

Проектирование воздуховодов высоконагруженных авиационных конструкций

Выполнил: студент 5-33

Фирсов Е.Н.

Руководитель: д.ф-м.н. доц.

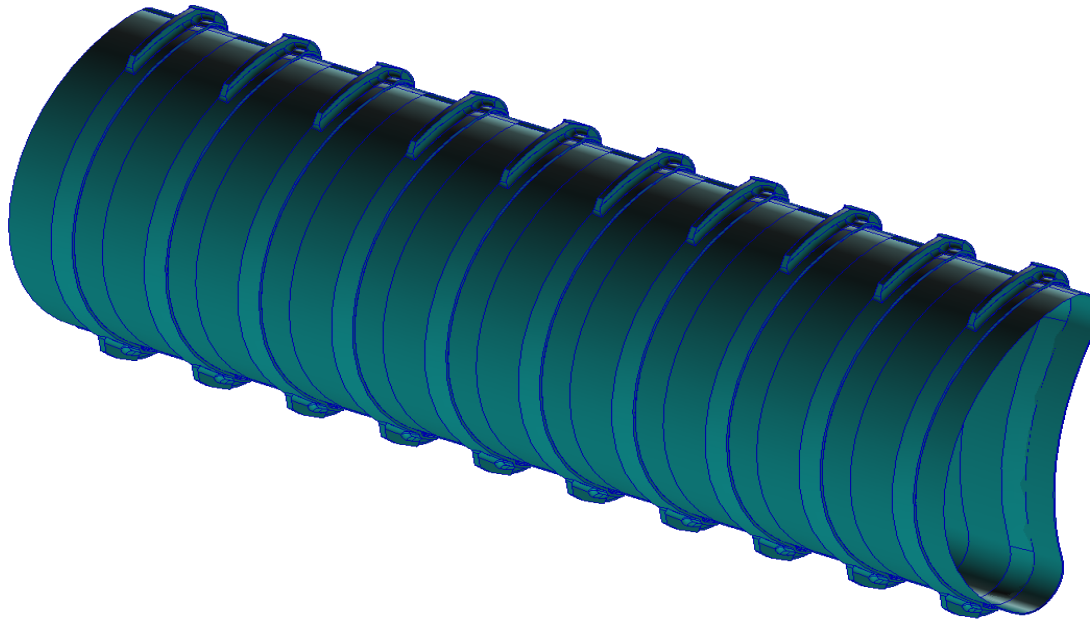
Маслов Л.Б.

Цель работы

Цель работы состоит в том, чтобы исследовать напряженно-деформированное состояние воздуховода авиационной конструкции и сравнить результаты, полученные различными методами, а также исследование и оптимизация программного продукта подбора оптимальных сечений.

Постановка задачи

Внешний вид воздуховода



- определение шага силового набора для заданного теоретического контура воздуховода;
- проектирование силового набора при помощи плоской балочной конечно-элементной модели;
- разработка детальной конечно-элементной модели в среде Patran/Nastran;
- анализ результатов и корректировка силового набора на основе детального расчета.

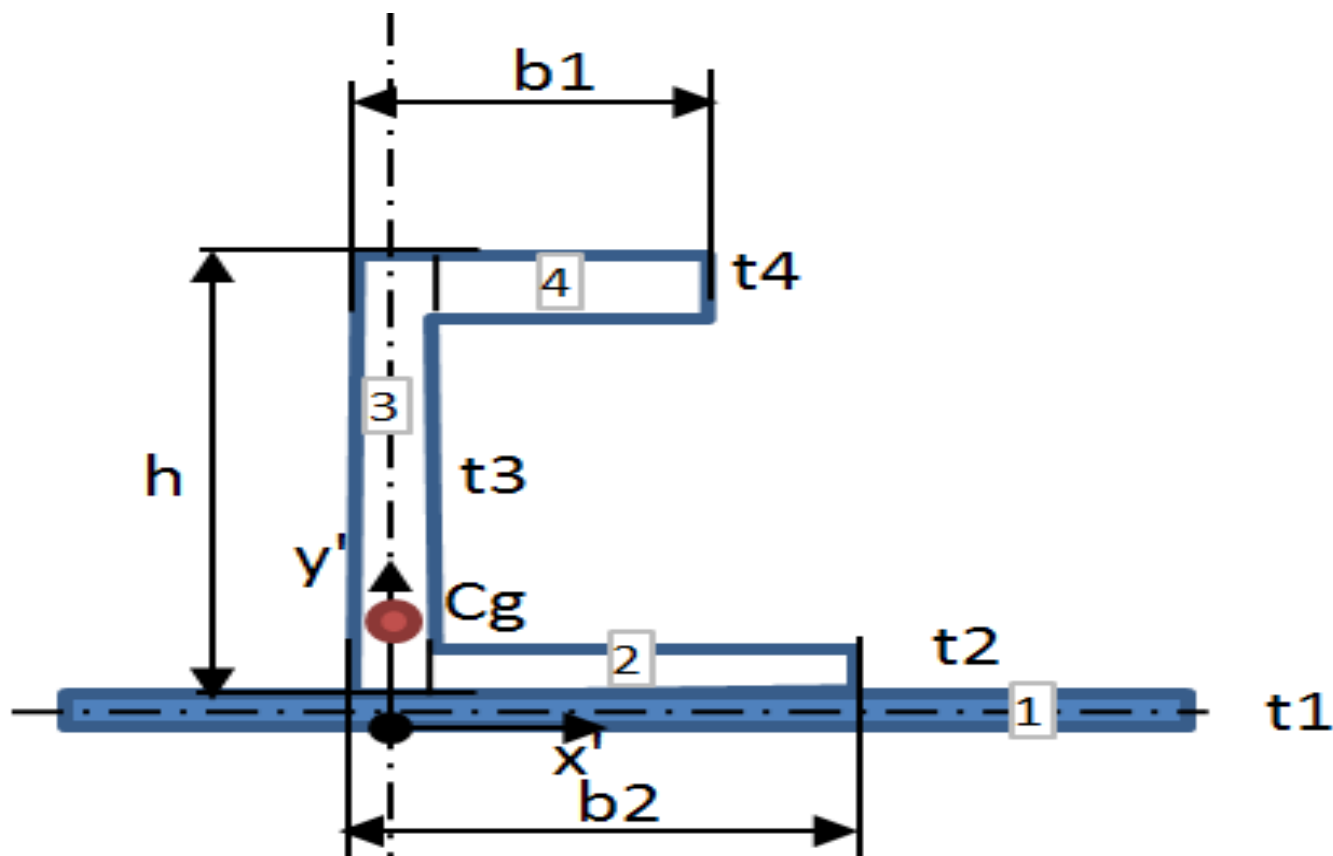
Зависимость напряжения и запаса прочности от шага шпангоутов

Шаг шпангоутов	Напряжение в обшивке	Запас прочности
b, мм	σ, МПа	η
50	118.75	2.11
60	171.00	1.46
70	232.75	1.07
80	304.00	0.82
90	314.53	0.79
100	307.04	0.81
110	312.05	0.80
120	326.55	0.77
130	348.62	0.72
140	377.02	0.66
150	410.91	0.61

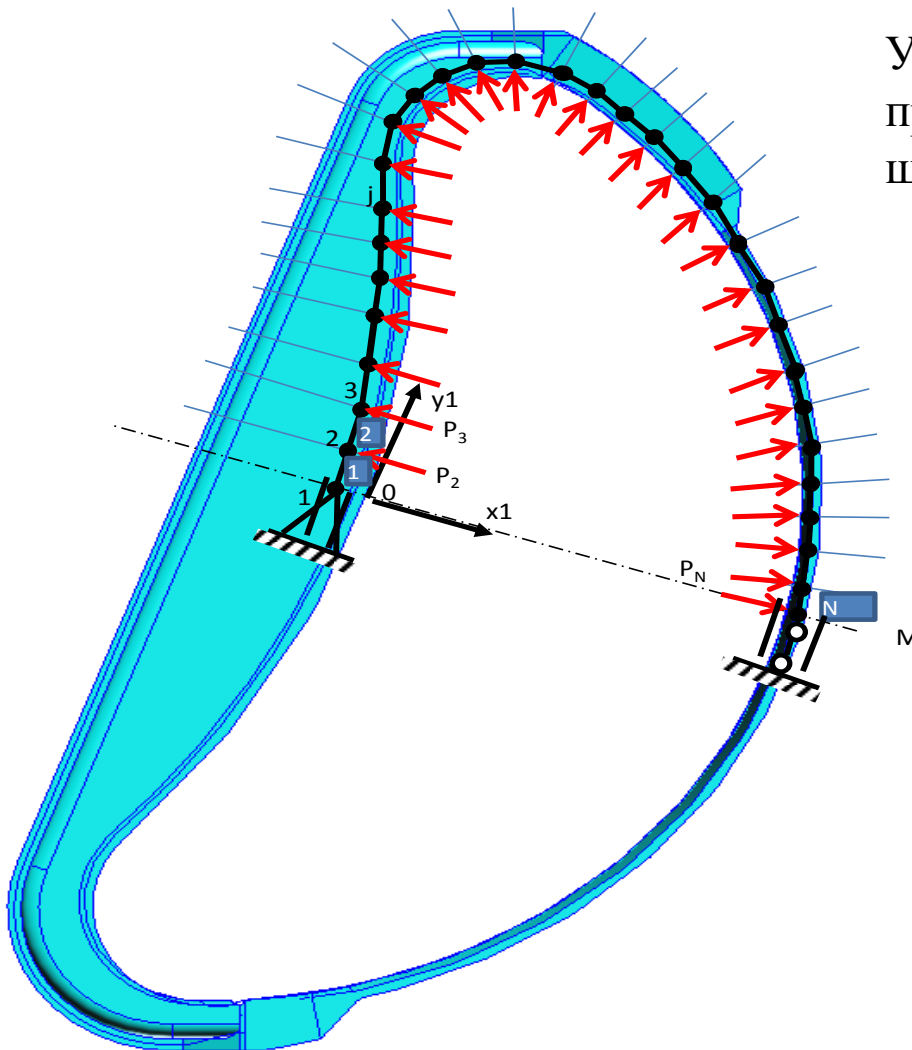
$$\sigma = E \left(\frac{t}{b} \right)^2 = 232.8 \text{ МПа}$$

$$\eta = \frac{\sigma_{0.2}}{\sigma} = \frac{\sigma_{0.2}}{\sigma} = \frac{250}{232.8} = 1.07$$

Внешний вид и расположение сегментов сечения



Расчетная схема конечно-элементной модели



Узловые нагрузки определяются длиной примыкающих конечных элементов и шагом шпангоутов

$$P_j = pb \frac{L_j + L_{j-1}}{2}$$

Граничные условия

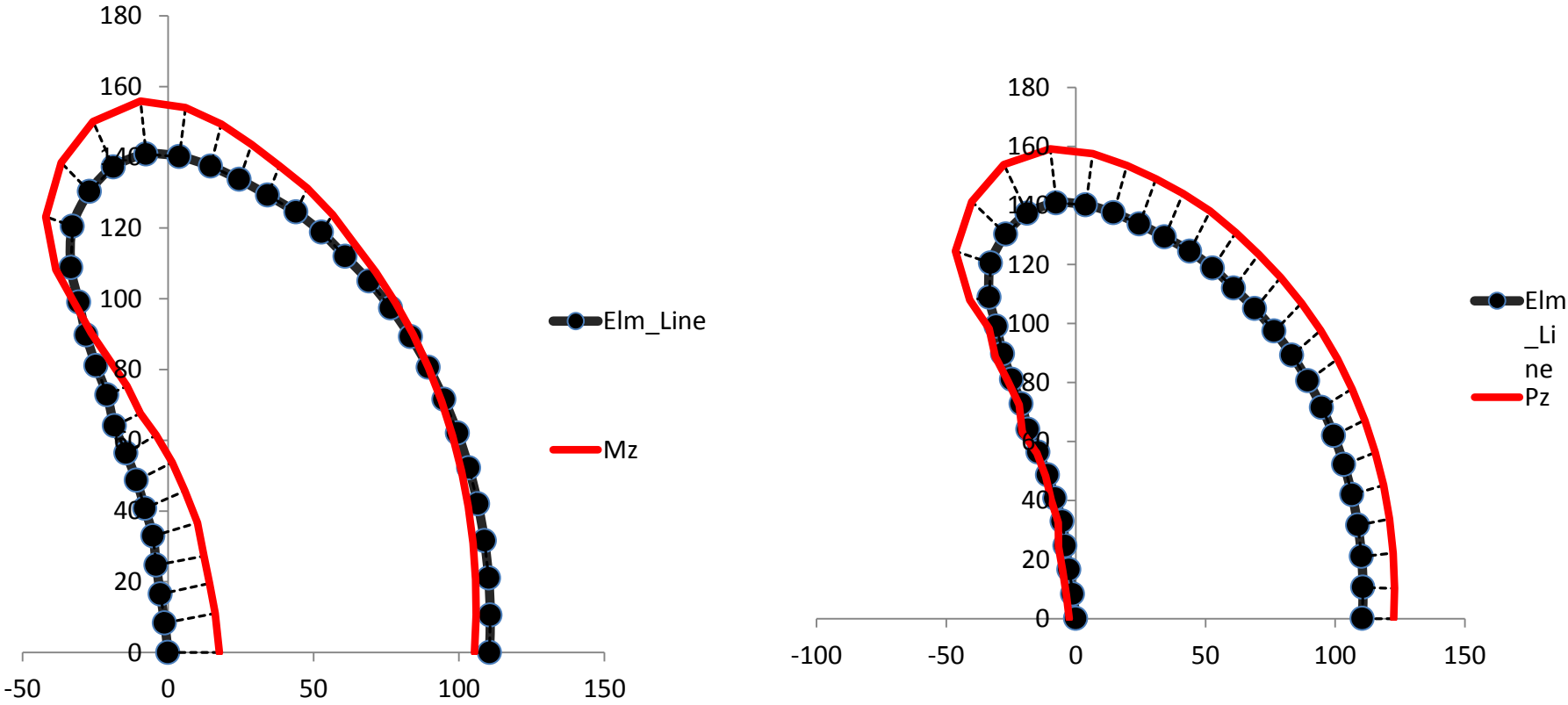
$$\begin{aligned} U_x(n=1) &= 0 \\ U_y(n=1) &= 0 \\ U'_z(n=1) &= \theta_z(n=1) = 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} U_y(n) &= 0 \\ U'_y(n) &= \theta_y(n) = 0 \end{aligned}$$

Форма ввода и просмотра результатов КЭ расчета

Node_Data			Boundary conditions			Loading			Element_Data				Node_displasments			Element Forces						
Node_name	x_loc	y_loc	Fix_x	Fix_y	Fix_xy	Px	Py	Mz	Name	Node1	Node2	E*Ix	E*Area	x	y	xy	1	2	3	4	5	6
1	0	0	1	1	1	0,0000	0,0000		1	1	2	4223731201	17179000	0	0	0	-1269,69	301,7079	353476,69	1269,686	-301,708	-350940,69
2	-1,14414	8,329966				-547,4418	-86,8085		2	2	3	4223731201	17179000	0,003	0,001	-0,001	-1244,39	908,5477	350939,87	1244,393	-908,548	-343367,07
3	-2,62166	16,53303				-543,7668	-96,4102		3	3	4	4223731201	17179000	0,011	0,003	-0,001	-1250,86	1453,972	343367,07	1250,858	-1453,97	-331293,07
4	-4,04903	24,71391				-545,2069	-85,2869		4	4	5	4223731201	17179000	0,025	0,006	-0,002	-1310,87	1960,879	331292,6	1310,869	-1960,88	-315021,6
5	-5,18724	32,93379				-536,7126	-131,2018		5	5	6	4223731201	17179000	0,045	0,010	-0,003	-829,748	2735,594	315020,63	829,7483	-2735,59	-292292,63
6	-7,97199	40,76173				-525,4537	-188,8358		6	6	7	4223731201	17179000	0,068	0,018	-0,003	-810,429	3299,206	292291,9	810,4286	-3299,21	-264591,9
7	-10,8368	48,6542				-522,7342	-217,4834		7	7	8	4223731201	17179000	0,096	0,029	-0,004	-479,816	3925,049	264590,72	479,8162	-3925,05	-231173,72
8	-14,4609	56,35819				-517,3160	-254,5984		8	8	9	4223731201	17179000	0,127	0,044	-0,004	-332,29	4515,913	231173,41	332,29	-4515,91	-192019,41
9	-18,4237	64,06988				-560,9795	-222,5310		9	9	10	4223731201	17179000	0,162	0,062	-0,005	-1233,83	4973,129	192019,24	1233,835	-4973,13	-146887,24
10	-20,9748	72,77918				-566,4978	-209,7499		10	10	11	4223731201	17179000	0,205	0,075	-0,005	-489,668	5698,862	146886,81	489,6676	-5698,86	-95118,76
11	-24,7136	81,05802				-571,2788	-241,3303		11	11	12	4223731201	17179000	0,249	0,095	-0,005	-779,335	6288,519	95118,709	779,3353	-6288,52	-36473,77
12	-28,1367	89,73281				-610,0906	-201,2667		12	12	13	4223731201	17179000	0,296	0,114	-0,006	-1515,14	6802,894	36473,676	1515,136	-6802,89	29246,57

Эпюры изгибающих моментов и продольных сил шпангоута



Результаты расчета балочной конечно-элементной модели в программном комплексе ANSYS

Диаграмма перемещений

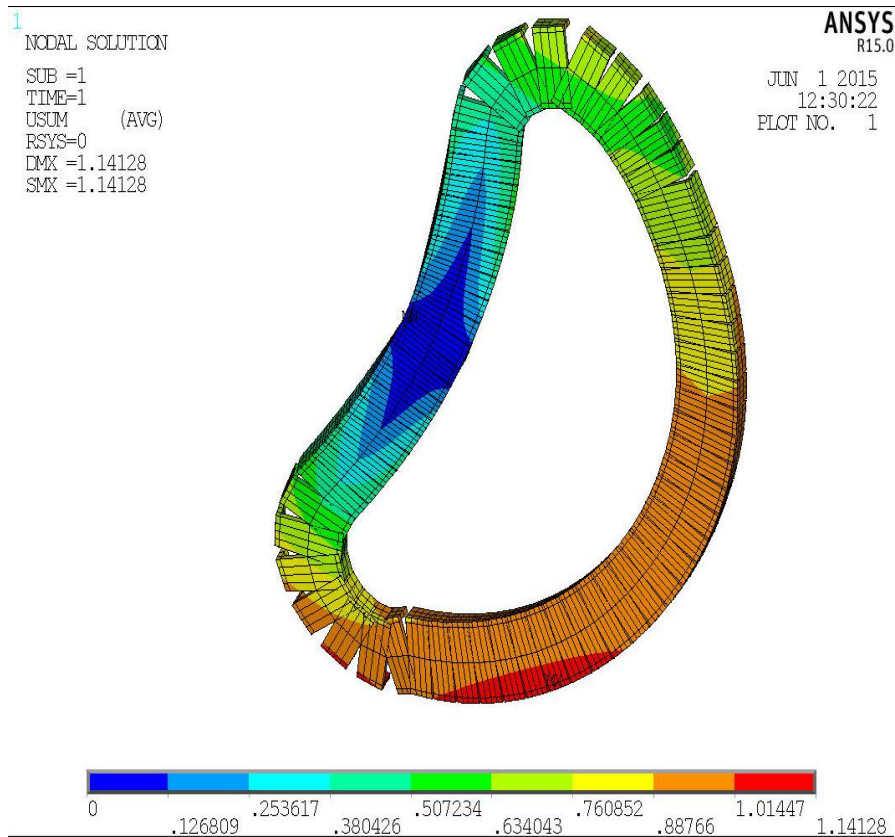
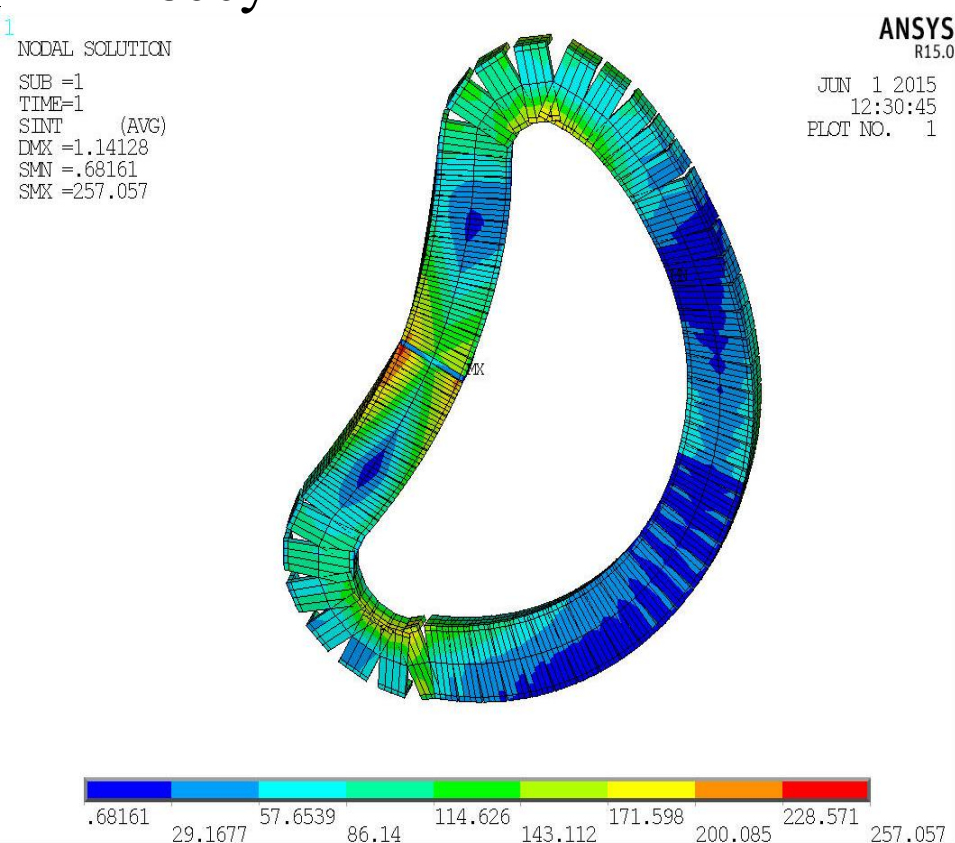
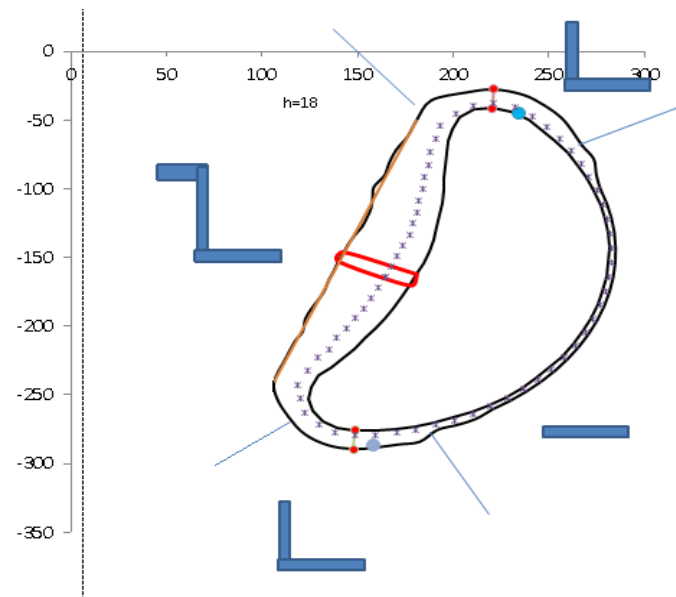


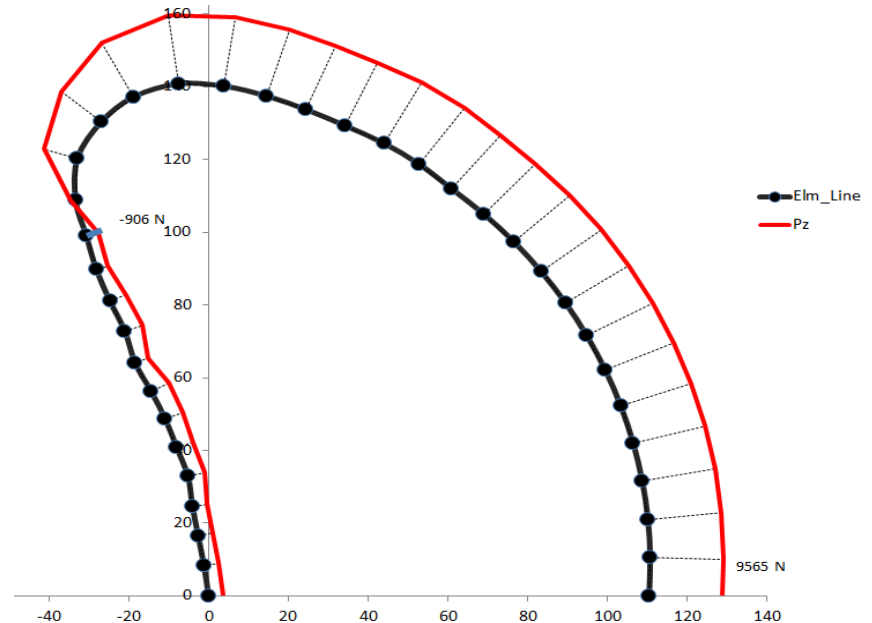
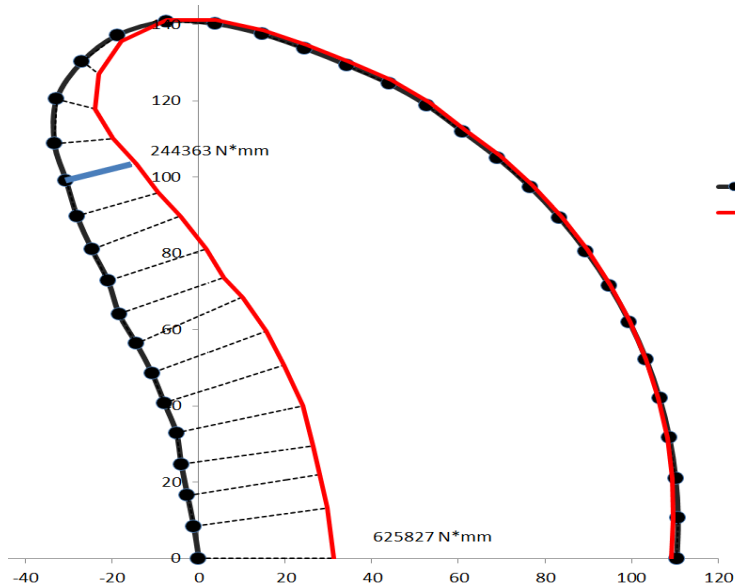
Диаграмма напряжений по Мизесу



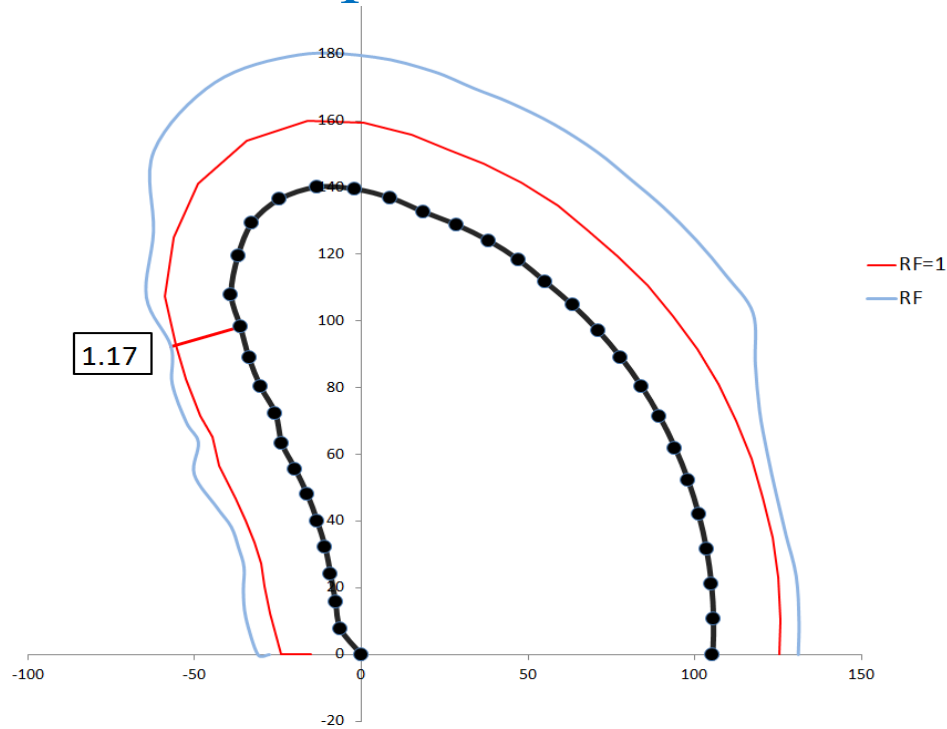
Расположение типов сечений



Эпюры изгибающих моментов и продольных сил



Расчет напряженного состояния



Максимальное напряжения в сечении, с минимальной прочностью:

$$\sigma = \frac{M_x y}{I_x} + \frac{P_z}{A} = \frac{244363 \cdot 14.48}{105.44} + \frac{-906}{169.5} = 330$$

Запас прочности сечения:

$$\eta = \frac{\sigma_{0.2}}{\sigma} = \frac{390}{330} = 1.17$$

Конечно-элементная модель

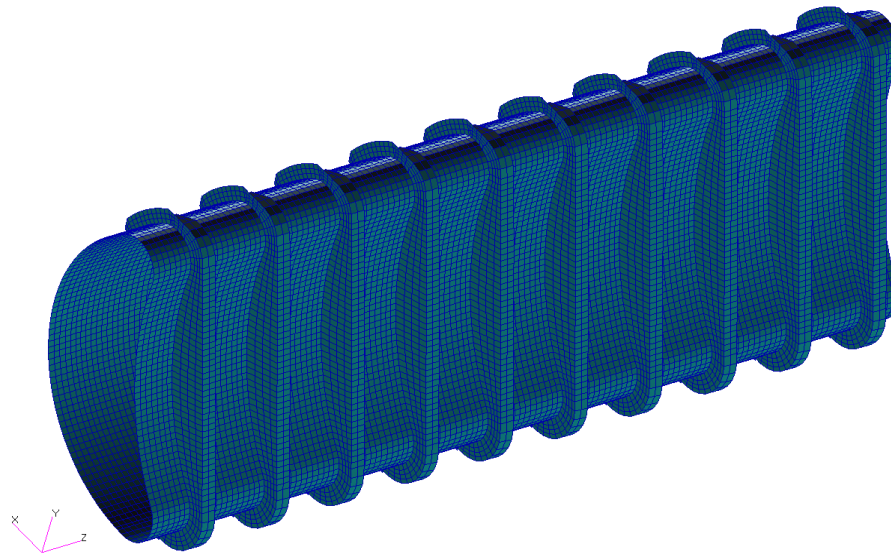
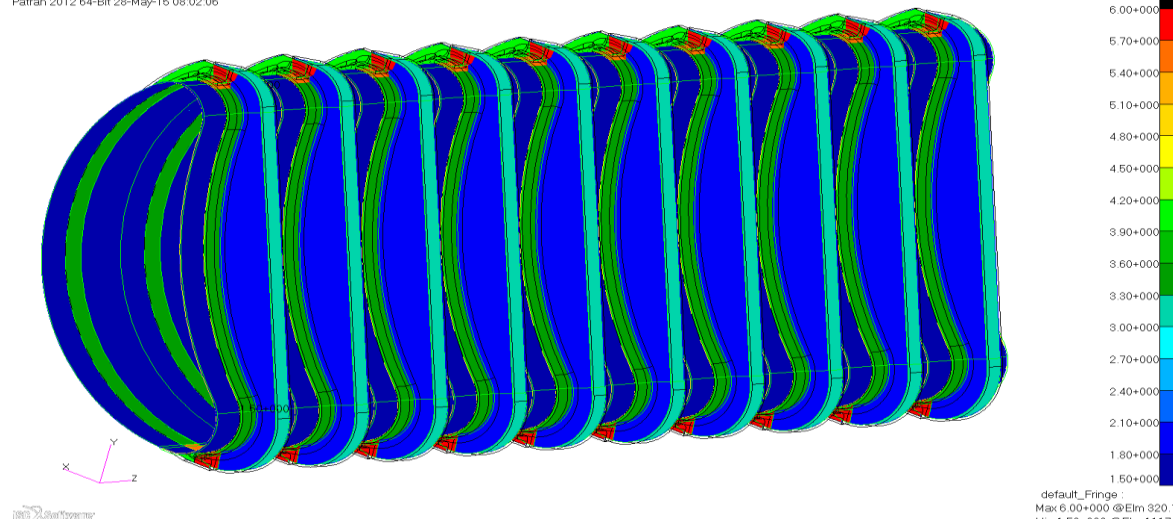


Диаграмма толщин, вид с внутренней стороны воздуховода

Patran 2012 64-Bit 28-May-15 08:02:06



Закрепление и нагрузки, действующие на конечно-элементную модель воздуховода.

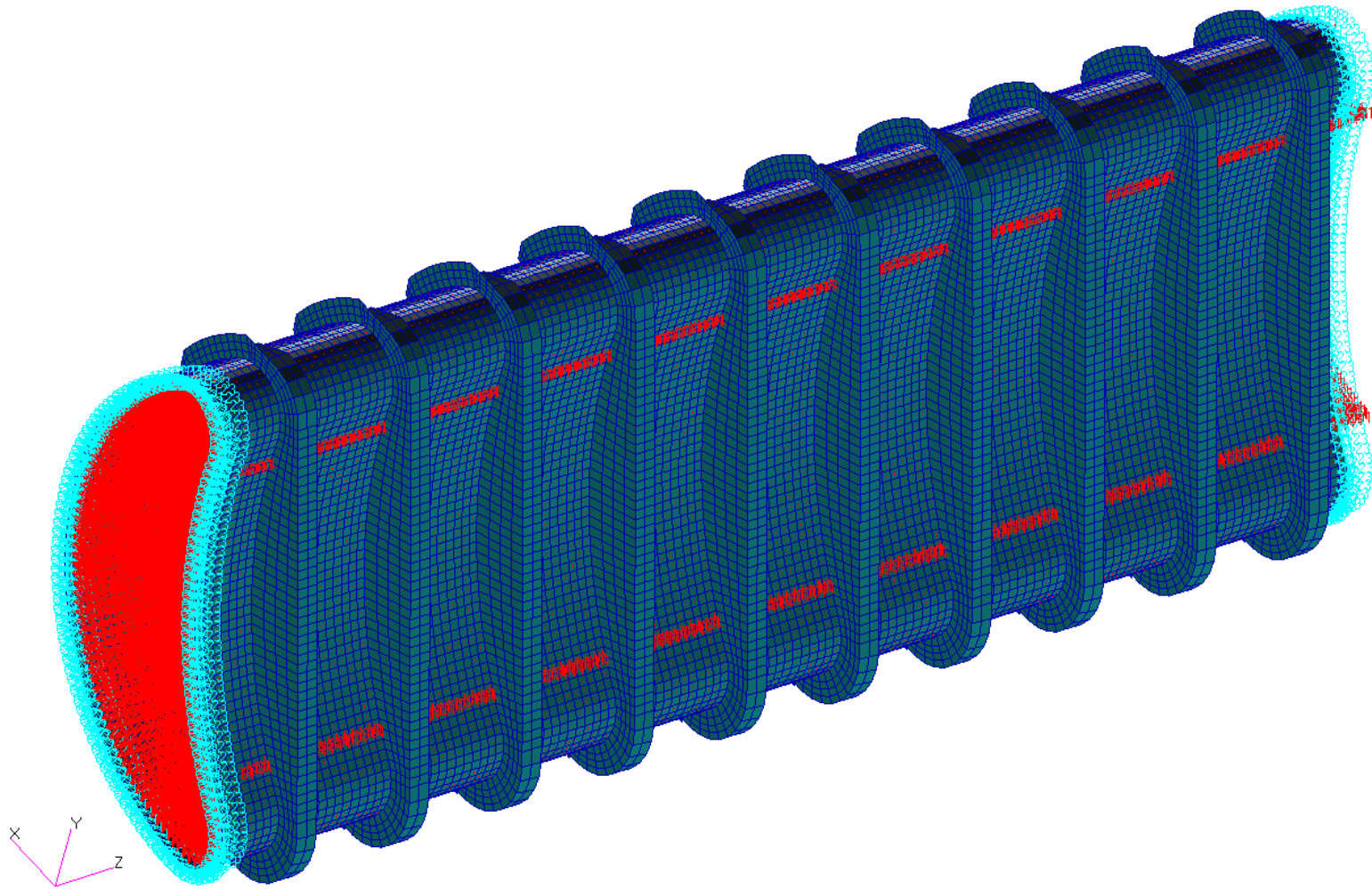


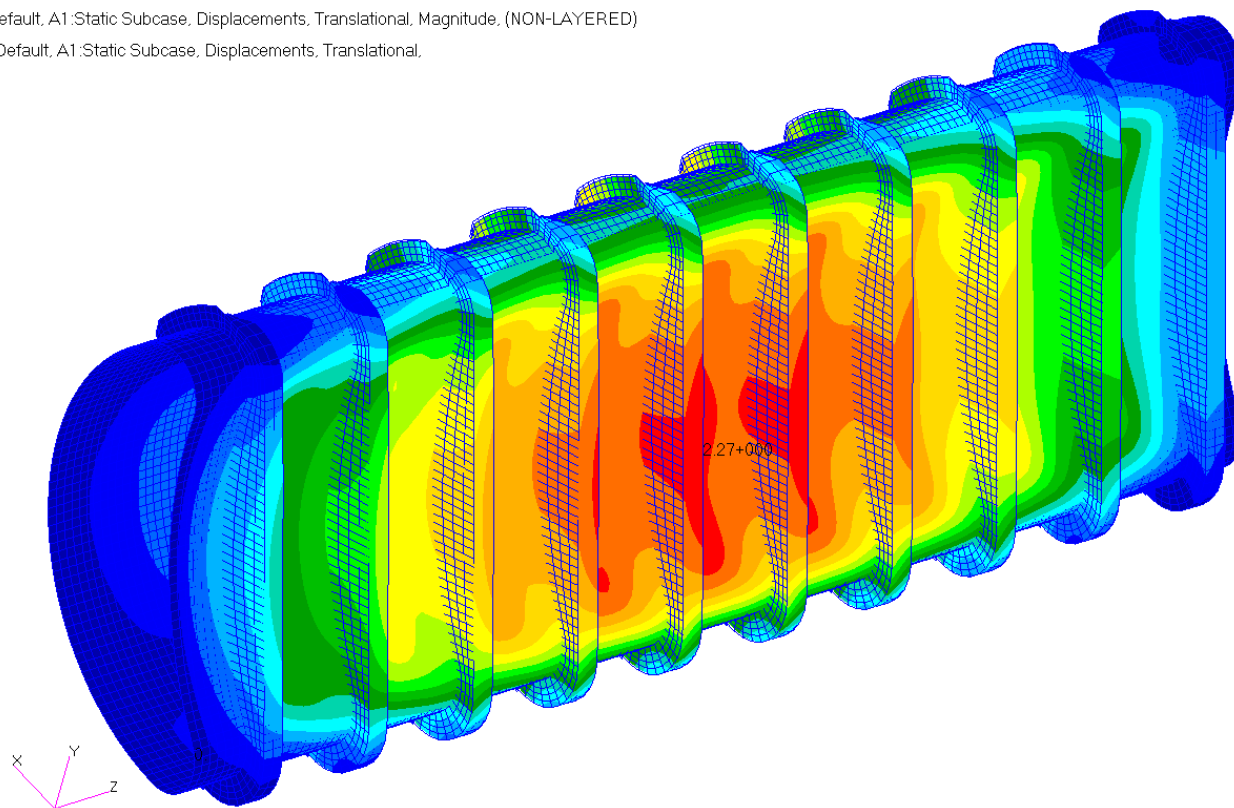
Диаграмма перемещений(U, мм)

5_frames.db - default_viewport - fem - Entity

Patran 2012 64-Bit 16-May-15 16:47:55

Fringe: Default, A1:Static Subcase, Displacements, Translational, Magnitude, (NON-LAYERED)

Deform: Default, A1:Static Subcase, Displacements, Translational,



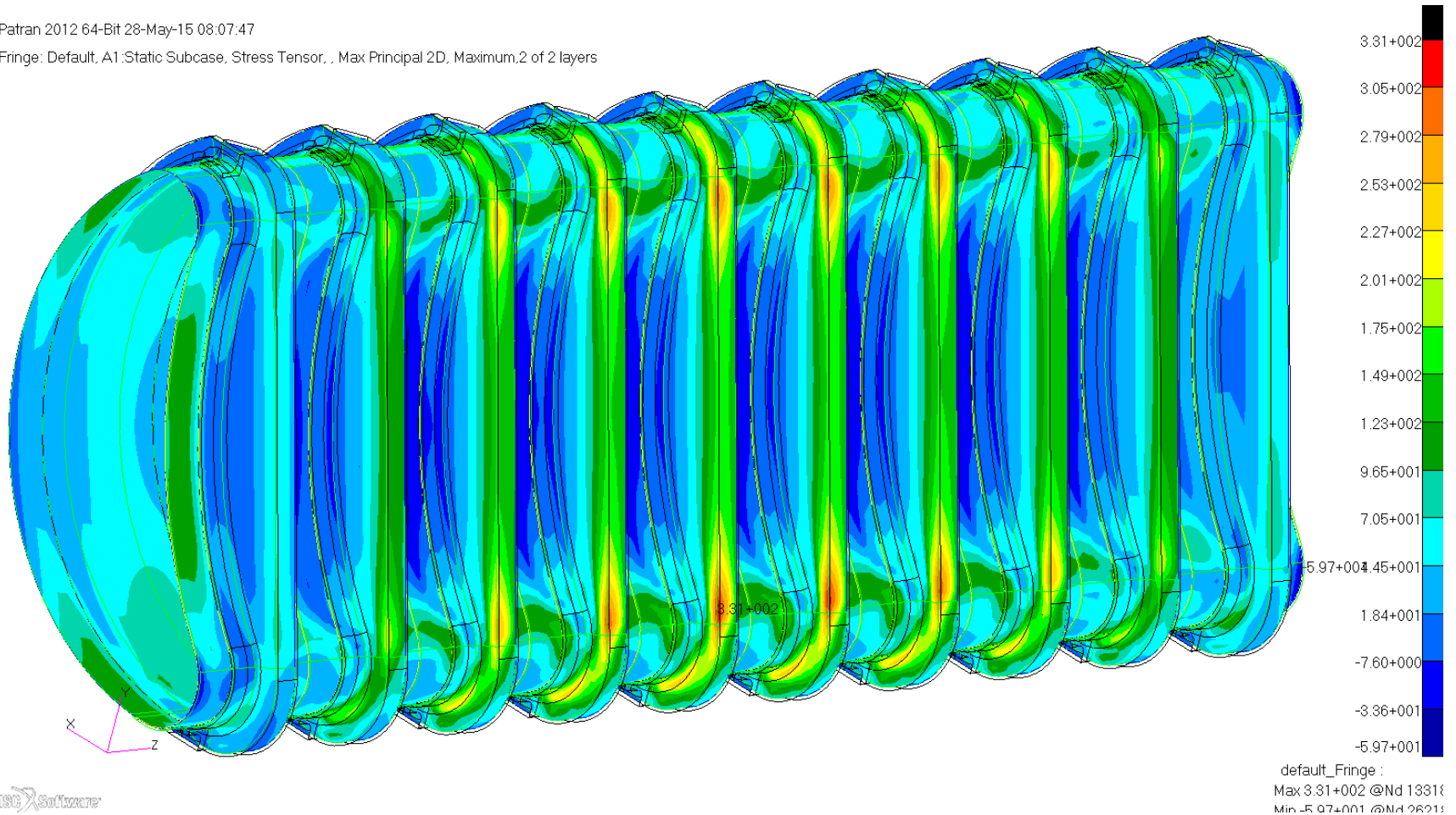
2.27+000
2.12+000
1.97+000
1.81+000
1.66+000
1.51+000
1.36+000
1.21+000
1.06+000
9.07-001
7.56-001
6.05-001
4.54-001
3.02-001
1.51-001
0

default_Fringe :
Max 2.27+000 @Nd 13836
Min 0. @Nd 1768
default_Deformation :
Max 3.44+000 @Nd 13836

Диаграмма напряжений по Мизесу (σ , МПа)

Patran 2012 64-Bit 28-May-15 08:07:47

Fringe: Default, A1:Static Subcase, Stress Tensor, , Max Principal 2D, Maximum,2 of 2 layers



Сравнительный анализ результатов, полученных разными методами расчета.

Название метода и программы для расчета конструкции	Напряжения МПа	Перемещения мм	Погрешность перемещений %	Погрешность напряжений %
МКЭ, реализованный в Microsoft Excel и VBA(с постоянным сечением силового набора)	259	1.04	8	0.7
Балочный КЭ расчет силового набора в программном комплексе ANSYS	257	1.14		
МКЭ, реализованный в Microsoft Excel и VBA(с выбором оптимального сечения силового набора)	330	2.2	3	0.3
КЭ расчет с оптимальным сечением силового набора полной оболочечной модели воздуховода, реализованный в среде MSC.Patran	331	2.27		