

Косихин Данил Евгеньевич,
Студент Приборостроение,
кафедра Информационных технологий,
Факультет Информационных технологий
АлтГТУ им. И.И. Ползунова, г. Барнаул

Осипов Иван Аркадьевич,
Студент Материаловедение и технологии материалов,
кафедра Современные специальные материалы,
Факультет специальных технологий
АлтГТУ им. И.И. Ползунова, г. Барнаул

АНАЛИЗ И РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОДА ДЛЯ ПОРТАТИВНОЙ НЕЙРОГАРНИТУРЫ

Аннотация: в рамках работы дано определение нейроинтерфейса, приведена их классификация по принципу взаимодействия с носителем. На основе приведенного тезиса произведен анализ существующих и перспективных решений конструкций электродов, применяемых в данных устройствах. На основе анализа определяется наиболее релевантное решение, которое в наибольшей степени удовлетворяет выдвинутым к портативной нейрогарнитуре требованиям.

Ключевые слова: электрод, нейроинтерфейс, нейрогарнитура, артефакт, ЭЭГ.

Нейроинтерфейс [1] – это устройство, предназначенное для передачи информации из головного мозга на внешнее устройство. Нейроинтерфейсы подразделяются на инвазивные и неинвазивные. Неинвазивные нейроинтерфейсы представляют собой нейрогарнитуры [2] – носимые на голове съемные устройства, состоящие из блока питания, блока обработки сигналов и специализированных датчиков, снимающих сигнал с поверхности кожи головы – электродов. Для распознавания состояний пользователя большая часть нейрогарнитур использует технологию электроэнцефалографии (ЭЭГ) [3]. С учетом того, что устройство съемное, возможно возникновение шумов (артефактов) [4], вызванных смещением электродов в процессе снятия сигнала. Также к шумам может привести малая поверхность контактной площадки электродов. Поэтому от качества и конструкции данных датчиков зависит качество получаемого сигнала. Требуется обеспечение оптимальных формы датчиков, материалов и технологий изготовления, исключающих возникновение вышеназванных артефактов.

Вспененные электроды.

Данная конструкция предполагает применение вспененных металлических пластинок. Вспенивание будет проходить путем диспергирования потока расплава металла в потоке газа с сопутствующим непрерывным сжатием получаемой смеси до значений атмосферного давления, при этом будет происходить образование пены не должно по времени превышать значения динамической релаксации формы частиц диспергированного расплава; далее статическое давление до затвердевания необходимо поддерживать равным атмосферному.

Таким образом, в качестве электрода подразумевается использовать элементы, состоящие из металлической пены регулируемого качества, получаемую путем быстрого сжатия дисперсной газометаллической смеси с воздействующим на нее давлением.

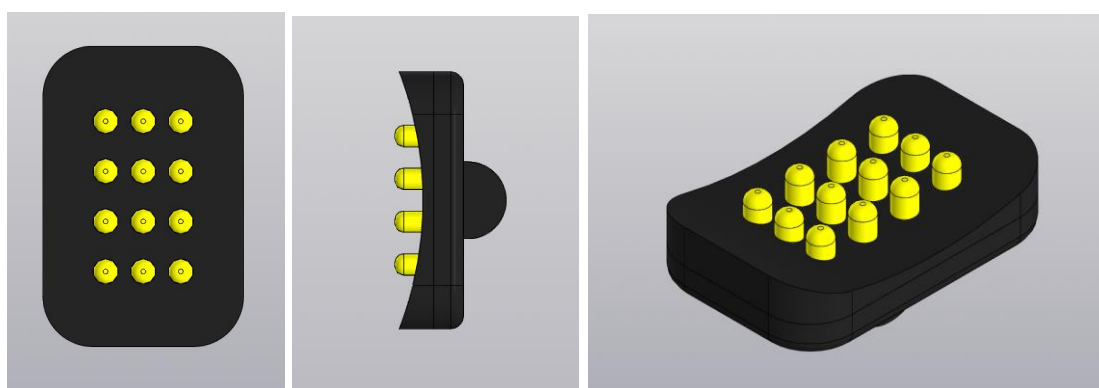
Подобного рода конструкция позволяет задать пластине электрода форму, обеспечивающую максимально надежный контакт с исследуемой зоной, а пористая структура металла частично способна решить проблемы с потоотделением на поверхности кожи.



В качестве главных недостатков можно назвать невозможность применения подобного электрода при наличии у пользователя длинных волос, быстрое засорение соприкасающихся с кожей пор, трудности с подключением электрода к остальной системе, а также выделяется ряд проблем, связанных с невозможностью обеспечить полноценную изоляцию открытых частей электрода, не соприкасающихся с кожей, что будет приводить к появлению сторонних шумов, перекрывающих снимаемый сигнал.

Сборный активный электрод.

Данное решение представляет электрод в качестве сборной конструкции, а не единой детали. Предлагается использование пластикового, экранированного изнутри металлом корпуса, где размещена твердая или гибкая плата, на которой размещаются подпружиненные контактных ножек, выполненных из проводящего электрический ток материала. Крепление к основному корпусу осуществляется посредством шарнира.



**Рисунок 1 – Конструкция сборного активного электрода
А) вид сверху Б) вид сбоку В) изометрический вид**

Такая конструкция позволяет реализовать концепцию активного электрода [5], который преобразует получаемый сигнал из аналогового в цифровой. В итоге возможно получить электрод, обеспечивающий контакт с кожей пользователя даже при наличии длинных волос, практически полную защиту снимаемого сигнала от сторонних внешних шумов.

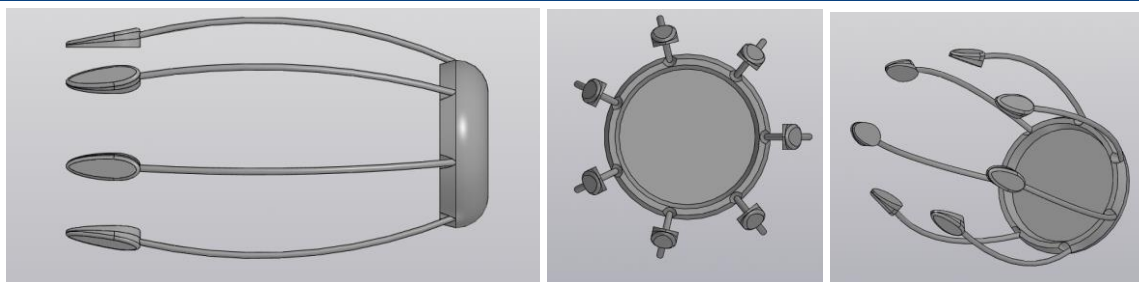
Главными же недостатками такой конструкции являются высокая стоимость, сложность сборки и производства компонентов, хрупкость подпружиненных ножек. Для максимальной эффективности данного типа датчиков следует обеспечить гибкость корпуса, что усложнит возможность размещения защитного экрана и увеличит вероятность повреждения контактных ножек. Все это делает применение подобной конструкции не оптимальной с точки зрения реализации.

Пучкообразный электрод с шарообразными контактными областями

Данный электрод представляет собой массив подпружиненных контактов, выполненных из сравнительно упругих марок металла, состоящих из вытянутых изогнутых штифтов, внутри которых расположены экранированные проводники, осуществляющие подключение считывающей головки, отводящей сигнал с поверхности кожи головы. В основании расположен управляющий блок обработки сигнала.

К достоинствам этого типа электродов можно отнести высокую проникающую способность, а также комфортное давление на поверхность кожи, что достигается за счет длинных и тонких металлических ножек электрода.





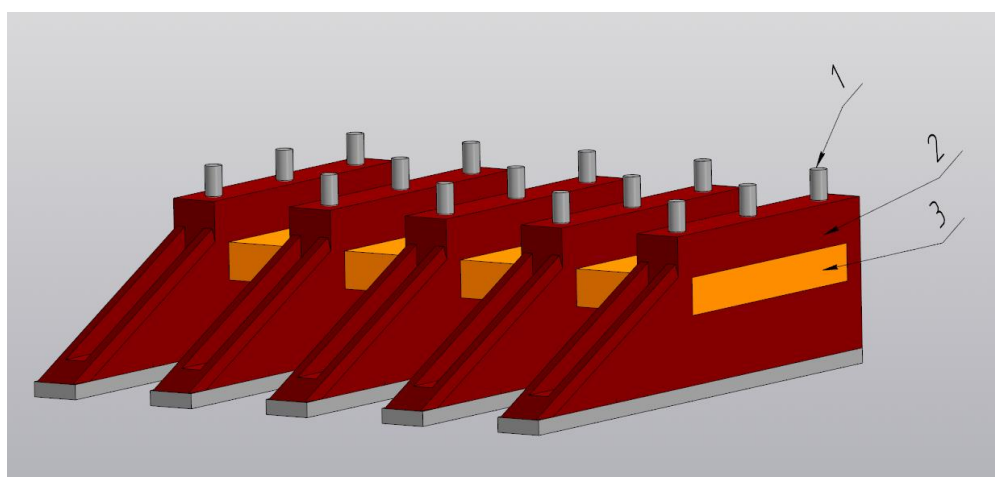
**Рисунок 2 – Конструкция пучкообразного электрода
А) вид сбоку Б) вид сверху В) изометрический вид**

Однако существенным недостатком данного решения является малая площадь контакта кожи и электрода, что может привести к увеличению сопротивления соединения «кожа-электрод». Также к недостаткам относится подвижность электрода, что способствует возникновению артефакта, вызванного движением электрода. Ключевая проблема данного исполнения – длинные ножки охватывают большой радиус поверхности кожи, имея при этом малый контакт с ней в виду шарообразного наконечника. При укорачивании же ножек уменьшается их упругость и податливость.

Подпружиненный рельсообразный электрод

Электрод представляет собой массив подпружиненных гибкой вставкой 3 из полиуретана или силикона подобных рельсам площадок с контактными вставками из проводящего электрический ток материала, например, из серебра. Корпус 2 изготавливается посредством фотополимерной печати или печати методом послойного наложения пластика. Данный вид электрода был разработан для проверки возможности проникновения прямой контактной площадки сквозь волосяной покров. Ожидалось, что за счёт малой толщины конструкции (3 мм) будет обеспечена высокая проникающая способность.

Однако на этапе макетирования было выявлено, что малая толщина корпуса влечет его неустойчивость и смещение, что может стать причиной артефакта. Также затрудняется возможность подведения проводов, отводящих сигнал к блоку обработки, к контактной площадке 1.



**1 – площадка для подключения провода для отведения сигнала,
2 – корпус, 3 – полиуретановая гибкая вставка**

Рисунок 3 – Подпружиненный рельсообразный электрод

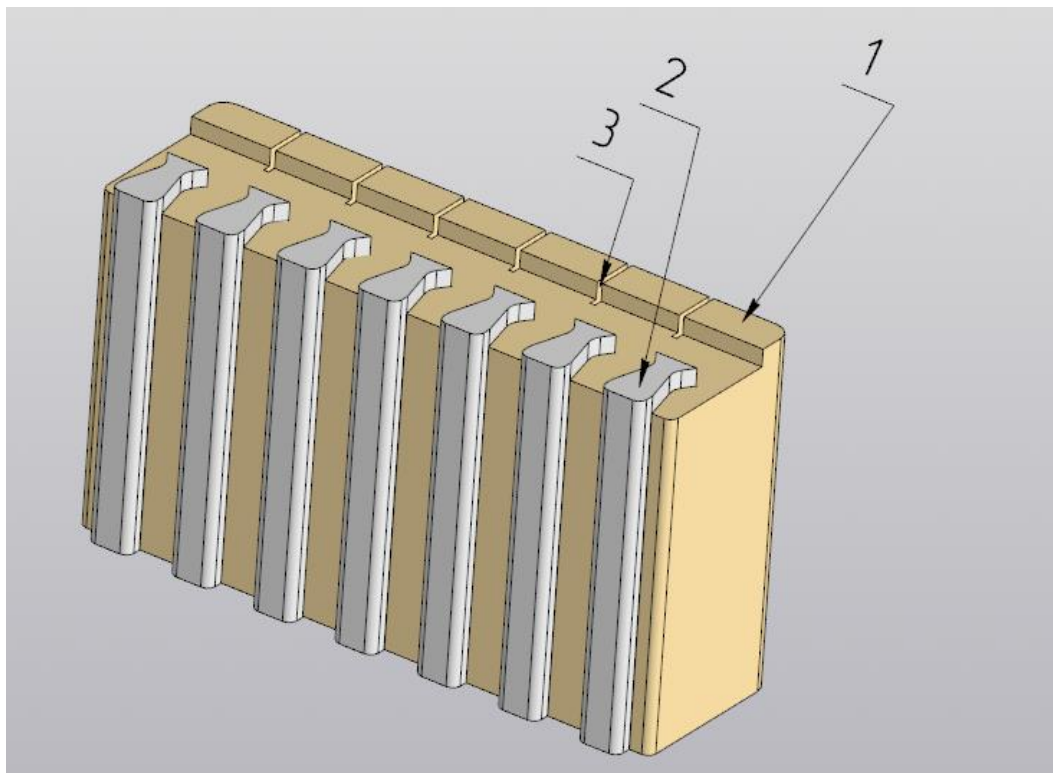


Гибкий электрод с рельсообразными контактами

Конструкция данного электрода выглядит следующим образом: гибкий полиуретановый корпус 1 имеет пазы, в которые вводится рельсообразная контактная площадка из проводящего электрический ток материала, например, из серебра. Изготовление корпуса электрода осуществляется посредством литья полиуретана в форму. Также возможно изготовление с применением трехмерной печати из гибкого материала типа «flex». В тыльной части корпуса имеются прорезы, способствующие сгибанию электрода.

К преимуществам данного устройства относится способность повторять контур головы пользователя, что обеспечивает прилегание контактных площадок к коже головы. Также к достоинствам относится большая площадь контакта: 567 мм^2 .

К недостаткам же относится избирательная проникающая способность – данный тип электродов так же не имеет возможности проникнуть сквозь густой волосяной покров с толстой кутикулой. Также имеет место использовать материал с малой твердостью, что обеспечит большую гибкость электрода и снизит вероятность смещения или разгибания в процессе работы.



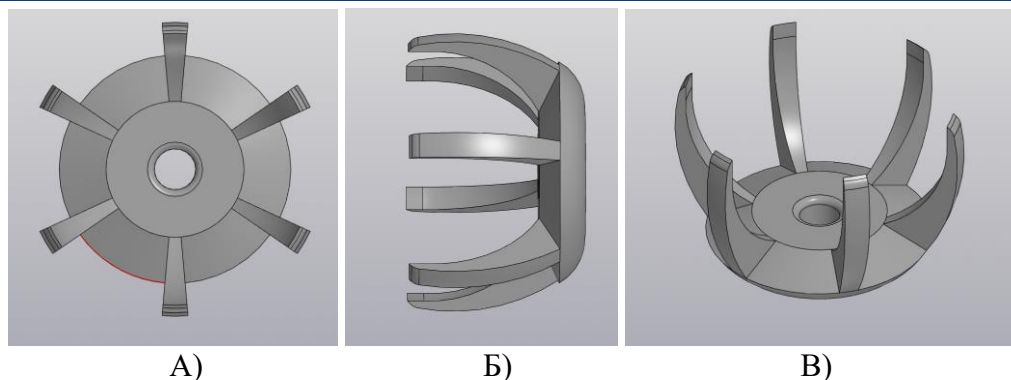
1 – полиуретановый корпус, 2 – контактная площадка, 3 – прорезь

Рисунок 4 – Гибкий электрод с рельсообразными контактами

Звездчатый электрод.

Конструкция данного электрода представляет собой выгнутую вовнутрь скругленную по изгибу звезду, лучи которой являются контактными площадками. Изготавливается из полиуретана или силикона посредством литья. В гибкие ножки датчика в специальные технологические отверстия устанавливаются проводящие электрический ток контактные площадки, с помощью которых и осуществляется отведение сигнала в блок обработки сигналов. В основании корпуса электрода спроектировано технологическое отверстие под крепление на шарнир.





А) вид сверху Б) вид сбоку В) изометрический вид
Рисунок 5 – Конструкция звездчатого электрода
А) вид сверху Б) вид сбоку В) изометрический вид

Подобная конструкция позволяет получить достаточно большую контактную площадь на исследуемой зоне, что уменьшает сопротивление, препятствующее снятию потенциалов с кожи головы, и сохранить способность электрода максимально эффективно фиксироваться на голове, исключая тем самым артефакты, возникающие при движении корпуса. Лучеподобная форма контактных площадок обеспечивает хороший уровень соприкосновения с кожей при наличии у пользователя густых и длинных волос. Помимо того, подобная конструкция позволяет учесть индивидуальные отличительные особенности пользователя, например такие, как форма головы.

В качестве недостатков можно выделить возникновение и неравномерное распределение повышенных нагрузок на изгибах контактных ножек, повышающих вероятность возникновения повреждений на данном участке, ряд затруднений, возникающих при процессе литья, а также некоторые сложности с установкой контактных площадок и их фиксацией.

Основываясь на приведенном выше анализе возможных вариантов реализации электродов, можно сделать вывод, что «звездчатый» тип корпуса, при условии внесения ряда изменений в конструкции, направленных на устранение существующих недостатков, является самым выгодным решением, с точки зрения практической реализации и эксплуатации, а также наиболее релевантным в плане развития в долгосрочной перспективе.

Список литературы:

1. Нейроинтерфейс. – Текст: электронный // Center for Medical Information: [сайт]. – URL: <https://cmi.to/нейроинтерфейс/>
2. Нейрогарнитура. – Текст: электронный // Center for Medical Information: [сайт]. – URL: <https://cmi.to/нейрогарнитура/>
3. Поворинский, А. Г. Пособие по клинической электроэнцефалографии / А. Г. Поворинский, В. А. Заболотных. – Ленинград: Наука. Ленингр. отд-ние, 1987. – 64 с. – Текст: непосредственный.
4. Артефакты ЭЭГ. – Текст: электронный // Center for Medical Information: [сайт]. – URL: <https://cmi.to/артефакты/>
5. Активные сухие электроды для биопотенциалов ЭКГ, ЭЭГ, ЭМГ. – Текст: электронный // Lab Data: [сайт]. – URL: https://labdata.ru/article/dry_electrodes

