

ISSN 2077-8333 (print)
ISSN 2311-4088 (online)

ЭПИЛЕПСИЯ и пароксизмальные состояния



2023 Том 15 №4

EPILEPSY AND PAROXYSMAL CONDITIONS

2023 Vol. 15 №4

<https://epilepsia.su>

Данная интернет-версия статьи была скачана с сайта <http://www.epilepsia.su>. Не предназначено для использования в коммерческих целях.
Информацию о репринтах можно получить в редакции. Тел.: +7 (495) 649-54-95; эл. почта: info@irbis-1.ru.

<https://doi.org/10.17749/2077-8333/epi.par.con.2023.170>

ISSN 2077-8333 (print)

ISSN 2311-4088 (online)

Описание технических характеристик ЭЭГ-оборудования и их сравнение для доступных в России электроэнцефалографов

А.А. Иванов**Общество с ограниченной ответственностью «Нейрософт» (ул. Воронина, д. 5, Иваново 153032, Россия)****Для контактов:** Алексей Алексеевич Иванов, e-mail: iva@neurosoft.com

РЕЗЮМЕ

Целью данной статьи является подробное описание ключевых технических характеристик современного электроэнцефалографического (ЭЭГ) оборудования и их влияния на качество регистрируемого сигнала. Понимание значения технических параметров регистрирующей аппаратуры поможет медицинским работникам сделать правильный выбор при приобретении нового оборудования, а также корректно устанавливать необходимые параметры регистрации для обеспечения максимально возможного качества ЭЭГ-сигнала. Кроме того, приведено сравнение технических характеристик доступного в России ЭЭГ-оборудования. Такое сравнение стало возможным после того, как с 2023 г. на сайте Росздравнадзора начали публиковать полный пакет документов на зарегистрированное медицинское оборудование, включая данные о его технических параметрах.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

Электроэнцефалография, ЭЭГ, частота квантования, собственный шум, подавление синфазной помехи, частотный диапазон, входное сопротивление.

ИНФОРМАЦИЯ О СТАТЬЕ

Поступила: 15.09.2023. **В доработанном виде:** 10.10.2023. **Принята к печати:** 23.11.2023. **Опубликована:** 15.12.2023.

Конфликт интересов

Иванов А.А. является штатным сотрудником компании «Нейрософт» – российского производителя ЭЭГ-оборудования.

Для цитирования

Иванов А.А. Описание технических характеристик ЭЭГ-оборудования и их сравнение для доступных в России электроэнцефалографов. *Эпилепсия и пароксизмальные состояния*. 2023; 15 (4): 384–392. <https://doi.org/10.17749/2077-8333/epi.par.con.2023.170>.

Description of technical characteristics for EEG equipment and their comparison for electroencephalographs available in Russia

A.A. Ivanov

Neurosoft LLC (5 Voronin Str., Ivanovo 153032, Russia)

Corresponding author: Alexey A. Ivanov, e-mail: iva@neurosoft.com

SUMMARY

The current study was aimed at providing a detailed description of the major technical characteristics for electroencephalographic (EEG) equipment and their impact on quality of the recorded signal. Understanding the importance of the recording equipment

technical parameters will help medical professionals make the right choice while purchasing new equipment as well as correctly set the necessary recording parameters to ensure the maximum possible quality of EEG signal. In addition, the technical characteristics for EEG equipment available in Russia were compared. Such a comparison became possible after the full package of documents for registered medical equipment including data on relevant technical parameters began to be published at the Roszdravnadzor website since 2023.

KEYWORDS

Electroencephalography, EEG, sample rate, self-noise, common mode rejection, frequency range.

ARTICLE INFORMATION

Received: 15.09.2023. **Revision received:** 10.10.2023. **Accepted:** 23.11.2023. **Published:** 15.12.2023.

Conflict of interests

A.A. Ivanov is an employee of the Neurosoft company – a Russian manufacturer of EEG equipment.

For citation

Ivanov A.A. Description of technical characteristics for EEG equipment and their comparison for electroencephalographs available in Russia. *Epilepsia i paroksizmal'nye sostoania / Epilepsy and Paroxysmal Conditions*. 2023; 15 (4): 384–392 (in Russ.). <https://doi.org/10.17749/2077-8333/epi.par.con.2023.170>.

ВВЕДЕНИЕ / INTRODUCTION

На заре электроэнцефалографии (ЭЭГ) в середине XX века ЭЭГ-регистраторы занимали целые комнаты и могли работать только в экранированных помещениях. С прогрессом микроэлектроники современные электроэнцефалографы превратились в компактные компьютерные приборы, способные обеспечивать высококачественную регистрацию ЭЭГ-сигнала практически в любых условиях, включая палаты интенсивной терапии [1], где работает большое количество разнообразного оборудования, создающего помехи (рис. 1).

Тем не менее качество регистрации ЭЭГ-сигнала по-прежнему зависит от качества применяемых электродов и технических характеристик ЭЭГ-оборудования, которое используется для проведения обследования. Именно значению различных технических параметров современных усилителей ЭЭГ посвящена эта статья. Рассмотрены основные технические характеристики

ЭЭГ-оборудования и их влияние на качество регистрируемого сигнала. В завершение представлена сравнительная таблица технических параметров ЭЭГ-оборудования, доступного в Российской Федерации. В сравнение попали как регистраторы ведущих отечественных производителей, так и импортные образцы. Такое сопоставление стало возможным после того, как с 2023 г. на сайте Росздравнадзора начали публиковать полный пакет документов на зарегистрированное медицинское оборудование, включая данные о его технических параметрах [2].

Современный компьютерный электроэнцефалограф состоит из двух основных электронных компонентов: усилителя аналогового сигнала и аналогово-цифрового преобразователя (АЦП) [3]. Именно от характеристик этих двух компонентов в конечном итоге и зависит качество регистрируемого ЭЭГ-сигнала. Ниже рассмотрены параметры ЭЭГ-регистраторов и описано их влияние на качество регистрируемого сигнала.

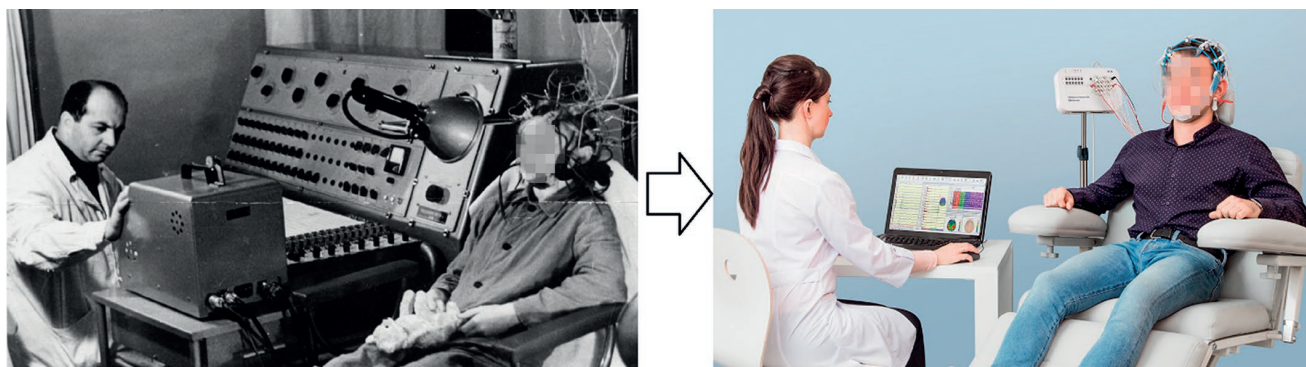


Рисунок 1. Сравнение электроэнцефалографического оборудования середины XX и начала XXI века

Figure 1. Comparison of the mid-20th and early 21st century electroencephalographic equipment

ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЭГ-ОБОРУДОВАНИЯ / TECHNICAL CHARACTERISTICS OF EEG EQUIPMENT

Частота квантования / Sampling rate

Современный электроэнцефалограф хранит зарегистрированные данные на жестком диске компьютера и отображает их на экране монитора. Поскольку компьютеры не могут хранить и обрабатывать аналоговые сигналы, ЭЭГ-сигнал необходимо перевести из аналоговой в цифровую форму (оцифровать). Эту задачу выполняет АЦП [3]. Цифровое представление сигнала имеет ряд преимуществ:

- цифровой сигнал не подвержен помехам, его можно передавать на любые расстояния без искажений;
- цифровой сигнал легко может быть представлен в компьютере на дисплее.

Но есть у него и свои недостатки и ограничения. Например, такой сигнал имеет ограниченное разрешение по времени и амплитуде (рис. 2).

Частота квантования как раз и определяет разрешающую способность АЦП по времени. Она обычно измеряется в Герцах (Гц) и показывает количество отсчетов цифрового сигнала в секунду. С точки зрения хранения и отображения ЭЭГ-сигнала от частоты квантования зависит плавность кривых по оси времени. На рисунке 3 представлены отличия сигнала, записанного с разной частотой квантования. Сигнал содержит одну и ту же синусоиду частотой 10 Гц, но при частоте квантования 100 Гц можно заметить неравномерность пиков синусоиды, обусловленную недостаточной разрешающей способностью АЦП по времени. На частоте квантования 200 Гц вершины синусоиды более сглажены, но все-таки неравномерность еще различима. При частоте 500 Гц синусоида 10 Гц выглядит уже гладко, и дальнейшее увеличение частоты квантования не приведет к улучшению качества сигнала, но существенно увеличит его объем при хранении в базе данных обследований на компьютере. Это «оборотная сторона медали» – при увеличении частоты квантования сигнала увеличивается и объем хранимой информации.

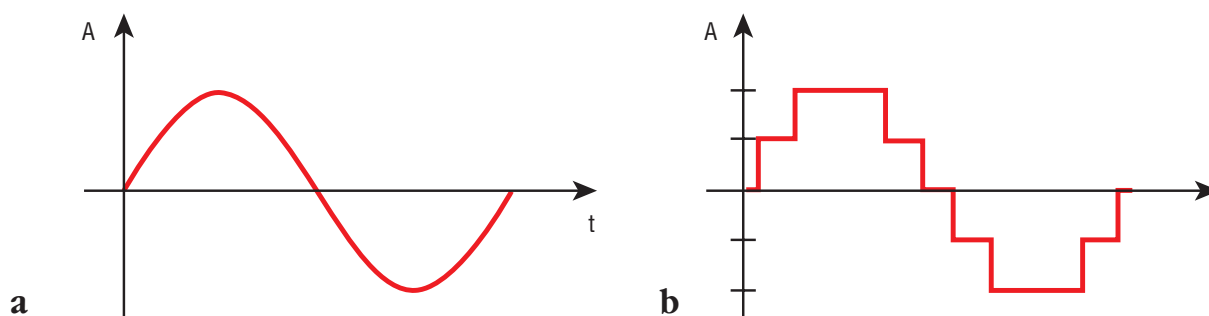


Рисунок 2. Пример перевода аналогового сигнала (а) в оцифрованный вид (б). Цифровая форма сигнала тем более будет похожа на исходный аналоговый сигнал, чем больше разрешающая способность аналогово-цифрового преобразователя по времени и амплитуде

Figure 2. A representative conversion of analog (a) to digitized (b) signal. The higher time- and amplitude-specific resolution of analog-to-digital converter the more digital signal would resemble original analog signal

Важно отметить, что в соответствии с теоремой Котельникова для отображения любой частоты колебаний в цифровом виде необходима частота квантования, как минимум в 2 раза превышающая эту частоту колебаний [4, 5]. Таким образом, если на ЭЭГ-кривых необходимо увидеть частоты колебаний сигналов до 75 Гц, то необходима частота квантования как минимум 150 Гц.

В рекомендациях Международной Противозепитической Лиги [6] прописана минимально допустимая частота квантования для регистрации ЭЭГ-сигнала в 200–256 Гц. Однако на практике для качественного отображения нужна частота квантования, в 4–8 раз превышающая максимальную частоту колебаний измеряемого сигнала. Именно поэтому для качественного отображения ЭЭГ-сигнала на современном экране компьютера рекомендуется использовать частоту квантования не менее 500 Гц.

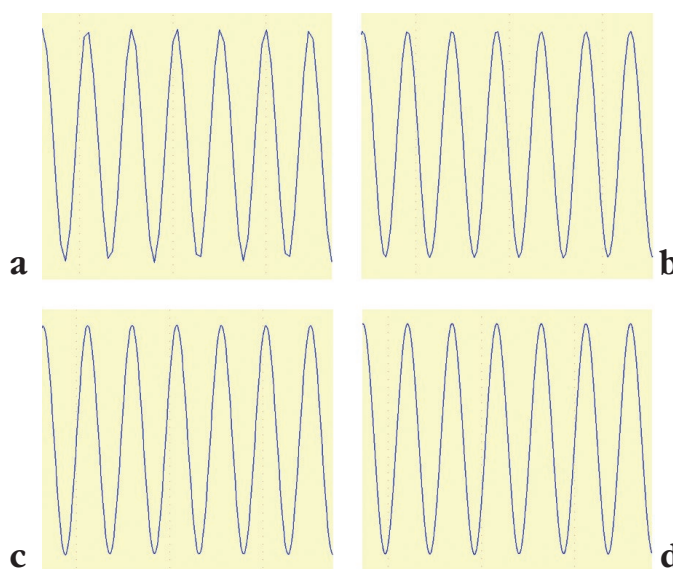


Рисунок 3. Синусоида частотой 10 Гц, записанная с разными частотами квантования:

а – 100 Гц; б – 200 Гц; в – 500 Гц; д – 5000 Гц

Figure 3. 10 Hz sine wave recorded at different sample rates: а – 100 Hz; б – 200 Hz; в – 500 Hz; д – 5000 Hz

Разрядность аналогово-цифрового преобразователя / Analog-to-digital converter bit rate

Как уже было указано, качество цифрового представления сигнала зависит от двух параметров блока АЦП, а именно от разрешающей способности и частоты квантования. Частота квантования как разрешающая способность по времени была рассмотрена выше, теперь остановимся подробнее на разрешающей способности АЦП по амплитуде (**рис. 4**).

Разрешающая способность АЦП – это количество разрядов (ступенек) при измерении амплитуды сигнала. Например, если она составляет всего 8 бит, то амплитуда цифрового сигнала на его выходе будет принимать одно из 256 (2^8) значений (ступенек). Если при этом, например, необходимо измерять аналоговый сигнал в диапазоне от -10 мВ до $+10$ мВ, то размер одной ступеньки будет равен 78 мкВ. Для оцифровки ЭЭГ-сигнала такой разрешающей способности явно недостаточно. Поэтому первые цифровые ЭЭГ-регистраторы имели очень узкий амплитудный диапазон и при малейшем его превышении уходили в «зашкал» (**рис. 5**).

При применении более современных 16-битных АЦП (65 536 ступенек) точность измерения амплитуды того же диапазона ± 10 мВ уже составляет всего 0,3 мкВ, что

намного лучше. Если же при таком АЦП будет необходимо оцифровывать сигнал в более широком амплитудном диапазоне, например от -100 до $+100$ мВ, то точность оцифровки составит 3 мкВ. Таким образом, при увеличении входного диапазона измеряемого сигнала уменьшается точность его цифрового представления. Именно поэтому в настоящее время применяются самые передовые 24-битные АЦП, которые позволяют обеспечить одновременно и широкий регистрируемый диапазон амплитуд, и высокую точность оцифровки сигнала.

Уровень внутренних шумов усилителя / Amplifier internal noise

Для того чтобы подать низкоамплитудный ЭЭГ-сигнал на вход АЦП с целью оцифровки, его необходимо предварительно усилить. Кроме параметров АЦП на качество регистрируемого ЭЭГ-сигнала оказывают прямое влияние и характеристики усилителя аналогового сигнала.

Один из важнейших параметров усилителя – уровень собственных шумов [7]. Обычно он возрастает прямо пропорционально коэффициенту усиления и регистрируемому диапазону амплитуд аналогового сигнала. Высококачественные усилители, как правило, имеют в своем составе несколько каскадов усиления, что повышает

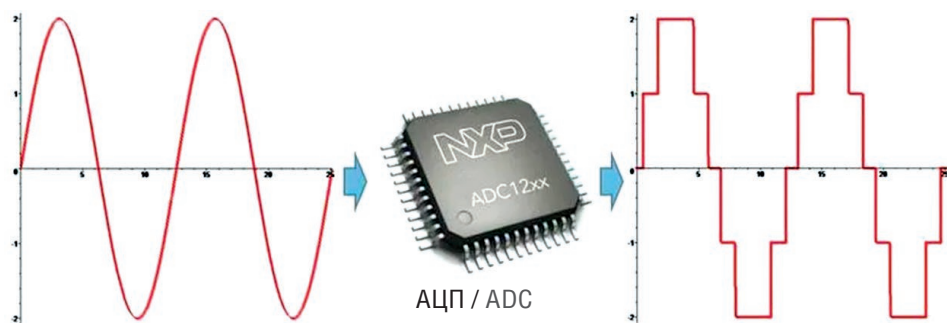


Рисунок 4. Пример преобразования аналогового сигнала в цифровую форму. АЦП – аналогово-цифровой преобразователь

Figure 4. A representative analog-to-digital conversion. ADC – analog-to-digital converter

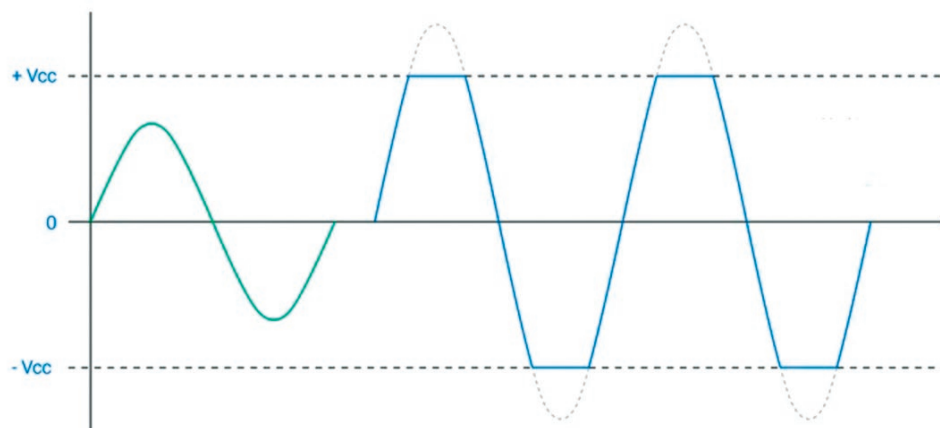


Рисунок 5. Пример ограниченности аналогово-цифрового преобразователя (АЦП) по амплитуде регистрируемого сигнала. Зеленый сигнал находится в пределах амплитудного диапазона, который способен оцифровывать АЦП, а синий уже превышает его и поэтому обрезается. В результате часть полезной информации теряется

Figure 5. A representative amplitude-specific limitation of analog-to-digital converter (ADC) for recorded signal. The green signal is depicted within the amplitude range that ADC can digitize, whereas blue signal exceeds it and therefore to be cut off. As a result, some desired information is lost

его качество, но ведет к удорожанию электронных комплектов, необходимых для построения ЭЭГ-регистратора.

В настоящее время существует два варианта оценки собственного шума усилителя:

- от пика до пика;
- среднее квадратичное отклонение (англ. root mean square, RMS).

Для измерения уровня собственного шума усилителя в тестовой лаборатории обычно накоротко замыкаются все его входы и проводится измерение регистрируемого сигнала. В идеале на выходе должна регистрироваться чистая изолиния, но на практике такого не бывает, т.к. любой современный усилитель имеет собственный шум. Размах регистрируемого таким образом сигнала и называют собственным шумом усилителя, измеренным от пика до пика (рис. 6).

Среднее квадратичное отклонение – это наиболее распространенный показатель рассеивания значений случайной величины относительно ее математического ожидания (аналога среднего арифметического с бесконечным числом исходов). На практике обычно для белого шума значение RMS меньше значения амплитуды от пика до пика примерно в 6–7 раз.

Следует помнить, что наличие двух вариантов измерения внутреннего шума усилителя нередко приводит к путанице при сравнении двух ЭЭГ-регистраторов между собой.

Уровень собственных шумов усилителя имеет особое значение при регистрации низкоамплитудной ЭЭГ, например в палате интенсивной терапии [2] или при диагностике смерти мозга [8]. Но и при регистрации обычных рутинных ЭЭГ-обследований уровень собственных шумов является важной характеристикой усилителя, влияющей на качество регистрируемого сигнала.

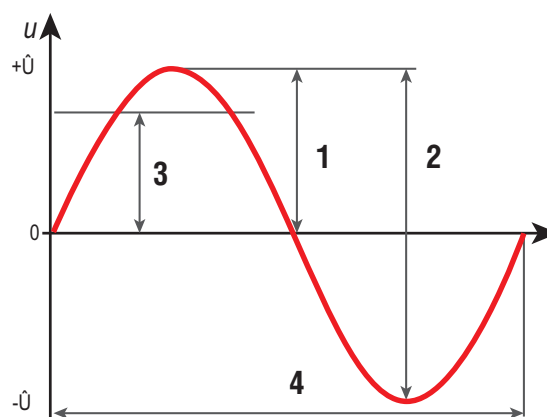
Подавление синфазной помехи / Common mode rejection

Основной проблемой при регистрации ЭЭГ в неэкранированных помещениях является помеха от питающей

электрической сети (50 или 60 Гц в зависимости от региона). Ее также называют синфазной наводкой. В современных ЭЭГ-регистраторах подавление синфазной наводки проводится с помощью каскада усиления с обратной связью. Для организации последней используется дополнительный электрод, накладываемый на любую точку тела обследуемого. Этот электрод обычно называют общим или заземляющим. Именно сигнал с заземляющего электрода используется для подавления синфазной помехи от питающей сети (рис. 7).

Коэффициент подавления синфазной помехи (англ. common-mode rejection ratio, CMRR) обычно рассчитывают в децибелах (дБ). Чем выше коэффициент подавления, тем меньше влияние электрической питающей сети на качество регистрируемого ЭЭГ-сигнала.

Иногда одного только аппаратного подавления синфазной помехи оказывается недостаточно, например при работе ЭЭГ-регистратора в непосредственной бли-



- 1 Амплитуда пика / Peak amplitude
- 2 От пика до пика / Peak-to-peak
- 3 Среднее квадратичное отклонение / Standard deviation
- 4 Период волны / Wave period

Рисунок 6. Параметры измерения сигнала

Figure 6. Signal measurement parameters

ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЙ УСИЛИТЕЛЬ / DIFFERENTIAL AMPLIFIER

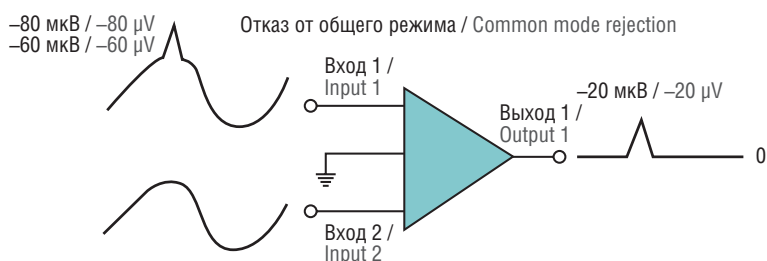
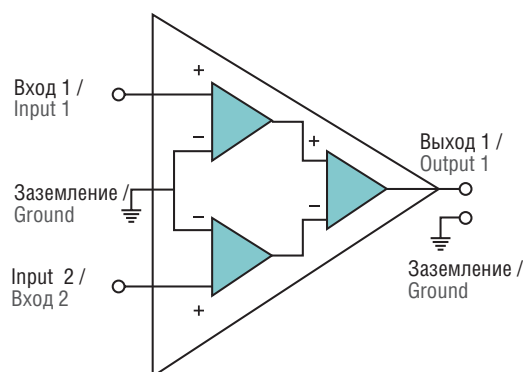


Рисунок 7. Организация обратной связи для подавления синфазной помехи позволяет отсеивать синусоидальную составляющую, наведенную на полезный сигнал питающей сетью

Figure 7. Organizing feedback for common mode rejection to filter out a sinusoidal component induced by supply circuit on desired signal

ДЕТАЛИ / DETAILS



зости от источников переменного тока. В таких случаях на помощь приходят программные цифровые фильтры, реализованные в компьютерном программном обеспечении и работающие с сигналом ЭЭГ, который уже зарегистрирован, непосредственно перед выводом его на дисплей монитора [9]. В совокупности аппаратный и программный фильтры в большинстве случаев позволяют избавиться от проблем с сетевой наводкой при регистрации ЭЭГ.

Важно отметить, что программные цифровые фильтры работают тем качественнее, чем выше частота квантования записанного сигнала, но вычислительных ресурсов на их работу при этом расходуется больше.

Входной диапазон по амплитуде / Input amplitude range

Каждый усилитель и каждый АЦП имеет рабочий диапазон амплитуд, с которым он может функционировать. При превышении этого диапазона схемотехника уходит в режим насыщения, или «зашкал» (см. рис. 5).

Средняя амплитуда ЭЭГ-сигнала здорового человека обычно не превышает 100–200 мкВ от пика до пика. Амплитуда биоэлектрической активности головного мозга, зарегистрированная со скальпа во время эпилептического приступа, может составлять 500–1000 мкВ и более (рис. 8), а во время записи с инвазивных ЭЭГ-электродов или при разного рода артефактах записи амплитуда регистрируемого сигнала может достигать десятков и сотен милливольт.

Так какой же входной диапазон амплитуд должен быть у современного ЭЭГ-регистратора? Как минимум он должен работать в диапазоне ± 12 мВ, чтобы обеспечивать отображение эпилептиформной активности и не уходить в «зашкал» при высокоамплитудных артефактах. Но есть еще такое явление, как поляризация регистрирующих электродов, которая дает постоянное смещение регистрируемого усилителем сигнала (ранее упоминалось, что качество регистрации ЭЭГ-сигнала зависит от используемых ЭЭГ-электродов). Поляризация электродов зависит от качества материала, из которых они изготовлены, и может достигать 300 мВ. Таким образом, современный ЭЭГ-регистратор должен обеспечивать запись сигнала в диапазоне ± 12 мВ с компенсацией постоянной составляющей до 300 мВ. Такие показатели

были достижимы при применении 16-битных АЦП. С появлением 24-битных АЦП современные ЭЭГ-регистраторы могут существенно расширять регистрируемый диапазон амплитуд при сохранении высокой точности оцифровки сигнала и имеют входной диапазон до нескольких сотен милливольт.

Входной диапазон по частоте / Input frequency range

Так же как ограничения по амплитуде, каждый регистратор ЭЭГ имеет свои ограничения по частотному диапазону регистрируемого сигнала, который складывается из нижней и верхней частот пропускания (рис. 9).

Фильтр нижних частот служит для подавления высокочастотных колебаний, таких как миографические артефакты, сетевая наводка. Фильтр верхних частот предназначен для подавления медленноволновых колебаний и компенсации постоянной составляющей сигнала, которая может возникать вследствие поляризации ЭЭГ-электродов. Полосовой фильтр может применяться для выделения из сигнала определенного частотного диапазона, например только альфа-ритма. Режекторный фильтр используется для подавления заданного частотного диапазона, например сетевой наводки 50 или 60 Гц.

Перечисленные фильтры обычно можно включить или выключить, а также задать частоту среза для каждого из них в программном обеспечении для регистрации и анализа ЭЭГ [9]. Но и аппаратно каждый ЭЭГ-регистратор имеет ограниченный частотный диапазон регистрируемого сигнала. Так, первые ЭЭГ-регистраторы могли записывать сигнал в полосе частот от 0,5 до 35 Гц. В соответствии с Рекомендациями экспертного совета по нейрофизиологии Российской Противоэпилептической Лиги по проведению рутинной ЭЭГ от 2016 г. [10] в настоящее время для записи ЭЭГ-сигнала используется частотный диапазон от 0,5 до 70 Гц. Практически каждый современный ЭЭГ-регистратор позволяет записывать такой сигнал. Но иногда необходимо просмотреть ЭЭГ-сигнал в более широком частотном диапазоне – например, оценить сверхмедленные колебания или, напротив, высокочастотные осцилляции [11]. В этом случае требуется ЭЭГ-регистратор с более широкой полосой пропускания по частоте и с высокой частотой квантования. Именно поэтому в современных

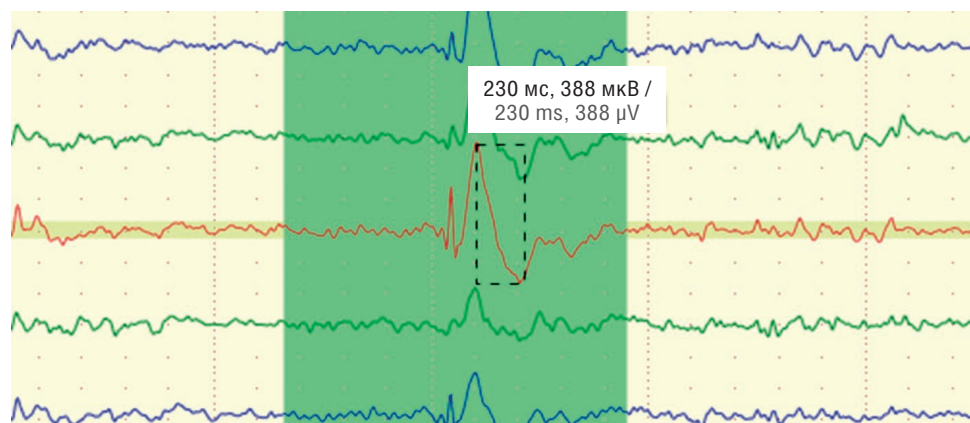


Рисунок 8. Пример измерения амплитуды эпилептиформного графоэлемента «спайк – медленная волна», зарегистрированного со скальповых электродов

Figure 8. A representative amplitude measurement for spike-slow wave epileptiform graphoelement recorded from scalp electrodes

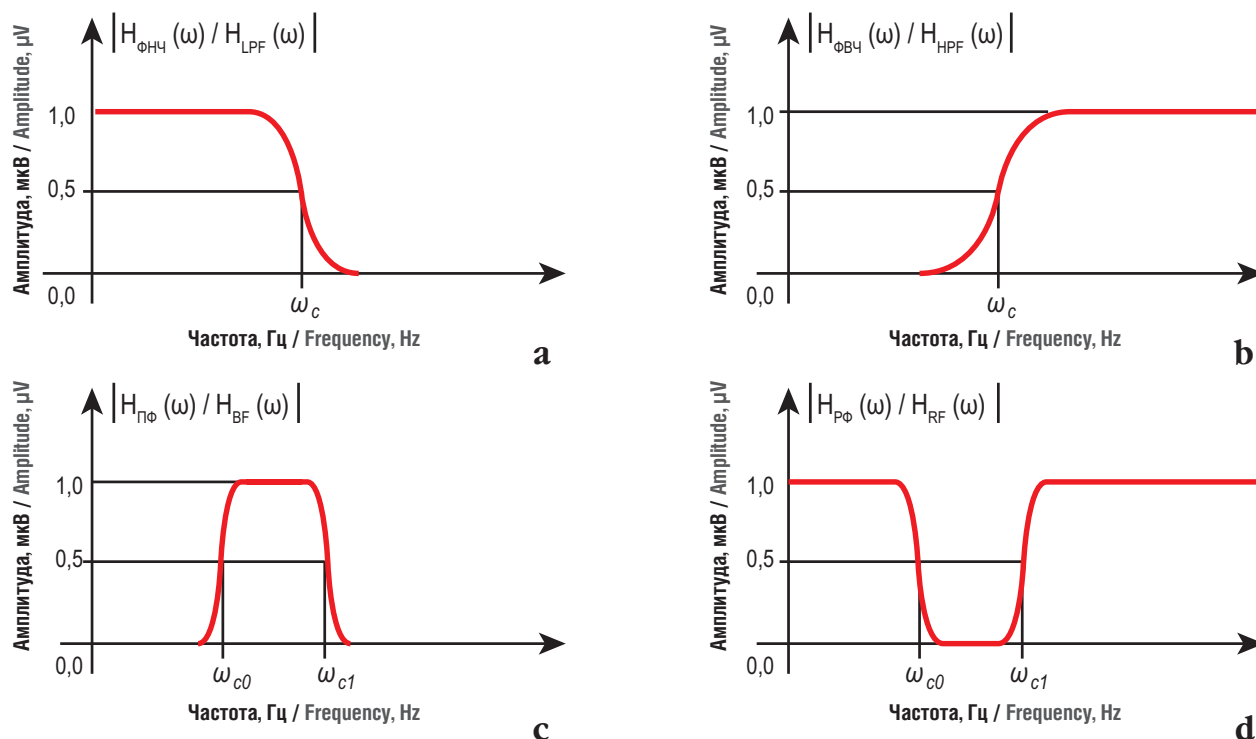


Рисунок 9. Пример амплитудно-частотных характеристик различных фильтров:

a – фильтр нижних частот (ФНЧ); **b** – фильтр верхних частот (ФВЧ); **c** – полосовой фильтр (ПФ); **d** – режекторный фильтр (РФ)

Figure 9. A representative filter-specific amplitude-frequency characteristics.

a – low pass filter (LPF); **b** – high pass filter (HPF); **c** – band filter (BF); **d** – rejection filter (RF)

электроэнцефалографов все чаще применяются так называемые каналы постоянного тока, которые способны регистрировать сигнал в частотном диапазоне от 0 до 600 Гц.

Входное сопротивление усилителя / Amplifier input impedance

Еще одной важной характеристикой аппаратуры для точной записи регистрируемого ЭЭГ-сигнала является входное сопротивление усилителя, которое служит мерой того, насколько точно усилитель может измерять электрический потенциал без внесения искажений.

Поскольку сопротивление электродов обычно не равно нулю, важно иметь высокое входное сопротивление усилителя, для того чтобы можно было получить точный незашумленный сигнал. Обычно усилители ЭЭГ имеют входное сопротивление (импеданс) не менее 100 МОм, что обеспечивает достаточную точность измерения даже с электродами, имеющими высокое сопротивление. Так, например, при величине входного сопротивления усилителя 1 МОм импеданс электродов для удовлетворительной регистрации ЭЭГ не должен превышать 20 кОм. Увеличение входного сопротивления до 100 МОм дает возможность отводить потенциалы с электродов с худшим импедансом. Тем не менее, каким бы высоким ни был входной импеданс ЭЭГ-регистратора, на практике необходимо всегда добивать-

ся минимально возможного импеданса при наложении регистрирующих ЭЭГ-электродов.

СРАВНЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК / COMPARISON OF TECHNICAL PARAMETERS

Начиная с 2023 г. Росздравнадзор начал публиковать на своем сайте руководства по эксплуатации всех зарегистрированных медицинских изделий [2]. Поскольку руководство по эксплуатации электроэнцефалографа содержит его технические характеристики, это позволило провести объективное сравнение ЭЭГ-оборудования, зарегистрированного в России.

Результаты впервые выполненного объективного сопоставления технических характеристик доступных в России электроэнцефалографов отечественного и импортного производства представлены в **таблице 1**. Сравнение выполнено только на основании данных, опубликованных на сайте Росздравнадзора [2]. Информация с сайтов производителей и из рекламных брошюр не использовалась, т.к. сведения зачастую не соответствуют официальным параметрам оборудования, которые при сертификации подвергаются проверке в тестовых лабораториях.

В сравнение вошли шесть электроэнцефалографов: четыре отечественных и два импортных. Сопоставление проводилось по каждому техническому параметру, опи-

Таблица 1. Сравнение технических характеристик электроэнцефалографического (ЭЭГ) оборудования, доступного в России (по данным Росздравнадзора [2])
Table 1. Comparison of technical characteristics for electroencephalographic (EEG) equipment available in Russia (according to Roszdravnadzor data [2])

Параметр / Parameter	Электроэнцефалограф / Electroencephalograph					БЕ Plus 64
	Мицар ЭЭГ-202 / Mizar EEG-202	Энцефалан-ЭЭГР-19/26 // Encephalan-EEGR-19/26	Нейрон-Спектр-65 / Neuron-Spectrum-65	Компакт-Нейро / Compact-Neuro	EEG-1200K	
Производитель (город, страна) / Manufacturer (city, country)	Мицар (Санкт-Петербург, Россия) / Mizar (St. Petersburg, Russia)	Медиком МТД (Таганрог, Россия) / Medicom MTD (Taganrog, Russia)	Нейрософт (Иваново, Россия) / Neurosoft (Ivanovo, Russia)	Нейротех (Таганрог, Россия) / Neurotech (Taganrog, Russia)	Nihon Kohden (Япония) / Nihon Kohden (Japan)	EBNeuro (Италия) / EBNeuro (Italy)
Регистрационное удостоверение / Certificate of registration	ФСР 2010/07960 № 36272 от 18.06.2019 // FSR 2010/07960 No. 36272 dated 18.06.2019	ФСР 2009/05646 № 6988 от 07.11.2014 // FSR 2009/05646 No. 6988 dated 07.11.2014	РЗН 2019/8123 № 30711 от 12.02.2019 // RZN 2019/8123 No. 30711 dated 12.02.2019	ФСР 2011/11685 № 53965 от 12.07.2021 // FSR 2011/11685 No. 53965 dated 12.07.2021	ФСЗ 2009/04202 № 36282 от 27.04.2009 // FZS 2009/04202 No. 36282 dated 27.04.2009	ФСЗ 2011/10629 № 45426 от 04.08.2020 // FZS 2011/10629 No. 45426 dated 04.08.2020
Частота квантования на один ЭЭГ-канал, Гц / Sample rate per a single EEG-channel, Hz	≤2000	250	100, 200, 500, 1000, 2000, 16 000	200, 512	100, 200, 500, 1000	128, 256, 512, 1024, 2048, 4096
Уровень внутренних шумов усилителя*, мкВ / Amplifier internal noise level*, μV	<1,5 / <0,25	<1,5 / –	<1,4 / <0,21	<1,5 / –	<1,5 / <0,53	– / <0,3
Поддавление синфазной помехи, дБ / Common mode rejection, dB	>100	>140 / >120**	>120	–	>105	>106
Входной диапазон по амплитуде, мВ / Input amplitude range, mV	100–300***	8 (±300)****	±350, 500, 650, 900, 1100*****	±2,5	±600	8 (±500)*****
Нижняя частота среза регистрируемого сигнала, Гц / Lower cutoff signal frequency, Hz	0; 0,16; 0,5; 1,6; 5	0,016; 0,05; 0,16; 0,5; 1,6; 5; 16	0–10*****	0,5	0,08	0,1
Верхняя частота среза регистрируемого сигнала, Гц / Upper cutoff signal frequency, Hz	15, 30, 70, 150	5, 15, 30, 70	5–600*****	81	300	1000
Разрядность АЦП, бит / ADC capacity, bit	24	16	24	16	16	16
Входное сопротивление усилителя, МОм / Amplifier input impedance, MOhm	>200	>200	>200	>90	>100	>100
Класс безопасности / Safety class	II BF	–	I CF	–	BF	–
Вид МИ в соответствии с номенклатурной классификацией МИ / MD type in accordance with MD nomenclature classification	291820	–	291820	–	–	247110
Код ОКП/ОКПД2 // ОК 005/ОК 034	26.60.12.121	94 4110	26.60.12.121	26.60.12.121	94 4110	26.60.12.129
Класс потенциального риска применения МИ / MD potential risk class	26 / 2b					

Примечание. АЦП – аналогово-цифровой преобразователь; МИ – медицинское изделие; ОКП – Общероссийский классификатор продукции; ОКПД2 – Общероссийский классификатор продукции по видам экономической деятельности.

* От пика до пика / действующее значение. ** При автономном питании / при питании от USB. *** В зависимости от исполнения. **** Допустимое смещение. ***** Задаётся в настройках.

Note. ADC – analog-to-digital converter; MD – medical device; ОК 005 – All-Russian Product Classifier; ОК 034 – All-Russian Product Classifier by types of economic activity.

* Peak-to-peak / effective range. ** Self-contained / USB supply. *** Version-specified. **** Allowable offset. ***** Specified in settings.

санному в данной статье. Следует отметить, что все ЭЭГ-регистраторы, попавшие в сравнение, соответствуют минимальным техническим требованиям, необходимым для записи ЭЭГ в соответствии с Рекомендациями экспертного совета по нейрофизиологии Российской Противозепилептической Лиги по проведению рутинной ЭЭГ от 2016 г. [10].

Так как автор является аффилированной стороной, в статье не приводятся никаких выводов из сравнения. Стоит только отметить, что современные отечественные электроэнцефалографы по своим техническим характеристикам не уступают импортным образцам, а зачастую и превосходят их.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Синкин М.В., Баранова Е.А. (ред.) Электроэнцефалография у пациентов отделений реанимации и интенсивной терапии. М.: Атмосфера; 2022: 88 с.
2. Государственный реестр медицинских изделий и организаций (индивидуальных предпринимателей), осуществляющих производство и изготовление медицинских изделий. URL: <https://roszdravnadzor.gov.ru/services/misearch> (дата обращения 03.09.2023).
3. Иванов А.А. Устройство современного электроэнцефалографа. *Эпилепсия и пароксизмальные состояния*. 2022; 14 (4): 362–78. <https://doi.org/10.17749/2077-8333/epi.par.con.2022.138>.
4. Лукин А. Введение в цифровую обработку сигналов (математические основы). URL: <https://audio.rightmark.org/lukin/dspcourse/dspcourse.pdf> (дата обращения 03.09.2023).
5. Лайонс Р. Цифровая обработка сигналов. 2-е изд. М.: Бином-Пресс; 2006: 656 с.
6. International League Against Epilepsy. Proposed guideline: minimum standards for recording routine and sleep EEG. URL: [https://www.ilae.org/guidelines/guidelines-and-reports/proposed-guideline-minimum-](https://www.ilae.org/guidelines/guidelines-and-reports/proposed-guideline-minimum-standards-for-long-term-video-eeeg-monitoring)

REFERENCES:

1. Sinkin M.V., Baranova E.A. (Eds.) Electroencephalography in patients of intensive care units. Moscow: Atmosfera; 2022: 88 pp. (in Russ.).
2. State Register of medical products and organizations (individual entrepreneurs) engaged in the production and manufacture of medical products. Available at: <https://roszdravnadzor.gov.ru/services/misearch> (in Russ.) (accessed 03.09.2023).
3. Ivanov A.A. The structure of modern EEG recorder. *Epilepsia i paroksizmal'nye sostoania / Epilepsy and Paroxysmal Conditions*. 2022; 14 (4): 362–78 (in Russ.). <https://doi.org/10.17749/2077-8333/epi.par.con.2022.138>.
4. Lukin A. Introduction to digital signal processing (mathematical foundations). Available at: <https://audio.rightmark.org/lukin/dspcourse/dspcourse.pdf> (in Russ.) (accessed 03.09.2023).
5. Lyons R. Understanding digital signal processing. 2nd ed. Prentice Hall; 2004: 736 pp.
6. International League Against Epilepsy. Proposed guideline: minimum standards for recording routine and sleep EEG. Available at: <https://www.ilae.org/guidelines/guidelines-and-reports/proposed-guideline-minimum-standards-for-long-term-video-eeeg-monitoring> (accessed 29.11.2022).

Сведения об авторе

Иванов Алексей Алексеевич – руководитель отдела управления продуктами ООО «Нейрософт» (Иваново, Россия). ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2605-6830>. E-mail: iva@neurosoft.com.

About the author

Alexey A. Ivanov – Head of Product Management Department, Neurosoft LLC (Ivanovo, Russia). ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2605-6830>. E-mail: iva@neurosoft.com.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ / CONCLUSION

В статье представлен перечень технических характеристик современного оборудования для регистрации ЭЭГ, описано влияние каждого параметра на качество регистрируемого сигнала, а также выполнено сравнение технических характеристик электроэнцефалографов, зарегистрированных на территории России. Понимание значения технических параметров должно помочь специалистам в области регистрации и анализа ЭЭГ правильно выбирать оборудование и задавать корректные настройки его параметров при работе.

- standards-for-long-term-video-eeeg-monitoring (дата обращения 29.11.2022).
7. Важенин В.Г., Марков Ю.В., Лесная Л.Л. Аналоговые устройства на операционных усилителях. Екатеринбург: Издательство Уральского университета; 2014: 107 с.
8. Приказ Минздрава России от 25.12.2014 № 908н «О порядке установления диагноза смерти мозга человека». URL: <https://base.garant.ru/71021232/> (дата обращения 29.11.2022).
9. Иванов А.А. Обзор возможностей современного программного обеспечения для регистрации и анализа ЭЭГ. *Эпилепсия и пароксизмальные состояния*. 2023; 15 (1): 53–69. <https://doi.org/10.17749/2077-8333/epi.par.con.2023.144>.
10. Рекомендации экспертного совета по нейрофизиологии Российской Противозепилептической Лиги по проведению рутинной ЭЭГ. *Эпилепсия и пароксизмальные состояния*. 2016; 8 (4): 99–108.
11. Синкин М.В., Кваскова Н.Е., Брутян А.Г. и др. Русскоязычный словарь терминов, используемых в клинической электроэнцефалографии. *Нервные болезни*. 2021; 1: 83–8. <https://doi.org/10.24412/2226-0757-2021-12312>.
7. Vazhenin V.G., Markov Yu.V., Lesnaya L.L. Analog devices on operational amplifiers. Yekaterinburg: Ural University Publishing House; 2014: 107 pp. (in Russ.).
8. Order of the Ministry of Health of the RF of 25.12.2014 No. 908n "On the procedure for establishing the diagnosis of human brain death". Available at: <https://base.garant.ru/71021232/> (in Russ.) (accessed 29.11.2022).
9. Ivanov A.A. Overview of current software capabilities for EEG recording and analyzing. *Epilepsia i paroksizmal'nye sostoania / Epilepsy and Paroxysmal Conditions*. 2023; 15 (1): 53–69 (in Russ.). <https://doi.org/10.17749/2077-8333/epi.par.con.2023.144>.
10. Guidelines for carrying out of routine EEG of Neurophysiology Expert Board of Russian League Against Epilepsy. *Epilepsia i paroksizmal'nye sostoania / Epilepsy and Paroxysmal Conditions*. 2016; 8 (4): 99–108 (in Russ.).
11. Sinkin M.V., Kvaskova N.E., Broutian A.G., et al. Russian glossary of terms used in clinical electroencephalography. *Nervnye bolezni / Nervous Diseases*. 2021; 1: 83–8 (in Russ.). <https://doi.org/10.24412/2226-0757-2021-12312>.