

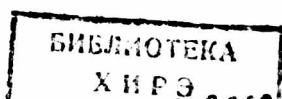
ДК 612.82.014.42.001.57

Г. А. КОЛОТЕНКО

СИНХРОННЫЕ И АСИНХРОННЫЕ ПОТЕНЦИАЛЫ ГОЛОВНОГО МОЗГА.
СООБЩЕНИЕ 6

При исследовании операторской деятельности особое значение придается вопросу прогнозирования поведения оператора в условиях, при которых принятие решений и действия определяются не только профессиональной подготовкой, личным мастерством, но и чувством долга, моральной ответственностью, типологическими особенностями высшей нервной деятельности, направленностью личности, эмоциональной устойчивостью, характерологическими особенностями оператора АСУ.

В настоящее время в области эргономики проводятся исследования психофизиологических особенностей операторского труда, мотивации его трудовой деятельности, характера межличностных взаимоотношений. Однако эти исследования носят, как правило,



констатирующий характер. Большинство авторов предлагает решать проблемы операторов путем профотбора. Вместе с тем возможен дополнительный путь к разрешению указанной проблемы физиологическое воздействие на квалифицированных операторов обучение их способам саморегуляции психических функций.

В связи с этим проф. А. Т. Филатов предложил систему эмоционально-волевой тренировки (ЭВТ) применительно к деятельности операторов АСУ.

Исследования проводились по следующему плану.

1) Отработка предложенных модификаций ЭВТ на модели имитирующей деятельность оператора. Апробация проведена на испытуемых.

2) Применение разработанных психогигиенических форм в предприятии. Исследования проводились с операторами автоматизированных систем проектирования (АСП) на базе ордена Трудового Красного Знамени государственного научно-исследовательского и проектного института основной химии (НИОХИМ).

3) Обучение системе психогигиенических мероприятий врачей медсанчастей предприятий для внедрения разработанной совместно с проф. А. Т. Филатовым формы и организации психогигиены в операторскую деятельность АСУ, контроль и объективную нейрокибернетическую оценку ЭЭГ [1].

С испытуемыми и операторами АСП проведено 24 занятия ЭВТ. Параллельно проводилась регистрация ЭЭГ. Измерялась частота пульса, артериальное давление, температура кожи рук. Регистровалась ЭКГ. Предъявлялись тесты Нечаева, Платонова, «красно-черной» таблицы, анкеты Айзенка и Тейлора. В условиях функционального состояния головного мозга, определяемого аутосуггестией покоя, нейрокибернетический анализ ЭЭГ, основанный на принципах системно-физиологического подхода, явился удобным моделью для изучения особенностей операторов АСУ.

В данной статье приводятся экспериментальные материалы, полученные в лаборатории «Электрофизиологии» Харьковского НИИ неврологии и психиатрии. Анализировались ЭЭГ 20 испытуемых при различных суггестиях. Эти лица в возрасте 18—35 лет были обучены двум вариантам ЭВТ проф. А. Т. Филатовым и инженером-психологом А. Г. Лаговским. По окончании обучения ЭВТ испытуемые свободно вызвали необходимое функциональное состояние. Это было в дальнейшем подтверждено дополнительными исследованиями в лаборатории «Эргономики» Харьковского филиала ВНИИ технической эстетики [2].

Биполярная регистрация производилась по неполной международной системе: лобные, височные и затылочные ЭЭГ отведения соединены последовательно, заднетеменные — параллельно. Для снятия мышечных помех и артефактов в период регистрации ЭЭГ с помощью электроэнцефалографа французской фирмы «Альвар» испытуемые находились в положении лежа. Для анализа отобраны десятисекундные выборки. Кодирование потенциалов проведено на уровне 5 мкв.

Для оценки ЭЭГ предложен нейрокибернетический анализ, основанный на системе способов, представляющих модификацию ранее описанного кодирования ЭЭГ [1]. Система нейрокибернетического анализа ЭЭГ реализуется автоматически и вручную.

Так как ЭЭГ анализировались в период лабораторно-отрабочных испытаний устройства, то анализ 100 ЭЭГ выборок, освещенных в данной статье, произведен с помощью ручной обработки. Делалось это следующим образом: электроэнцефалограмму укрепляли на чертежной доске. Отмечали эпоху анализа (выборку), в которой относительно нулевой оси каждого отведения проводились параллельные линии отдельно для ЭЭГ колебаний каждой полярности на уровне 0,7 максимальной амплитуды U_{\max} минимальной активности (в соответствии с расчетными данными порога срабатывания логических элементов уровень может равняться $0,9 U_{\max}$, $0,5 U_{\max}$ и т. д.). Эти линии представляют условные уровни анализа, равные логической единице.

Из нелинейного ЭЭГ процесса выделяются случайные биоэлектрические события, имеющие импульсный характер, (потенциалы). Устанавливая вертикальную линейку перпендикулярно к уровням анализа, фиксируют количество потенциалов каждой полярности, равных или превышающих уровень анализа для всех отведений и в любых сочетаниях в соответствии с конъюнкцией. При конъюнкции (операции логического умножения) отсчет фиксируемых потенциалов производится от точки пересечения уровня анализа и переднего фронта запаздывающей фазы до точки пересечения уровня анализа и заднего фронта опережающей фазы.

Выделенный отрезок состоит из множества точек равного потенциала, поэтому любая линия, проходящая через этот отрезок, символизирует операцию логического умножения соответствующих ЭЭГ отведений и свидетельствует о временном совпадении потенциалов, возникших в зонах регистрации. Этот метод кодирует структуры пространственно-временных организаций синхронных связей между зонами регистрации ЭЭГ.

Второй метод предложенного анализа позволяет выделить расогласованные во времени, т. е. асинхронные потенциалы, появляющиеся в определенный момент времени на одном из ЭЭГ отведений. В результате отделяется полезная биоэлектрическая информация от ЭЭГ шума, образуются множества логических символов обеих полярностей. Затем синхронные и соответственно асинхронные закодированные потенциалы суммируются для каждого отведения ЭЭГ. Сочетания или иначе переключательные функции, отображающие структуры пространственно-временных организаций синхронных связей, ранжируются по вариационным рядам. Так как кодирование производится в двоичном счислении, одноразовое появление структуры соответствует единице веса и равно одному биту. За ЭЭГ выборку происходит суммирование единиц веса каждой структуры. Поэтому системы связей головного мозга характеризуются объемом веса или просто весом.

Отсортированные структуры пространственно-временных синхронных связей только между любыми переменными парами ЭЭГ отведений образуют вариационный ряд признаков C_3^2 , аналогично только из трехкомпонентных структур образуется вариационный ряд C_8^3 и т. д., наконец, формируется вариационный ряд C_8^3 , характеризующий генерализованные ЭЭГ колебаний. Переход от C_3^2 к C_8^3 соподчиняет вариационные ряды иерархическим рангам. Если структуры пространственно-временных организаций синхронных и соответственно позиции асинхронных связей рассматриваются изолированно, автономно друг от друга, тогда производится анализ спектральных систем связей головного мозга. Если же хотя бы один из компонентов структуры совмещается с системами связей других рангов, то такие системы синхронных связей головного мозга называются совмещенными.

Совмещенные и спектральные системы синхронных связей головного мозга существенно отличаются и при анализе взаимно дополняют пространственно-временные свойства ЭЭГ. Структуры совмещенных систем синхронных связей вариационного ряда C_8^2 , кроме появления на паре любых ЭЭГ отведений, войдут в состав каждого вариационного ряда более высшего ранга, начиная с C_8^3 и кончая C_8^8 . В свою очередь, структуры систем вариационного ряда C_8^3 , характеризуя синхронно-совмещенные потенциалы на любых трех переменных ЭЭГ отведениях, входят в состав каждого вариационного ряда более высокого ранга, т. е. C_8^4 , C_8^5 , ..., C_8^8 . Затем производится расчет числовых характеристик; математического ожидания веса систем синхронных и соответственно асинхронных связей, среднеквадратичного отклонения и т. д. В итоге строится гомоморфная модель спектральных и соответственно совмещенных систем синхронных связей головного мозга*. Прежде чем дать некоторые пояснения, проиллюстрируем гомоморфные модели совмещенных систем синхронных связей головного мозга.

Гомоморфная модель совмещенных систем синхронных связей двухкомпонентных структур устанавливает интенсивные и устойчивые изохронные связи между височной областью T_s левой стороны и затылочной O_d правой (диагонально-образная форма системы синхронных связей). Тенденция к появлению систем синхронных связей наблюдается для пар висок T_d — затылок O_d правой стороны, а также височными зонами обеих сторон. Системы синхронных связей T_s — O_d , хотя и интенсивны, но неустойчивы, системы T_d — O_d и T_d — T_s более стабильны, скучены и постоянны.

Системы синхронных связей трехкомпонентных структур принципиально не отличаются от систем двухкомпонентных структур. На фоне разнообразия, разнонаправленности, калейдоскопической пестроты хаотических пространственно-временных организаций потенциалов головного мозга четко выражена система синхронных связей T_s — T_d — O_d . Четырехкомпонентные структуры систем син-

* Результаты доложены автором на юбилейной научной конференции Украинского института усовершенствования врачей, посвященной 50-летию образования СССР, 31 мая 1972 г. в докладе на тему: «Изменения психофизиологического состояния операторов в период эмоционально-волевой тренировки».

хронных связей раскрывают диффузную пространственно-временную синхронизацию незначительной интенсивности, охватывая «по кольцу» лобные, височные, теменные и затылочные зоны и сводя системы синхронных связей $T_s—O_d$ к разнонаправленности, неустойчивости, малой степени надежности.

Переход совмещенных систем синхронных связей головного мозга от низшего ранга к последующему, высшему, как правило, снижает вес систем в 1,5—3,0 раза. Так как распределение синхронных и асинхронных связей фоновой ЭЭГ связан с механизмом случайного выбора, зависящего от набора возмущений, то не исключена возможность возникновения вероятностных структур пространственно-временных организаций в соответствии с «нейрональной комбинацией» [3].

Системы головного мозга, входящие в различные сочетания, имеют отличимые взаимодействия. Одна и та же система головного мозга может участвовать в разных сочетаниях, образуя различные пространственно-временные организации синхронных связей головного мозга. Увеличение числа взаимодействующих структурных компонентов сопровождается уменьшением их весовых характеристик. При разных возмущениях локальная пространственно-временная синхронизация интенсивна. Диффузная синхронизация характеризуется, как правило, размытостью, нечеткой выраженностью, но даже в такой ЭЭГ картине можно уловить вероятностные элементы.

Нейрокибернетический анализ систем синхронных связей пятикомпонентных структур обнаруживает одностороннюю систему синхронной связи между височно-затылочными отведениями с акцентом на левой стороне, а также двустороннюю систему синхронных связей затылочных областей.

В период аутосуггестии покоя доминируют односторонние височно-затылочные связи $T_s—O_s$ и $T_d—O_d$. Чтобы количественно сравнивать синхронные и асинхронные связи головного мозга по направленности их появления, нужно с каждой закодированной пространственно-временной организацией потенциалов головного мозга связать определенное число, которое назовем вероятностью варибельной структуры пространственно-временной организации синхронных и асинхронных связей головного мозга. Вероятность таких связей — численная мера степени объективной возможности их формирования. Вероятность определяется весом, поэтому структуры пространственно-временных организаций связей головного мозга, которые почти не происходят, условно названы маловероятными, случайными, стохастическими. Вероятные веса структур анализируемых систем связей головного мозга это те, что происходят, но не всегда. Вероятные события отражают тенденцию или общую направленность пространственно-временного синхронного и соответственно асинхронного функционирования церебральных систем.

В качестве единицы измерения условно принята достоверность события, подразумевающая такое идеальное, граничное состояние,

при котором структуры определенных пространственно-временных организаций головного мозга сформируются всегда. Если им присписать вероятность, равную единице, то все возможные, но не достоверные случайные биоэлектрические простые и сложные события будут характеризоваться вероятностями, меньшими единицы. Невозможными или недостоверными будут такие структуры пространственно-временных организаций синхронных и асинхронных связей головного мозга, которые не формируются. Диапазон измерения веса систем синхронных и асинхронных связей головного мозга колеблется в диапазоне от нуля до единицы.

Совокупности структур пространственно-временных организаций синхронных и асинхронных связей головного мозга образуют множества. Каждая структура имеет вес, величина которого зависит от длительности репрезентативной ЭЭГ выборки. Системы связей головного мозга, выделенные на меньшем уровне анализа, образуют множества по отношению к подмножеству, образованному на большем уровне анализа. Множества и подмножества веса соответствующей системы связей головного мозга находятся в вероятностной прямо пропорциональной зависимости от величин уровня анализа. Совокупность структур пространственно-временных организаций связей головного мозга, выраженная последовательно во времени, связана с понятием пространства множества и в частном случае характеризуется символической длиной логических единиц.

Генеральная совокупность выражает структуру и вес бесконечной длиной, выборочные совокупности определяются вероятностными интервалами веса и ограниченностью структур. Сумма двух генеральных совокупностей равна неопределенности. Поэтому при статистическом анализе биоэлектрических мозанк можно производить алгебраические операции с параметрами выборочных совокупностей ЭЭГ колебаний.

Выборочная совокупность может состоять из: 1) рассогласованных во времени биоэлектрических событий; 2) рассогласованных во времени с частичным совпадением; 3) строго совпадающих во времени в любом варианте. Так как веса совмещенных и несовмещенных потенциалов определены границами достоверности и недостоверности, то их принято считать интерполированными, т. е. находящимися внутри вероятностного интервала значений. Случайные биоэлектрические события представляются дискретными величинами, поэтому в основу их кодирования положена булева алгебра. Связь между потенциалами равных ЭЭГ отведений расматривается с точки зрения констатации наличия или отсутствия систем синхронных и асинхронных связей головного мозга.

Структуры пространственно-временных организаций синхронных и асинхронных связей головного мозга определяются временными связками. Логические операции представляют логические связи. Каждому сочетанию пространственно-временного расположения потенциалов соответствует определенная функция алгебры логики. На основании того, что потенциалы (по словам П. К. Ано-

ина) имеют «положительную и отрицательную компоненты», логические операции производятся с потенциалами положительной и соответственно отрицательной полярности. Потенциалы ниже уровня анализа соответствуют логическому нулю. Поэтому каждой комбинации можно сопоставить единичное (истинное) или нулевое (ложное) значение логической функции.

Число функции алгебры логики от двух переменных потенциалов равно $4^2=16$. Так как потенциалы могут принимать только два значения: либо существовать (1), либо отсутствовать (0), то функция переменных потенциалов, расположенных на различных ЭЭГ n -отведениях, имеет 2^n комбинации. При переменных потенциалах число функций алгебры логики равно 2^{2^n} .

Рассмотрим три функции алгебры логики от двух переменных. Для этого допустим, что каждое ЭЭГ отведение равно A, B, C . Согласно таблице истинности, используемой в технике, при конъюнкции выделялись бы только те структуры, которые отображали совпадение по длительности импульсов на пороговом уровне по всем ЭЭГ отведениям. В результате кодирования получили бы логическую единицу.

Операция логического сложения «ИЛИ» (дизъюнкция), используемая параллельно при логическом умножении, когда применяется система нейрокибернетического анализа, после кодирования производит аналогичные преобразования. При использовании для кодирования дизъюнкции отсчет производится от точки пересечения уровня анализа и переднего фронта опережающей фазы до точки пересечения уровня анализа и заднего фронта запаздывающей фазы. Кроме того, при дизъюнкции фиксируются не только совпадающие сигналы, но собираются одиночные, рассогласованные во времени. Синхронные потенциалы — зависимые (сложные) случайные биоэлектрические события, асинхронные — независимые (простые) события. Поэтому синхронные потенциалы могут быть получены как при конъюнкции, так и при дизъюнкции. Логическая операция «ИЛИ» отражает как бы переходный момент от одного свойства электрической активности головного мозга к другому.

Синхронные потенциалы, над которыми производятся операции логического умножения и сложения, обладают двойственным, эквивидуальным (двуединым, дуальным) характером. Дуальными называются такие алгебраические выражения синхронных потенциалов головного мозга, когда одно из них может быть получено из другого путем замены знаков (\cdot) на ($+$) и знаков ($+$) на (\cdot) того же сочетания. В соответствии с эквивидуальностью можно эквивалентно преобразовывать совмещенные (совместные, изохронные) потенциалы, синхронные потенциалы можно разделить на строго совпадающие (при конъюнкции), названные синфазными, и синхронные, полученные при дизъюнкции, когда при временном рассогласовании имеется некоторое совпадение по длительности импульсов.

Фильтрация «смешанных» множеств позволяет получить «монокроматические» множества синфазных (при конъюнкции), асин-

фазных (при дизъюнкции) и рассогласованных во времени (асинхронных) (также при дизъюнкции) потенциалов. Отделить множества закодированных структур можно при помощи переключательных логических функций. Логические переключательные функции иногда представляют соединениями ЭЭГ, в которых временный порядок потенциалов не играет роли, так как один признак отличается от другого по крайней мере положением, координатой потенциала. Если учитывать сочетательный характер структур пространственно-временных организаций, то число признаков из трех

ЭЭГ отведений по два равны: $C_3^2 = \frac{3 \cdot 2}{1 \cdot 2} = 3$. Обозначим синфазные S потенциалы каждой пары ЭЭГ отведений. Они соответственно равны асинфазным потенциалам ($A_s^{AB}, A_s^{AB}, A_s^{BC}$) $S^{AB} = A_s^{AB}$; $S^{AC} = A_s^{AC}$; $S^{BC} = A_s^{BC}$.

При логическом сложении происходит собирание асинхронных потенциалов O_g . К закодированным асинфазным потенциалам приплюсовываются потенциалы: $A_{s_1}^{AC} = A_s^{AC} + O_g^A + O_g^C = S^{AC} + O_g^C$; $A_{s_1}^{AB} = A_s^{AB} + O_g^A + O_g^B = S^{AB} + O_g^A + O_g^B$; $A_{s_1}^{BC} = A_s^{BC} + O_g^B + O_g^C = S^{BC} + O_g^B + O_g^C$. При минимизации параллелизм счета одиночных потенциалов каждого ЭЭГ отведения устраняется и формулы преобразуются так: $A^{AB} = A_s^{AB} + O_g^A = S^{AB} + O_g^A$; $A_{s_1}^{AC} = A_s^{AC} + O_g^C = S^{AC} + O_g^C$; $A_{s_1}^{BC} = A_s^{BC} + O_g^B = S^{BC} + O_g^B$, откуда число асинхронных потенциалов O_g , вошедших в сумму зарегистрированных потенциалов схемой „ИЛИ“ равно $O_g^A = A_{s_1}^{AB} - A_s^{AB} = A_{s_1}^{AB} - S^{AB}$; $O_g^B = A_{s_1}^{BC} - A_s^{BC} = A_{s_1}^{BC} - S^{BC}$; $O_g^C = A_{s_1}^{AC} - A_s^{AC} = A_{s_1}^{AC} - S^{AC}$. Множества синфазных и асинфазных потенциалов, закодированных по трем ЭЭГ отведениям, равны $A_s^{ABC} = S^{ABC}$.

Множество асинхронных потенциалов равно разности между множеством потенциалов, закодированных логическим сложением всех ЭЭГ отведений и их сочетаний, и суммой асинфазных (соответственно равных синфазным потенциалам) по трем и двум в разных сочетаниях ЭЭГ отведений: $O_g^{ABC} = A_{s_1}^{ABC} - (A_s^{ABC} + A_s^{AB} + A_s^{BC} + A_s^{AC}) = A_{s_1}^{ABC} - (S^{ABC} + S^{AB} + S^{BC} + S^{AC}) = O_g^A + O_g^B + O_g^C$. Роль сумматора может быть перенесена на потенциалы n ЭЭГ отведений.

Анализируя ЭЭГ, любой из 2^{2^n} функций алгебры логики структуры можно записать при помощи трех элементарных логических операций: «И», «ИЛИ», «НЕ». Набор элементарных функций логики обладает свойством полноты, если любая функция может быть записана при помощи элементарных функций, входящих в этот набор. В связи с тем, что любую функцию алгебры логики можно записать при помощи конъюнкции, дизъюнкции и инверсии набор элементарных функций является функционально полным.

Инверсия или отрицание «НЕ» представляет закодированные синхронные потенциалы противоположной полярности.

При анализе структур пространственно-временных организаций синхронных и асинхронных связей головного мозга достаточным является набор функций конъюнкции («И») и дизъюнкции («ИЛИ»). Можно производить нейрокибернетический анализ с использованием инверсии. Можно подсчитывать не только число совпадений, но и длительность совпадений определенных структур, выявляя их удельный вес за ЭЭГ выборку. При разработке анализирующего устройства опробованы сложные логические операции «И—НЕ» («штрих Шеффера») и «ИЛИ — НЕ» («стрелка Пирса»), полученные за счет соединения двух элементарных логических функций.

«Штрих Шеффера» позволяет фиксировать синфазные потенциалы в любом варианте ЭЭГ отведений, кроме случая совпадения потенциалов по всем ЭЭГ отведениям. «Стрелка Пирса», известная в электронике под названием равнозначности или эквивалентности, фиксирует отсутствие асинфазных и асинхронных потенциалов на всех отведениях. Для упрощения схемы логического устройства был принят набор логических функций «И», «ИЛИ». Поэтому при кодировании руководствовались следующими аксиомами.

1. Если $A, B, C...$ входят в состав множеств потенциалов своего ЭЭГ отведения, то логическое произведение этих потенциалов $A \cdot B \cdot C...$ характеризует строгое синхронное функционирование соответствующих зон головного мозга.

2. Если $A, B, C...$ входят в состав множеств любых потенциалов своего ЭЭГ отведения, то логическая сумма потенциалов $A + B + C...$ наряду с синхронизмом характеризует асинхронизм функционирования соответствующих участков головного мозга.

3. Перестановка синхронных потенциалов с одного ЭЭГ отведения на другое значения не имеет: $A + B + ... = B + A + ...$; $AB... = BA...$ Группирование синхронных потенциалов иллюстрирует абсолютную симметрию относительно операций дизъюнкции и конъюнкции. Набор логических функций «И», «ИЛИ» в предельном случае можно свести к операции логического умножения, на основании которого была разработана конъюнктивная методика нейрокибернетического анализа, описанная в данном сообщении.

В свете изложенного, анализ исследованных ЭЭГ традиционными амплитудным, частотным, спектральным методами, получение энергетических показателей представляется явно недостаточным для более и менее полного представления о сущности перестройки на уровне регуляторных, центрально-нервных механизмов. Такой локальный количественный анализ не удовлетворяет требованиям системно-физиологической оценки, так как не обеспечивает возможности контроля функциональных, лабильных изменений, установления и исчезновения систем синхронных связей головного мозга, самое существо которых наиболее полно отвечает представлению об устойчивом состоянии мозга, коррелирование

которого возможно только при улавливании утонченных отклонений в их зарождении и дозировании.

Вероятностно-статистическая концепция Шеннона-Винера, положенная в основу предложенного нейрокибернетического анализа, при проведении исследований в системно-физиологическом плане позволяет оценивать формально-логические эффекты с позиций нейрофизиологии, основываясь на учете, главным образом, вероятностных соотношений между различными системами головного мозга. В этом отличие от известных подходов количественного анализа, в этом несомненная практическая ценность. Применение предложенного нейрокибернетического анализа ЭЭГ позволяет уточнить динамику лабильных функциональных отношений между различными системами головного мозга. Объективизация методик психогигиены и применение их оценки в кибернетическом аспекте для решения эргономических задач создает предпосылки для раскрытия жизненно важных особенностей механизмов управления и регуляции функциональных состояний операторов в системе «человек—машина — внешняя среда».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Филатов А. Т., Колотенко Г. А., Лаговский А. Г. Оценка эмоционально-волевой тренировки по данным ЭЭГ и психологических тестов. — В кн.: Психотерапия и деонтология в комплексе лечения и реабилитации больных на курорте. Харьков, 1972, с. 77—78.
2. Колотенко Г. А., Лаговский А. Г. К вопросу о влиянии эмоционально-волевой тренировки на функции внимания, кратковременной памяти. — В кн.: Эргономика и художественное конструирование. Харьков, 1972, с. 14—16.
3. Мисюк Н. Модели механизма мозга человека. Минск, «Беларусь», 1973, с. 75—87.