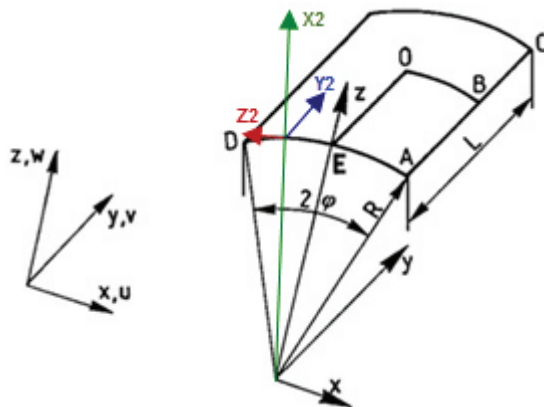


Тест 8.8 Цилиндрическая оболочка под собственным весом

Цель: Проверить сходимость перемещений середины свободного края цилиндрической оболочки при различных размерах сетки КЭ.

Формулировка задачи: Определить вертикальные перемещения середины свободного края цилиндрической оболочки при различных размерах сетки КЭ.

Описание расчетной схемы: Цилиндрическая оболочка, шарнирно опертая по торцевым (криволинейным) граням, нагруженная нагрузкой от собственного веса.



Аналитическое решение: A.C. Scordelis et K.S. Lo, "Computer analysis of cylindrical shells", J. Amer. Concr. Inst., 61, 1964.

Геометрия:

Радиус кривизны оболочки $R = 3\text{ м}$. Пролет оболочки $L = 6\text{ м}$.

Половина центрального угла дуги оболочки $\varphi = 40^\circ$. Толщина оболочки $h = 0.03\text{ м}$.

Характеристика материала:

Модуль упругости $E = 3 \times 10^{10} \text{ тс/м}^2$. Коэффициент Пуассона $\nu = 0.0$.

Граничные условия:

Вариант 1

Для корректного задания связей симметрии были заданы локальные оси узлов (цилиндрическая система координат: ось X_2 – по радиусу, ось Z_2 касательная к дуге AD , ось Y_2 вдоль пролёта L).

Шарнирно неподвижная опора по грани дуги AE – связи по направлениям степеней свободы X_2 , Z_2 , UY_2 ($u=0$, $w=0$, $\theta_Y = 0$).

Связи симметрии по линии EO – связи по Z_2 и вокруг Y_2 .

Связи симметрии по линии BO – связи по Y_2 и вокруг Z_2 .

Вариант 2

Рассматривается полная оболочка.

Шарнирно неподвижная опора по грани дуги AD и с другого торца – X , Z , UY ($u=0$, $w=0$, $\theta_Y = 0$).

Нагрузки:

Собственный вес ($q = 6370 \text{ тс/м}^2$).

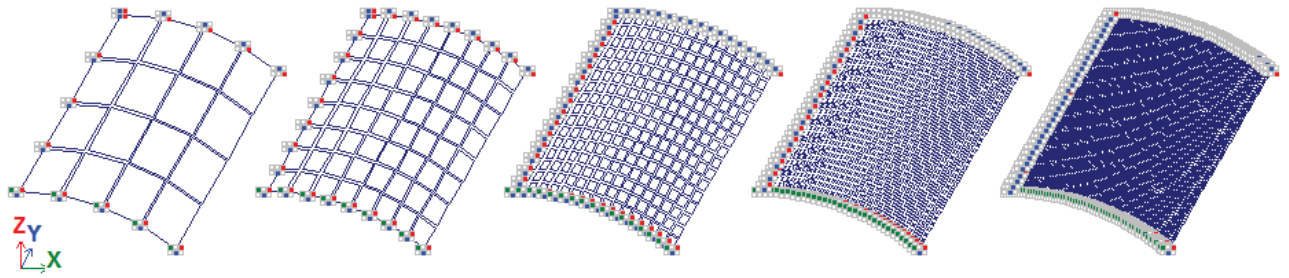
Примечание:

Задача решается в пространственной постановке (признак схемы 5).

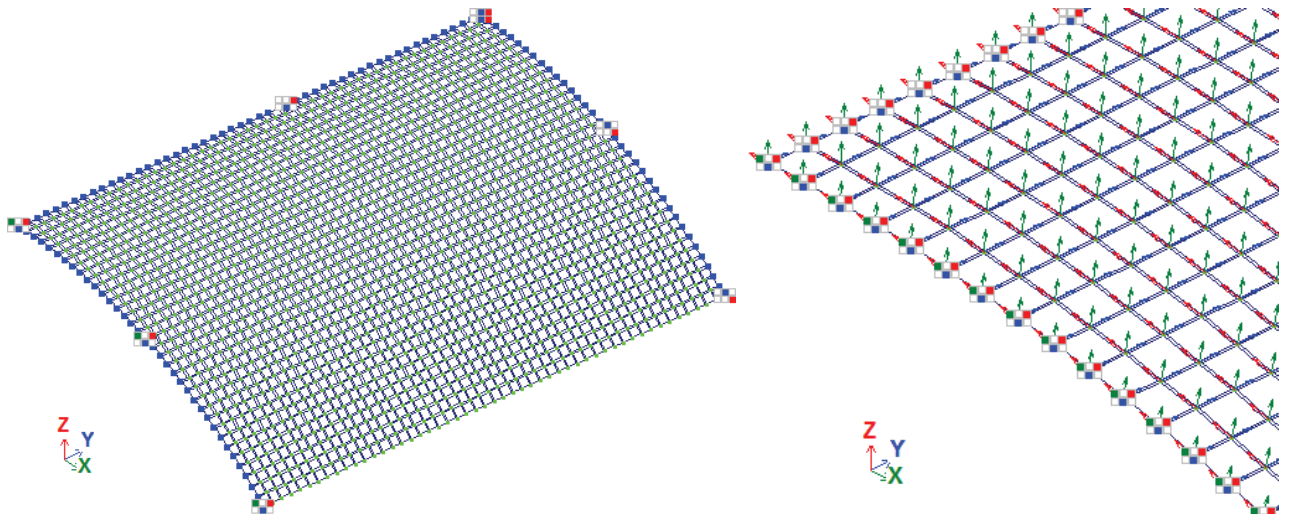
Для построения схемы использованы КЭ 41 – универсальный прямоугольный КЭ оболочки.

В расчетной схеме рассмотрен фрагмент оболочки (четверть). Для учета отсеченной части были приложены связи симметрии.

Рассматриваются расчетные схемы из 16 (сетка 4×4), 64 (сетка 8×8), 256 (сетка 16×16), 1024 (сетка 32×32) и 4096 (сетка 64×64) конечных элементов оболочки для четверти панели (соответственно в 4 раза больше элементов при рассмотрении полной оболочки).

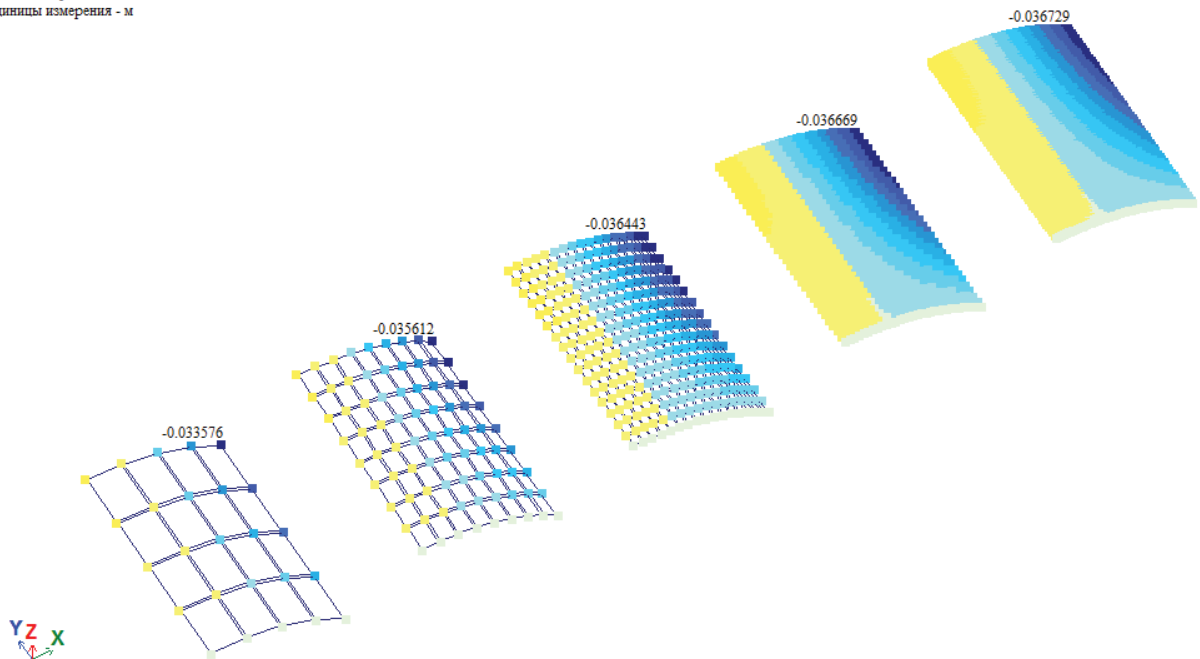
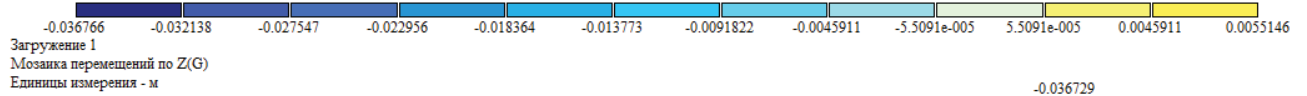


Различная триангуляция четверти оболочки

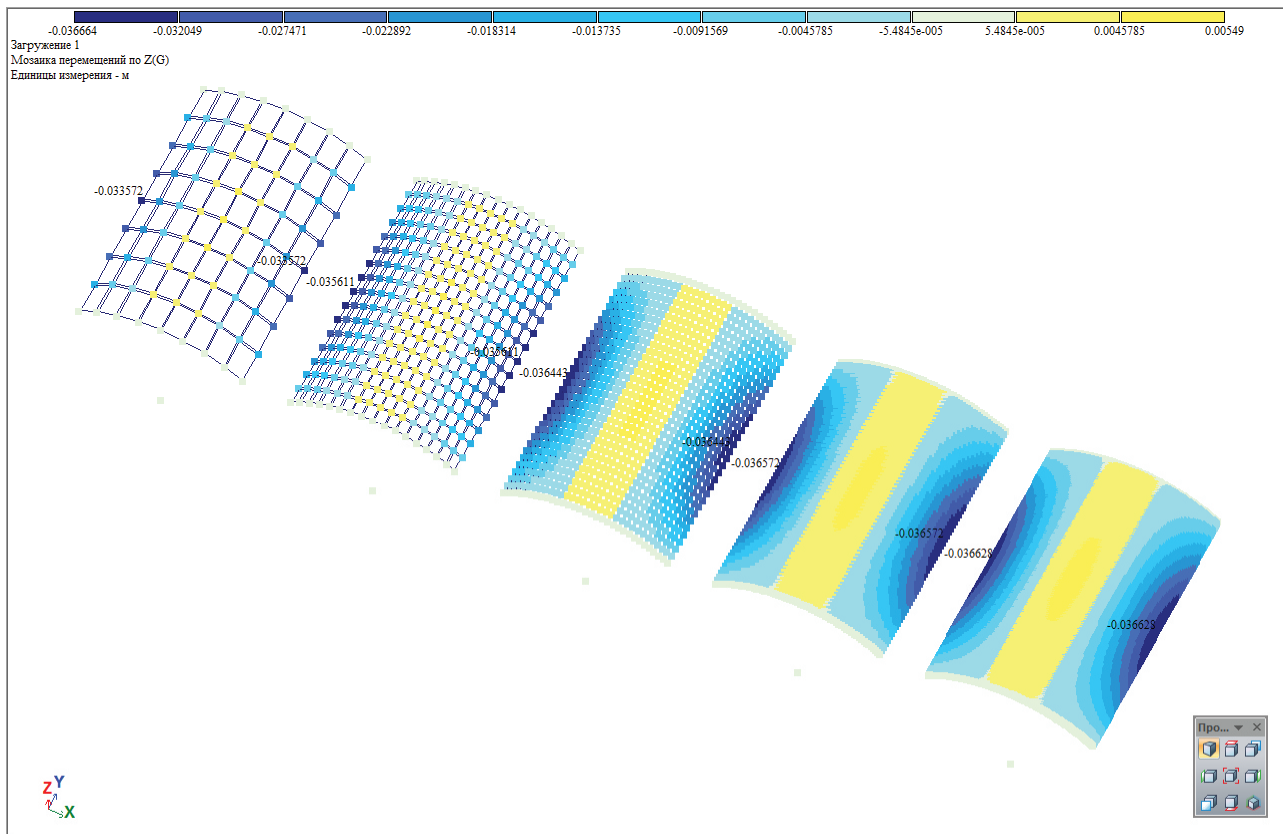


Заданные связи и направление локальной (цилиндрической) системы координат

Результаты расчета:



Мозаика перемещений для варианта 1 (четверть оболочки)



Мозаика перемещений для варианта 2 (полная оболочка)

СРАВНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЕТА:

Численное решение: сравнение с эталонным решением. В таблице приводятся значения вертикальных перемещений в точке А. Так же, приведены и нормированные значения вертикальных перемещений $w=w_a/w_{\text{эталон}}$.

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА:

Таблица 8.1

	Сетки					Эталон
	4x4	8x8	16x16	32x32	64x64	
Перемещения в точке В для четверти (вариант 1) $w_B, \text{ м}$	$-3.358 \cdot 10^{-2}$	$-3.561 \cdot 10^{-2}$	$-3.644 \cdot 10^{-2}$	$-3.667 \cdot 10^{-2}$	$-3.673 \cdot 10^{-2}$ [R5]	$-3.70 \cdot 10^{-2}$
Погрешность, %	9.243	3.757	1.514	0.892	0.730	-
Перемещения в точке В для полной обол. (вариант 2) $w_B, \text{ м}$	$*-3.357 \cdot 10^{-2}$	$*-3.561 \cdot 10^{-2}$	$*-3.644 \cdot 10^{-2}$	$*-3.657 \cdot 10^{-2}$	$*-3.663 \cdot 10^{-2}$	$-3.70 \cdot 10^{-2}$
Погрешность, %	9.243	3.757	1.514	1.162	1.000	-

Со сгущением сетки наблюдается монотонная сходимость (для варианта 1 быстрее, для варианта 2 медленнее).

* При отсутствии аналитического решения не ясно как был получен эталонный результат: рассчитывалась ли оболочка целиком или четверть, а если четверть, то как накладывались связи симметрии – в декартовой или цилиндрической системе координат.