

# Прикладні аспекти: медико-біологічні вимірювання

УДК 656.7.071 (045)

Е.В. Булыгина<sup>1</sup>, Е.Т. Володарский<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Национальный авиационный университет, Киев, Украина*

<sup>2</sup> *Национальный технический университет Украины «КПИ», Киев, Украина*

## АНАЛИЗ ИСТОЧНИКОВ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ АППАРАТУРНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ БИОРИТМОВ КОРЫ ГОЛОВНОГО МОЗГА

*Рассмотрены основные этапы системного анализа факторов, влияющих на неопределенность процесса измерения и постановки диагноза при исследовании биоритмов коры головного мозга, а также проведен анализ методов оценивания их неопределенности.*

**Ключевые слова:** *сигналы биоритмов, неопределенность, электроэнцефалограф, кора головного мозга, измерительный канал, стационарность процесса.*

### Введение

В медицинской практике для оценки состояния здоровья человека применяется широкий класс диагностического оборудования. В частности, для оценивания психофизиологического состояния человека исследуется кора головного мозга с использованием электроэнцефалографа, который воспринимает потенциалы, измеряет их, обрабатывает и выдает информацию о биоритмах коры головного мозга (КГМ). При этом основной задачей использования электроэнцефалографии является дифференциальная диагностика и, прежде всего, выявление или исключение признаков органического поражения центральной нервной системы. Многоэтапность исследования, присутствие субъективного фактора, невозможность формализации некоторых процедур не позволяют достоверно оценить состояние пациента. Выявление источников неопределенности позволяет вносить корректирующие действия при организации исследования, снижая тем самым неопределенность результатов.

### Основная часть

В статье уделяется внимание методическому подходу к определению и анализу факторов, влияющих на степень неопределенность результатов измерений биоритмов коры головного мозга, которые показаны на структуре причинно-следственных факторов, представленной на рис.1.

Основные факторы выделены исходя из стандартной процедуры применения электроэнцефалографов (ЭЭГ). К ним относятся факторы, характеризующие объект исследования, конструктивное исполнение канала измерения, а также методы обработки информации, по отношению к которым и проведен классификационный анализ.

Поскольку объектом исследования является КГМ важно учитывать категорию темперамента, уро-

вень психофизиологического состояния (ПФС) оператора, сопротивление кожной поверхности головы.

Измеряемые сигналы КГМ имеют стохастический характер, который в большей степени определяется психофизиологическим состоянием (ПФС) человека. В свою очередь, ПФС зависит от ряда факторов:

– *параметрического* (возраст, пол, трохандерный индекс);

– *психического* (состояние центральной нервной системы, идентификация сознания индивидуума);

– *физиологического* (состояние органов нейроморальной системы). Отмеченные частные факторы определяют необходимость проводить классификацию людей как по параметрическим, физиологическим, так и по психическим признакам. Такой подход позволяет определить и систематизировать параметры ригидности (негибкости), что, в свою очередь, приводит к психофизиологической индивидуализации человека. Как показали исследования, в этом случае существенно возрастает достоверность результатов измерения биоритмов КГМ при проведении диагностирования психического и физиологического состояния отдельно взятых частей мозга. В основу методики отмеченной классификации положен принцип распределения людей (операторов) по категориям темперамента. Для достижения этой цели разработаны и практически используются специальные программы [1].

Кроме отмеченного, на достоверность результатов исследования КГМ влияет фактор сопротивления участков кожи головы в местах установки датчиков. Неоднородность сопротивления кожной поверхности искажает реальную картину распределения потенциалов, что вносит неопределенность при их измерении.

В биоэлектрическом поле коры головного мозга, как известно, проявляются девять сигналов биоритмов.

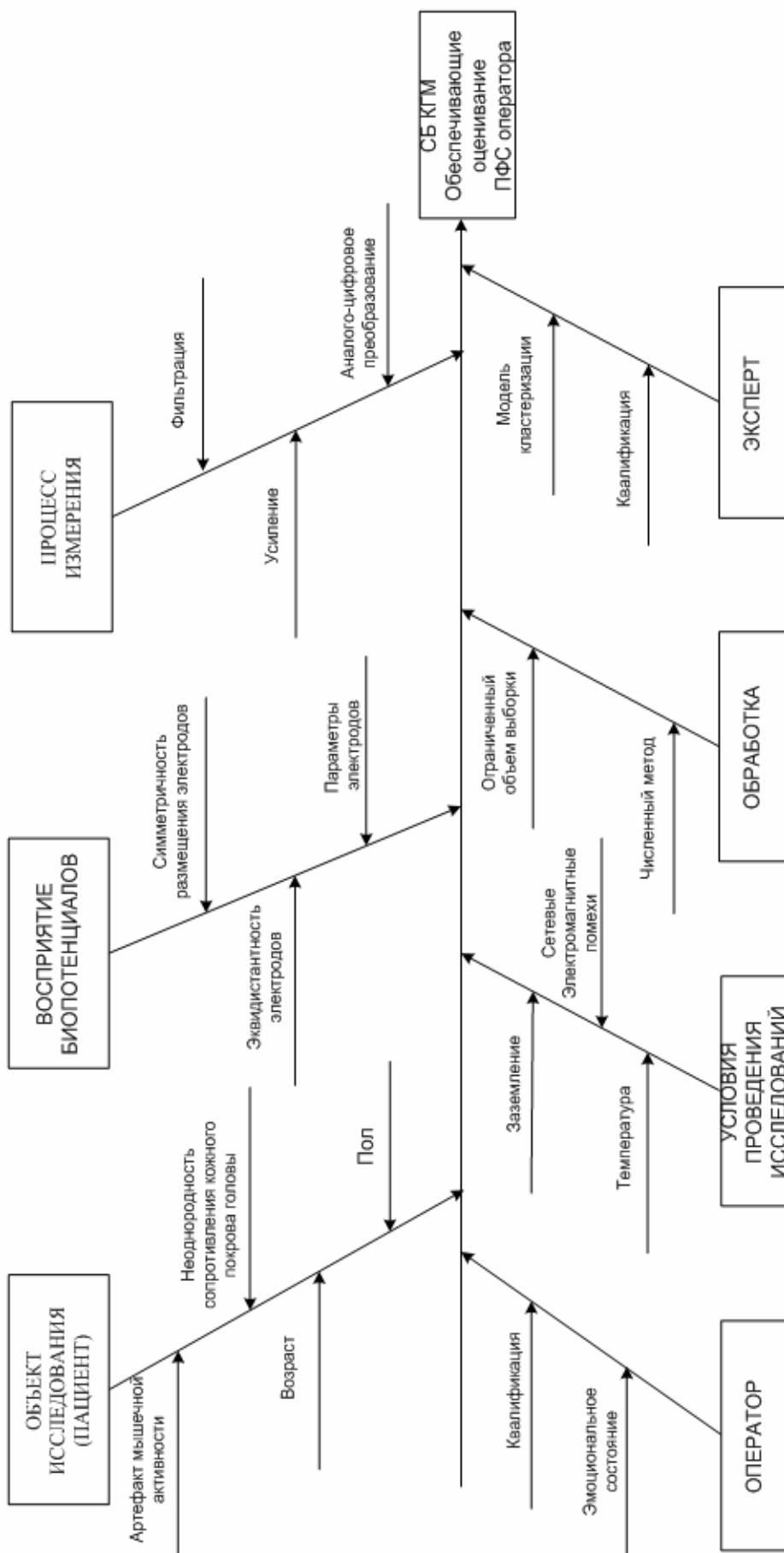


Рис. 1. Структура причинно-следственных факторов

В практическом аспекте указанные биоритмы характеризуются частотой и амплитудой. Каждый из биоритмов несет информацию о функциональном состоянии определенных участков КГМ и нейрогуморальной системы. Из проведенного анализа всех биоритмов следует, что они имеют перекрывающиеся параметрические характеристики, как по амплитуде, так и по частоте. Этот факт затрудняет выделение из сигнала биоритма составляющую, соответствующую отдельному биоритму, характеризующему определенную дисфункцию КГМ [2]. Одним из основных факторов, влияющих на неопределенность результатов измерения биоритмов, является организация и конструктивное исполнение канала измерения биосигналов КГМ.

При организации исследований необходимо следить за тщательностью выполнения методики измерений. При расположении электродов на голове обследуемого используемые схемы отведений должны отвечать основным требованиям. Во-первых, в схеме отведения должны быть представлены все основные отделы поверхности мозга: лобные, центральные, теменные, затылочные, передние и задние височные. Во-вторых, электроды должны располагаться симметрично относительно срединной линии головы, т.к. одной из основных выходных характеристик нормальной ЭЭГ является ее симметричность [3]. В-третьих, расстояния между всеми соседними электродами должны быть одинаковыми, поскольку разность потенциалов зависит от расположения электродов. Кроме того, на этапе реализации процесса измерений существенное влияние на неопределенность их результатов оказывает квалификация и субъективные характеристики оператора.

Измерительный канал ЭЭГ является сложным техническим устройством, включающим устройства восприятия измерительной информации, усиления, фильтрации, аналого-цифрового преобразования, а также устройства обработки данных.

Для восприятия и преобразования сигналов биоритмов используют специальные датчики, которые по своим характеристикам относятся к абсолютно неполяризованным электродам. Эта особенность обеспечивает необходимый уровень эффективности регенерации хлорсеребряными электродами биосигналов КГМ [4]. При этом на неопределенность результатов измерения биоритмов оказывают влияние: возникновение электродных потенциалов и межэлектродного напряжения; наличие эффекта поляризации; наличие электрокинетического явления при механическом перемещении датчиков. При такой системе регистрации потенциалы, генерируемые мозгом, существенно искажаются вследствие влияния покровов мозга и особенностей ориентации электрических полей при различном взаимном расположении отводящих электродов. Эти изменения отчасти обусловлены суммацией, усреднением и ослаблением потенциалов за счет шунтирующих свойств сред, окружающих мозг.

Кроме того, помимо амплитудных и частотных искажений, различия в ориентации отводящих электродов вызывают также изменения фазы регистрируемой активности.

Разность электрических потенциалов на поверхности покровов головы имеет относительно небольшую амплитуду, в норме не превышающую 100 – 150 мкВ. Для регистрации таких слабых потенциалов используют усилители с большим коэффициентом усиления (порядка 20000 – 100000). Учитывая, что регистрацию ЭЭГ практически всегда производят в помещениях, снабженных устройствами передачи и эксплуатации промышленного переменного тока, создающими мощные электромагнитные поля, применяют дифференциальные усилители. Эффективность данного подхода обусловлена тем, что голова представляет собой объемный проводник, ее поверхность практически эквипотенциальна в отношении источника помех, действующих извне. Таким образом, помеха прикладывается ко входам усилителя в виде синфазного напряжения.

Для обеспечения полосы пропускания усилителя, соответствующей частоте изучаемого биоритма, в каждый канал вводятся регулируемые фильтры высокой и низкой частоты. Фильтры низкой частоты используют обычно в тех случаях, когда в записи присутствуют высокочастотные помехи, которые не могут быть исключены иным способом. В частности, при обследовании некоторых больных невозможно добиться достаточного расслабления. В таких случаях для исключения из электроэнцефалограммы артефакта мышечной активности производится фильтрация.

Выделенный сигнал соответствующего биоритма в дальнейшем подвергается аналого-цифровому преобразованию. Неопределенность аналого-цифрового преобразования обусловлена его разрядностью, линейностью характеристики и влиянием температуры окружающей среды.

Канал измерения заканчивается системой обработки данных. На этом этапе производится обстоятельный качественный и количественный анализ выходных сигналов ЭЭГ. Результатом такого анализа является:

– оценка качества записи и дифференциация артефактов от собственно электроэнцефалографических феноменов;

– частотная и амплитудная характеристики ЭЭГ; выделение характерных графоэлементов на ЭЭГ; определение их пространственного и временного распределения; оценка наличия и характера переходных явлений на ЭЭГ, а также определение локализации источников различного типа потенциалов в мозге;

– физиологическая и патофизиологическая интерпретация данных и формулирование диагностического заключения.

Неопределенность результатов зависит от эффективного использования методов обработки информации. При этом статистические методы обработки основываются на том, что фоновая ЭЭГ имеет характер стационарности и стабильности, хотя в действительности она квазистационарна. В последующем обработка

сигналов биоритмов осуществляется с использованием преобразования Фурье, что позволяет получить волновые паттерн-фондовые ЭЭГ в частотной области и установить распределение мощностей по каждой частотной составляющей. Использование преобразования Фурье позволяет получить ряд новых характеристик биосигналов, таких, например, как спектральная плотность, характер и время переходного процессов. Например, при исследовании реакции при стрессовых нагрузках информативным является время изменения состояния. Принимая во внимание низкую частоту биосигналов и необходимость одновременного анализа частотных и временных параметров, применяется вейвлет-преобразование.

Таким образом, выбор соответствующих методов обработки биопотенциалов не только существенно снижает уровень неопределенности результатов измерения, но и повышает информативность выходных сигналов ЭЭГ, т.е. диагностическую значимость, что является важным моментом при формировании клинического заключения.

Согласно рекомендациям [5] Международной федерации обществ электроэнцефалографии и клинической нейрофизиологии основным медицинским документом по ЭЭГ является клинико-электроэнцефалографическое заключение, написанное сертифицированным специалистом с высшей квалификацией. Специалист-эксперт является заключительным звеном в оценивании результата исследований. Его квалификация, практический опыт и субъективные характеристики с очевидностью влияют на неопределенность, связанную с формулированием клинического заключения.

Как следует из проведенного анализа источников неопределенности при исследовании биоритмов коры головного мозга, существенное влияние на достоверность результата оказывают факторы, носящие качественный характер, которые не могут быть формализованы в том, или ином виде. Невозможность аналитического представления влияний большинства внутренних и внешних факторов приводит к невозможности нахождения их коэффициентов влияния. Следовательно, модельный подход для оценки неопределенности, описанный в [6], в данном случае использоваться не может.

Подход «сверху-вниз», рассмотренный в [7] также имеет ограничения, поскольку он предполагает наличие нормированных характеристик прецизионности, полученных на однородном образце. Однако при медико-биологических исследованиях нет возможности обеспечить однородность характеристик пациентов (например, различный темперамент), на

основании анализа результатов исследований которых оценивается допустимое рассеивание. Кроме того, необходимо учитывать и квалификацию экспертов, формирующих «однородные» группы.

Отсутствие уверенности в нормальном распределении изучаемых параметров приводит к необходимости применения робастных методов статистического анализа, базирующихся на критерии наименьшего модуля отклонения, с последующей итерационной процедурой оценивания характеристик рассеяния выходной величины. Такой подход совместно с многоуровневым дисперсионным анализом и аналитическим представлением аппаратурных составляющих неопределенности, позволит оценить суммарную неопределенность результата исследования, а также вклад в нее каждого этапа исследования.

## Выводы

При проведении медико-биологических исследований существенный вклад в неопределенность результатов вносят этапы, не имеющие формального аналитического описания.

Для оценивания неопределенности, связанной с результатом ЭЭГ, необходимо применять интегрированный подход с использованием робастных методов оценивания, что может являться предметом дальнейших исследований.

## Список литературы

1. Айзенк Г. Проверьте свои интеллектуальные способности / Г. Айзенк. – Рига : Виеда, 1992. – 176 с.
2. Булигіна О.В. Концептуальна модель оцінювання психофізіологічного стану операторів екстремальних видів діяльності / О.В. Булигіна, В.Г. Гамов // Вісник ЦНЦ ТАНУ. – К., 2010.
3. Приборы и аппараты медицинские / Е.А. Бейгул, Т.В. Горелова, Ю.Н. Завьялов и др. – М. : Информприбор, 1990. – 152 с.
4. Прайор П.Ф. Мониторный контроль функций мозга / П.Ф. Прайор. – М.: Медицина, 1982. – 327 с.
5. International Federation of Societies for Electroencephalography and Clinical Neurophysiology. Recommendations for the practice of clinical neurophysiology, 1983.
6. Руководство по выражению неопределенности измерения: пер. с англ. / Под. ред. В.А. Слаева. – СПб.: ГП ВНИИМ им. Д.И.Менделеева, 1999. – 126 с.
7. Guidance for the use of repeatability, reproducibility and trueness estimates in measurement uncertainty estimation: ISO/TS 21748:2004. – (Международный стандарт).

Поступила в редколлегию 16.01.2012

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Ю.П. Мачехин, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков.

## АНАЛІЗ ДЖЕРЕЛ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ РЕЗУЛЬТАТІВ АПАРАТУРНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ БІОРИТМІВ КОРИ ГОЛОВНОГО МОЗКУ

О.В. Булигіна, С.Т. Володарський,

*Розглянуто основні етапи системного аналізу факторів, що впливають на невизначеність процесу вимірювання та постановки діагнозу при дослідженні біоритмів кори головного мозку, а також проведено аналіз методів оцінювання їх невизначеності.*

**Ключові слова:** сигнали біоритмів, невизначеність, електроенцефалограф, кора головного мозку, вимірювальний канал, стаціонарність процесу.

**THE ANALYSIS OF SOURCES OF UNCERTAINTY OF THE RESULTS OF STUDIES EQUIPMENT  
OF BIORHYTHMS OF THE CEREBRAL CORTEX**

E.V. Bulygyna, E.T. Volodarsky

*The main stages of system analysis of factors affecting the uncertainty of the measurement and diagnosis in the study of biological rhythms of the cerebral cortex, and an analysis of methods for estimating their uncertainty.*

**Keywords:** signals of biorhythms, uncertainty, EEG, cerebral cortex, the measuring channel, stationary of the process.