

В.Т. ВАРДАНЯН

**МИКРОПРОЦЕССОРНАЯ АППАРАТУРА ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ
ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ СЕТЧАТКИ ГЛАЗА И ЗРИТЕЛЬНОГО
ЦЕНТРА МОЗГА**

Разработано устройство для одновременной регистрации ретинограммы и электроэнцефалограммы коры головного мозга при воздействии на сетчатку световых стимулов различной интенсивности и длительности. По своим техническим показателям устройство не уступает западным аналогам и может использоваться в глазных клиниках для оценки функционального состояния путей проведения зрительной информации в центральную нервную систему человека.

Ключевые слова: микропроцессорная аппаратура, ретинограмма, электроэнцефалограмма, вызванные ответы, световые стимулы.

В настоящее время при диагностике заболеваний зрительной системы человека (рис.1) широкое распространение получили электрофизиологические методы исследования, к которым, в частности, относятся электроретинография (ЭРГ) и регистрация зрительных вызванных потенциалов (ЗВП) коры головного мозга [1].

ЭРГ возникает при воздействии на сетчатку световых стимулов различной интенсивности, длительности и частоты следования. Практическая ценность ЭРГ определяется тем, что она является чувствительным методом оценки функционального состояния сетчатки, которая позволяет определить как самые незначительные биохимические нарушения, так и грубые дистрофические и атрофические процессы. При этом выделение функций фотопической (колбочковой) и скотопической (палочковой) систем основано на различии физиологических свойств колбочек и палочек сетчатки. Различная степень вовлечения в патологический процесс палочковой и/или колбочковой систем сетчатки является одним из характерных признаков любого заболевания сетчатки - наследственного, сосудистого, воспалительного, токсического, травматического и иного генеза, что и определяет характер электрофизиологической симптоматики.

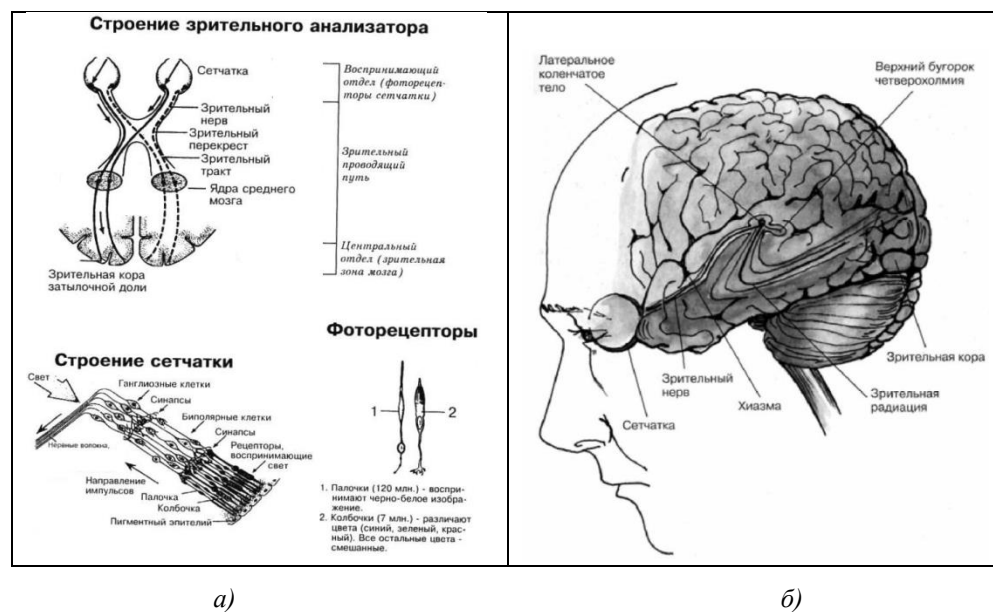


Рис. 1. Зрительная система человека:

а - проводящие пути зрительного анализатора; б - связи, идущие от первичных рецепторов сетчатки через ядра таламуса и гипоталамуса к первичной зрительной зоне коры

В основе принятой в электроретинографии классификации ЭРГ лежат амплитудные характеристики основных “а”- и “б”- волн ЭРГ, а также их временные параметры. Различают следующие виды ЭРГ: нормальная, супернормальная, субнормальная (плюс- и минус-негативная), угасшая, или нерегистрируемая (отсутствующая). Каждый из них отражает локализацию процесса, стадию его развития и патогенез. Среднее значение амплитуды волны “а” в норме составляет 50 мкВ, волны “б” — от 200 до 400 мкВ. При очаговых процессах в наружных слоях сетчатки, например у больных с ретинопатией, частичной отслойкой сетчатки, выявляют снижение амплитуды волн “а” (от 25 до 10 мкВ) и “б” (от 150 до 75 мкВ) — так называемая субнормальная ЭРГ. Более выраженное снижение высоты волн может наблюдаться у больных с тапеторетинальной абiotрофией. При нарушениях кровоснабжения сетчатки может наблюдаться увеличение амплитуды волны “а” - негативная ЭРГ.

Метод регистрации вызванных ответов электроэнцефалографических (ЭЭГ) сигналов на вспышку света широко применяют в клинике для диагностики заболеваний зрительных путей и патологии зрительного нерва, при отеке, воспалении, атрофии, компрессионных повреждениях травматического и опухолевого генеза, локализации патологического процесса в хиазме, зрительном тракте и коре головного мозга, амблиопии и заболеваниях сетчатки.

Величина потенциалов ЗВП в норме значительно меньше (до 40 мкВ), чем волны электроэнцефалограммы (до 100 мкВ). Латентность определяется временем от момента включения светового стимула до достижения максимальной величины потенциала корой мозга. Обычно максимальная величина потенциала наблюдается через 100 мс.

При различных заболеваниях зрительного пути происходит изменение формы ЗВП, снижение амплитуды его компонентов и удлинение времени прохождения импульса по зрительному пути до коры головного мозга.

ЗВП дополняют результаты электроретинографии и являются единственным источником информации о зрительной системе в тех случаях, когда ЭРГ невозможно зарегистрировать по тем или иным причинам. Критериями клинически значимых отклонений при оценке ЗВП являются отсутствие ответа или значительное снижение амплитуды, удлинение латентности всех пиков.

Отметим также, что одновременная запись ЭРГ и ЗВП позволяет оценивать время прохождения зрительного возбуждения от сетчатки до зрительной коры (так называемое ретинокортикальное время). Этот метод используют при диагностике поражений зрительного нерва и зрительных путей, оценке состояния зрения у детей, выявлении симуляции слепоты и т. д.

Современные достижения физики, микроэлектроники и программного обеспечения произвели техническую революцию в построении медицинской аппаратуры и методах исследования для диагностики и терапии. При этом широкое распространение получил подход, при котором осуществляется цифровая обработка сигналов с последующим использованием микропроцессоров для управления и распределения информационных потоков.

В настоящее время микропроцессорная аппаратура широко используется в развитых странах для диагностики заболеваний зрительной системы человека. Однако отсутствие на отечественном рынке доступной по цене подобной аппаратуры делает актуальной их разработку и конструирование также и в Армении. С этой целью были проведены научно-технические работы по конструированию компактного микропроцессорного двухканального устройства, обеспечивающего одновременную регистрацию ЭРГ и ЗВП в любом помещении (рис. 2).

При разработке аппаратуры для проведения качественной регистрации ЭРГ и ЗВП [2] следует исходить из требования, чтобы полезный сигнал, приведенный ко входу усилителей, составлял 1 мкВ. Для правильного представления фронтов вызванных ответов необходимо для регистрируемых сигналов обеспечить полосу пропускания 0,1...100 Гц.

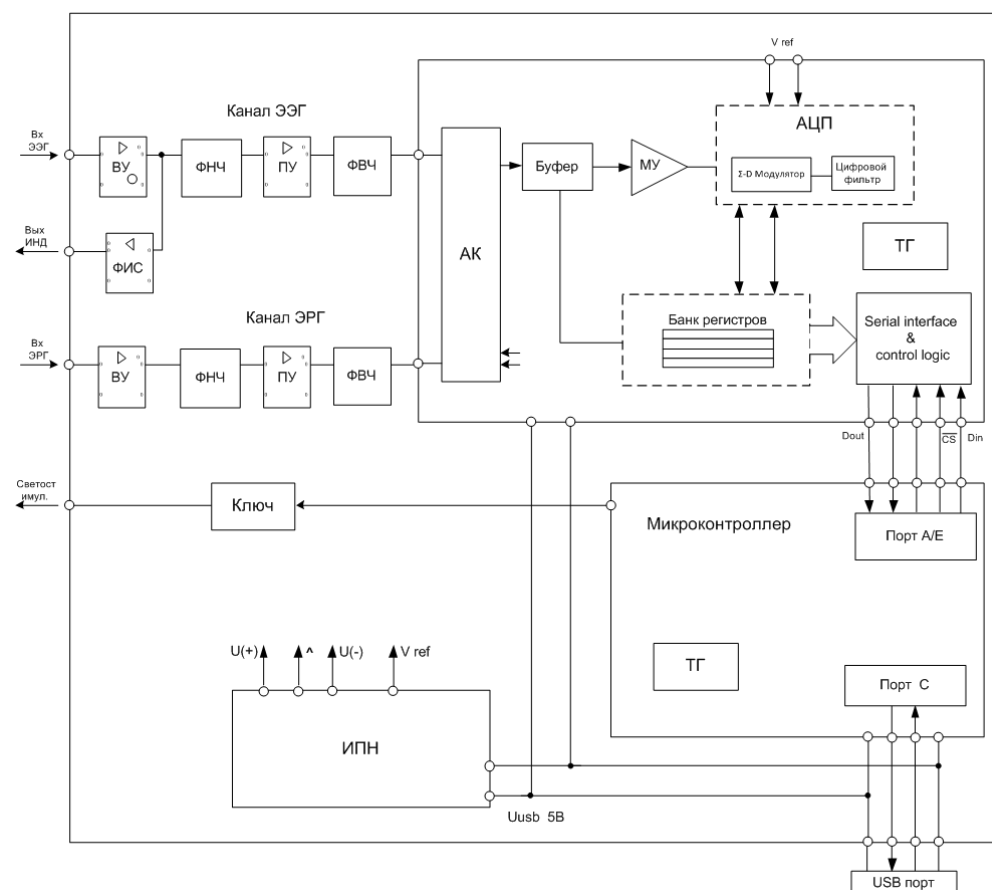


Рис. 2. Блок-схема микропроцессорной аппаратуры для оценки функционального состояния сетчатки глаза и зрительного центра мозга:

ВУ – входной усилитель; ПУ – промежуточный усилитель; ФИС – формирователь инверсного сигнала; ФНЧ – фильтр низких частот; ФВЧ – фильтр высоких частот; АЦП – аналого-цифровой преобразователь; АК – аналоговый коммутатор; ТГ – тактовый генератор; ИПН - импульсный преобразователь напряжения

Первичными получателями информации в системах контроля и диагностики являются датчики. При регистрации ЭРГ используется серебряный шариковый электрод, который накладывается непосредственно на глаз. Для регистрации ЭЭГ обычно применяются чашечковые хлор-серебряные электроды. Поэтому при расчете первичных цепей усиления следует исходить из требований, чтобы входное сопротивление усилителя ЭРГ канала составляло 600...800 кОм, а для усилителя ЭЭГ канала – до десятков МОм [2, 3]. Для обеспечения большого входного сопротивления в предлагаемой схеме используются инвертирующие усилители с большим входным сопротивлением. Входные усилители спроектированы на

микросхемах AD620 для ЭРГ и AD8663 для ЭЭГ соответственно с дополнительной стабилизацией напряжения питания.

Помимо полезного сигнала биологического происхождения, на электродах всегда присутствуют наведенные шумы, артефакты и синфазные помехи от осветительной сети. Для подавления синфазных помех в разработанном устройстве применена “активная земля”. На теле человека закрепляется дополнительный (индифферентный) электрод, на который с выхода усилителя ВУ1 в противофазе подаётся синфазная составляющая входного сигнала. Её выделение выполняет сумматор на симметричных сопротивлениях, а формирователь инверсного сигнала – усиление и инверсию. Благодаря такой своеобразной отрицательной обратной связи величина синфазных помех резко снижается, и далее они эффективно подавляются цифровым фильтром. В частности, отметим, что использование цифрового фильтра позволяет гасить 50-герцовые паразитные колебания на 95 дБ [4,5].

Для подавления шумов и артефактов используется дополнительная фильтрация усиленного сигнала. В качестве фильтра нижних частот применяется фильтр Баттерворта, после которого в промежуточном усилителе сигналы усиливаются до необходимого уровня и после высокочастотной фильтрации подаются на аналоговый коммутатор. Спад используемой амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) фильтра Баттерворта медленный, однако он имеет гладкую АЧХ на частотах полосы пропускания, что позволяет снизить искажения полезного сигнала.

Для организации двухканального приема сигналов ЭРГ и ЭЭГ в предлагаемой схеме используется АК, работающий в определенном частотном диапазоне [6]. При этом конкретная частота работы АК задается внешней программой. АК по команде от микроконтроллера (МК) подключает каждое из отведений к аналого-цифровому преобразователю. АЦП преобразовывает сигнал и записывает его в свой банк регистров с частотой $f = 500 \text{ Гц}$. Оцифрованный сигнал записывается в регистрах памяти АЦП независимо от МК и по запросу МК передается в память микропроцессора. Управление АК и передачей данных через USB порт выполняется микроконтроллером [7,8]. Через определенные промежутки времени, задаваемые внешней программой, МК дает команду на срабатывание внешнего раздражителя (вспышки), синхронизированного с регистрацией вызванных ответов ЭРГ и ЭЭГ.

Благодаря малой мощности прибора, его питание осуществляется от USB порта. Для получения двуполярного высокостабильного напряжения, необходимого для питания усилителей, используется импульсный преобразователь напряжения с последующей линейной стабилизацией. Питание АЦП и МК осуществляется непосредственно от USB порта с отдельной стабилизацией опорного напряжения АЦП.

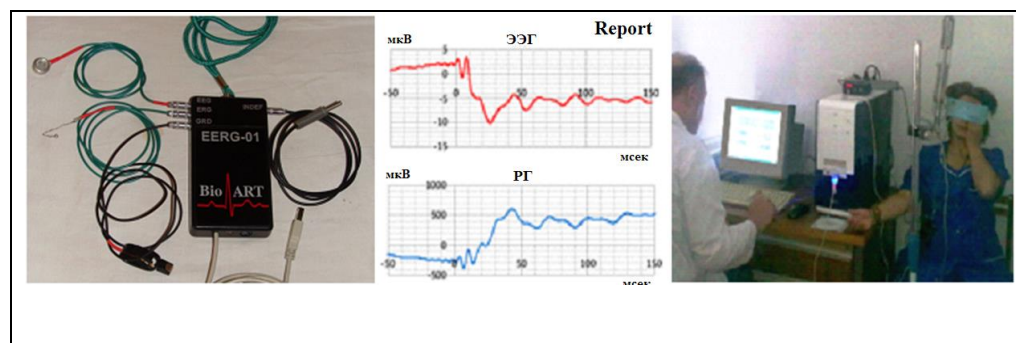
Реализация вышеизложенных положений привела к разработке аппаратуры, имеющей основные технические характеристики, представленные в таблице.

Таблица

Технические характеристики устройства для регистрации вызванных ответов ЭРГ и ЭЭГ сигналов на вспышку света

Чувствительность	менее 1 мкВ
Отношение сигнал/шум	не менее 95 дБ
Разрешение	0,2 мкВ
Полоса пропускания	0,1 ... 100 Гц
Входное сопротивление канала ЭРГ	1 МОм
Входное сопротивление канала ЭЭГ	10 МОм

В настоящее время такая аппаратура уже в течение нескольких лет используется в Ереванской глазной клинике N8 (рис. 3).



а)

б)

в)

Рис.3. Устройство для оценки функционального состояния нервных путей поступления зрительной информации в центральную нервную систему:

а- общий вид устройства; б- ЗВП и ЭРГ сигналы, вызванные в ответ на световую вспышку; в- регистрация ЗВП и ЭРГ потенциалов в Ереванской глазной клинике N 8

Отметим также, что важную роль в эффективном использовании разработанной аппаратуры играет пакет программ, который обеспечивает не только регистрацию и запоминание вызванных ЭРГ и ЭЭГ ответов на каждое световое воздействие, но и их усреднение по всем предъявляемым вспышкам. Последнее обстоятельство позволяет лечащему врачу сразу после тестовой процедуры оценить характер функционального состояния путей поступления зрительной информации в центральную нервную систему пациента.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Зенков Л.Р., Ронкин М.А.** Функциональная диагностика нервных болезней: Руководство для врачей. - М.: МЕДпресс-информ, 2011. – 488 с.
2. **Камышко И.В.** Медицинские приборы. Разработка и применение. – М.: Медицинская книга, 2004. - 720 с.
3. **Хоровиц П., Хилл У.** Искусство схемотехники. В 3-х т. Т. 2.- М.: Мир, 1993.- 371 с.
4. **Айфичер Э., Джервис Б.** Цифровая обработка сигналов. Практический подход. - М.: Вильямс, 2004. - 992 с.
5. Основы цифровой обработки сигналов / **А.И. Солонина** и др. - СПб.: БХВ Петербург, 2005. - 768 с.
6. **Norsworthy S., Schreier R., Temes G.** Delta-Sigma Data Converters. - NY, 2007. - 286 p.
7. **Rabiner L.R., Gold B.** Theory and Application of Digital Signal Processing. Paramus.- NJ: Prentice-Hall, 1986. - 426 p.
8. **Уилмсхерст Т.** Разработка встроенных систем с помощью микроконтроллеров "PIC". - М.: Мир, 2008. - 351 с.

Институт физиологии им. Л.А.Орбели НАН РА. Материал поступил в редакцию 10.09.2013.

Վ.Տ. ՎԱՐԴԱՆՅԱՆ

ԱՉՔԻ ՑԱՆՑԱԹԱՂԱՆԹԻ ԵՎ ԳԼԽՈՒՂԵՂԻ ՏԵՍՈՂԱԿԱՆ ԿԵՆՏՐՈՆԻ ՖՈՒՆԿՑԻՈՆԱԼ ՎԻՃԱԿԻ ԱՆՏՈՂՈՇՄԱՆ ՄԻԿՐՈՊՐՈՑԵՍՈՐԱՅԻՆ ՍԱՐՔԱՎՈՐՈՒՄ

Մշակվել է սարքավորում ռեթինոգրամի և գլխուղեղի կեղևի էլեկտրաէնցեֆալոգրամի միաժամանակյա գրանցման համար՝ ցանցաթաղանթի վրա տարբեր ինտենսիվություն և երկարություն ունեցող լուսային ազդակներով ներգործելու դեպքում: Իր տեխնիկական ցուցանիշներով սարքը չի զիջում արևմտյան երկրներում կիրառվող նմանատիպ սարքերին և կարող է կիրառվել ակնաբուժական կլինիկաներում՝ դեպի մարդու կենտրոնական նյարդային համակարգ տեսողական տեղեկության անցման ուղիների ֆունկցիոնալ գնահատման համար:

Առանցքային բառեր. միկրոպրոցեսորային սարքավորում, ռեթինոգրամ, էլեկտրաէնցեֆալոգրամ, հրահրված պատասխաններ, լուսային ազդակներ:

V.T. VARDANYAN

MICROPROCESSOR APPARATUS FOR DIAGNOSING THE FUNCTIONAL STATE OF THE EYE RETINA AND THE VISUAL CENTER OF THE BRAIN

A device for simultaneous recording of retinogram EEG and the cerebral cortex at acting on the retina by light stimuli of varying intensity and duration is developed. The device is not inferior to foreign counterparts by its technical characteristics and can be used in eye clinics to assess the functional state of the ways of transferring visual information to the central nervous system.

Keywords: microprocessor equipment, retinogram, electroencephalogram, induced responses, light stimuli.