

УДК 621.865.8

*М. Ю. Карелина*, кандидат технических наук, доктор педагогических наук, профессор кафедры «Детали машин и теория механизмов»

*П. О. Потапов*, магистрант

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет

*Э. Г. Крылов*, кандидат технических наук, доцент кафедры «Теоретическая механика и ТММ»

*Л. Н. Пирожкова*, доцент кафедры «Английский язык»

ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

## МОДЕЛИРОВАНИЕ АНТРОПОМОРФНОГО ЗАХВАТНОГО УСТРОЙСТВА FEDERICA HAND

*В статье рассматриваются аспекты моделирования антропоморфного захватного устройства Federica hand. Задачей исследования является получение модели, позволяющей вносить конструктивные изменения для обеспечения требуемой степени приспособления к захватываемому объекту, а также для отображения движения и его характеристик в программе Matlab Simulink.*

**Ключевые слова:** антропоморфное захватное устройство, Federica hand, моделирование, палец, фаланга, трос.

Одним из видов захватных устройств является антропоморфный захват, снабженный одним приводом, усилие от которого распределяется между пальцами и фалангами с помощью троса. Такое устройство дает возможность достичь высокой степени адаптации захвата к захватываемому объекту. На рис. 1 показано устройство рассматриваемого типа, разработанное в лаборатории Университета Фридриха II (Неаполь, Италия) коллективом под руководством

профессора Ч. Росси и носящее название Federica Hand. Отдельные аспекты функционирования этого захватного устройства освещались в литературе [1–3]. В процессе исследований возникла необходимость разработки модели, позволяющей уточнить взаимодействие троса с фалангами устройства. В настоящей статье приводятся результаты соответствующего исследования, выполненного в лаборатории Университета Фридриха II.

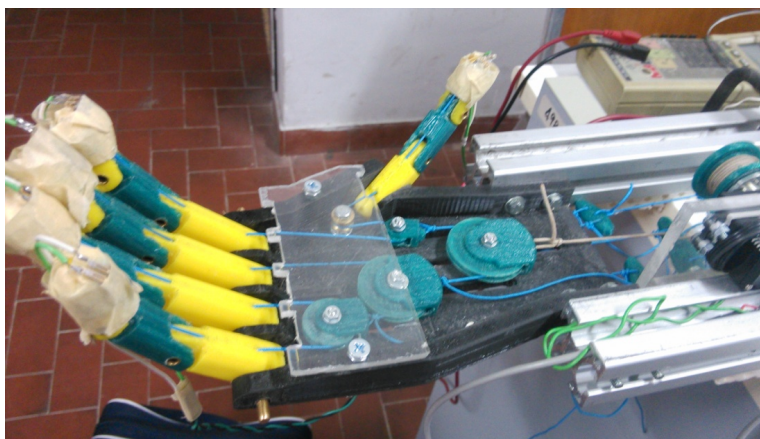


Рис. 1. Антропоморфное захватное устройство Federica Hand

Усилие, вырабатываемое приводом, распределяется между пятью пальцами с помощью системы блоков и тросов, проходящих внутри фаланг всех пальцев и закрепленных на дальних фалангах. Приспособление пальцев и руки в целом к форме и положению захватываемого объекта происходит путем перераспределения усилий на двух уровнях – между пальцами (перераспределение посредством системы блоков) и между фалангами, см. рис. 2. Если обозначить усилие, действующее со стороны привода как  $F_0$ , то к тросам большого, указательного и среднего пальцев прикладывается сила  $F_0/4$ , к тросам безымянного пальца и мизинца прикладывается  $F_0/8$ .

Расчетная модель пальца с учетом действия троса показана на рис. 3. При построении этой модели были сделаны следующие допущения: трение не учитывалось, действие троса на фаланги было заменено силами.

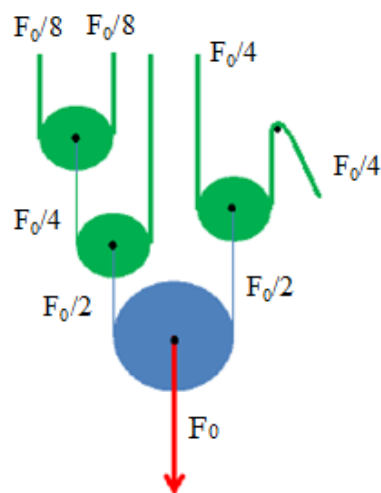


Рис. 2. Распределение усилий привода между пальцами

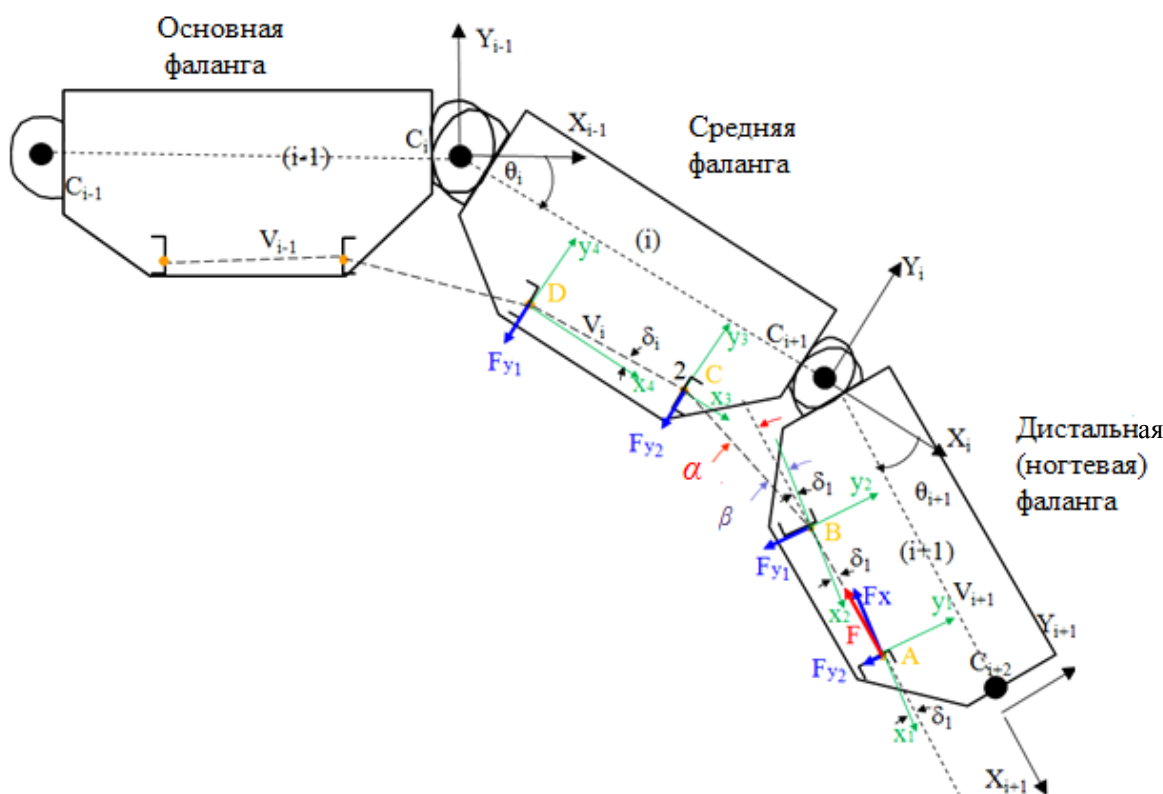


Рис. 3. Расчетная модель пальца

Сила, действующая на дистальную фалангу от троса в точке \$A\$ (точка закрепления), имеет компоненты \$F\_x\$ и \$F\_{y2}\$, которые зависят от силы \$F\$ и постоянного угла наклона троса \$\delta\_1\$ по отношению к телу фаланги. Здесь силой \$F\$ обозначено усилие от привода после распределения в системе блоков, например для мизинца \$F = F\_0/8\$.

Угол \$\delta\_i\$ – небольшой по величине угол, который получается в результате проекции линии троса на оси координат, связанные с местами контакта троса с фалангами, см. рис. 3. В частности, оси координат в точках \$A\$ и \$B\$ параллельны линии фаланги \$C\_{i+1}C\_{i+2}\$, но могут находиться на разном расстоянии от нее. Изменение расстояние от точек \$A\$ и \$B\$ до линии фаланги \$C\_{i+1}C\_{i+2}\$ приводит к изменению проекции сил, действующих со стороны троса на фалангу.

Поскольку трение в модели не учитывается, в точке \$B\$ на фалангу действует сила \$F\_{y1}\$ – одна из двух проекций силы \$F\$, зависящая от силы \$F\_0\$ и от направления действия троса в этой точке, определяемого углом \$\alpha\$, см. рис. 3.

Ниже приводятся формулы, позволяющие определить силы, действующие на дистальную фалангу:

$$\begin{aligned} \alpha &= \beta - \delta_1; \\ F_{y1} &= F \sin(-\alpha); \\ F_{y2} &= F \sin(-\delta_1); \\ F_x &= F \cos(-\delta_1). \end{aligned}$$

На проекции \$F\_y\$ влияет угол \$\beta\$ поворота троса относительно системы координат \$x\_2y\_2\$ в точке приложения этой силы. Обратим внимание, что угол направления троса в осях \$x\_2y\_2\$ (в точке \$B\$ по направлению к точке \$C\$) не равен углу направления троса в осях \$x\_3y\_3\$ (в точке \$C\$ по направлению к точке \$B\$). Углы могут быть равны в частном случае – при симметричном расположении точек \$B\$ и \$C\$ относительно шарнира \$C\_{i+1}\$. Оба угла не зависят от \$\delta\_1\$ и \$\delta\_2\$ и рассчитываются отдельно.

Варьируя расположение точек \$B\$ и \$C\$, можно изменять углы изменения направления троса в этих точках и, соответственно, проекции \$F\_y\$, действующих на фаланги. Это позволит изменять кинематику, в том числе очередность, закрытия фаланг пальца.

Для исследования движения руки была построена модель в среде Матлаб Симулинк. Модель руки привязана к *world frame* (рис. 4) – абсолютной трехмерной системе координат. Субблок *little finger* содержит информацию о геометрических параметрах и типе кинематических пар фаланг мизинца, силовом воздействии на фаланги и привязан к абсолютной системе координат *world frame* без смещения. Субблоки *ring finger*, *middle finger* и *index finger* смещены относительно *world frame* вдоль одной оси и расположены на одинаковом расстоянии друг от друга. Субблок *thumb finger* (большой палец) повернут и смещен относительно остальных пальцев и *world frame* посредством модуля *rigid transform*.

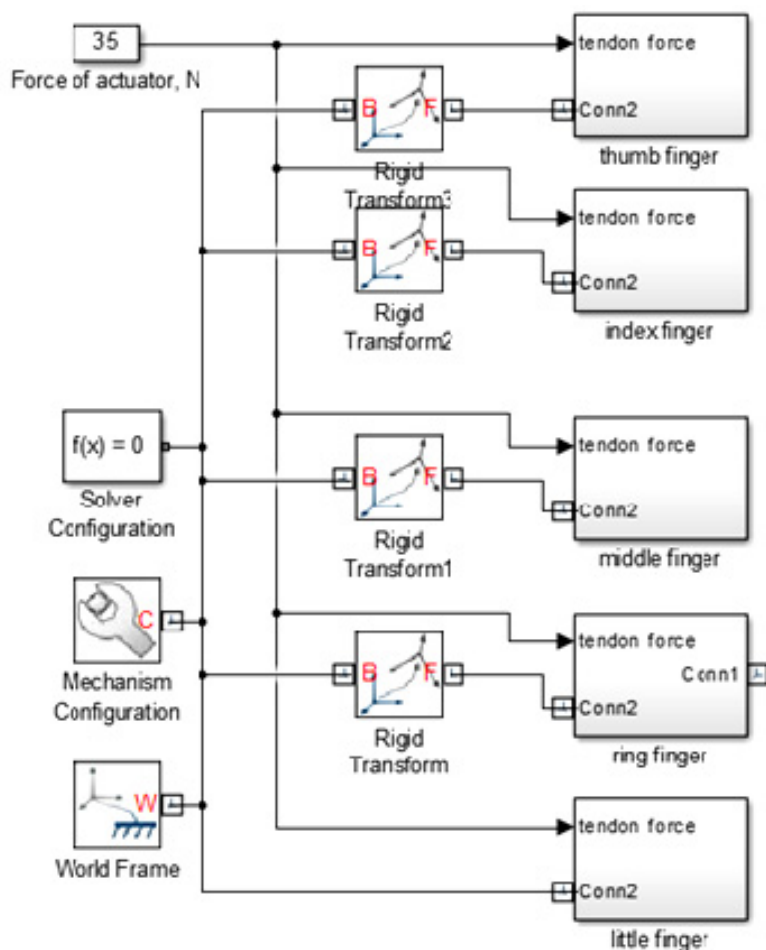


Рис. 4. Модель руки, выполненная в среде Matlab Simulink

На рис. 5 изображено диалоговое окно параметров фаланги и модель мизинца (субблок *little finger*), на который действует  $1/8$  сила привода (*tendon force*,  $F/8$ ). Реализован механизм быстрого изменения параметров фаланги: длины ( $L$ ), ширины ( $W$ ), толщины ( $3 \cdot T$ ), плотности, цвета и диаметра оси шарнира ( $2 \cdot R$ ) в диалоговом окне параметров фаланги.

Особенности моделирования силового воздействия троса на фаланги показаны на примере дистальной фаланги (рис. 6). Субблок фаланги и рабочая схема внутри этого субблока связаны посредством портов *Conn1* и *Conn2*, с помощью которых моделируется контакт субблока с другими элементами модели. Для ввода и вывода любых данных из рабочей схемы субблока (например, силы, координаты и т. п.) создаются другие порты, например *for transform sensor (frame) 1*, *main angle of direction changing1*, *tendon force*.

Между портами *Conn1* и *Conn2* находится «каркас» из относительных координат *Rigid Transform*, на котором расположено тело фаланги, созданное с помощью нескольких инструментов-блоков для задания тел *Solid (Peg, Hole A, Hole A1, Main Side 1, Main Side 2, Main in the center, Hole B1, Hole B2, Hole B)*.

В точках *for force 1* и *for force 2*, которые задаются одноименными инструментами-блоками *Rigid*

*Transform*, трос воздействует на фалангу. Сила действия троса на фалангу является проекцией от силы натяжения троса и зависит от угла поворота фаланги, поэтому необходимо создать расчет силовых воздействий на каждую фалангу для моделирования движения пальца под воздействием силы привода. Формулы и логика расчета заключены в нижней части рис. 6, где используются входные данные о силе натяжения троса, угле изменения движения троса.

Угол  $\delta_i$  рассчитывается инструментом-блоком *Transform Sensor* из разницы координат точек *for force 1* и *for force 2* и учитывается при расчете проекции сил, действующих на фалангу от троса.

При моделировании средней фаланги следует учитывать ограничения, накладываемые на ее движение другими фалангами, в частности, для остановки вращательного движения в каждом шарнире при достижении нужного угла поворота фаланги. Для этого был использован инструмент *hard stop*, созданный из нескольких программных блоков, для ограничения движения фаланги относительно предыдущей. В компьютерной модели *Federica Hand* это осуществлено путем приложения момента *hard stop* к блоку *Revolute Joint*, необходимого для остановки вращательного движения фаланги.

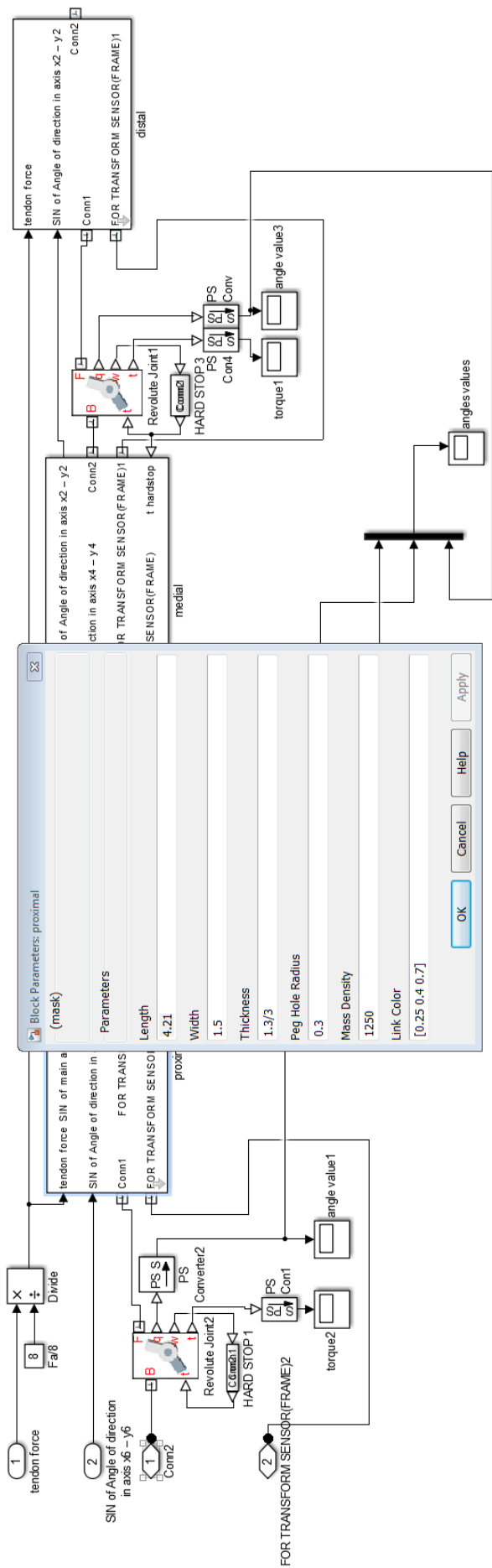


Рис. 5. Модель мизинца

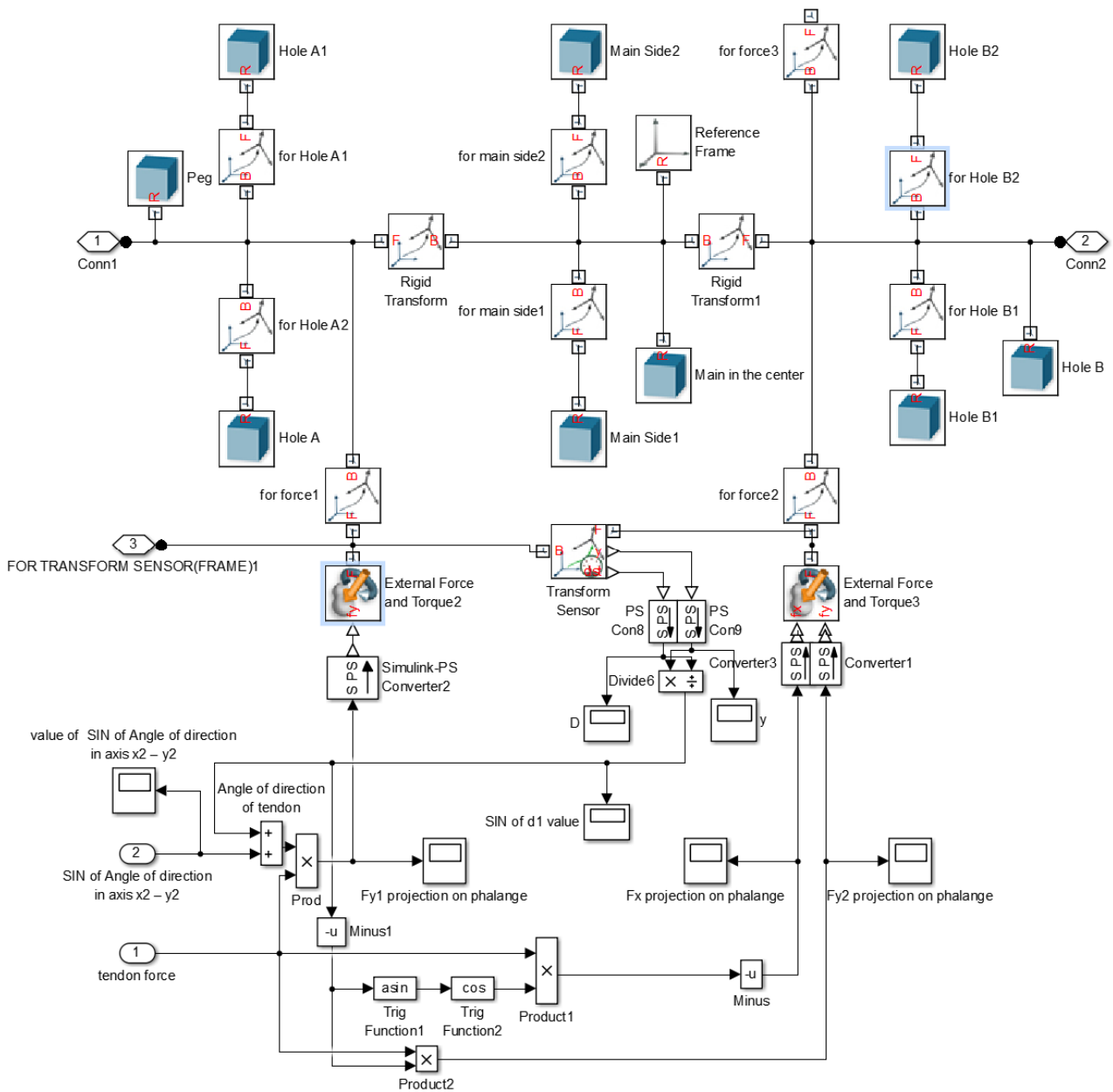


Рис. 6. Модель дистальной фаланги

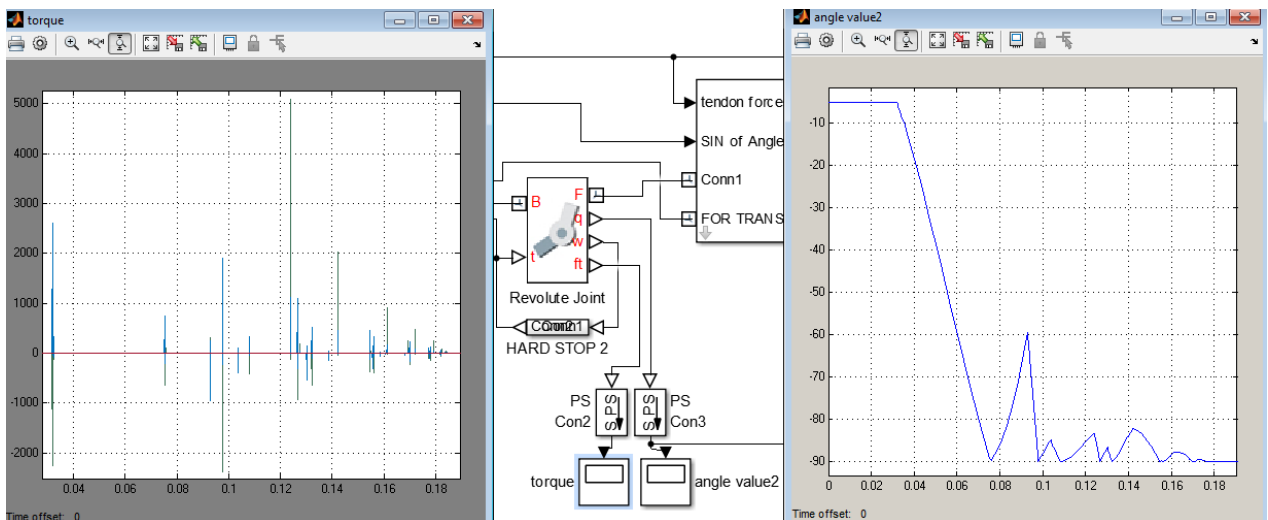


Рис. 7. Выходные данные блока Revolute Joint: моменты и углы поворота фаланги

Построенные расчетная и аппаратная модели пальца руки *Federica hand* позволяют обеспечивать требуемые характеристики движения захвата, а значит, степень его приспособленности к форме объекта с помощью изменения конструктивных параметров системы фаланги – трос. Степень достижения желаемого движения захвата может отображаться в диалоговых окнах (см. рис. 7), отображающих момент и угол в режиме реального времени.

В заключение авторы выражают признательность профессору Чезаре Росси и сотруднику лаборатории Серджио Савино за плодотворное сотрудничество.

#### Библиографические ссылки

1. Rossi C., Savino S. An Underactuated Multi-finger Grasping Device // International Journal of Advanced Robotic Systems. ISSN 1729-8806, Published: February 17, 2014.
2. Rossi C., Savino S. Mechanical model of a single tendon finger // 11-th International Conference of Numerical Analysis and Applied Mathematics 2013, AIP Conf/ Proc. 1558, 1286-1292 (2013); doi: 10.1063/1.4825746.
3. Niola V., Rossi C., Savino S., Potapov P. Dynamic Behaviour of an Underactuated Finger // The 24th International Conference on Robotics in Alpe-Adria-Danube Region, RAAD 2015, May 27–29.

\* \* \*

*Karelina M. Yu.*, DSc in Education, Professor, Moscow State Automobile and Road Technical University;

*Potapov P. O.*, Master's degree student, Moscow State Automobile and Road Technical University;

*Krylov E. G.*, PhD in Engineering, Associate Professor, Kalashnikov ISTU;

*Pirozhkova L. N.*, Associate Professor, Kalashnikov ISTU

#### Simulation of anthropomorphic grasping device *Federica Hand*

*The paper discusses the aspects of simulation of anthropomorphic grasping device Federica Hand. The research is aimed towards the model that enables introducing constructive improvements in order to achieve the desired grasping action. The Matlab Simulink model is also used for on-line recording the grasp motion and its characteristics.*

**Keywords:** anthropomorphic grasping device, *Federica Hand*, simulation, finger, phalanx, tendon.

Получено: 24.08.15