

УДК 617.57-77

ПРОТЕЗ ПРЕДПЛЕЧЬЯ С ИСКУССТВЕННЫМИ МЫШЦАМИ

Грузд Н.А., Есьман Г.А., Габец В.Л.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Аннотация. Конструкции современных протезов и искусственных кистей существенно уступают биологическому прообразу в подвижности и функциональности, чем обусловлен интерес к разработке принципиально новых технических решений.

Ключевые слова: протез предплечья, искусственные мышцы.

FOREARM PROSTHETIC WITH ARTIFICIAL MUSCLES

Gruzd N.A., Esman G.A., Gabets V.L.

Belarusian National Technical University
Minsk, Republic of Belarus

Abstract. The designs of modern prostheses and artificial hands are important for the biological prototype of mobility and functionality, which has led to interest in the development of fundamentally new technical solutions.

Key words: forearm prosthesis, artificial muscles.

Адрес для переписки: Габец В.Л., пр. Независимости, 65, г. Минск, 220013, Республика Беларусь
e-mail: bntu@bntu.by

Двигательные функции, осуществляемые с помощью протезов верхних конечностей (далее – протезы), зачастую сводятся к воспроизведению основных движений при самообслуживании (еда ложкой, наливание жидкости в стакан и т. д.). В то же время диапазон движений, выполняемых здоровыми людьми в повседневной жизни, не ограничивается типичными бытовыми и рабочими действиями. Конструкции современных протезов и искусственных кистей существенно уступают биологическому прообразу в подвижности и функциональности, чем обусловлен интерес к разработке принципиально новых технических решений.

Специфические требования, связанные с уменьшением кинематической и динамической асимметрии движений сохранившейся и протезированной конечностей [1], в значительной степени ограничивают массогабаритные параметры разрабатываемого устройства, в связи с чем при конструировании протезов моделируются лишь важнейшие особенности кисти.

Другим ограничивающим фактором являются типовые детали и механизмы приборов, используемые в конструкциях протезов в качестве альтернативы двигательному аппарату.

Собственно, двигательный аппарат верхних конечностей состоит из пассивной части (кости и их соединения) и активной (мышцы и сухожилия).

Впервые попытки учесть анатомическую форму костей, связок и сухожилий были предприняты с созданием роботизированной руки *Anatomically Correct Testbed (ACT) Hand* [2]. С целью обеспечения рационального распределения усилий в конструкции *ACT Hand* воссоздана уникальная трансмиссия в виде системы переплетенных нейлоновых нитей, имитирующих принцип действия дорсального апоневроза пальцев кисти.

В последующих исследованиях процесс изготовления связок удалось оптимизировать путем замены нитей лоскутами силиконовой резины [3]. Аналогичным образом получены крестообразные и коллатеральные связки, образующие подобие суставной капсулы, и фиброзные влагалища пальцев. Кроме того, в отличие от *ACT Hand*, где межфаланговые сочленения реализованы посредством шарниров, в конструкции *Highly Biomimetic Anthropomorphic Robotic Hand* учтена сложная форма суставных поверхностей костей кисти. Технология 3D-сканирования позволила с высокой точностью копировать нефиксированные оси суставов и тем самым воспроизвести близкий к человеческим диапазон движений.

Вместе с тем функциональная конгруэнтность суставных поверхностей в теле человека обеспечивается наличием синовиальной жидкости, ее физико-механическими свойствами и свойствами хряща [4]. Биомеханика нормального функционирования сустава заключается в том, что при движении в суставном хряще происходит циркуляция интерстициальной жидкости. Отсутствие жидкой фазы между поверхностями сочленяющихся деталей искусственной конечности неизбежно влечет за собой нарушение ее локомоторной функции, т. е. свободного перемещения трущихся элементов, а также демпфирования динамических нагрузок, что в конечном итоге приводит к механическому разрушению.

В соответствии с законом динамизации (адаптивности) технических систем, жесткие системы для повышения их эффективности должны переходить к более гибкой, быстро меняющейся структуре [5]. Данный принцип успешно реализован в конструкциях мягких роботов и роботизированных конечностей, подвижность которых осуществляется за счет свойств гиперупругих материалов.

Положения мягкой робототехники как нельзя лучше применимы к протезам, поскольку повышение подвижности и минимизация риска получения травм при взаимодействии с ними на сегодняшний день остаются актуальными задачами протезостроения.

Существующие конструкции мягких роботизированных конечностей можно условно разделить на две группы: гибкие в суставах с тросовым механизмом и монолитные с пневмоприводом. Последние из-за наличия крупногабаритных систем автоматической подачи сжатого воздуха и сложности изготовления не могут быть использованы в практических целях.

Мягкий роботизированный протез X-Limb сочетает в себе монолитную структуру из полиуретана TPU90, полученную по принципу моделирования послойным наплавлением (FDM) на 3D-принтере, и тросовый привод, состоящий из пяти серводвигателей [6]. Движения пальцев совершаются за счет переменной жесткости конструкции, для чего в местах сгиба размещаются канавки со скругленными углами.

Положению кисти человека в покое при расслабленных мышцах и оптимальном натяжении сухожилий соответствуют анатомически нейтральные углы сгибания, составляющие порядка 30 градусов в пястно-фаланговых суставах и 15 в межфаланговых [7].

Учет рациональных амплитуд подвижности позволяет снизить нагрузку на привод и уменьшить механические напряжения на 30–35 процентов, тем самым продлевая срок службы протеза.

Сгибание осуществляется в области перешейка, образованного двумя V-образными канавками. Повысить устойчивость фаланг пальцев и устранить нежелательные их деформации можно с применением 3D-печати двумя материалами одновременно.

Учитывая вышеизложенный материал, конструкция пальца настоящего протеза может быть выполнена в соответствии с рисунком 1.

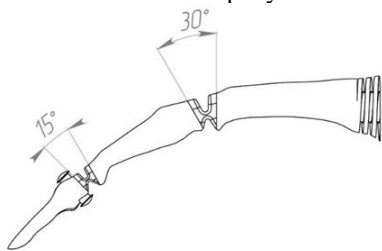


Рисунок 1 – Конструкция пальца

Все рассмотренные конструкции роботизированных конечностей так или иначе приводятся в действие посредством массива из сервоприводов. Такое решение в конечном итоге приводит к ограничению подвижности протеза из-за невозможности размещения необходимого числа двигателей,

либо же попросту не выходит за рамки лабораторных исследований.

В человеческом теле для получения механического движения используется иной подход – управляемое изменение формы. Преимущества такого привода проявляются в отсутствии трения и инерционности, характерных для электродвигателей.

Техническим аналогом мышечной ткани могут послужить конструкции мягких приводов на основе материалов с эффектом памяти формы (ЭПФ), способные воспроизводить заданную конфигурацию в результате нагрева или посредством пропускания тока, совершая за термодинамический цикл полезную работу.

Методика изготовления и испытаний мягкого привода из никелида титана подробно изложена в работе [8].

Таким образом, результат достигается за счет размещения системы исполнительных элементов – искусственных мышц на полужестком каркасе, изготовленном в соответствии со строением костного скелета человека.

Общий вид вновь разработанного протеза предплечья с искусственными мышцами представлен на рисунке 2.

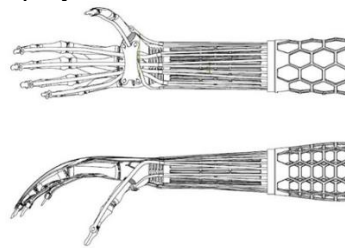


Рисунок 2 – Общий вид протеза предплечья с искусственными мышцами

Литература

1. Конструкции протезно-ортопедических изделий. Учеб. пособ. для техникумов / А.П. Кужекин [и др.]; Под ред. канд. техн. наук А.П. Кужекина. – М. : Легкая и пищевая промышленность, 1984. – 240 с.
2. Mechanisms of the anatomically correct testbed hand / A.D. Deshpande [et al.] // *Mechatronics, IEEE/ASME Transactions on.* – 2013. – Vol. 18, № 1. – P. 238–250.
3. Xu, Z. Design of a highly biomimetic anthropomorphic robotic hand towards artificial limb regeneration / Z. Xu, E. Todorov // *IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA).* – 2016. – P. 3485–3492.
4. Бегун, П.И. Биомеханика: учебн. для вузов / П.И. Бегун, Ю.А. Шукейло. – СПб. : Политехника, 2000. – 463 с.
5. Альтшуллер, Г.С. Найти идею. Введение в теорию решения изобретательских задач / Г.С. Альтшуллер. – Новосибирск : Наука, 1986. – 209 с.
6. A practical 3D-printed soft robotic prosthetic hand with a multi-articulating capabilities / A. Mohammadi [et al.] // *PloS ONE* – 2020. – Vol. 15 (5).

7. Anatomically neutral joint: patent US5824095 / W.G. Di Maio, M.S. Marcolongo, A.-P.C. Weiss. – Publ. 20.10.1998.

8. Грузд, Н.А. Разработка мягкого привода на основе никелида титана для биомехатронных устройств / Н.А. Грузд, Е.И. Едало, С.Г. Мониц //

Материаловедение, формообразующие технологии и оборудование М34 2023 (ICMSSTE 2023): материалы международной научно-практической конференции (16–19 мая 2023 г.) / отв. редактор В.В. Дядичев. – Симферополь : Издательский дом КФУ, 2023. – 384 с.

УДК 37.012

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АССОЦИАЦИЙ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ С ЛОГАРИФМАМИ

Гундина М.А., Кондратьева Н.А.

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь*

Аннотация. Рассмотрен пример практической реализации техники ассоциаций в современном образовательном процессе. Описаны преимущества использования метода ссылок – одного из методов создания ассоциаций в обучении математике.

Ключевые слова: техника ассоциаций, метод ссылок, образовательный процесс, мотивация обучающихся.

USING ASSOCIATIONS IN SOLVING PROBLEMS WITH LOGARITHMS

Hundzina M.A., Kondratieva N.A.

*Belarusian National Technical University
Minsk, Republic of Belarus*

Abstract. An example of the practical implementation of the association technique in the modern educational process is considered. The advantages of using the link method, one of the methods of creating associations in teaching mathematics, are described.

Keywords: the technique of associations, the method of references, the educational process, the motivation of students.

*Адрес для переписки: Гундина М.А., пр. Независимости, 65, г. Минск, 220013, Республика Беларусь
e-mail: hundzina@bntu.by, kondratieva@bntu.by*

Техника ассоциаций является полезным инструментом, который незаменим в образовательном процессе при изучении математики в техническом университете. Она позволяет запомнить обучающимся множество объектов, которые не связаны между собой. С помощью техники ассоциаций устанавливается связь новых знаний, которые обучающемуся необходимо усвоить, с уже полученными знаниями.

Данный подход широко применяется к разным возрастным группам обучающихся: от детей дошкольного возраста до студентов. Такой подход используется при изучении иностранных языков, освоении новых элементов в спортивной практике, получении новых умений и навыков в специальных учебных дисциплинах в университете.

В современном образовательном процессе метод обучения, основанный на использовании ассоциаций, используется при изучении различных дисциплин таких, как математика, физика, биология, информатика, теория коммуникаций, логика, политология, социология и многих других [1–2].

Известно, что под ассоциацией понимают взаимосвязи между отдельными определениями, явлениями, в результате которых упоминание

одного понятия вызывает воспоминание у обучающегося о другом, сочетающемся с ним понятием, что позволяет установить связь между ними для дальнейшего запоминания нового понятия [3].

Существует несколько техник ассоциаций, которые могут быть использованы в учебном процессе средней, старшей и высшей школы [4]. Приведем примеры использования этих техник для повышения мотивации обучающихся и увеличения уровня усвоения изученного материала.

Метод ссылок – один из методов ассоциаций, который позволяет создать связь между запоминаемым элементом и образом, представленным, например, на изображении.

Преимуществом этого метода является то, что система ссылок проста и легко запоминается. Этот метод состоит из трех этапов:

1. Разделение сложной идеи и поиск слова-заменителя для их представления. С помощью метода ссылок происходит поиск четкого изображения, связанного с идеей, которую оно представляет.

2. Создание ярких мысленных образов этих идей, используя воображение. Поскольку для использования метода ссылок нужно установить