

## РАСЧЕТ КОНТАКТНЫХ ДАВЛЕНИЙ В МЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММЫ COMSOL MULTIPHYSICS

У статті розглянута методика розрахунку контактної тиску в осях механічних систем за допомогою пакета програм Comsol Multiphysics.

В статті розглядається методика розрахунку контактних давлень в осях механічних систем при допомозі пакета програм Comsol Multiphysics.

Во многих электромеханических устройствах механические усилия от актуатора к контактам передаются при помощи системы рычагов (рубильники, высоковольтные выключатели, выключатели средних напряжений и т.п.). В этой связи актуальной является задача по расчету и определению характера распределения механических напряжений, как в самих рычагах, так и в областях механического контакта рычагов с осями вращения. Данная задача является классической задачей теории упругости, которая для неспециалиста достаточно сложна в понимании и расчетах так как оперирует такими понятиями как "тензор" и даже в простых случаях требует решения системы дифференциальных уравнений в частных производных. Решение данного вопроса может быть получено с использованием специализированных прикладных пакетов программ, существенно облегчающих процесс расчета и избавляющие пользователей от необходимости написания и отладки программ.

Одним из таких пакетов программ является расчетный модуль "Structural Mechanics Module", входящий в пакет "Comsol Multiphysics".

Цель данной статьи – показать методику расчета механических напряжений, в том числе и контактных, в указанном пакете программ.

Задача – рассчитать напряжения в простейшем рычажном механизме, показанном на рис. 1.

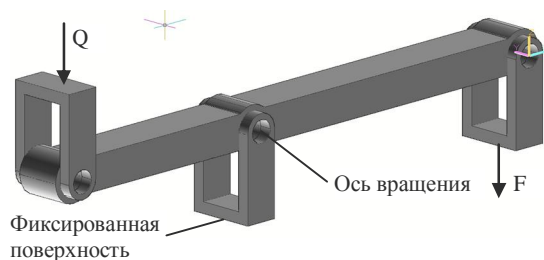


Рис. 1. Рычажный механизм, где  $F$  – сила привода;  $Q$  – реакция механизма

В статье рассматривается расчет статических напряжений в рычаге в двумерном плоском варианте, находящемся в равновесии (сумма проекций сил и моменты относительно осей вращения равны нулю).

### Решение задачи.

В открытом начальном окне программы необходимо выбрать указанные параметры (рис. 2). После чего откроется окно размещения модели в режиме рисования, который можно установить или отменить при помощи контекстного меню или кнопки быстрого доступа. Данный режим позволяет создавать расчет-

ные модели при помощи инструментов меню Draw, но проще воспользоваться заранее нарисованным объектом и сохраненном в формате dxf.

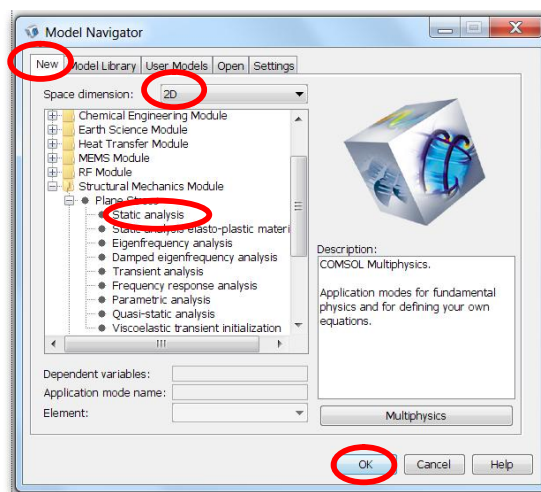


Рис. 2. Окно выбора метода решения задачи

Для вставки объекта выберем команды File/Import/Cad Data From File. Указать место расположения файла и активизировать кнопку Import. Как правило, параметры установленные в окне по умолчанию являются вполне приемлемыми. Результат приведен на рис. 3.

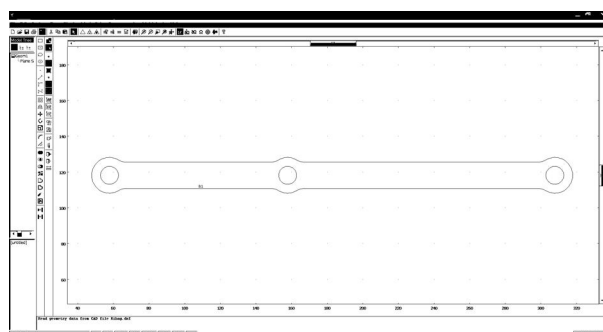


Рис. 3. Окно с расчетным объектом



Рис. 4. Трансформация объекта

Полученный объект является контуром и не может быть использован для расчетов. Превратить объект в области необходимо командой "Coerce to Solid", а затем командой "Split Object" рис. 4. Результатом применения данной команды будет

создание четырех областей – самого рычага и трех осей.

Следующей проблемой является то, что для работы с объектами программа Comsol Multiphysics использует систему СИ, а объект нарисованный в AutoCad имеет безразмерные параметры. Пусть диаметр осей равен 10 мм, а расстояние между осями 100 мм и 150 мм. В этом случае необходимо привести размеры рычага в соответствие с системой СИ, умножив выделенные объекты (Ctrl+A) на масштабный множитель –  $1e-3$  (рис. 5) и увеличив его размеры до размеров экрана.



Рис. 5. Масштабирование и зуммирование объекта

На этом манипуляции с объектом закончены и можно приступать к заданию постоянных величин и свойств объекта.

Зададимся постоянными величинами: сила  $Q=2500$  Н; диаметр осей  $Diam=10$  мм; толщина рычага  $d=10$  мм. Задание констант происходит в окне Options/Const (переход от столбца к столбцу осуществляется при помощи клавиши Tab). Вид окна с заданными постоянными показан на рис. 6.

Name	Expression	Value
Q	2.5[kN]	2500[N]
Diam	10[mm]	0.01[m]
d	10[mm]	0.01[m]

Рис. 6. Окно задания констант

Далее программе необходимо "объяснить" характер решаемой задачи (условия контакта рычага и осей). Для этого необходимо следующее.

Первое: выбрать опцию Draw/Create Composite Object и выделить при нажатой клавише Ctrl все три оси (рис. 7). Необходимые параметры указаны на рис. 7.

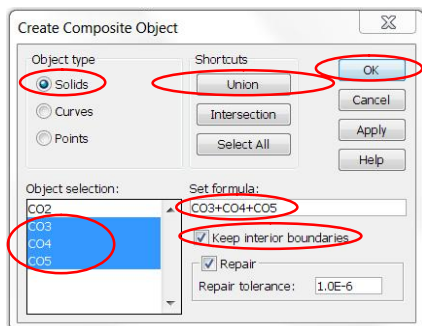


Рис. 7. Объединение областей в одно целое

В результате будут образованы две области – область рычага и область осей, но разграничение областей осталось.

Второе: выберем опцию Draw / Create Pairs и выберем созданные области и создадим контактные пары (рис. 8). Необходимые параметры указаны на рисунке. Результатом применения этой команды будет появление двойных границ в областях контакта.

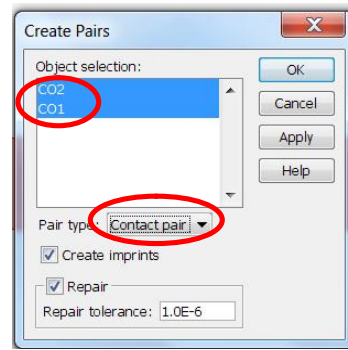


Рис. 8. Создание контактной пары

Далее необходимо задать физические параметры рычага и осей с помощью команд Physics / Sub domain Setting (рис. 9), выбрав материал, загрузив его из библиотеки, а так же установив толщину рычага.

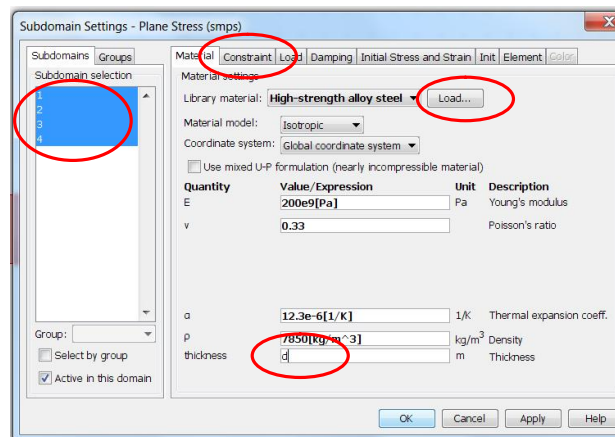


Рис. 9. Задание свойств областей

Для средней оси (ось вращения) на вкладке Constraint установить значение Fixed.

Следующий этап заключается в задании граничных условий на вкладке Physics / Boundary Setting. В окне выделить при помощи клавиши Ctrl границы 33,35 левой оси и на вкладке Load задать значение линейной нагрузки (рис. 10).

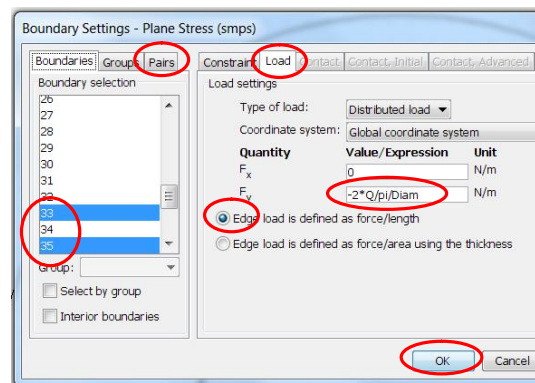


Рис. 10. Задание свойств левой оси

Для центральной оси оставить (границы 37-40) условия заданные по умолчанию – Constraint-Free; Load=0. Для левой оси на вкладке Load для границ 41,43 задать значение  $F_y = -2 \cdot Q / \pi / Diam / 1.5$  [N/m]. На последнем этапе на этой же вкладке открыть опцию

Pairs, активизировав щелчком мыши параметр Pairs 1. Закрывать окно Boundary. Силы трения в осях не учитываются.

Далее на расчетную область необходимо нанести сетку, открыв вкладку Mesh / Free Mesh Parameters. Для этого на вкладке Subdomain, выделив все области, установить размер сетки  $1e-3$ [m]. Открыв вкладку Boundary выделить границы 33-44, задав размер сетки  $0.1e-3$ [m]. Закрывать вкладку Mesh / Free Mesh Parameters (рис. 11).

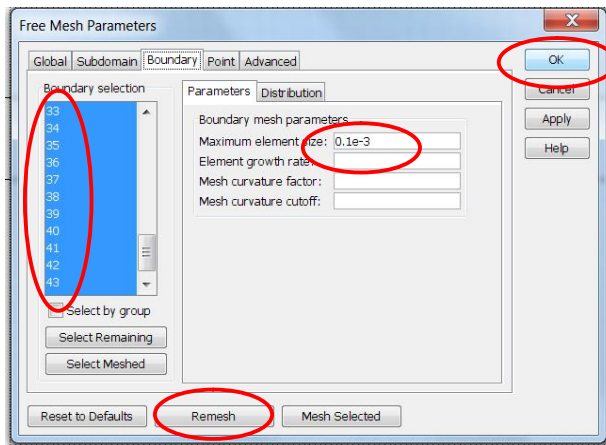


Рис. 11. Расчетная сетка

Размер сетки в значительной мере влияет на точность расчета, объем требуемой оперативной памяти и время счета. При указанных параметрах требуемый объем оперативной памяти порядка 2 Гб.

Запускаем программу на счет из меню Solve / Solve Problems или кнопкой быстрого доступа. Время счета зависит от густоты сетки и "мощности" ЭВМ и для i5 процессора продолжается порядка минуты.

Результаты расчета будут более наглядней, если после окончания счета выполнить на вкладке Postprocessing / Plot Parameters следующие действия (рис. 12), предварительно убедившись что на вкладке Surface установлены напряжения по Мизесу, а на вкладке Deform масштаб равен единице.

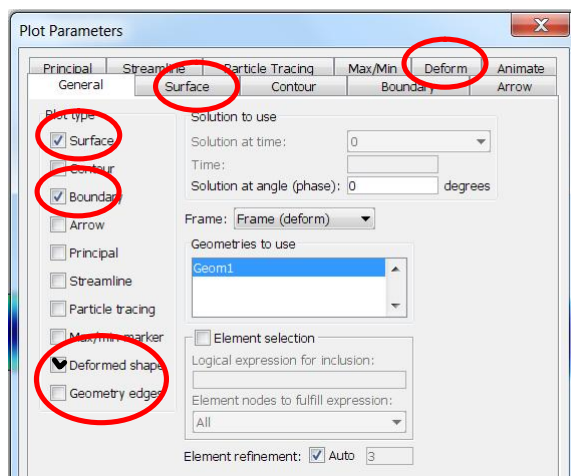


Рис. 12. Окно вывода результатов

Такая установка параметров позволяет оценить реальные значения деформаций рычага.

Результат расчетов приведен на рис. 13, где показаны перемещения рычага и внутренние напряжения. По центру рычага можно заметить нейтральный слой.

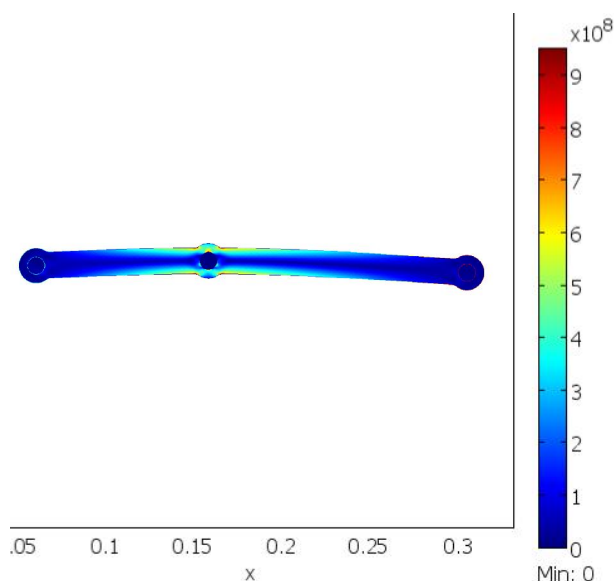


Рис. 13. Напряжения и деформация рычага

Интерес вызывает распределение и значения сил в области контакта рычага с осями. Очевидно, что максимальными эти силы будут в центральной оси. Для отображения графика сил необходимо в меню Postprocessing / Domain Plot Parameters выполнить операции, показанные на рис. 14. Результатом выполнения такой операции будут контактное давление по длине окружности соответствующих осей.

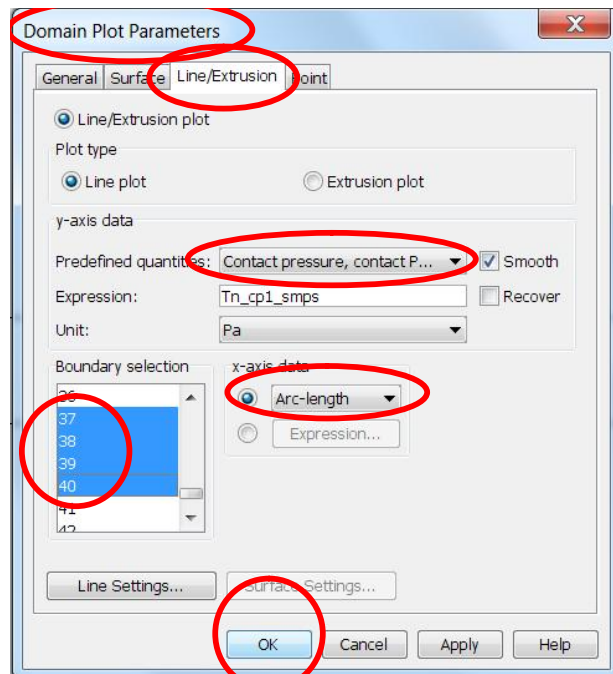


Рис. 14. График контактных сил

Результат такой операции показан на рис. 15.

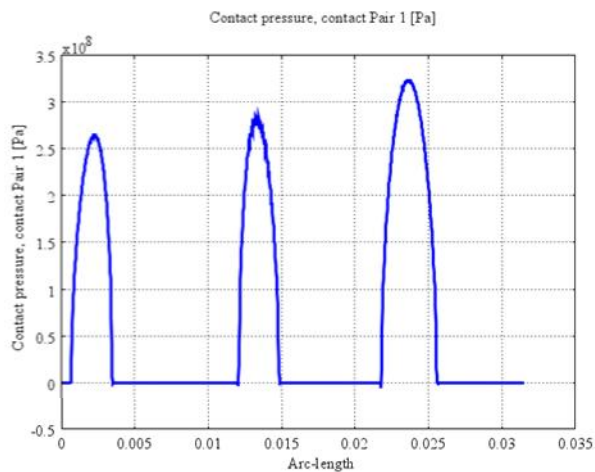


Рис. 15. Распределение контактных давлений в средней оси

Давления на левой и правой оси получаются аналогично (рис. 16).

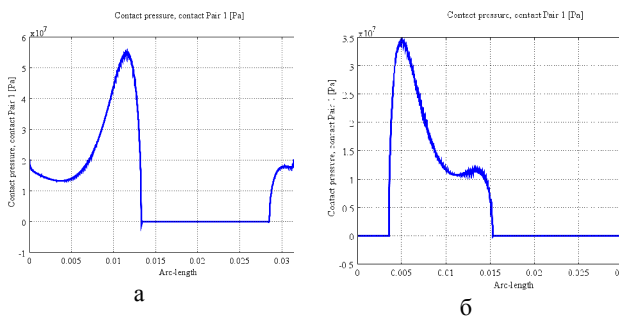


Рис. 16. Распределение усилий по левой а) и правой б) осям

Не гладкость кривых на рис. 15, 16 связана с размером и качеством сетки (не всегда более мелкая сетка даёт более гладкую кривую).

Для того чтобы посмотреть, как распределяются усилия по окружности необходимо выбрать меню Postprocessing / Plot Parameters и выбрать Arrow (рис. 17).

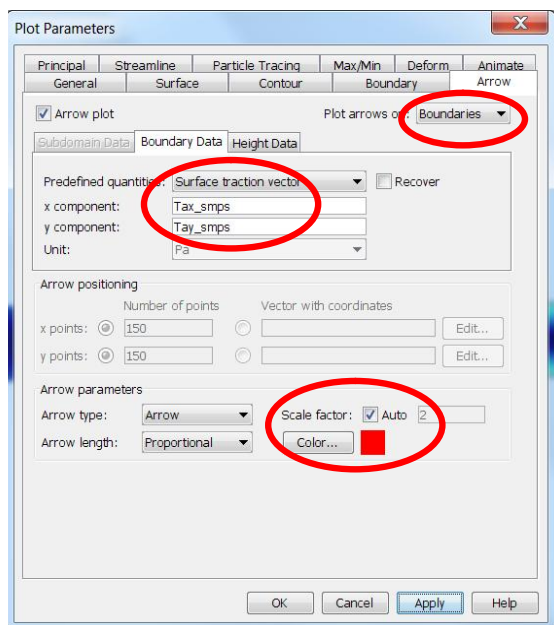


Рис. 17. Распределение усилий по дуге

Результат распределения усилий по длине окружности для центральной оси показан на рис. 18 (поверхностный вектор тяги).

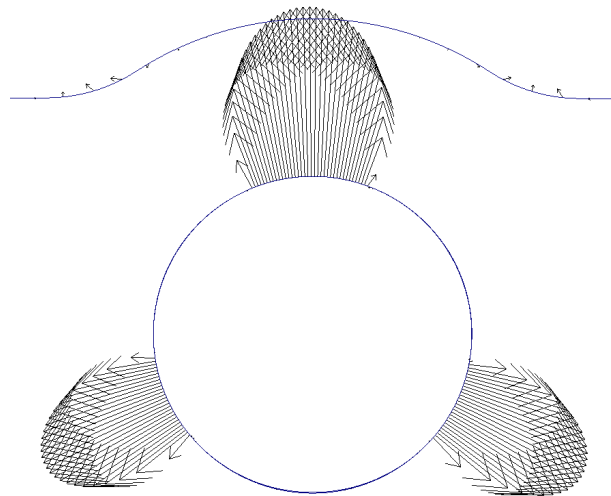


Рис. 18. Картина сил по периметру центральной оси

Аналогичные картины могут быть построены для левой и правой осей (рис. 19), где видно и действие рычага на оси.

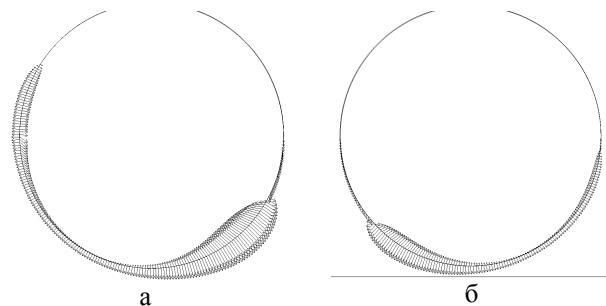


Рис. 19. Картина сил по левой (а) и правой (б) осям

В заключении хотелось бы отметить, что в статье описана малая часть тех функций, которые может реализовать программа, о чем можно судить хотя бы по количеству вкладок окна Postprocessing / Plot Parameters, не говоря уже об окне Postprocessing.

Поступила (received) 12.07.2013

Байда Евгений Иванович, к.т.н., доц.  
Национальный технический университет  
"Харьковский политехнический институт",  
кафедра "Электрические аппараты",  
61002, Харьков, ул. Фрунзе, 21,  
тел/phone: +38 057 7076976, e-mail: baida\_kpi@i.ua

**Baida E.I.**  
National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"  
21, Frunze Str., Kharkiv, 61002, Ukraine  
**Comsol multiphysics based calculation of contact pressure in mechanical systems.**

In the article, a calculation technique for contact pressure in the axes of mechanical systems based on Comsol Multiphysics package is considered.

**Key words – mechanical system, contact pressure, calculation technique, Comsol Multiphysics.**