

УДК 612.821.1

## Система подавления внешних помех для магнитоэнцефалографа

*Н.А. Ефимова, С.В. Скорова, Н.Н. Чернов*

*Южный федеральный университет*

**Аннотация:** Разработана система, обеспечивающая подавление внешних по отношению к исследуемому объекту магнитных помех при проведении магнитоэнцефалографии. Регистрация магнитных полей мозга позволяет выявлять особенности функционирования ЦНС и определять нормальную или патологическую активность систем регуляции человека, отражающих функциональное состояние здоровья человека. Спроектированная система состоит из устройства регистрации внешних магнитных полей - феррозондового магнитометра, модуля компенсации внешних магнитных полей – катушек Гельмгольца, устройства регистрации магнитных полей мозга и компенсации однородного магнитного поля, создаваемого устройством компенсации внешних магнитных полей.

**Ключевые слова:** магнитоэнцефалография; феррозондовый магнитометр; катушка Гельмгольца; индукционный магнитометр

Согласно теории функциональных систем П.К. Анохина организм как единое целое функционирует благодаря слаженной работе трех уровней управляющих систем: нервной, гуморальной, местной [1].

Центральным элементом всех механизмов регулирования является головной мозг, который передает управляющие воздействия по нервным волокнам. Установлено, что генерация и проведение нервного импульса осуществляется посредством физико-химических процессов, протекающих на клеточных мембранах и сопровождающихся появлением потенциала действия, а следовательно, изменяющимися во времени электрическим и магнитным полями [2]. Поэтому регистрация этих полей позволяет получать информацию о функционировании всех систем регуляции с целью выявления нормы или патологии.

Впервые, магнитные поля мозга были зарегистрированы Д. Коеном в 1968 г. при помощи индукционного датчика [3]. Позже, стараниями многих исследовательских центров, занимающихся измерениями магнитных полей мозга [3, 4], было установлено, что магнитные поля так же как и электрические способны отражать функциональное состояние исследуемых

---

систем, при этом, диагностическая информация может быть получена без контакта исследуемого объекта с измерительной аппаратурой.

В настоящее время магнитометрический метод диагностики не нашел широкого распространения по трем причинам [3]:

1. Сильные внешние магнитные поля, по частотному спектру совпадают с частотами магнитных полей нервной системы (частота магнитного поля мозга 0,5 – 100 Гц, поля Земли  $10^{-4}$  –  $10^2$  Гц, сеть электропитания 100 Гц).
2. Слабое магнитное поле самого организма, которое очень сложно уловить и отделить от внешнего магнитного поля (магнитная индукция поля головного мозга 1 – 30 пТл, поля Земли 50 – 70 мкТл).
3. Сложность построения измерительной и экранирующей аппаратуры (ферромагнитные экранированные комнаты и сверхпроводящая измерительная аппаратура, требующая заправки жидким гелием).

Известен ряд методов экранирования биологического объекта от внешних магнитных полей, являющихся помехами в измерительном эксперименте [3, 4]. Наиболее точным методом защиты является прямое экранирование, заключающееся в построении измерительной камеры из ферромагнитного материала. Основным недостатком таких камер является сложность построения конструкции и дороговизна материалов, поэтому они используются только в крупных научно-исследовательских центрах. Другим устройством экранирования является система, проводящая регистрацию внешних магнитных полей и их компенсацию путем генерации поля, противоположного по фазе внешнему полю, но равного ему по величине. Такая система получила широкое распространение в терапии [5].

Еще одним устройством, позволяющим при регистрации магнитных полей мозга учитывать поля помех, является конструкция [6], состоящая из индукционных датчиков, включенных по дифференциальной схеме, в которой две активные катушки расположены в лобных областях слева и

---

справа. Дифференциальные катушки расположены в теменной области и приподняты над головой так, чтобы магнитные поля мозга были значительно ослаблены.

Нами была предложена система, позволяющая исключить влияние внешних магнитных полей на объект измерения и измерительную аппаратуру за счет создания поля, аналогичного внешнему полю, но противоположному по фазе, при этом аппаратура, отвечающая этим требованиям, доступна широкому кругу пользователей.

Разработанная система подавления внешних помех для магнитоэнцефалографа представлена на рисунке 1.

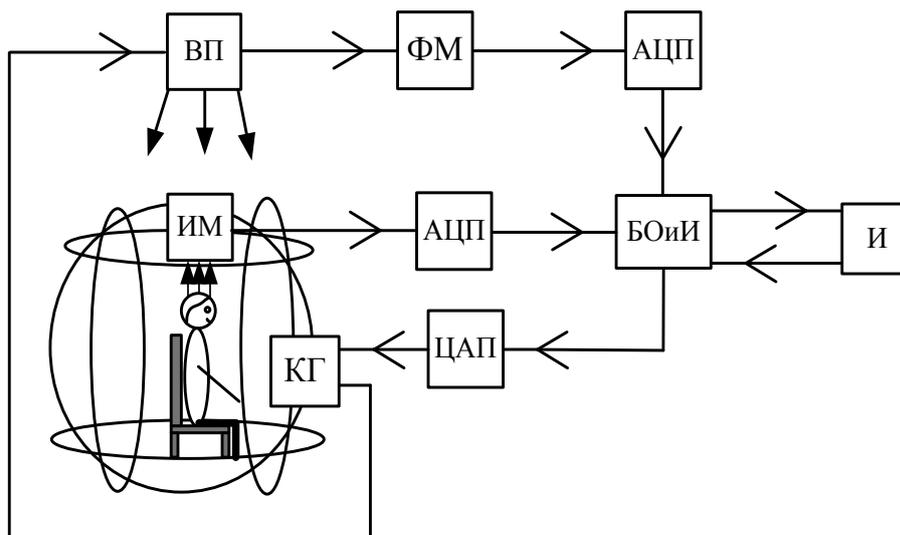


Рис. 1. – Система подавления внешних помех для магнитоэнцефалографа

ВП – внешние помехи; ФМ – феррозондовый магнитометр; ИМ – индукционный магнитометр; КГ – катушки Гельмгольца; АЦП – аналогово-цифровой преобразователь, ЦАП – цифро-аналоговый преобразователь; БОиИ – блок обработки и индикации; И – Исследователь

Разработанная система состоит из модуля регистрации трех пространственных компонент внешнего низкочастотного магнитного поля, в качестве которого был выбран феррозондовый магнитометр НВ0302.1А

чувствительностью по каждой компоненте  $10^{-12}$  Тл в диапазоне частот от 0,1 Гц до 40 кГц. Данное устройство предназначено для регистрации магнитных полей и преобразования полученного сигнала в цифровой код.

Затем сигнал, содержащий информацию о величине и пространственном распределении магнитных полей, являющихся помехами при проведении эксперимента, претерпевает изменение по фазе на  $180^{\circ}$  с целью дальнейшей компенсации. Функцию устройства, изменяющего фазу, выполняет программное обеспечение.

В качестве устройства компенсации использовалась система колец Гельмгольца [7], которая способна генерировать магнитные поля в противофазе внешним полям помех, при этом в пространстве, ограниченном данной системой, создается однородное магнитное поле заданной индукцией. Управляющий сигнал, измененный по фазе, поступает через цифро-аналоговый преобразователь, на устройство генерации трех компонент магнитного поля. Система компенсации внешних магнитных полей представляет собой платформу для размещения испытуемого с измерительной аппаратурой, окруженную тремя парами колец Гельмгольца (диаметром 2 м), располагающихся перпендикулярно относительно друг друга. Данное устройство позволяет компенсировать внешние магнитные поля низкочастотного диапазона от 0,1 Гц до 100 Гц с магнитной индукцией  $10^{-9}$  Тл.

Таким образом, система регистрации и компенсации трех компонент низкочастотного магнитного поля позволяет исключить высокоамплитудные помехи, частотный спектр которых совпадает с частотами магнитных полей мозга человека, в результате чего, в пространстве, окруженном данной системой, создается однородное магнитное поле.

Так как система регистрации и компенсации внешних магнитных полей по отношению к биологическому объекту не обеспечивает подавление

---

магнитных полей самого человека (поля сердца, мышц), которые в магнитоэнцефалографическом исследовании являются неинформативными, но на порядок сильнее, а по частотному спектру совпадают с частотами магнитных полей мозга. То необходимо при регистрации магнитоэнцефалограммы обеспечить компенсацию этих полей и того однородного поля, которое создает система колец Гельмгольца.

Устройство регистрации магнитных полей мозга, удовлетворяющее данным требованиям, представляет собой индукционный магнитометр, чувствительностью 0,1 пТл, в частотном диапазоне от 0,1 до 100 Гц. Измерительный преобразователь построен по дифференциальной схеме: две активные катушки расположены на расстоянии не более 10 мм от головы, две дифференциальные катушки размещаются на расстоянии не менее 50 мм от поверхности головы человека. Такое расположение измерительных преобразователей позволяет регистрировать магнитные поля мозга отдельно от не скомпенсированных полей помех (однородное поле, создаваемое экранирующим устройством и магнитные поля организма), а затем вычитать из полезного сигнала шумовую составляющую.

Разработанная система за счет специально спроектированных датчиков обеспечивает подавление внешних магнитных полей, являющихся помехами при проведении магнитоэнцефалографических исследований. Построенная система отвечает требованиям точности и экономичности, что обеспечивает широкое распространение нейрофизиологических исследований в больницах и исследовательских институтах.

### **Литература:**

1. П.К. Анохин. Биология и нейрофизиология условного рефлекса. «Медицина» М.:1968. – 546 с.

2. Хухо, А. Нейрохимия: Основы и принципы/ А. Хухо; пер. с англ. Е.В. Гришина и В.В. Оноприенко. – М.: Мир, 1990. – 384 с. – ISBN 5-03-001030-0
3. Холодов Ю.А., Козлов А.Н., Горбач А.М. Магнитные поля биологических объектов/ Ю.А. Холодов, А.Н. Козлов, А.М. Горбач. – М.: Наука, 1987. – 145с.
4. Введенский В.Л. Сверхчувствительная магнитометрия и биомагнетизм/ В.Л. Введенский, В.И. Ожогин. – М.: Наука, 1986. – 200 с.
5. Патент на изобретение №108640 Российская федерация, МПК<sup>7</sup> G 01 R 27/26. Устройство для генерации магнитных полей и компенсации локального низкочастотного магнитного поля./ Б.И. Клайн, О.Д. Зотов, В.В. Крылов. № 00108640 U1, действует с 13.05.2011.
6. Лебедев Ю.А. Магнитоэнцефалограф индукционный для регистрации и анализа ритмической активности биопотенциалов головного мозга/ Ю.А. Лебедев, Г.А. Шабанов, А.А. Рыбченко // Известия ЮФУ. – 2009 - №9. – С. 141-145
7. Магнитные измерения/ отв. ред. Е.Т. Чернышев. – М.: Изд. комитета стандартов, 1969. – 250 с.

### References

1. P.K. Anohin. Biologija i nejrofiziologija uslovnogo refleksa. «Medicina» M.:1968. – 546 s.
  2. Huho, A. Nejrhimija: Osnovy i principy/ A. Huho; per. s angl. E.V. Grishina i V.V. Onoprienko. – M.: Mir, 1990. – 384 s. – ISBN 5-03-001030-0
  3. Holodov Ju.A., Kozlov A.N., Gorbach A.M. Magnitnye polja biologicheskikh ob#ektov/ Ju.A. Holodov, A.N. Kozlov, A.M. Gorbach. – M.: Nauka, 1987. – 145s.
-



4. Vvedenskij V.L. Sverhchuvstvitel'naja magnitometrija i biomagnetizm/ V.L. Vvedenskij, V.I. Ozhogin. – M.: Nauka, 1986. – 200 s.
5. Patent na izobretenie №108640 Rossijskaja federacija, MPK7 G 01 R 27/26. Ustrojstvo dlja generacii magnitnyh polej i kompensacii lokal'nogo nizkочastotnogo magnitnogo polja./ B.I. Klajn, O.D. Zotov, V.V. Krylov. № 00108640 U1, dejstvuet s 13.05.2011.
6. Lebedev Ju.A. Magnitojencefalograf indukcionnyj dlja registracii i analiza ratmicheskoi aktivnosti biopotencialov golovnogo mozga/ Ju.A. Lebedev, G.A. Shabanov, A.A. Rybchenko // Izvestija JuFU. – 2009 - №9. – S. 141-145
7. Magnitnye izmerenija/ otv. red. E.T. Chernyshev. – M.: Izd. komiteta standartov, 1969. – 250 s.