

МЕХАНИЗМ БИОНИЧЕСКИХ ПРОТЕЗОВ

Ковалева Я. А., Кольченко К. Т., Лесниковская А. А.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
Минск, Республика Беларусь

Позняк А. А. – канд. физ.-мат. наук, доцент

Представлен один из новейших биомеханических протезов, позволяющий сделать широкий шаг в науке и медицине. Отдельное внимание уделяется бионическим конечностям, разработанные в ходе исследовательского проекта *DeTOP*. Кратко представлены проблемы бионического протезирования, строение механизма, управление протезами.

С интенсивным развитием науки такое понятие, как «киборг» для современного человека уже не является чем-то из жанра фантастики. Благодаря развитию бионики и технологий, которые упрощают процесс изготовления и снижают стоимость материалов, появились бионические протезы. Хотя наука и шагнула вперед, для многих людей, у которых отсутствуют какие-либо конечности, вопрос об использовании таких протезов остается открытым. Это связано с несовершенством разрабатываемых бионических протезов, а точнее с трудностью пациента в освоении данного приспособления. Помимо этого, важную роль играют сами материалы, влияющие на стоимость протеза, а также принцип его работы.

При очевидном прогрессе в бионическом протезировании создание искусственных органов и конечностей сталкивается с рядом проблем:

- а) несовершенство конструкции;
- б) ограничения в передаче сигнала;
- в) высокая цена.

Несовершенство конструкции выражается недостаточно свободной и точной работой, обусловленной ограниченными возможностями электронной составляющей. Ограничения в передаче сигнала в существующих миоэлектрических и энцефалографических протезах объясняются опосредованностью и «зашумленностью» передаваемого сигнала и проявляются в виде задержки работы. Высокая цена складывается в результате сложности конструкции и производства большинства серийно выпускаемых моделей и является препятствием для их массового внедрения.

Рассмотренный нами протез является одним из наиболее современных. Он создан в рамках европейского исследовательского проекта *DeTOP* учеными из компании *Integrum AB* и Чалмерского технологического института под руководством доктора Макса Ортиса Каталана.

Этот протез, в отличие от своих аналогов, способен считывать сигналы с нервов и мышц через специальные электроды, которые имплантируются непосредственно в руку пациента, что позволяет пациенту довольно быстро освоить протез и в какой-то степени управлять им, подобно настоящей конечности.

Имплантат состоит из двух титановых стержней, которые интегрируются в лучевую и локтевую кости пациента. Управление данным протезом осуществляется с помощью миоэлектрических сигналов, регистрируемых с помощью шестнадцати электродов, подключенных к нервным окончаниям культи под кожей.

Строение механизма позволяет осуществлять свободное сгибание, разгибание большого пальца механической руки, его полусвободное отведение; сгибание, разгибание указательного пальца, а также одновременное синхронное сгибание трех пальцев. Данная конструкция позволяет выполнять наиболее распространенные действия в повседневной жизни, используя только три двигателя, при этом уменьшая размер и вес протеза. Помимо этого, встроенные в кончики пальцев датчики обеспечивают обратную сенсорную связь.

Для сенсорной связи использованы датчики натяжения троса на основе тензодатчиков, встроенные в кончики пальцев. Это позволяет измерить силу, приложенную к каждому из пальцев. При этом эта же информация относится и к силе захвата, прикладываемой рукой.

Микромеханическая структура была изготовлена в виде кантилевера, упруго напряженного тросом при сгибании пальца (рисунок 1). На консоль датчика были прикреплены два кремниевых тензометрических датчика: один — чувствительный резистор, а другой — фиктивный резистор, используемый для температурной компенсации.

Датчик силы представляет собой стальную балку, предназначенную для размещения на проксимальной фаланге

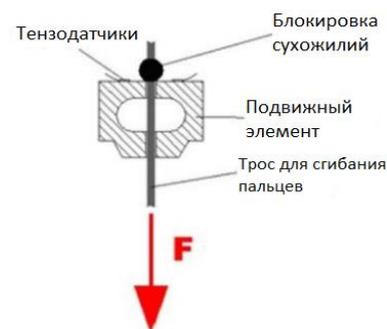


Рисунок 1 – Датчик натяжения троса

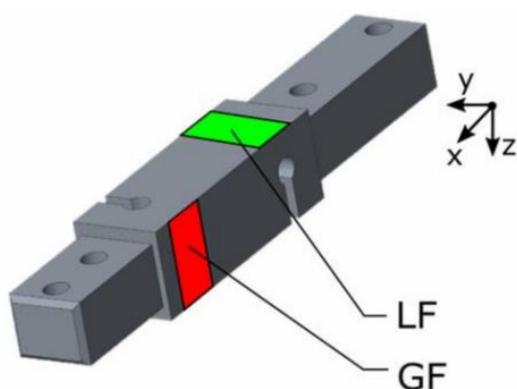


Рисунок 2 – Расположение тензометрических датчиков

указательного и среднего пальцев (рисунок 2). Механическая структура этой балки была разработана для получения двойного кантилевера, на котором применяются тензометрические датчики для обнаружения деформаций как сил захвата, так и сил нагрузки. Для механической структуры датчика используется нержавеющая сталь 17-4 PH, тонкопленочные тензодатчики предоставлены компанией *Strain Measurement Devices Ltd.*

Первоначально конструкция пальцев представляла четырехбалочный механизм, однако при такой конструкции не оставалось места для сенсорного датчика, поэтому конструкция была изменена. Теперь она состоит из одного сегмента, приводимого в действие только на уровне соединения MCP, которое эквивалентно пястно-фаланговому суставу (рисунок 3). Обратный механизм с четырьмя стержнями был заменен совместимым IP-соединением, который эквивалентен межфаланговому суставу, с диапазоном движения ± 5 градусов, изготовленным из нейлона PA2200.

Большинство внутренних компонентов были несколько раз перепроектированы для повышения надежности системы. Например, цельные алюминиевые рамы были спроектированы и изготовлены для размещения двигателей и червячной передачи. Чтобы улучшить характеристики протеза с точки зрения силы сцепления, разработчики добавили дополнительную ступень редуктора между двигателями и так называемым червяком.

Также разработчики разместили MCP-соединения в разных плоскостях, имитируя углубление человеческой ладони. Такое расположение улучшает как статический, так и динамический внешний вид протеза.

Протез DeTOP был разработан со встроенным кожухом, который защищает механизм от внешних загрязнений и обеспечивает структурную поддержку всей трансмиссии. Покрывтия были изготовлены из нейлона PA2200 с использованием методов лазерного спекания 3D-печати. Этот материал был выбран из-за его механических свойств (модуль упругости E 1700 МПа, предел прочности при растяжении S_u 48 МПа).

Интегрированный корпус состоит из двух основных крышек: ладонной и спинной. Спинной кожух фактически разделен на две части, чтобы упростить сборку электронных компонентов. Обе крышки имеют специально ориентированные места для подшипников, что позволяет быстро и легко собрать коробку передач, и соединить части друг с другом небольшим набором винтов. Общий вес механических компонентов руки составляет 350 г. Учитывая малый вес электронных компонентов, разработчики стремятся к тому, чтобы конечный протез, включая косметическую перчатку, имел вес менее 500 г, что меньше веса любого протеза, имеющегося сейчас на рынке.

Сегодня бионические протезы несовершенны и не могут заменить человеку настоящую конечность. Применяются современные технологии и более новые материалы, но вопрос о том, как грамотно соединить непосредственно нервную систему с механикой, остается открытым. Многие электронные составляющие даже в одном из наиболее современных на сегодняшний день протезов занимают много места и не могут обладать такой же высокой производительностью, как нервная система человека. Возможно в будущем, благодаря достаточному развитию наноматериалов и более глубокому изучению работы мозга и нервной системы, можно будет приблизиться к созданию быстрой и очень функциональной искусственной конечности.

Список использованных источников:

1. Shehata, A. Improving internal model strength and performance of prosthetic hands using augmented feedback / A. Shehata, M. Controzzi, C. Cipriani // *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation* [Electronic resource]. – 2018. – Vol. 15. – № 70. – 12 p. Mode of access: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6069837/pdf/12984_2018_Article_417.pdf. – Date of access: 20.03.2019.
2. Thesleff, A. Biomechanical Characterisation of Bone-anchored Implant Systems for Amputation Limb Prostheses: A Systematic Review / A. Thesleff, M. Ortiz-Catalan // *Annals of Biomedical Engineering*. – 2018. – Vol. 46, № 3. – P. 377–391.
3. Clemente, F. Touch and hearing mediate osseoperception / F. Clemente, C. Cipriani, K. Kulbacka-Ortiz, M. Ortiz-Catalan // *Scientific Reports* [Electronic resource]. – 2017. – Vol. 7, № 45363. – 11 p. Mode of access: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5368565/pdf/srep45363.pdf>. – Date of access: 20.03.2019.

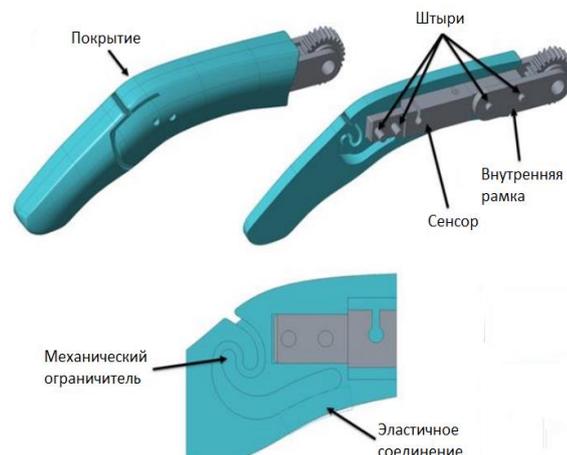


Рисунок 3 – Новая конструкция пальцев