

РОЗДІЛ V. ІНФОРМАЦІЙНО-КОМП'ЮТЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 167.23:612.821(045)

В.Д. Кузовик, д-р техн. наук

А.Д. Гордєєв, магістр

Національний авіаційний університет, м. Київ, Україна

МЕТОДИКА ПЛАНУВАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ПСИХОФІЗІОЛОГІЧНОГО СТАНУ ГОЛОВНОГО МОЗКУ

В.Д. Кузовик, д-р техн. наук

А.Д. Гордєєв, магістр

Национальный авиационный университет, г. Киев, Украина

МЕТОДИКА ПЛАНИРОВАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ГОЛОВНОГО МОЗГА

Viacheslav Kuzovyk, Doctor of Technical Sciences

Artem Hordieiev, master

National Aviation University, Kyiv, Ukraine

PLANNING METHODOLOGY OF EXPERIMENTAL RESEARCHERS OF PSYCHOPHYSIOLOGICAL STATE OF THE BRAIN

Запропоновано методику реалізації експериментальних електроенцефалографічних досліджень головного мозку, яка дозволяє отримати результати вимірювань, що можуть бути використані для підвищення достовірності оцінювання психофізіологічного стану відділів головного мозку. Розроблену методику експериментально реалізовано на базі кафедри біокібернетики та аерокосмічної медицини.

Ключові слова: електроенцефалографія, психофізіологія, ЕЕГ, методика.

Предложено методику реализации электроэнцефалографических исследований головного мозга, которая позволяет получить результаты измерений, что могут быть использованы для повышения достоверности оценивания психофизиологического состояния отделов головного мозга. Данную методику экспериментально реализовано на базе кафедры биокibernетики и аэрокосмической медицины.

Ключевые слова: электроэнцефалография, психофизиология, ЭЭГ, методика.

Proposed methodology of electroencephalography cortex research, allows get measurements results that could be useful for increase evaluation quality of psychophysiology neurohumoral and cortex condition. This methodology experimentally conducted in the Biocybernetic and aerospace medicine department.

Key words: electroencephalography, psychophysiology, EEG, method.

Постановка проблеми. Сучасна медицина орієнтована на впровадження неінвазивних засобів діагностики захворювання органів людини. Електроенцефалограф – один із засобів неінвазивних досліджень відділів кори головного мозку (КГМ) людини. Результати експлуатації доводять, що електроенцефалографи в основному забезпечують отримання якісних характеристик психофізіологічного стану відділів КГМ. Це спричинено певними обмеженнями на характеристики біосигналу, а саме: мізерні значення амплітуди (U), частоти (f) та латентності сигналу (τ). Крім того, динаміка біосигналів електроенцефалографа характеризується як стохастичний процес.

Визначення об'єктивних кількісних характеристик біосигналу надає можливість діагностувати та прогнозувати психофізіологічний стан (ПФС) організму людини. Для отримання об'єктивних кількісних характеристик біосигналу КГМ сплановано та реалізовано методику дослідження психофізіологічного стану кори головного мозку людини.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Ефективність використання кількісних характеристик біосигналу для діагностики кори головного мозку показують дослідження таких авторів. А. Г. Поворинський [1] зазначає, що зміна параметрів електроенцефалограми характеризує поточний стан здоров'я внутрішніх органів організму людини, а також кори головного мозку. Д. Сівер [2] зазначає, що при стимуляції людини світлом у першій фазі отриманих сигналів перехідних процесів може відбуватися пониження ам-

плітуди вимірюного біосигналу КГМ, що відображає погіршення стану роботи органів зору. Інший учений Н. Н. Яхно [3] зазначає, що перші фази отриманих сигналів перехідних процесів відображають стан роботи зорового апарату, а подальші фази – стан роботи лімбічної системи і структур мозку, через які проходить сигнал зорового стимулу. Останні дослідження [4; 5; 6; 7] також показують можливість діагностики психофізіологічного стану КГМ на основі вимірних біопотенціалів мозку.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Завдяки розвитку інформаційно-діагностичної галузі науки методики реалізації діагностування кори головного мозку людини за допомогою кількісних параметрів біосигналів, вимірних на корі головного мозку людини, потребують більш детальної алгоритмізації та структуризації.

Мета статті. Головною метою статті є реалізація інженерного аналізу щодо сучасних електроенцефалографічних досліджень та висвітлення запропонованої методики реалізації експериментальних досліджень з метою збору, зберігання та оброблення кількісних значень біосигналів, вимірних на корі головного мозку людини.

Виклад основного матеріалу. Загальний алгоритм методики реалізації експериментальних досліджень структурно представлений на рис. 1. До цього алгоритму входять такі етапи:

- заповнення спеціальної карточки оператора;
- класифікація оператора за категорією темпераменту;
- визначення умов реалізації експериментальних досліджень;
- реалізація електроенцефалографічного дослідження у двох режимах:
 - а) фоновий запис біосигналів;
 - б) запис біосигналу в динаміці;
- формування бази даних (БД).

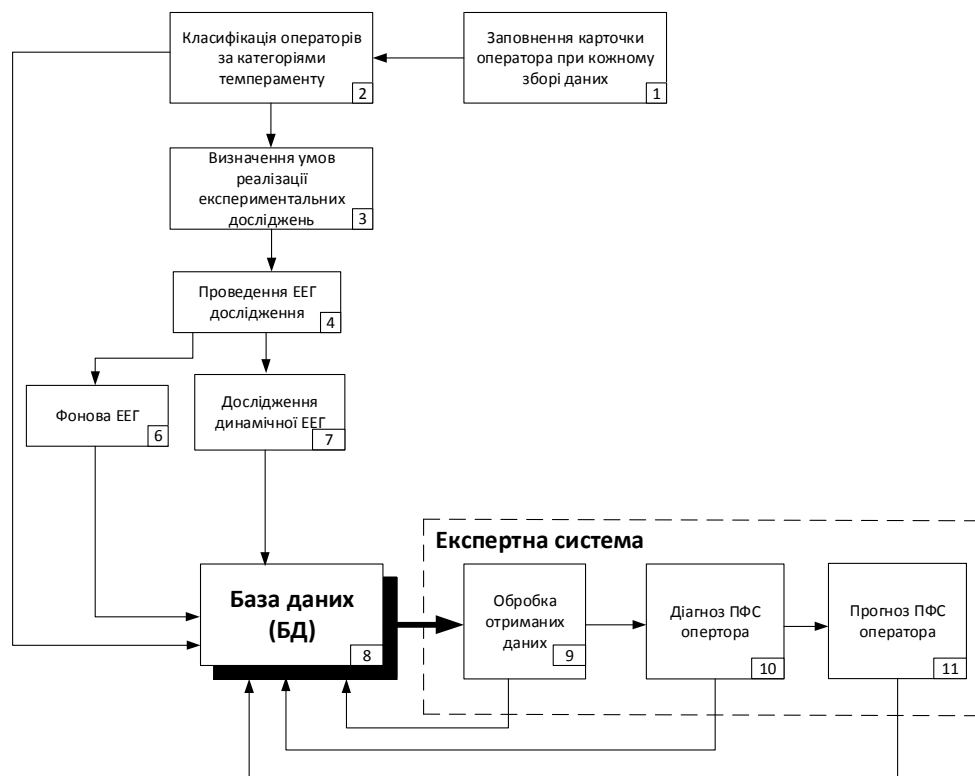


Рис. 1. Алгоритм проведення експерименту в електроенцефалографії

Отримані результати експериментальних досліджень є основою для побудови експертних систем оцінювання стану здоров'я оператора.

Формування біосигналів КГМ, які вимірюються за допомогою електроенцефалографа, мають певні особливості, які необхідно враховувати під час реалізації експериментального дослідження. Мозок є складною б-шаровою структурою, яка управляє органами людини за допомогою інформативно насичених біосигналів. Внутрішні прошарки мозку, а саме лімбічна система, за допомогою інтероцептивних шляхів інтегрують у собі інформацію про роботу організму на рівні фізіології і психіки оператора та відображають цю інформацію в біосигналах КГМ оператора. Тому оброблення біосигналів КГМ дає можливість виділити діагностичну інформативну складову ПФС оператора.

Відділи КГМ характеризуються певними сигналами біоритмів, які умовно позначаються, як α ; β ; γ ; δ ; κ ; μ ; σ ; θ . Для сигналів біоритмів притаманні такі характеристики [8]:

- середня амплітуда, $U_{\text{ритм}}=(0 \div 500)\text{мкВ}$;
- ефективна частота, $f_{\text{ритм}}=(0 \div 100)\text{Гц}$;
- частотний спектр ритму (наприклад, для α -ритму $f_{\alpha}=(8 \div 13)\text{Гц}$);
- фаза ритму $\varphi_{\text{фон}}=(0 \div 360)^{\circ}$;
- латентність ритму $\tau_{\text{фон}}=(0 \div 200)\text{мс}$;
- зональна активність (наприклад, α -активність зосереджена в потиличній частині КГМ);
- ступінь модуляції (повторюваність ритму в одному каналі електроенцефалограми);
- амплітудна і частотна асиметрія (порівняння $U_{\text{ритм}}$ та $f_{\text{ритм}}$ з різними відділами КГМ).

Для реалізації клінічних досліджень [1] необхідно приділити особливу увагу підготовці оператора до експерименту.

Перед початком реалізації експериментальних досліджень формується картка оператора, яка розділена на дві підгрупи:

- дані, що збираються одноразово (містять у собі: соціальні та антропометричні дані, поточні захворювання, тип темпераменту оператора);
- дані, що збираються перед кожним дослідженням (розділені на три пункти: дані експерименту, поточний стан оператора, поточні фактори зовнішнього середовища).

Наступний етап методики полягає у психологічному дослідженні, яке проводиться за тестами [9; 10]:

- тест Айзенка – дослідження психотипу оператора;
- тест Томського опитувальника ригідності (ТОР) – дослідження параметрів ригідності;
- тест «Самопочуття, активність, настрої» (САН) – дослідження поточного психофізіологічного стану оператора.

Кількісні параметри психологічних тестів після обрахунків дозволяють отримати інтегральний показник рівня психологічної профпридатності Q_{pr} .

При експериментальних дослідженнях необхідно враховувати добову активність організму оператора. Провівши інженерний аналіз, виявлено, що оптимальним періодом для реалізації експериментів є 12-13 година дня (дві години після сніданку та година до обіду).

Відповідно до алгоритму, на третьому етапі необхідно визначити необхідні і достатні умови реалізації експериментальних досліджень. Приміщення для реалізації дослідження має бути в належному технічному стані [1; 11]. Перед реалізацією дослідження оператору пояснюють суть експерименту, вказують на його нешкідливість та безболісність, викладають загальний порядок процедури і вказують її приблизну тривалість [10]. Напередодні дослідження припиняють давати медичні препарати, які б могли викликати зміни у психологічному стані оператора.

Положення оператора під час експерименту повинно буди напівлежачи в зручному кріслі, м'язи розслаблені, голова спочиває на спеціальному підголівнику. Необхідність розслаблення, крім забезпечення максимального спокою оператора, визначається тим, що напруга м'язів, особливо голови і шиї, супроводжується появою артефактів електроенцефалографії в записі електроенцефалограми.

У процесі запису ЕЕГ необхідно враховувати артефакти. Під артефактами розуміється вплив внутрішніх і зовнішніх чинників, які внаслідок своєї дії створюють зміну ЕЕГ сигналу, перетворюючи сигнал у недіагностичний. Дія артефактів пов'язана з фізіологічними та фізичними причинами, наприклад: рух оператора та датчиків на ньому, порушення процедури реалізації експерименту (наприклад, недостатнє обезжирення шкіри голови оператора), сигнали промислової частоти $f_{\text{пр}}=50$ Гц, синфазні сигнали в провідниках.

Під час реєстрації ЕЕГ слід приділити особливу увагу установці та якості з'єднання електродів. При розташуванні електродів на голові у схемі повинні бути представлені всі основні відділи конвексальної поверхні мозку: лобові, центральні, тім'яні, потиличні, передні, задні, скроневі. Електроди повинні розташовуватися симетрично щодо середньої сагітальної лінії голови.

Кількість електродів, яка рекомендована для дослідження ЕЕГ, становить не менше дванадцяти [1]. Запис вимірювання потенціалів з кожного електрода здійснюється відповідно до нульового потенціалу референта, який знаходиться на мочці вуха, або на кінчику носа. Під час всього експерименту потрібно контролювати рухи оператора, імпеданс датчиків, заземлення приладу, підтримувати належне розташування датчиків на голові та забезпечувати умову ізоляції оператора від зовнішніх стимулів.

На четвертому етапі реалізується реєстрація сигналів біопотенціалів у двох режимах: фоновому та динамічному.

Фоновий запис розрахований на вимірювання ЕЕГ у спокійному стані оператора. Під час такого запису мають домінувати альфа- і бета-ритм. У здорового оператора не повинно виникати значних сплесків на вимірюваній ЕЕГ та патернів. Під патернами розуміються сигнали патологічної активності, які характеризують явні порушення процесів функціонування КГМ. Наведемо класифікацію таких сигналів, які зазвичай проявляються в результаті дії тестових стимулів [8; 12]:

– спайк (сп) – сигнал, що має гостру форму та латентний період $\tau_{\text{сп}}=(15 \div 70)$ мс. Може досягати амплітуди $U_{\text{пр}}=1000$ мкВ;

– гостра хвиля (гх) – сигнал, який має латентний період більше $\tau_{\text{гх}}=70$ мкс. Такий сигнал схожий на сигнал спайку, але відрізняється більш пологим спадом після виникнення;

– спайк-хвиля (спх) – сигнал, який виникає через комплексну дію повільної хвилі та спайка і характеризується високою амплітудою та стереотипністю. Частота сигналу $f_{\text{спх}}=(2,5 \div 6)$ Гц, латентний період $\tau_{\text{спх}}=(200 \div 500)$ мс;

– гостра хвиля-повільна хвиля (гх-пх). Цей сигнал подібний до сигналу спайк-хвилі, проте має підвищену латентність та частоту сигналу $f_{\text{гх-пх}}=(0,7 \div 7)$ Гц;

– періодограми (пер) – часові відрізки сигналів різної латентності (більше $\tau_{\text{пер}}=100$ мс) зі стаціонарною активністю. Наприклад, низькоамплітудна активність на фоні регулярного альфа-ритму;

– розряд – сигнал, який виникає при епілептичних випадках. Прикладом є різкий одиночний спайк з переходом його в тета-хвилю;

– періодичні комплекси. Високоамплітудні спалахи активності, що відрізняються за морфологією у різних операторів, проте характеризуються постійністю форм.

Крім експериментальних досліджень фонового запису ЕЕГ, застосовуються методи, які ґрунтуються на тому, що організм людини піддають певному збудженню, в результаті чого отримуються перехідні процеси сигналів біоритмів КГМ.

Динаміка перехідних процесів в електроенцефалографії характеризується біоелектричними коливаннями системного нормованого характеру у вигляді хвилі або сукупності хвиль, що виникають як відповідь у нервових структурах на подразники, які умовно можна класифікувати таким способом:

– сенсорні стимули;

- електричне подразнення аферентних шляхів (сигнали від органів, що надходять постійно);
- імпульси, що надходять по асоціативним волокнам (сигнали надходять вибірково, або від волі людини);
- чітко фіксовані події.

Залежно від модальності пропонованих стимулів в експериментальних дослідженнях використовуються такі види впливу на КГМ [13]: зорові, слухові, сомато-сенсорні, тактильні, нюхові, смакові, вестибулярні, кінестетичні. Аналіз тестових збуджень показує, що ефективними стимулами для експерименту є зорові та слухові [2; 13], які були використані в експерименті, а також вплив на нервові ганглії.

Для реалізації одиночних фотостимулів пропонується використовувати лампу розжарювання потужністю $P=200$ Вт, яка знаходиться під матовим склом на відстані $l=25-30$ см від оператора (очі якого закриті) та має спектр світла близький до білого. Інтенсивність спалаху світла має бути потужністю $P_{\text{сп}}=(0,1 \div 0,6)$ Дж, латентність $\tau=150$ мкс.

Для реалізації дослідження з багаторазовою фотостимуляцією пропонується використовувати лампу для одиночних низьколатентних спалахів, що має такі характеристики: потужність спалаху $P_{\text{сп}}=(0,24 \div 0,35)$ Дж, латентність $\tau_{\text{сп}}=50$ мс і частоту $f_{\text{сп}}=(9 \div 12)$ Гц з інтервалами серії $T_{\text{сп}}=(5 \div 7)$ с. Для виявлення патології можна проводити зміну частоти в діапазоні $f=(2 \div 30)$ Гц поступово, змінюючи її з нижньої границі до верхньої і навпаки.

Необхідно враховувати, що кожна людина має власну природну частоту альфаритму, біоритм якої може варіюватись у діапазоні $f_{\alpha}=5 \div 15$ Гц. Тому за допомогою результатів попереднього аналізу фонового запису ЕЕГ можна виділити власну частоту оператора і застосувати її для тестового впливу. Необхідно зазначити, що мозок, як динамічна система, завжди «підстроюється» під зовнішні стимули організму (*реакції настройкі коркової частоти* [1]), тому треба враховувати, що тривалість стимулу має мати межу і повторюваність.

Для прикладу на рис. 2 показаний графік перехідних процесів при одноразовій фотостимуляції. На графіку по осі абсцис відкладений час протікання процесу, а по осі ординат – амплітуда біосигналу, де «+» – це позитивне відхилення біопотенціалу відносно давача.

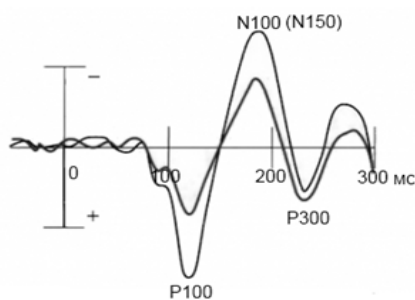


Рис. 2. Викликані потенціали при одиночній фотостимуляції

Традиційно компоненти викликаного потенціалу позначаються знаком або полярністю відхилення (P -позитивний, N -негативний компонент) та часом появи (наприклад, $P100$ – позитивний компонент з піком $t=100$ мс після початку події), або порядковим номером у цілій хвилі ($P1$). Відповідно до рис. 2:

$P100$ – позитивний компонент з піком через $t=(70 \div 100)$ мс після появи стимулу. Цей компонент співвідноситься з сенсорним кодуванням стимулу і супроводжується подальшим негативним компонентом $N100$ ($N150$) приблизно через $t=150$ мс після появи стимулу. Ці компоненти пов'язані з ранньою просторовою організацією сенсорного оброблення інформації без відношення до її змісту.

P300 – компонент характеризується тим, що його параметри залежать від завдання, яке стоїть перед оператором. Припускають, що компонент *P300* відображає процес аналізу стимулу, який пов'язаний з тимчасовим зберіганням необхідної інформації в робочій пам'яті оператора, а саме: доступ до неї, оновлення її змісту та впізнання об'єкта.

Отримані дані експериментальних досліджень надходять в базу даних (БД), в якій забезпечуються всі сучасні функції захисту інформації (блок схеми – 8). Інформація обробляється програмою (блок схеми – 9), яка одночасно аналізує отримані біосигналами і результати психологічних тестів. Блок 9 створює інформаційний ресурс, який надходить назад до БД.

Для прикладу практичної реалізації алгоритму методики представлені результати експериментальних досліджень, реалізованих з представниками однієї з груп професій екстремального виду діяльності – полярниками. Психотип та параметри ригідності операторів визначені за допомогою психологічних тестів.

Результати експерименту фоновому та динамічному режиму в області потилиці (давач О1) для одного оператора представлено як приклад на рис. 3, 4, 5, 6. Дані виміряно до відправлення представленого оператора на антарктичну станцію ім. «Академіка Вернадського» та під час повернення додому.

На рис. 3 представлено фоновий запис електроенцефалограми оператора без патологій.

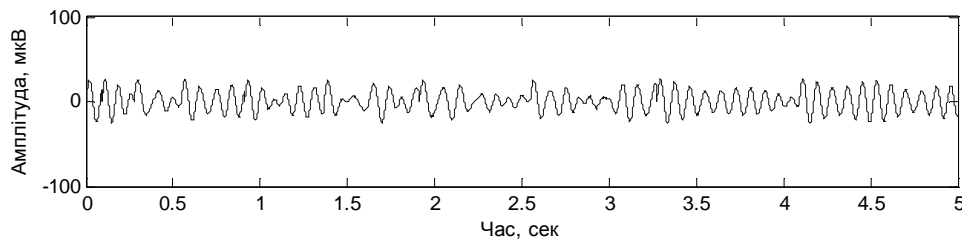


Рис. 3. Приклад фонового запису ЕЕГ здорового оператора

На рис. 4 представлено динамічний запис електроенцефалограми оператора без патологій.

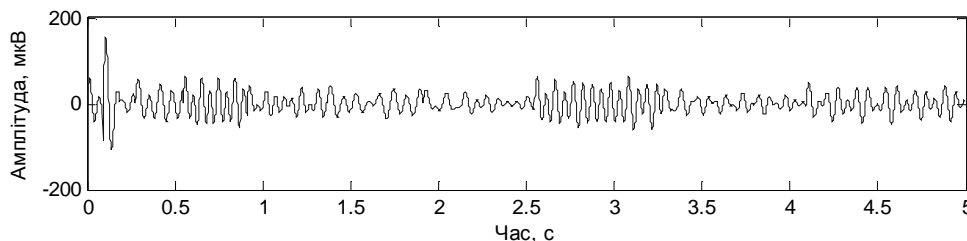


Рис. 4. Приклад запису динамічного ЕЕГ здорового оператора

На рис. 5 представлено фоновий запис електроенцефалограми оператора з психічною дисфункцією – депресивний стан.

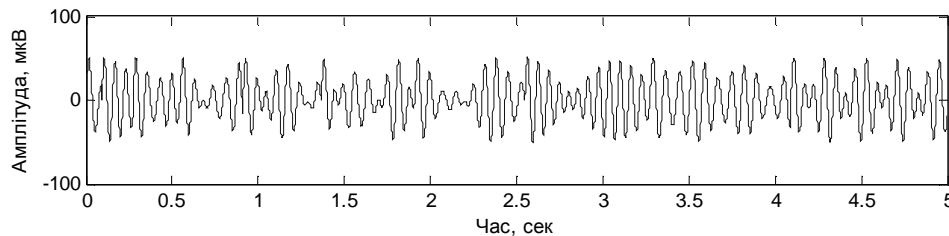


Рис. 5. Приклад запису фонового ЕЕГ оператора з дисфункцією – депресивний стан

На рис. 6 представлено динамічний запис електроенцефалограми оператора з психічною дисфункцією – депресивний стан.

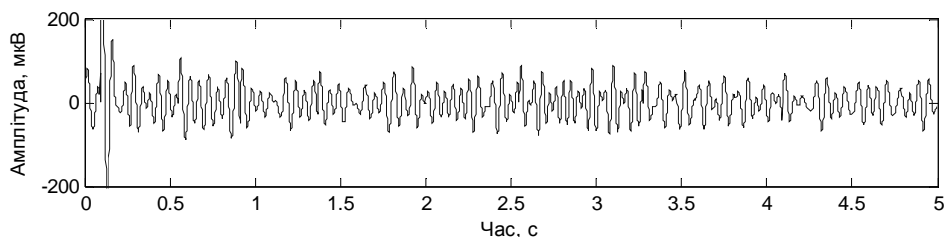


Рис. 6. Приклад запису динамічного ЕЕГ оператора з дизфункцією – депресивний стан

Як показують дослідження, мозок є інтегратором інформації щодо психофізіологічного стану органів нейрогуморальної системи, а також відділів мозку. За допомогою оброблення біоритмів мозку можна з певною достовірністю реалізовувати діагностику психофізіологічного стану як нейрогуморальної системи, так і мозку оператора в цілому. Інформація, як результат експериментальних досліджень, є основою для розроблення експертної системи. На рис. 1 блоки 9, 10, 11 визначають структуру експертної системи прийняття рішень. Система прийняття рішень (СПР) (англ. Decision Support System, DSS) – це комп'ютерна автоматизована система, метою якої є допомога фахівцям-медикам, які приймають рішення у складних умовах медичної практики для повного та об'єктивного оцінювання психофізіологічного стану здоров'я людини.

Висновки:

- розроблено методику реалізації експериментальних досліджень КГМ, яка має на меті визначати об'єктивні кількісні характеристики біосигналу;
- розглянуто необхідність класифікації оператора за категорією темпераменту та врахування умов проведення експериментального дослідження;
- проаналізовано особливості реалізації експериментального дослідження у двох режимах запису біосигналів: фоновому та динамічному;
- у майбутньому запропонована методика експериментальних досліджень КГМ дозволить створити потужну і комп'ютеризовану інформаційну систему для формування інформаційного та інтелектуального ресурсу для оцінювання психофізіологічного стану організму оператора.

Список використаних джерел

1. Поворинский А. Г. Пособие по клинической электроэнцефалографии : учебное пособие / А. Г. Поворинский, В. А. Заболотных ; АН СССР. – Л. : Наука, 1987. – 64 с.
2. Сивер Д. Майнд машины. Открываем заново технологию аудиовизуальной стимуляции [Электронный ресурс] / Д. Сивер. – Режим доступа : http://www.koob.ru/siever_dave/rediscovery.
3. Яхно Н. Н. Болезни нервной системы : руководство для врачей : в 2 т. / под ред. Н. Н. Яхно, Д. Р. Штульмана. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Медицина, 2001. – 744 с.
4. Булигіна О. В. Концептуальна модель оцінювання психофізіологічного стану операторів екстремальних видів діяльності / О. В. Булигіна, В. Г. Гамов // Вісник центрального наукового центру транспортної академії України «Автошляховик України». – 2010. – № 13. – С. 165–168.
5. Кузовик В. Д. Особливості оцінювання психофізіологічного стану учасників полярних експедицій / В. Д. Кузовик, А. Д. Гордєєв // Інтернаціоналізація досліджень в Антарктиці – шлях до духовної єдності людства : тези VI Міжнародної антарктичної конференції (15–17 травня 2013 р., м. Київ). – 2013. – С. 404–405.
6. Кузовик В. Д. Аспекти планирования и реализации экспериментальных исследований психофизиологического состояния операторов экстремальных видов деятельности / В. Д. Кузовик, А. Д. Гордєєв, О. В. Булигіна // КрымИКо2013: СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии : 23-я Международная конференция. – Севастополь, 2013. – С. 1081–1082.
7. Кузовик В. Д. Діагностика і прогнозування психофізіологічного стану операторів екстремальних видів діяльності / В. Д. Кузовик, А. Д. Гордєєв // Інформаційні технології невралгії, психіатрії, епілептології і медичної статистики : науково-практична конференція. – К., 2013. – С. 18–19.

8. *Гусельников В. И.* Электрофизиология головного мозга : учебное пособие / В. И. Гусельников. – М. : Высшая школа, 1976. – 423 с.
9. *Кузовик В. Д.* Новітні засоби оцінки операторів екстремальних видів діяльності / В. Д. Кузовик // Вісник ІАСУ НАУ. – 2005. – № 5. – С. 52–58.
10. *Кузовик В. Д.* Некоторые методологические аспекты оценки эффективности медицинского вмешательства / В. Д. Кузовик // Електроніка і системи управління. – 2009. – № 2 (20). – С. 18–37.
11. *Кратин Ю. Г.* Техника и методика электроэнцефалографии / Ю. Г. Кратин, В. И. Гусельников. – 2 изд. – Л. : Наука, 1971. – 318 с.
12. *Зенков Л. Р.* Клиническая электроэнцефалография (с элементами эпилептологии) : руководство для врачей / Л. Р. Зенков. – 3-е изд. – М. : МЕДпрессинформ, 2004. – 368 с.
13. *Гнездицкий В. В.* Вызванные потенциалы мозга в клинической практике / В. В. Гнездицкий. – Таганрог : ТРТУ, 1997. – 252 с.