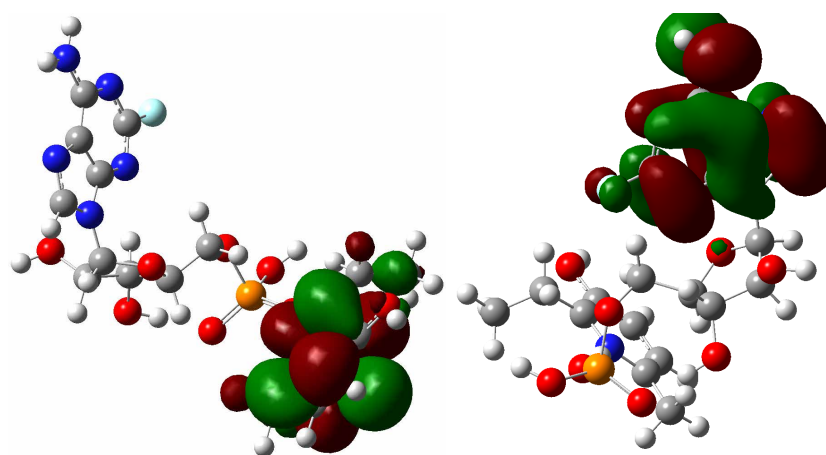


Рис. 2 – Спектр поглощения молекулы



*HOMO*

*LUMO*

Рис. 3 – Виды молекулярных орбиталей, участвующих в образовании спектра поглощения молекулы F-PE при  $\lambda = 272.33$  нм

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Srdana Grgurevic, Patricia Montilla-Perez, Alice Bradbury, et al. DNA polymerase  $\gamma$  gene expression influences fludarabine resistance in chronic lymphocytic leukemia independently of p53 status. *Haematologica* 2018;103(6):1038-1046; <https://doi.org/10.3324/haematol.2017.174243>.
2. Siyamak Shahab\*, Masoome Sheikhi, Mehrnoosh Khaleghian, Marina Murashko, Mahin Ahmadianarog and Mikhail Atroshko, “Investigation of Adsorption Effect of Carbon Monoxide on Coniine: A DFT Study”, *Letters in Organic Chemistry* (2020) 17: 1. <https://doi.org/10.2174/1570178617666210108114822>

## БИОПРОТЕЗИРОВАНИЕ, ПРОГРАММИРОВАНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БИОНИЧЕСКИХ ПРОТЕЗОВ BIOPROSTHETICS, PROGRAMMING AND USE OF BIONIC PROSTHESES

**Д. Д. Вышидкевич, Е. А. Васюкевич, Л. А. Липницкий**  
**D. D. Vyshidkevich, E. A. Vasykevich, L. A. Lipnickij**

Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ,  
г. Минск, Республика Беларусь

[yc9911111@gmail.com](mailto:yc9911111@gmail.com)

Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus

В современном мире проходит активное развитие технологий и роботизация бесчисленного числа производств, но несмотря на это, уровень травматизма по всему миру сохраняется на прежнем уровне. Ежегодно, по тем или иным причинам, более 50 миллионов человек приобретают инвалидность. Потеря конечностей

негативно влияет на уровень физической и социальной активности человека. Для изменения негативного влияния травмы, человечество всячески изменяет инфраструктуру городов, делая среду более благоприятной и адаптированной для лиц с ограниченными возможностями, а также прибегает к изготовлению искусственных конечностей – протезов и биопротезов.

In the modern world, there is an active development of technologies and robotization of countless industries, but despite this, the level of injuries around the world remains at the same level. Every year, for one reason or another, more than 50 million people acquire disabilities. Loss of limbs negatively affects a person's level of physical and social activity. To change the negative impact of trauma, humanity is changing the infrastructure of cities in every possible way, making the environment more favorable and adapted for people with disabilities, as well as resorting to the manufacture of artificial limbs – prostheses and bioprostheses.

*Ключевые слова:* протезирование, протез, бионика, искусственная конечность, травмы, информационные системы.

*Keywords:* prosthetics, prosthesis, bionics, artificial limb, trauma, information systems.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2021-2-401-404>

С развитием человечества прогрессировали и технологии развития протезов. С каждым годом они становились всё совершеннее и технологически более сложными. От деревянной имитации облика конечности до сложного механического произведения искусства. Но даже к настоящему времени не существует ни одного стопроцентного проекта по созданию бионической руки. Различные протезы рук помогают их владельцу удерживать некоторые предметы, справляться с рутинными делами, единичные экземпляры даже могут имитировать некоторые тактильные ощущения благодаря датчикам нервных сигналов и подобием кожных рецепторов.

Ранее протезы крепились к телу пациента механически, при этом не имея никакой связи с нервной системой своего носителя. Любое, даже самое минимальное движение в суставах-шарнирах требовало больших усилий. Поведение протеза необходимо было регулировать нефизиологическими движениями мышц, для обеспечения обратной связи и дальнейшего выполнения простых команд, список которых состоял из простых «топорных» действий. Практически вся мелкая моторика для таких устройств была недоступна.

На сегодняшний день протезы рук обладают более широким функционалом. Они представляют собой металлическую или пластмассовую кисть, покрытую латексной или поливинилхлоридной оболочкой, а крепятся при помощи пластмассовой неспадающей приёмной гильзы или других видов крепления («Манжетка», «Уздечка», ремешковое, гильза плеча с облегченными или обычными шинами и локтевыми шарнирами). Различные варианты захвата и сжатия предметов, расширенный набор движений для выполнения повседневных действий. Всего этого удалось достичь благодаря переходу к нейрофизиологическому принципу работы биопротезов.

Это помогло значительно упростить работу с устройством, частично вернуть пациенту ощущение обладания полноценной конечностью, дать возможность пациентам заниматься спортом, а также упростить выполнение простых бытовых действий: работа с компьютером, глажка белья, использование столовых приборов, открытие пластиковых бутылок и так далее. Однако протезы рук, доступные в настоящее время, ещё очень далеки от функциональности человеческой руки. Улучшения функциональности возможно достичь, если внедрить в протез мелкую моторику с сотнями различных вариаций движений. С механической точки зрения это даже возможно, но пока появляется временно непреодолимый барьер с системой управления.

Управление протезом такого типа происходит посредством регистрации биопотенциалов нервных волокон, которые находятся в уцелевших группах мышц конечностей, или напрямую, считывая изменения электрических сигналов от головного мозга. При желании пошевелить конечностью возникает конкретный нервный импульс, который приводит к изменению электрического биопотенциала мышцы и улавливается специальными датчиками прибора. Данная система работает при помощи ЭМГ-датчиков, после чего информация с них передаётся на микропроцессор кисти, где после преобразования через компьютерные алгоритмы кисть получает двигательные команды. Такая система ограничивается каналами считывания сигнала. На среднестатистических протезах верхних конечностей обычно используют два канала приема (по датчику на двух мышцах). Пользователь с такой системой может выполнять два действия в зависимости от активной в данный момент мышцы. Добавление функциональности в данную схему осуществляется путем переключения режимов (смена режима осуществляется при сокращении двух активных мышц одновременно). Далее система изменяет свою конфигурацию и выполняет другой набор из двух действий. При данной схеме вполне реально обучить пользователя использовать кисть без потерь времени на обдумывание предстоящего действия. Однако сделать аналогичную вещь для схемы, где речь шла бы о сотне и тысяче действий, невозможно. Даже увеличение числа электродов, с последующим увеличением числа каналов до 4, 6, 8, 10, не даст нужного нам результата. У человека попросту будут уходить минуты на попытки задействовать определенные группы мышц для реализации необходимого в данный момент движения протеза.

В протезировании также нашли своё применение протезы, в которых вместо электрической энергии для приведения в действие механизмов используют энергию сжатого газа. В качестве источника питания в данном случае выступает расположенный в гильзе протеза пневмоаккумулятор сжатого углекислого газа.

Материалы протезов в наши дни должны обладать целым рядом уникальных свойств. Независимо от конечного назначения материала, он должен быть безвреден для организма. Если речь идёт о материале для приемных

гильз протеза, то ему необходимо обладать устойчивостью к колебаниям температуры и деформации в процессе эксплуатации. Необходимо, чтобы такой материал допускал термическую и механическую формовку, был удобен для подгонки протеза и легко подвергался последующей гигиенической обработке. Также есть целый ряд других специфических свойств, которыми должен обладать материал для протезов других видов и иного назначения, такие как клапаны сердца, зубные протезы и протезы для проведения операций по шунтированию.

В данный период для создания протезов широко применяются полимеры, облегченные сплавы (магниевый сплав, дюралюминий) и др. Гильзы обычно изготавливаются из полимерных материалов. Протезы нижних конечностей в зависимости от материала, из которого они изготовлены, могут быть деревянными, металлическими, шинно-кожаными, пластмассовыми и комбинированными. Деревянные протезы (как правило, используют липу) имеют достаточно малый вес, не так сильно деформируются при эксплуатации, но не обладают такой эластичностью, как шинно-кожаные. Металлические протезы в свою очередь прочны, гигиеничны и долговечны, но трудны в моделировании и в подгонке.

Новейшим достижением в области протезирования является появление такой отрасли как нейропротезирование. Медицина в сотрудничестве с цифровыми технологиями и биоинженерией движется к созданию протезов, которые будут превосходить по функционалу все ныне существующие. Речь идет о восстановлении осязательных чувств, которые были потеряны пациентом. Примером может послужить кохлеарный имплантат, который уже на сегодняшний день восстанавливает функции барабанной перепонки и стремечка, за счёт имитации частотного анализа в ушной улитке. Наружный микрофон улавливает и обрабатывает звуки, после чего обработанный сигнал поступает на имплантированный блок, который через микроэлектродный массив стимулирует волокна слухового нерва в улитке. Нейропротезирование – многообещающая область медицины и науки в целом, которая наверняка создаст себе прочную базу и станет неотъемлемой частью повседневного быта для людей, которые при каких-либо обстоятельствах лишились той или иной конечности. Однако при разработке нейропротезов стоит учитывать, что мозг нужно будет “заставить научиться” чувствовать и распознавать сигналы от новообретенной конечности.

После решения проблемы “общения” протезов с нервной системой человека поднимается вопрос о возможности сращивания биологических тканей с искусственным модулем (остеоинтеграция). Регулярно проводятся эксперименты по сращиванию титановых имплантатов с костями, мышцами, кожей. Достижение успехов в этой области позволит вовсе отказаться от использования гильз и механического крепления на протезах.

Ещё одним перспективным развитием отрасли в протезировании является разработка экзоскелетов. Уже сегодня эти устройства всячески применяются в различных областях жизни человека. Экзоскелет – некий механизм, одеваемый на человека и обеспечивающий движения с помощью системы моторов. Область применения экзоскелетов довольно широка. Они применяются в военной и рабочей сфере, для облегчения мышечной нагрузки при тяжелой физической работе, для защиты от травм наиболее уязвимых частей тела (плечевые суставы, позвоночник). Также экзоскелеты используются для реабилитации больных людей, которые утратили возможность передвигаться, “заставляя” неработающие мышцы совершать движения в их привычной амплитуде, для дальнейшего восстановления функционирования парализованных конечностей. Кроме того, люди, утратившие возможность передвигаться самостоятельно, могут с его помощью стоять и даже ходить. И хотя на данном этапе развития экзоскелеты являются довольно громоздкими и узконаправленными, эта отрасль на стыке робототехники, биоинженерии и медицины является так же очень перспективной.

Несомненно, что прогресс в развитии протезирования есть. Благодаря достижениям современной медицины воссозданы протезы органов слуха и зрения, а также конечностей с биоэлектрическим управлением. Сегодня конструирование протезов основано на использовании достижений биомеханики, физиологии, механики, электроники, электромеханики, химии, физики, технологии материалов, математики и прочих практических и научных дисциплин. Люди, потерявшие свои конечности, перестают чувствовать себя неполноценными, а спрос на протезы растет с каждым днем. Но несмотря на это существует и постоянная потребность в улучшении бионических протезов. Это связано в первую очередь с тем, что перед протезами ставится задача восстановления сенсорных способностей и полного спектра двигательных функций утраченной конечности. Так что же мешает протезам прочно войти в жизнь человека?

На данный момент все модели рук и ног не могут развивать достаточных усилий, работают недостаточно чувствительно, точно и свободно. Ученые в области бионики по всему миру пытаются решить эту проблему при помощи использования технологии искусственных мышц на основе углеродных нанотрубок. Данная технология по своей работе может превзойти «живые» аналоги, а её чувствительность к малейшим изменениям давления даёт возможность использовать нанотрубки в качестве переключателей в компьютерных чипах и микросхемах, встроенных в протез.

Следующая проблема, которая препятствует развитию протезирования – зашумленность передаваемого сигнала. Из-за данного явления наблюдается задержка в реакции протеза, что не даёт возможности использовать искусственные конечности там, где эта самая скорость реакции просто необходима. Однако и для этого недочёта уже придумали возможное решение. Предлагается имплантировать датчики внешнего устройства непосредственно в двигательные центры коры мозга, что почти наверняка сведёт задержку отклика к минимуму.

Из-за использования протеза могут развиваться болезни культуры. Особенно частым является хронический венозный застой. Его причинами служат неправильно собранный протез, повышенный режим вакуумного клапана, тесная приёмная область, длительное стояние на протезе, и его нерациональное крепление. Также это может

привести нарушению кровообращения и лимфооттока, возникновению в тканях культи мягкотканых валиков над краем протеза, трофических язв, бурсита и гиперкератоза. Профилактика нежелательных последствий заключается в правильной сборке протеза, хорошей подгонке приёмной полости и тщательным уходом за протезом и культёй.

Следующей проблемой по счёту, но не по значению, является доступность. Данный аспект мешает широкому распространению протезирования. Стоимость новой конечности может достигать 50-100 тысяч долларов, что несомненно ограничивает возможность массового внедрения и ставит под сомнение доступность данной технологии. В начале 2014 года все части протеза начали печатать на 3D-принтере, что значительно снизило их итоговую стоимость, но всё ещё не позволило сделать их доступными для всех нуждающихся.

Ещё одной из ключевых проблем современной носимой электроники является небольшая емкость встроенных в неё аккумуляторов. Учёным и производителям постоянно приходится идти на компромисс: либо использовать большой объем батареи, при этом сделать устройство массивнее, либо использовать компактный аккумулятор, что сделает устройство более компактным, но в тоже время участит необходимость подзарядки.

Решение было предложено инженерами из компании Matrix. Они предложили использовать в качестве источника энергии тело человека, где тепло при помощи термоэлектрической технологии и эффекта Зеебека преобразуется в электроэнергию. Эффект этот рассматривает возникновение электродвижущей силы в замкнутой цепи, состоящей из последовательно соединённых разнородных проводников, контакты между которыми находятся при различных температурах. В массовых масштабах данная технология еще не применяется, но созданный прототип является очень перспективным в области протезирования в будущем.

На данный момент времени я могу с уверенностью заявить, что человечество готово принять внедрение в медицину такой ступени технологического прогресса, как протезирование. Создание идеальных конечностей, внутренних органов, частей тела человека, которые по функционалу не будут ничем уступать своим прообразам, а возможно и в чем-то давать какие-либо привилегии её владельцу. Высокотехнологичное протезирование пока не нашло своего распространения из-за ряда факторов, которые усердно устраняются учёными в этой области.

Бионика стремится к тому, чтобы владелец протеза имел возможность ощутить объект, к которому он прикасается. Стереть ту самую грань «искусственности» и дать максимальное ощущение своей собственной конечности. Протезы будут становиться всё доступнее, легче, сильнее, автономнее, чувствительнее и более подходящими под человека, а социум в свою очередь будет относиться к биопротезированию как к чему-то обыденному, как к приобретению нового технического гаджета.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Пельтихина О.В. БИОПРОТЕЗИРОВАНИЕ. ИСТОРИЯ И СОВРЕМЕННОСТЬ/ Пельтихина О.В., Хорак К.И. // Современные проблемы науки и образования. – 2019. – № 4.

### **РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОГО РЕСУРСА «СИСТЕМА ОНЛАЙН-МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ КОМПОНЕНТОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ Г. ОРШИ И ОРШАНСКОГО РАЙОНА» DEVELOPMENT OF THE INFORMATION AND ANALYTICAL RESOURCE «ONLINE MONITORING SYSTEM FOR THE STATE OF ENVIRONMENTAL COMPONENTS OF ORSHA AND ORSHA DISTRICT»**

***В. В. Жураков, Б. А. Тонконогов***  
***V. V. Zhuravkov, B. A. Tonkonogov***

*Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ,  
г. Минск, Республика Беларусь*

*zhvl@mail.ru:*

*Belarusian State University, ISEI, Minsk, Republic of Belarus*

В статье представлены концептуальные подходы по созданию информационного ресурса «Система онлайн-мониторинга состояния компонентов окружающей среды г. Орши и Оршанского района». Работа выполнялась в рамках Государственной программы «Охрана окружающей среды и устойчивое использование природных ресурсов» на 2016 – 2020 годы, утвержденной постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 17.03.2016 №205.

The article presents conceptual approaches to the creation of an information resource «Online monitoring system for the state of environmental components of Orsha and Orsha district». The work was carried out within the framework of the State Program «Environmental Protection and Sustainable Use of Natural Resources» for 2016–2020, approved by the resolution of the Council of Ministers of the Republic of Belarus No. 205. of 17.03.2016.