

**Аннотация проекта (ПНИЭР), выполняемого в рамках ФЦП  
«Исследования и разработки по приоритетным направлениям  
развития научно-технологического комплекса России на 2014 –  
2020 годы»**

**Номер Соглашения о предоставлении субсидии/государственного  
контракта:** 14.578.21.0140

**Название проекта:** Разработка и создание мозг-машинного интерфейса на основе биометрических каналов управления и мультимодальной обратной связи для обеспечения человека нейроэлектронными системами и экзоскелетными конструкциями, восполняющими и дополняющими двигательные функции.

**Основное приоритетное направление:** Науки о жизни

**Исполнитель:** федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта"

**Руководитель проекта:** Шушарина Наталья Николаевна

**Должность:** заместитель директора химико-биологического института БФУ им. И. Канта

**E-mail:** nnshusharina@gmail.com

**Ключевые слова:** физиологические данные, головной мозг, сигналы биоэлектрической активности, электроэнцефалограмма, электромиограмма, электроокулограмма, паттерны, нейроинтерфейс, беспроводное телеметрическое устройство, двигательная активность, электромеханическое устройство, экзоскелет.

### **Цель проекта**

Важнейшей задачей современного общества является увеличение продолжительности и повышение качества жизни человека, поддержание его высокой работоспособности и интеллектуальной активности. Для решения этой задачи необходимо глубокое понимание механизмов функционирования организма человека, в первую очередь — нервной системы и головного мозга. Именно мозг является субстратом сознания целостного организма. В настоящее время большое внимание уделяется разработке базовых нейротехнологий, позволяющих идентифицировать специализированные нейронные сети, ответственные за регуляцию функций мозга: от экспрессии специфических генов до регуляции поведения. Полученные при этом знания открывают новые возможности изучения принципов и механизмов обработки и хранения информации в мозге и их математического моделирования. Одна из важнейших перспектив связана с созданием человек-машинных интерфейсов для прямого обмена информацией между мозгом и техническими устройствами. Эти разработки уже сегодня ведут к бурному развитию робототехники, в частности, к использованию подобных интерфейсов в реабилитационной медицине.

2012 год отмечен выдающимися достижениями в одной из наиболее интригующих областей исследования мозга – расшифровке мозговых нейронных кодов, отвечающих за организацию движения конечностей. Помимо фундаментальной значимости эти исследования представляют большой практический интерес: сегодня ученые вплотную приблизились к решению уникальной задачи – подключению к мозгу внешних электронно-механических исполнительных устройств.

Системы двустороннего обмена информацией (ввод / вывод), прямая связь компьютера с мозгом, является конечной целью для исследований и

клинического применения и будет ключом к будущим применениям. В последнее время появились существенные достижения в таких технологиях, но совершенные технологические решения взаимодействия нервной системы с компьютером еще не найдены.

Основные направления исследований в этих технологиях сфокусированы на клиническом применении нейрональных протезов для парализованных пациентов после инсульта, травм, нейродегенеративных заболеваний и т.д. Однако с совершенствованием технологий потенциалы применения подобных методов будут увеличиваться в геометрической прогрессии и многие технологии, разрабатываемые для медицинского применения, могут быть адаптированы для людей с заболеваниями или повреждениями двигательной системы.

Создаваемые сегодня роботизированные системы для человека предназначены, прежде всего, для решения повседневных задач, примером таких устройств могут быть носимые экзоскелеты, выполняющие двигательные функции человеческого тела, составные части которого соответствуют конечностям и выполняют из кинематические задачи. Данные технологические решения применяются повсеместно в различных отраслях и используются для усиления физических возможностей, исследования нейромоторного контроля, а так же в реабилитационных целях. Разработка таких устройств ведется с начала 1960-х годов в США в военных целях, пионерами в данной области являются Лаборатория Аэронавтики Корнельского университета и General Electric. Первым прототипом интерфейса экзоскелета и человека являлся оператор, дублировавший движения человека и управлявший машиной. Второе поколение интерфейсов для экзоскелетов, используемых в медицинских целях, изготавливалось в виде роботизированных устройств на кнопочном управлении, передающих команды пользователя на двигательные механизмы.

Последнее поколение интерфейсов экзоскелетов основано на снятии ЭЭГ-сигнала и впервые было продемонстрировано в 2001 году. Сегодня такие интерфейсы, в основном, используются в медицинских целях для людей с параличом нижних конечностей или слабостью при ходьбе. Так же они могут быть использованы при различных видах неврологических заболеваний, таких как инсульт, рассеянный склероз, боковой амиотрофический склероз и болезнь Паркинсона.

Цель реализуемого проекта:

Разработка и создание портативного беспроводного телеметрического устройства (нейроустройство), предназначенного для регистрации электрофизиологических (электроэнцефалограмма, электромиограмма, электроокулограмма) и биометрических параметров (двигательная активность, поверхностная температура, фотоплетизмограмма) с целью создания мозг-компьютерного интерфейса для передачи целевых команд механическому устройству в виде экзоскелета, предназначенного для замещения и восполнения утраченных двигательных функций, с целью увеличения продолжительности и качества жизни населения, и обеспечения экспортного потенциала и замещения импорта.

## **Основные планируемые результаты проекта**

Основные результаты:

1. Выполнен аналитический обзор современной научно-технической, нормативной, методической литературы, затрагивающей научно-техническую проблему, исследуемую в рамках НИР, в том числе обзор научных информационных источников: статьи в ведущих зарубежных и (или) российских научных журналах, монографии и (или) патенты) - не менее 15

научно-информационных источников за период 2010 – 2015 гг.

2. Выполнены выбор и обоснование направления исследований, в том числе:

3. Проведены патентные исследования по ГОСТ 15.011-96.

4. Проведена сравнительная оценка эффективности возможных направлений исследований.

5. Разработаны варианты возможных решений задачи, выбран и обоснован оптимальный вариант решения задачи.

6. Проведены патентные исследования.

7. Разработан макет устройства для распознавания электрофизиологических сигналов и передачи на экзоскелетные конструкции (нейроустройство), в том числе:

- разработано схемотехническое решение для макета;

- проведена разводка макетной платы;

- подобраны электроды для распознавания электрофизиологических сигналов;

- получены данные альфа-ритмов, миограммы и окулограммы;

- разработаны алгоритмы хранения и передачи данных для макета.

Планируемые результаты:

1. Проведение исследовательских испытаний макета.

2. Разработка перечня технической документации.

2. Маркетинговые исследования рынка мозг-компьютерных интерфейсов.

3. Требования к потребительским характеристикам мозг-компьютерных интерфейсов для экзоскелетов.

### **Краткая характеристика создаваемой/созданной научной (научно-технической, инновационной) продукции**

В рамках данного проекта будет разработан и создан мозг-машинный интерфейс на основе биометрических каналов управления и мультимодальной обратной связи для обеспечения человека нейроэлектронными системами и экзоскелетными конструкциями, восполняющими и дополняющими двигательные функции.

Идея заключается в том, что с помощью специальной системы (нейроинтерфейса), регистрирующей активность нервных клеток моторной коры головного мозга и дешифрующей намерение человека совершить то или иное движение, мозг напрямую соединяется с внешними исполнительными устройствами. Это позволит здоровому человеку расширить сферу своих манипуляций, а инвалиду – получить функциональное замещение отсутствующих конечностей. При этом регистрирующие электроды могут либо вживляться в мозг, либо закрепляться на голове, как это делается при снятии электроэнцефалограммы.

На сегодняшний день в России и странах СНГ доступен лишь один вид устройства для помощи людям с повреждением спинного мозга или другими тяжелыми нарушениями двигательной системы - инвалидная коляска. Хотя, они были внедрены много лет назад, но так же накладывают существенные ограничения на движение пациента. Экзоскелеты являются альтернативным

способом реабилитации пациентов, а мозг-компьютерный интерфейс является более удобным и прямым методом передачи команд механическому устройству. В России данные технологии только начинают развиваться, в то время как в США уже существует отдельный сегмент рынка по управляемым экзоскелетам. Однако, технологии расшифровки команд головного мозга, получаемых с нейроустройства, для управления внешними электронно-механическими исполнительными устройствами только начинают внедряться в общую концепцию реабилитации пациентов посредством экзоскелетов. Безусловно, мозг-компьютерный интерфейс является наиболее прямым способом передачи команд от человека к машине. На основании вышесказанного можно сделать вывод о высокой степени актуальности развития исследований в данном направлении. В предлагаемом проекте будет проведена разработка нейроустройства, состоящего из портативного беспроводного телеметрического устройства, предназначенного для регистрации электрофизиологических параметров, таких как: электроэнцефалограмма, электромиограмма, электроокулограмма и биометрических параметров, таких как: двигательная активность, поверхностная температура, фотоплетизмограмма, и специализированного программного обеспечения для обработки данных, получаемых с устройства, с целью создания мозг-компьютерного интерфейса по передаче электрофизиологических сигналов механическому устройству в виде экзоскелета. Ключевой новизной будет являться одновременное сопоставление сразу нескольких методик снятия электрофизиологических параметров, для этого будут проведены разработка и создание специализированного программного обеспечения для АПК, предназначенного для получения, преобразования электрофизиологических сигналов в аппаратные команды, передаваемые на экзоскелет. Данный подход позволит увеличить точность передаваемых команд головного мозга механическому устройству, что, безусловно, создаст конкурентные преимущества перед зарубежными разработками и откроет новые окна возможностей отечественному рынку устройств для реабилитации людей с болезнями двигательной системы.

### **Назначение и область применения, эффекты от внедрения результатов проекта**

На 2014 мировой рынок экзоскелетов конечностей составлял 16,5 млн. долларов. Согласно прогнозам (WinterGreen Research. Exoskeletons: Market Shares, Strategies, and Forecasts, Worldwide, 2015 to 2021) этот рынок испытает значительный рост и к 2021 году достигнет объёма в 2,1 млрд. долларов. Основным драйвером в данном случае является увеличение эффективности применения экзоскелетных конструкций для реабилитации и восстановления моторных навыков. В настоящее время по всему миру ведутся разработки устройств, решающих схожий круг задач, но готового решения, удовлетворяющего решению проблемы компенсации и восстановления утраченных моторных функций на текущий момент нет. На текущий момент, уровень удовлетворённости спроса на протезы в Российской Федерации

крайне низок, а существующие отечественные серийные образцы имеют ограниченный функционал.

Таким образом, покупателями разрабатываемой системы могут стать отечественные производители активных медицинских протезов и экзоскелетных конструкций.

На 2014 мировой рынок экзоскелетов конечностей составлял 16,5 млн. долларов. Согласно прогнозам (WinterGreen Research. Exoskeletons: Market Shares, Strategies, and Forecasts, Worldwide, 2015 to 2021) этот рынок испытает значительный рост и к 2021 году достигнет объёма в 2,1 млрд. долларов. Основным драйвером в данном случае является увеличение эффективности применения экзоскелетных конструкций для реабилитации и восстановления моторных навыков. В настоящее время по всему миру ведутся разработки устройств, решающих схожий круг задач, но готового решения, удовлетворяющего решению проблемы компенсации и восстановления утраченных моторных функций на текущий момент нет. На текущий момент, уровень удовлетворённости спроса на протезы в Российской Федерации крайне низок, а существующие отечественные серийные образцы имеют ограниченный функционал.

Таким образом, покупателями разрабатываемой системы могут стать отечественные производители активных медицинских протезов и экзоскелетных конструкций.

Областями применения результатов выполнения работ будут являться следующие: использование разрабатываемого нейроустройства для создания отечественных образцов экзоскелетов отдельных конечностей и протезов для людей с утраченными моторными функциями.

Внедрение в производство разрабатываемого устройства будет способствовать развитию отечественного производства экзоскелетов конечностей и протезов, а также предоставит возможность модернизации подобных устройств за счёт внедрения разрабатываемой прогрессивной схемы управления.

### **Текущие результаты проекта**

Разработан макет устройства для распознавания электрофизиологических сигналов и передачи на экзоскелетные конструкции (нейроустройство), в том числе:

- разработано схемо-техническое решение для макета;
- проведена разводка макетной платы;
- подобраны электроды для распознавания электрофизиологических сигналов;
  
- получены данные альфа-ритмов, миограммы и окулограммы;
- разработаны алгоритмы хранения и передачи данных для макета.