

**Особенности проектирования упругой компенсирующей муфты.****Часть 1. Расчёт упругого элемента при соосном расположении валов**

# 12, декабрь 2010

авторы: Фирсов Е. П., Ряховский О. А., Гуськов А. М., Билецкий Е. О.

УДК 62-25, 62-251, 531/534

**Введение**

Применение упругих компенсирующих муфт при передаче момента от электродвигателя центробежному насосу при транспортировке углеводородных продуктов обусловлено их возможностью к компенсации угловых погрешностей расположения вало [3]. При вибрациях ротора проявляются динамические погрешности, которые при определенных условиях могут приводить к параметрическому возбуждению всей динамической системы. Данная работа посвящена расчёту дисков пальцевых муфт и выявлению амплитуд возникающих изгибающих моментов на роторе насоса при угловой погрешности расположения ведущего и ведомого валов. В первой части рассматривается случай соосного расположения валов. Для передачи крутящего момента с электродвигателя на вал используется дисковая муфта Radex-N фирмы KTR. В качестве расчетной модели выбрана наиболее используемую конструкцию муфты из каталога фирмы KTR серии Radex N [1].

В каталоге изготовителя муфт, приводится информация лишь о максимально допустимых смещениях (радиальных, угловых, осевых), и о предельно допустимых моментах по прочности без указания наиболее нагруженных мест и зависимости от геометрии упругого элемента. Так же не ясна связь распределения напряжений и деформаций с кинематическими погрешностями передачи. Компенсация угловых кинематических погрешностей происходит за счет использования тонких плоских упругих элементов – дисков, – допускающих значительные изгибные деформации.

Различают 3 вида дисков, используемых в дисковых муфтах Radex-N (рис. 1):

1- диск с 4 отверстиями (внутренний диаметр изменяется  $\varnothing 20 - 50$ )

2- диск с 6 отверстиями (внутренний диаметр изменяется  $\text{Ø}60 - 135$ )

3- диск с 8 отверстиями (внутренний диаметр изменяется  $\text{Ø}138 - 168$ )

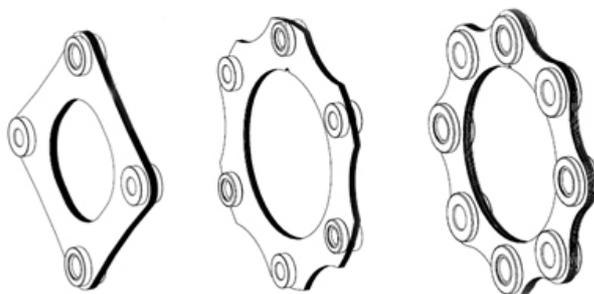


Рис. 1 Типы дисков муфт Radex-N фирмы KTR

Для расчёта были выбраны диски с внутренним диаметром  $\text{Ø}50$  мм с четырьмя отверстиями и  $\text{Ø}140$  мм с восемью отверстиями (рис. 2). Толщина пластины была принята равной 1 мм. Материал дисков – сталь (коэффициент Пуассона  $\nu = 0.3$ , модуль упругости первого рода  $E = 2 \cdot 10^{11}$  Па).

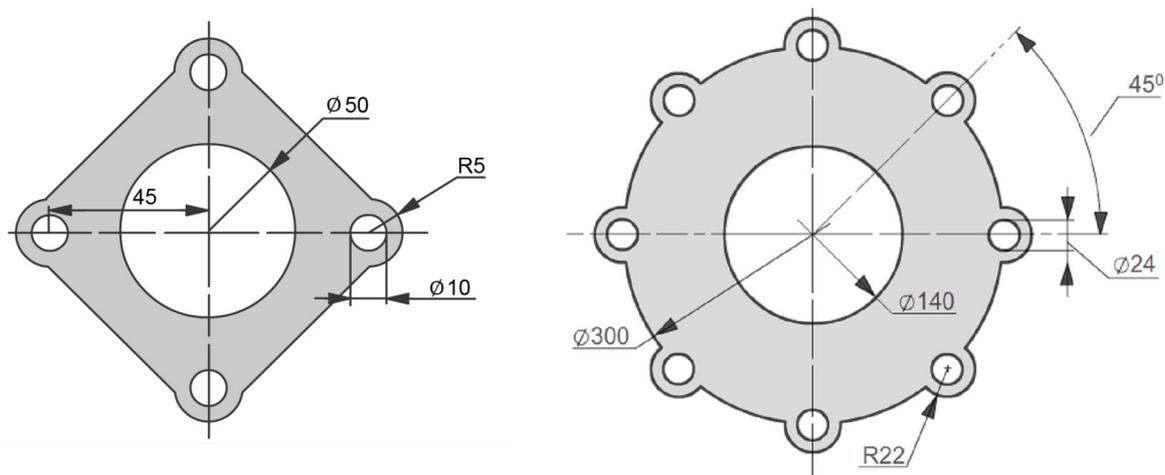


Рис 2. Геометрические характеристики дисков пальцевой муфты

Подобные диски весьма популярны благодаря простоте своей конструкции, легкости при замене и компактности [3].

### Расчет плоского напряженного состояния диска пальцевой муфты

Муфта состоит из двух полумуфт, соединённых друг с другом при помощи болтов (рис. 3). Между полумуфтами находится набор стальных пластин, которые вместе образуют упругий элемент. Подобная муфта в состоянии воспринимать только угловые и

осевые смещения. В зависимости от передаваемого крутящего момента количество пластин в пачке может меняться.

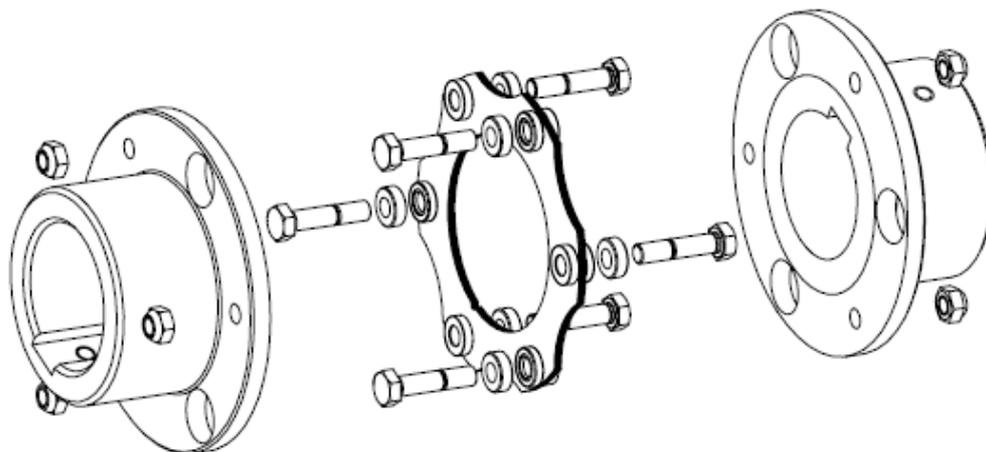


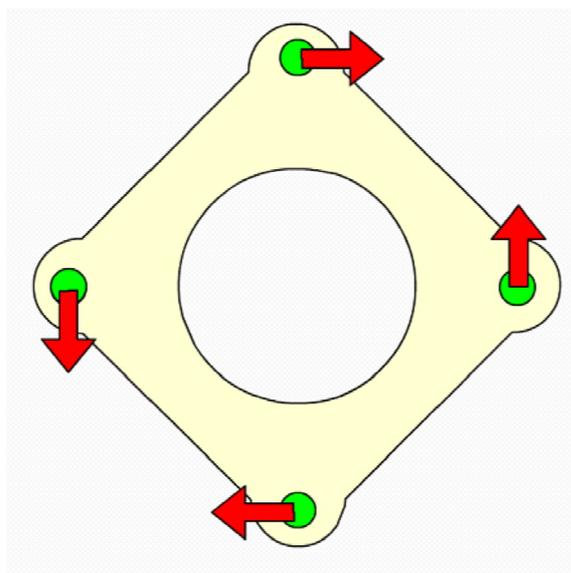
Рис. 3 Конструкция муфты фирмы KTR

Для решения задачи расчета плосконапряженного состояния диска пальцевой муфты применялся программный комплекс ANSYS.

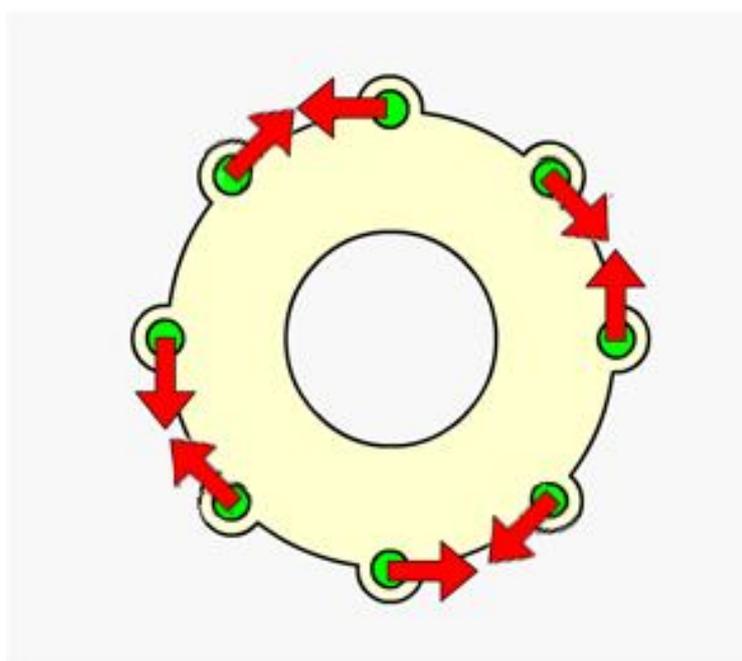
Элементом для расчета служил PLANE 82 [4], так как этот элемент лучше всего подходит для решения задач о плоском деформированном и плоском напряженном состоянии. Элемент PLANE 82 является версией двухмерного (2D) элемента PLANE 42 - II порядка. Этот элемент обеспечивает более точные результаты для смешанных сеток (состоящих из треугольных и четырехугольных элементов), полученных средствами автоматизированного создания таковых, и допускает нерегулярную форму элемента без существенной потери точности. Элементы с восемью узлами имеют совместные формы перемещений и пригодны для описания искривленных границ.

Элемент II порядка определяется восемью узлами, имеющими две степени свободы в каждом узле: перемещения в направлении осей X и Y узловой системы координат. Элемент может использоваться в качестве плоского (с плоским напряженным или деформированным состоянием) или в качестве осесимметричного элемента. Элемент имеет свойства пластичности, ползучести, радиационного набухания, увеличения жесткости при наличии нагрузок, больших перемещений и больших деформаций.

В процессе расчета принимается модель нагружения, при которой половина отверстий перемещается по часовой стрелке, другая половина отверстий – против часовой стрелки (см рис. 4). При этом отверстия, перемещаемые против часовой стрелки, связаны с ведущим валом, а по часовой стрелке - с ведомым.



(а)



(б)

(а) – пластина с четырьмя отверстиями; (б) – пластина с восемью отверстиями

Рис. 4 Схема нагружения диска муфты

Перемещения контуров отверстий диска муфты задавались с помощью команды Displacements - UY, UX, где под UY понимается угловое перемещение отверстия муфты, UX радиальное перемещение. Для этого предварительно необходимо было перевести все узлы из декартовой системы координат в цилиндрическую.

## Результаты расчета диска пальцевой муфты

Особенностью данной задачи является то, что распределение поверхностных сил по контурам отверстий неизвестно. При отсутствии угловой погрешности между валами – несоосности, в силу симметрии задачи, оси симметрии дисков сохраняют симметрию, как в начальном, так и в деформируемом состояниях [2]. Таким образом, учитывая линейность задачи, всем узлам, принадлежащим контурам отверстий, сообщается поворот как жесткого целого на угол  $\Delta\alpha'$  относительно осей симметрии в направлении стрелок (рис. 4). То есть относительный угол поворота торцевых сечений двух валов равен  $2\Delta\alpha'$ . При расчетах угол  $\Delta\alpha'$  принимался равным одному градусу. То есть, относительный угол поворота валов равнялся двум градусам. После проведения расчета вычислялся крутящий момент, приложенный к муфте и равный  $DM'$ . Для задаваемого момента  $M$  относительный угол поворота определяется по формуле

$$\alpha = \frac{2\Delta\alpha'}{DM'}M$$

Аналогично вычисляются компоненты вектора перемещений  $u_x, u_y$  и эквивалентное напряжение  $s_E$

$$u_x = \frac{Du_x'}{DM'}M, \quad u_y = \frac{Du_y'}{DM'}M, \quad s_E = \frac{Ds_E'}{DM'}M \quad (1)$$

На рисунке 5 приведена компонента поля перемещений в плоскости пластины в направлении оси  $X$  -  $u_x$ . Перемещения  $u_x$  не превосходят значения  $0.370 \cdot 10^{-4}$  м. При изображении поля перемещений ось, проходящая через два горизонтальных отверстия показана неподвижной. Аналогично, для пластины с восемью отверстиями – рисунок 6, – максимальное перемещение по модулю равно  $0.793 \cdot 10^{-5}$  м. Очевидно, что вторая пластина жестче.

На рисунках 7, 8 изображены поля компонент перемещений вдоль оси  $Y$ . Информация на рисунках 9, 10 – поля модуля вектора перемещений, – обладают полной симметрией, что является доказательством корректности проведенных расчетов.

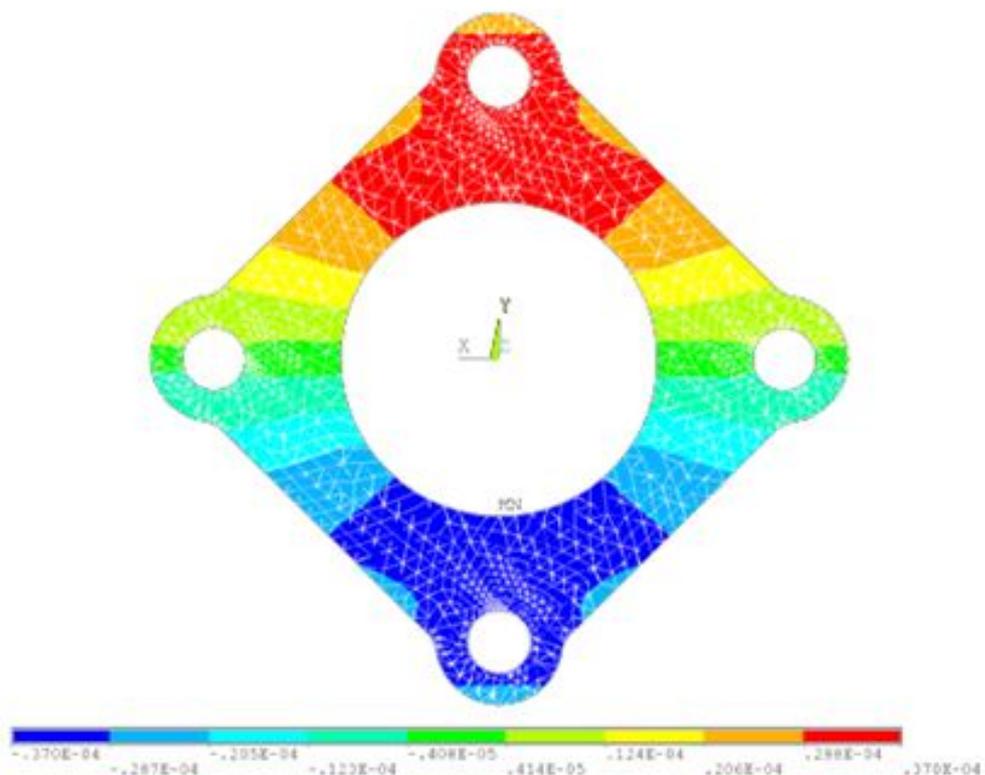


Рис. 5 Перемещение в декартовой системе координат вдоль оси X для диска с четырьмя отверстиями

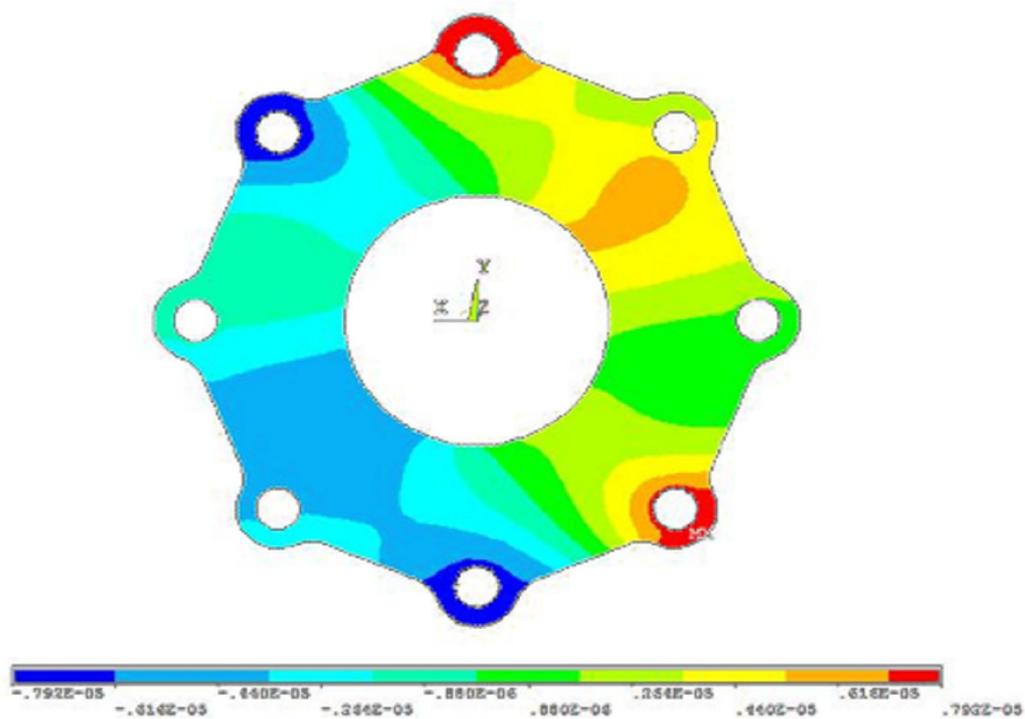


Рис. 6 Перемещение в декартовой системе координат вдоль оси X для диска с восемью отверстиями

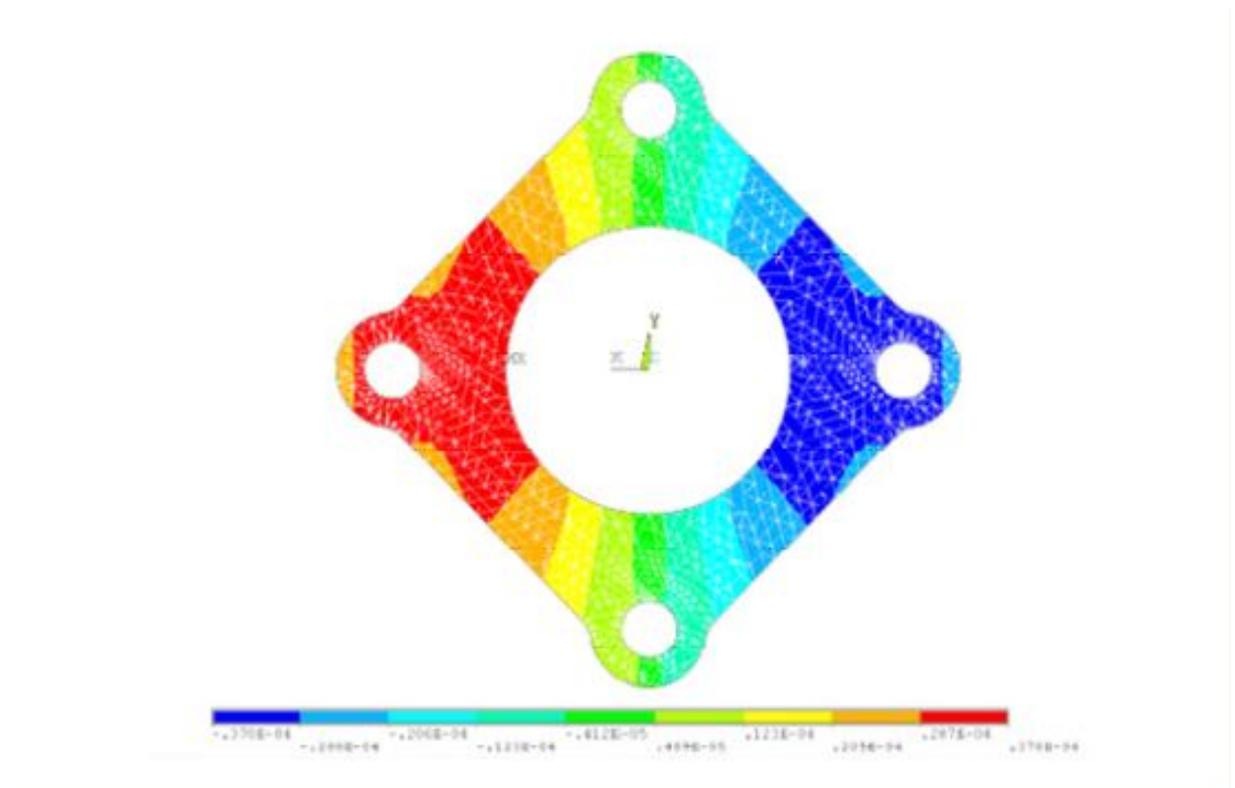


Рис. 7 Перемещение в декартовой системе координат вдоль оси  $Y$  для диска с четырьмя отверстиями

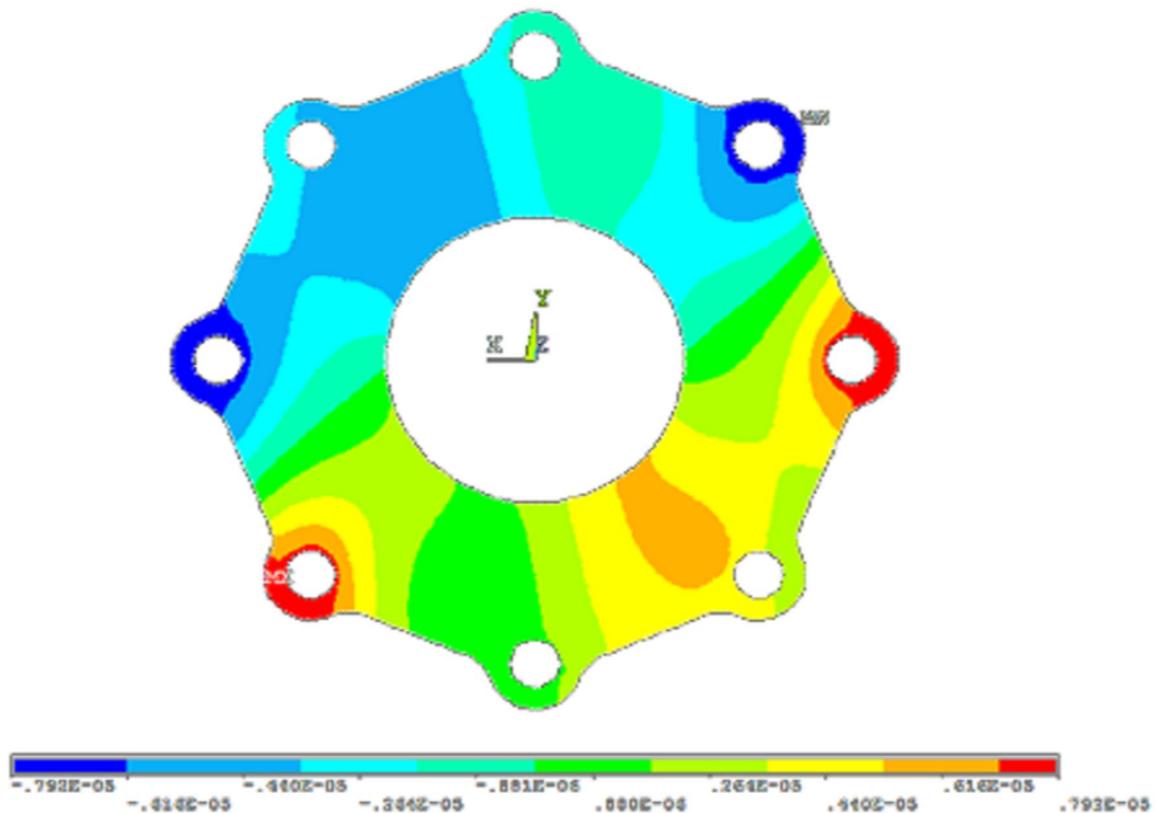


Рис. 8 Перемещение в декартовой системе координат вдоль оси  $Y$  для диска с восемью отверстиями

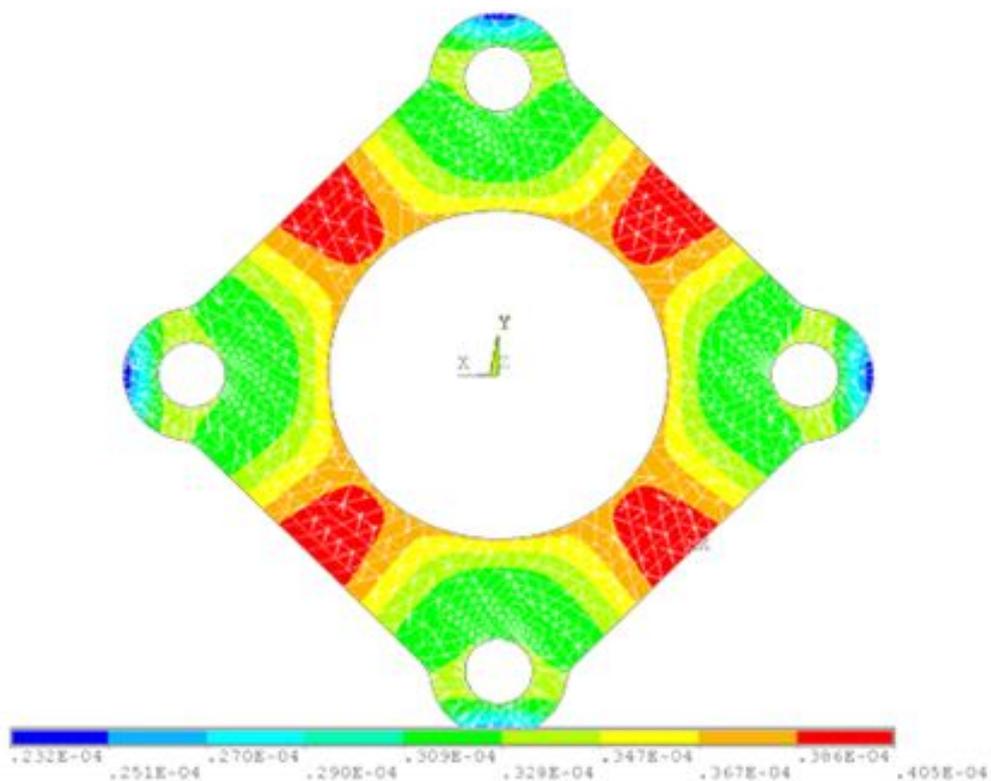


Рис. 9 Модуль поля перемещений для диска с четырьмя отверстиями

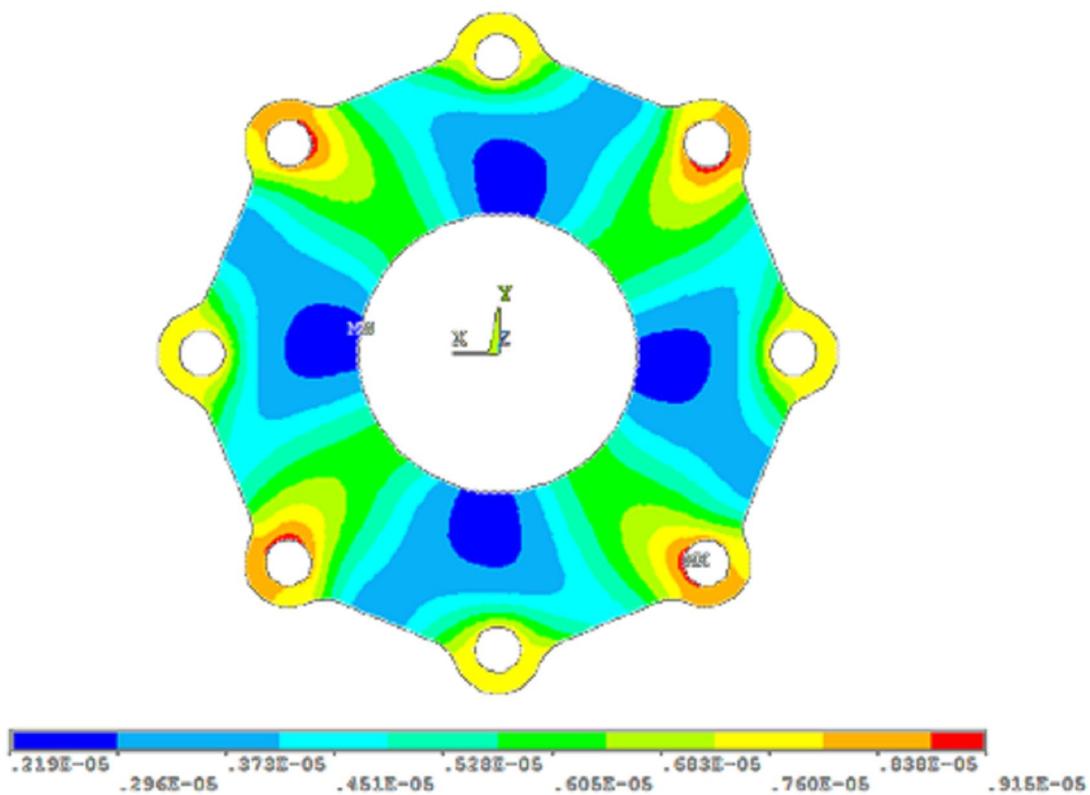


Рис. 10 Модуль поля перемещений для диска с восемью отверстиями

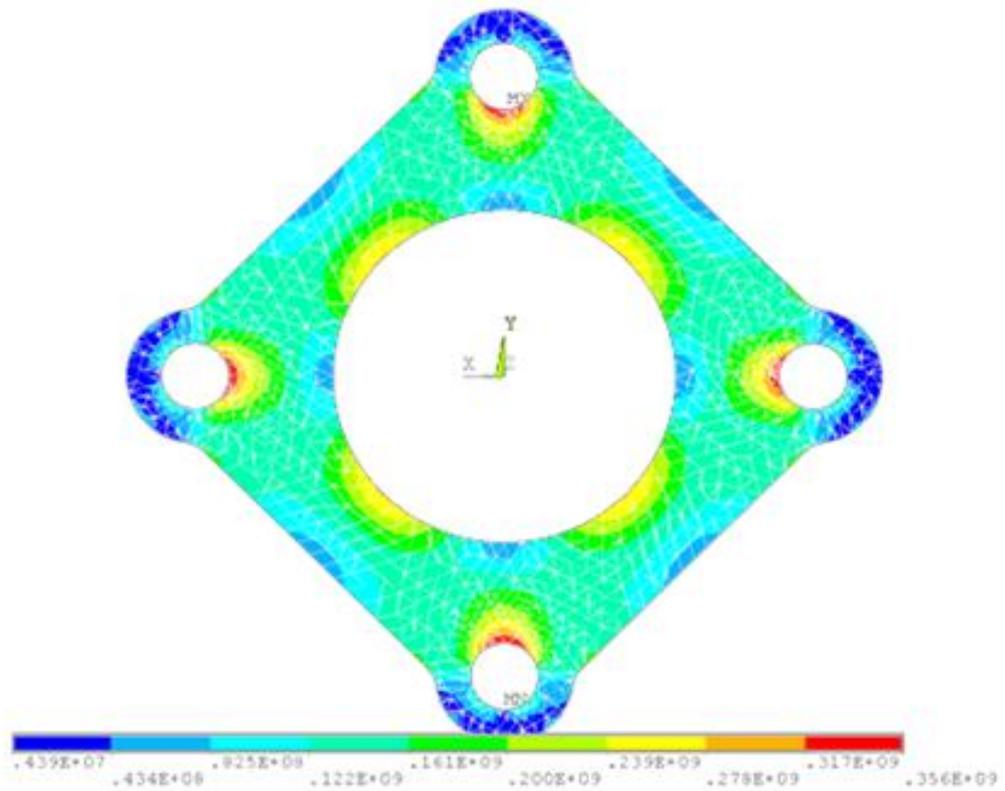


Рис. 11 Эквивалентное напряжение в декартовой системе координат для диска с четырьмя отверстиями

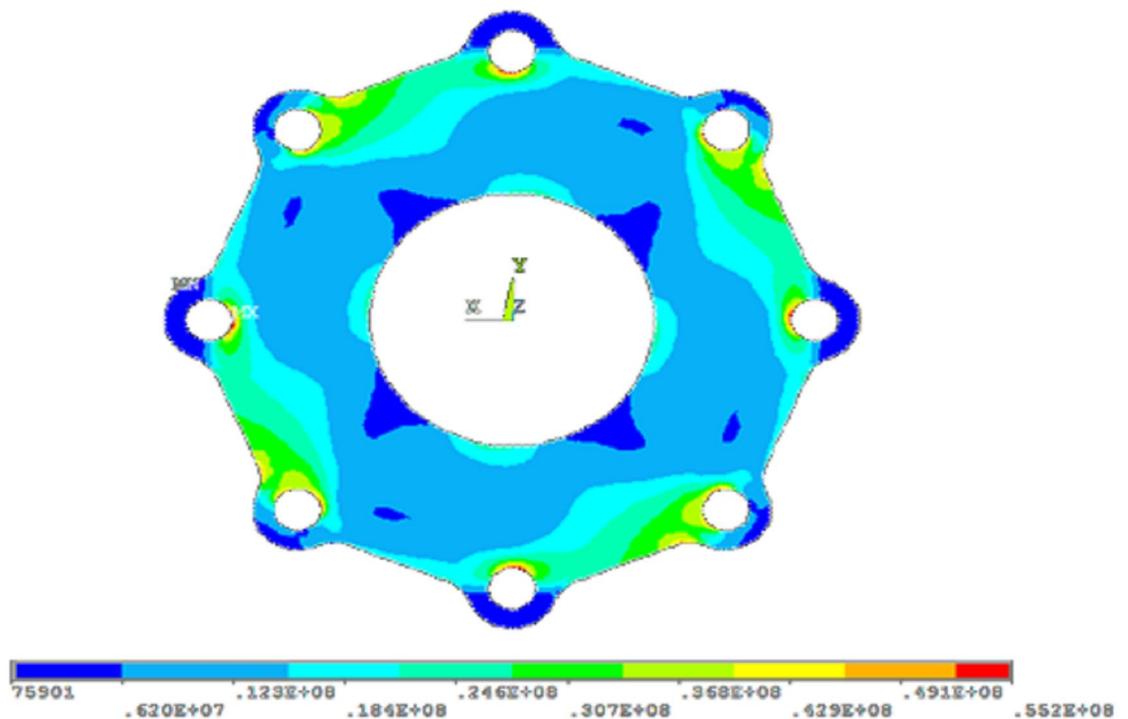


Рис. 12 Эквивалентное напряжение в декартовой системе координат для диска с восемью отверстиями

На рисунка 11, 12 показаны поля эквивалентных по Мизесу напряжений. Наибольшие эквивалентные напряжения возникают на контурах отверстий. В частности, при относительном повороте на два градуса в пластине с четырьмя отверстиями, максимальное эквивалентное напряжение равняется  $\max(s_E^{(4)}) = 356$  МПа (рис. 11), а для пластины с восемью отверстиями –  $\max(s_E^{(8)}) = 55.2$  МПа. Следовательно, при выбранных геометрических размерах, муфта с пластинами, имеющими восемь отверстий, может передавать момент примерно в 6.5 раз больший, чем муфта с пластинами, имеющими четыре отверстия.

### **Выводы**

В результате расчёта были построены поля распределений напряжений в диске пальцевых муфт при плосконапряженном состоянии.

Как видно из рисунков 9-12 наиболее напряженные места в диске находятся на границах отверстий, предназначенных для соединительных болтов.

Работа выполнена в рамках реализации комплексного проекта по созданию высокотехнологичного производства, выполняемого с участием российского высшего учебного заведения, "Разработка и производство отечественных насосных агрегатов нового класса для транспорта нефти (импортозамещающие технологии)" шифр заявки 2010-218-01-245".

### **Список литературы**

- 1 Каталог муфт фирмы KTR // <http://www.ktrcorp.com/>. URL [http://www.ktr.com/en/index/service/876\\_productcatalog/catalog/productcatalog.htm?frame=us](http://www.ktr.com/en/index/service/876_productcatalog/catalog/productcatalog.htm?frame=us) (дата обращения: 23.12.2010).
- 2 Расчеты на прочность в машиностроении / Пономарев СД, Бидерман ВЛ, Лихарев КК, Макушин ВМ, Малинин НН, Феодосьев ВИ, М.: МАШГИЗ, 1985 . С. 123-127.
- 3 Ряховский О. А., Иванов С. С. Справочник по муфтам. – М.: Машиностроение Политехника. 1991г , 384 с.
- 4 Справочное руководство программного комплекса ANSYS