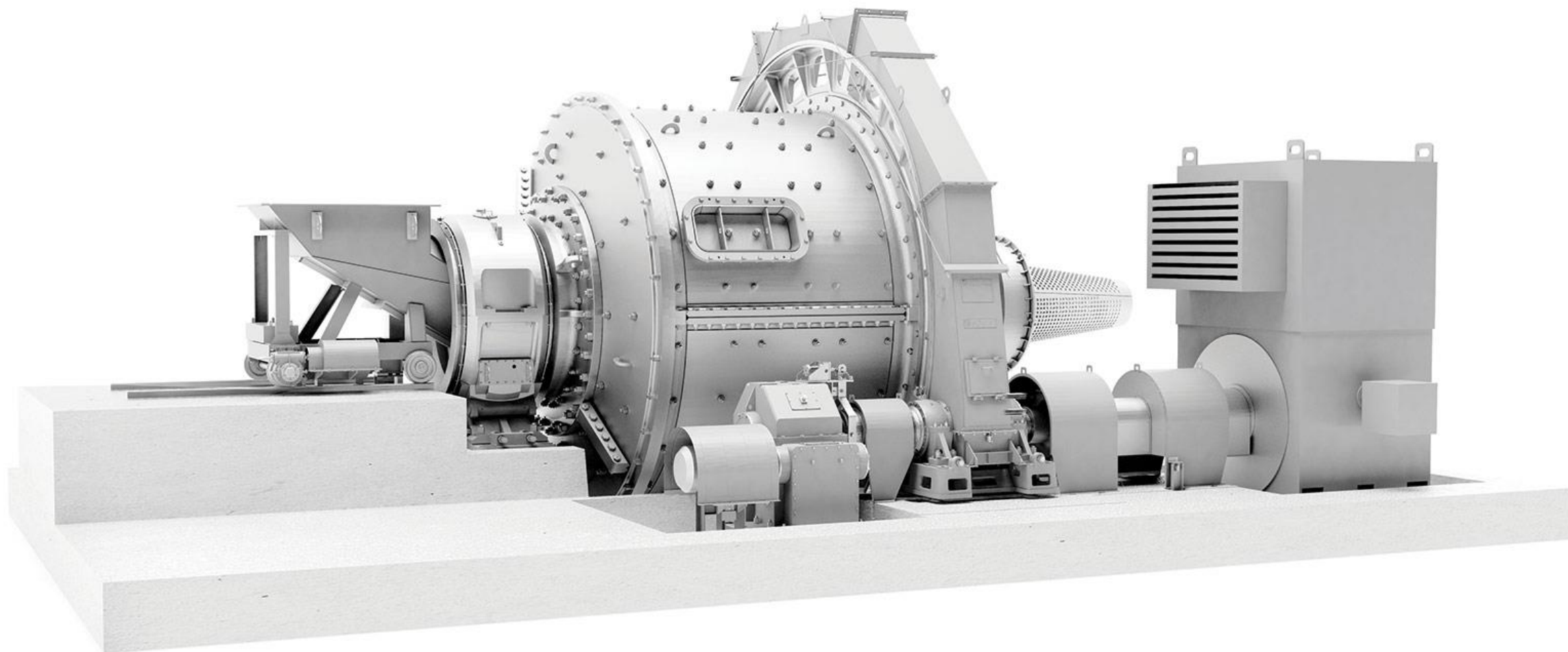


# Многообразие расчетов для модернизации шаровой мельницы

к.т.н. Савинова Н. В.  
ФГБОУ ВО УГГУ

Цель работы: заключение о возможности увеличения загрузки шарами

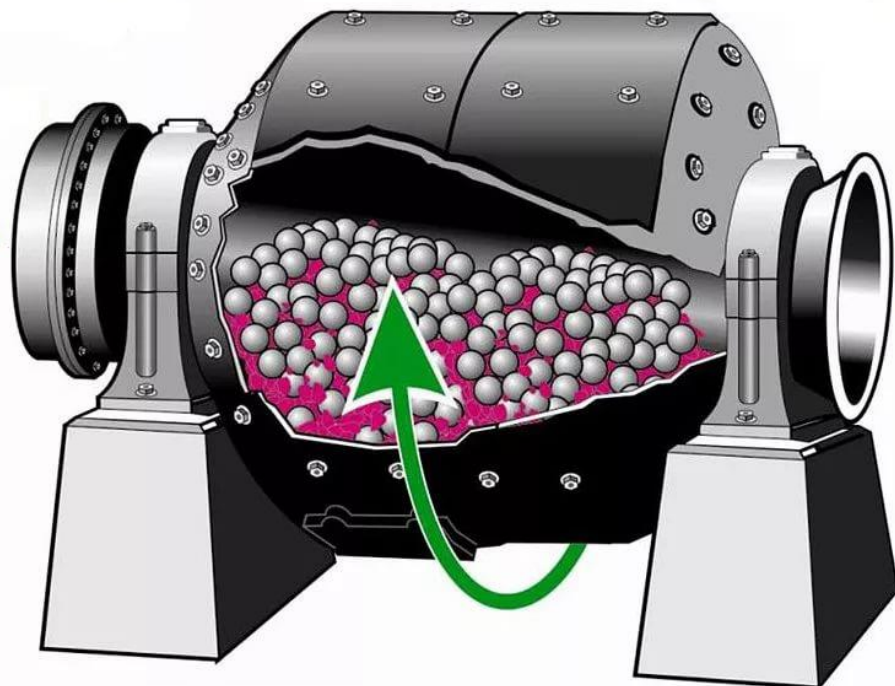


# Принцип действия



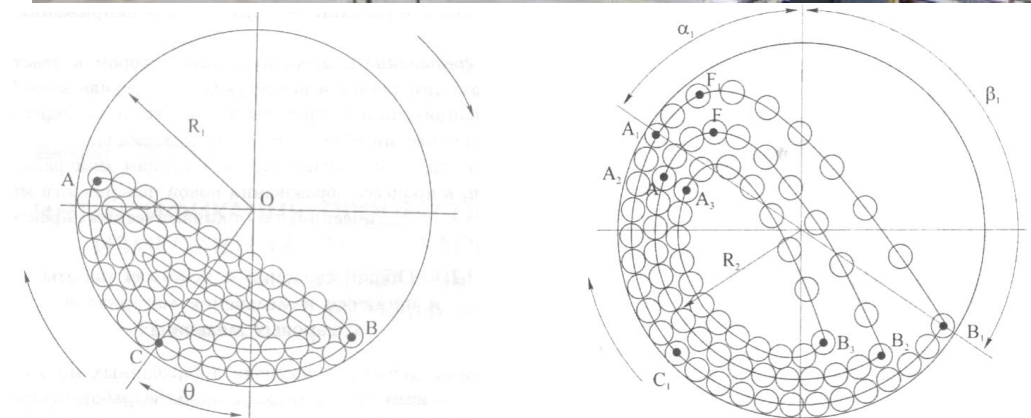
- Абразивные мельничные шары
- Продукт
- ← Направление вращения

Загрузка сырья



Выгрузка продукта

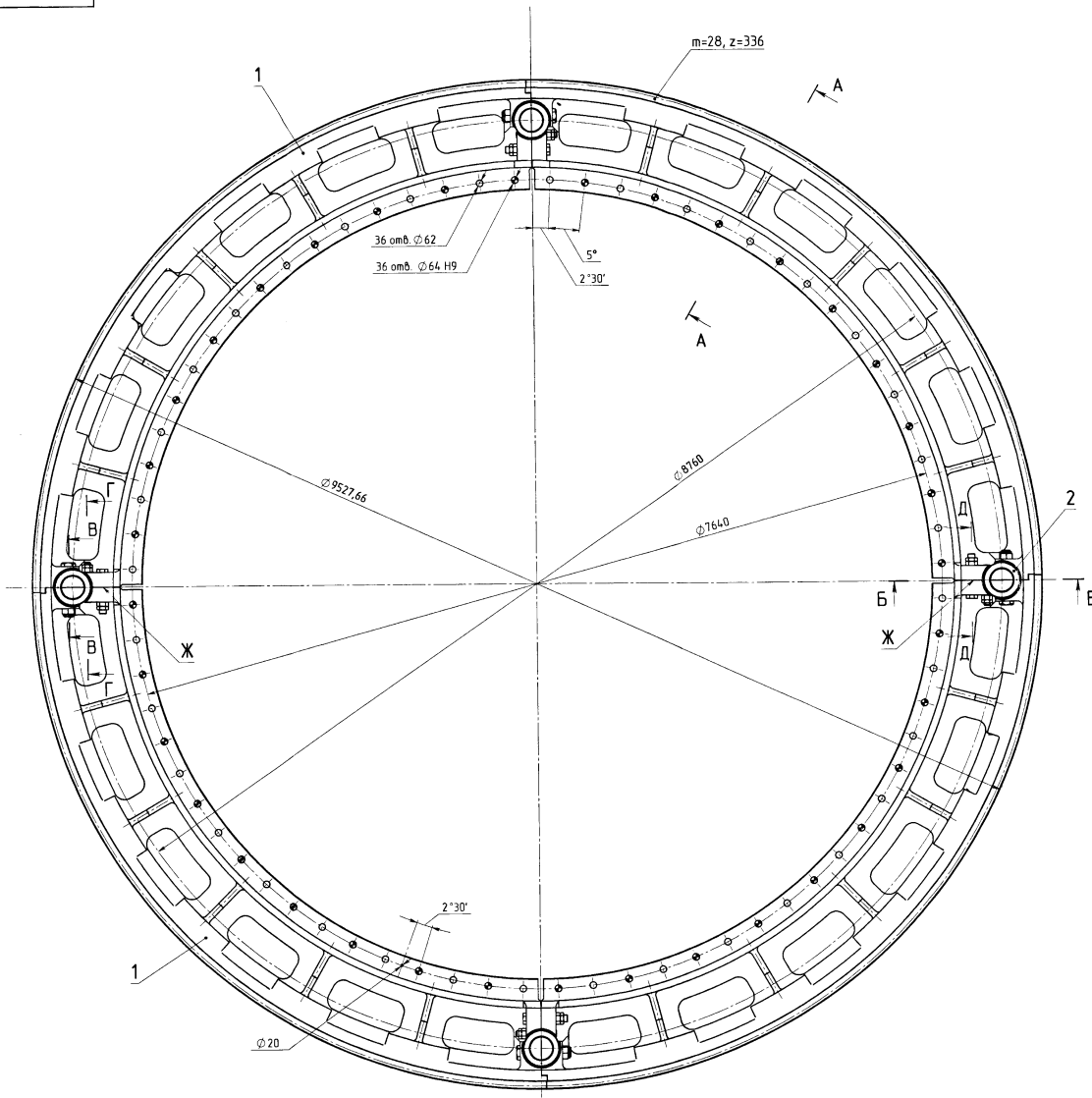
Схема работы шаровой мельницы.



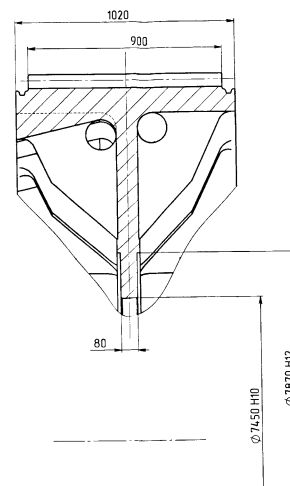
# Исходные данные:

HW56819-8

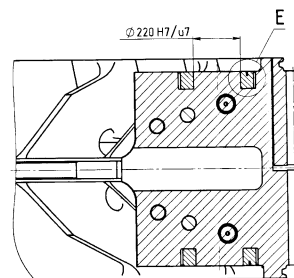
HW708EL



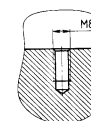
A-A (1:10)  $\Phi$



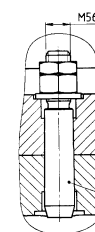
Б-Б (1:10)



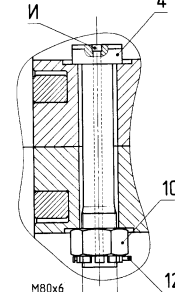
Е (1:1)



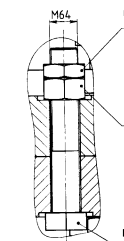
Г-Г (1:5)



В-В (1:5)



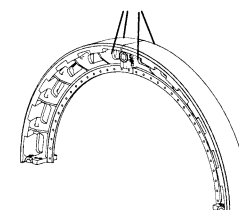
Д-Д (1:5)



Перечень составных частей

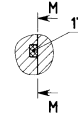
Пол.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примеч.
1	8-61895	Половина венца	2	28067
2	4-136623	Кольцо	4	32.7
3	3-690779	Штифт	4	9.2
4	3-310346	Болт	4	20.1
5	HC6-309-43	Болт ISO	4	11.8
6	HC4-16856	Гайка M56-6H.11	4	1.45
7	HC4-16859	Гайка M64-6H.11	4	1.99
8	HC4-16898	Гайка M56-6H.11	4	0.91
9	HC4-16901	Гайка M64-6H.11	4	1.25
10	HC4-15992-04	Гайка M80-6H.06	4	3.68
11	HC3-11888	Шайба	4	0.567
12	HC3-11651-03	Шпиль 10	4	0.065

Места строповки



1. Размеры для справок.
2. Фактический диаметр окружности выступов набит на обод.
3. Неприлегание плоскостей разрезов Ж не более 0.1 мм. Глубина входа шпота по периметру разреза - не более 30 мм.
4. При горячей затжке болты поз. 4 через отверстия И нагреть до температуры 300...350°C, после чего поворотом гайки по часовой стрелке на 18° выбрать образовавшуюся слабину.
5. Кольца поз.2 установить перед испытанием мельницы под нагрузкой.

Л (1:2)



И-М (1:4)



Р (1:5)

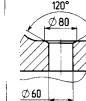


Таблица 1

Примечание  
сх. место П  
сх. место Р  
сх. разрез Ж-Ж  
сх. разрез К-К

Таблица 2

Пол.	Примечание	Масса (кг)
4		11380
1		47244
1		14600
36		7
40		6.6
8		3.8
40		0.4
8		5.2
8		0.624
8		0.361
76		1.42
36		0.88
140		0.88
24		4.19
24		0.558
24		0.956
1		0.95

Т9466-75  
мелко  
1051760-89

обод

8-73804МЧ

Пол.	Масса	Мощность
109219	115	
NKMZ		

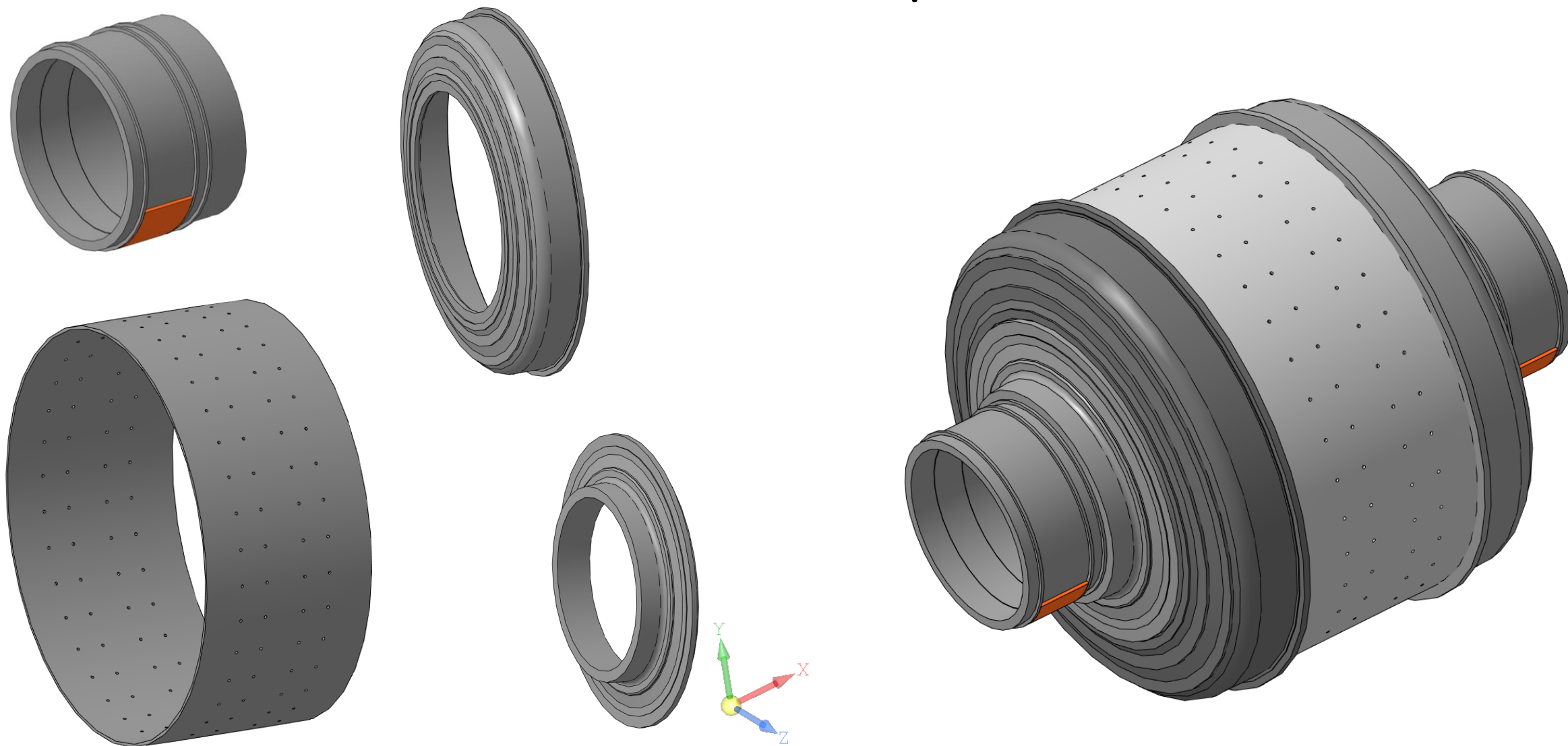
Формат А7:7.5



# Расчеты металлоконструкций

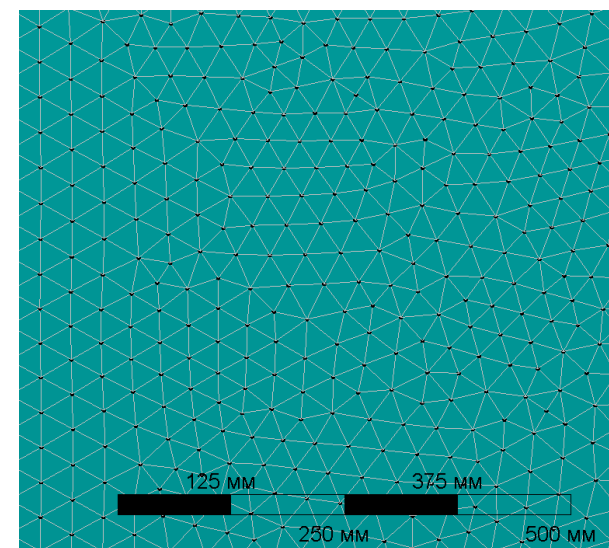
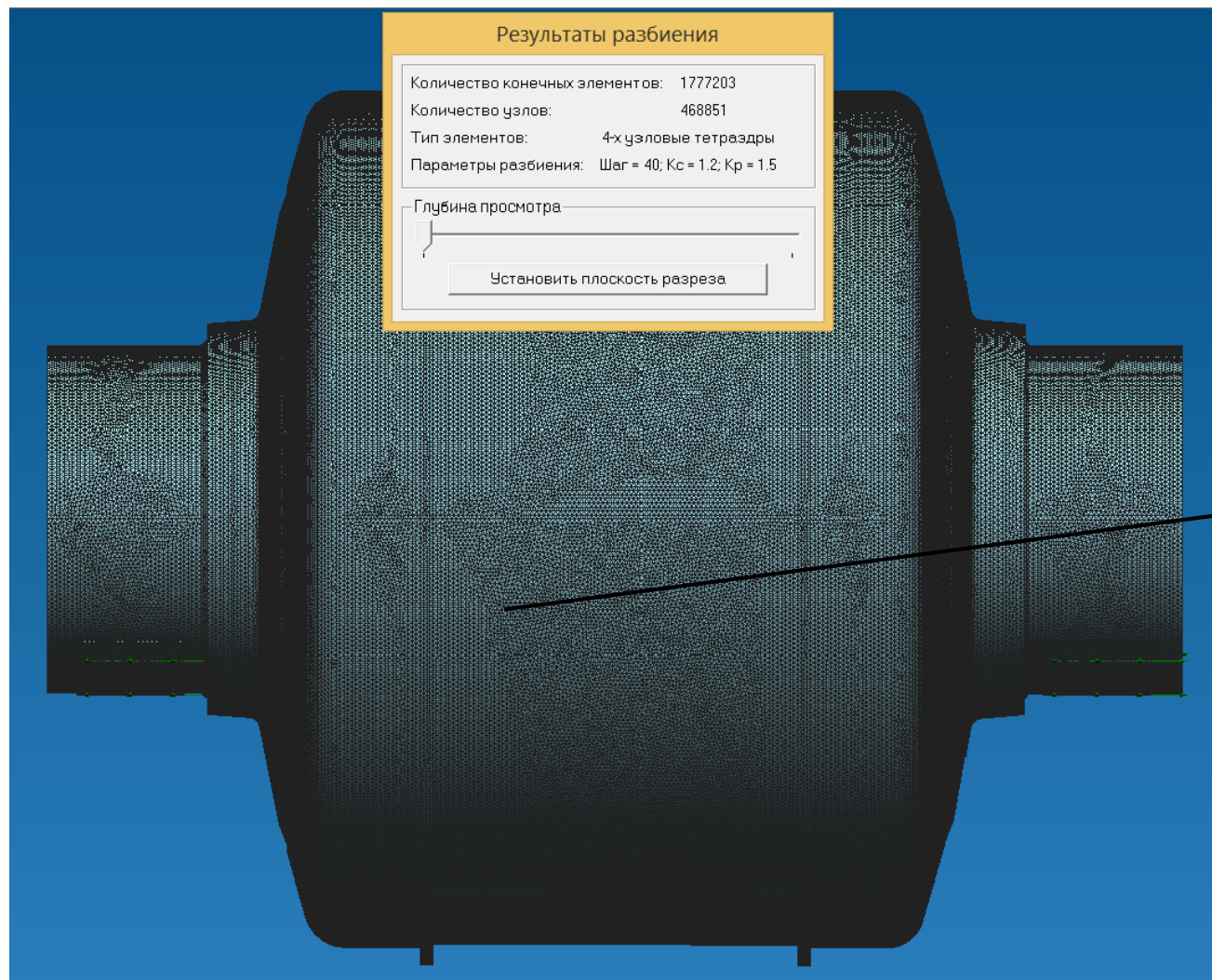
построение solid-моделей в Компас 3D

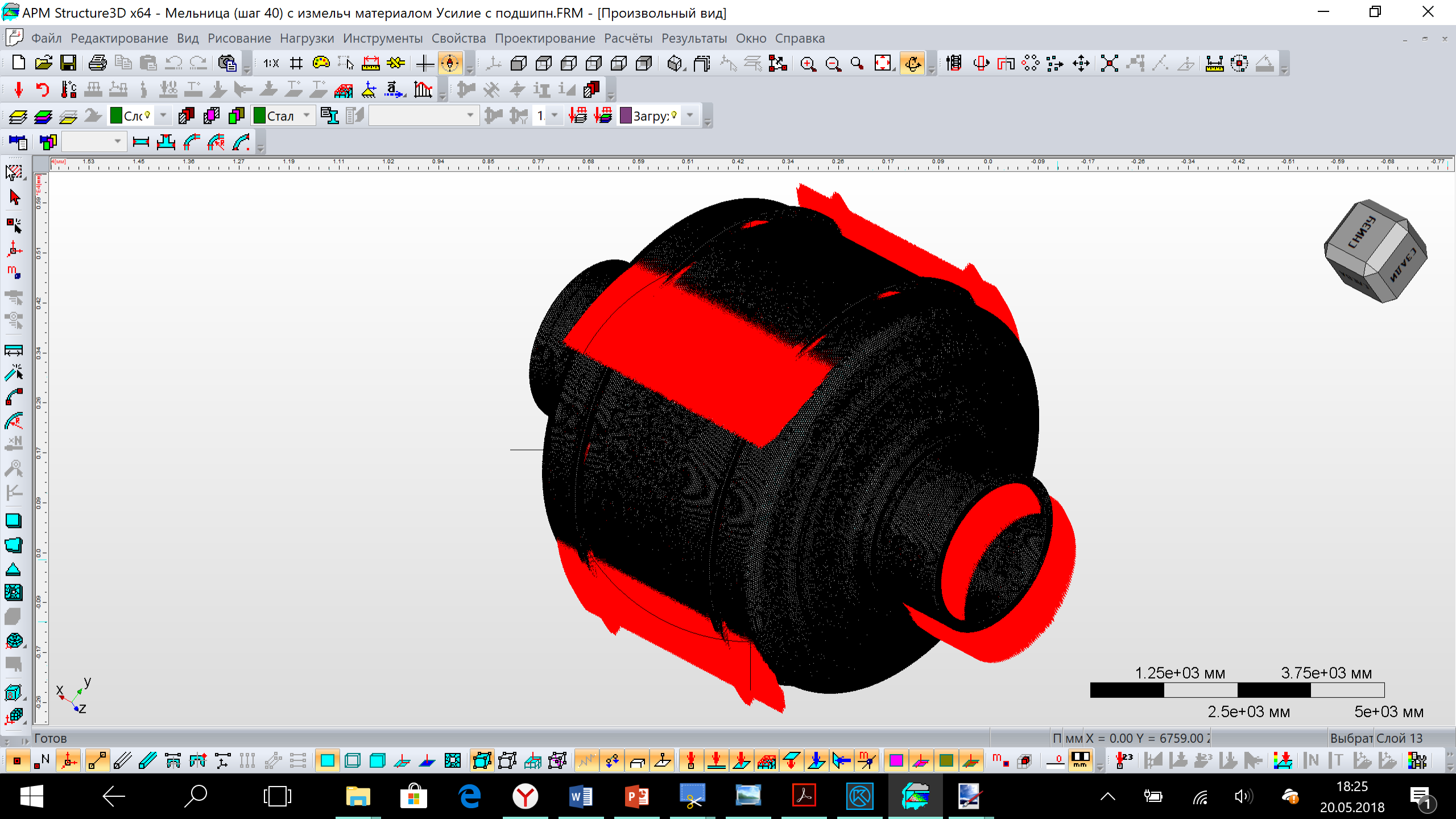
## Барабан



# Расчеты металлоконструкций

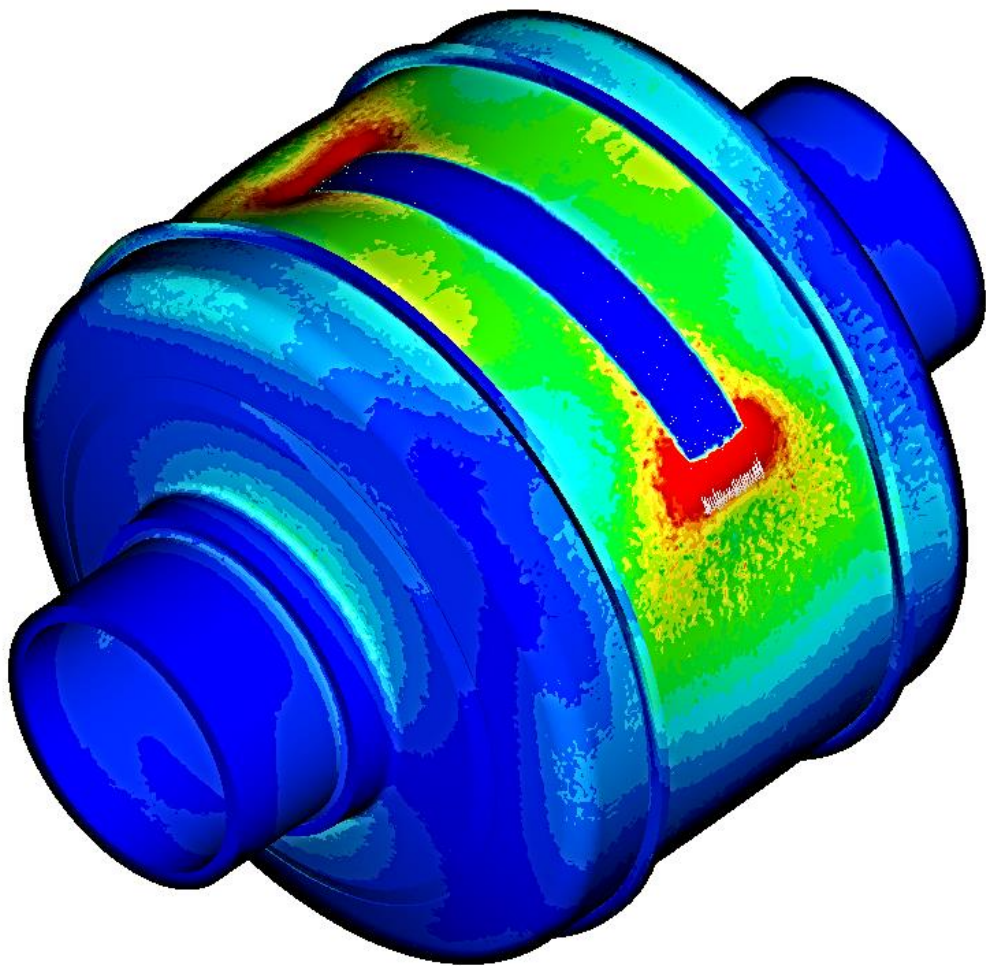
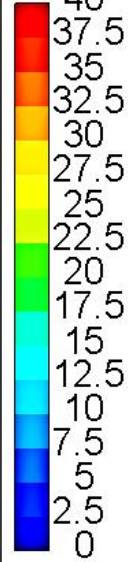
## предпроцессорная подготовка в APMStudio





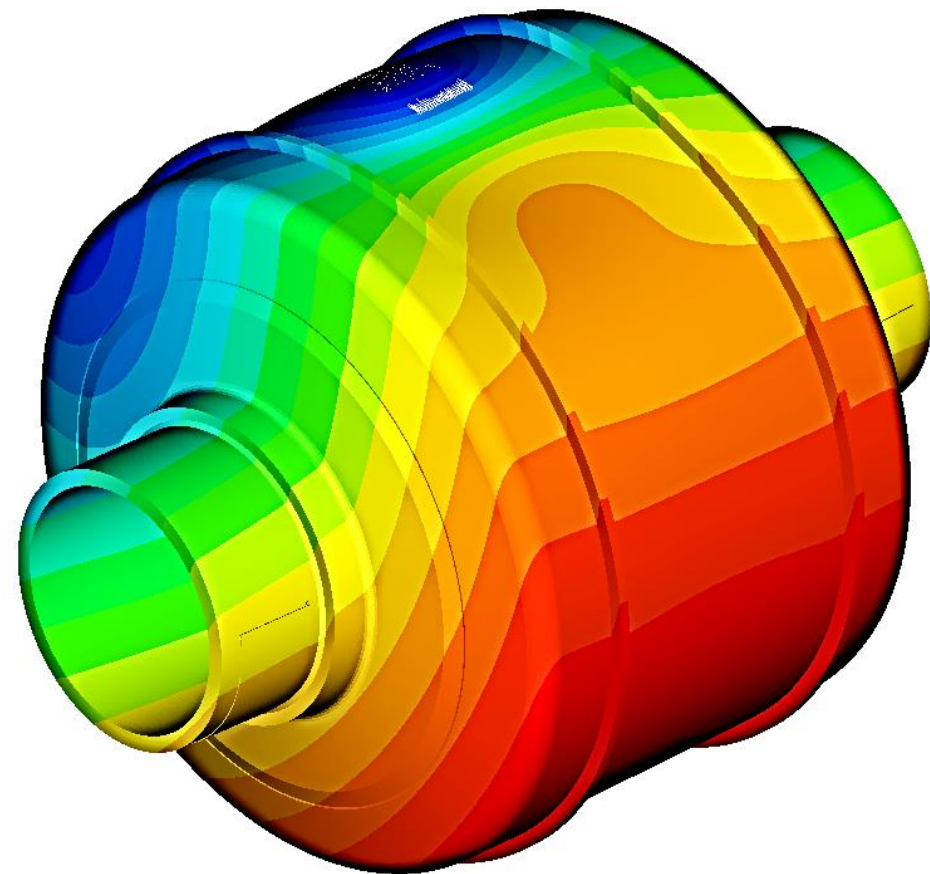
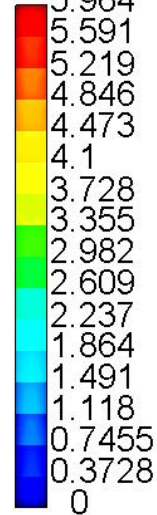


SVM[H/MM^2]



## Карты результатов

USUM[MM]

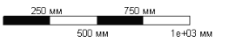
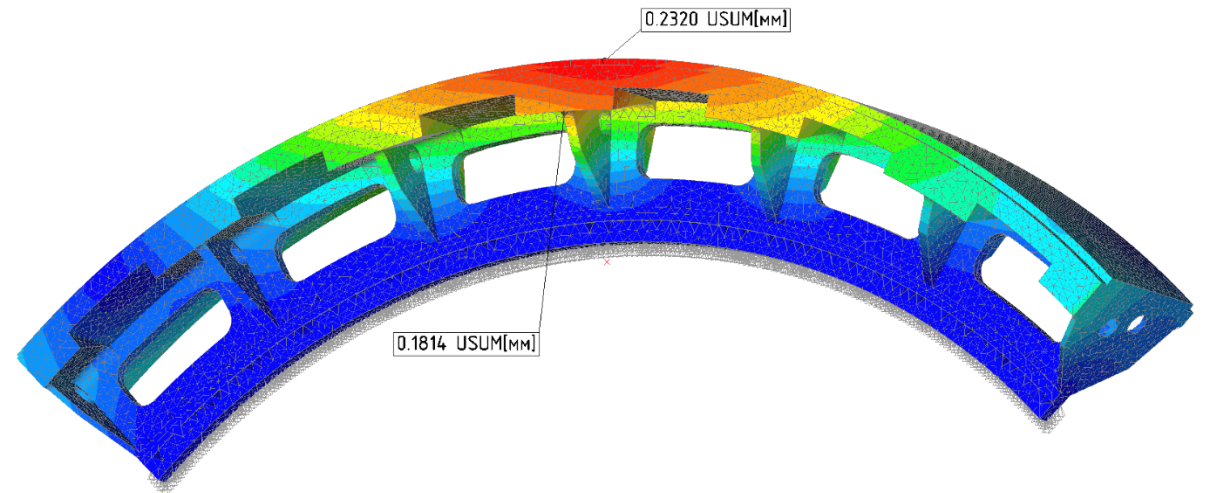
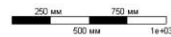
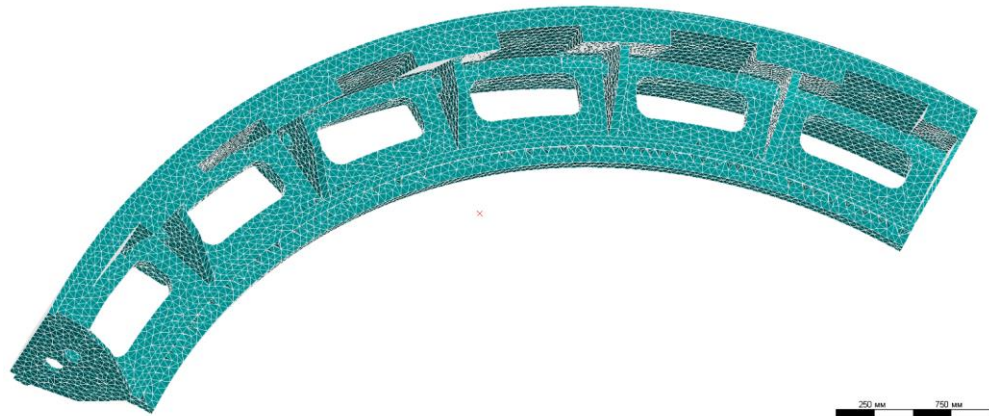
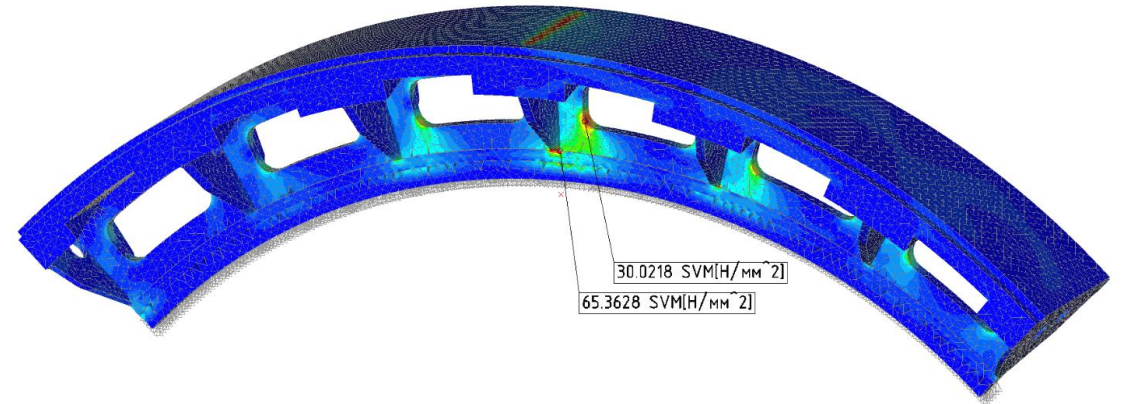
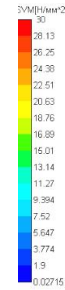
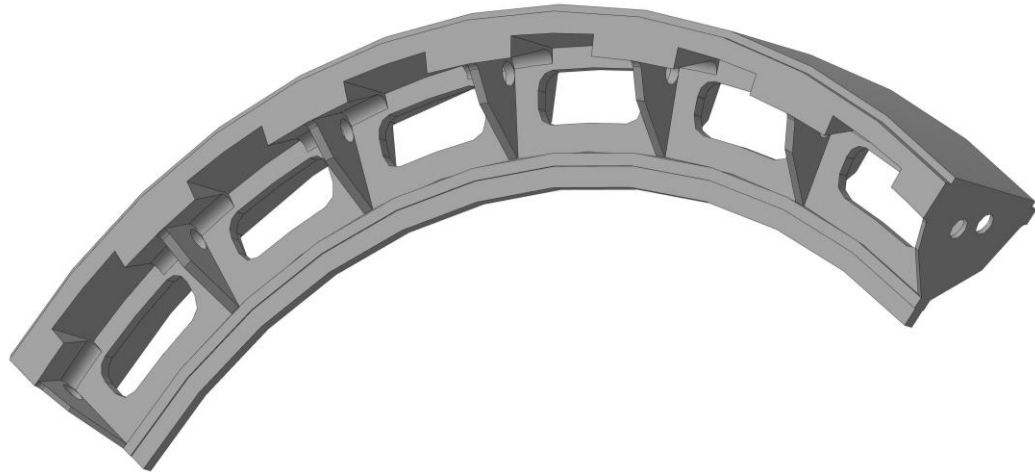




# Расчеты металлоконструкции зубчатого венца

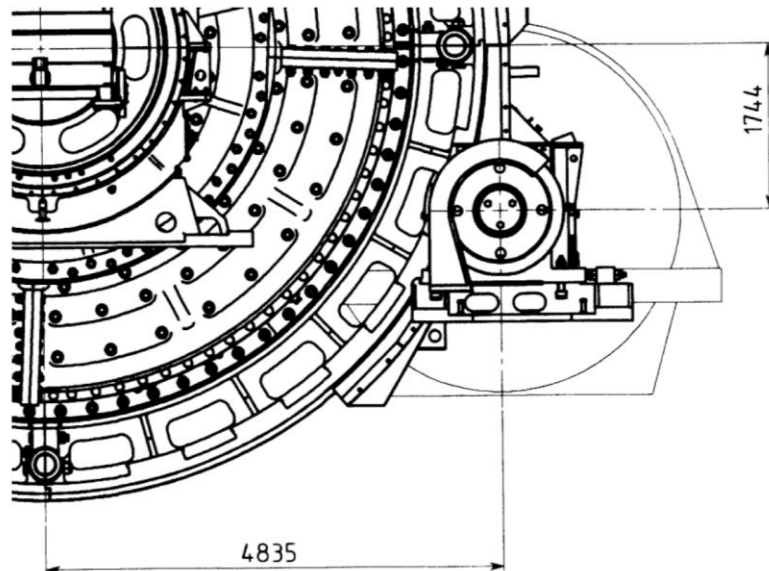
модели

карты результатов

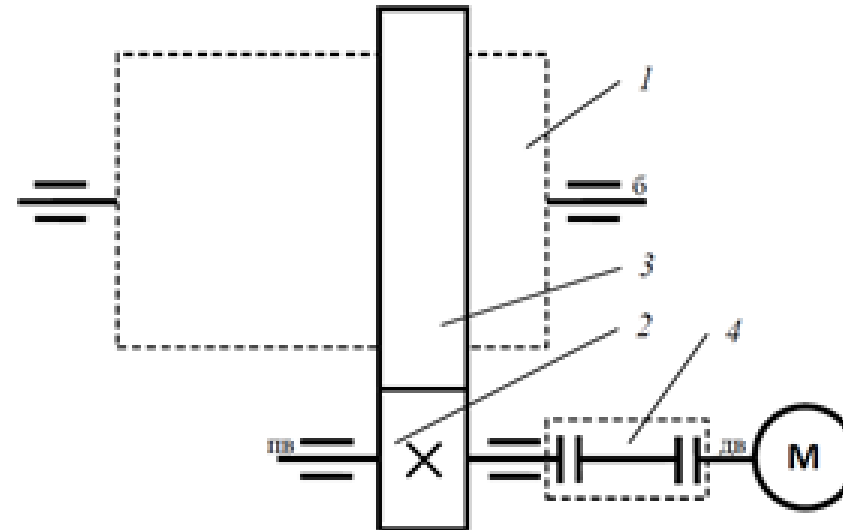


# Расчеты привода

2.16	Электродвигатель главного привода	
2.16.1	Тип	СДМ-2-21-67-40 УХЛ4
2.16.2	Мощность электродвигателя, кВт	4 000
2.16.3	Частота вращения ротора, об/мин	150
2.16.4	Напряжение, В	6 000
2.17	Венец зубчатый	
2.17.1	Число зубьев, z	336
2.17.2	Модуль, m	28
2.18	Вал-шестерня	
2.18.1	Число зубьев, z	28
2.18.2	Модуль, m	28
2.19	Электродвигатель рем. привода	
2.19.1	Тип	4МТН400S10 У 2-3
2.19.2	Мощность электродвигателя, кВт	110
2.19.3	Частота вращения ротора, об/мин	600



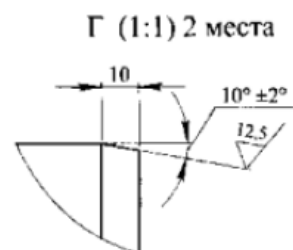
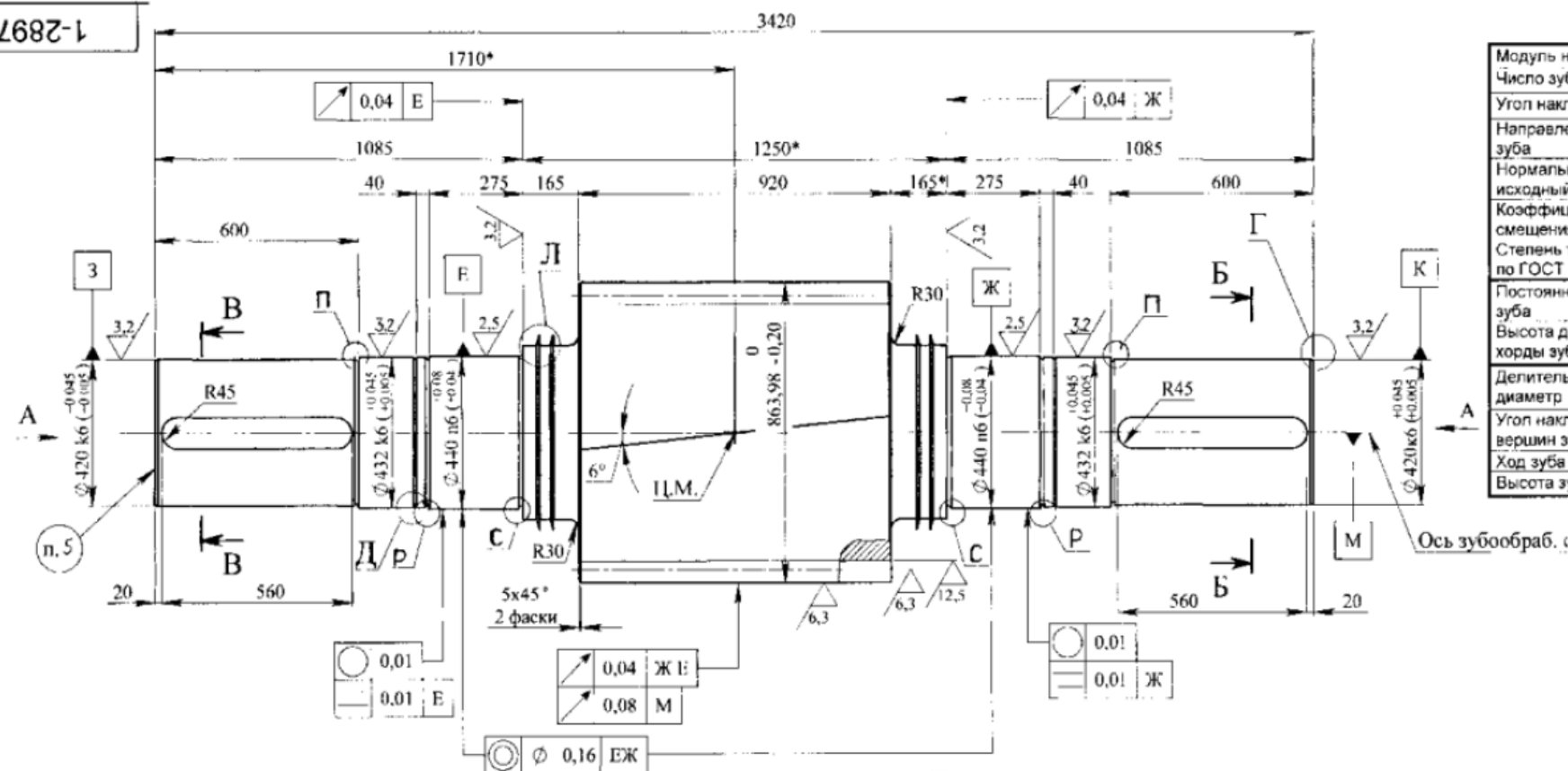
## исходные данные



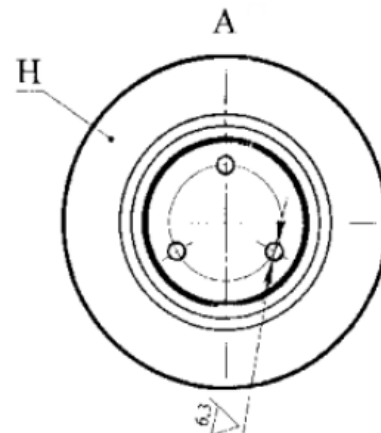
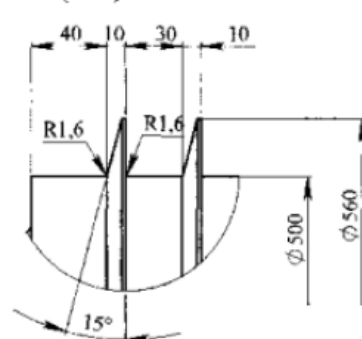
Кинематическая схема:

1 – барабан мельницы; 2 – вал-шестерня; 3 – зубчатый венец; 4 – упругая муфта

1-289773



Л (1:2) 2 места



- Гр. III 248...293 НВ СТП 25.4.12-2001, КП 640
- \* Размер для справок.
- H14; h14; +IT14/2.
- Фактический диаметр окружности выступов набить на поверхности Н и учитывать его при измерении толщины зубьев
- Маркировать по РД 24.854 01-89.

3 отв М48-7Н x 70-96-3x45°

⌀ 2 3 К

					1-289773			
						Лист	Масса	Масштаб
Изм	Лист	№ докум	Подп	Дата	Вал-шестерня	И	6590	1 10
Разраб		Корниенко		10.09.01				
Пров		Мартыненко		10.09.01				
Т контр		Малевавич		10.09.01				
					Сталь	Лист	Листов	1
Н контр		Устинова		10.09.01	34ХН3М ОСТ 108 958 04-85			
Утв		Петров		10.09.01	NKMZ			



# Расчеты привода расчет в APM Trans

Заданные параметры (Страница 1)    Результаты APM Trans (Страница 2)    Результаты APM Trans (Страница 3)    Результаты APM Trans (Страница 4)    Результаты APM Trans (Страница 5)

Передача :  
Стандарт расчета

Рабочий режим передачи
Термообработка колес
Шестерня
Колесо
Расположение шестерни
Нереверсивная передача
Момент вращения на ведомом
Частота вращения ведомого
Передаточное число
Ресурс, час
Число зацеплений
Шестерня
Колесо

Дополнительные данные

Коэффициент ширины контакта
Модуль, мм
Угол наклона зубьев, град
Коэффициент смещения
Коэффициент смещения
Твердость поверхности
Твердость поверхности
Число зубьев шестерни
Число зубьев колеса

Описание
Межосевое расстояние
Модуль
Угол наклона зубьев
Делительный диаметр
Основной диаметр
Начальный диаметр
Диаметр вершин зубьев
Диаметр впадин
Коэффициент смещения
Высота зубьев
Ширина зубчатого венца
Число зубьев

Описание
Допускаемые напряжения изгиба
Допускаемые контактные напряжения
Твёрдость рабочих поверхностей
Действующие напряжения изгиба
Действующие контактные напряжения

Описание
Тангенциальная сила в полюсе
Радиальная сила
Осевая сила
Расстояние от торца колеса до точки приложения силы
Плечо силы

Описание
Угол профиля зубьев в точке на окружности вершин
Радиус кривизны профиля зуба в точке на окружности вершин
Радиус кривизны активного профиля зуба в нижней точке

Описание
Постоянная хорда зуба
Высота до постоянной хорды
Радиус кривизны разноимённых профилей зубьев в точках, определяющих положение постоянной хорды
Основной угол наклона зубьев

Описание
Угол профиля
Радиус кривизны профиля в точках пересечения с общей нормалью
Длина общей нормали
Число зубьев в общей нормали

Описание	Символ
Заданный диаметр	$d$
Угол профиля в точке на заданном диаметре	$\alpha_d$
Окружная толщина зубьев на заданном диаметре	$s_d$
Угол наклона зубьев на заданном диаметре	$\beta_d$
Половина угловой толщины зубьев	$\frac{\alpha}{2}$
Толщина по хорде зуба	$s_c$
Высота до хорды зуба	$h_c$

Описание	Символ
Диаметр ролика	$d_r$
Диаметр окружности проходящей через центр ролика	$d_{gr}$
Торцевой размер по роликам	$s_{gr}$
Угол профиля на окружности проходящей через центры ролика	$\alpha_{gr}$
Радиус кривизны профиля в точках касания с роликом	$r_{gr}$

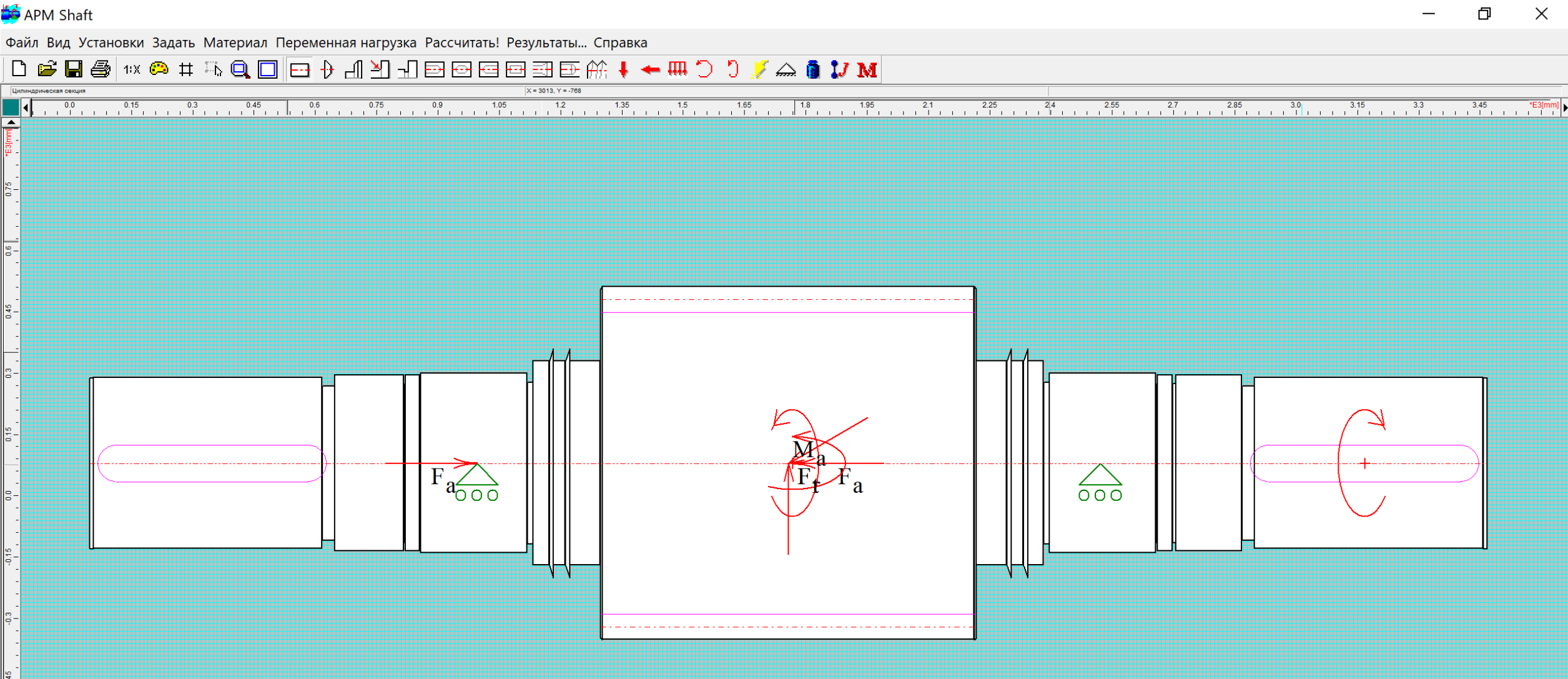
Описание	Символ
Шаг зацепления	$p$
Осевой шаг	$p_a$
Ход зубьев	$x$

Описание	Символ
Мин. число зубьев нарезаемых без подреза при данном смещении	$z_{min}$
Угол наклона линии вершины зубьев	$\beta$
Нормальная толщина зуба на поверхности вершин	$s_n$
Радиальный зазор в зацеплении	$c_r$
Коэффициент торцевого перекрытия	$\gamma$
Коэффициент осевого перекрытия	$\gamma_a$
Коэффициент перекрытия	$\gamma_v$
Угол зацепления	$\alpha_w$

Допуски колеса и шестерни				
Описание	Символ	Шестерня	Колесо	Единицы
Минимально возможный зазор	$j_{n\min}$	320.000		мкм
Максимально возможный зазор	$j_{n\max}$	880.880		мкм
Предельное отклонение межосевого расстояния	$f_a$	160.000		мкм
Класс точности	$N_p$	8	**	-
Вид сопряжения	-	B		-
Класс отклонений межосевого расстояния	-	V		-
Минимальный возможный угол поворота	$\Delta\varphi_{\min}$	2' 58.90"	0' 14.91"	-
Максимальный возможный угол поворота	$\Delta\varphi_{\max}$	8' 12.46"	0' 41.04"	-
Допуск на радиальное биение зубчатого венца	$F_r$	0.100	0.100	мм
Наименьшее дополнительное смещение исходного контура	$E_H$	-0.400	-0.400	мм
Допуск на смещение исходного контура	$T_H$	0.250	0.250	мм
Верхнее отклонение высоты зуба	$ES_H$	-0.400	-0.400	мм
Нижнее отклонение высоты зуба	$EI_H$	-0.650	-0.650	мм
Наименьшее отклонение средней длины общей нормали	$E_{Wm}$	-0.302	-0.302	мм
Допуск на среднюю длину общей нормали	$T_{Wm}$	0.120	0.120	мм
Верхнее отклонение средней длины общей нормали	$ES_{Wm}$	-0.302	-0.302	мм
Нижнее отклонение средней длины общей нормали	$EI_{Wm}$	-0.422	-0.422	мм
Наименьшее отклонение длины общей нормали	$E_W$	-0.280	-0.280	мм
Допуск на длину общей нормали	$T_W$	0.180	0.180	мм
Верхнее отклонение длины общей нормали	$ES_W$	-0.280	-0.280	мм
Нижнее отклонение длины общей нормали	$EI_W$	-0.460	-0.460	мм
Наименьшее отклонение толщины зуба с $m \geq 1$ мм	$E_{cs}$	-0.300	-0.300	мм
Допуск на толщину зуба с $m \geq 1$ мм	$T_c$	0.180	0.180	мм
Верхнее отклонение толщины зуба	$ES_{sc}$	-0.300	-0.300	мм
Нижнее отклонение толщины зуба	$EI_{sc}$	-0.480	-0.480	мм

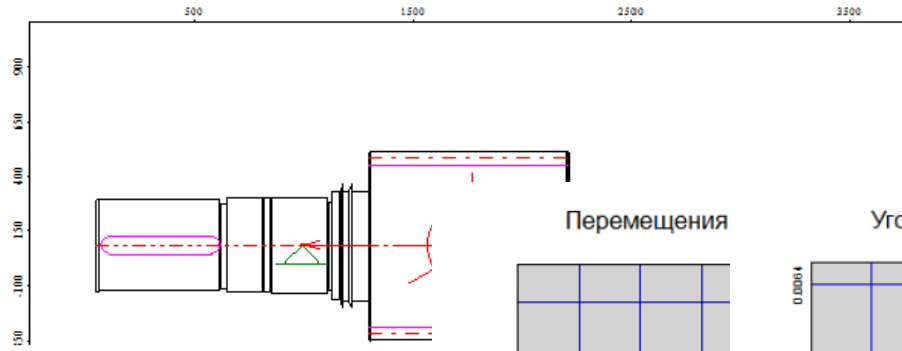
Коэффициент расчетной нагрузки	$K_H$	$K_H = K_A K_{H\alpha} K_{H\beta} K_{H\nu} ,$
Коэффициент, учитывающий внешнюю динамическую нагрузку	$K_A$	<p>согласно таблице 23, приложения 4 [33] принимаям</p> <p>режим работы двигателя – <i>равномерный</i>, режим работы машины (шаровой мельницы) – <i>неравномерный</i></p> <p><math>K_A = 1,75,</math></p> <p>так как в состав привода входит упругая муфта, поэтому коэффициент снижаем на 25% [33], таким образом</p> <p><math>K_A = 1,3</math></p>

# Проверочный расчет вала в APM Shaft





# Результаты



Перемещения

Угол изгиба в гор

Экв

Коэффициент запаса по усталостной прочности

Радиальные силы

N	Расстояние от левого конца вала, мм	
0	1720.00	629675
1	3120.00	78868.4

Моменты изгиба

N	Расстояние от левого конца вала, мм	
0	1720.00	
1	3120.00	

Осевые силы

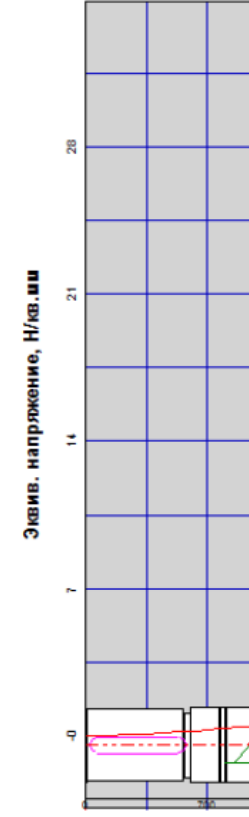
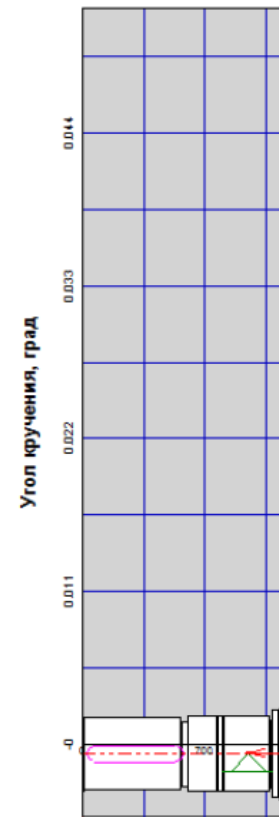
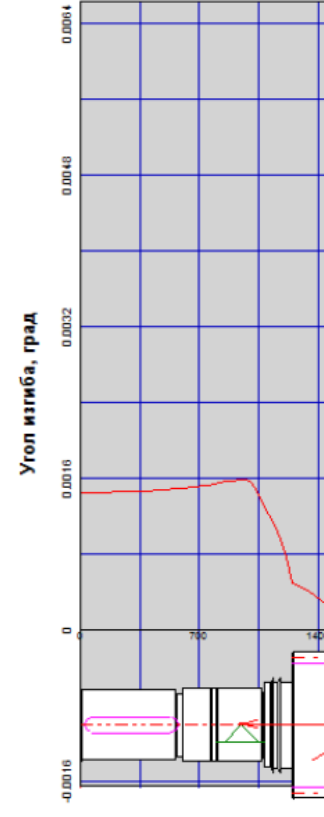
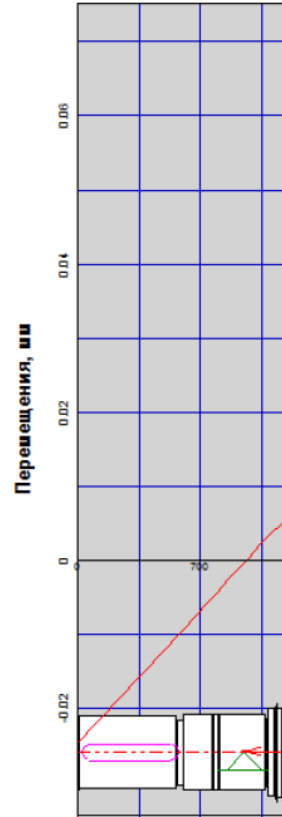
N	Расстояние от левого конца вала, мм	
0		
1		1
2		2

Моменты кручения

N	Расстояние от левого конца вала, мм	
0		1
1		2

Распределенные нагрузки

N	Левая граница, мм	Правая граница, мм
0 В	0.00	600.00
1 Г	0.00	600.00
2 В	0.00	600.00
3 В	600.00	770.00
4 Г	600.00	770.00
5 В	600.00	770.00
6 В	770.00	810.00
7 Г	770.00	810.00
8 В	770.00	810.00
9 В	810.00	1085.00
10 Г	810.00	1085.00
11 В	810.00	1085.00
12 В	1085.00	1125.00
13 Г	1085.00	1125.00
14 В	1085.00	1125.00



Вывод

Вывод

Вывод

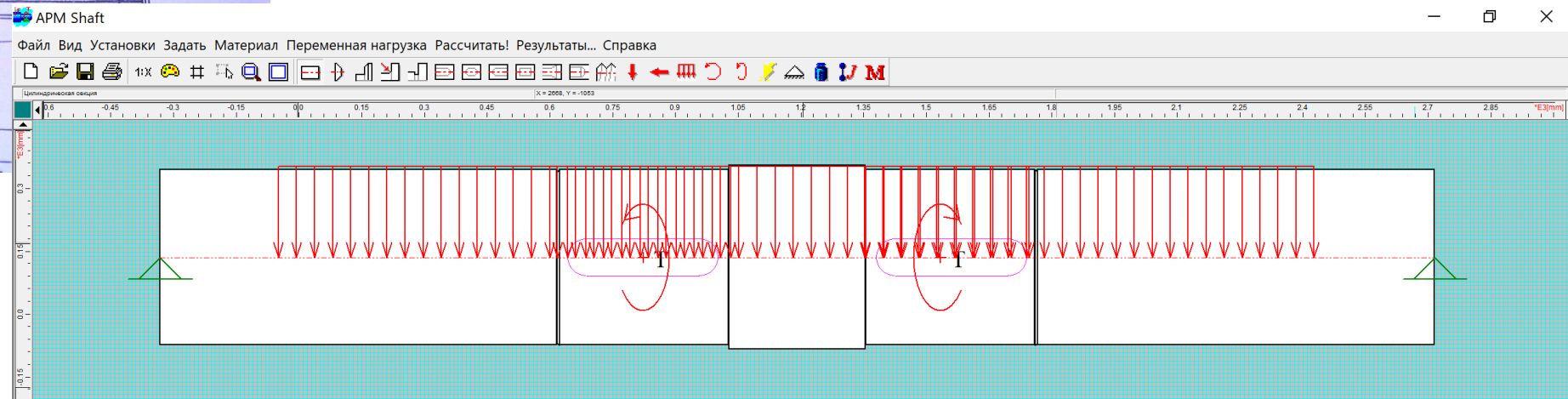
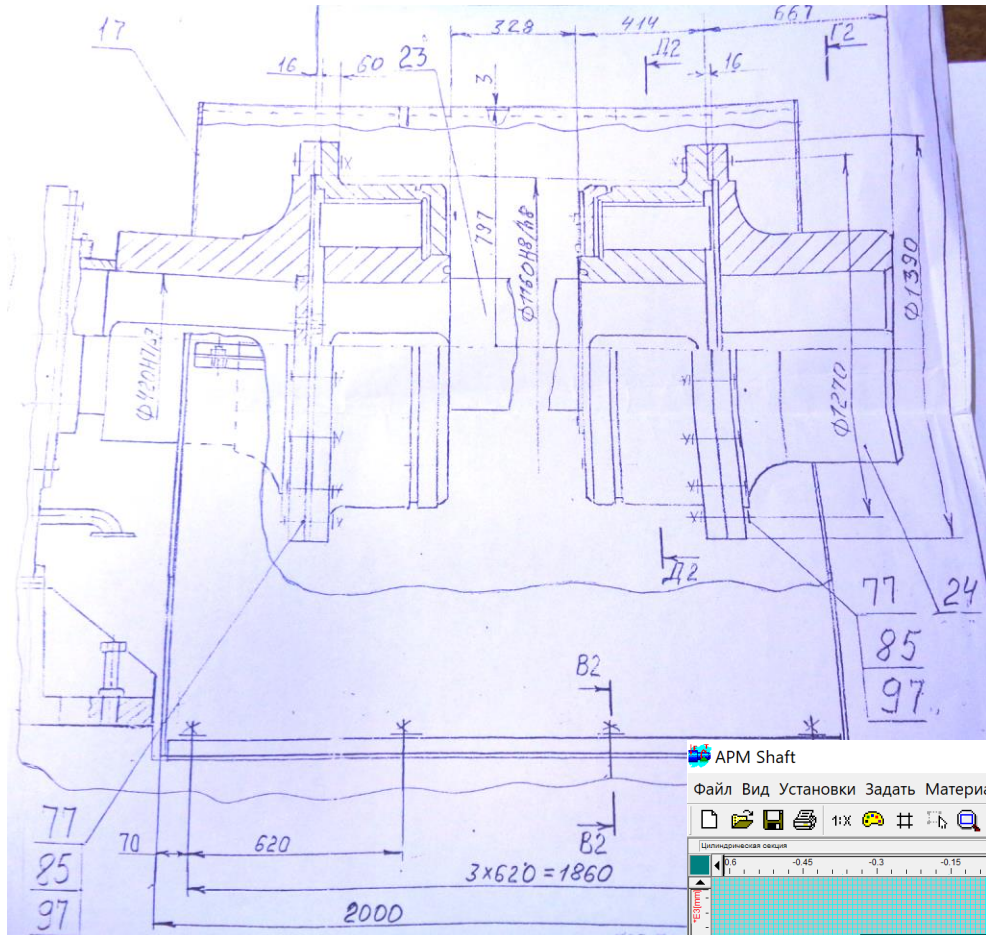
Вывод

Для цилиндрических передач  
Под шестерней  $[\gamma] = 0,001$

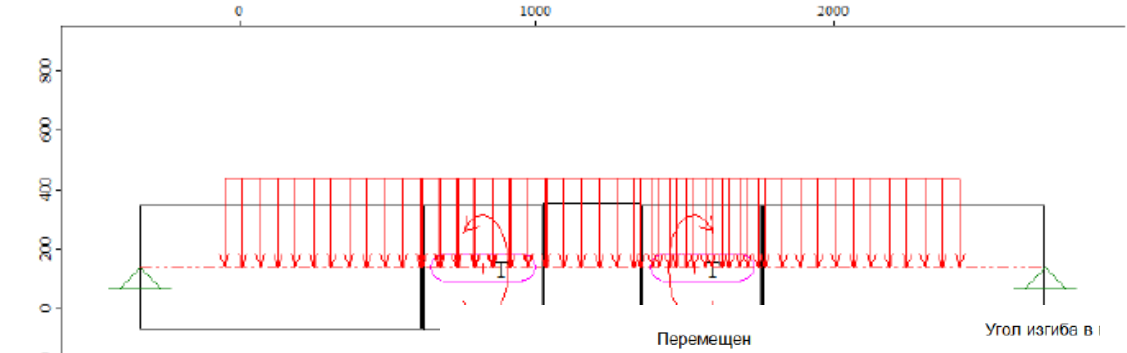
$$\gamma = \sqrt{\gamma_{\text{верт}}^2 + \gamma_{\text{го}}^2}$$

$$\gamma = \sqrt{\gamma_{\text{верт}}^2 + \gamma_{\text{го}}^2}$$

# Проверочные расчеты упругой муфты в APM Shaft



# Результаты



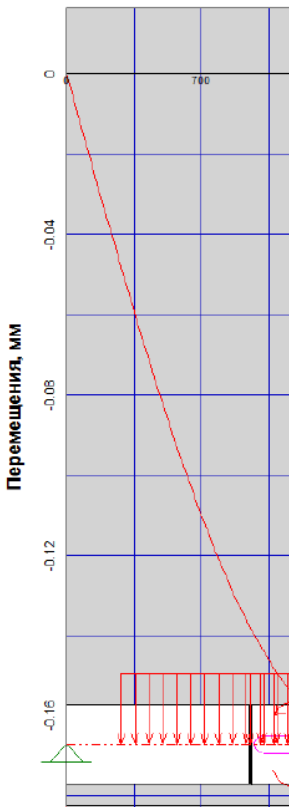
Моменты кручения	
N	Расстояние от левого конца, мм
0	
1	

Распределенные нагрузки		
N	Левая граница, мм	Правая граница, мм
0 В	283.00	
1 В	950.00	
2 В	1685.00	

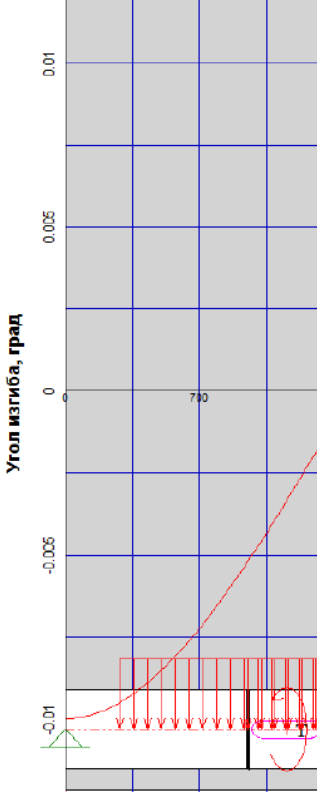
Реакции в опорах		
N	Расстояние от левого конца вала, мм	Реакция верт., Н
0	0.00	61787.07
1	3048.00	61663.02

Поперечные колебания	
N	
0	
1	
2	
3	
4	

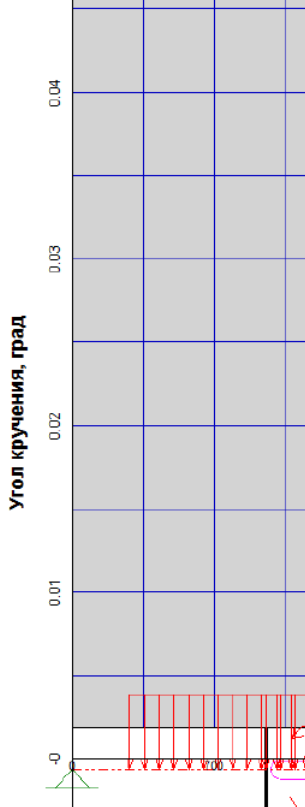
Крутильные колебания	
N	
0	
1	
2	



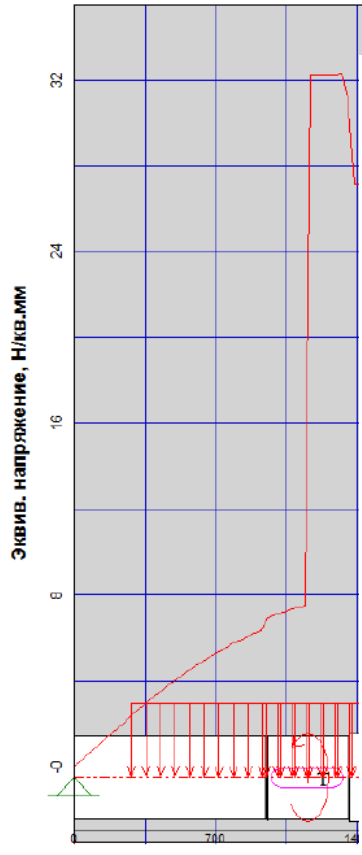
Вывод



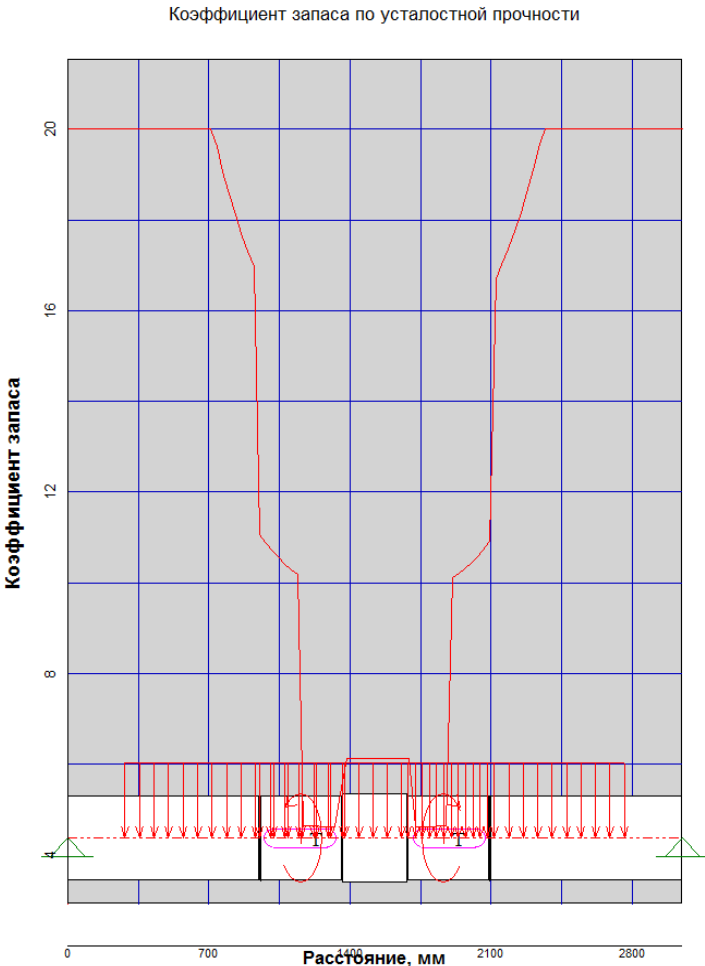
Вывод



Вывод



Вывод



$[\sigma] \approx 0,8\sigma$

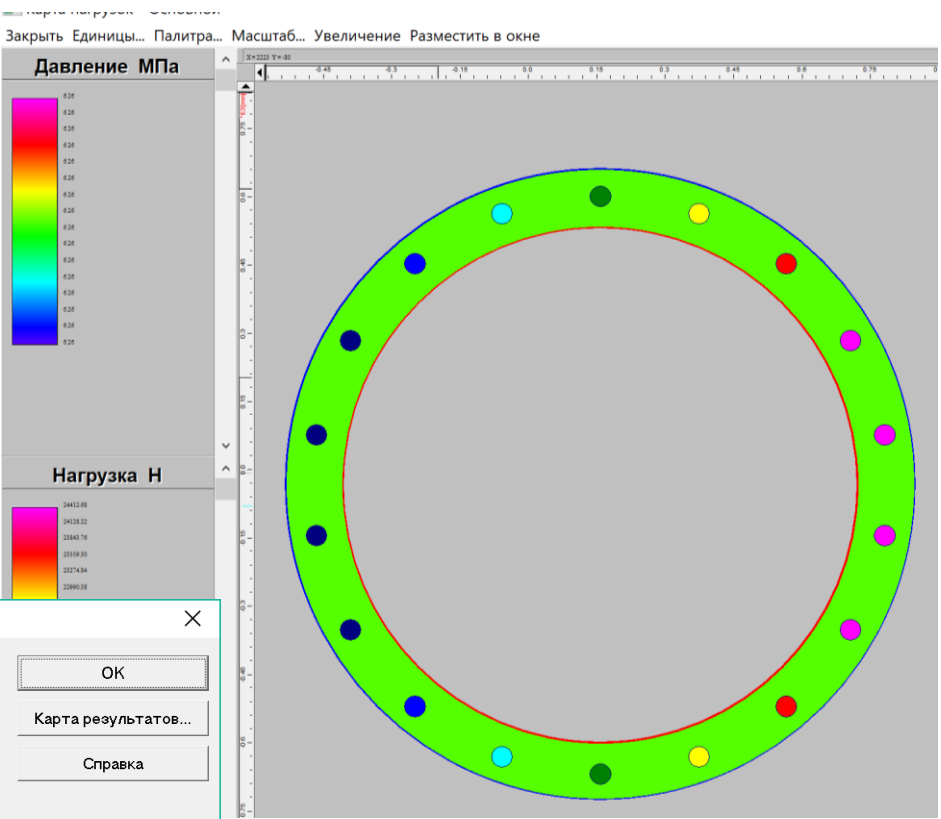
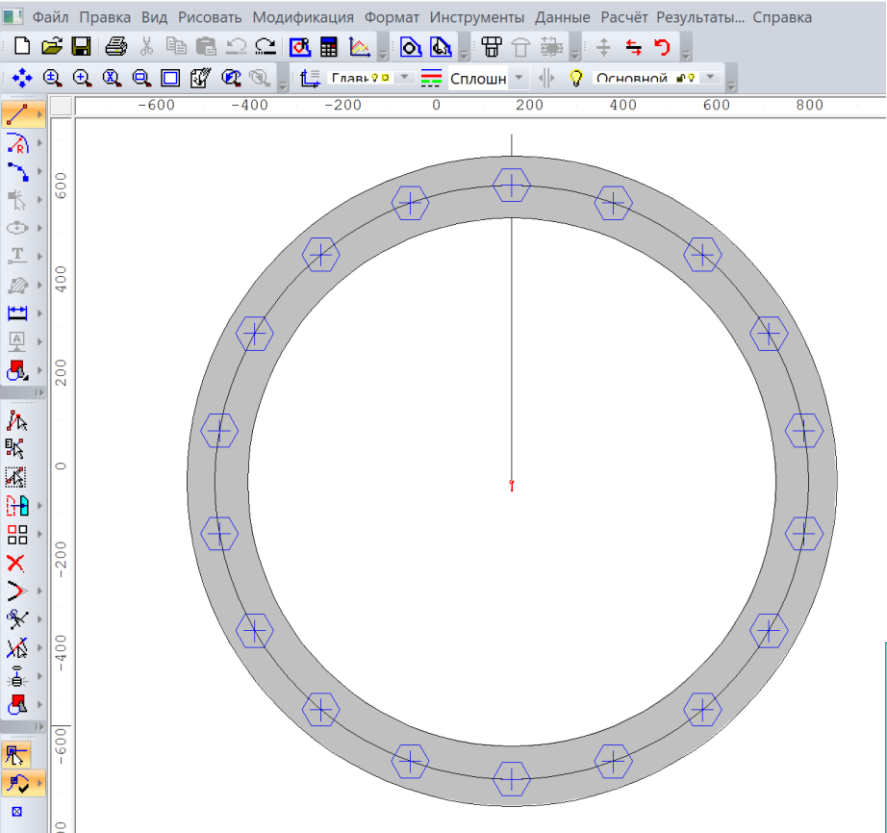
$[\varphi] =$

Для валов общего назначения



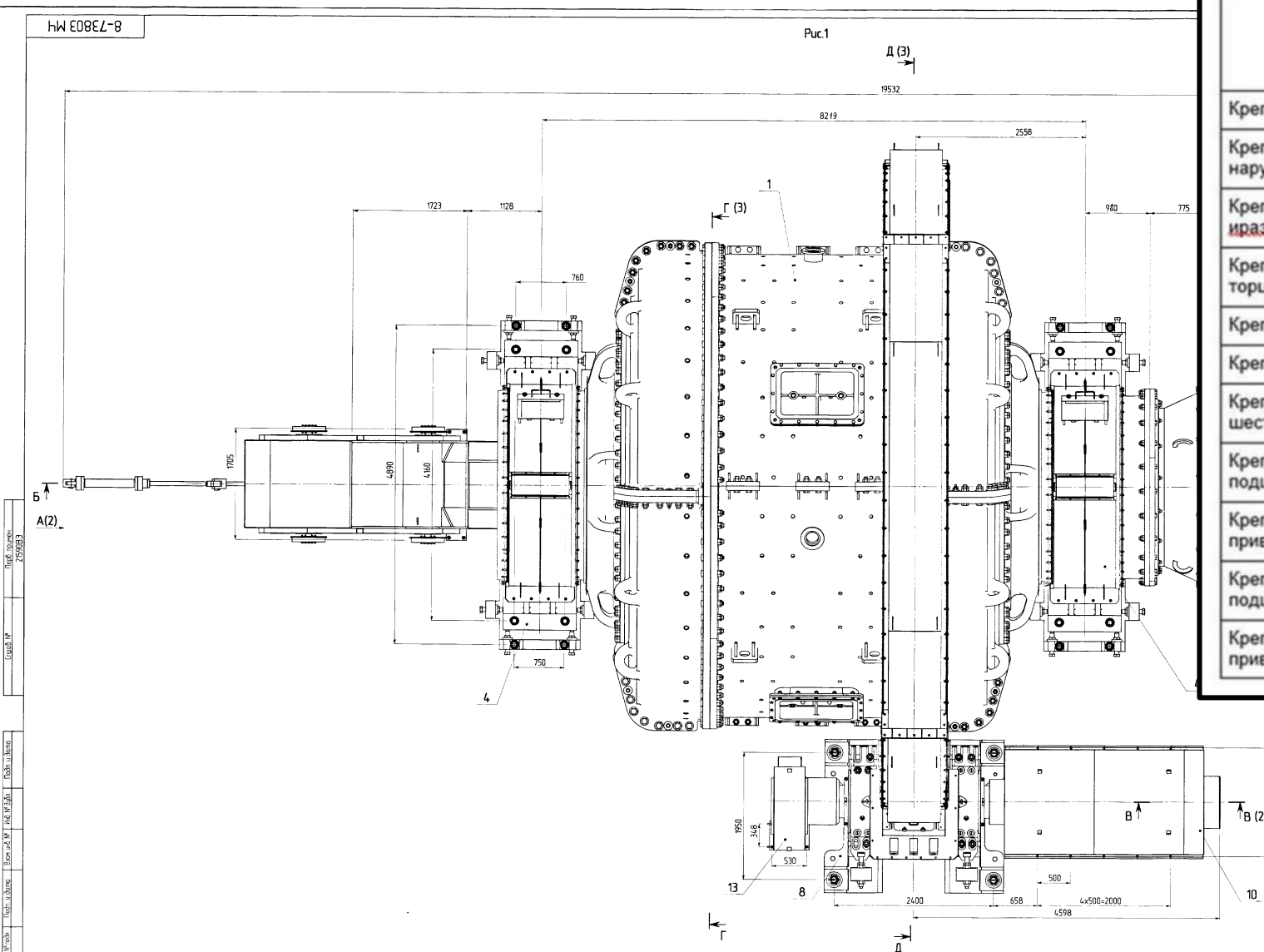
# Проверочный расчет Соединения полумуфт в APM Joint

APM Joint - [болтовое соедин. муфты.WJT]



Результаты расчёта	
Соединение (слой) Основной	
Геометрия	
Площадь стыка [кв.мм]	514726
X координата центра масс стыка [мм]	161.142
Y координата центра масс стыка [мм]	-27.0942
Момент инерции стыка относит. центральных осей	
относит. горизонтальной оси [мм <sup>4</sup> ]	1.03224e+011
относит. вертикальной оси [мм <sup>4</sup> ]	1.03249e+011
Угол наклона главных центральных осей [Град]	-28.9
X координата центра масс болтов [мм]	161
Y координата центра масс болтов [мм]	-33.0215
Нагрузка	
Диаметр стержня болта [мм]	48
Максимальная сдвигающая нагрузка на болт [Н]	24412.7
Минимальная толщина пластины [мм]	2.26043
Коэффициент запаса прочности на срез	7.41237

# Расчеты соединений



## Затяжка болтовых соединений

Наименование соединения	Диаметр резьбы	Требуемый момент затяжки, кг·м	Фактический момент затяжки, кг·м
Крепление воронки разгрузочной	M 48	170	170
Крепление четвертей стенок торцевых наружных	M 56x4	670	670
Крепление цапф загрузочной и разгрузочной	M 56x4	700	700
Крепление корпуса барабана и стенок торцевых	M 56x4	460	460
Крепление зубчатого венца	M 56x4	460	460
Крепление четвертей зубчатого венца	M 64	1000	1000
Крепление корпуса узла приводной шестерни	M 56	270	270
Крепление опорных плит коренных подшипников	M 76x4	800	800
Крепление рамы вспомогательного привода	M 56	280	280
Крепление фундаментных поит коренных подшипников	M 76x6	700	700
Крепление фундаментной плиты узла приводной шестерни	M 90x6	1200	1200

Таблица 2

Обозначение	Рис.	Поз. 8		Поз. 12	
		Обозначение	Обозначение	Наименование	
8-73803	1	8-63398МЧ	8-73661	Бутара-1	
01	2	8-63398.01МЧ	8-73660	Бутара-2	

5 Произвести уплотнение поперечными (1) и продольными (2) стержнями  
6 Смонтировать технологические отверстия (1) (см. Л-Л лист 3)  
7 Вечка (корпуса) барабана, технологические отверстия (1) (см. Л-Л лист 3) корпуса барабана и стенки разгрузочной, технологические отверстия (3) (см. Ж-Ж лист 3) корпуса барабана и стенки разгрузочной.

7 После установки подшипников транспортные заглизлы демонтировать, а на подшипники подвесить

8 После установки для придания транспортные заглизлы демонтировать, а на подшипники подвесить

9 Монтировать заглизлы болтов

поз 14, 16 - 4400 Нм  
поз 15, 20 - 3200 Нм.

				8-73803 M		
№	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Авт.	Магст.
Разобр.		Континент		26.07		
Град.		Томаров		19.09	И	822591
Тех.уч.						12
Мельница ММПС-70Х52					Лист 1	Листов 3
Монтажные чертежи					NKMZ	
Намер.		Континент		26.08		
Умб.		Петров		27.02		

# Расчеты соединений

## в модуле APM Joint

Результаты расчёта

Соединение (слой) Основной

Геометрия

Площадь стыка [кв.мм]	96116.8
X координата центра масс стыка [мм]	259.85
Y координата центра масс стыка [мм]	92.4733

Момент инерции стыка относит. центральных осей

относит. горизонтальной оси [мм <sup>4</sup> ]	2.73948e+008
относит. вертикальной оси [мм <sup>4</sup> ]	2.16331e+009

Угол наклона главных центральных осей [Град]

0.0
-----

X координата центра масс болтов [мм]

260
-----

Y координата центра масс болтов [мм]

90
----

Нагрузка

Сила затяжки [Н]	177071
Максимальная нагрузка на болт [Н]	238634
Максимальное давление [МПа]	3.43832
Диаметр болта [мм]	56
Момент завинчивания [Нм]	2045.8
Момент трения в резьбе [Нм]	1019.32
Момент трения на торце гайки [Нм]	1026.49

а) болты в стыке расположены вертикально;

Результаты расчёта

Соединение (слой) Основной

Геометрия

Площадь стыка [кв.мм]	96116.8
X координата центра масс стыка [мм]	259.85
Y координата центра масс стыка [мм]	92.4733

Момент инерции стыка относит. центральных осей

относит. горизонтальной оси [мм <sup>4</sup> ]	2.73948e+008
относит. вертикальной оси [мм <sup>4</sup> ]	2.16331e+009

Угол наклона главных центральных осей [Град]

0.0
-----

X координата центра масс болтов [мм]

260
-----

Y координата центра масс болтов [мм]

90
----

Нагрузка

Сила затяжки [Н]	189622
Максимальная нагрузка на болт [Н]	254950
Максимальное давление [МПа]	3.69949
Диаметр болта [мм]	56
Момент завинчивания [Нм]	2190.82
Момент трения в резьбе [Нм]	1091.57
Момент трения на торце гайки [Нм]	1099.25

б) болты в стыке расположены горизонтально

Результаты расчёта

Соединение (слой) Основной

Геометрия

Площадь стыка [кв.мм]	80076.9
X координата центра стыка [мм]	215.974
Y координата центра стыка [мм]	92.6927

Момент инерции стыка относит. центральных осей

относит. горизонтальной оси	2.29316e+008
относит. вертикальной оси	1.24503e+009

Угол наклона главных центральных осей [Град]

0.0
-----

X координата центра масс болтов [мм]

216
-----

Y координата центра масс болтов [мм]

92.5
------

Нагрузка

Сила затяжки [Н]	101132
Максимальная нагрузка на болт [Н]	133502
Максимальное давление [МПа]	2.37297
Диаметр болта [мм]	56
Момент завинчивания [Нм]	1168.44
Момент трения в резьбе [Нм]	582.172
Момент трения на торце гайки [Нм]	586.265
Коэффициент запаса выносливости	14.347
Коэффициент запаса прочности по пределу текучести	7.29884

OK

Карта результатов...

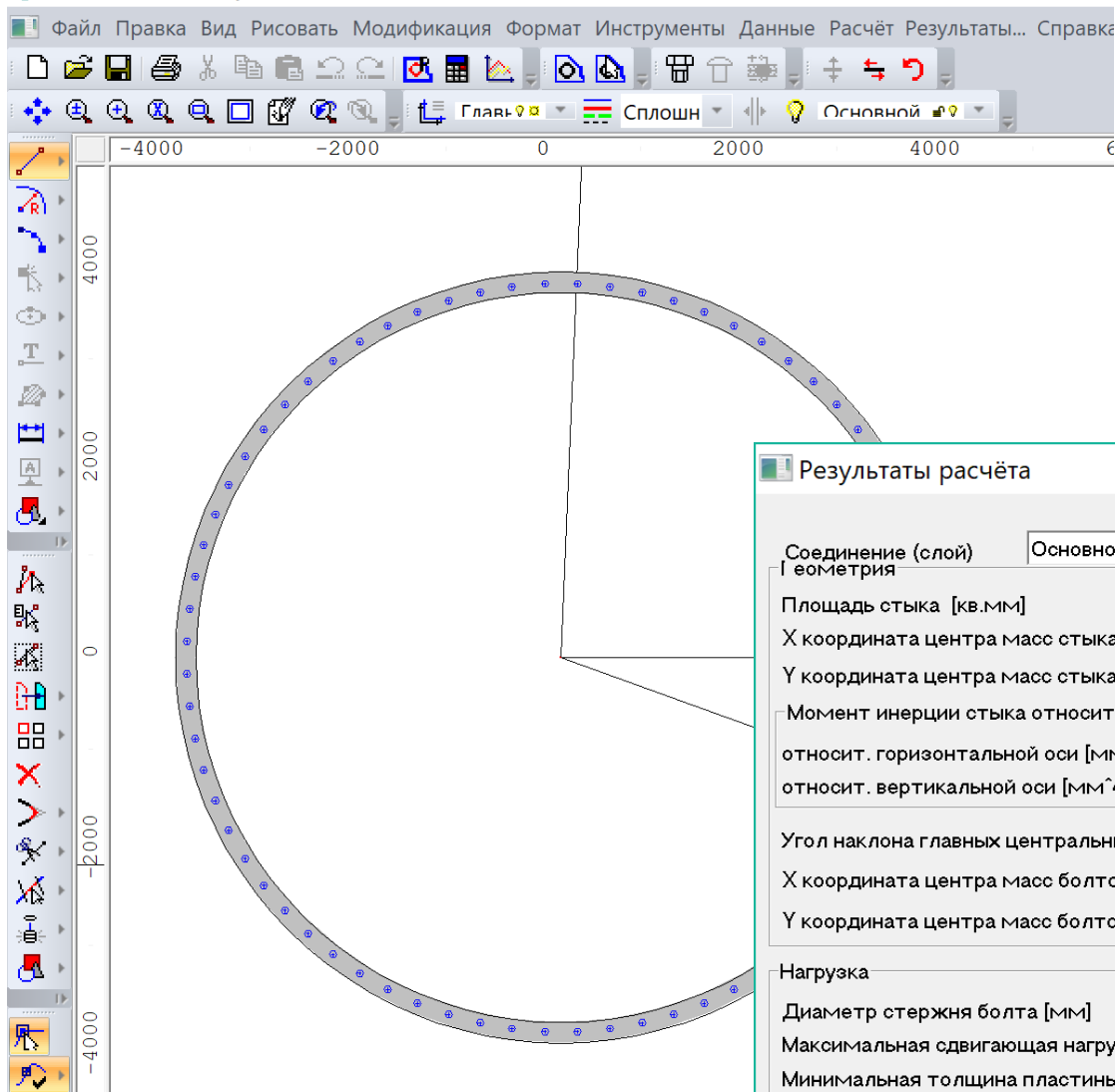
Справка

Результаты расчета болтового соединения  
крепления корпуса барабана и стенок торцевых



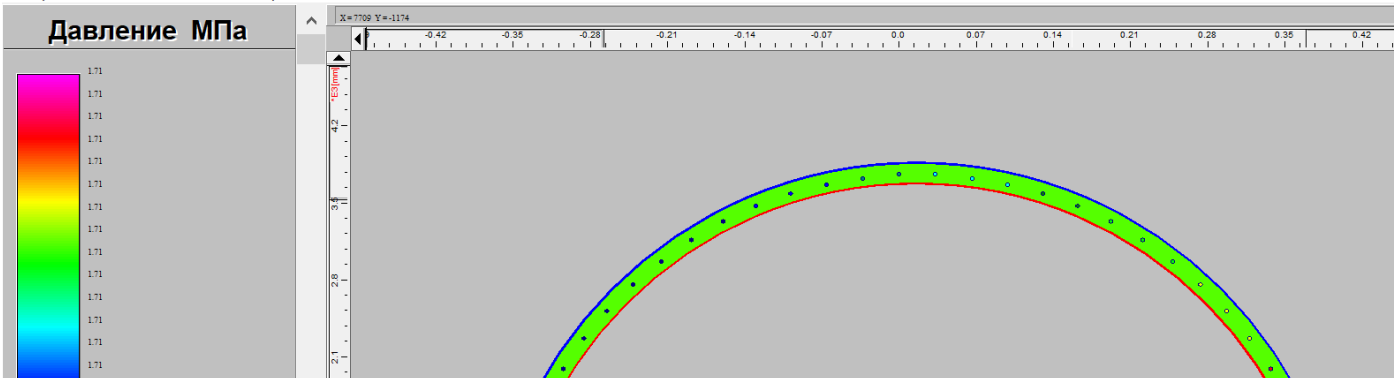
# Результаты расчета болтового соединения зубчатого венца с барабаном

APM Joint - [соед зуб венца.WJT]



Карта нагрузок - Основной

Закреть Единицы... Палитра... Масштаб... Увеличение Разместить в окне



Результаты расчёта

Соединение (слой)  
геометрия

Основной

Площадь стыка [кв.мм]

5.05427e+006

X координата центра масс стыка [мм]

181.375

Y координата центра масс стыка [мм]

-56.6251

Момент инерции стыка относит. центральных осей

относит. горизонтальной оси [мм<sup>4</sup>]

3.70992e+013

относит. вертикальной оси [мм<sup>4</sup>]

3.70992e+013

Угол наклона главных центральных осей [Град]

0.0

X координата центра масс болтов [мм]

181

Y координата центра масс болтов [мм]

-57

Нагрузка

Диаметр стержня болта [мм]

44.6242

Максимальная сдвигающая нагрузка на болт [Н]

156398

Минимальная толщина пластины [мм]

15.5768

OK

Карта результатов...

Справка