



СЕРТИФИЦИРУЕМ
КОНТАКТНУЮ ЗАДАЧУ

Объекты и виды расчетов

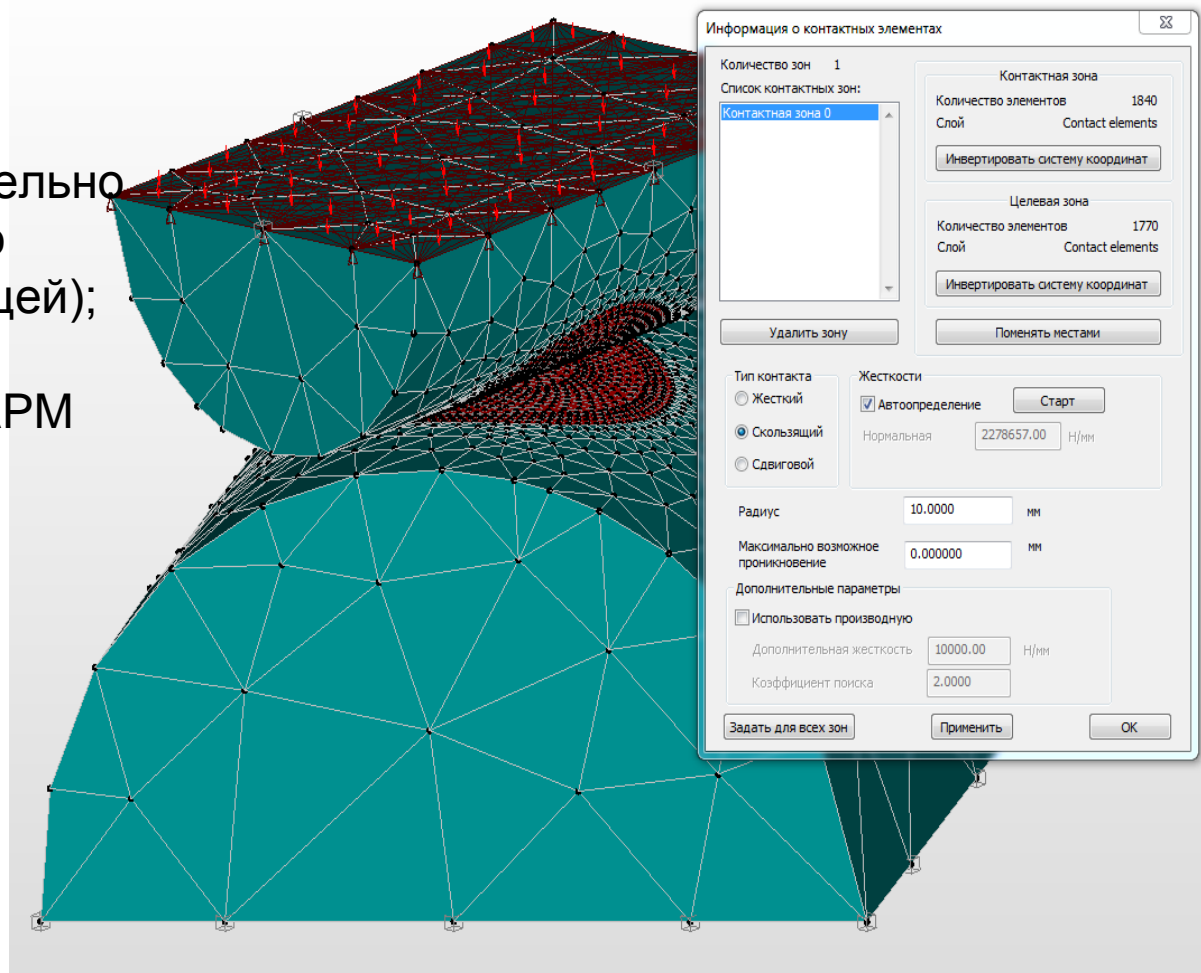
- Односторонние жесткие опоры;
 - Односторонние жесткие опоры с зазором;
 - Односторонние упругие опоры, в том числе и с зазором;
 - Трубопроводные КЭ (прямолинейные участки, отводы, тройники и т.п.)
 - Расчет оборудования на сейсмическое воздействие
-
- Расчет трубопроводных элементов (температура,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

Что следует сделать, чтобы задать исходные данные для решения контактной задачи

- Создаются сборочная единица с контактирующими деталями в APM FEM (Компас), APM Studio, APM Structure3D из объемных элементов, которые обязательно должны быть в разных слоях и не иметь физического контакта друг с другом (КЭ сетка не должна быть общей);
- Создается контактная зона (APM Structure3D) или уточняются ее параметры при импорте КЭ сеток из APM FEM (Компас), APM Studio;

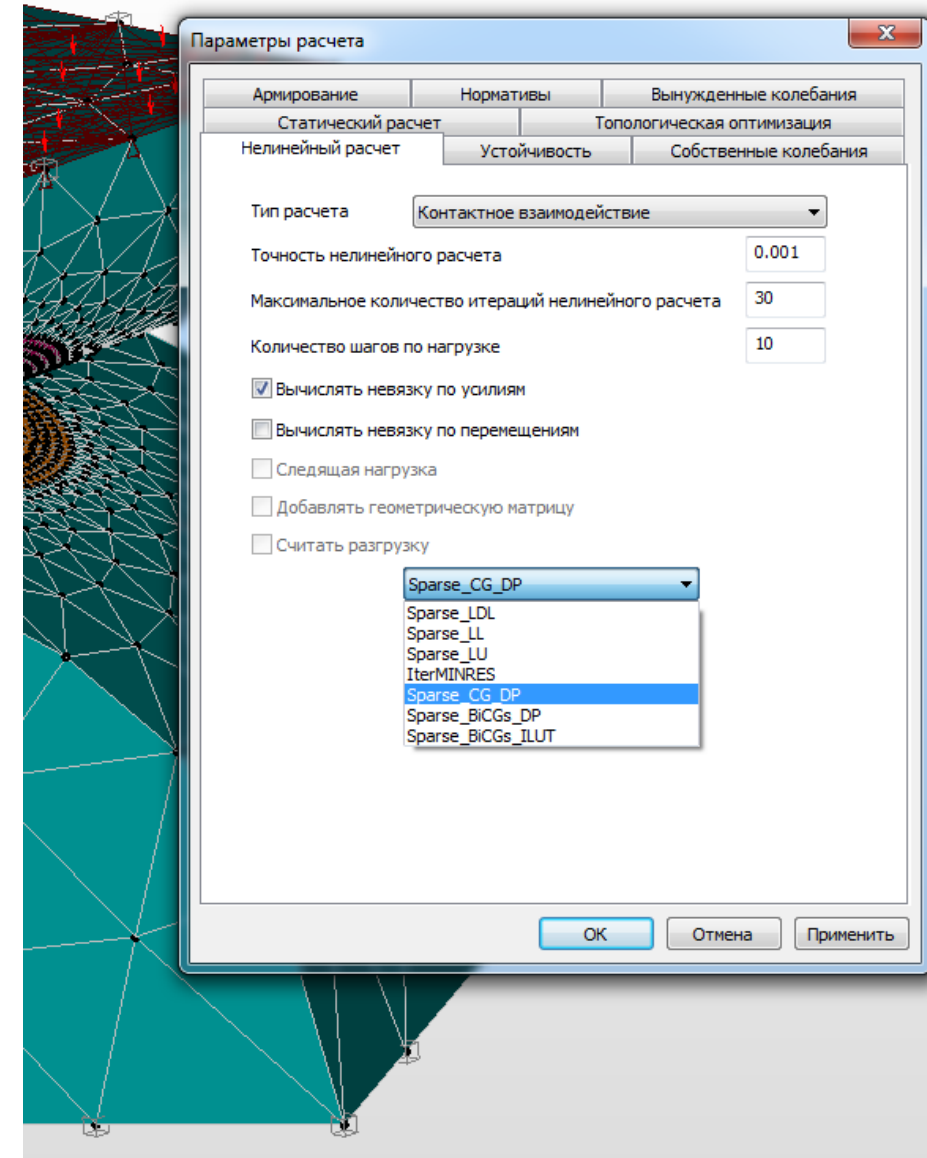
Параметры –

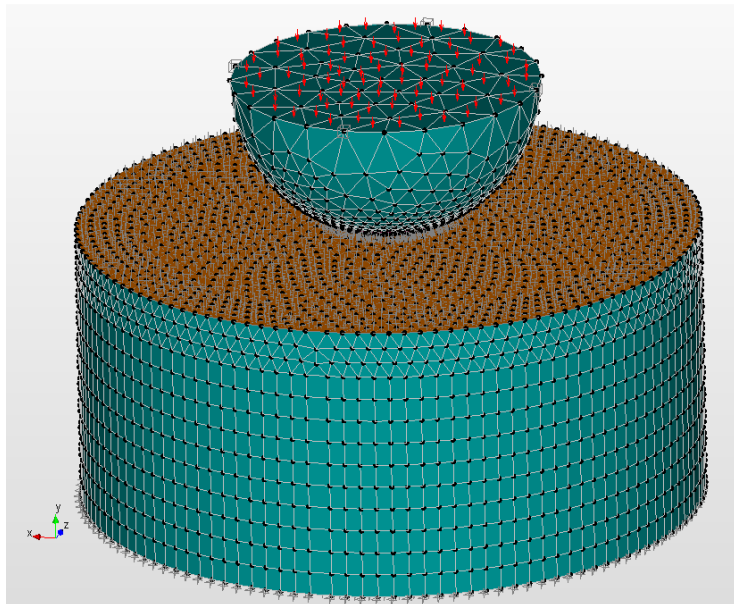
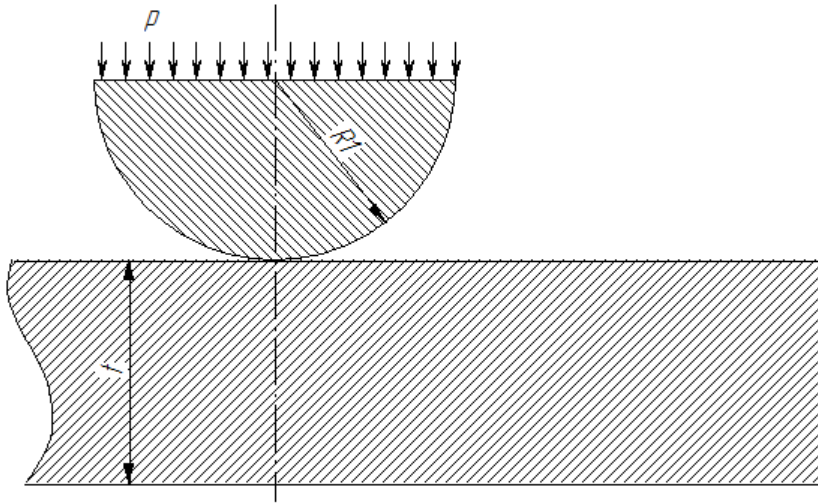
- направление нормалей контактных элементов;
- тип контакта;
- жесткость фиктивных контактных элементов;
- радиус поиска взаимодействующих контактных элементов;
- максимально возможное проникновение.



Как корректно задать параметры нелинейного расчета для решения контактной задачи

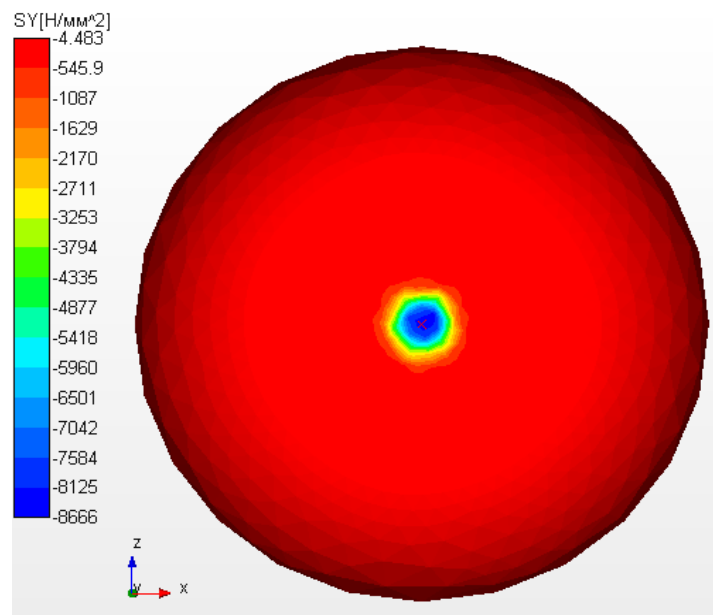
- Выбирается тип расчета – Контактное взаимодействие;
- Задается точность нелинейного расчета;
- Максимальное количество итераций нелинейного расчета;
- Количество шагов по нагрузке;
- Вычислять невязку по усилиям – галочка.
- Выбор метода расчета;



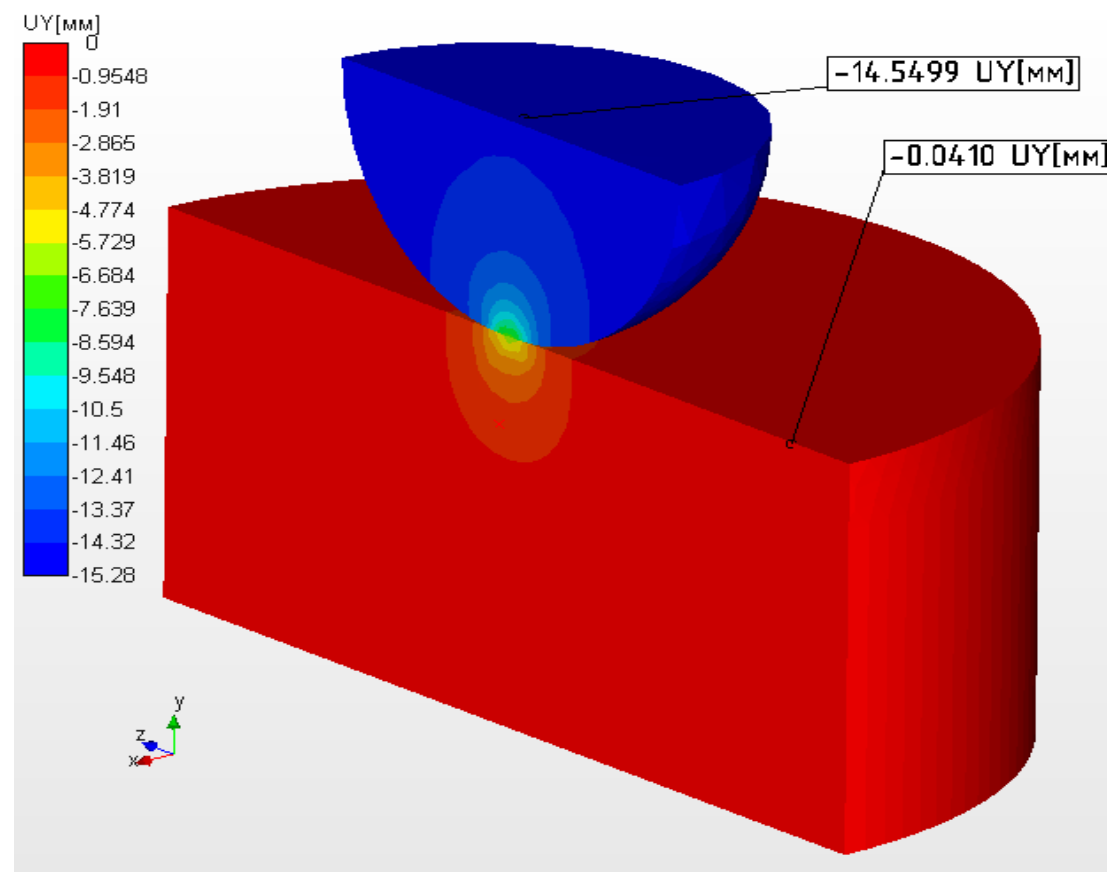


Какие параметры контактной задачи будем рассчитывать и критерий оценки

- Давление и, соответственно, нормальное напряжение в центре площадки контакта;
- Максимальное проникновение шара в полупространство ;
- Радиус большой полуоси эллипса пятна контакта (в нашем случае радиус окружности пятна контакта);
- В качестве критерия оценки – расчет по аналитической модели С.П. Демидов «Теория упругости», М. Высшая школа, 1979



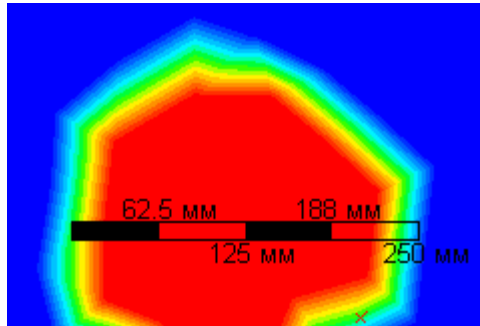
Карта давлений в зоне контакта тела – шара – плоскость



Перемещение контактирующих тел в зоне контакта (разрез)

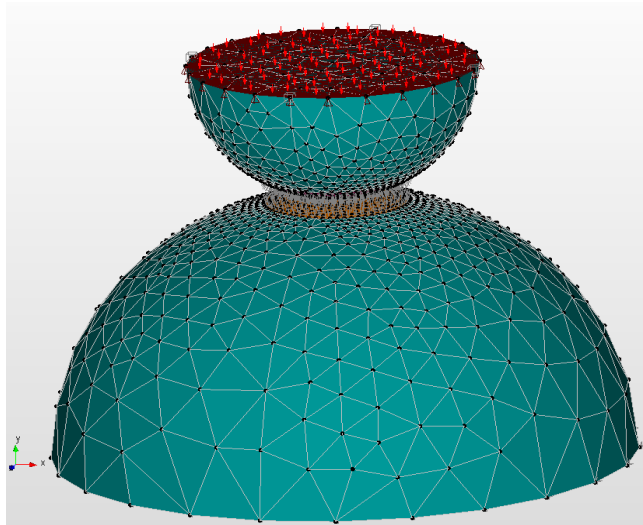
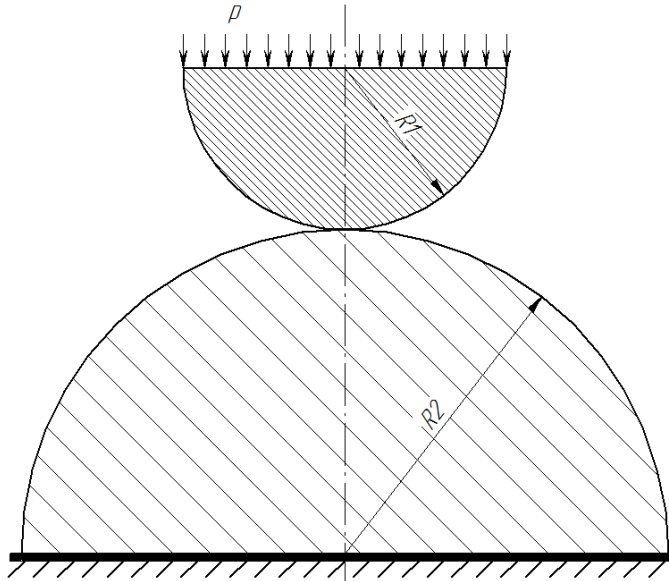
Сравнение результатов решения контактной задачи в модуле APM Structure3D, с теоретическими.

Материал Сталь – Сталь, давление на поверхность среза полушара – 100 МПа



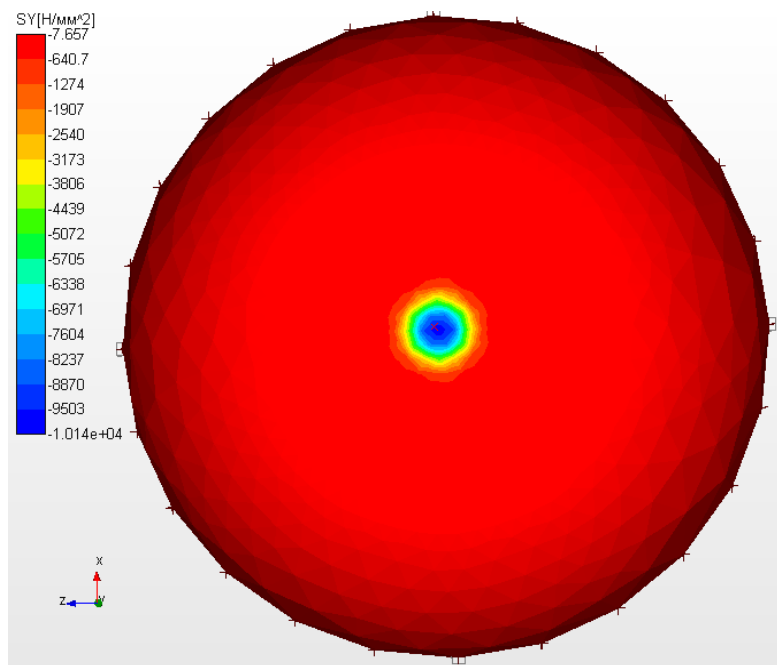
Фрагмент карты статуса контактных элементов в зоне контакта с измерительной шкалой для оценки радиуса зоны контакта

Параметр	Теоретическое значение	ANSYS	APM Structure 3D	Погрешность с теорией / Расхождение с ANSYS, %
Максимальное нормальное напряжение в зоне контакта, Н/мм ²	9020	9300	8666	3.92 / 6.8
Максимальное перемещение (проникновения) детали шара в плоскую поверхность, УУ, мм	-16,6	-14.67	-14,51	12.6 / 1.1

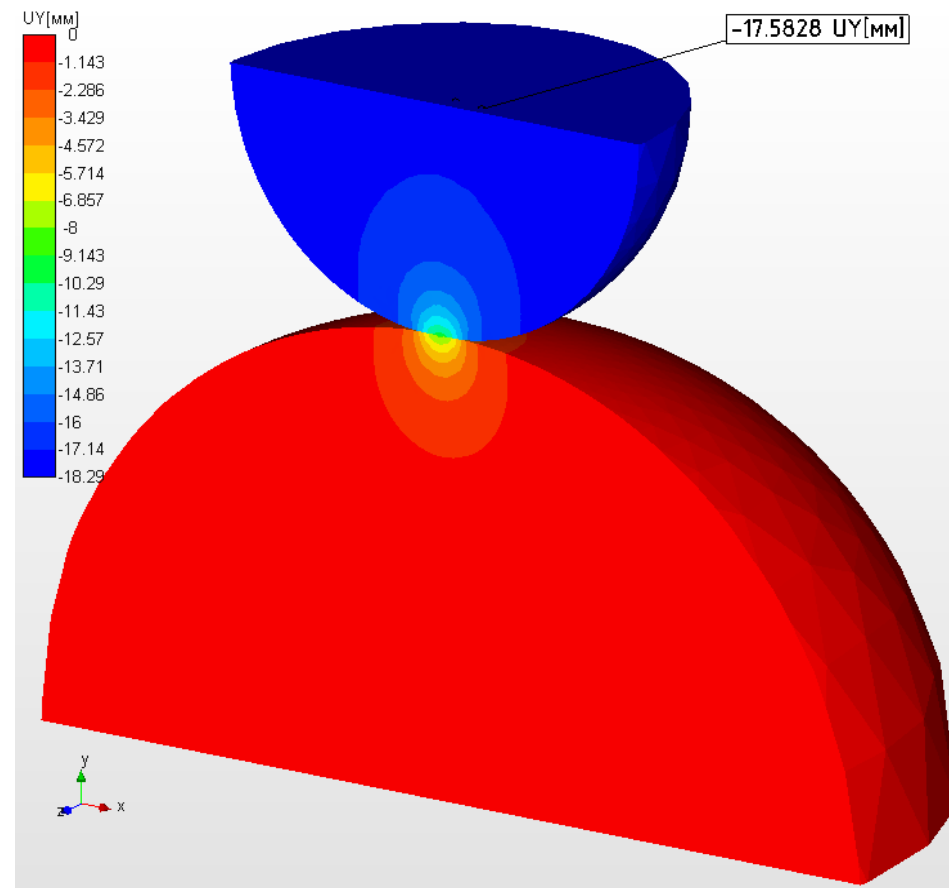


Какие параметры контактной задачи будем рассчитывать и критерии их оценки

- Давление и, соответственно, нормальное напряжение в центре площадки контакта;
- Максимальное проникновение меньшего шара в большой шар (сближение центров шаров);
- Радиус большой полуоси эллипса пятна контакта (в нашем случае радиус окружности пятна контакта);
- В качестве критерия оценки – сравнение с теоретическим значением по методике С.П. Демидов «Теория упругости», М. Высшая школа, 1979



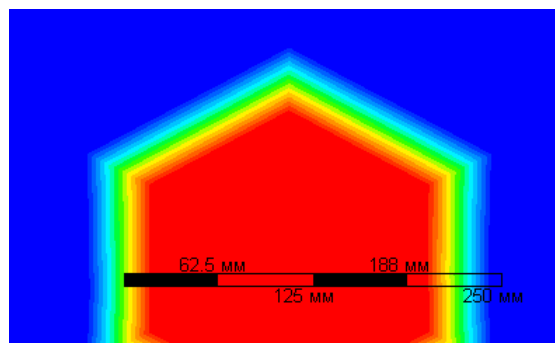
Карта распределения давления в зоне контакта тел шар – шар



Перемещение контактирующих тел в зоне контакта (разрез)

Сравнение результатов решения контактной задачи в модуле APM Structure3D, с теоретическими.

Материал Сталь – Сталь, давление на поверхность среза меньшего полушара – 100 МПа

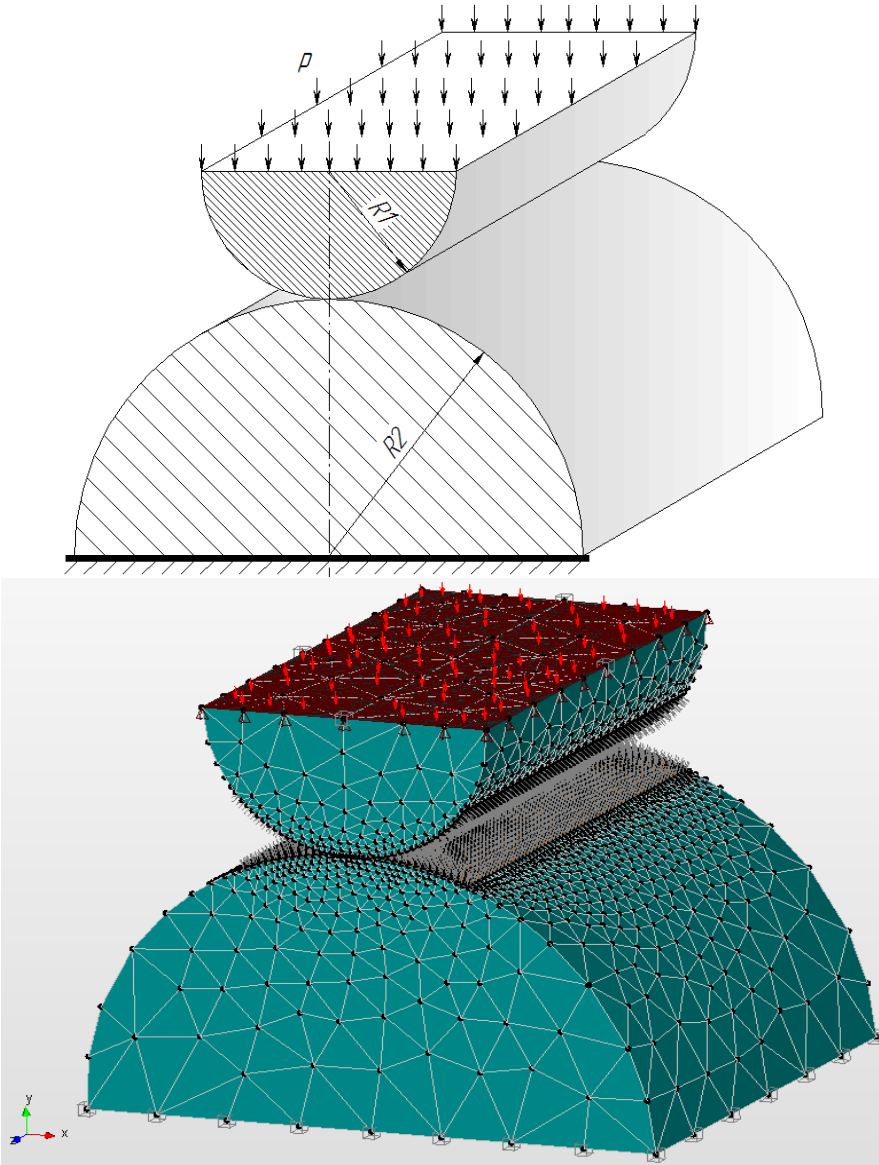


Фрагмент карты статуса контактных элементов в зоне контакта с измерительной шкалой для оценки радиуса зоны контакта

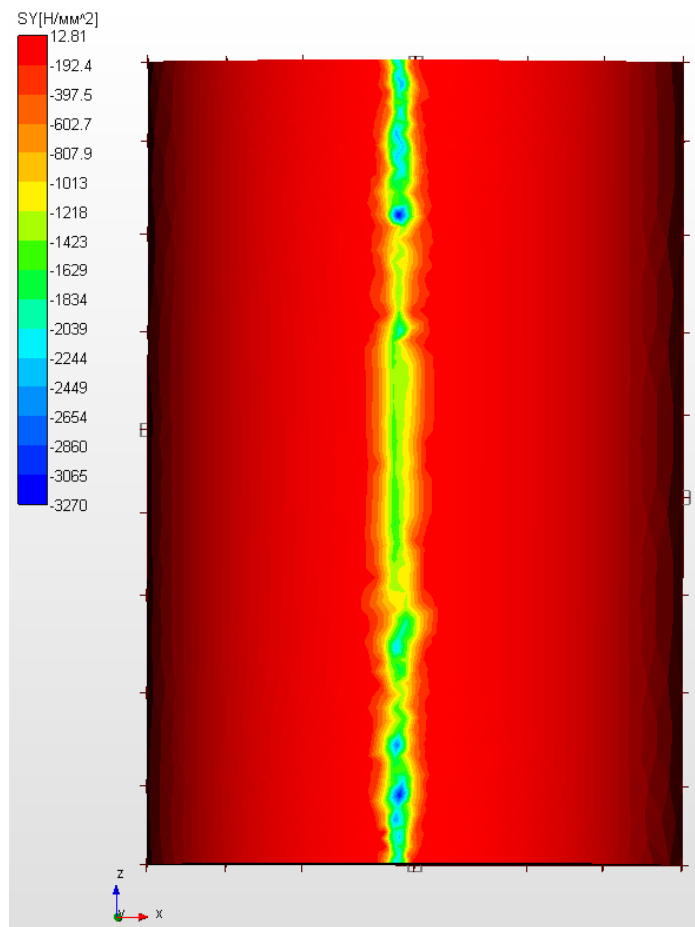
Параметр	Теоретическое значение	ANSYS	APM Structure3D	Погрешность с теорией / Расхождение с ANSYS, %
Максимальное нормальное напряжение в зоне контакта, Н/мм ²	11818,75	10900	10140	14.2 / 6.97
Максимальное перемещение (проникновения) детали шара в плоскую поверхность, УУ, мм	19.03	18.27	17.51	7.98 / 4.16

Какие параметры контактной задачи будем рассчитывать и критерии их оценки

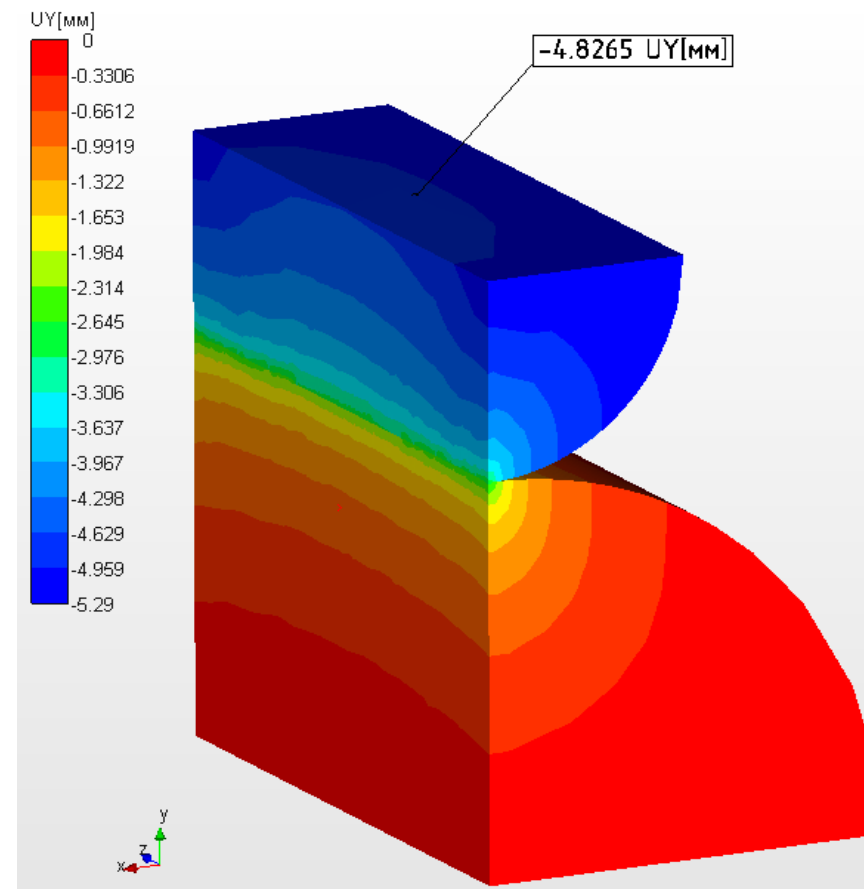
- Давление и, соответственно, нормальное напряжение в площадке контакта;
- Максимальное проникновение верхнего цилиндра в нижний (изменение расстояния между центрами цилиндров);
- Радиус большой полуоси эллипса пятна контакта (в нашем случае ширина контактной дорожки);
- В качестве критерия оценки – сравнение с теоретическим значением по методике из С.П. Демидов «Теория упругости», М. Высшая школа, 1979



Результаты решения задачи Герца – контакт цилиндра с цилиндром по образующей под действием распределенной сжимающей силы



Карта давлений в зоне контакта тел
цилиндр – цилиндр по образующей



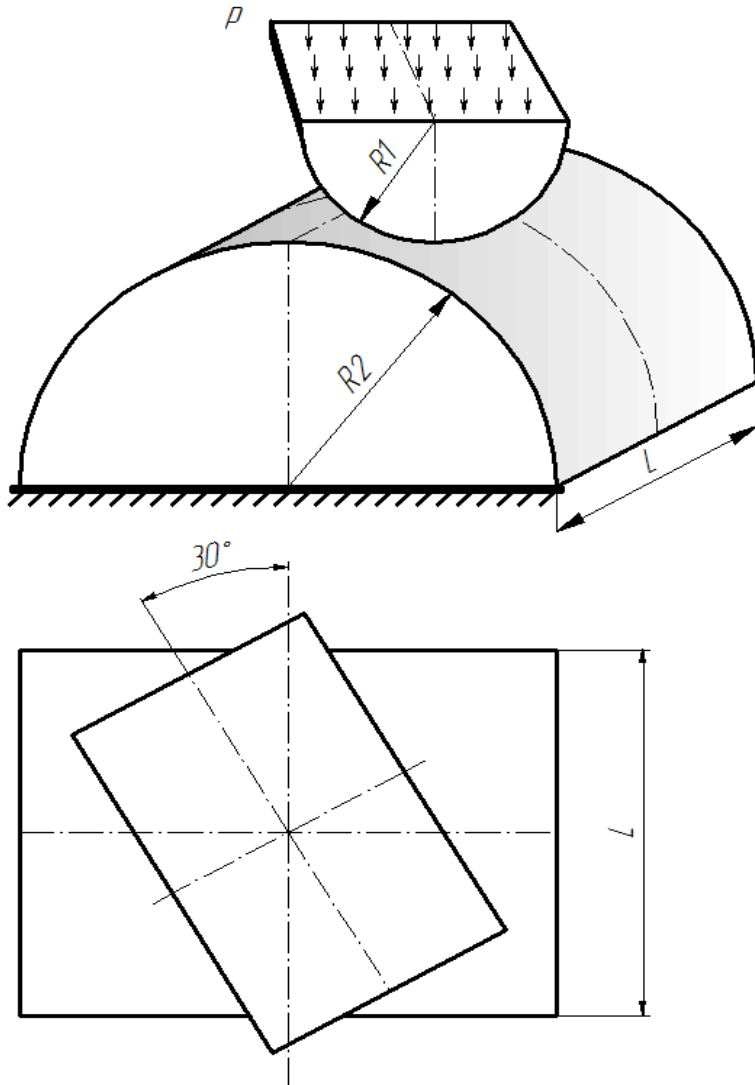
Перемещение контактирующих тел в зоне контакта (разрез)

Результаты решения задачи Герца – контакта цилиндра с цилиндром по образующей под действием распределенной сжимающей силы

Сравнение результатов решения контактной задачи в модуле APM Structure3D, с теоретическими.

Материал Сталь – Сталь, давление на поверхность среза меньшего полуцилиндра – 100 МПа

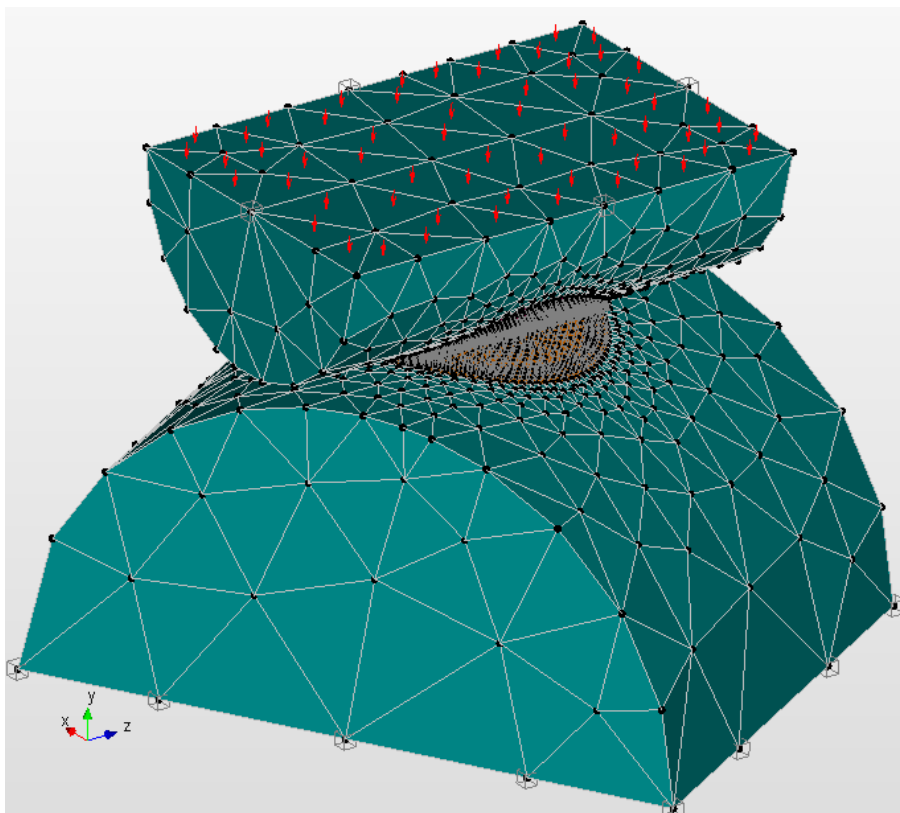
Параметр	Теоретическое значение	ANSYS	APM Structure3D	Погрешность с теорией / Расхождение с ANSYS, %
Максимальное нормальное напряжение в зоне контакта, Н/мм ²	3238	2990	3269	0.96 / 9.33
Максимальное перемещение (проникновения) детали шара в плоскую поверхность, УУ, мм	5.178	4.813	4.826	6.8 / 0.28



Какие параметры контактной задачи будем рассчитывать и критерии их оценки

- Давление и, соответственно, нормальное напряжение в площадке контакта;
- Максимальное проникновение верхнего цилиндра в нижний (изменение расстояния между центрами цилиндров);
- Радиус большой полуоси эллипса пятна контакта;
- В качестве критерия оценки – сравнение с теоретическим значением по методике С.П. Демидов «Теория упругости», М. Высшая школа, 1979

Решение задачи Герца – контакт цилиндра с цилиндром под углом под действием распределенной сжимающей силы



Информация о контактных элементах

Количество зон: 1

Список контактных зон:

- Контактная зона 0

Удалить зону

Контактная зона

Количество элементов: 1840
Слой: Contact elements
Инvertировать систему координат

Целевая зона

Количество элементов: 1770
Слой: Contact elements
Инvertировать систему координат

Поменять местами

Тип контакта

☐ Жесткий
☒ Скользящий
☐ Сдвиговой

Жесткости

☒ Автоопределение (Старт)
 Нормальная: 2278657.00 Н/мм

Радиус: 10.0000 мм

Максимально возможное проникновение: 0.0001000 мм

Дополнительные параметры

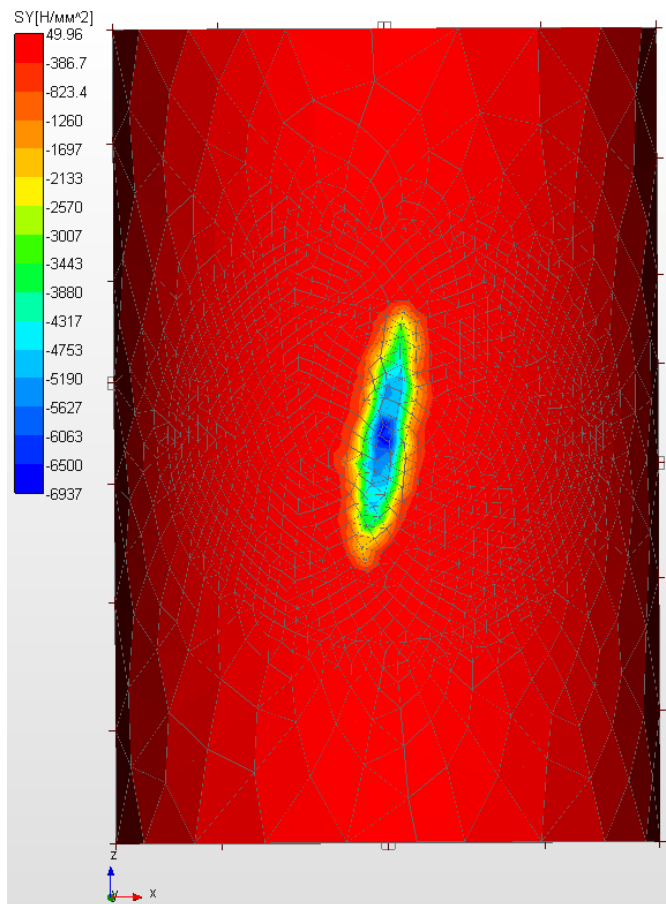
☐ Использовать производную

Дополнительная жесткость: 10000.00 Н/мм

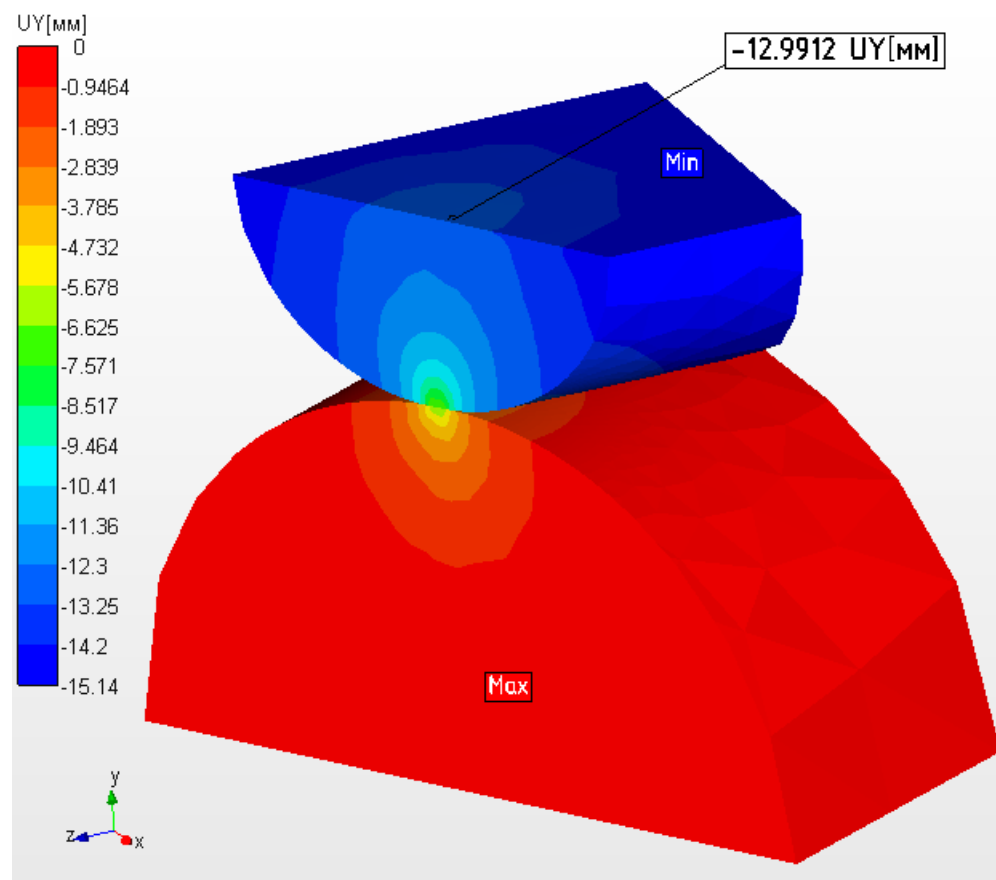
Коэффициент поиска: 2.0000

Задать для всех зон Применить OK

Результаты решения задачи Герца – контакт цилиндра с цилиндром под углом под действием распределенной сжимающей силы



Карта давлений в зоне контакта тел
цилиндр – цилиндр под углом



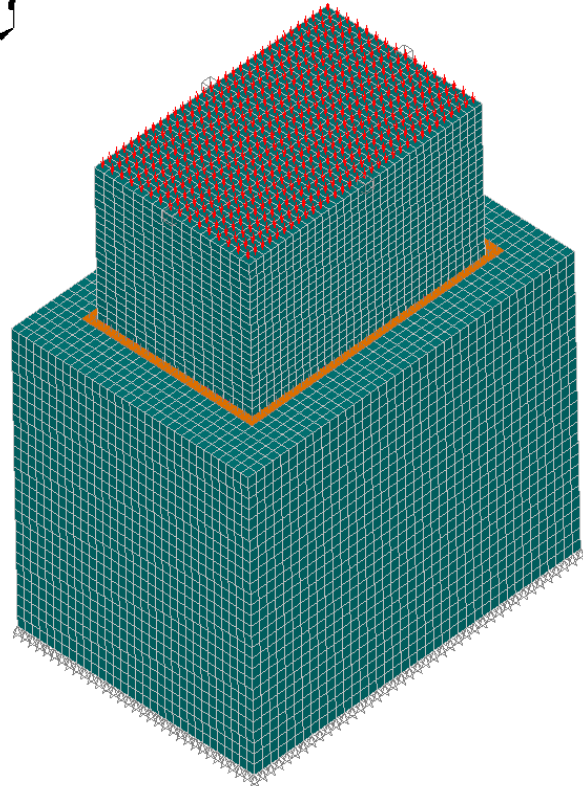
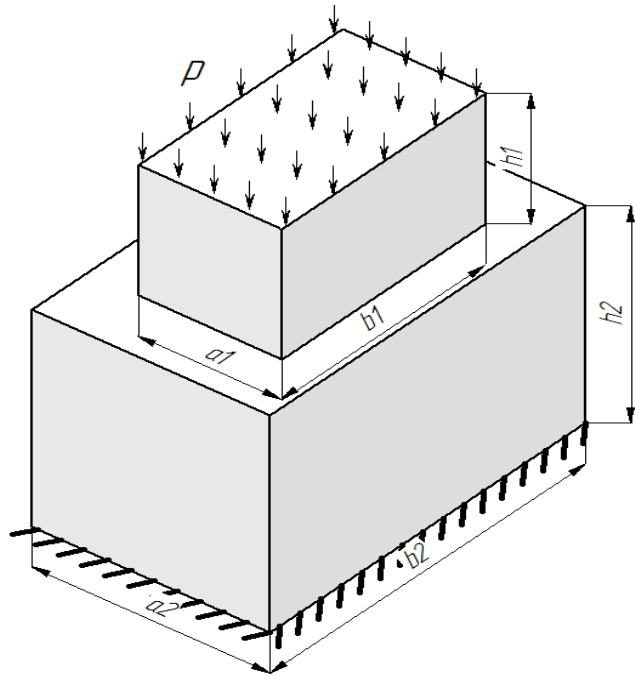
Карта перемещений контактирующих тел в зоне
контакта (разрез)

Результаты решения задачи Герца – контакта цилиндра с цилиндром по образующей под действием распределенной сжимающей силы

Сравнение результатов решения контактной задачи в модуле APM Structure3D, с теоретическими.

Материал Сталь – Сталь, давление на поверхность среза меньшего полуцилиндра – 100 МПа

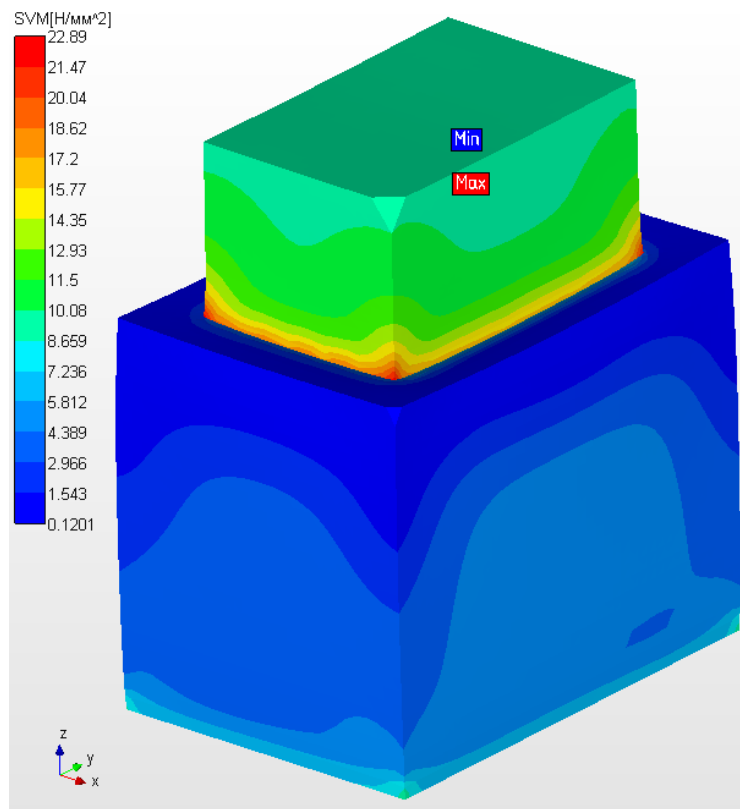
Параметр	Теоретическое значение	ANSYS	APM Structure3D	Погрешность с теорией / Расхождение с ANSYS, %
Максимальное нормальное напряжение в зоне контакта, Н/мм ²	6696.1	6920	6937	3.6 / 0.25
Максимальное перемещение (проникновения) детали шара в плоскую поверхность, УУ, мм	16.19	13.53	12.99	19.7 / 3.99



Какие параметры контактной задачи будем определять и критерий их оценки

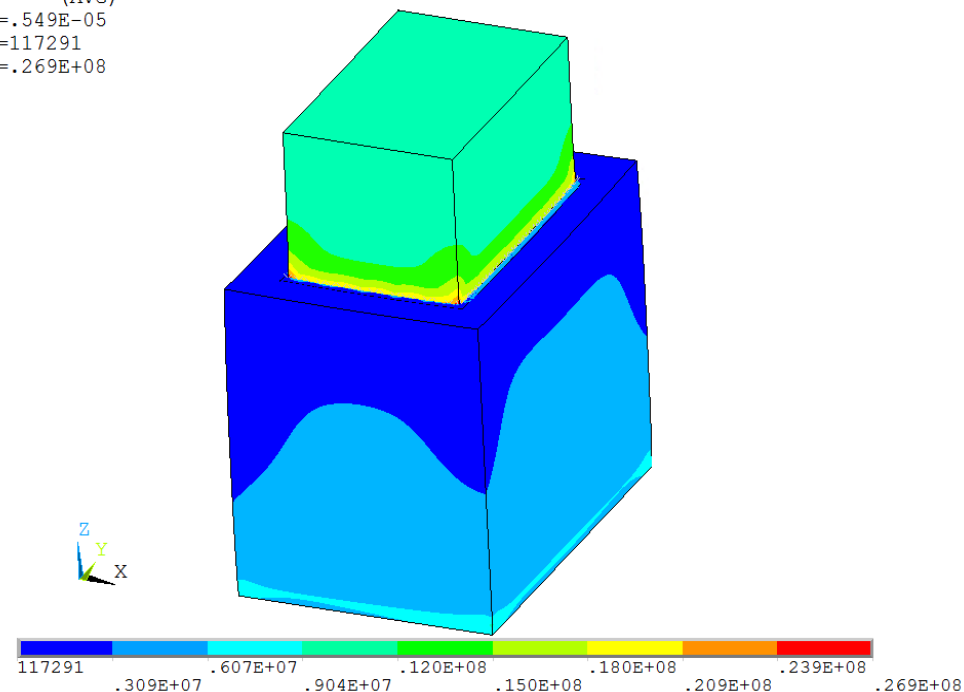
- Давление и, соответственно, нормальные и касательные компоненты напряжений в площадке контакта;
- Проникновение верхнего параллелепипеда в нижний (смещение);
- В качестве эталонного средства использовался ANSYS ;

Результаты решения задачи контакта двух тел по плоским поверхностям под действием распределенной сжимающей силы

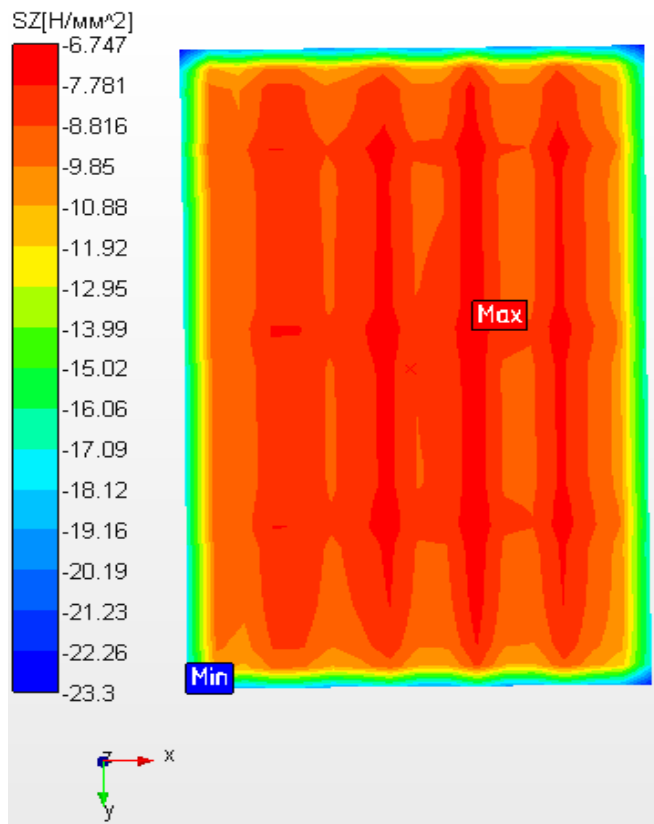


Карта эквивалентных (по Мизесу) напряжений, полученных в модуле APM Structure3D

STEP=1
SUB =7
TIME=1
SEQV (AVG)
DMX =.549E-05
SMN =117291
SMX =.269E+08

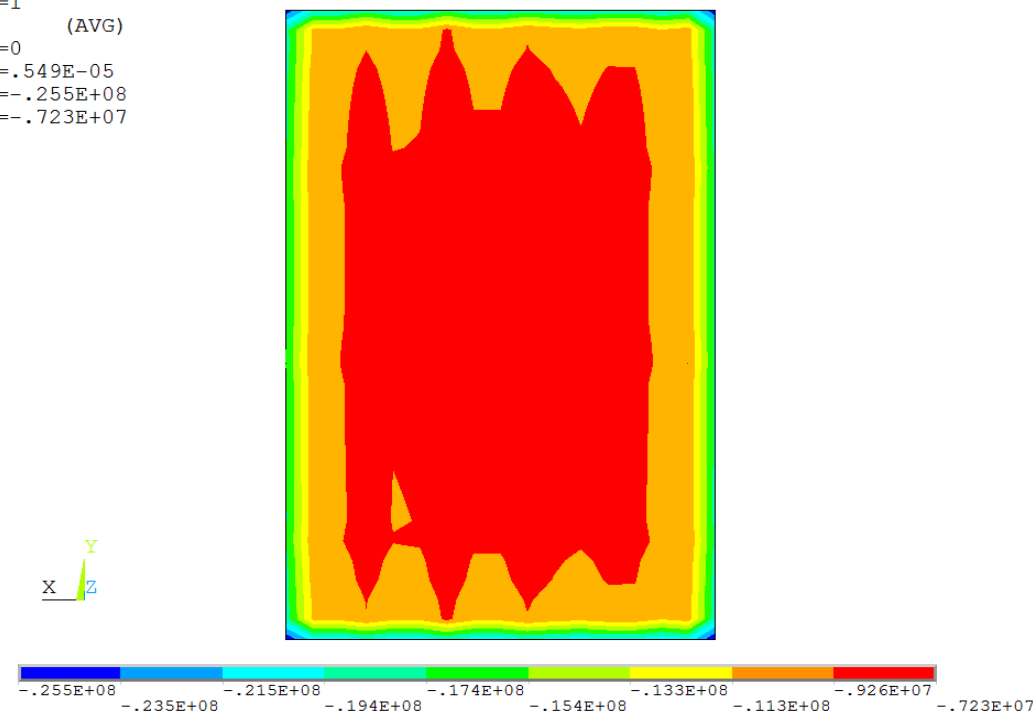


Карта эквивалентных по Мизесу напряжений, полученных в ANSYS



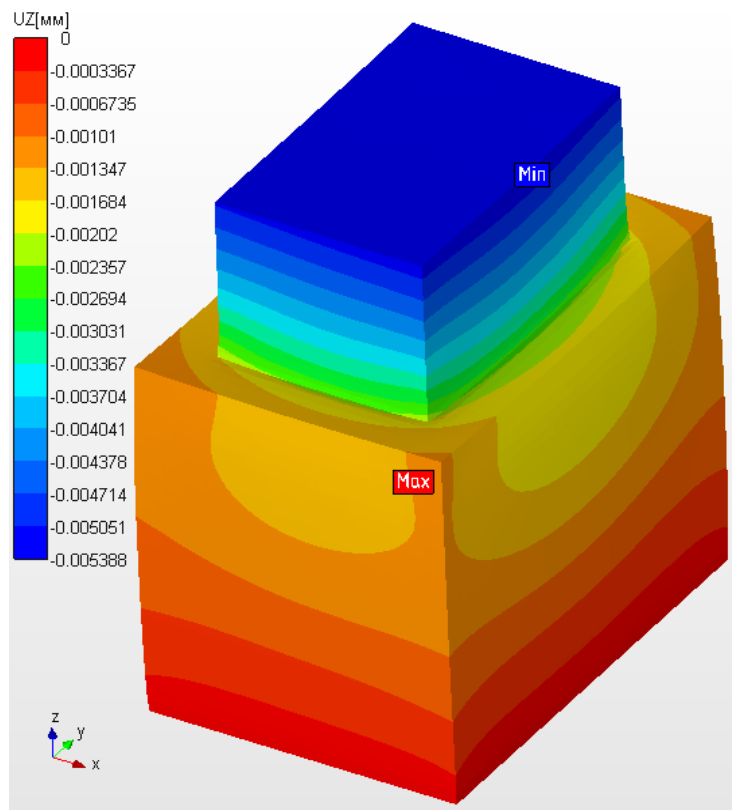
Карта распределений нормального давления по координате Z на контактной поверхности меньшего параллелепипеда, полученная в модуле APM Structure3D

STEP=1
SUB =7
TIME=1
SZ (AVG)
RSYS=0
DMX =.549E-05
SMN =-.255E+08
SMX =-.723E+07



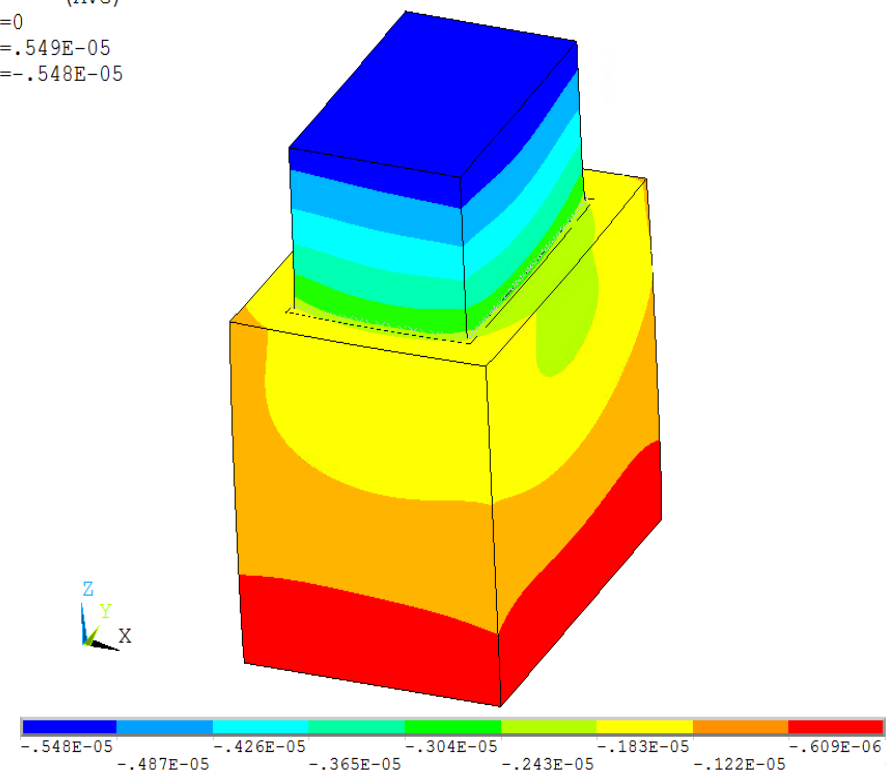
Карта распределений нормального давления по координате Z на контактной поверхности меньшего параллелепипеда, полученная в ANSYS

Результаты решения задачи контакта двух тел по плоским поверхностям под действием распределенной сжимающей силы



Карта перемещений по координате Z двух параллелепипедов, находящихся в контакте под действием сжимающей силы, полученные в модуле APM Structure3D

```
STEP=1
SUB =7
TIME=1
UZ      (AVG)
RSYS=0
DMX =.549E-05
SMN =-.548E-05
```



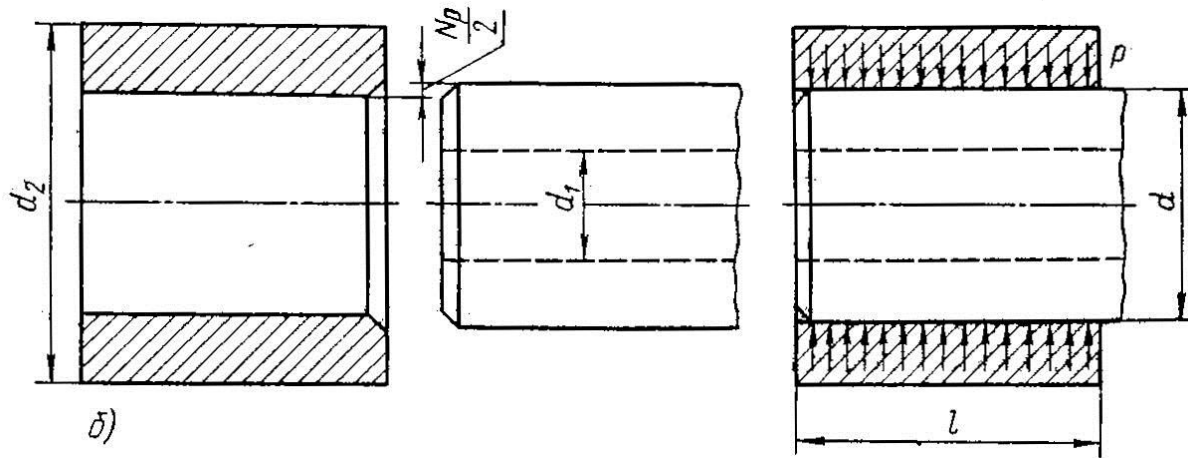
Карта перемещений по координате Z двух параллелепипедов в контакте, находящихся в контакте под действием сжимающей силы, полученные в ANSYS

Результаты решения задачи контакта двух тел по плоским поверхностям под действием распределенной сжимающей силы

Сравнение результатов напряжений и перемещений, полученных при решении задачи контакта двух параллелепипедов по плоским граням в модуле APM Structure3D с аналогичными результатами, полученными в ANSYS.

Материал Сталь – Сталь давление на поверхность меньшего параллелепипеда – 10 МПа

Параметр	Компоненты напряжений и перемещений	ANSYS	APM Structure3D	Погрешность с ANSYS, %
Компоненты эквивалентных или нормальных напряжений, Н/мм ²	SVM max	26.9	22.89	14.9
	SVM min	0.1173	0.1201	2.38
	SX max	3.18	3.665	15.25
	SX min	-6.67	-7.495	12.37
	SY max	3.48	3.766	8.22
	SY min	-7.32	-7.913	8.10
	SZ max	0.8277	0.8387	1.33
	SZ min	-25.5	-23.3	8.63
Компоненты перемещений, мм	USum max	0.00549	0.00538	1.57
	USum min	0	0	-
	UX max	5.67E-04	5.66E-04	0.25
	UX min	-7.95E-04	-7.79E-04	2.0
	UY max	9.69E-04	9.61E-04	0.85
	UY min	-9.21E-04	-9.12E-04	0.94
	UZ max	0	0	-
	UZ min	-5.48E-03	-5.39E-03	1.68



Какие параметры контактной задачи соединения с натягом будем определять и критерии оценки

- Нормальные и окружные компоненты напряжений в площадке контакта;
- Нормальные и окружные компоненты напряжений на внешней поверхности втулки и на внутренней поверхности осевого отверстия в валу;
- Сравнение проводилось с теоретическими значениями В.И. Феодосьев Сопротивление материалов, М.; Изд. МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003

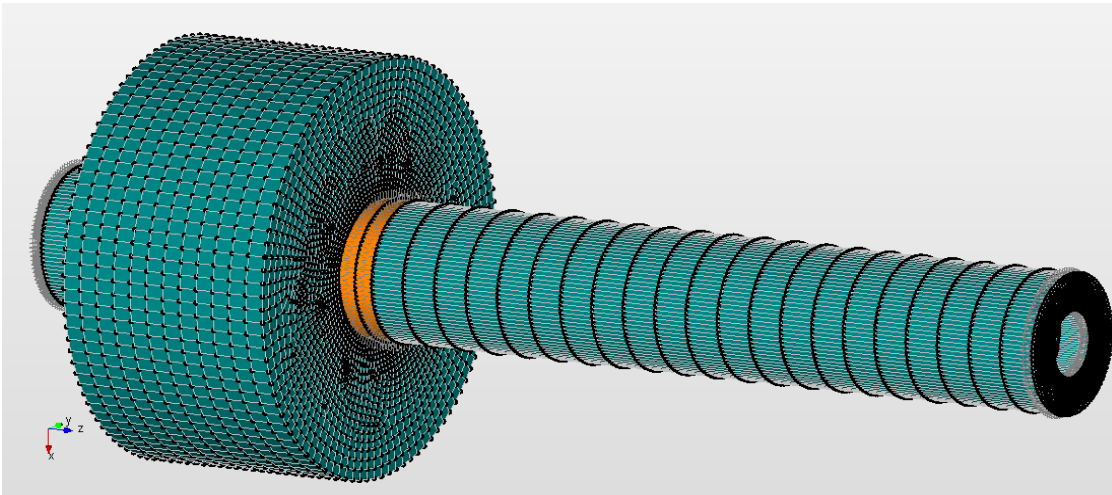
Исходные данные для расчета

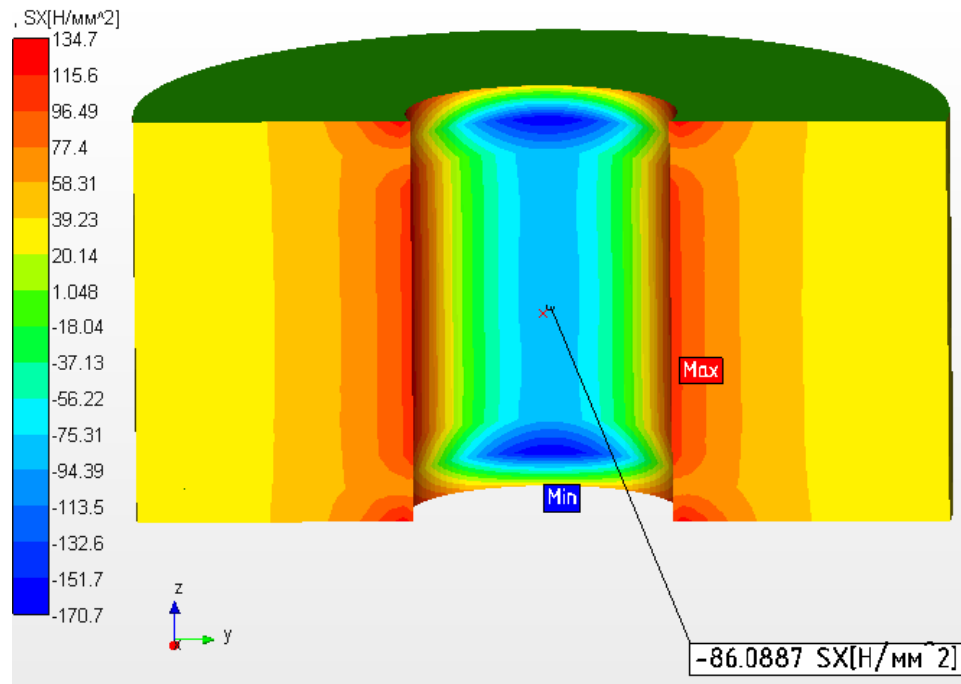
$d_1 = 20 \text{ мм}$ — диаметр внутреннего отверстия в валу; ¶

$d = 40 \text{ мм}$ — диаметр вала и втулки в зоне контакта; ¶

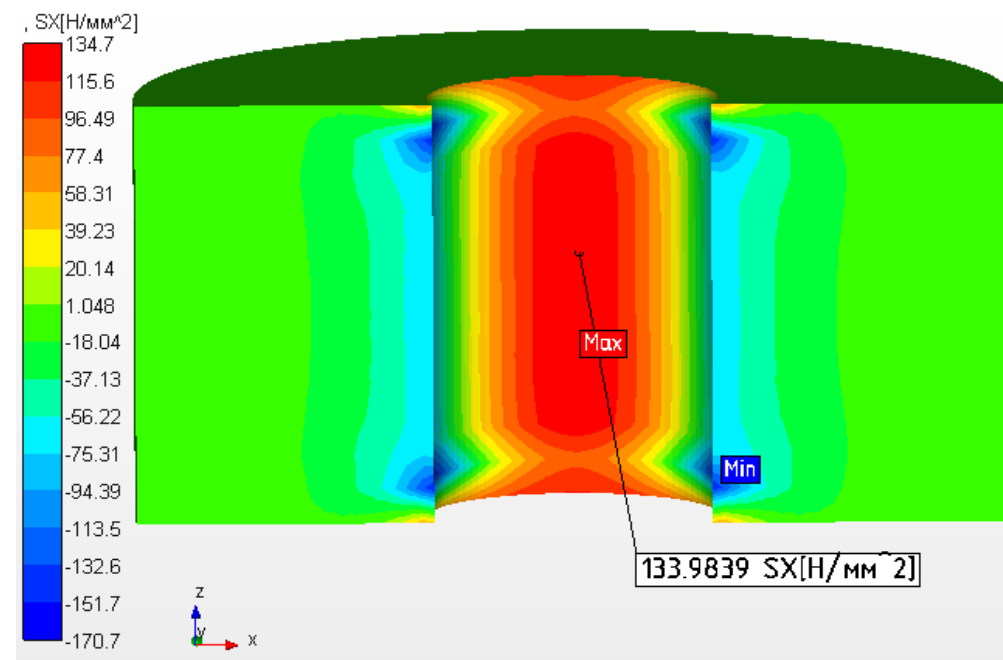
$d_2 = 120 \text{ мм}$ — внешний диаметр втулки; ¶

$N = 60 \text{ мкм}$ — величина диаметрального натяга; ¶

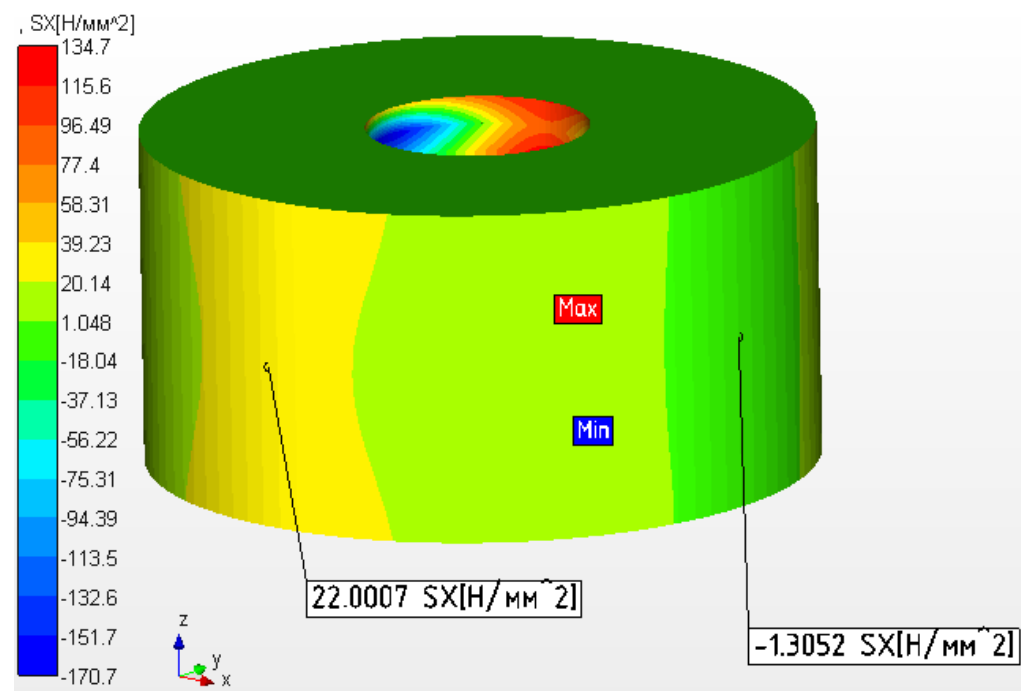




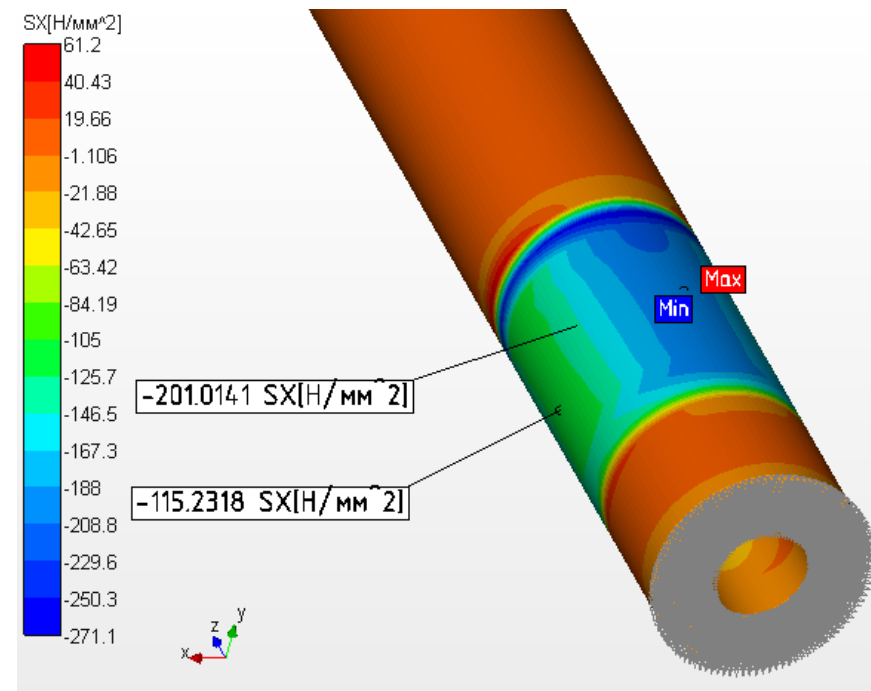
Карта нормальных напряжений на внутренней поверхности втулки в зоне контакта с валом



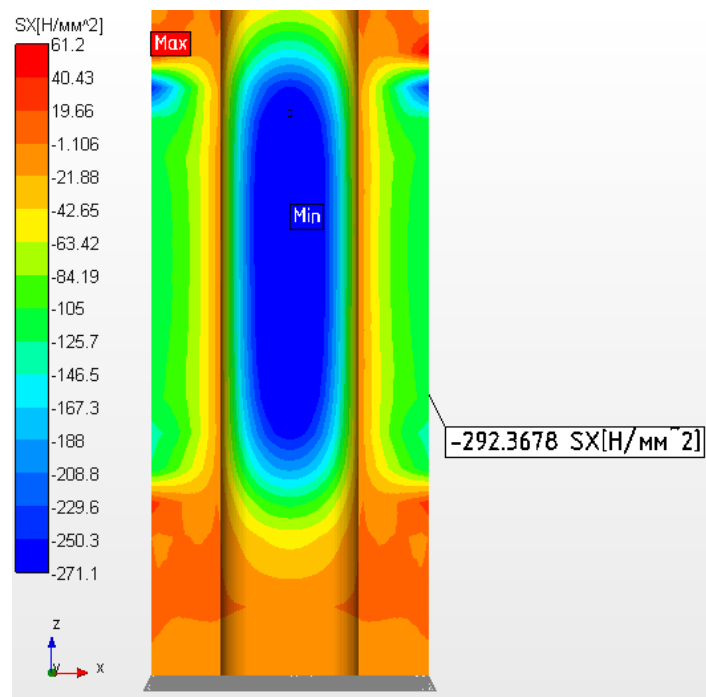
Карта окружных напряжений на внутренней поверхности втулки в зоне контакта с валом



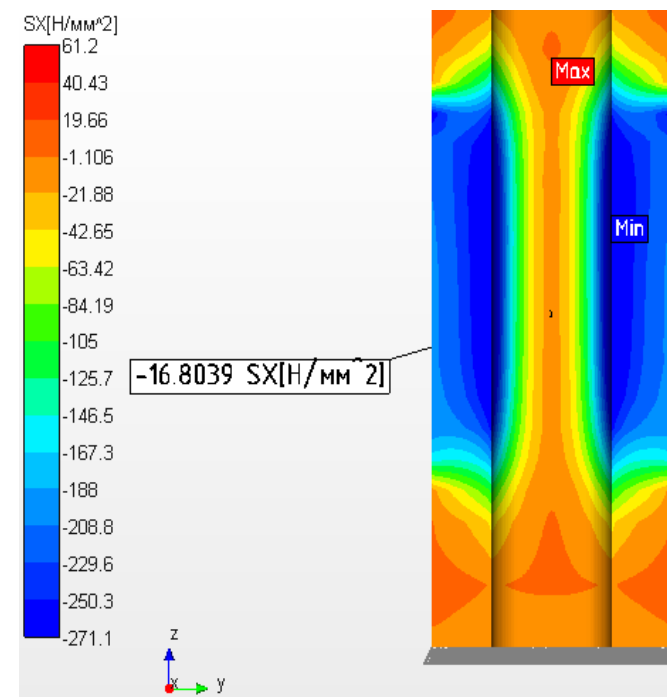
Карта нормальных в радиальном направлении
и окружных напряжений на внешней
поверхности втулки при контакте с валом



Карта нормальных (радиальных) и окружных
напряжений на внешней поверхности вала в зоне
контакта со втулкой



Карта окружных напряжений на внутренней поверхности осевого отверстия в валу в месте контакта вала с втулкой



Карта нормальных напряжений в радиальном направлении на внутренней поверхности осевого отверстия в валу в месте контакта вала с втулкой

Сравнение результатов решения контактной задачи втулки, надетой на вал с натягом полученных в модуле APM Structure3D, с теоретическими.

Материал Сталь – Сталь, величина диаметрального натяга – 60 мкм

Место измерения	Радиальная компонента напряжений, МПа			Окружная компонента напряжений, МПа		
	Теоретическое значение	APM Structure3D	Погрешность, %	Теоретическое значение	APM Structure3D	Погрешность, % [⊗]
Наружная поверхность втулки	0	-1.3	-	27	22.01	18.5
Внутренняя поверхность втулки	-108	-86.08	20.3	135	133.98	0.1
Наружная поверхность вала	-108	-115.23	6.7	-180	-186.2	3.44
Наружная поверхность осевого отверстия в валу	0	-16.80	-	-288	-292.37	1.51

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**