

# МОДЕЛИРОВАНИЕ КОЛЕБАНИЙ И НАПРЯЖЕНИЙ В ЭЛЕМЕНТАХ ПОДСИСТЕМЫ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ЧЕЛОВЕКОПОДОБНОГО РОБОТА

Голубов А.Н., Горобец И.А., Голубов Н.В. (ДонНТУ, г. Донецк)  
Тел.: +38 (062) 3010805; E-mail: [goloobov@mail.ru](mailto:goloobov@mail.ru)

**Abstract:** The problems of simulation system for moving the robot. Simulation of vibrations and stresses in the elements of movement of the robot. Simulation results moving.

**Key words:** robot, system, model, load, fluctuations, results.

Анализируя существующие виды движителей роботов, можно заметить, что наиболее стабильными являются системы, близкие по своим чертам к естественным. Кинематику их движения легче моделировать, так как она уже создана природой и испытана временем. Однако слепое копирование природных объектов без глубокого изучения их поведения, не позволяет создать работоспособные конструкции, которые можно было бы использовать в практике. Именно поэтому, робот, по своим чертам близкий к естественному объекту, должен рассматриваться как механизм, а уже потом как естественный объект. Это проектирование сходно с построением с физиологической модели управления движением в живых организмах. Сходство это основано на исследованиях российских ученых, проводимых в Институте проблем передачи информации [1].

Целью экспериментальных исследований является получение достоверных данных о нагрузках на элементы подсистемы перемещения робота.

В ходе экспериментов, должны быть решены следующие задачи: сравнить жесткость разных конструкций узла, с целью выявления максимально жесткой; исследовать время колебаний элементов робота под нагрузкой.

Для проведения эксперимента будет использоваться модель (рис.1), построенная в программе SolidWorks. Вследствие того, что зазоры и перемещения в суставах мы не учитываем, а элементы крепления не играют существенной роли для текущего расчета, то модель робота, построенная в редакторе SolidWorks, будет иметь вид (рис. 1): где 1 – тазовая кость, 2 – элемент крепления позвоночника, 3 – тазовый сустав, 4 – нога робота (условно) (рис. 3.1).

Для изучения поведения модели под нагрузкой использована программа COMSOL Multiphysics 4.2. COMSOL Multiphysics. Разработанная модель робота была импортирована при помощи надстроек COMSOL для SolidWorks (рис. 2).

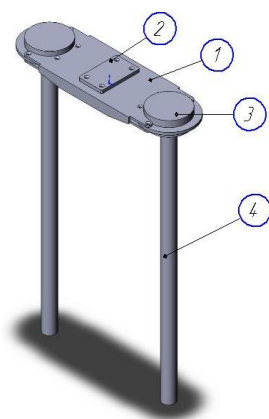


Рис.1. Модель части робота

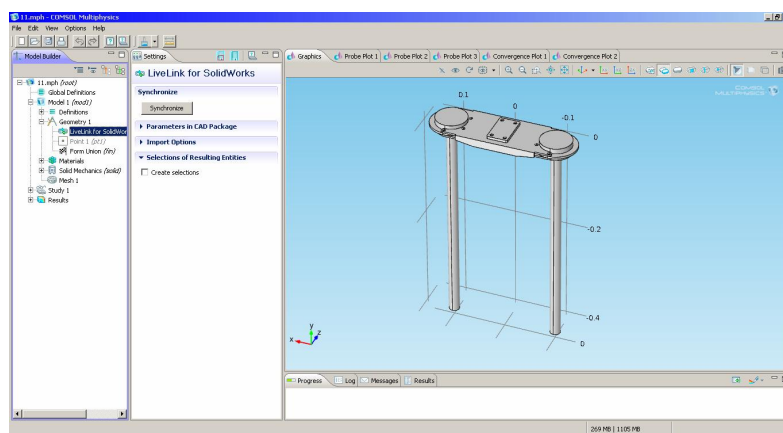


Рис.2. Импортированная модель

После импорта модели задаются свойства составных элементов. В частности, для проводимого расчета требовалось задать такие свойства материалов как: плотность, коэффициент Пуассона и модуль Юнга (рис. 3). В ходе экспериментов будет прикладываться сила направленная по оси x для исследования реакции элемента таза на изгибную нагрузку(k) и по оси y для исследования реакции элемента таза на кручение (n) (рис. 4). Исследовались исходная конструкция элементов системы перемещения из углепластика и цельнометаллическая конструкция из стали AISI 304

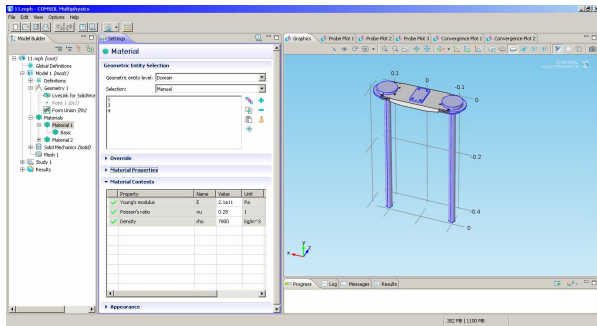


Рис.3. Свойства материала и элементы модели состоящие из этого материала

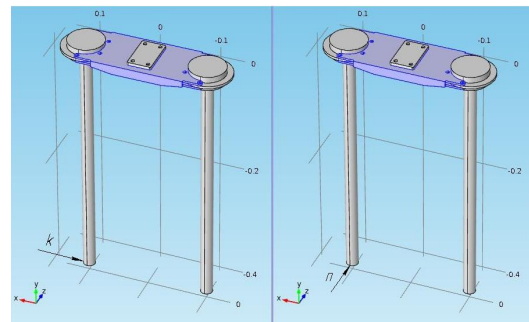


Рис.4. Условное изображение сил и направления их действия

В ходе первой части эксперимента сила k имеет величину 50Н и действует на объект в течение 1 с. Сила n имеет значение 0. С помощью программы COMSOL наблюдаем за максимальным смещением точки на конце ноги обозначающую собой возможную ошибку позиционирования(1) а также величинами смещения в местах крепления тазового сустава(2) (рис. 5 и 6).

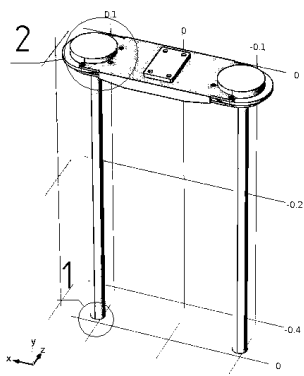


Рис.5. Экспериментальная модель из углепластика

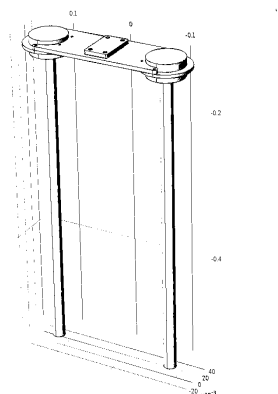


Рис.6. Экспериментальная модель из стали

Результаты моделирования исследуемых узлов после воздействия на них нагрузки показано на рис. 7 и 8.

На рис. 7 мы приведен график относительного смещения точки исходной модели из углепластика под нагрузкой.

На рис. 8 мы приведен график относительного смещения точки модели из стали под нагрузкой. По сравнению с первоначальными характеристиками амплитуда колебаний понизилась в 10 раз. Это указывает на минимальную ошибку при перемещении. Колебания угасают до приемлемого уровня за 1,2 секунды, что является существенным показателем.

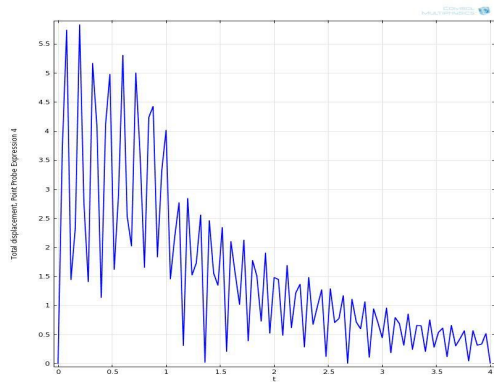


Рис.7. График относительного смещения под нагрузкой точки модели из углепластика под действием силы  $k$

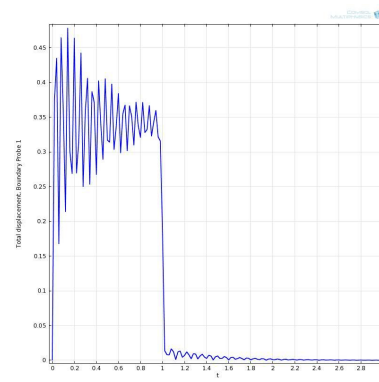


Рис.8. График относительного смещения под нагрузкой точки модели из стали под действием силы  $k$

Результаты моделирования деформаций, под действием силы  $u$ , для узла из углепластика показаны на рис.9, а узла из стали – на рис.10. Для обеих моделей видно, что деформируется деталь, имитирующая тазовую кость. Максимальное смещение крайней точки узла из углепластика составляет примерно 5,5 мм. Для модели из стали можно увидеть что, если в ходе предыдущих экспериментов напряжения не превышали 80кПа, то в данном эксперименте в некоторых местах величины напряжения составляют более чем 200 кПа. Предел текучести стали AISI 304 составляет 205 МПа, что позволяет считать данные напряжения существенными для данного эксперимента и несущественными для материала. Поэтому данная конструкция успешно выдерживает все нагрузки с минимальными деформациями.

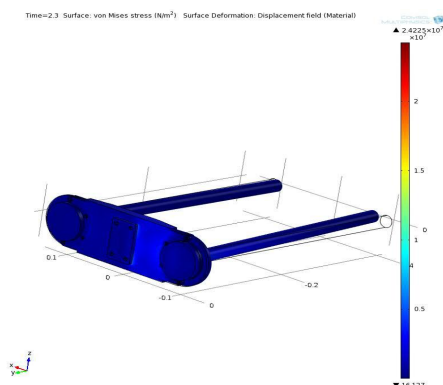


Рис.9. Деформации в модели из углепластика под действием силы  $k$

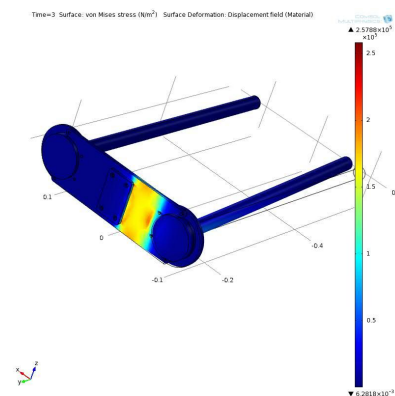


Рис.10. Деформации в модели из стали под действием силы  $k$

Во второй части эксперимента на модель воздействуем силой  $p$  (рис. 4), имеющей величину 50Н, сила  $k$  имеет значение 0. Сила действует на объект в течение 1 с. Области наблюдения те же, что и в первом эксперименте.

Графики относительного смещения точки моделей под нагрузкой показаны на рис. 11 и 12.

Максимальное смещение крайней точки модели из углепластика составляет примерно 1,9 мм. Как видно из графика относительного смещения под нагрузкой точки модели из стали по сравнению с исходной конструкцией максимальное смещение также понизилось почти в 10 раз.

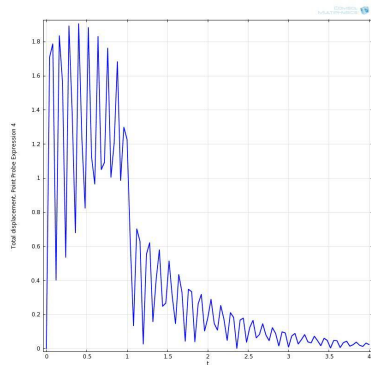


Рис.11. График относительного смещения под нагрузкой точки модели из углепластика под действием силы p

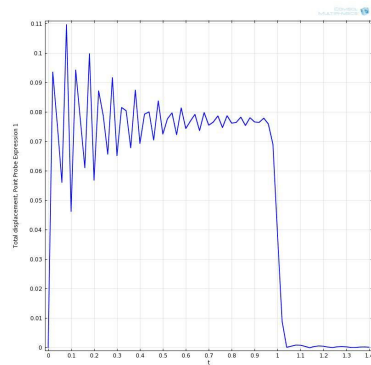


Рис.12. График относительного смещения под нагрузкой точки модели из стали под действием силы p

Результаты моделирования деформаций, под действием силу p, для узла из углепластика показаны на рис.13, а узла из стали – на рис.14.

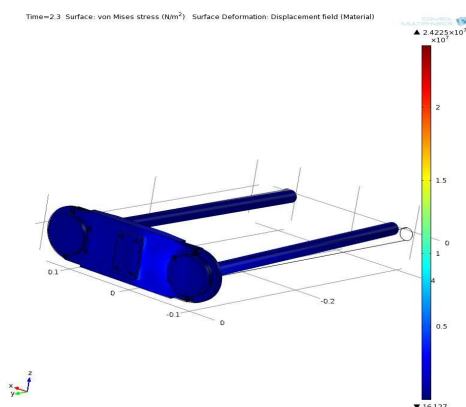


Рис.13. Деформации в модели из углепластика под действием силы p

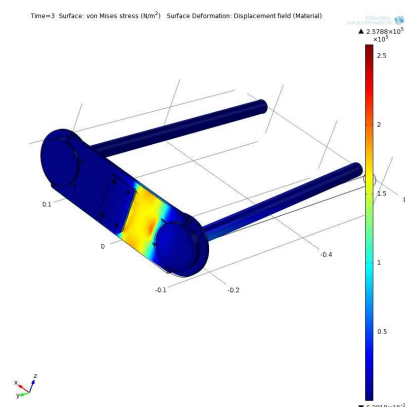


Рис.14. Деформации в модели из стали под действием силы p

Как можно увидеть из рис. 13, смещение возникает вследствие упругого изгиба кости в пространстве между креплением ноги и креплением позвоночника. Для модели из стали, как и в предыдущем случае деформируется часть, к которой приложена сила. Напряжения незначительны, и составляют не более 100кПа, при пределе текучести данного материала 205МПа.

Моделирования показали, что среди предложенных вариантов, наиболее жесткой является конструкция, сделанная из металла. Она показывает более чем десятикратное увеличение жесткости (5,5 мм максимальная амплитуда колебаний в начальном варианте против 0,45 мм в новом варианте) и многократное увеличение демпфирующих свойств. В изначальном варианте колебания гасли до приемлемого уровня примерно за 3с, в новом варианте колебания гаснут максимум за секунду.

В ходе экспериментов были выявлены конструктивные элементы, которые рационально использовать в конструкции робота: пластина толщиной 5 мм из конструкционной нержавеющей стали. Её жесткость примерно на порядок превосходит существующую по жесткости и в 10 раз по демпфированию колебаний.

**Список литературы: 1. <http://iitp.ru/ru/science/16.htm>**