



Верификация расчетов трубопроводных систем в APM Structure3D v16

Сертификация модуля APM Structure3D 2013 года

Назначение ПС и виды рассчитываемых параметров



Назначение ПС

ПС предназначено для выполнения расчётов напряженно-деформированного состояния оборудования и конструкций ОИАЭ методом конечных элементов.

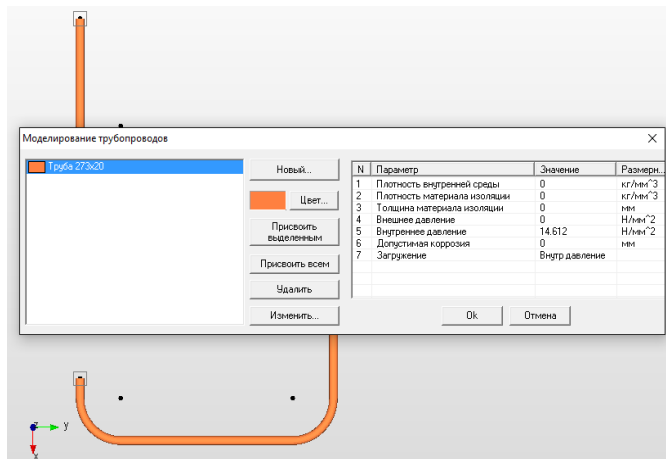
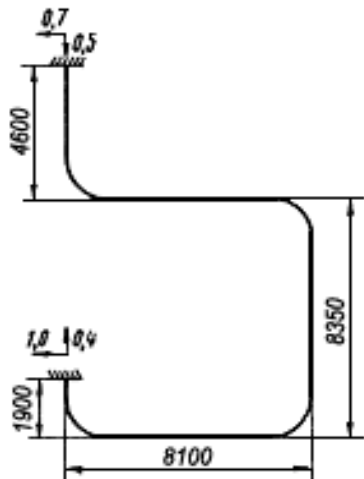
Рассчитываемыми параметрами являются:

- перемещения (линейные/угловые);
- внутренние усилия (силы/моменты);
- напряжения;
- реактивные силы/моменты в закреплённых узлах;
- частоты и формы собственных колебаний;
- коэффициент запаса по статической устойчивости и форма потери устойчивости.

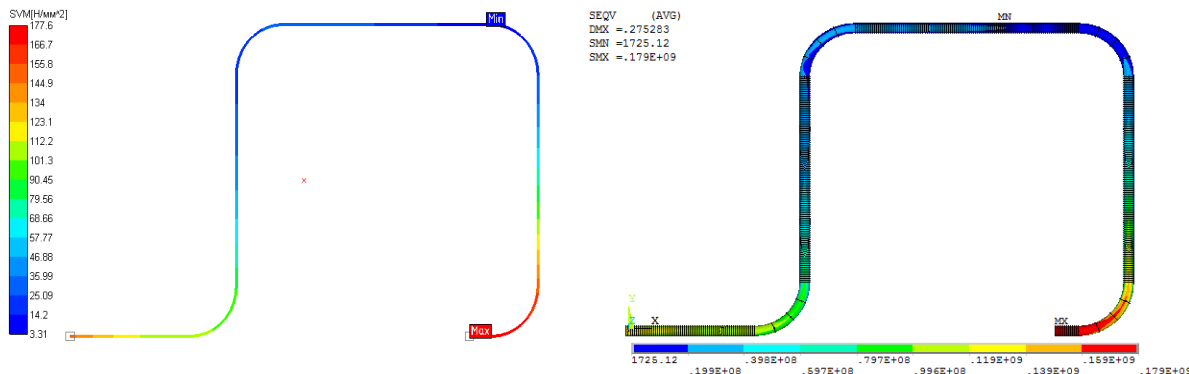
Объекты и виды расчетов, добавляемые к сертификации

- Односторонние жесткие опоры;
 - Односторонние жесткие опоры с зазором;
 - Односторонние упругие опоры, в том числе и с зазором;
 - Трубопроводные КЭ (прямолинейные участки, отводы, тройники и т.п.)
 - Расчет оборудования на сейсмическое воздействие
-
- Расчет трубопроводных элементов (температура, заполненных средой заданной плотности, внутреннее/наружное давление, сейсмика)
-
- Решение классической задачи Герца контакта двух тел
 - Определение параметров контакта типа плоскость – плоскость
 - Оценка параметров контакта при соединении вал – втулка с натягом

Схема и модель (с окном задания параметров) заземленного с обоих концов плоского трубопровода



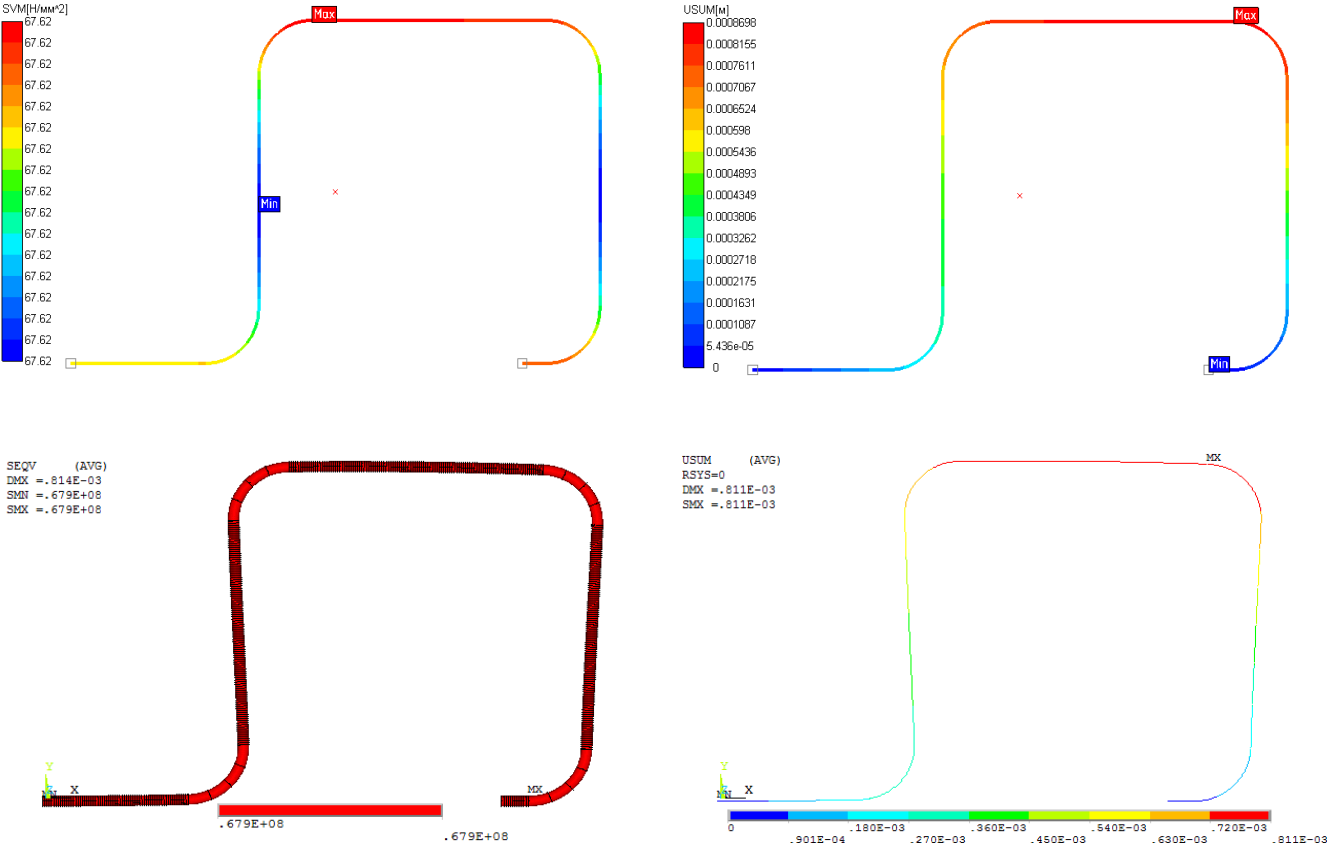
Карта эквивалентных (по Мизесу) напряжений, возникающих от действия весовой нагрузки в холодном трубопроводе, полученная в модуле APM Structure3D (вверху) и ANSYS (внизу)



Сравнение параметров НДС и реакций в опорах заземленного с обеих сторон холодного трубопровода, и нагруженного весовой нагрузкой

Параметр	ANSYS	APM Structure3D	Погрешность, %
Максимальная величина эквивалентных напряжений, МПа	179	177,6	0.8
Максимальная величина суммарных перемещений, мм	275	267.8	2.5
Реакции в опорах для 1 / 2 опор	X, Н	0 / 0	0 / 0
	Y, Н	0 / 0	0 / 0
	Z, Н	33382 / 34340	32286. / 35435.9
	Mx, Н*м	112030 / 185210	109488 / 182396
	My, Н*м	-101900 / -42590	-102284 / -44231
	Mz, Н*м	0 / 0	15.75 / -23.4

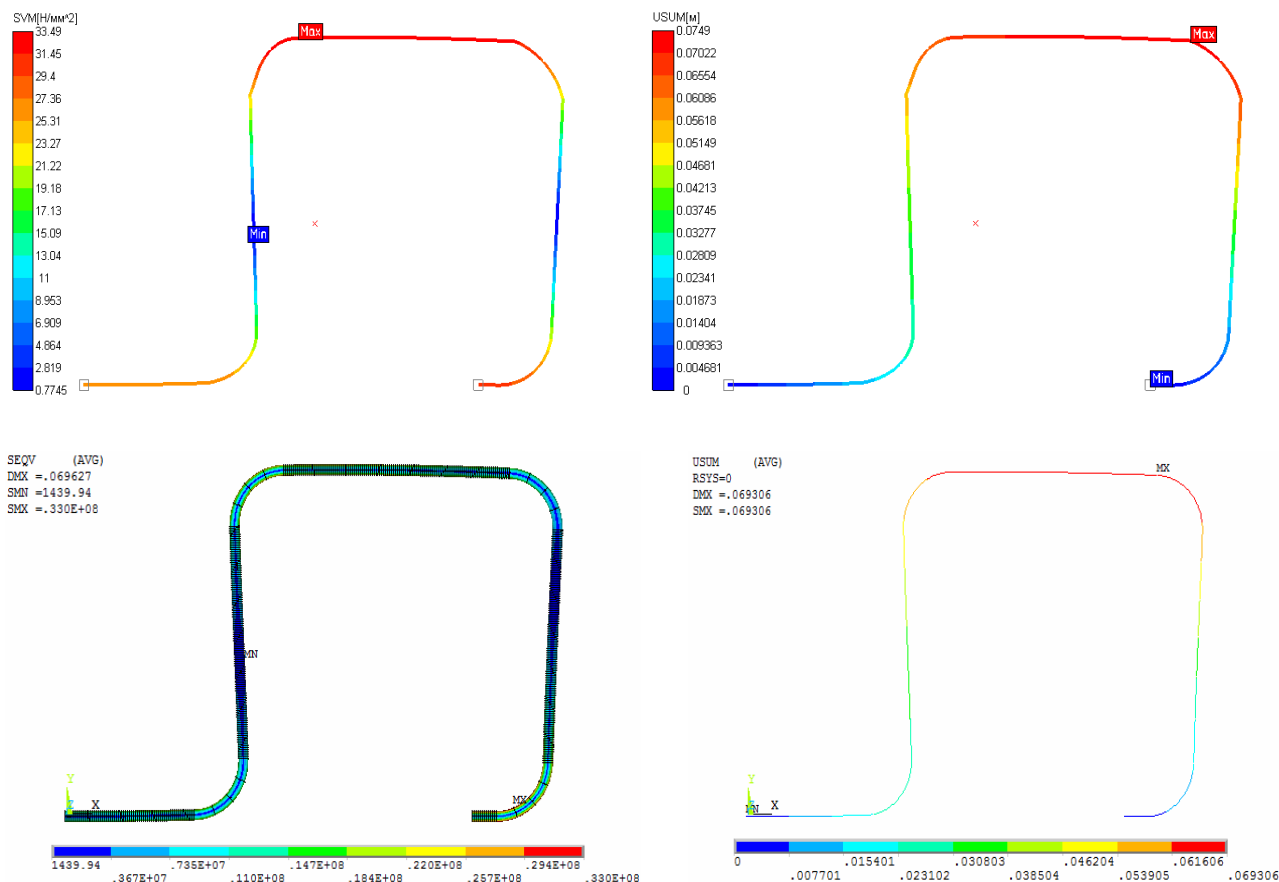
Карта эквивалентных (по Мизесу) напряжений и суммарных перемещений, возникающих от действия внутреннего давления в холодном трубопроводе, полученная в модуле APM Structure3D (вверху) и ANSYS (внизу)



Сравнение параметров НДС и реакций в опорах заземленного с обеих сторон холодного трубопровода, и нагруженного внутренним давлением

Параметр		ANSYS	APM Structure3D	Погрешность, %
Максимальная величина эквивалентных напряжений, МПа		67.9	67.6	0.5
Максимальная величина суммарных перемещений, мм		0.811	0.869	7.1
Реакции в опорах для 1 / 2 опор	X, Н	82.05 / - 82.050	81.64 / - 81.64	4.9 / 4.9
	Y, Н	17.1 / -17.1	17.06 / - 17.06	2.3/ 2.3
	Z, Н	0 / 0	0 / 0	- / -
	Mx, Н*м	0 / 0	0 / 0	- / -
	My, Н*м	0 / 0	0. / 0.	- / -
	Mz, Н*м	-217.9 / 406.5	-216.778 / 406.75	0.55 / 0.06

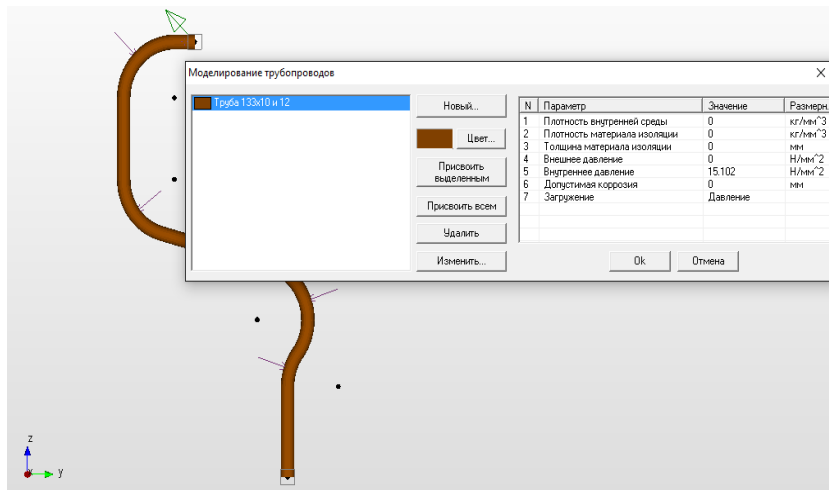
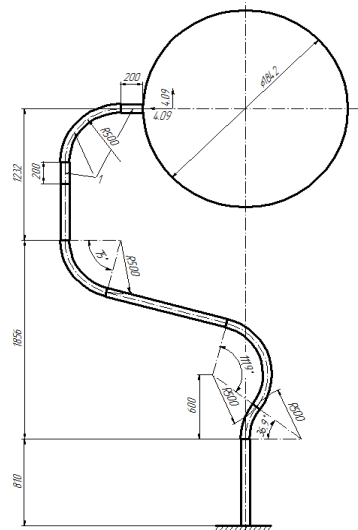
Карта эквивалентных (по Мизесу) напряжений и суммарных перемещений, возникающих от действия температуры в трубопроводе, полученная в модуле APM Structure3D (вверху) и ANSYS (внизу)



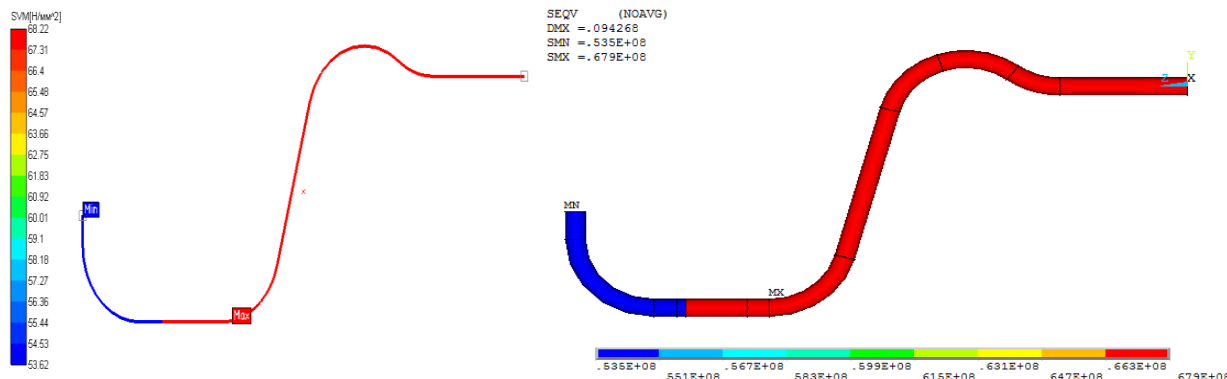
Сравнение параметров НДС и реакций в опорах заземленного с обеих сторон горячего трубопровода, нагруженного температурой

Параметр		ANSYS	APM Structure3D	Погрешность, %
Максимальная величина эквивалентных напряжений, МПа		33.0	33.49	1.5
Максимальная величина суммарных перемещений, мм		69.3	74.9	8.1
Реакции в опорах для 1 / 2 опор	X, Н	6026 / -6026	6035 / -6035	0.15 / 0.15
	Y, Н	1253.2 / -1253.2	1255.9 / -1255.9	0.21 / 0.21
	Z, Н	0 / 0	-0.28 / 0.28	- / -
	Mx, Н*м	0 / 0	0.014 / -0.014	- / -
	My, Н*м	0 / 0	-0.021 / 0.25	- / -
	Mz, Н*м	-16004 / 29852	-16002.50 / 29903	0.12 / 0.16

Сравнение параметров НДС и реакций в опорах заземленного с обеих сторон холодного трубопровода, нагруженного внутренним давлением

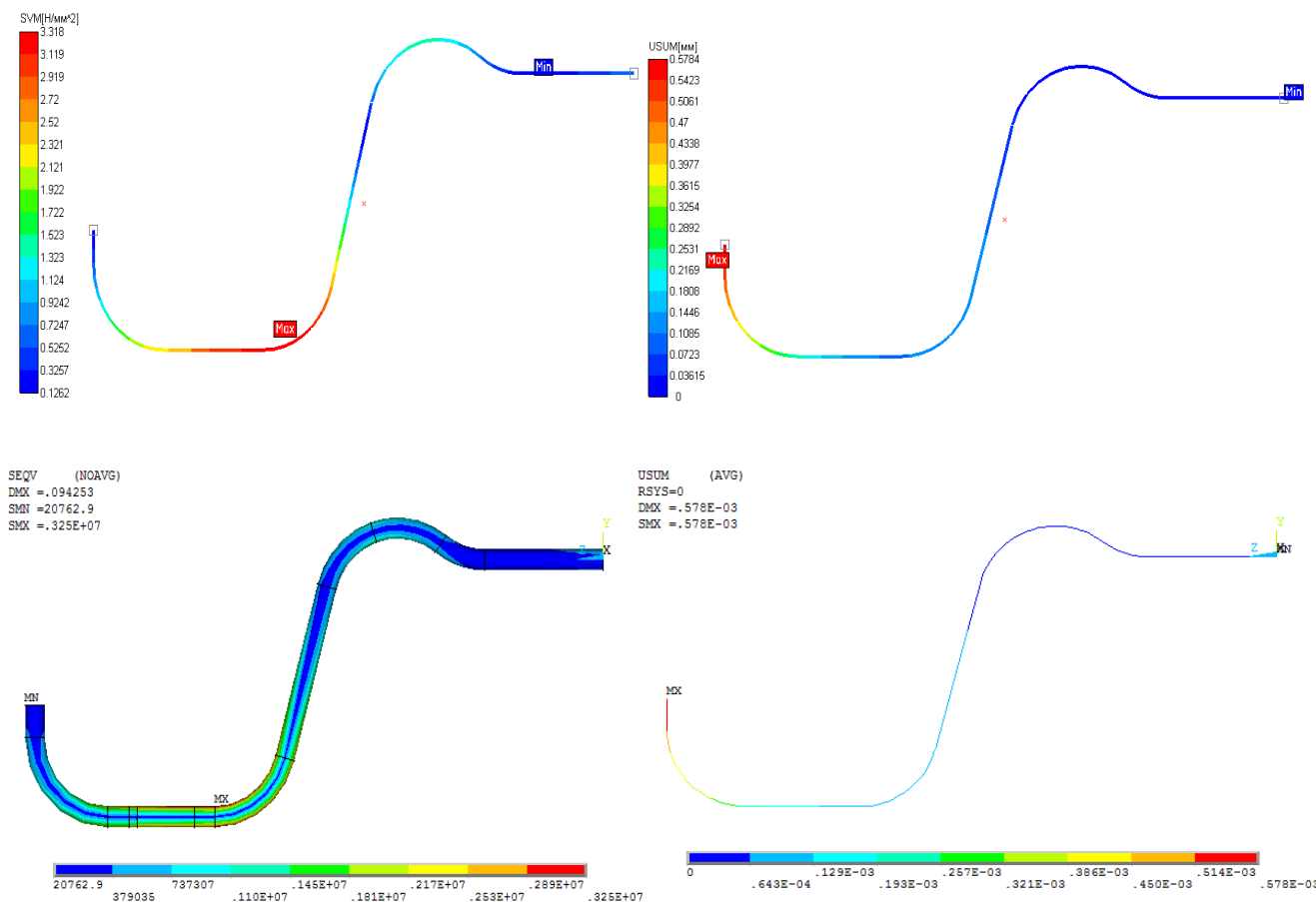


Карта эквивалентных (по Мизесу) напряжений, возникающих от действия внутреннего давления в холодном трубопроводе, полученная в модуле APM Structure3D (вверху) и ANSYS (внизу)



Параметр		ANSYS	APM Structure3D	Погрешн ость, %
Максимальная величина эквивалентных напряжений, МПа		67.9	68.22	0.47
Максимальная величина суммарных перемещений, мм		0.241	0.240	0.41
Реакции в опорах для 1 / 2 опор	X, Н	0 / 0	0 / 0	- / -
	Y, Н	55.68 / -55.68	-55.47 / 55.47	0.38/ 0.38
	Z, Н	229.24 / - 229.24	228.12 / - 228.12	0.48 / 0.48
	Mx, Н*м	0 /6.46	0 /6.72	- /4.02
	My, Н*м	0 /0	0 /0	- /-
	Mz, Н*м	0 / 0	0 /0	- /-

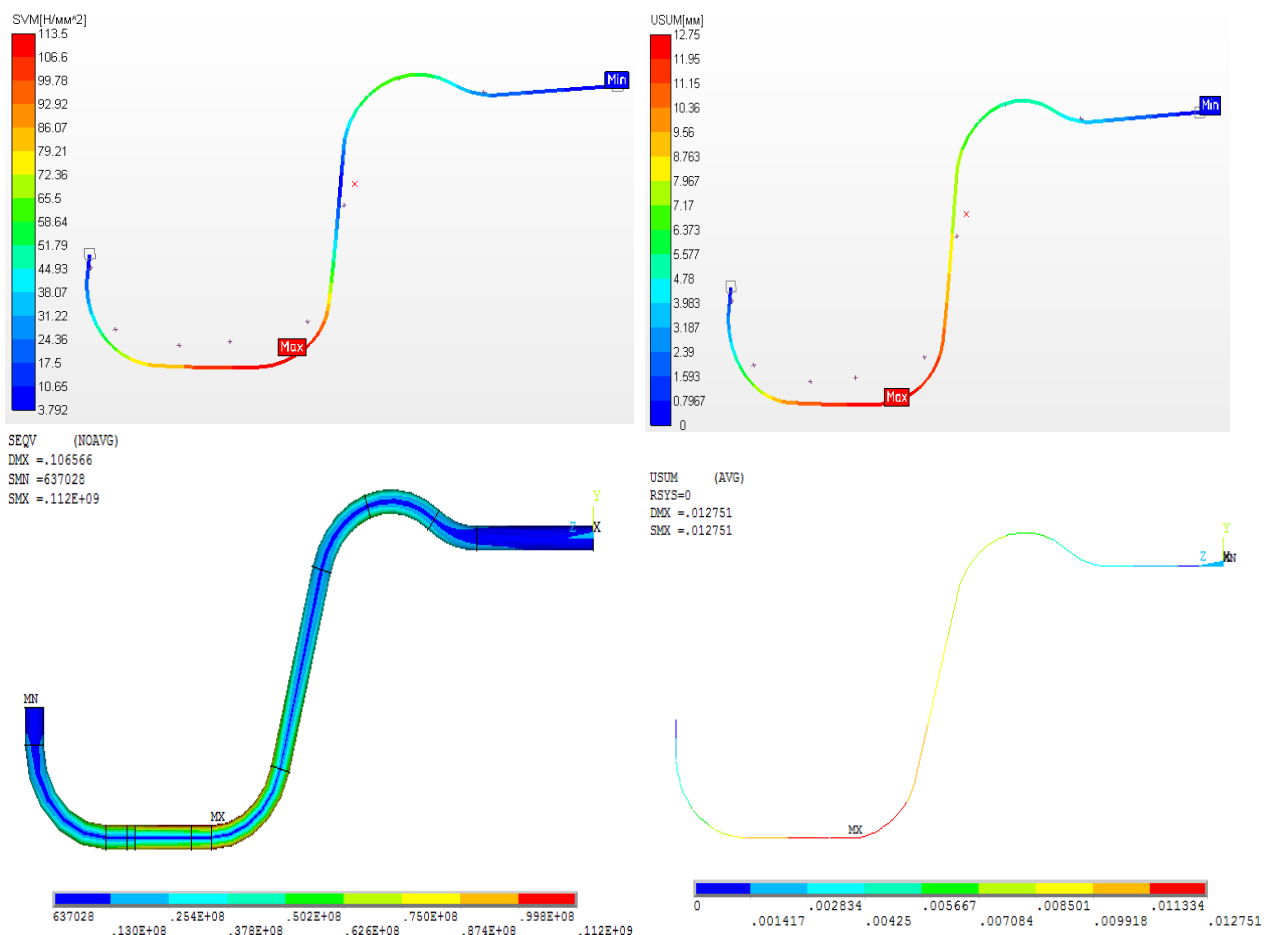
Карта эквивалентных (по Мизесу) напряжений и суммарных перемещений, возникающих от действия смещения опор в холодном трубопроводе, полученная в модуле APM Structure3D (вверху) и ANSYS (внизу)



Сравнение параметров НДС и реакций в опорах заземленного с обеих сторон холодного трубопровода, нагруженного смещением опор

Параметр		ANSYS	APM Structure3D	Погрешность, %
Максимальная величина эквивалентных напряжений, МПа		3.25	3.32	2.15
Максимальная величина суммарных перемещений, мм		0.578	0.578	0
Реакции в опорах для 1 / 2 опор	X, Н	0 / 0	0 / 0	0 / 0
	Y, Н	94.71 / - 94.71	94.50 / - 94.50	0.22 / 0.22
	Z, Н	332.52 / - 332.52	331.72 / - 331.723	0.24 / 0.24
	Mx, Н*м	-63.73 / 0	-63.79 / 0	0.1 / -
	My, Н*м	0 / 0	0 / 0	- / -
	Mz, Н*м	0 / 0	0 / 0	- / -

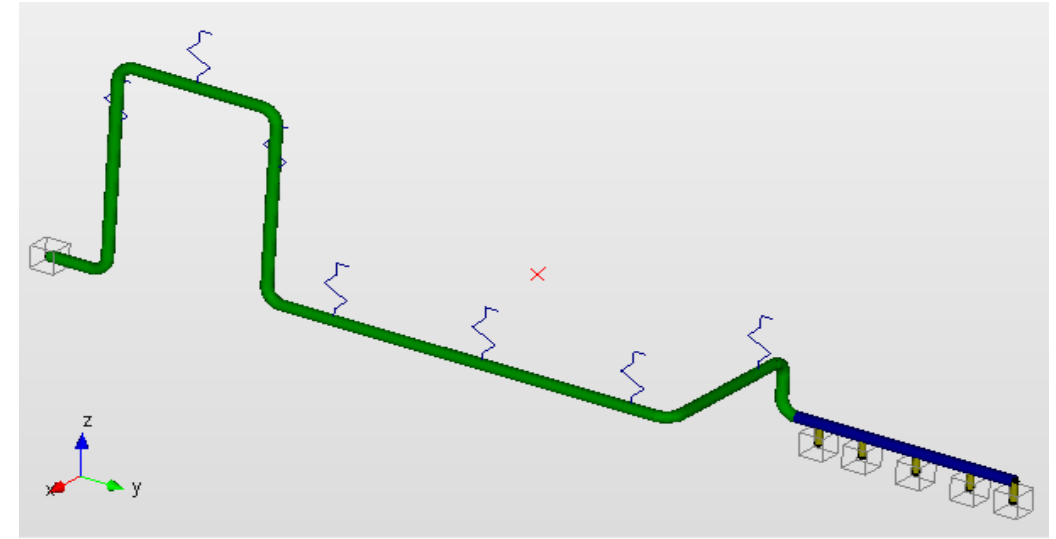
Карта эквивалентных (по Мизесу) напряжений и суммарных перемещений, возникающих от действия температуры в трубопроводе, полученная в модуле APM Structure3D (вверху) и ANSYS (внизу)



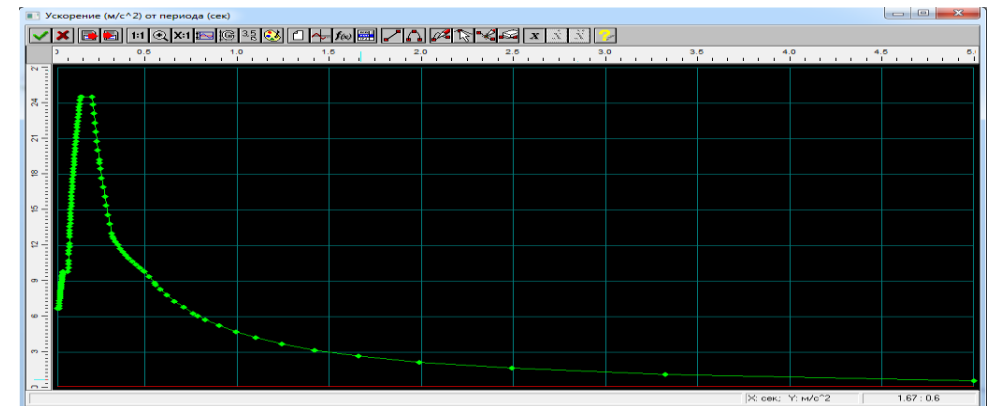
Сравнение параметров НДС и реакций в опорах заземленного с обеих сторон горячего трубопровода, нагруженного температурой

Параметр		ANSYS	APM Structure3D	Погрешность, %
Максимальная величина эквивалентных напряжений, МПа		112	113.5	1.33
Максимальная величина суммарных перемещений, мм		12.7	12.75	0.39
Реакции в опорах для 1 / 2 опор	X, Н	0 / 0	0 / 0	0 / 0
	Y, Н	-2905.9 / 2905.9	-2899.6 / 2899.6	0.03 / 0.03
	Z, Н	-12122 / 12122	-12093. / 12093.	2.4 / 2.4
	Mx, Н*м	0 / 192	0. / 198.9	0 / 3.6
	My, Н*м	0 / 0	0 / 0	0 / 0
	Mz, Н*м	0 / 0	0 / 0	0 / 0

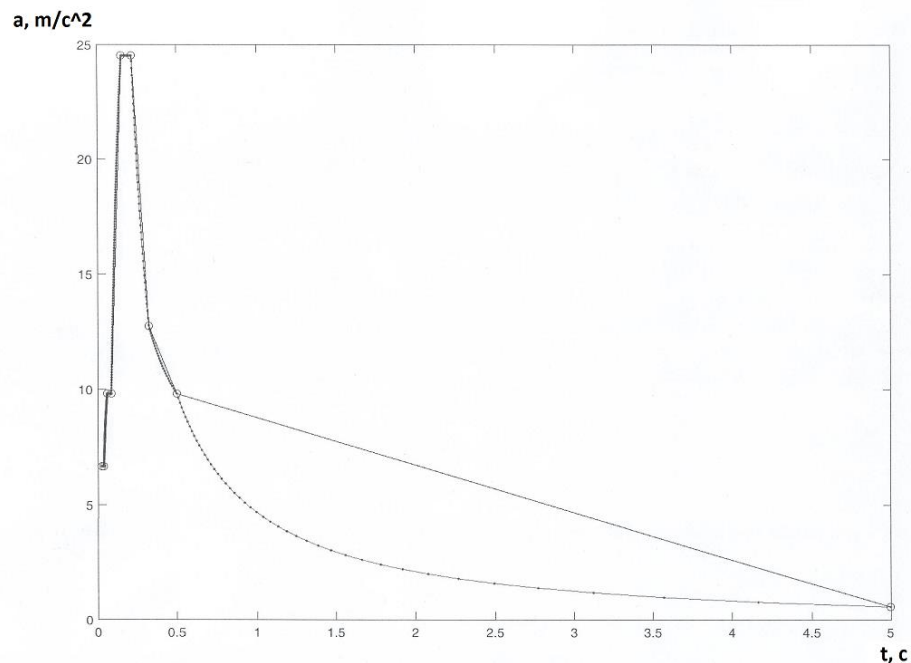
Конечно элементная модель трубопровода с упругими и жесткими опорами в объемном представлении в модуле APM Structure3D



Спектр ответа в координатах ускорение – период колебаний



Преобразование спектра ответа в координаты ускорение – период колебаний



Список собственных частот модели трубопровода

APM Structure3D

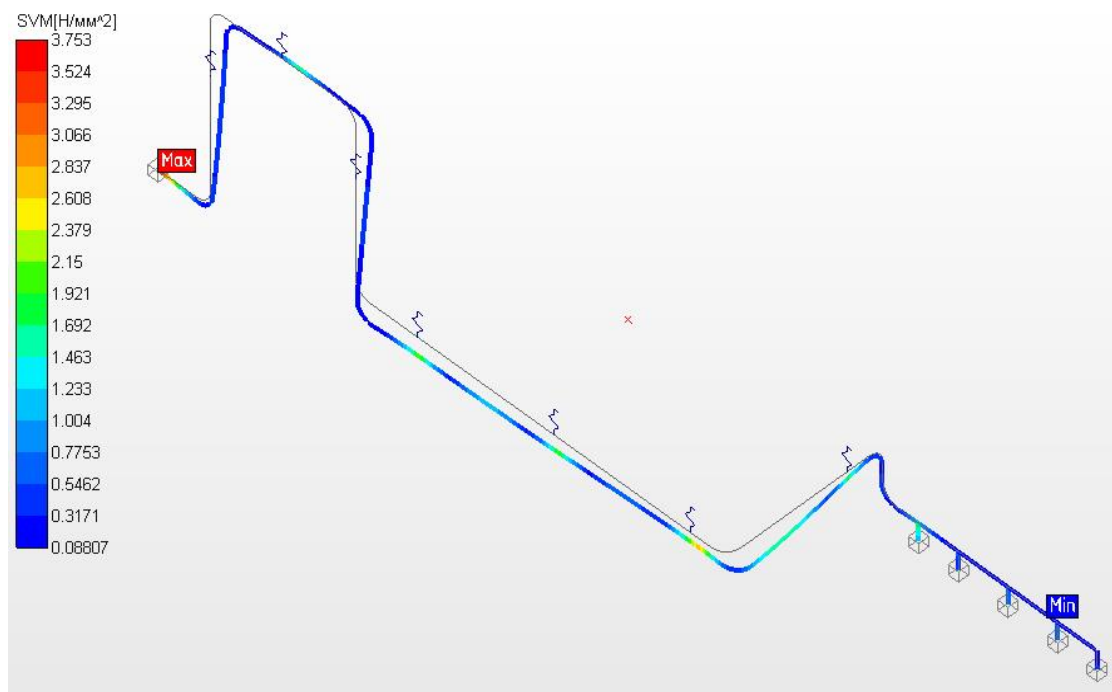
ANSYS

Частоты собственных колебаний									
Собственные частоты				Модальные массы (м.м.) и суммы модальных масс (с.м.м.) по направлениям ГСК					
N	[рад/с]	[Гц]	[с]	м.м. X [%]	с.м.м. X [%]	м.м. Y [%]	с.м.м. Y [%]	м.м. Z [%]	с.м.м. Z [%]
1	7.96354	1.26744	0.788994	43.7	43.7	7.93	7.93	5.26e-05	5.26e-05
2	11.2019	1.78284	0.560904	3.47	47.2	42.8	50.7	0.000668	0.00072
3	14.5434	2.31465	0.432031	1.56	48.7	12.3	63	3.05e-08	0.00072
4	24.3836	3.88077	0.257681	0.00191	48.7	0.863	63.8	0.00078	0.0015
5	38.8238	6.179	0.161838	3.4	52.1	0.0174	63.9	0.00036	0.00186
6	43.5459	6.93055	0.144289	10.4	62.6	0.421	64.3	4.51e-06	0.00186
7	66.3246	10.5559	0.0947339	9.04	71.6	0.293	64.6	0.000419	0.00228
8	98.3686	15.6558	0.0638739	0.502	72.1	4.09	68.7	0.00484	0.00713
9	132.52	21.0911	0.0474133	1.97	74.1	0.0217	68.7	0.000356	0.00748
10	144.231	22.955	0.0435635	0.000539	74.1	2.07	70.8	0.168	0.175
11	152.531	24.276	0.0411929	1.26	75.3	0.0448	70.8	0.00631	0.182
12	183.37	29.1842	0.0342652	0.024	75.4	0.0176	70.8	2.63	2.81
13	187.165	29.7882	0.0335703	0.00528	75.4	0.517	71.3	0.851	3.66
14	208.645	33.2069	0.0301142	0.282	75.7	0.0507	71.4	0.0796	3.74
15	248.548	39.5576	0.0252796	0.00499	75.7	0.00318	71.4	9.02	12.8
16	263.552	41.9457	0.0238404	0.0243	75.7	0.00106	71.4	0.0927	12.9

SET	TIME/FREQ
1	1.2660
2	1.7811
3	2.3126
4	3.8800
5	6.1710
6	6.9264
7	10.551
8	15.651
9	21.086
10	22.955
11	24.272
12	29.180
13	29.787
14	33.203
15	39.558
16	41.946
17	43.420
18	45.421
19	46.440
20	48.006

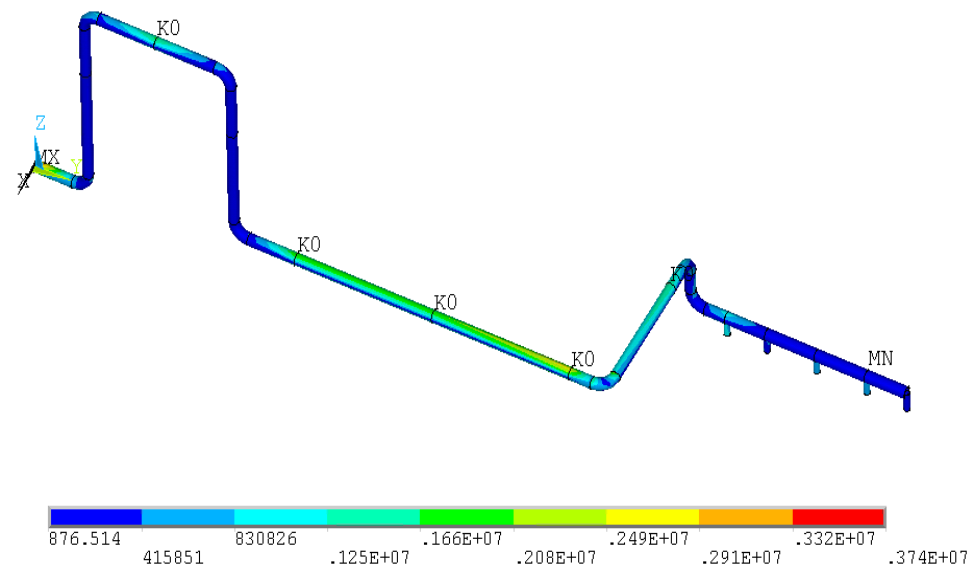
Карта эквивалентных (по Мизесу) напряжений в трубопроводе, возникающих под действием собственного веса

APM Structure3D



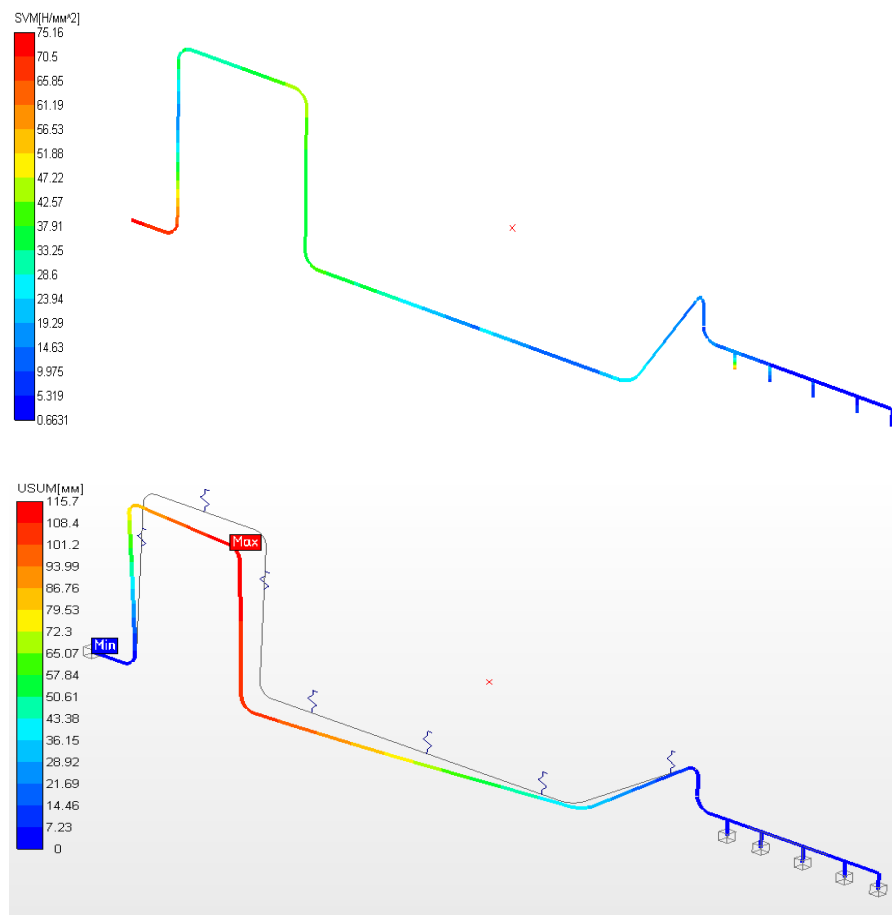
ANSYS

SEQV (AVG)
DMX = .389E-03
SMN = 876.514
SMX = .374E+07

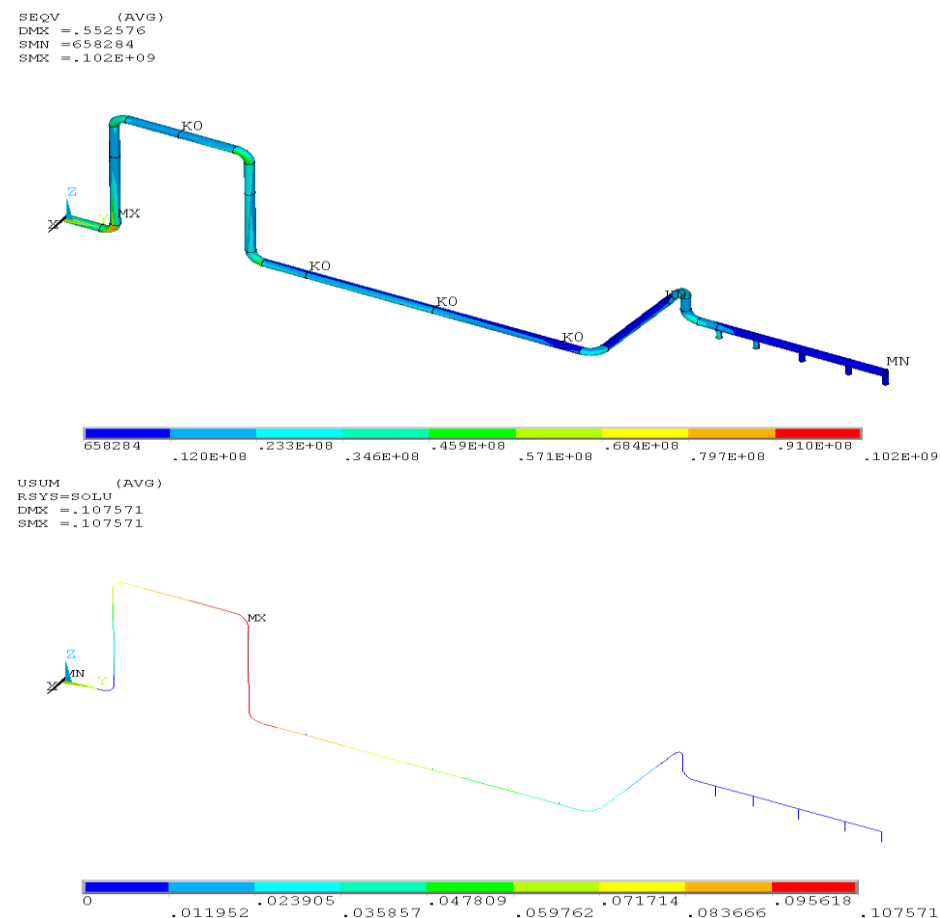


Карта эквивалентных (по Мизесу) напряжений и суммарных перемещений в трубопроводе, возникающих от сейсмического воздействия по оси X

APM Structure3D



ANSYS



Таблицы реакций в опорах в трубопроводе, возникающих от сейсмического воздействия по оси X

APM Structure3D

Реакции в опорах

Сейсмика X 1/13

N	N узла	Rx [H]	Ry [H]	Rz [H]	Mx [H*м]	My [H*м]	Mz [H*м]	UX [мм]	UY [мм]	UZ [мм]	ROTX [г...]	ROTY [г...]	ROTZ [г...]
1	4	-21808.7...	-11597.3...	-38591.5...	-38067.7...	-116099....	74014.69...	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
2	6	-0.0000	-0.0000	17703.55...	0.0000	-0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
3	7	-0.0000	-0.0000	35235.89...	-0.0000	-0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
4	8	-0.0000	-0.0000	-3649.21...	-0.0000	-0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
5	9	-0.0000	-0.0000	-11798.3...	0.0000	-0.0000	-0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
6	10	-0.0000	-0.0000	-1932.69...	-0.0000	-0.0000	-0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
7	11	-0.0000	-0.0000	5821.9442	0.0000	-0.0000	-0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
8	12	-0.0000	-0.0000	21008.89...	0.0000	-0.0000	-0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
9	18	-50397.4...	7503.7023	-37240.1...	1184.3205	-39930.7...	-8135.21...	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
10	19	16277.87...	-3657.66...	16287.58...	1299.7509	12109.61...	-1918.73...	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
11	20	7661.6860	-2419.07...	-734.9226	1000.3851	5390.6569	503.9177	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
12	21	314.9863	-2171.91...	-280.9912	891.3020	-3775.86...	183.2557	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
13	22	-480.1881	-1937.57...	671.5784	828.0717	-3007.87...	132.6057	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

ANSYS

NODE	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
4	20439.	10923.	36323.	35828.	0.10837E+06	68669.
18	47353.	7097.7	35097.	1144.7	37617.	7627.1
19	15223.	3435.5	15245.	1224.5	11446.	1809.6
20	7175.9	2285.3	686.75	945.04	5091.6	474.83
21	299.47	2051.9	264.81	842.02	3567.1	173.04
22	449.48	1830.4	634.22	782.27	2840.7	125.26
106	0.0000	0.0000	16694.	0.0000	0.0000	0.0000
107	0.0000	0.0000	33032.	0.0000	0.0000	0.0000
108	0.0000	0.0000	3480.2	0.0000	0.0000	0.0000
109	0.0000	0.0000	11004.	0.0000	0.0000	0.0000
110	0.0000	0.0000	1874.1	0.0000	0.0000	0.0000
111	0.0000	0.0000	5610.4	0.0000	0.0000	0.0000
112	0.0000	0.0000	20078.	0.0000	0.0000	0.0000

Сравнение собственных частот в трубопровода (слева) , а также напряжений, перемещений, и реакций в опорах (справа), возникающих от сейсмического воздействия по оси X, полученных в APM Structure3D и в ANSYS

№ собственн ой частоты	Значение ANSYS, Гц	Значение APM Structure3D, Гц	Погрешно сть, %
1	1,2660	1,267	0,07
2	1,7811	1,783	0,11
3	2,3126	2,315	0,11
4	3,8800	3,881	0,02
5	6,1710	6,179	0.12
6	6,9264	6.93	0.05
7	10,551	10,556	0.05
8	15,651	15,656	0.03
9	21,086	21,091	0.02
10	22,955	22,955	0,00
11	24,272	24,276	0.02
12	29,180	29,184	0.01
13	29,787	29.788	0.01
14	33,203	33,207	0.01
15	39,558	39,557	0.01
16	41,946	41,946	0.01

Параметр	Единицы измерения	Значение ANSYS	Значение APM Structure3D	Погрешность, %
Величина максимального эквивалентного напряжения	МПа	102,0	107,16	5,71
Величина максимального суммарного перемещения	мм	107,57	115,7	3,0
Rx в узле 4	Н	20439	-21830,5	6.8
Ry в узле 4	Н	10923	-11590,8	6.1
Rz в узле 4	Н	36323	-38599,6	6.2
Mx в узле 4	Н*м	35828	-38075,8	6.3
My в узле 4	Н*м	108370	-116125,	7.1
Mz в узле 4	Н*м	68669	74054.2	7.8
Rz в узле 6	Н	16694	17707.4	6.1
Rz в узле 7	Н	33032	35243.7	6.6
Rz в узле 8	Н	3480,2	-3635.9	4.5
Rz в узле 9	Н	11004	-11802.8	7.2
Rz в узле 10	Н	1874,1	-1949.05	4.1
Rz в узле 11	Н	5610,4	5833.7	4.0
Rz в узле 12	Н	20078	21012.5	4.6
Rx в узле 18	Н	47353	-50403.7	6.4
Ry в узле 18	Н	7097,7	7504.1	5.7
Rz в узле 18	Н	35097	-37243,9	6.1
Mx в узле 18	Н*м	1144,7	1184.8	3.5
My в узле 18	Н*м	37617	-39933.4	6.1
Mz в узле 18	Н*м	7627,1	-8136.4	6.6

Спасибо за внимание!

**Компания НТЦ «АПМ»
(научно-технический центр)
Московская область, г. Королев
Октябрьский бульвар, д. 14, офис 6
Тел.: (495) 120-58-10, (495) 514-84-19
Internet: www.apm.ru, www.cae.apm.ru
E-mail: com@apm.ru**