

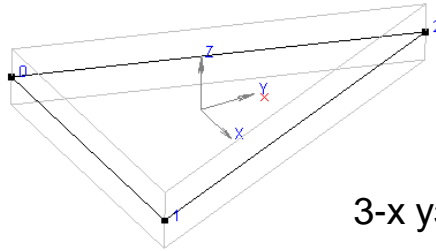
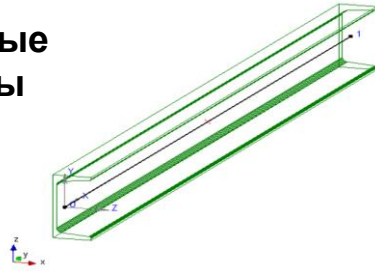


**АПМ**



**ГЛОБАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ  
линейных и нелинейных решений  
для всех типов конечных элементов**

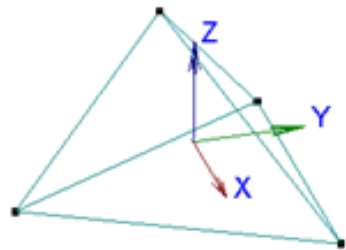
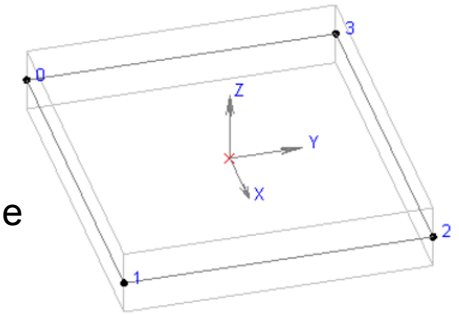
**Стержневые  
элементы**



3-х узловые

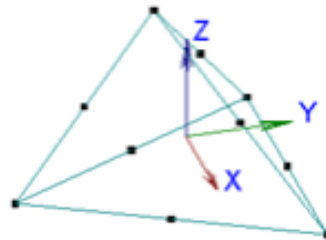
**Пластины**

4-х узловые

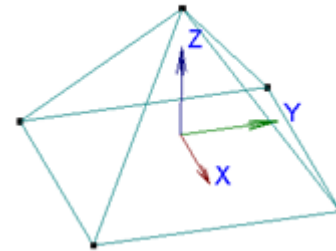


4-х узловые

**Тетраэдры**

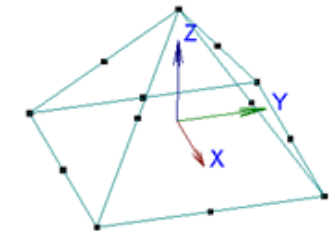


10-е узловые

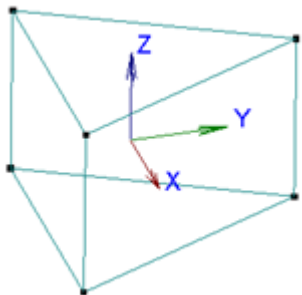


5-ти узловые

**Пирамиды**

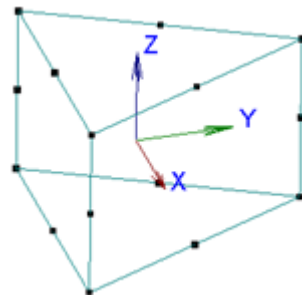


13-е узловые

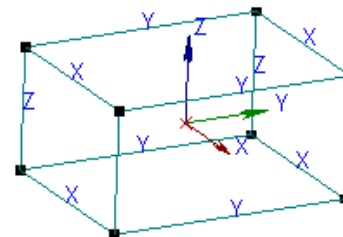


6-ти узловые

**Призмы**

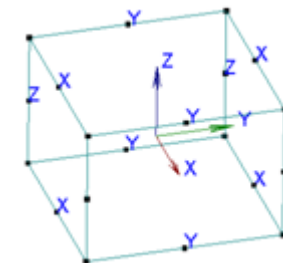


15-ти узловые



8-ми узловые

**Гексаэдры**

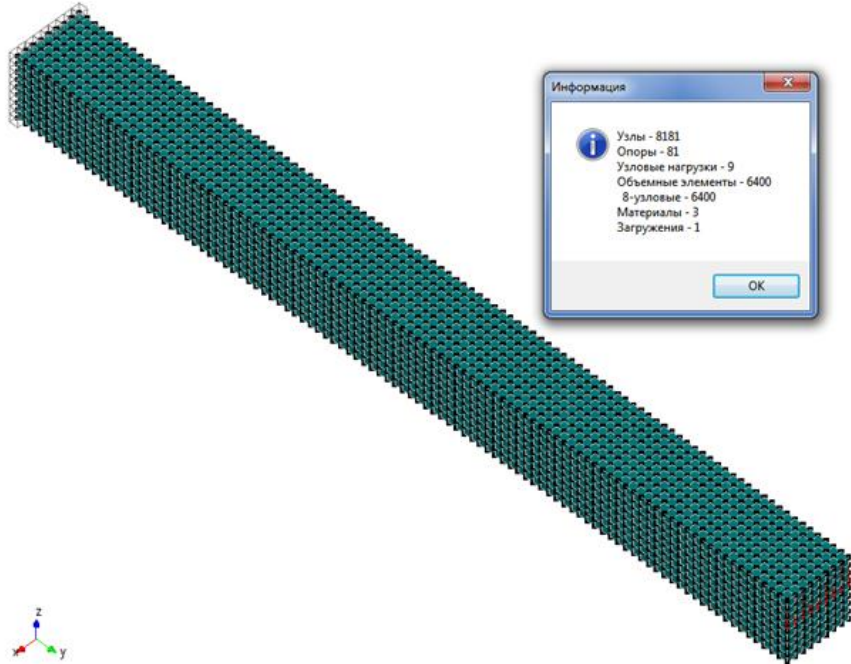
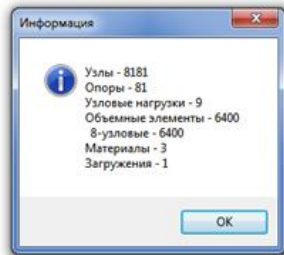


20-ти узловые



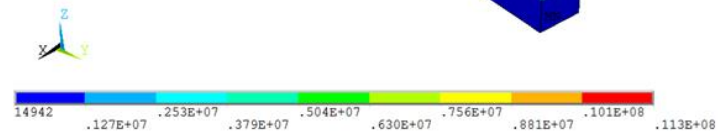
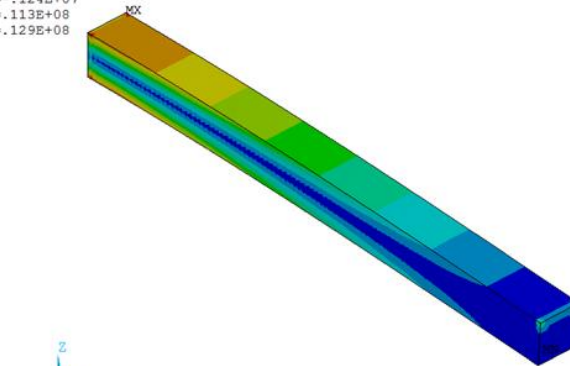
### Информация о КЭ сетке

	Тетраэдры 4-х узловые	Пирамиды 5-ти узловые	Призмы 6-ти узловые	Гексаэдры 8-ми узловые
Кол-во узлов	11720	14581	8181	8181
Кол-во КЭ	56770	38400	12800	6400
	10-ти узловые	13-ти узловые	15-ти узловые	20-ти узловые
Кол-во узлов	85208	88425	41825	30825
Кол-во КЭ	56770	38400	14600	6400



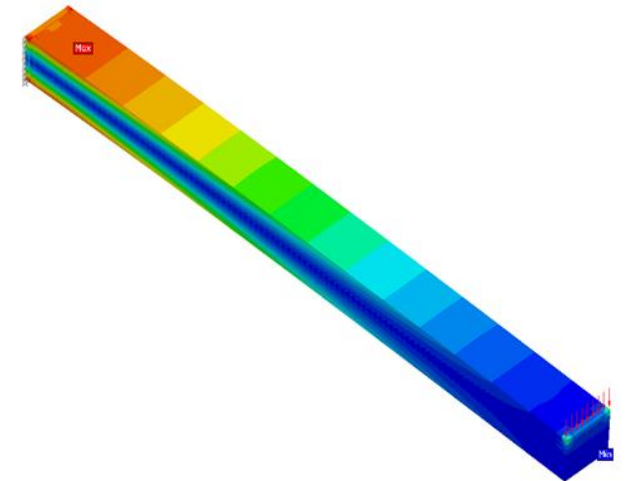
КЭ сетка из 8-ми узловых гексаэдров

STEP=1  
SUB =1  
TIME=1  
SEQV (NOAVG)  
DMX =.436E-03  
SMN =14942  
SMNB=-.124E+07  
SMX =.113E+08  
SMXB=-.129E+08



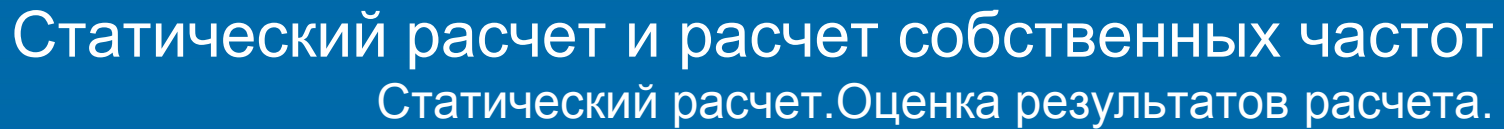
ANSYS

Stress (vonMises)  
1.13E+08  
1.06E+07  
9.91E+06  
9.20E+06  
8.49E+06  
7.79E+06  
7.08E+06  
6.37E+06  
5.67E+06  
4.96E+06  
4.25E+06  
3.55E+06  
2.84E+06  
2.13E+06  
1.42E+06  
7.10E+05  
1.84E+04



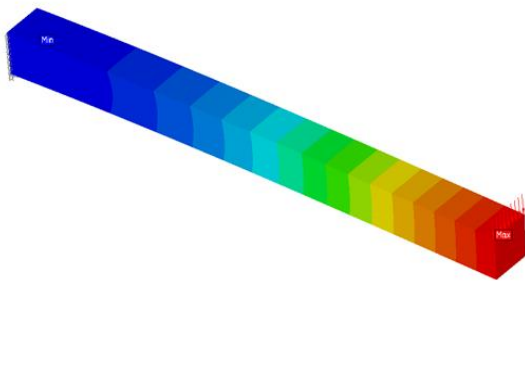
APM Structure3D

Карта суммарных напряжений по Мизесу



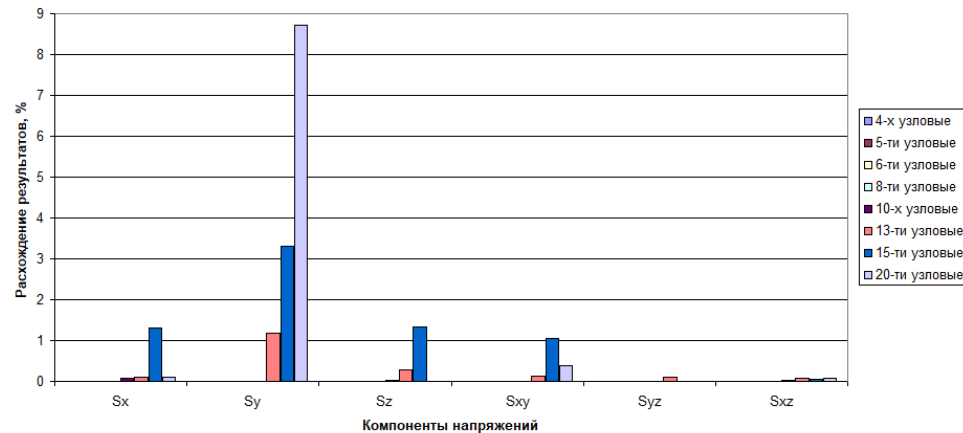
USUM(u)

0.0004363  
0.000409  
0.0003817  
0.0003545  
0.0003272  
0.0002999  
0.0002727  
0.0002454  
0.0002181  
0.0001909  
0.0001636  
0.0001363  
0.0001091  
8.18e-05  
5.453e-05  
2.727e-05  
0



## APM Structure3D

- Максимальное расхождение результатов расчета напряжений в процентном соотношении между APM Structure 3D и Ansys составило **8,73%** для 20-ти узловых КЭ. В абсолютных значениях данное расхождение равно **0,1011 Па**.
- Максимальное расхождение результатов расчета напряжений в абсолютных значениях между APM Structure 3D и Ansys составило 4,8929 Па для 4-х узловых КЭ. В процентном соотношении данное расхождение менее **0,01%**.





# Статический расчет и расчет собственных частот

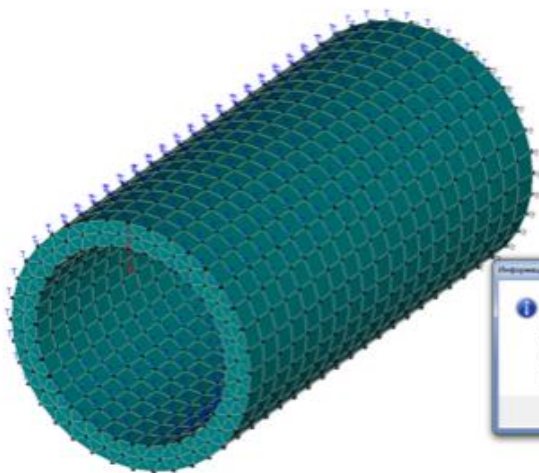
## Оценка результатов расчета. Расчет собственных частот

Тетраэдры				
№ собственной частоты	ANSYS	APM Structure3D	Погрешность результатов	
1	66,522	66,521	0%	
2	66,538	66,537	0%	
3				
4	Пирамиды			
№ собственной частоты	ANSYS	APM Structure3D	Погрешность результатов	
1	65,892	65,892	0%	
2	65,892	65,892	0%	
3				
4	Призмы			
№ собственной частоты	ANSYS	APM Structure3D	Погрешность результатов	
1	65,756	65,756	0%	
2	65,856	65,855	0%	
3				
4	Гексаэдры			
№ собственной частоты	ANSYS	APM Structure3D	Погрешность результатов	
1	65,381	65,669	0%	
2	65,381	65,669	0%	
3	398,29	399,99	0%	
4	398,29	399,99	0%	
5	726,91	726,997	0%	
6	1070	1074,41	0%	
7	1070	1074,41	0%	
8	1269,1	1269,22	0%	
9	1987,5	1995,34	0%	
10	1987,5	1995,34	0%	
11	2180,9	2181,22	0%	
12	3094,2	3105,8	0%	
13	3094,2	3105,8	0%	
14	3635,5	3636,14	0%	
15	3804,1	3804,57	0%	
16	4338,8	4354,51	0%	
17	4338,8	4354,51	0%	
18	5091	5092,21	0%	
19	5683,2	5703,19	0%	
20	5683,2	5703,19	0%	
21	6329,5	6330,35	0%	
22	6547,9	6549,91	0%	
23	7099,5	7124,01	0%	
24	7099,5	7124,01	0%	
25	8006,5	8009,7	0%	
26	8567,8	8596,97	0%	
27	8567,8	8596,97	0%	
28	8837,7	8839,33	0%	
29	9467,2	9472,05	0%	
30	10073	10107,5	0%	

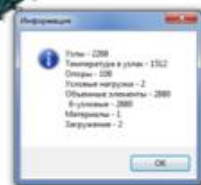
Сравнивались результаты расчета первых 30 собственных частот для различных типов объемных КЭ.

При вычислении собственных частот использовался метод решения Ланцош

10-узловые тетраэдры				
№ собственной частоты	ANSYS	APM Structure3D	Погрешность результатов	
1	65 354	65 354	0%	
2	65 355	65 355	0%	
13-узловые пирамиды				0%
№ собственной частоты	ANSYS	APM Structure3D	Погрешность результатов	0%
1	65 337	65 337	0%	0%
2	65 337	65 337	0%	0%
15-узловые призмы				0%
№ собственной частоты	ANSYS	APM Structure3D	Погрешность результатов	0%
1	65 357	65 357	0%	0%
2	65 357	65 357	0%	0%
3			0%	0%
20-узловые гексаэдры				0%
№ собственной частоты	ANSYS	APM Structure3D	Погрешность результатов	0%
1	65 36	65 36	0%	0%
2	65 36	65 36	0%	0%
3	397 98	397 983	0%	0%
4	397 98	397 983	0%	0%
5	722 04	722 042	0%	0%
6	1068 4	1068 45	0%	0%
7	1068 4	1068 45	0%	0%
8	1268 9	1268 92	0%	0%
9	1982 8	1982 77	0%	0%
10	1982 8	1982 77	0%	0%
11	2166 1	2166 09	0%	0%
12	3083 5	3083 51	0%	0%
13	3083 5	3083 51	0%	0%
14	3610	3610 02	0%	0%
15	3803 2	3803 21	0%	0%
16	4318 9	4318 94	0%	0%
17	4318 9	4318 94	0%	0%
18	5053 8	5053 76	0%	0%
19	5650 4	5650 41	0%	0%
20	5650 4	5650 41	0%	0%
21	6326 6	6326 59	0%	0%
22	6497 2	6497 24	0%	0%
23	7049 7	7049 73	0%	0%
24	7049 7	7049 73	0%	0%
25	7940 4	7940 39	0%	0%
26	8496 6	8496 56	0%	0%
27	8496 6	8496 56	0%	0%
28	8830 9	8830 87	0%	0%
29	9383 1	9383 12	0%	0%
30	9976	9975 99	0%	0%

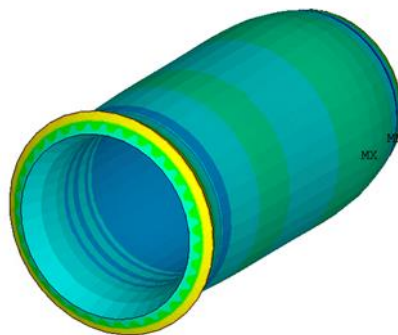


КЭ сетка  
6-ти узловых призм



```
STEP=1
SUB =1
TIME=1
SEQV (NOAVG)
DMX =.121E-04
SMN =.110E+08
SMX =.600E+08
```

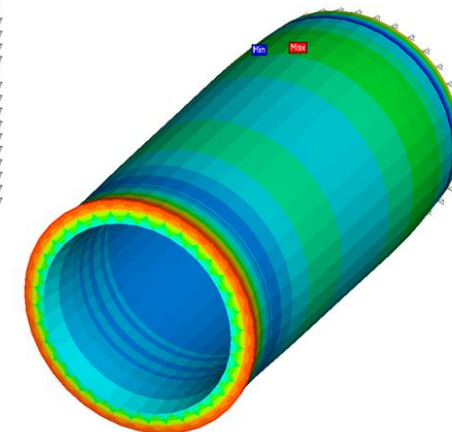
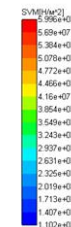
ANSYS



Эквивалентные  
напряжения

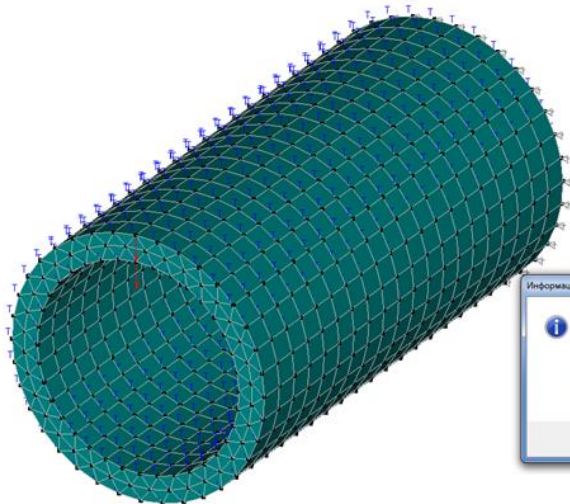


APM Structure3D

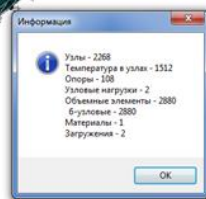


- Максимальное расхождение результатов расчета напряжений в APM Structure 3D и Ansys для **6-ти узловых элементов** составило **17,56%**. В абсолютных значениях данное расхождение равно **0,049330 МПа**. При этом в остальных узлах данного элемента действующие напряжения в МПа.
- Максимальное расхождение результатов расчета напряжений в APM Structure 3D и Ansys для **15-ти узловых элементов** составило **менее 0,01%**. В абсолютных значениях данное расхождение равно  **$4,99312 \cdot 10^{-5}$  Па**.
- Сравнивались экстремальные значения на картах результатов расчета напряжений и перемещений, *без усреднения значений по узлам*.



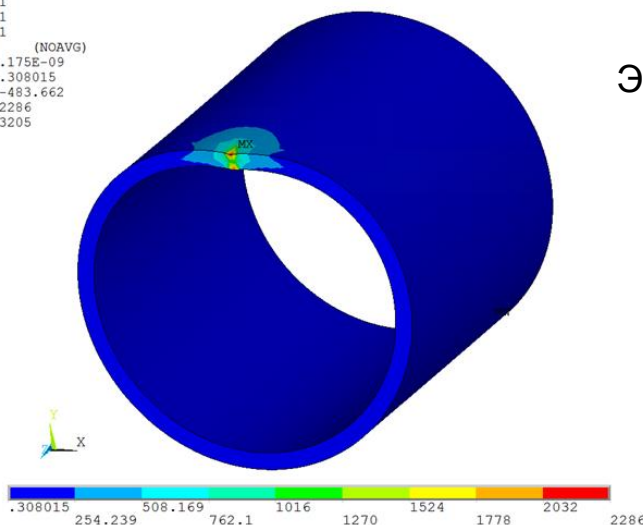


КЭ сетка  
6-ти узловых призм



```
STEP=1
SUB =1
TIME=1
SEQV (NOAVG)
DMX =.175E-09
SMN =-.308015
SMNB=-483.662
SMX =2286
SMXB=3205
```

ANSYS

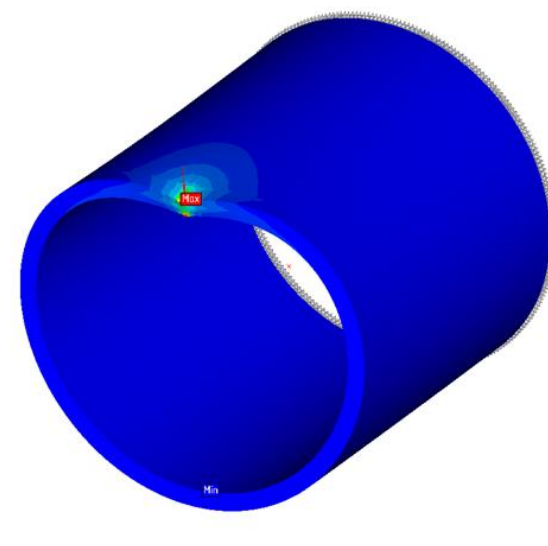


Эквивалентные  
напряжения

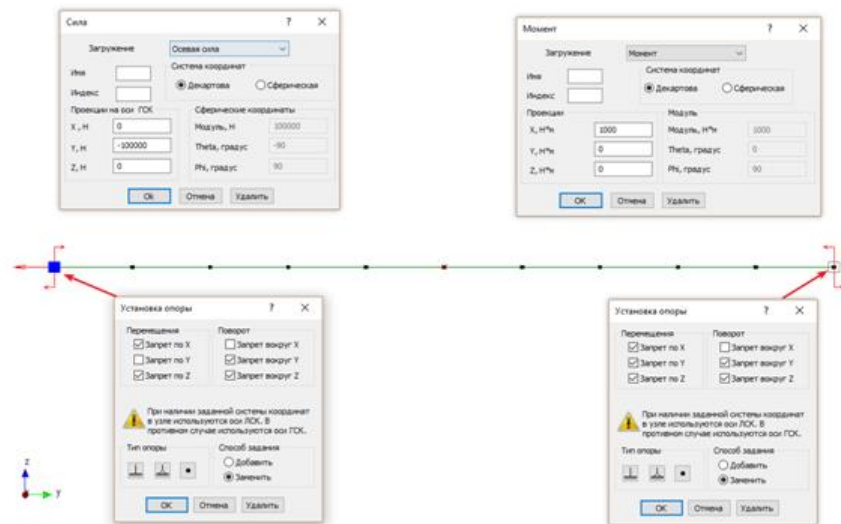
SVM(N/mm²)

2286
2143
2000
1857
1714
1571
1429
1286
1143
1000
857.2
714.4
571.5
428.7
285.9
143
0.1407

APM Structure3D



- Максимальное расхождение результатов расчета напряжений в APM Structure 3D и Ansys для **6-ти узловых элементов** составило **11,07%**. В абсолютных значениях данное расхождение равно **0,1132 Па**.
- Максимальное расхождение результатов расчета напряжений в APM Structure 3D и Ansys для **15-ти узловых элементов** составило **менее 0,01%**. В абсолютных значениях данное расхождение равно **0,00005 Па**.
- Сравнивались экстремальные значения на картах результатов расчета напряжений и перемещений, *без усреднения значений по узлам*.

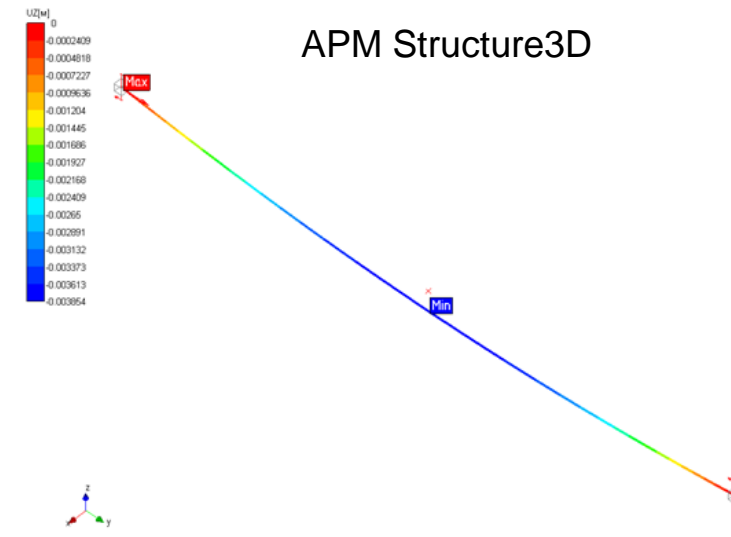
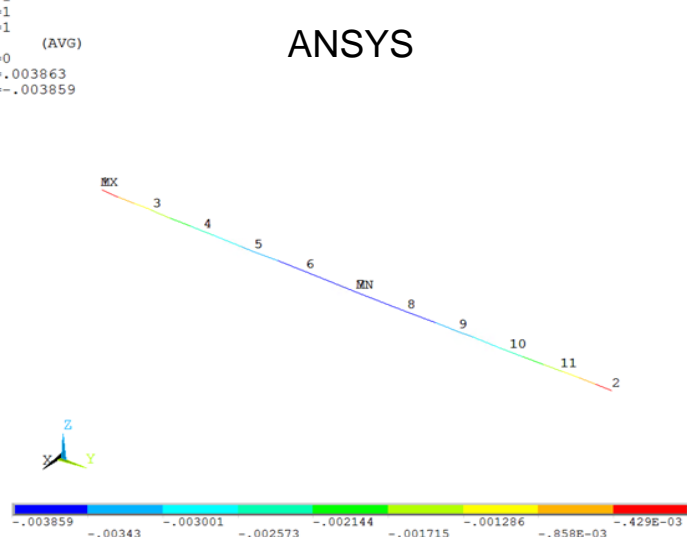


STEP=1  
SUB =1  
TIME=1  
UZ (AVG)  
RSYS=0  
DMX = .003863  
SMN = -.003859

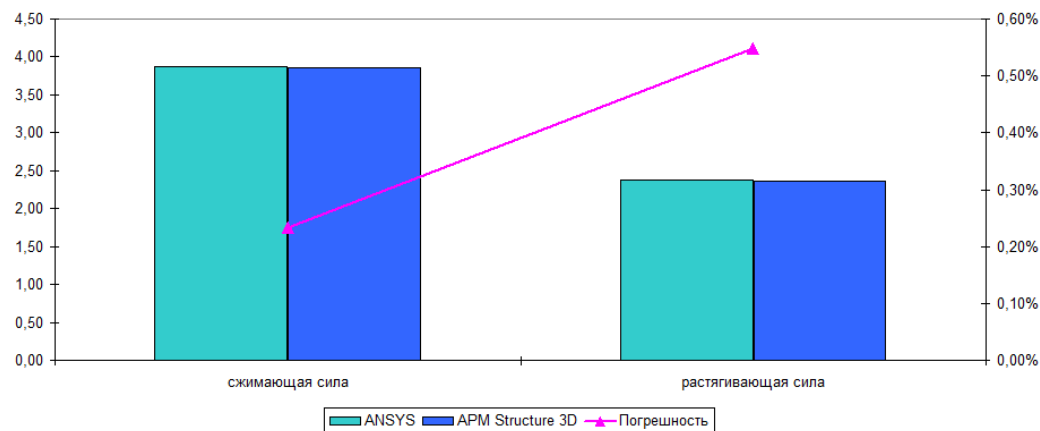
ANSYS

Перемещения вдоль оси Z

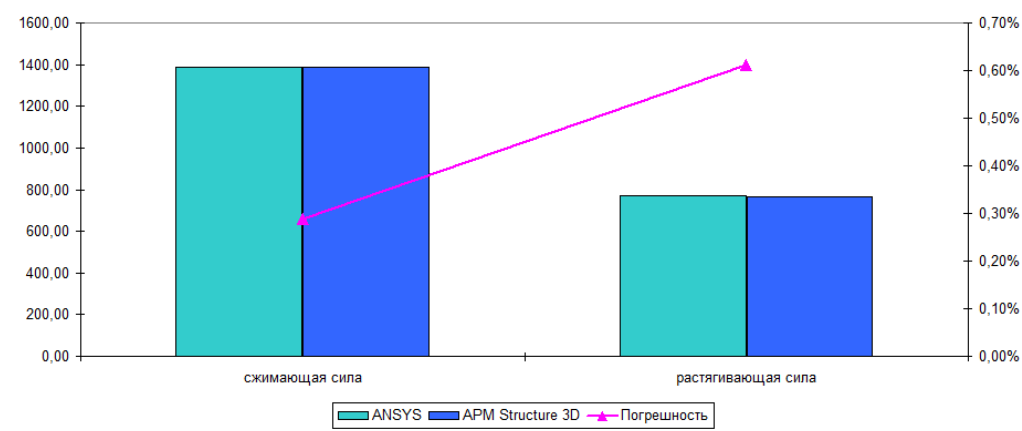
APM Structure3D



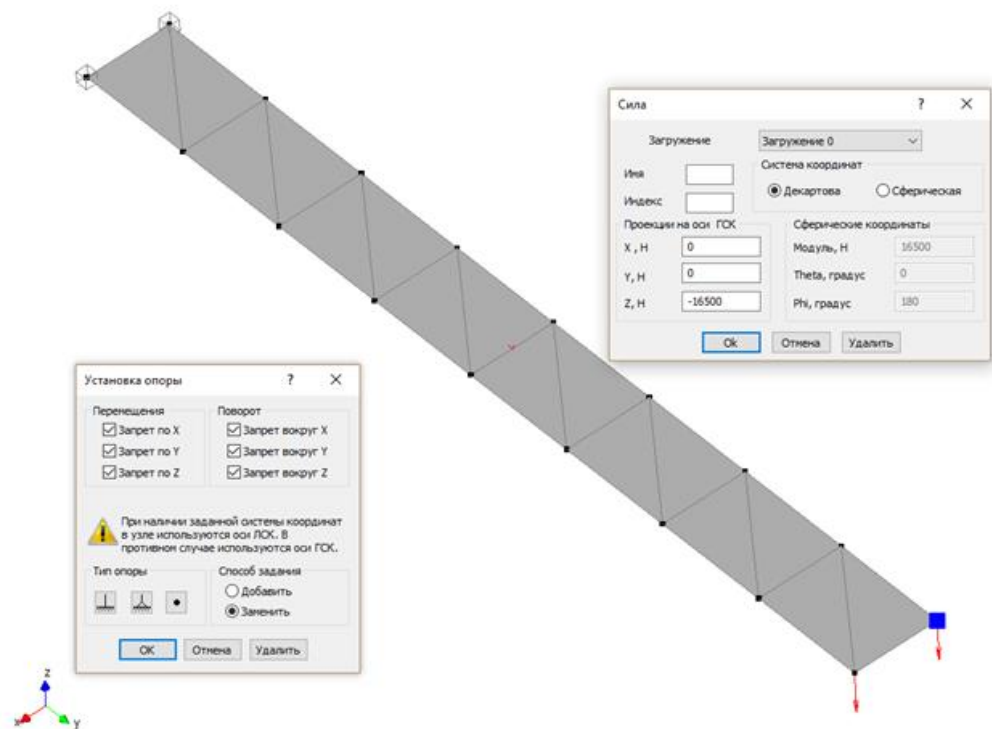
Максимальный прогиб, мм



Изгибающий момент в середине пролета, Н\*м

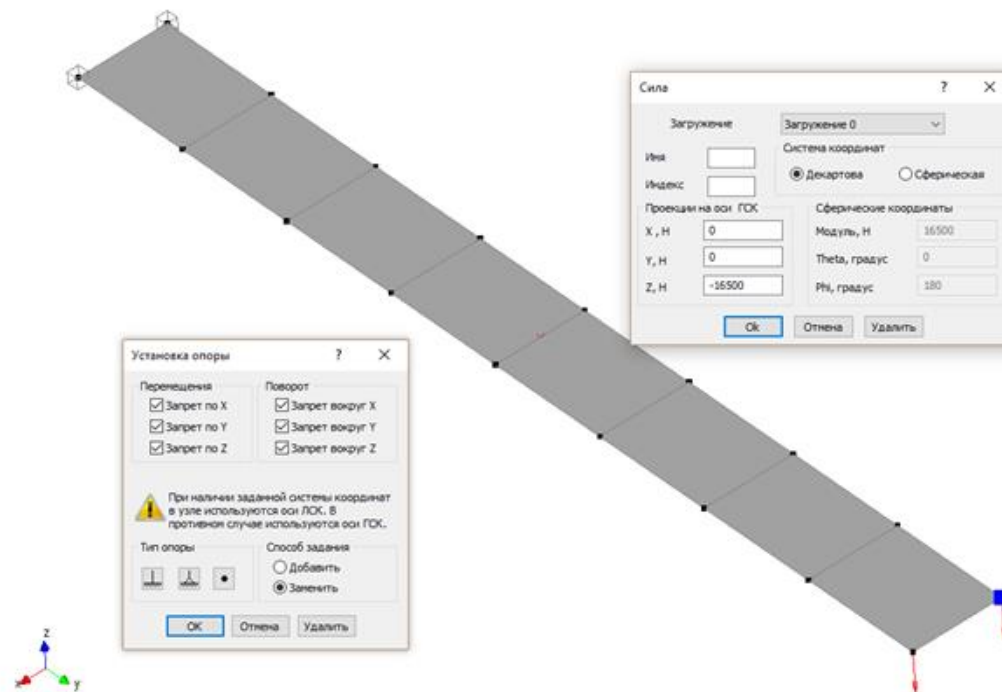






3-х узловые пластины

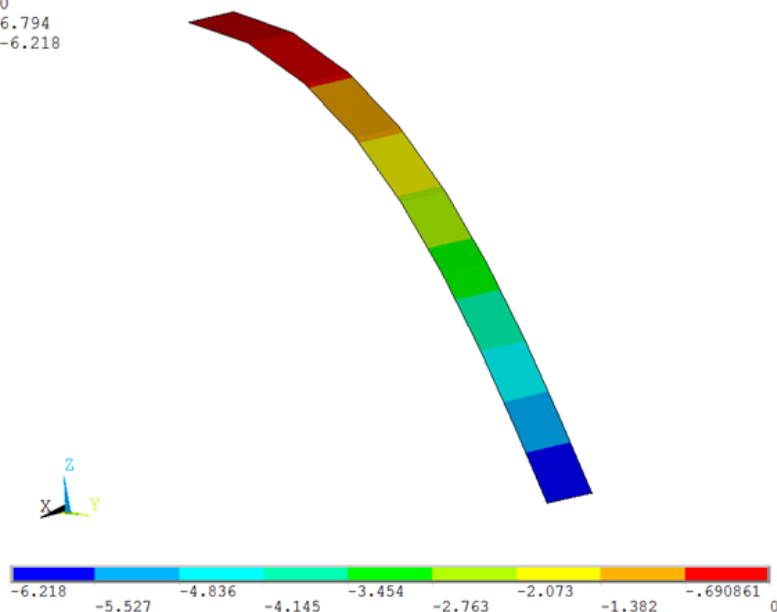
КЭ сетки



4-х узловые пластины

STEP=1  
SUB =7  
TIME=1  
UZ (AVG)  
RSYS=0  
DMX =6.794  
SMN =-6.218

ANSYS



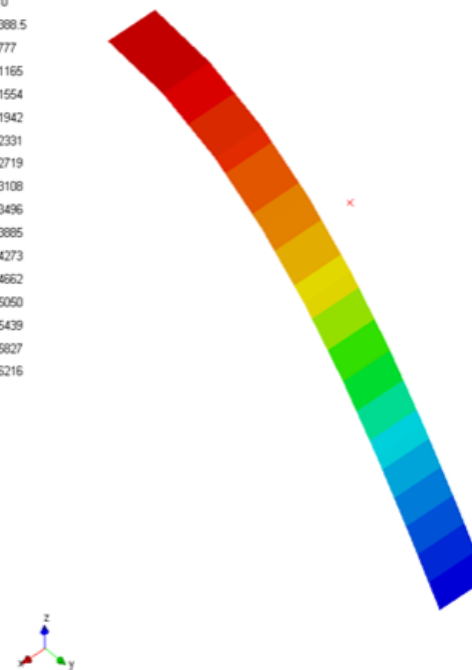
Перемещения по оси Z, м

Перемещения  
по оси Z

	3-х узловые пластины	4-х узловые пластины
ANSYS	6,218	6,220
APM Structure 3D	6,216	6,208
Погрешность	0,03%	0,19%

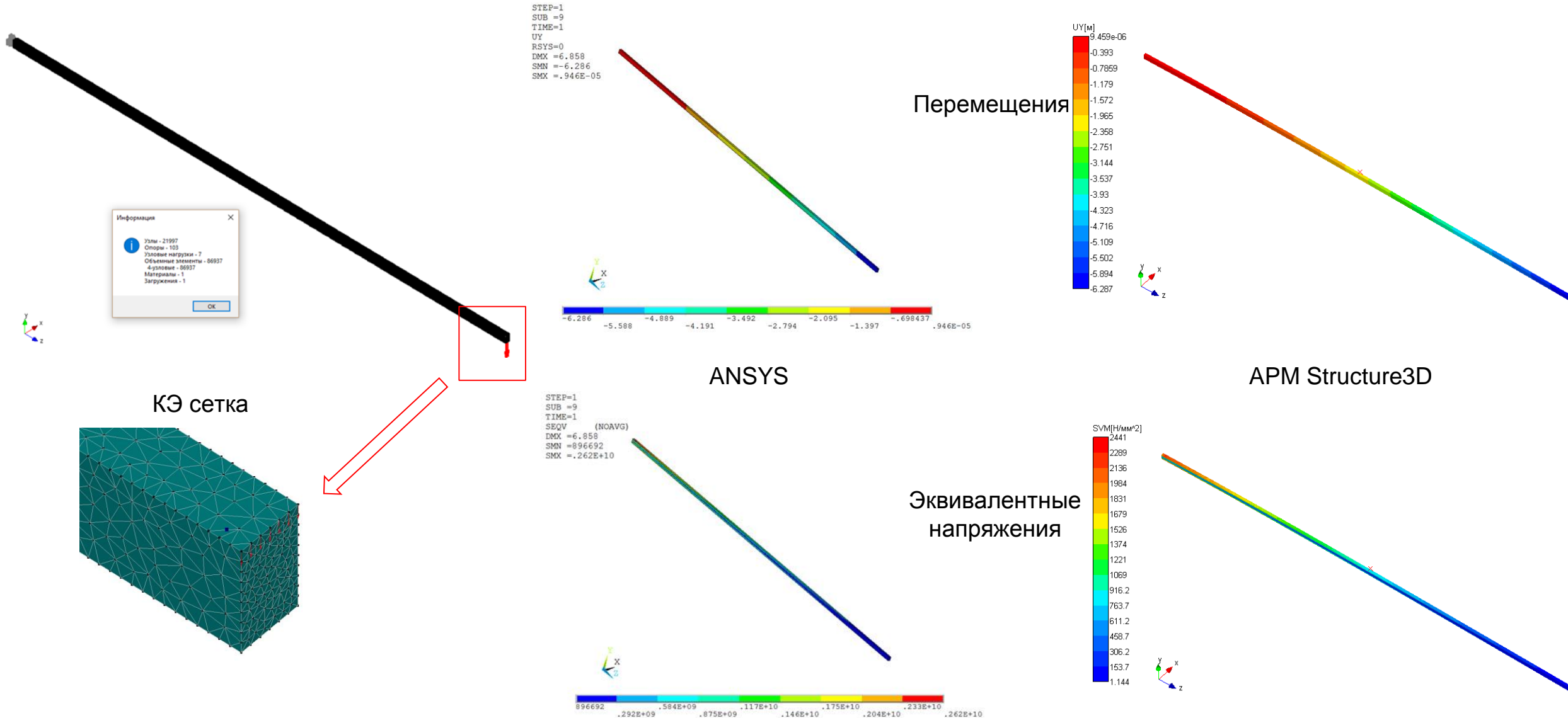
APM Structure3D

UZ[mm]  
0  
-388.5  
-777  
-1165  
-1554  
-1942  
-2331  
-2719  
-3108  
-3496  
-3885  
-4273  
-4662  
-5050  
-5439  
-5827  
-6216

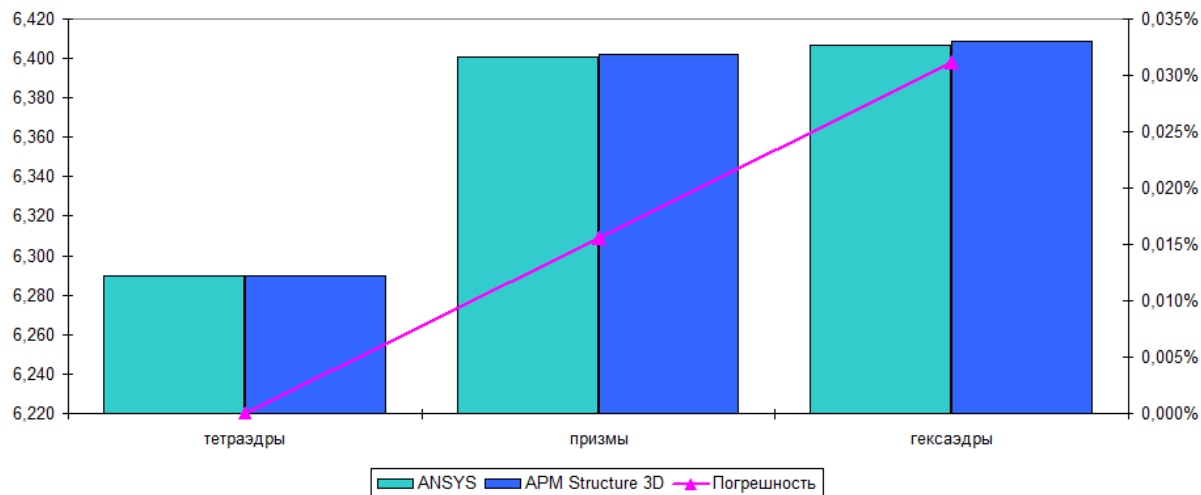


Перемещения по оси Y, м

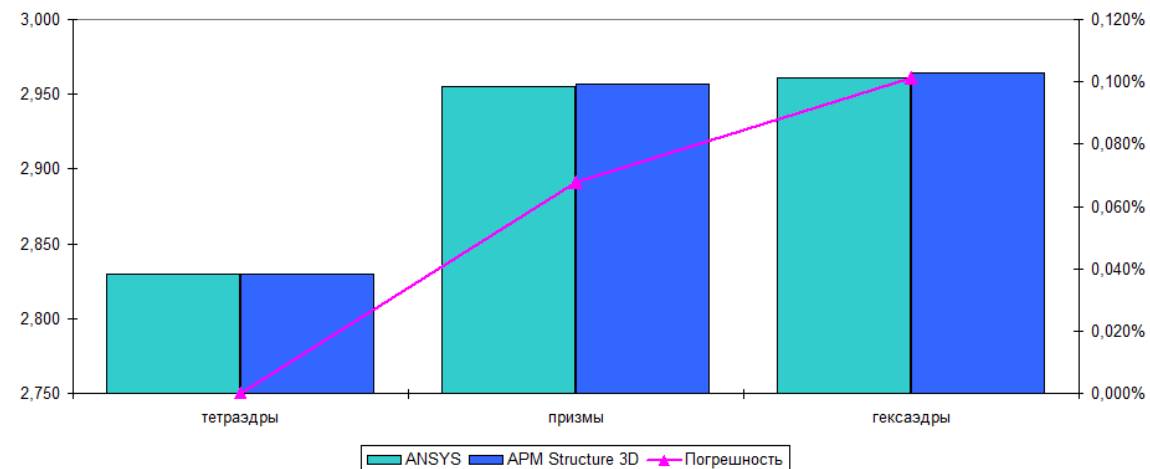
	3-х узловые пластины	4-х узловые пластины
ANSYS	2,737	2,750
APM Structure 3D	2,738	2,741
Погрешность	0,04%	0,33%



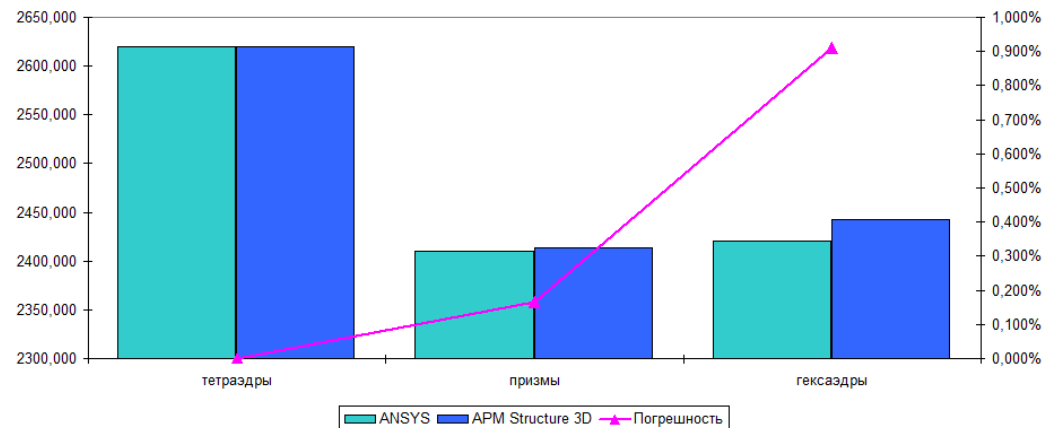
Перемещения по оси Z, м



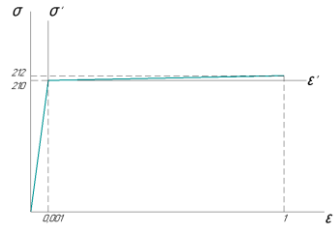
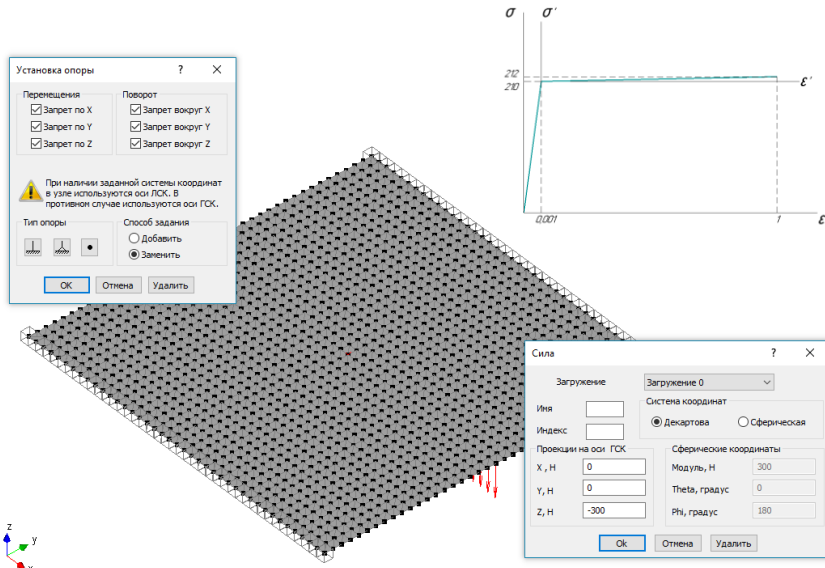
Перемещения по оси Y, м



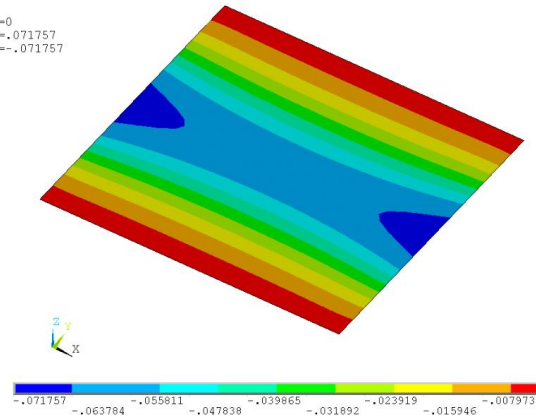
Эквивалентные напряжения, МПа





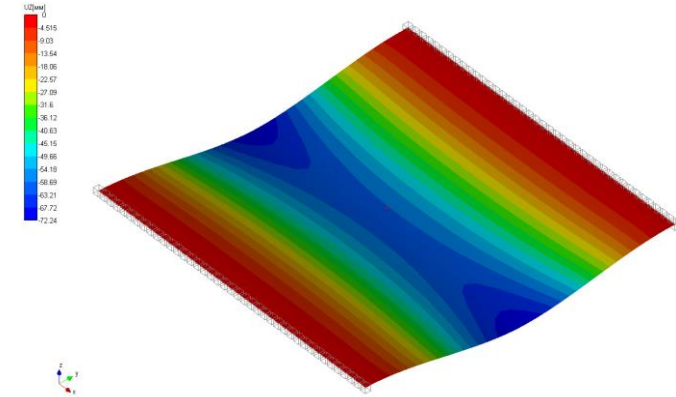


STEP=1  
SUB =6  
TIME=1  
UZ  
TOP  
RSYS=0  
DMX =-.071757  
SMN =-.071757



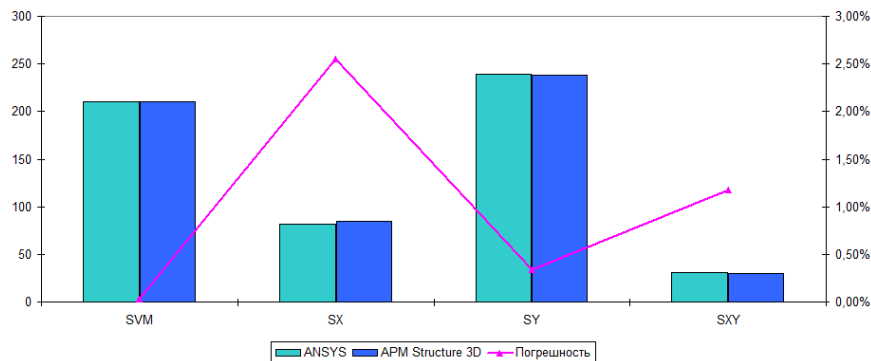
Перемещени  
я

ANSYS

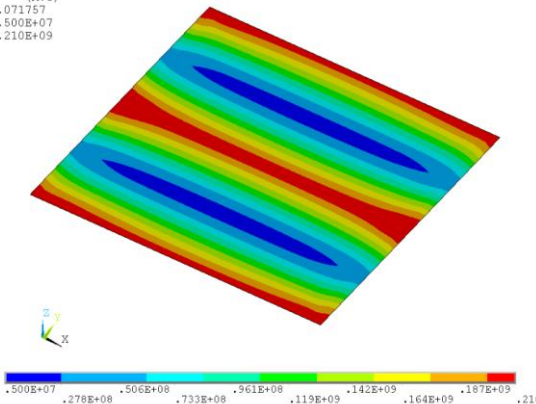


APM Structure3D

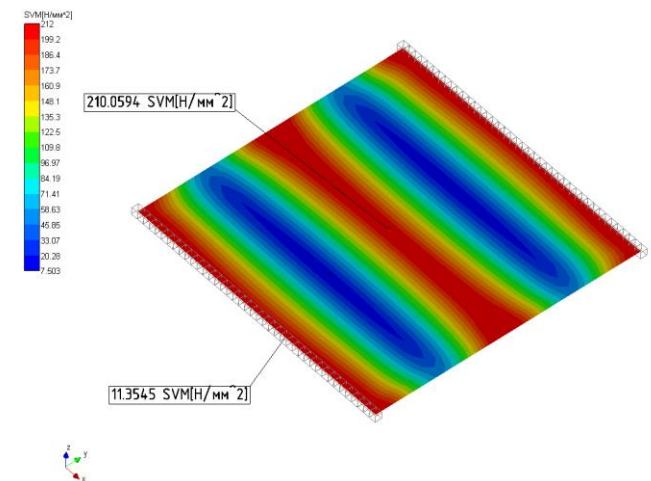
Напряжения, МПа

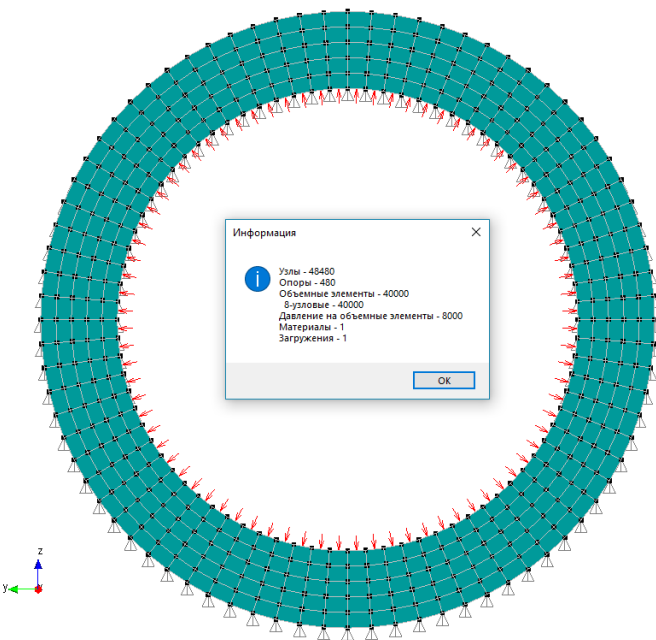


STEP=1  
SUB =6  
TIME=1  
SEQV (AVG)  
DMX =-.071757  
SMN =-.500E+07  
SMX =.210E+09

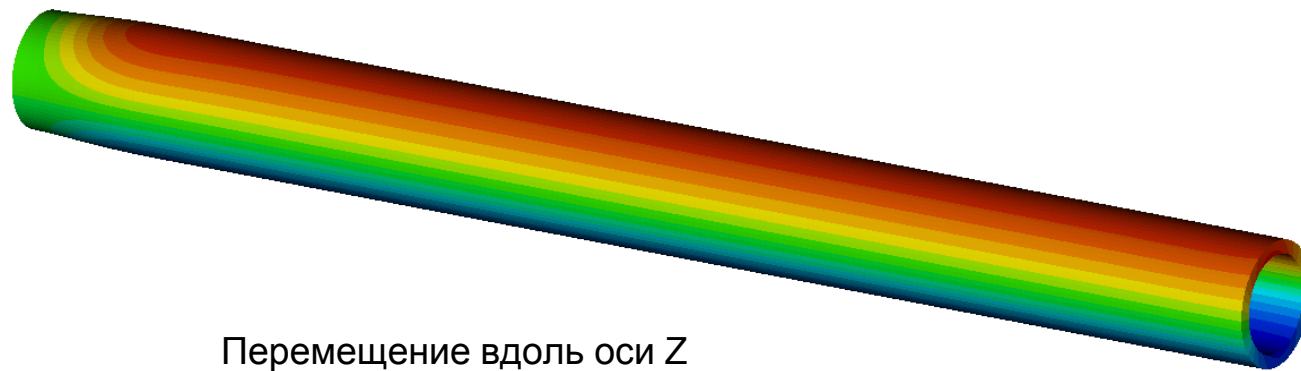
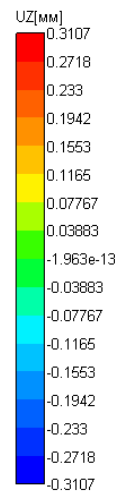
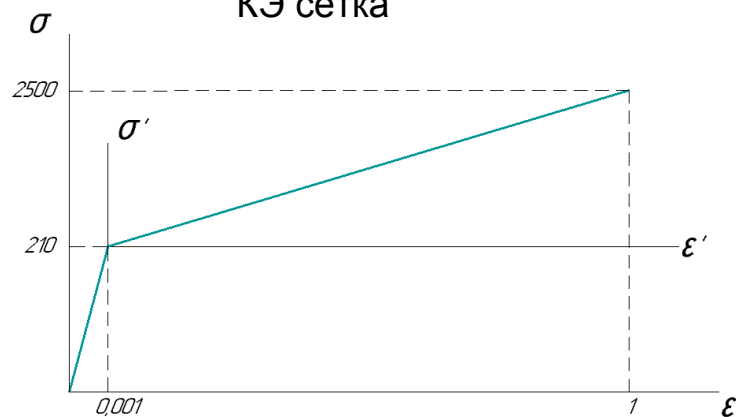


Эквивалентные  
напряжения

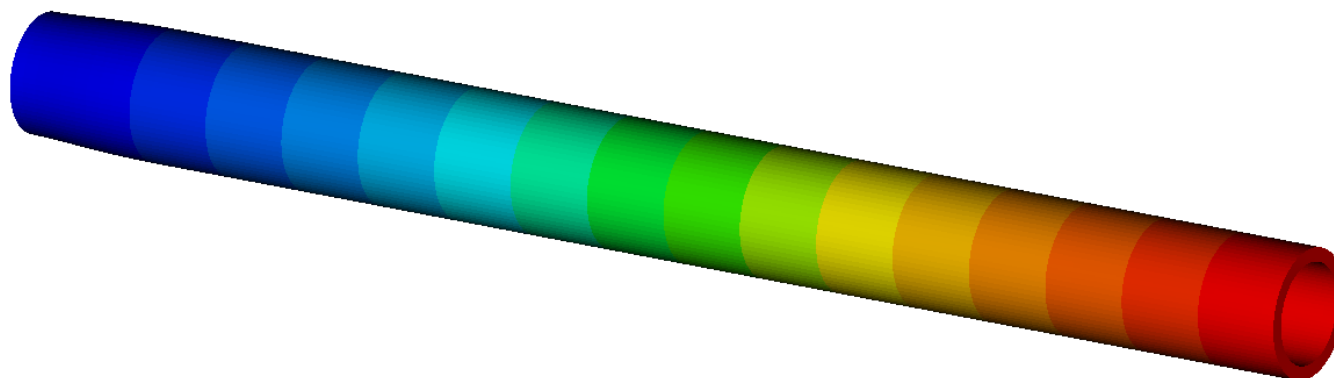
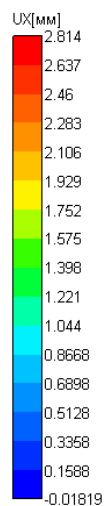




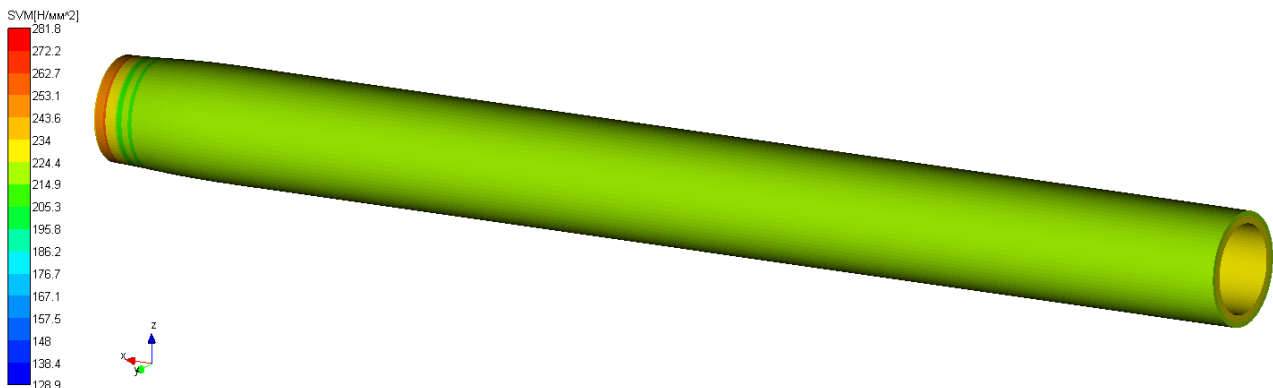
КЭ сетка



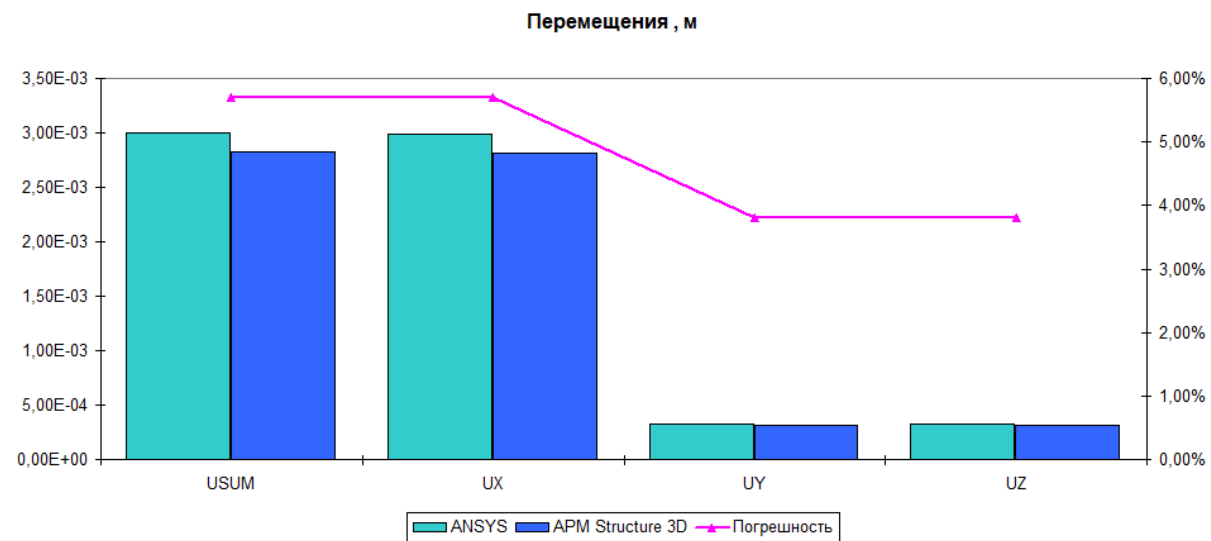
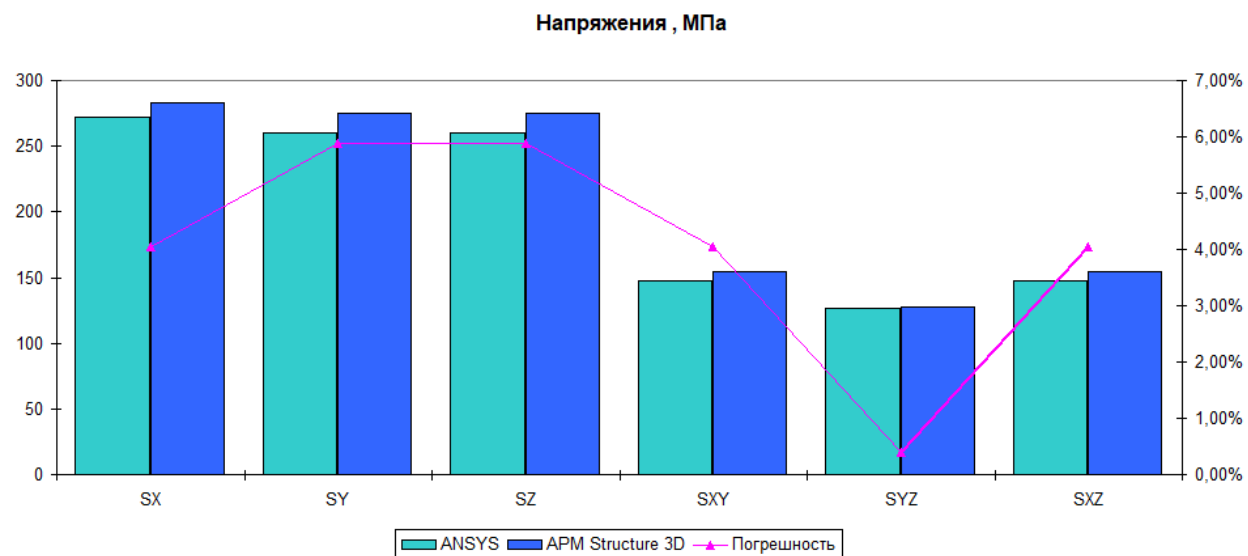
Перемещение вдоль оси Z

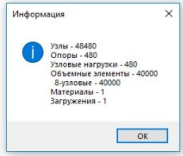
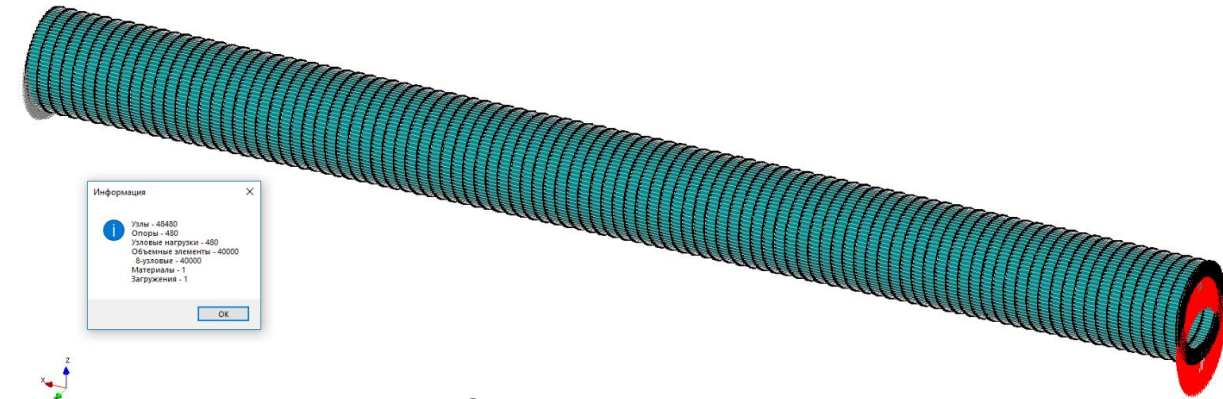


Перемещение вдоль оси X

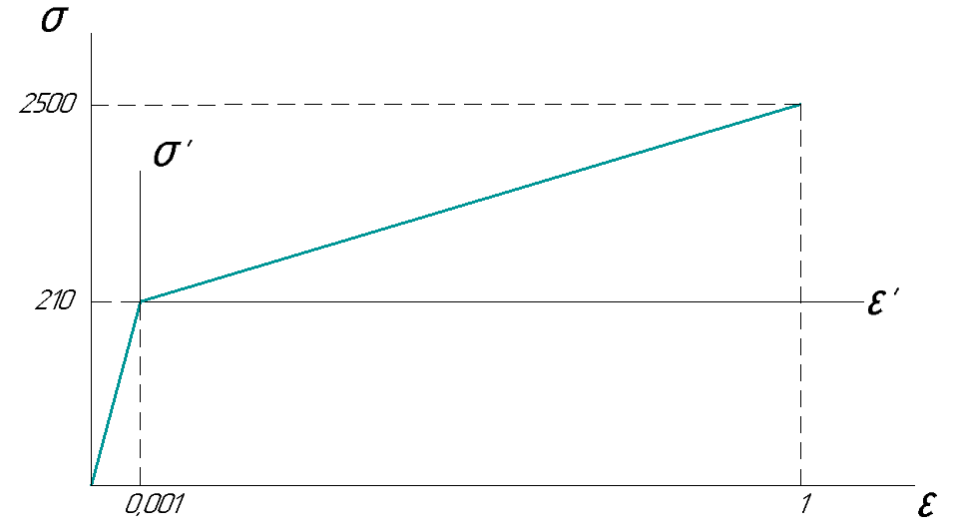


Эквивалентные напряжения

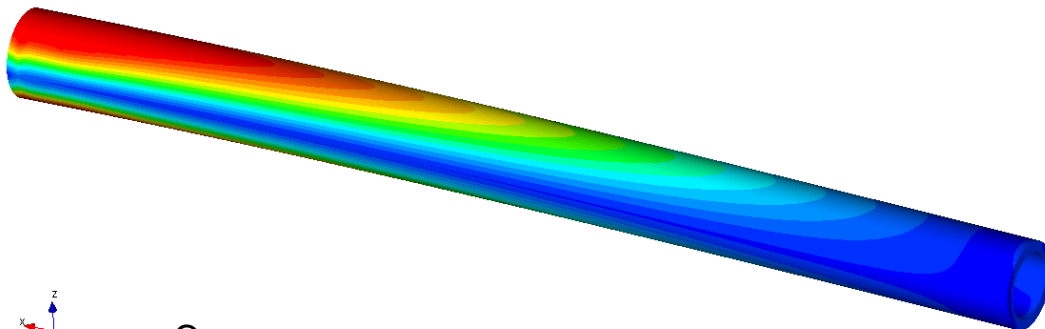
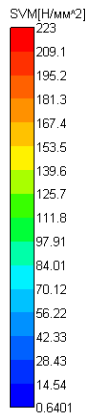




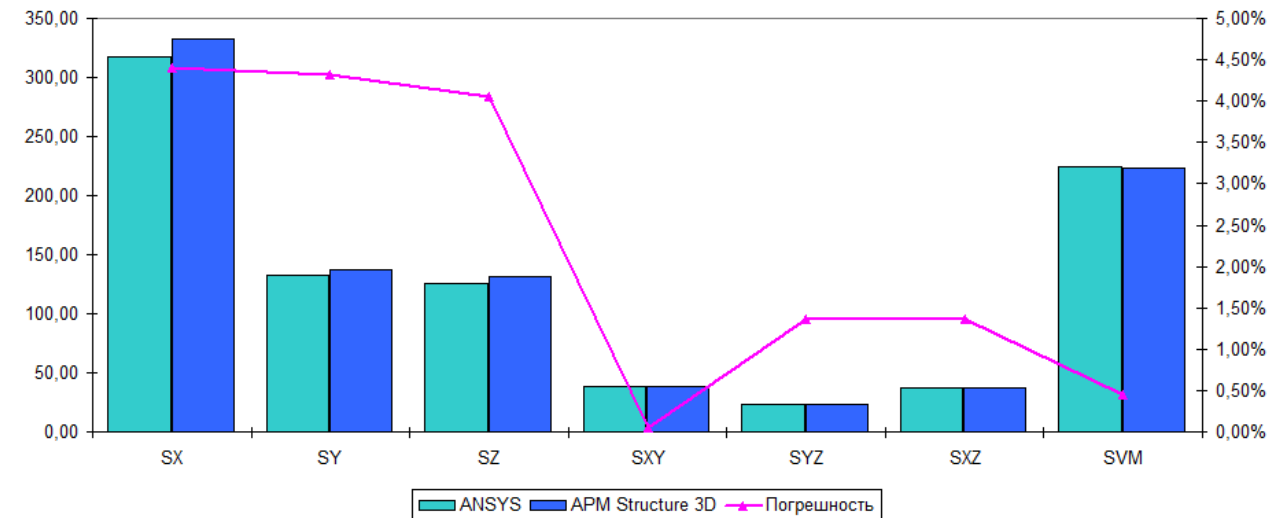
КЭ сетка



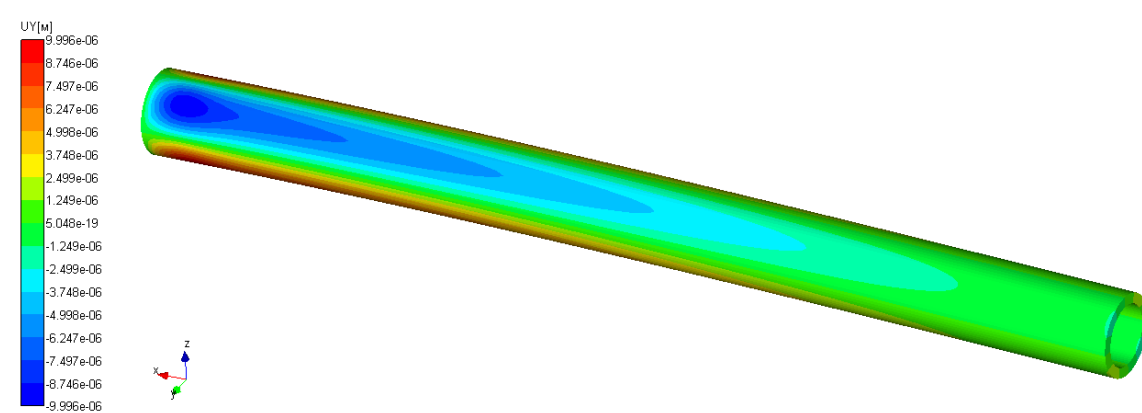
Напряжения, МПа



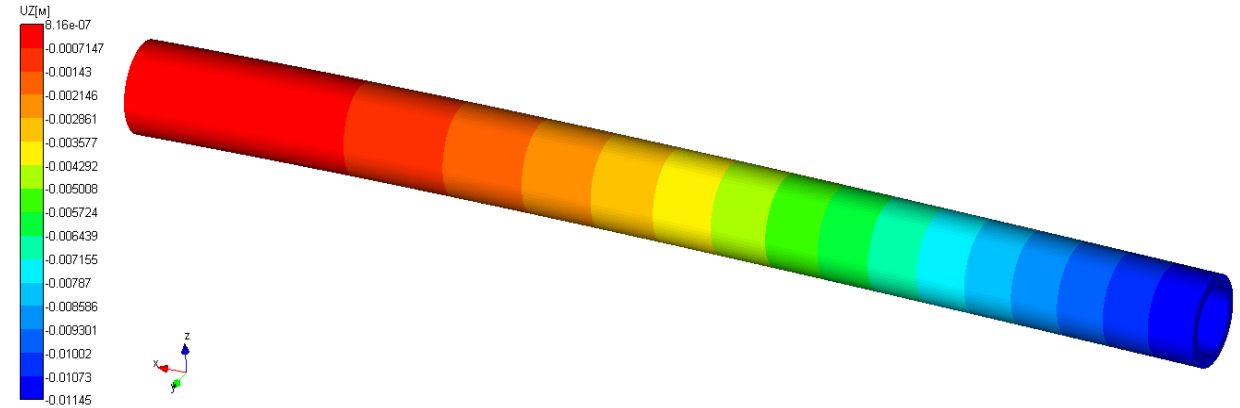
Эквивалентные напряжения



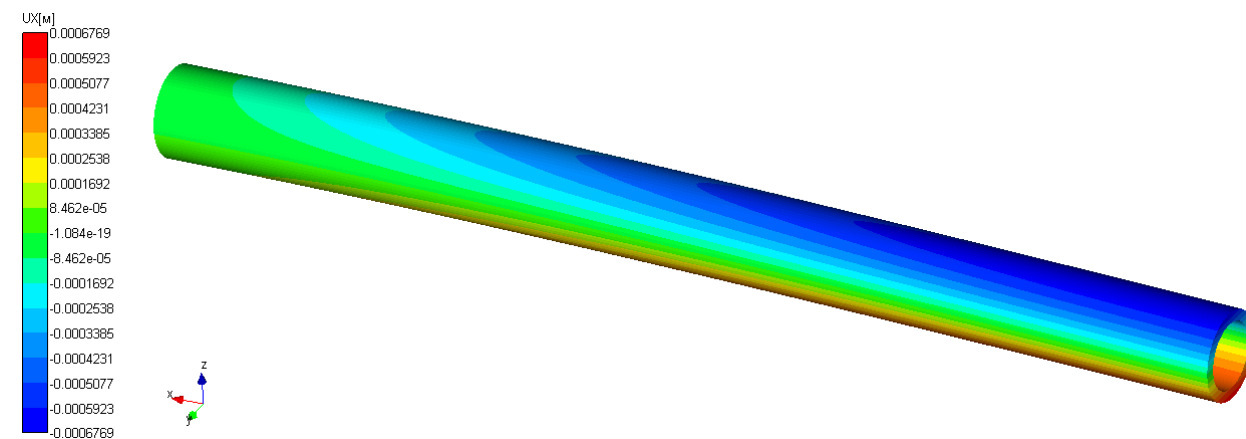




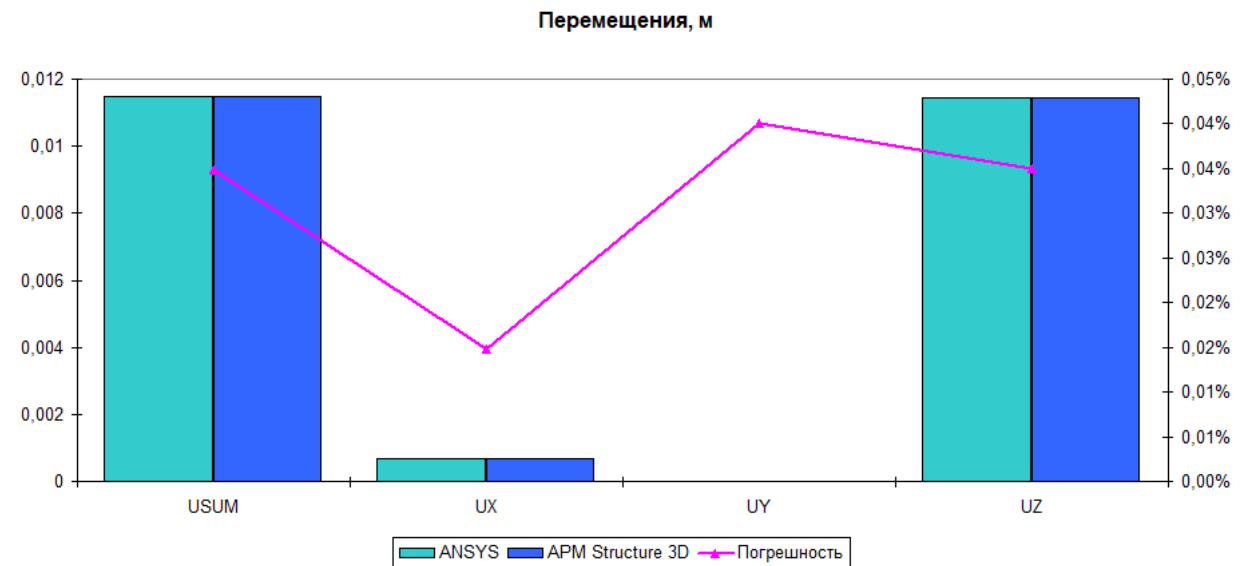
Перемещение вдоль оси Y



Перемещение вдоль оси Z



Перемещение вдоль оси X



# Спасибо за внимание!

Компания НТЦ «АПМ»

(научно-технический центр)

Московская область, г. Королев

Октябрьский бульвар, д. 14, офис 6

Тел.: (495) 120-58-10

Internet: [www.apm.ru](http://www.apm.ru), [www.cae.apm.ru](http://www.cae.apm.ru)

E-mail: [com@apm.ru](mailto:com@apm.ru)