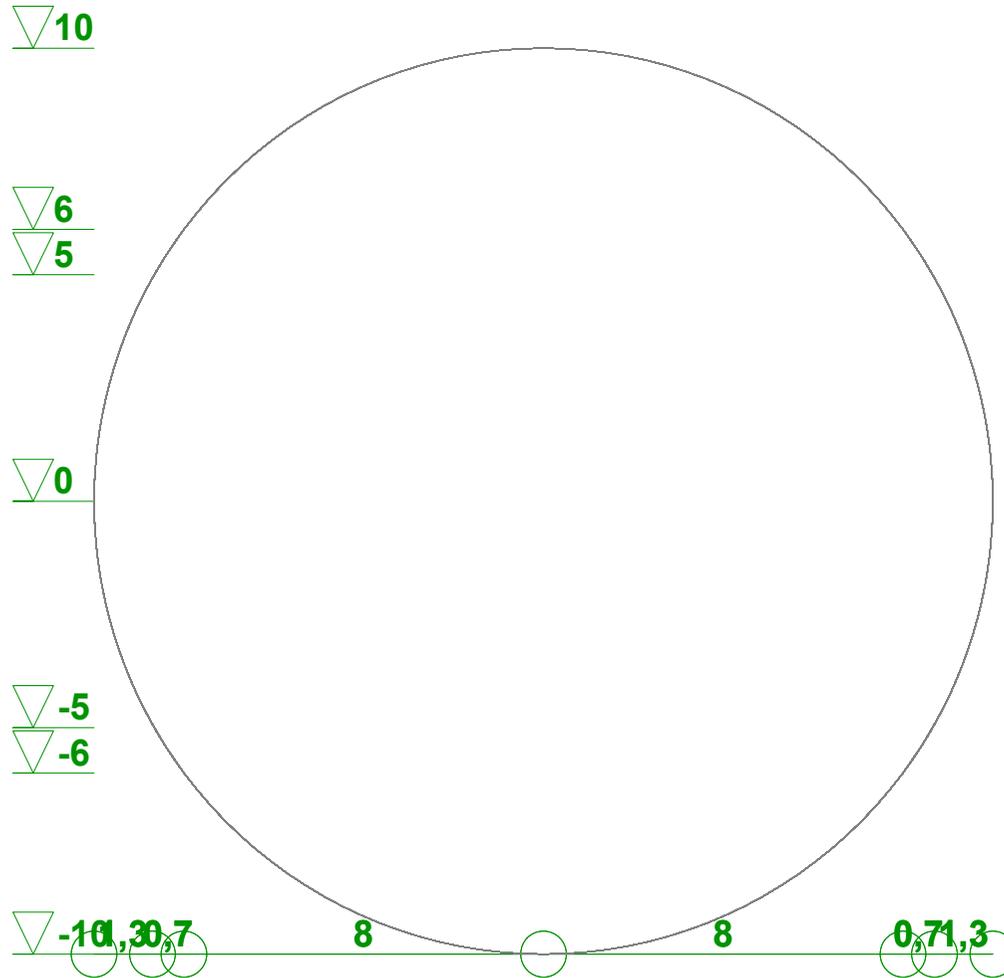
		Цилиндрическая оболочка с круговыми отверстиями	
		Расчетная схема	
			
SCAD версия : 21.1.3.1			



		Цилиндрическая оболочка с круговыми отверстиями	
		Расчетная схема	
			
SCAD версия : 21.1.3.1			
			



		Цилиндрическая оболочка с круговыми отверстиями	
		Расчетная схема	
	SCAD версия : 21.1.3.1		



		Цилиндрическая оболочка с круговыми отверстиями	
		Расчетная схема	
			
SCAD версия : 21.1.3.1			
			

**Исходные данные для расчета
цилиндрических оболочек
с круговыми отверстиями
в среде ВК SCAD**

- Тип конечных элементов:

четырехугольный четырехузловой элемент тонких пологих оболочек 44;

- Тип жесткости:

- изотропный материал оболочек;

- параметры (бетон тяжелый класса В30):

- модуль упругости – 3310000 т/м²;

- коэффициент Пуассона – 0.2;

- задача теории упругости – плоско-напряженное состояние;

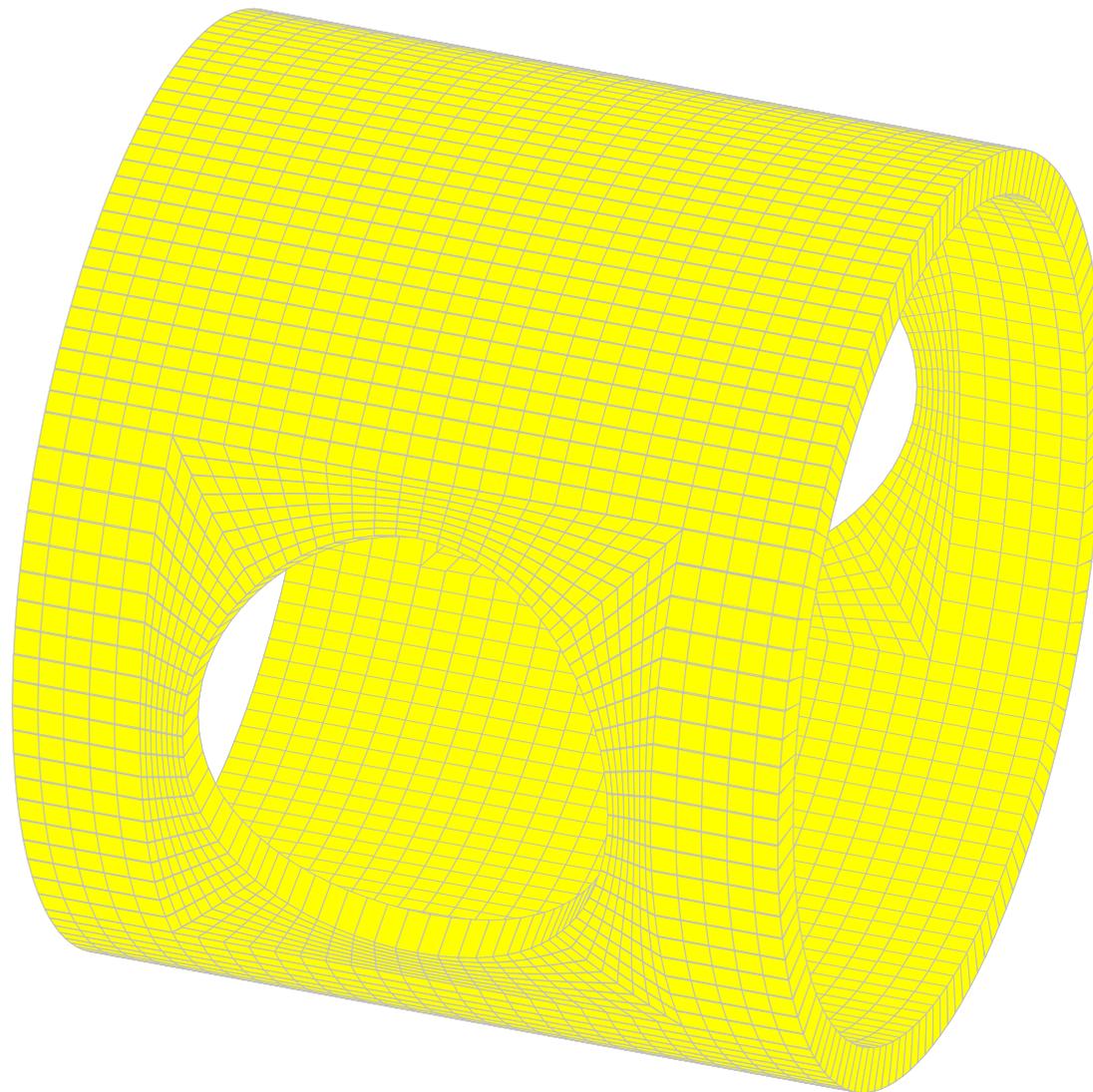
- толщина – 1м;

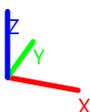
- Связи:

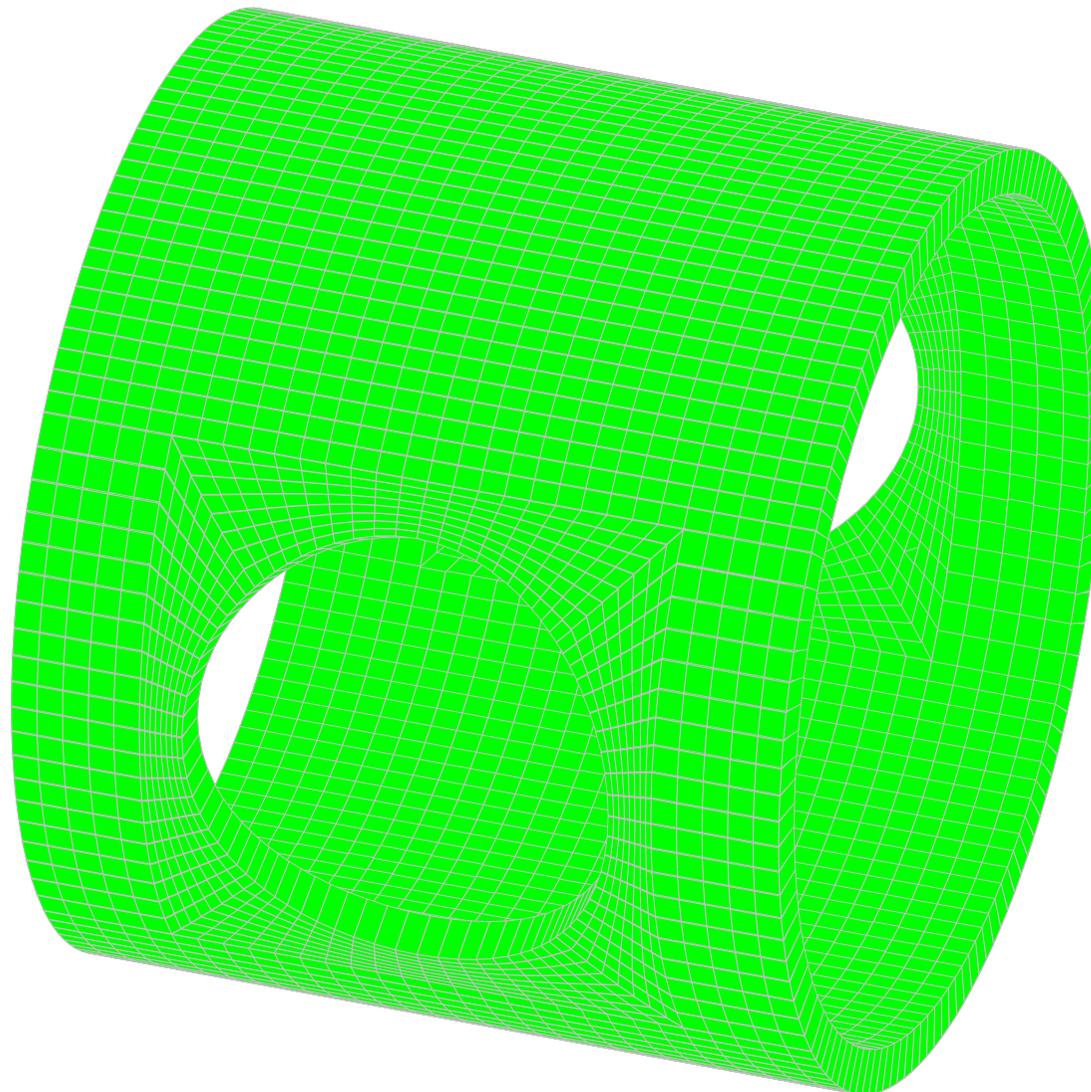
- по торцам повторяющегося участка – X , U_y , U_z ;

- по плоскости симметрии XZ – Y , U_x ;

- Коэффициент упругого основания в зоне отпора грунта:
изотропное основание модели Винклера – 10000 т/м^3 ;
- Направление оси X_n вычисления напряжений – вдоль оси общей системы координат X ;
- Загружения:
 - Вертикальное равномерно распределенное давление грунта в горизонтальном проложении (максимальное значение нагрузки по оси Z общей системы координат) – 100 т/м^2 ;
 - Горизонтальное равномерно распределенное давление грунта в вертикальном проложении (максимальное значение нагрузки по оси Y общей системы координат) – $\pm 33 \text{ т/м}^2$.

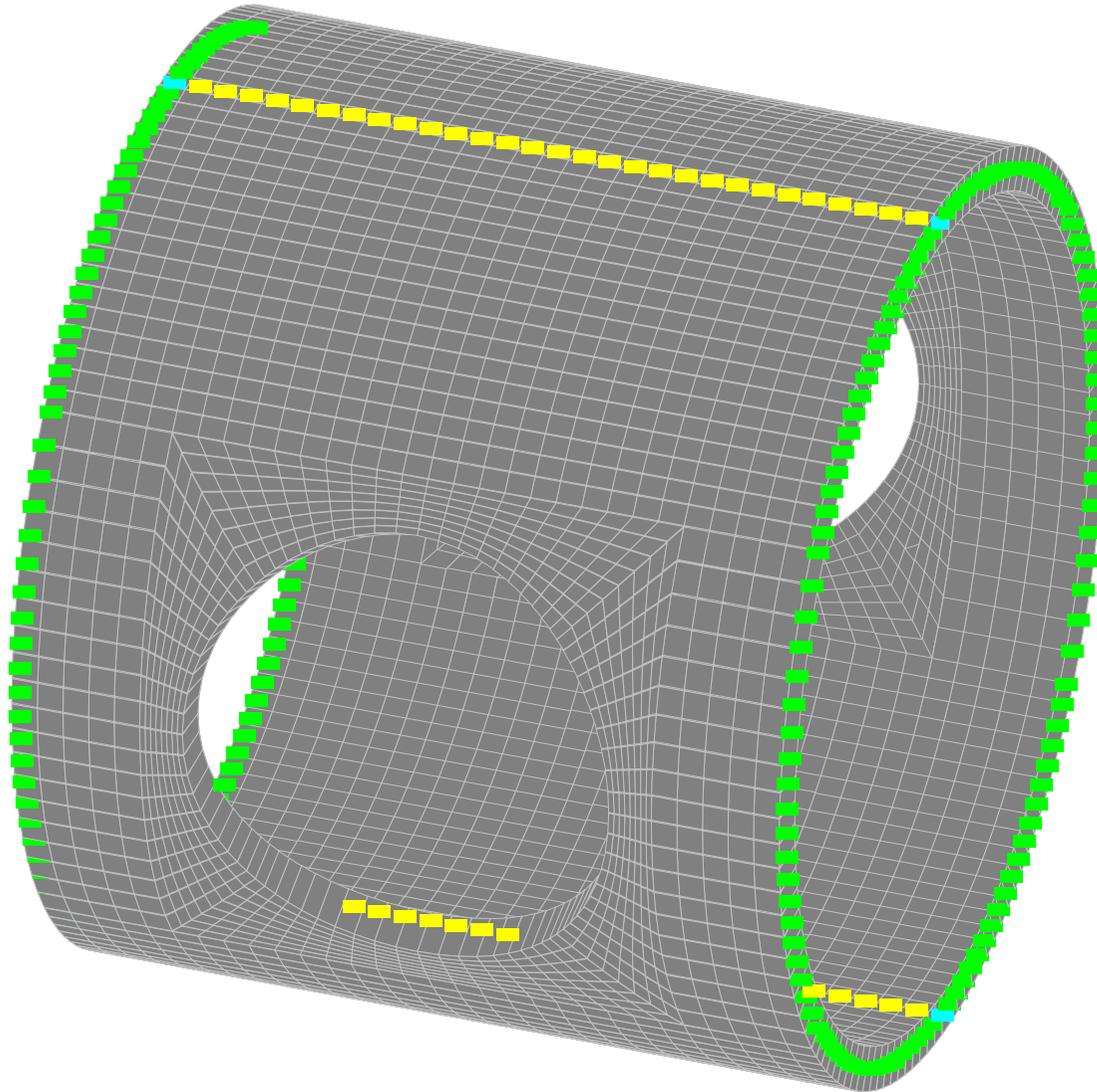


		Цилиндрическая оболочка с круговыми отверстиями	
		Расчетная схема	
		Типы КЭ	
	SCAD версия : 21.1.3.1		

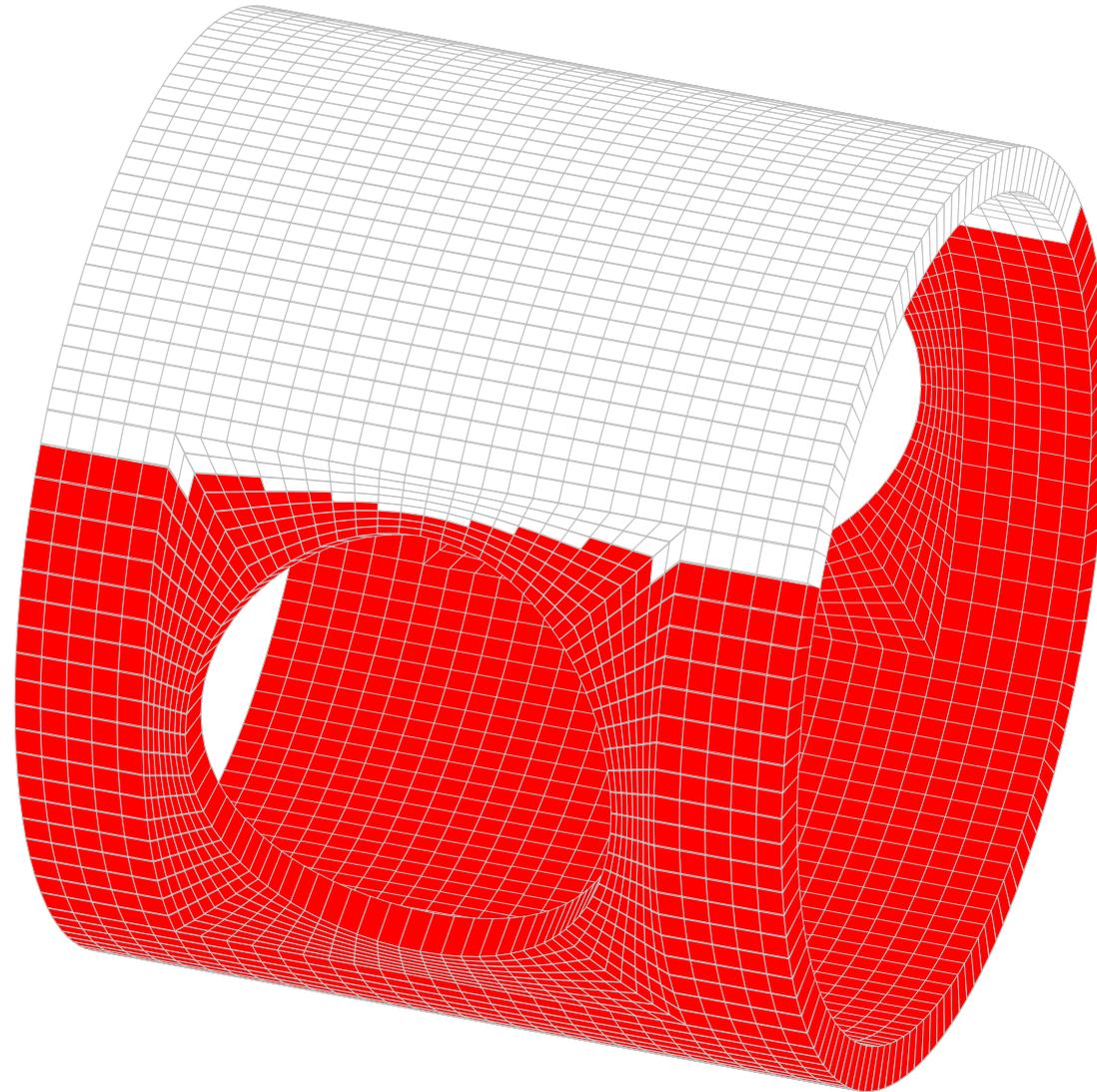


		Цилиндрическая оболочка с круговыми отверстиями	
		Расчетная схема	
		Жесткости	
	SCAD версия : 21.1.3.1		

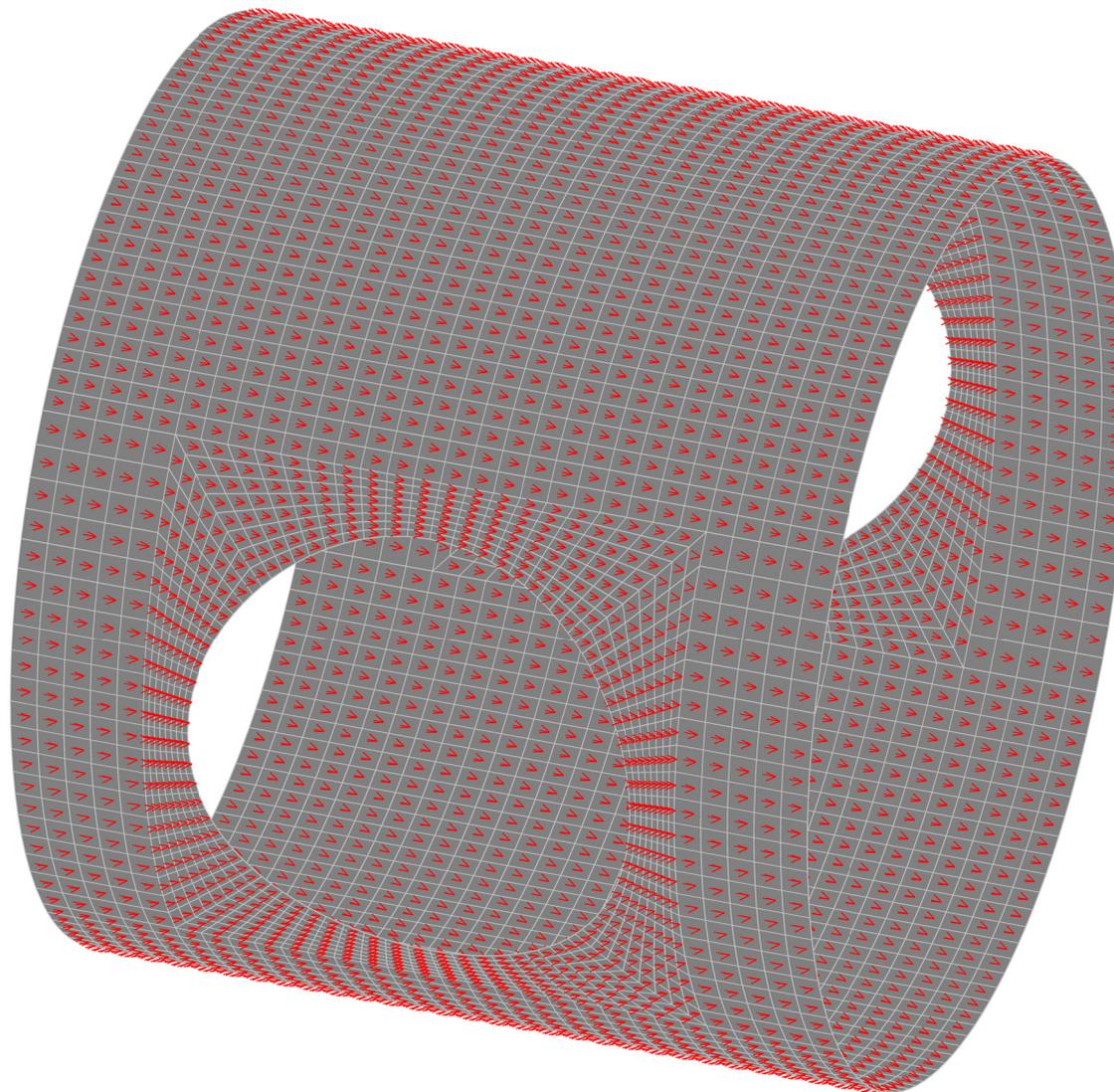
Y Ux
X Uy Uz
X Y Ux Uy Uz

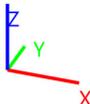


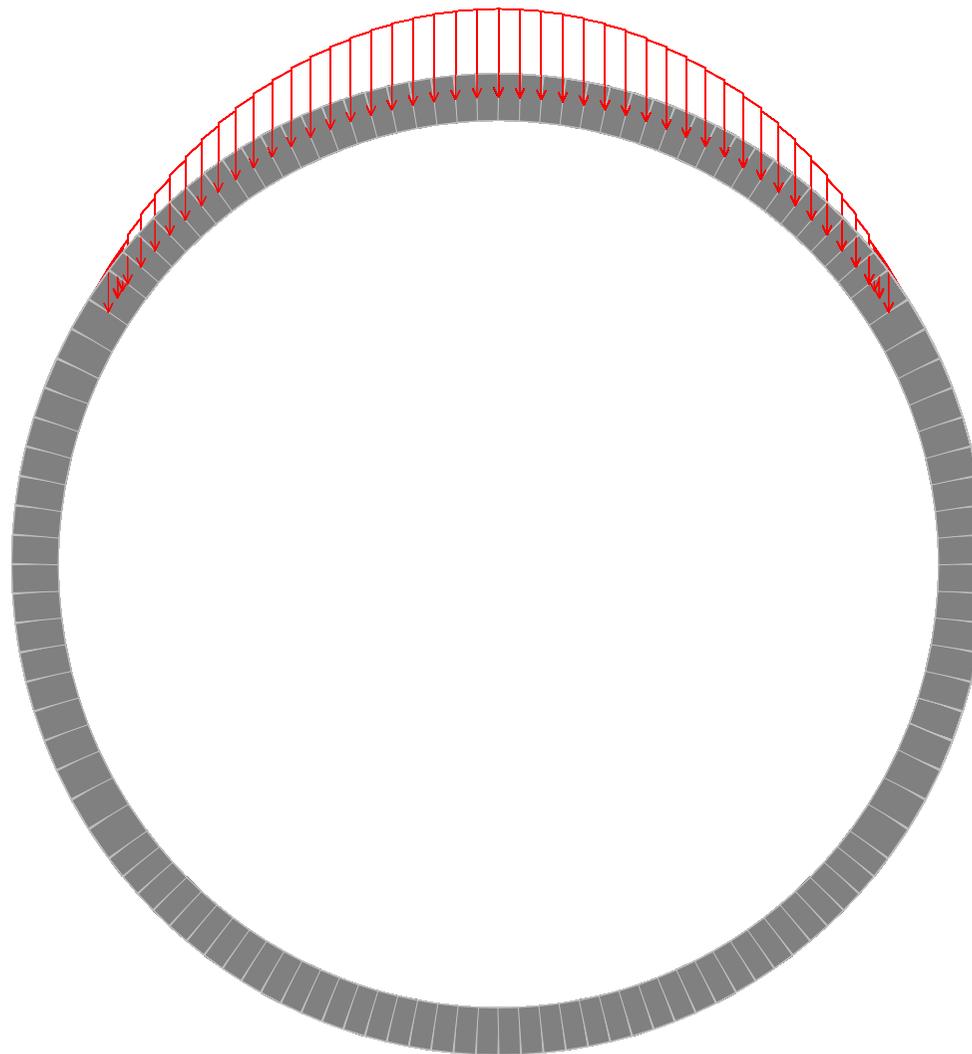
		Цилиндрическая оболочка с круговыми отверстиями	
		Расчетная схема	
		Связи	
SCAD версия : 21.1.3.1			

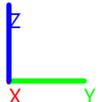


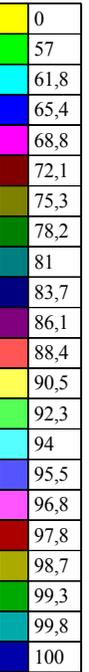
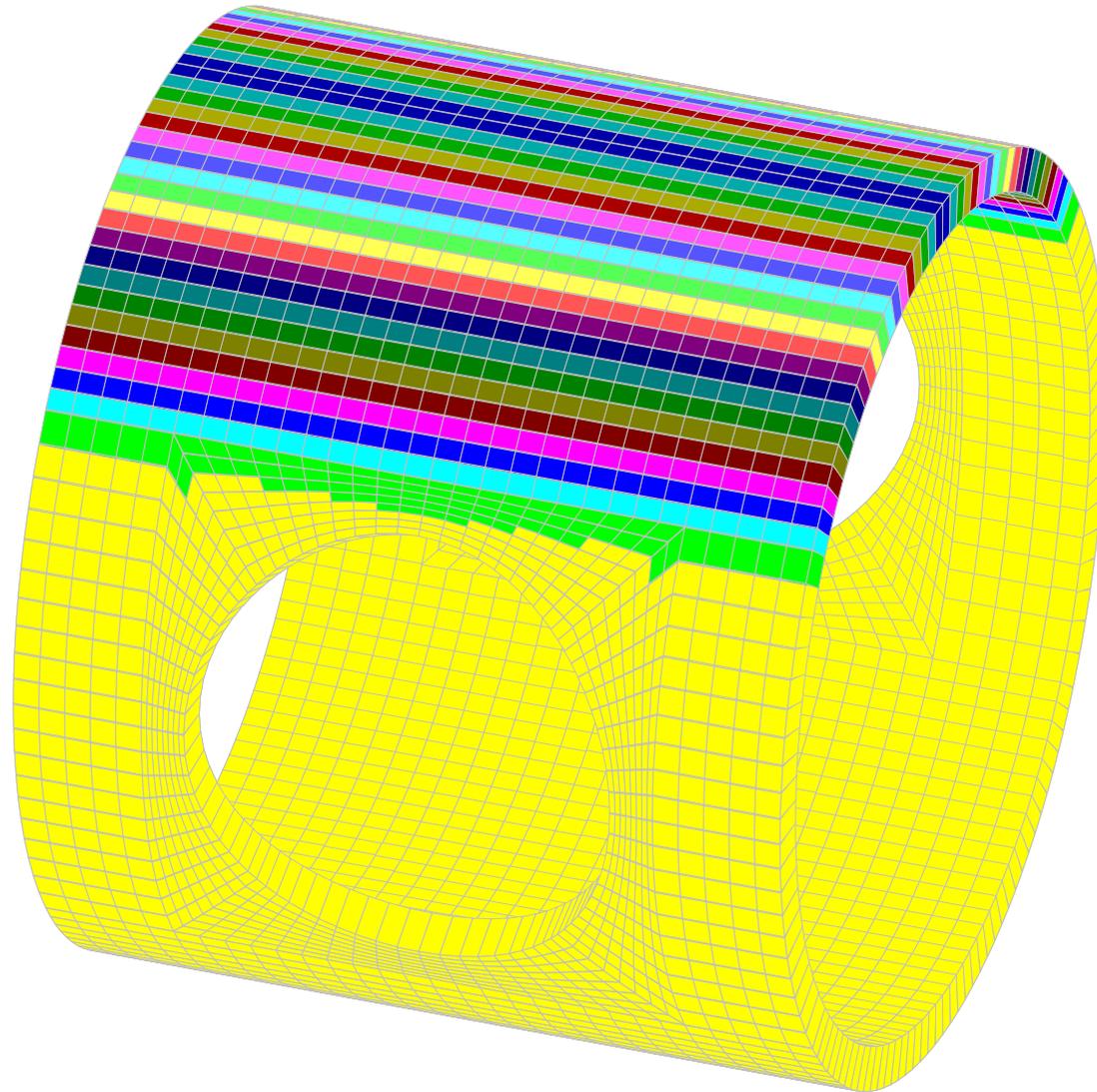
		Цилиндрическая оболочка с круговыми отверстиями	
		Расчетная схема	
		Коэффициенты постели	
		c_1 (Т/м ³)	
	SCAD версия : 21.1.3.1		



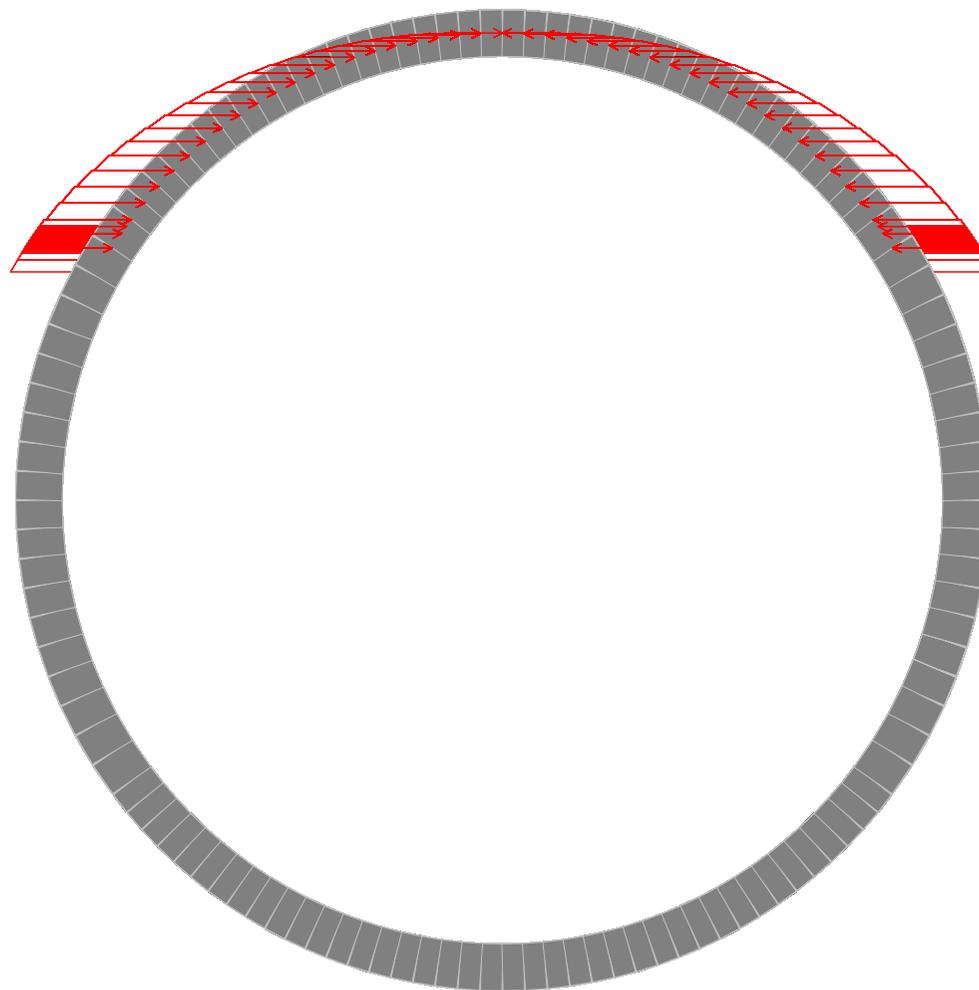
		Цилиндрическая оболочка с круговыми отверстиями	
		Расчетная схема	
			
SCAD версия : 21.1.3.1			



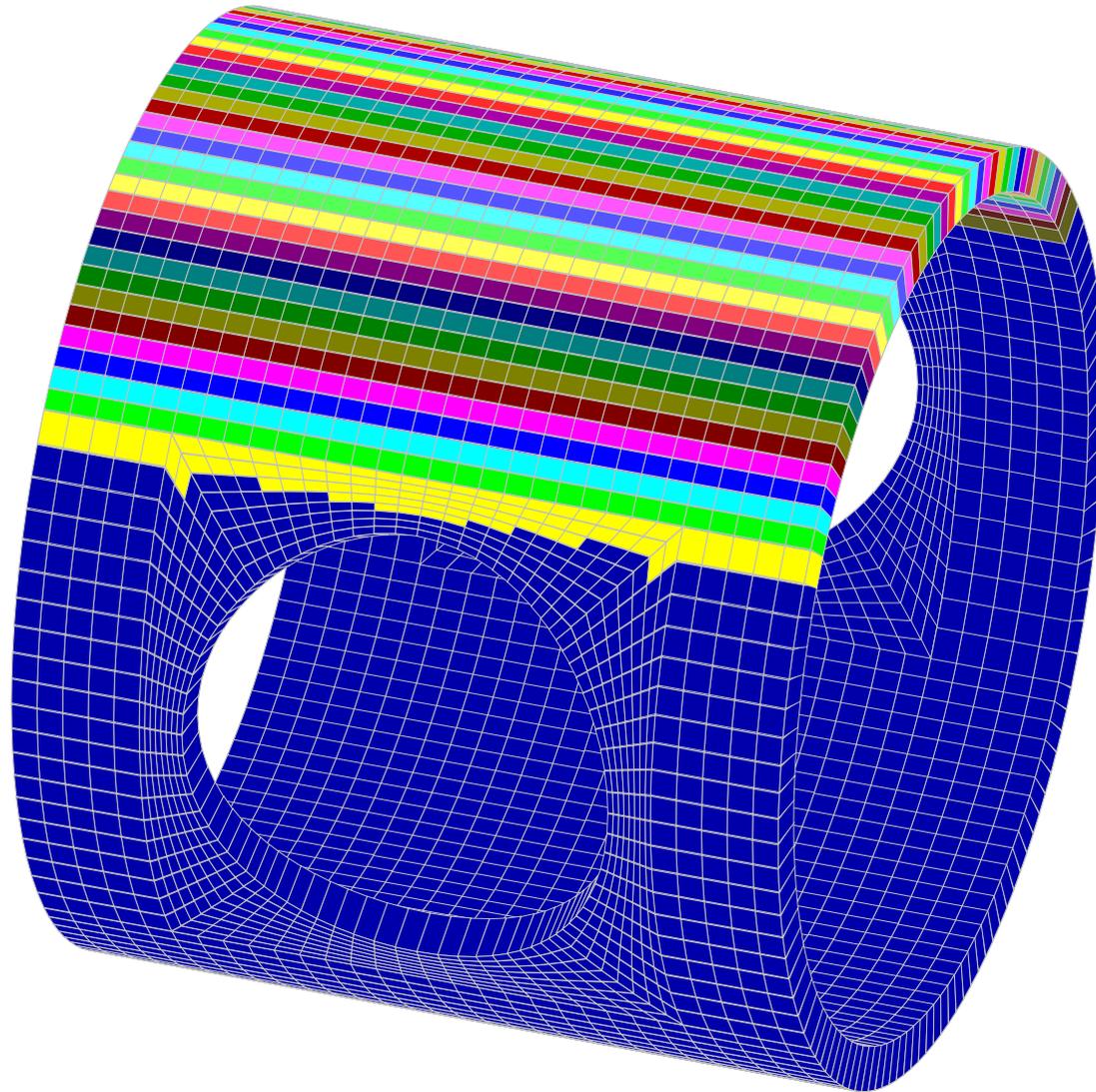
		Цилиндрическая оболочка с круговыми отверстиями	
		Расчетная схема	
		Вертикальное давление	
			
SCAD версия : 21.1.3.1			



		Цилиндрическая оболочка с круговыми отверстиями	
		Расчетная схема	
		Карта нагрузок на элементы	
		Вертикальное давление	
	SCAD версия : 21.1.3.1	z (Т/м ²)	



		Цилиндрическая оболочка с круговыми отверстиями	
		Расчетная схема	
		Горизонтальное давление	
			
SCAD версия : 21.1.3.1			

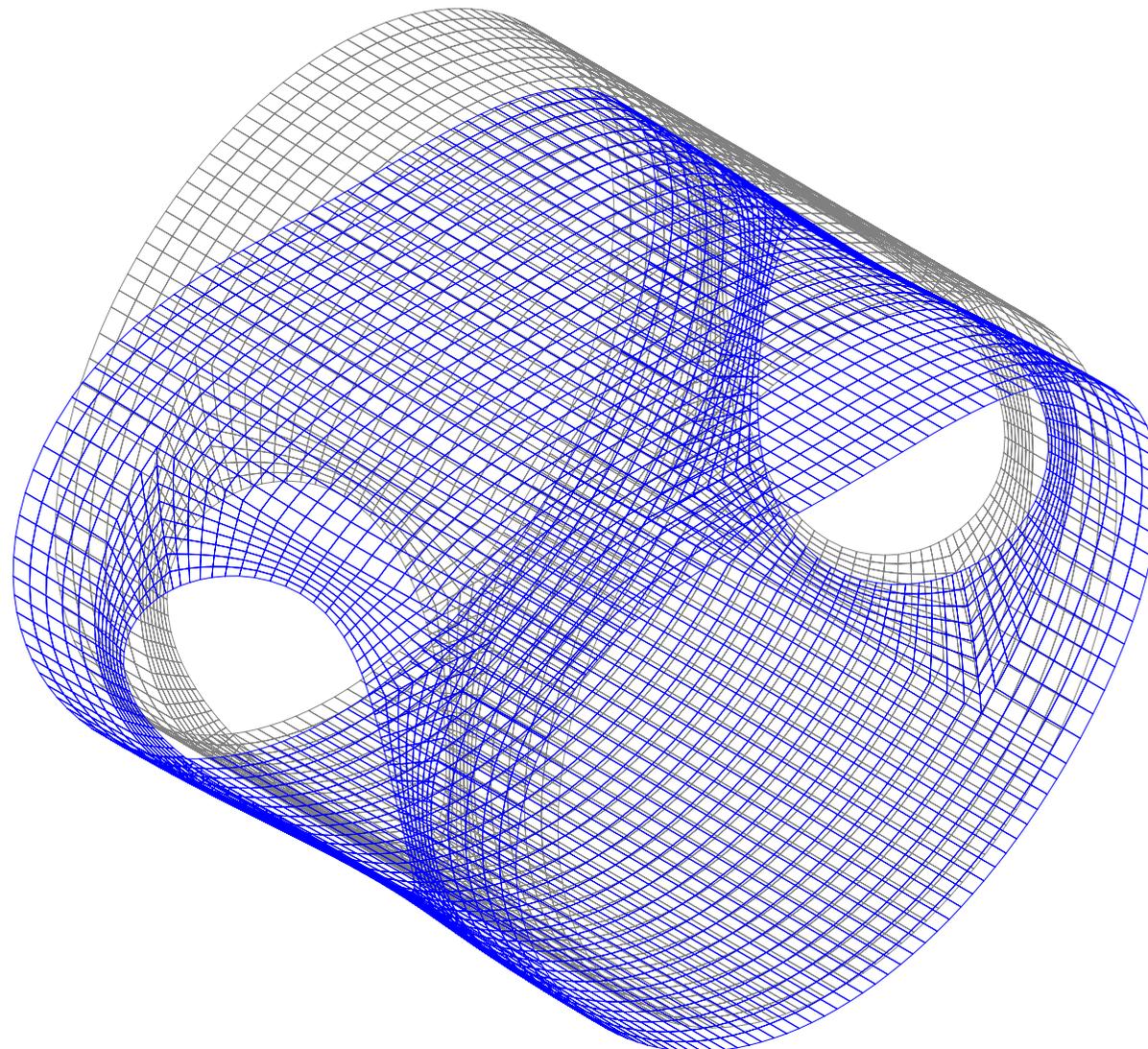


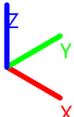
		Цилиндрическая оболочка с круговыми отверстиями	
		Расчетная схема	
		Карта нагрузок на элементы	
		Горизонтальное давление	
	SCAD версия : 21.1.3.1	γ (Т/м ²)	

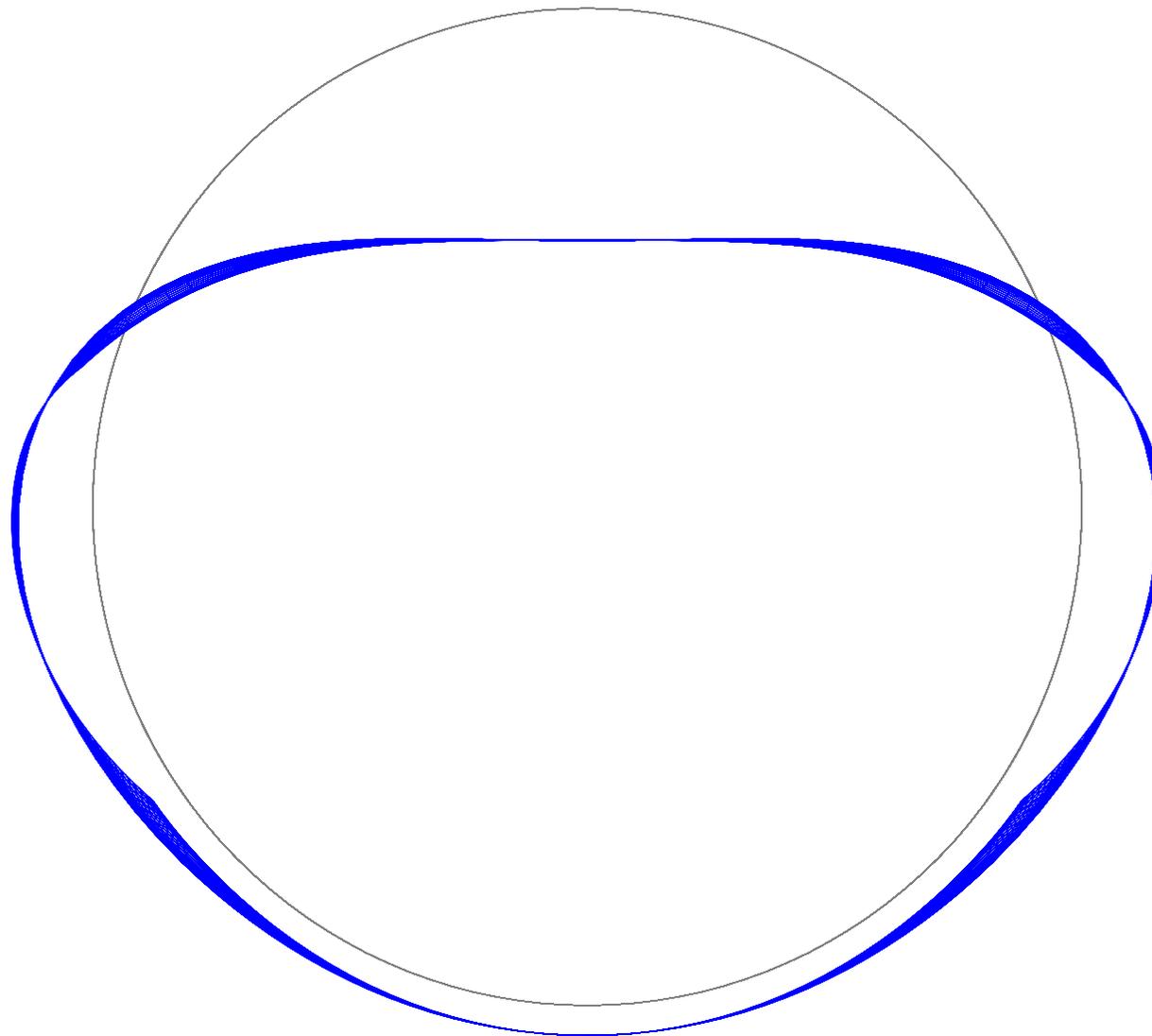
**Результаты расчета
цилиндрических оболочек
с круговыми отверстиями
в среде BK SCAD
по комбинации нагрузжений**

$$C1 = L1 \cdot 1 + L2 \cdot 1$$

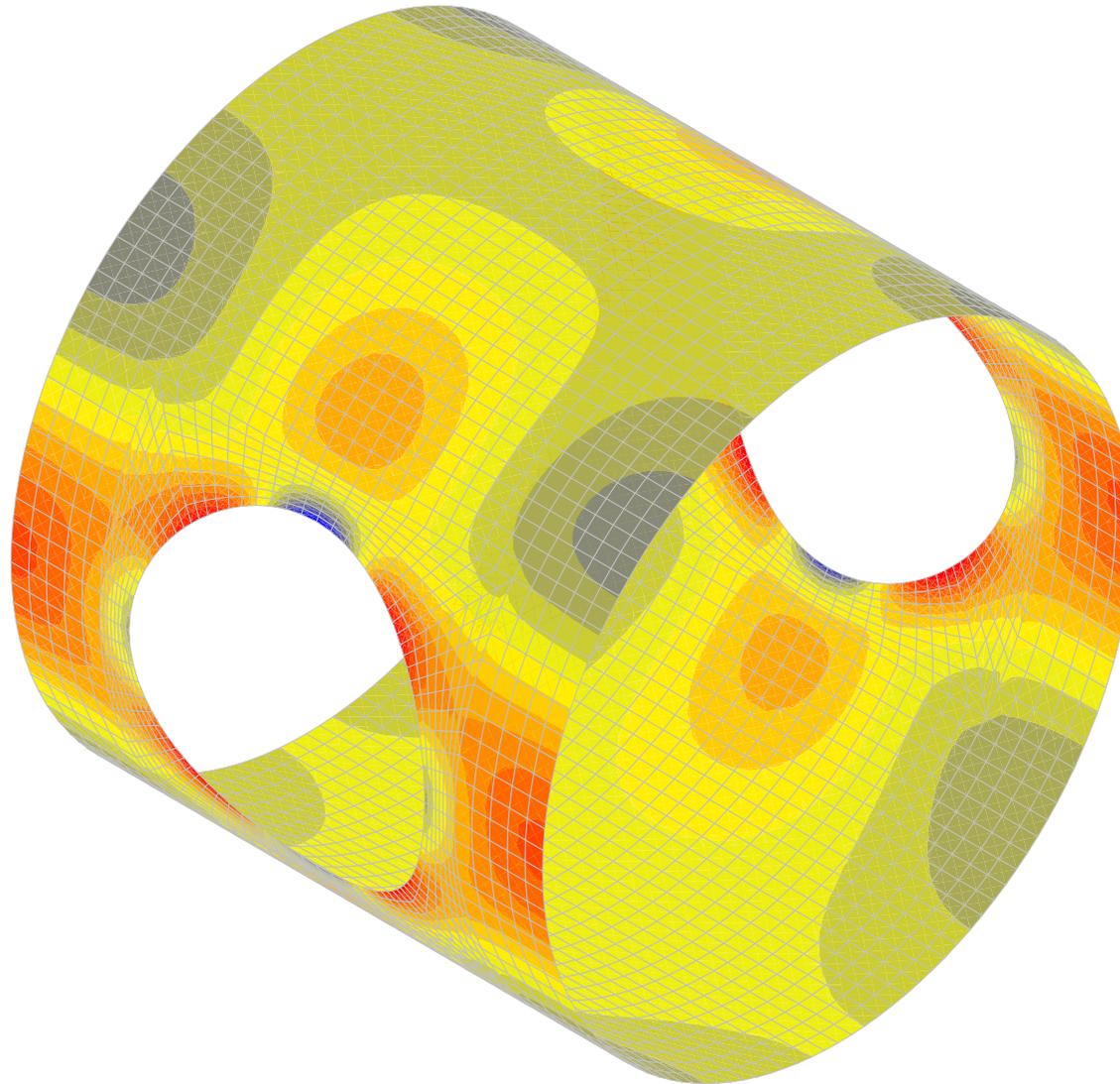
- Деформированная схема;
- Продольные усилия σ_x (т/м²);
- Изгибающие моменты M_x (т·м/м);
- Поперечные усилия Q_x (т/м);
- Продольные усилия σ_y (т/м²);
- Изгибающие моменты M_y (т·м/м);
- Поперечные усилия Q_y (т/м);
- Сдвигающие усилия τ_{xy} (т/м²);
- Крутящие моменты M_{xy} (т·м/м);
- Реакции упругого основания R_z (т/м²).



		Цилиндрическая оболочка с круговыми отверстиями	
		Результаты расчета	
		C1 - "(L1)*1+(L2)*1"	
SCAD версия : 21.1.3.1			

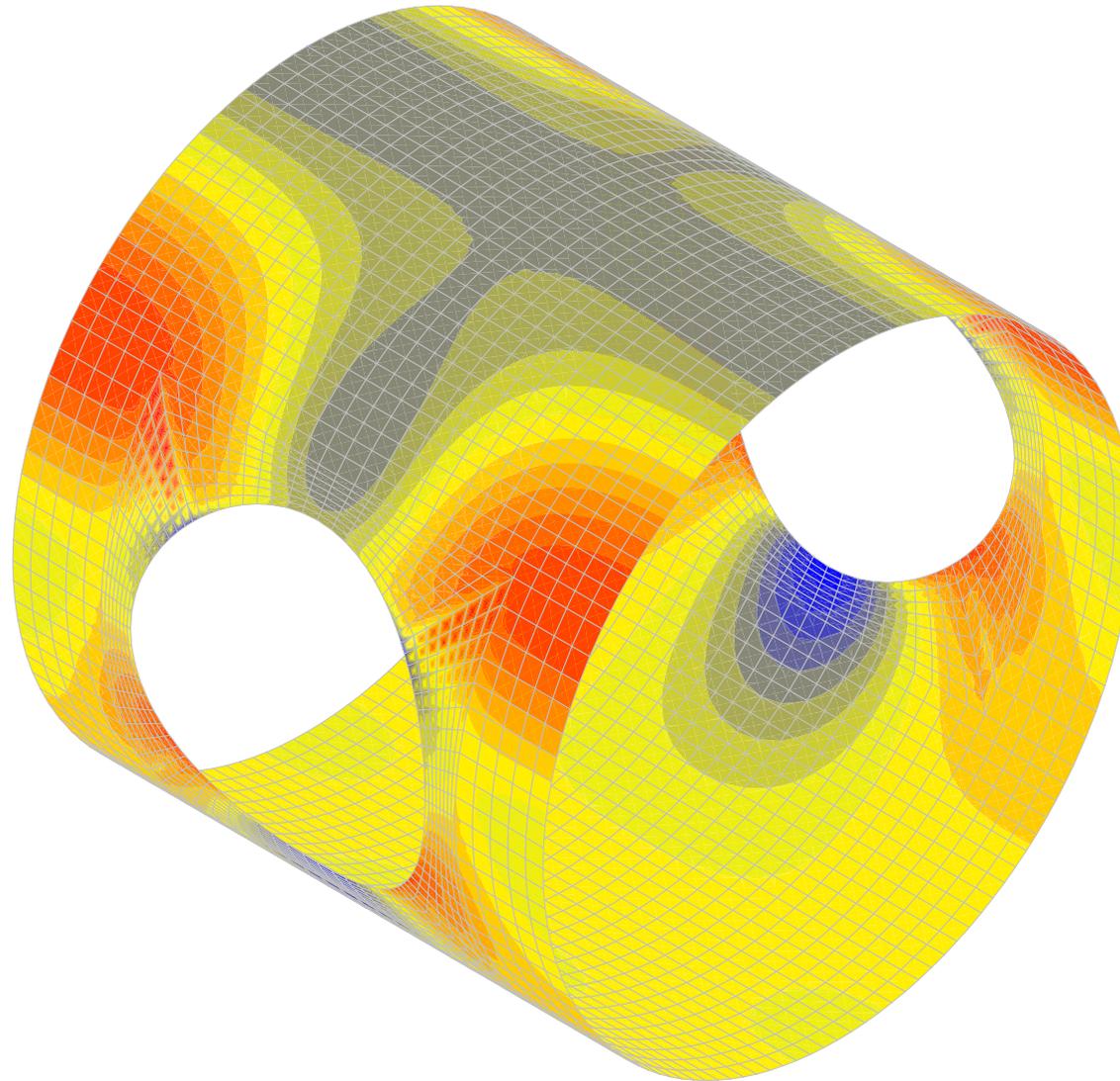


		Цилиндрическая оболочка с круговыми отверстиями	
		Результаты расчета	
		C1 - "(L1)*1+(L2)*1"	
			
SCAD версия : 21.1.3.1			
			



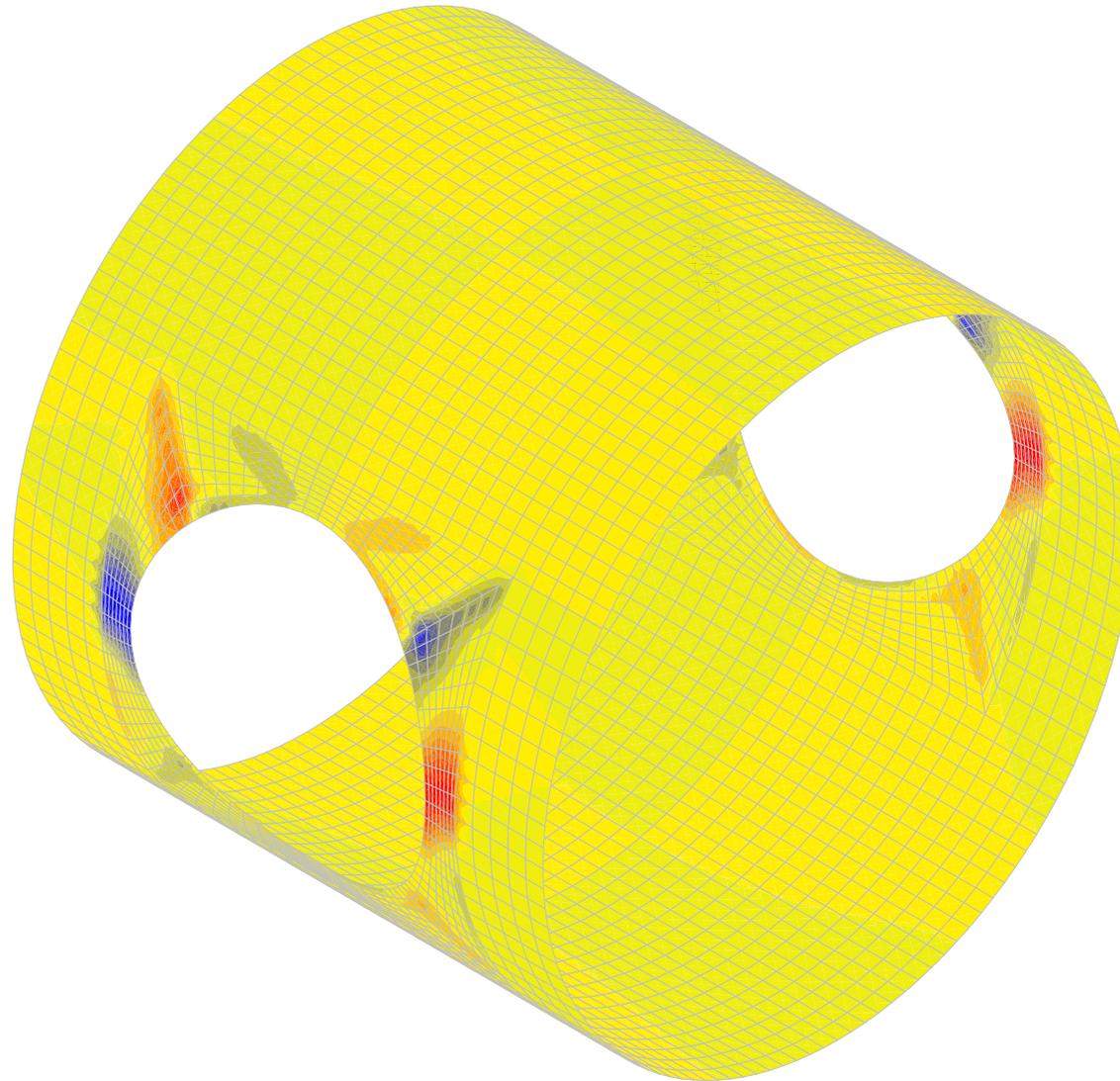
-1055	-956
-956	-857
-857	-758
-758	-659
-659	-561
-561	-462
-462	-363
-363	-264
-264	-165
-165	-66
-66	33
33	132
132	231
231	330
330	429
429	528

		Цилиндрическая оболочка с круговыми отверстиями	
		Результаты расчета	
		Напряжения	
		C1 - "(L1)*1+(L2)*1"	
	SCAD версия : 21.1.3.1	σ_x (Т/м ²)	



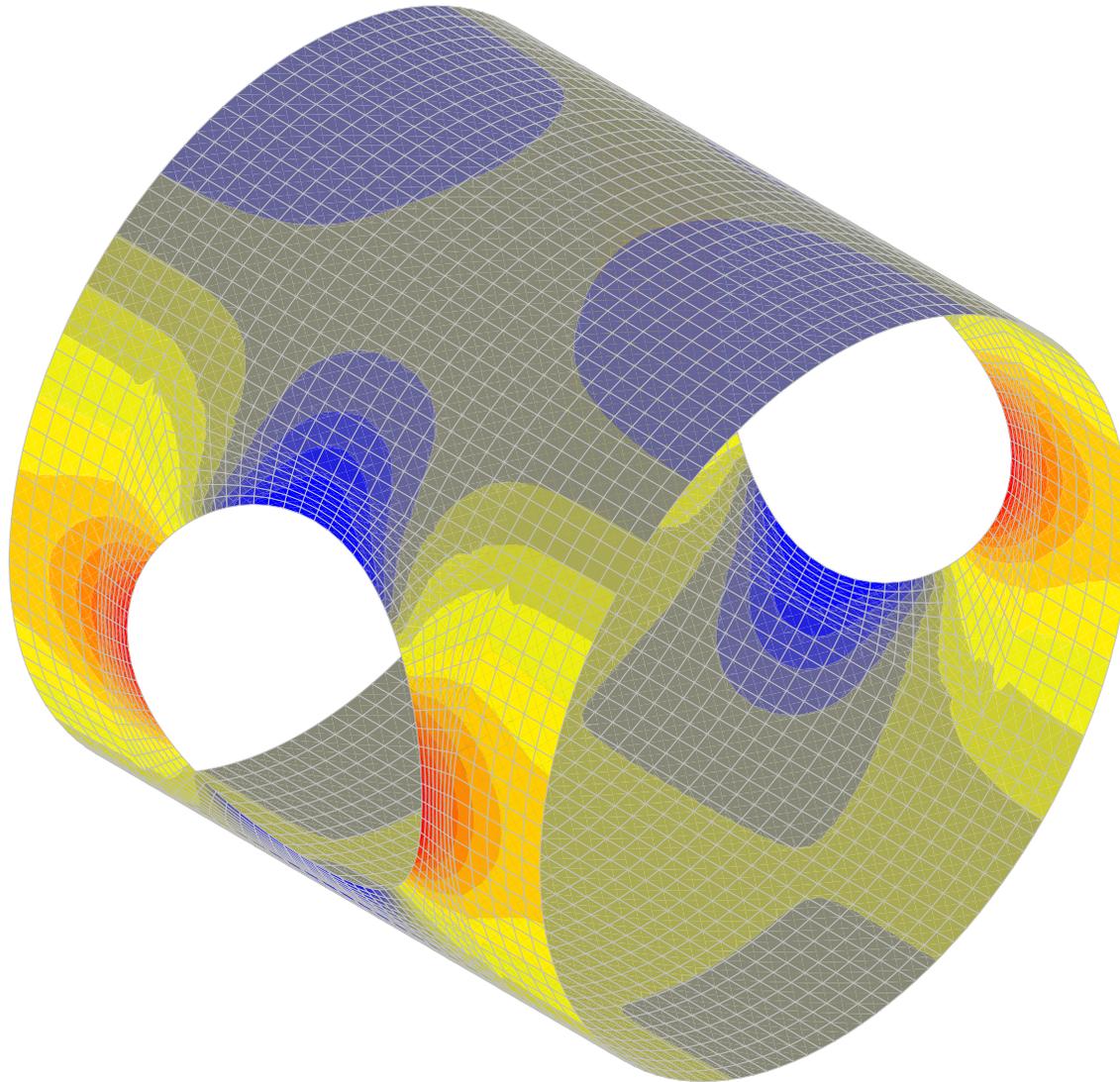
-191	-166
-166	-141
-141	-116
-116	-91
-91	-66
-66	-41
-41	-17
-17	8
8	33
33	58
58	83
83	108
108	132
132	157
157	182
182	207

		Цилиндрическая оболочка с круговыми отверстиями	
		Результаты расчета	
		Напряжения	
		C1 - "(L1)*1+(L2)*1"	
	SCAD версия : 21.1.3.1	M_x (Т*м/м)	



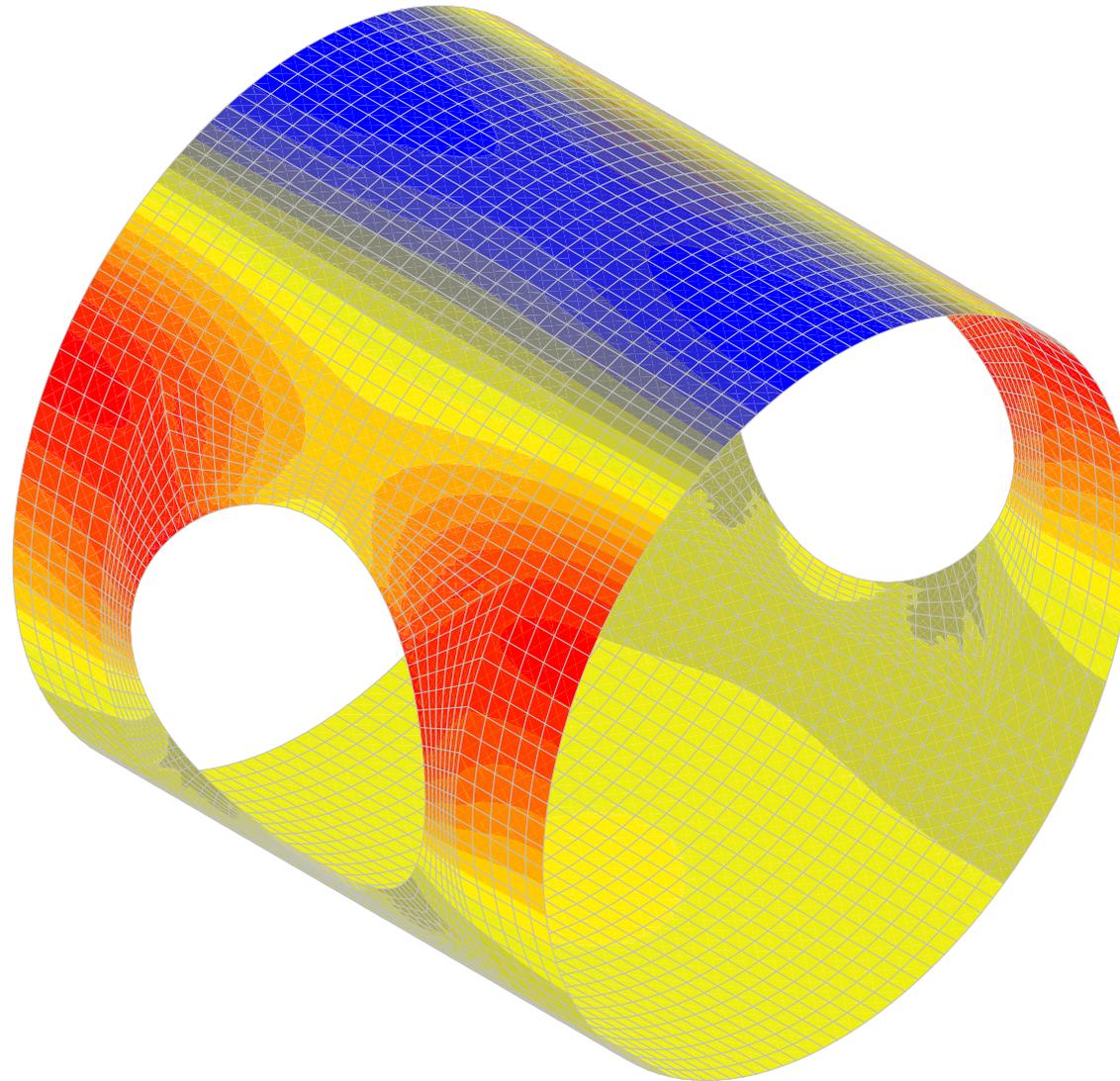
-855	-748
-748	-641
-641	-534
-534	-428
-428	-321
-321	-214
-214	-107
-107	0
0	107
107	214
214	321
321	428
428	534
534	641
641	748
748	855

		Цилиндрическая оболочка с круговыми отверстиями	
		Результаты расчета	
		Напряжения	
		C1 - "(L1)*1+(L2)*1"	
	SCAD версия : 21.1.3.1	Q _x (Т/м)	

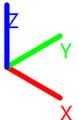


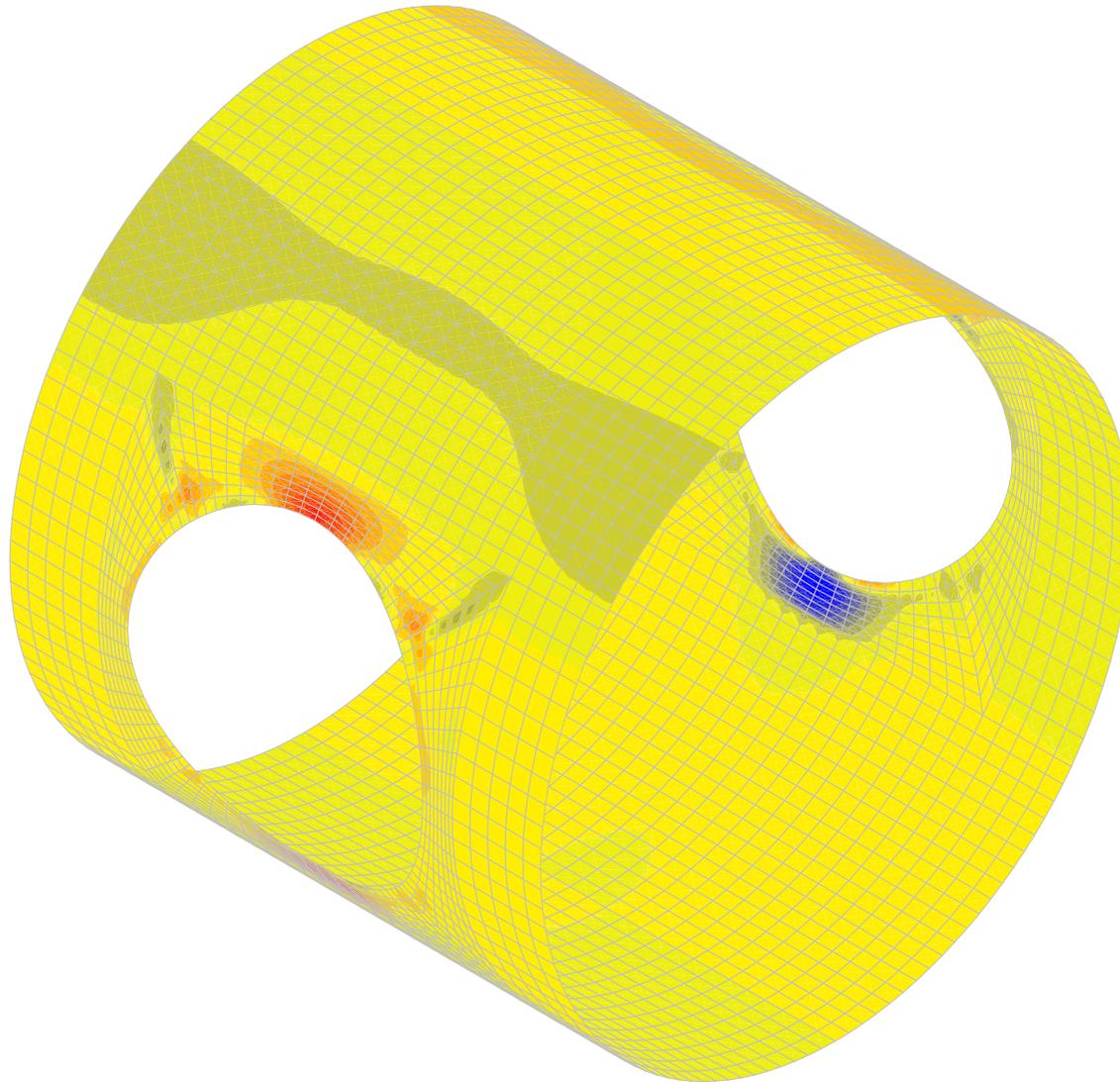
-3092	-2898
-2898	-2703
-2703	-2509
-2509	-2315
-2315	-2121
-2121	-1926
-1926	-1732
-1732	-1538
-1538	-1344
-1344	-1150
-1150	-955
-955	-761
-761	-567
-567	-373
-373	-178
-178	16

		Цилиндрическая оболочка с круговыми отверстиями	
		Результаты расчета	
		Напряжения	
		C1 - "(L1)*1+(L2)*1"	
	SCAD версия : 21.1.3.1	σ_y (Т/М ²)	

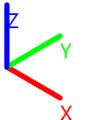


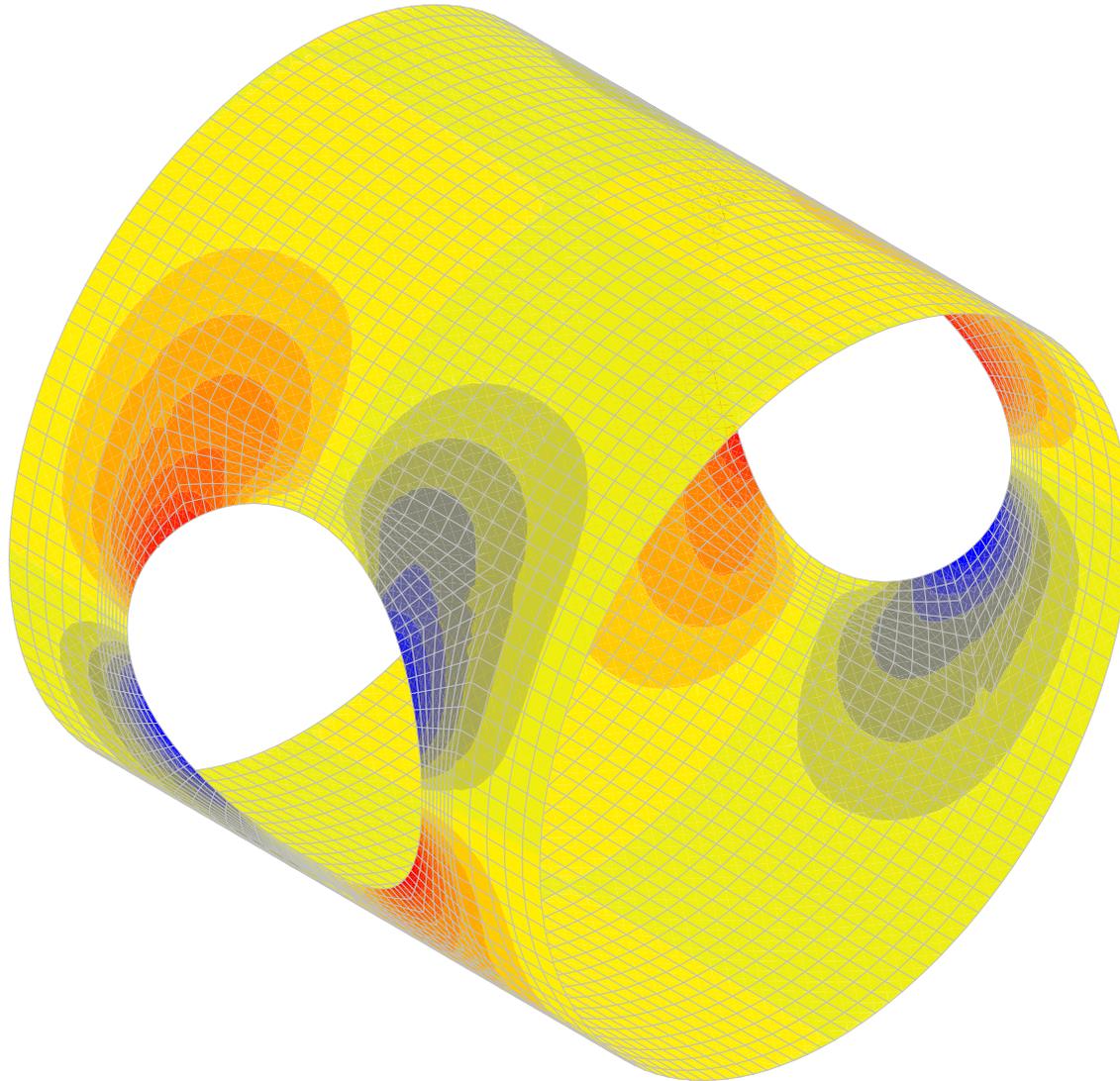
-485	-422
-422	-359
-359	-296
-296	-233
-233	-170
-170	-108
-108	-45
-45	18
18	81
81	144
144	207
207	269
269	332
332	395
395	458
458	521

		Цилиндрическая оболочка с круговыми отверстиями	
		Результаты расчета	
		Напряжения	
		C1 - "(L1)*1+(L2)*1"	
		M _y (Т*м/м)	
 SCAD версия : 21.1.3.1			

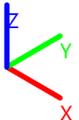


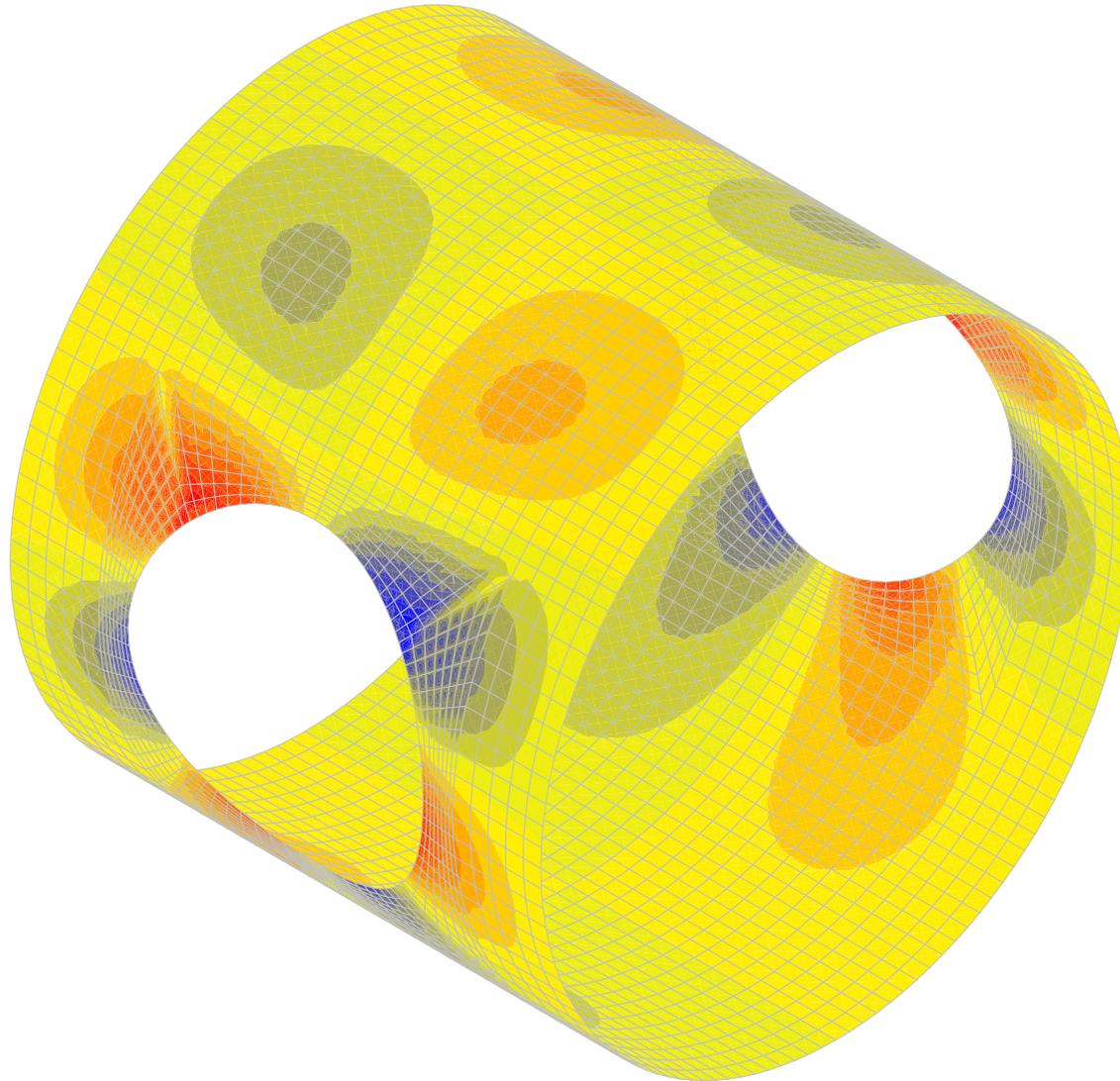
-850	-744
-744	-638
-638	-531
-531	-425
-425	-319
-319	-213
-213	-106
-106	0
0	106
106	213
213	319
319	425
425	531
531	638
638	744
744	850

		Цилиндрическая оболочка с круговыми отверстиями	
		Результаты расчета	
		Напряжения	
		C1 - "(L1)*1+(L2)*1"	
		Q _y (Т/м)	
 SCAD версия : 21.1.3.1			



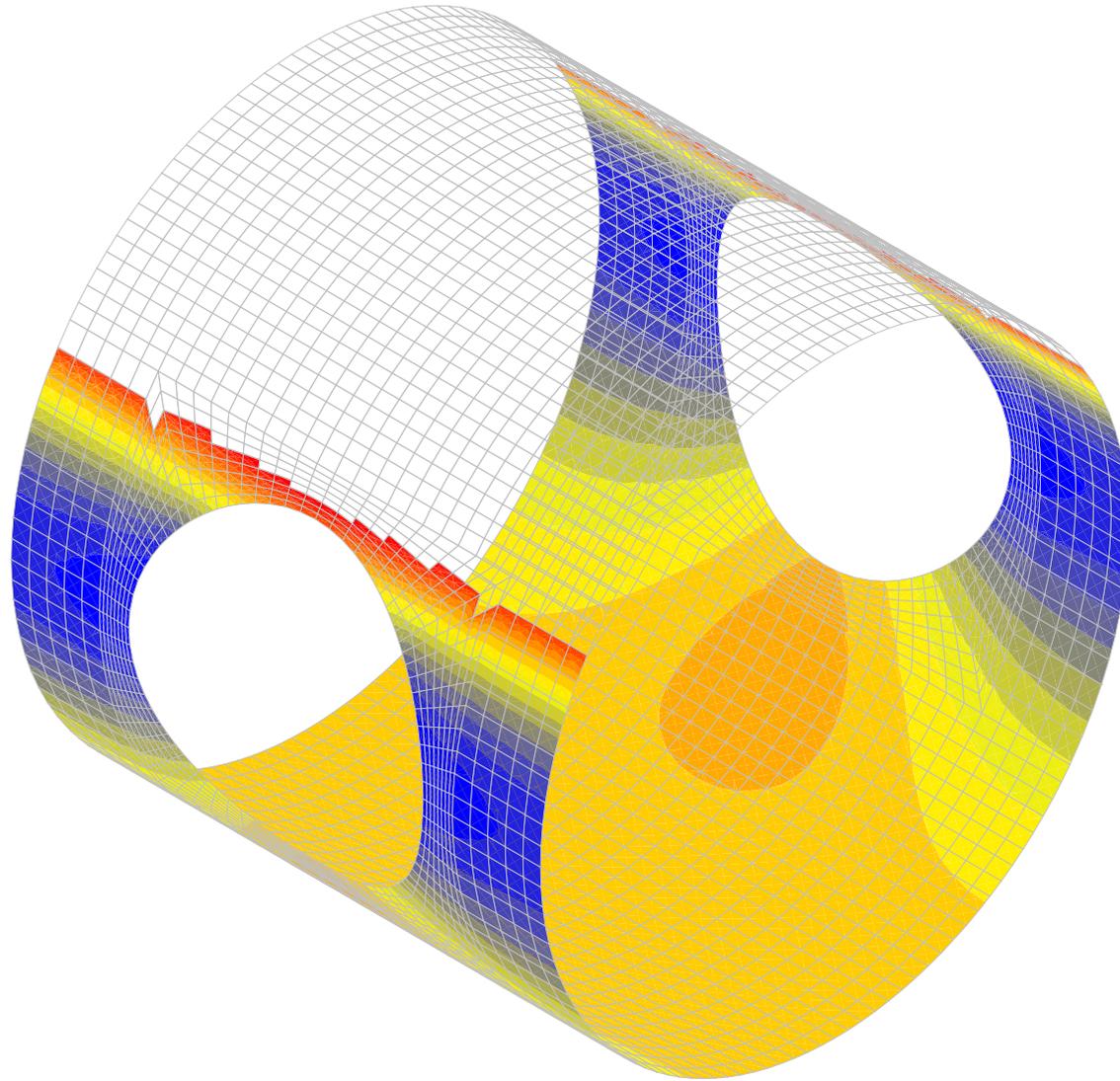
-1255	-1098
-1098	-941
-941	-784
-784	-628
-628	-471
-471	-314
-314	-157
-157	-0,1
-0,1	157
157	314
314	470
470	627
627	784
784	941
941	1098
1098	1255

		Цилиндрическая оболочка с круговыми отверстиями	
		Результаты расчета	
		Напряжения	
		C1 - "(L1)*1+(L2)*1"	
		τ_{xy} (Т/м ²)	
 SCAD версия : 21.1.3.1			



-159	-139
-139	-120
-120	-100
-100	-80
-80	-60
-60	-40
-40	-20
-20	-8e-003
-8e-003	20
20	40
40	60
60	80
80	100
100	119
119	139
139	159

		Цилиндрическая оболочка с круговыми отверстиями	
		Результаты расчета	
		Напряжения	
		C1 - "(L1)*1+(L2)*1"	
	SCAD версия : 21.1.3.1	M _{xy} (Т*м/м)	



-0,2	14
14	29
29	43
43	58
58	72
72	87
87	101
101	116
116	130
130	145
145	159
159	174
174	188
188	203
203	217
217	232

		Цилиндрическая оболочка с круговыми отверстиями	
		Результаты расчета	
		Напряжения	
		C1 - "(L1)*1+(L2)*1"	
	SCAD версия : 21.1.3.1	R_z (Т/м ²)	