

3. Зенкевич, О. Метод конечных элементов в технике [Текст] / О. Зенкевич. — М.: Мир, 1975. — 349 с.
4. Сахаров, А. С. Метод конечных элементов в механике твердых тел [Текст] / под ред. А. С. Сахарова, И. Альтенбаха. — Киев: Вища школа; Лейпциг: Фаб Фахбухферлаг, 1982. — 420 с.
5. Рвачев, В. Л. Теория R-функций и некоторые ее приложения [Текст] / В. Л. Рвачев. — Киев: Наукова думка, 1982. — 552 с.
6. Rvachev, V. L. R-Functions in Boundary Value Problems in Mechanics [Text] / V. L. Rvachev, T. I. Sheiko // Applied Mechanics Reviews. — 1995. — Vol. 48, № 4. — P. 151–188. doi:10.1115/1.3005099
7. Rvachev, V. L. On completeness of RFM solution structures [Text] / V. L. Rvachev, T. I. Sheiko, V. Shapiro, I. Tsukanov // Computational Mechanics. — 2000. — Vol. 25, № 2–3. — P. 305–317. doi:10.1007/s004660050479
8. Рвачев, В. Л. Метод R-функций в задачах теории упругости и пластичности [Текст] / В. Л. Рвачев, Н. С. Синекон. — Киев: Наукова думка, 1990. — 216 с.
9. Sizova, N. D. A Combined Use of the Finite Difference Method and Method of Integral Transformations for Solution of a Parabolic Multidimensional Initial Boundary – Value Problem [Text] / N. D. Sizova, M. A. Basarab // Reports of the National Academy of Sciences of Ukraine. — 1999. — № 4. — P. 11–15.
10. Рвачев, В. Л. Программно-ориентированные языки и системы для инженерных расчетов [Текст] / В. Л. Рвачев, А. Н. Шевченко. — Киев: Техника, 1988. — 197 с.
11. Benisa, M. Computer – aided modeling of the rubber-pad forming process [Text] / M. Benisa, B. Babic, A. Grbovic, Z. Stefanovic // Materials and Technology. — 2012. — Vol. 46, № 5. — P. 503–510.
12. Sherief, H. H. Generalized thermoelasticity problem for a plate subjected to moving heat sources on both sides [Text] / H. H. Sherief, M. N. Anwar // Journal of Thermal Stresses. — 1992. — Vol. 15, № 4. — P. 489–505. doi:10.1080/01495739208946152
13. Kozin, O. Analysis of stress-strain state of the spherical shallow shell with inclusion [Text] / O. Kozin, O. Parkovskaya // Odes'kyi Politechnichnyi Universytet. Pratsi. — 2016. — № 1(48). — P. 30–40. doi:10.15276/opr.148.2016.05
14. Богоявленский, К. Н. Штамповка полых деталей эластичной жидкостью [Текст] / К. Н. Богоявленский, Е. И. Сороков // Изготовление деталей пластическим деформированием. — Л.: Машиностроение, 1975. — С. 332–354.
15. Сизова, Н. Д. Оценка напряженно-деформированного состояния цилиндрических и конических элементов, подкрепленных ребрами жесткости [Текст] / Н. Д. Сизова // ScienceRise. — 2016. — № 6/2(23). — С. 58–65. doi:10.15587/2313-8416.2016.72566
16. Hardt, R. Elastic plastic deformation [Text] / R. Hardt, D. Kinderlehrer // Applied Mathematics & Optimization. — 1983. — Vol. 10, № 1. — P. 203–246. doi:10.1007/bf01448387
17. Markus, P. Grundlehrer zu tehrmoelasnischen Spannungsanalisen [Text] / P. Markus, G. Biermann // VDI – Forschungsh. — 1989. — № 651. — P. 1–52.
18. Jankowska, M. A. On the application of the method of fundamental solutions for the study of the stress state of a plate subjected to elastic-plastic deformation [Text] / M. A. Jankowska, J. A. Kolodziej // International Journal of Solids and Structures. — 2015. — Vol. 67–68. — P. 139–150. doi:10.1016/j.ijsolstr.2015.04.015
19. Писаренко, Г. С. Уравнения и краевые задачи теории пластичности и ползучести [Текст] / Г. С. Писаренко, Н. С. Можаровский. — Киев: Наукова думка, 1981. — 495 с.
20. Ильюшин, А. А. Упругопластические деформации полых цилиндров [Текст] / А. А. Ильюшин, П. М. Огибалов. — М.: Московский университет, 1960. — 277 с.
21. Калиткин, Н. Н. Численные методы [Текст] / Н. Н. Калиткин. — СПб.: БВХ-Петербург, 2011. — 586 с.

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРУЖНО-ПЛАСТИЧНОГО ДЕФОРМУВАННЯ ОРЕБРЕНИХ ТІЛ КІНЦЕВИХ РОЗМІРІВ

Приводяться результати дослідження пружно-пластичних деформацій просторових елементів неklasичної геометричної форми. Розглядаються пружно-пластичні деформації, що описуються системою нелінійних рівнянь, для лінеаризації яких застосовується метод змінних параметрів пружності. Наближене рішення лінеаризованої пружної задачі на кожній ітерації будується з використанням теорії R-функцій. Представлено чисельні результати для оребрених циліндричних і конічних тіл.

Ключові слова: пружно-пластичне деформування, нелінійні рівняння, лінеаризація, R-функції, структурні моделі, обчислювальний експеримент.

Сизова Наталія Дмитрівна, доктор фізико-математических наук, професор, кафедра економічної кібернетики та інформаційних технологій, Харківський національний університет будівництва та архітектури, Україна, e-mail: sizova@ukr.net.

Сізова Наталія Дмитрівна, доктор фізико-математических наук, професор, кафедра економічної кібернетики та інформаційних технологій, Харківський національний університет будівництва та архітектури, Україна.

Sizova Natalia, Kharkiv National University of Construction and Architecture, Ukraine, e-mail: sizova@ukr.net

УДК 004.891:616-072.8(045)

DOI: 10.15587/2312-8372.2016.74649

**Кузовик В. Д.,
Гордєєв А. Д.**

СТАТИСТИЧНА ОБРОБКА ПАРАМЕТРІВ ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ БІОРИТМІВ КОРИ ГОЛОВНОГО МОЗКУ

Представлено статистичний підхід до оцінювання параметрів інформаційно-енергетичного поля кори головного мозку людини на основі обробки стаціонарного та перехідних процесів біопотенціалів кори головного мозку людини з врахуванням психологічної характеристики операторів екстремальних видів діяльності. Представлений підхід включає в себе застосування робастних методів аналізу даних та імітаційного моделювання за методом Монте-Карло.

Ключові слова: робастний метод, Монте-Карло, електроенцефалограф, викликані потенціали, експертна система.

1. Вступ

В сучасному світі є потреба якісного і швидкого оцінювання психофізіологічного стану (ПФС) здоров'я

операторів екстремальних видів діяльності (ОЕВД), наприклад, льотчиків, полярників, спортсменів, водіїв та інші. Країнами світу витрачаються значні зусилля та кошти для якісного професійного відбору ОЕВД [1],

яке основане на процесі оцінювання психофізіологічного стану організму операторів.

Для розуміння взаємодії психіки та фізіології людини проаналізовано формування інформаційно-енергетичного поля людини, основні аспекти якої полягають в наступному. Мозок людини являється складною 6-ти шаровою структурою, який управляє організмом людини за допомогою інформативно насичених біосигналів. Лімбічна система мозку людини за допомогою нервових шляхів реалізує збір, обробку та управління інформацією щодо психофізіологічного стану гомеостазу організму людини, при чому, основним елементом в представленому процесі роботи лімбічної системи являється «суперкомп'ютер» — пінеальна залоза (епіфіз) людини. Таким чином, лімбічна система синтезує інформаційно-енергетичне поле (ІЕП) людини, параметри якого в повній мірі характеризують психофізіологічний стан гомеостазу організму людини.

Враховуючи існуючі біомедичні функціональні зв'язки модулів головного мозку, включаючи кору головного мозку, встановлено, що одні із основних параметрів ІЕП лімбічної системи проявляються в біоритмах кори головного мозку (енергетичне поле) за допомогою висхідних нервових шляхів, а також в процесі функціонування вестибулярного апарату (інформаційне поле) за допомогою гістамін-енергетичних шляхів. Оцінити зміни ІЕП людини можна за допомогою новітнього засобу кефалоенцефалографу та системного прикладного програмного забезпечення. Як додатковий метод ідентифікації стану ІЕП людини застосовано ідентифікацію за параметрами крові людини.

В даній роботі представлено статистичний підхід до оцінювання параметрів ІЕП людини на основі обробки біопотенціалів кори головного мозку (КГМ) з врахуванням психологічної підгрупи операторів. Представлений підхід представляє собою комп'ютеризовану експертну систему, що надає можливість медику-спеціалісту аналізувати кількісні параметри сигналів стаціонарного запису та перехідного процесу електроенцефалограми, що, в свою чергу, дозволяє оцінювати та прогнозувати психофізіологічний стан КГМ оператора.

2. Об'єкт дослідження та його технологічний аудит

Об'єктом дослідження є процес оцінювання психофізіологічного стану організму операторів екстремальних видів діяльності, який реалізують за допомогою прикладних програмних систем. Існуючі програмні системи мають ряд недоліків, основні з яких: складність інтерпретації електроенцефалографічних даних; недосконалість інтегральних параметрів оцінювання ПФС ОЕВД; зазвичай, відсутність графічного інтерфейсу призначеного для медика-спеціаліста.

3. Мета та задачі дослідження

У зв'язку з наведеним, метою дослідження є розробка алгоритмів статистичної обробки електроенцефалографічних даних, а також їх комп'ютеризація, для отримання нормованого кількісного інтегрального критерія, за допомогою якого медик-спеціаліст має можливість оцінити стан інформаційно-енергетичного поля КГМ операторів екстремальних видів діяльності як на ета-

пі професійного відбору, так і з метою прогнозування психофізіологічного стану під час перебування оператора в умовах екстремальної діяльності.

Для досягнення поставленої мети вирішувались наступні задачі:

- провести аналіз процесу виникнення інформаційно-енергетичного поля людини;
- розробити алгоритм розрахунку інтегрального критерія електроенцефалограми — енергетичний коефіцієнт щільності (Q_{eeg});
- розробити алгоритм статистичної обробки даних для розрахунку нормованих значень енергетичного коефіцієнта щільності (Q_{eeg}), коефіцієнта кефалографії (K_{kef}) та параметрів крові;
- побудувати графічну та аналітичну модель трьох-вимірної залежності між усередненою миттєвою швидкістю СЩП фонового сигналу ($Diff_{fon}$), коефіцієнтом кефалографії (K_{kef}) та часом (t).

4. Аналіз літературних даних

Сучасна медицина орієнтована на впровадження неінвазійних засобів діагностики та прогнозування дисфункцій організму людини. Аналіз літературних джерел показав, що 80 % авіаційних катастроф [2], 70 % катастроф в атомній енергетиці та 64 % на морському флоті [3] сталися через помилкові дії фахівців, тобто через людський фактор. Майже у 95 % учасників антарктичних експедицій мали місце порушення психофізіологічного стану організму внаслідок довготривалої дії екстремальних факторів зовнішньої середовища [4].

Питанням психофізіологічного відбору та розробки інформаційних технологій професійного відбору операторів екстремального виду діяльності займаються як вітчизняні [1, 4, 5], так і зарубіжні [6] вчені.

Сучасні дослідження показують ефективність використання кількісних характеристик біосигналу для діагностики КГМ та організму в цілому [7]. В зарубіжних дослідженнях електроенцефалограф виділяється як один із ефективних засобів оцінювання психофізіологічного стану організму в процесі професійної діяльності операторів екстремальних видів діяльності [5], а також вказується ефективність при використанні електроенцефалографу разом з експериментально-психологічним обстеженням для діагностування та прогнозування професійної придатності льотчиків [1].

Аналіз сучасних комп'ютеризованих електроенцефалографічних комплексів показав, що програмні продукти зосереджені на наступному виді досліджень електроенцефалограм: дослідження спектральної складової електроенцефалографічного сигналу, автоматизації виділення артефактів на електроенцефалограмі, дослідження викликаних потенціалів. Дослідження спектральної складової електроенцефалографічного сигналу дозволяють отримати інформацію про ПФС КГМ людини, проте сучасні дослідження за допомогою цього методу зосередились, по-перше, на оцінюванні КГМ людини або спроб оцінювання окремих органів людини [7], а не на інтегральному оцінюванні ПФС всього організму людини; по-друге, оцінювання ПФС КГМ відбувається на рівні ідентифікації відхилення в частотних піках спектрального сигналу [8], а не інтегральному оцінюванні спектральної складової всіх біоритмів КГМ.

Останні результати зарубіжних досліджень, показують, по-перше, ефективність застосування перехідних процесів біосигналів КГМ для оцінювання психофізіологічного стану мозку людини [9]; по-друге, ефективність використання методів аналізу спектральної щільності сигналу електроенцефалограми для оцінювання психофізіологічного стану мозку людини [10].

Останні дослідження [11–14], які реалізовані на базі кафедри біокібернетики та аерокосмічної медицини Національного авіаційного університету, показують ефективність процесу оцінювання психофізіологічного стану організму операторів екстремальних видів діяльності за допомогою новітнього комплексу — кефалоенцефалографу.

5. Матеріали та методи дослідження

5.1. Методи та засоби, що використовувались в експерименті. Для реєстрації роботи вестибулярного апарату та біосигналів КГМ людини на базі кафедри було розроблено новітній засіб — кефалоенцефалограф, який являється поєднанням існуючих засобів: кефалографу та електроенцефалографу.

З метою проведення ефективних експериментальних досліджень ОЕВД класифікуються за типом темпераменту для наближення їх індивідуальних психічних та фізіологічних особливостей організму. Для цього використовується розроблене програмне забезпечення на основі психологічного тестування, за допомогою якого досліджуваних можна згрупувати за 36-ма категоріями темпераменту. Методика психологічного тестування виконується одноразово та має тривалість близько 30 хвилин. Зазначена методика забезпечена трьома відомими психологічними тестами, та двома антропометричними показниками а саме:

- тест «Айзенка» (EPQ);
- тест «Томського опитувальника ригідності Залевського» ($ТОРЗ$);
- тест «Стан, активність, настрої» ($САН$);
- показник Кетеле;
- показник Трохантерного індексу.

На рис. 1 представлено алгоритм обробки електроенцефалографічних даних, в якому використовуються фоновий запис електроенцефалограми та перехідний процес, створений за спеціальною методикою звукового клацання [12]. В кінці розрахунків визначається енергетичний коефіцієнт щільності (Q_{eeg}). Даний коефіцієнт, а також коефіцієнт кефалографії та параметри аналізу крові зберігаються в спеціально розробленій базі знань, проте для реалізації ідентифікації ПФС певного ОЕВД з визначеним типом темпераменту необхідно мати нормовані значення коефіцієнту зазначених параметрів.

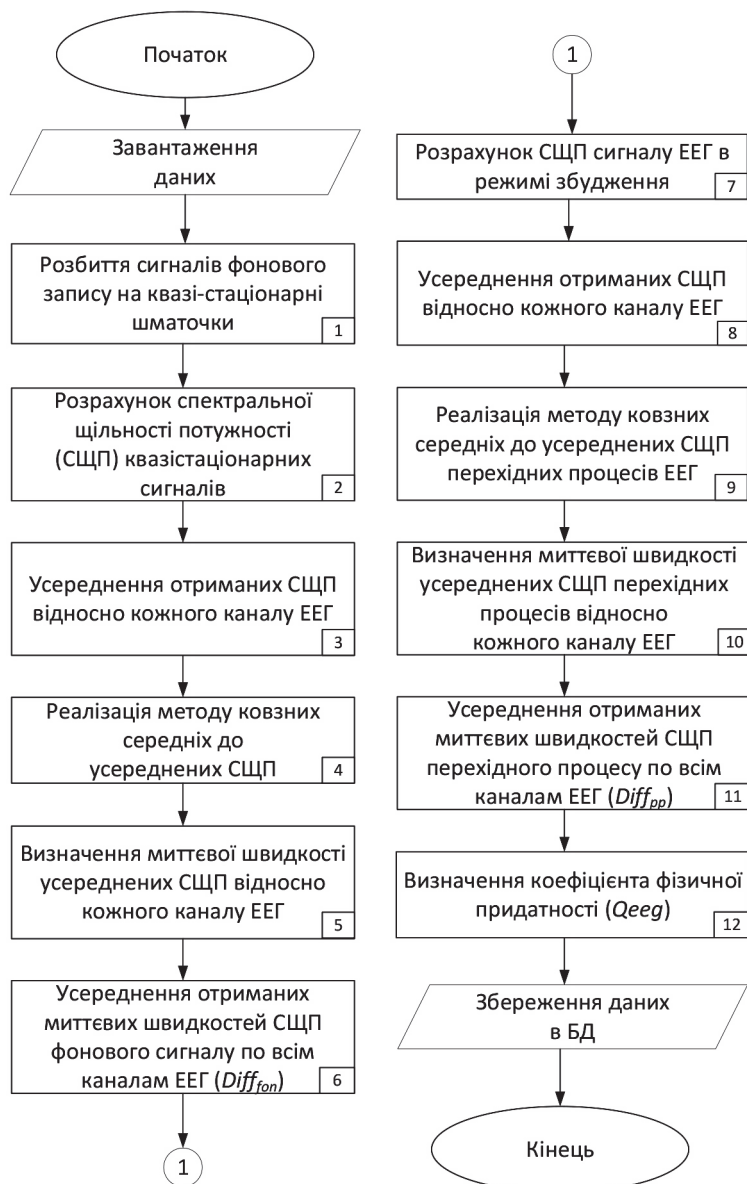


Рис. 1. Алгоритм розрахунку коефіцієнту спектральної щільності (Q_{eeg})

5.2. Статистична методика визначення інтервальної оцінки параметрів ідентифікації стану інформаційно-енергетичного поля операторів екстремальних видів діяльності. Для визначення нормованих значень параметрів Q_{eeg} , K_{kef} та параметрів аналізу крові певної підгрупи операторів розраховується інтервальна оцінка (v) при відомому середньому квадратичному відхиленні (СКВ) та при обраному рівні значущості $\alpha = 0,05$:

$$P\left(\bar{x} - t_{\alpha, n-1} \cdot \frac{S}{\sqrt{n-1}} < v < \bar{x} + t_{\alpha, n-1} \cdot \frac{S}{\sqrt{n-1}}\right) = 1 - \alpha, \quad (1)$$

де n — кількість вибірки; $t_{\alpha, n-1}$ — коефіцієнт Стюдента; \bar{x} — середнє арифметичне вибірки; S — середнє квадратичне відхилення.

Враховуючи, що для використання формули (1) закон розподілу вибірки має бути нормальним, необхідно перевірити її на нормальність розподілу. Так як вибірка даних на початку відбору може бути малою, використовується складений критерій для перевірки

нормальності закону розподілу, який підходить для вибірки розміром $11 < n < 50$:

$$d = \frac{\sum_{i=1}^n |X_i - \bar{X}|}{\sqrt{n \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}}. \quad (2)$$

Якщо гіпотеза про нормальність закону розподілу вибірки не має підтвердження, використовується перевірка вибірки на грубі похибки за критерієм Граббса і знову застосовується складений критерій для перевірки нормальності закону розподілу.

Якщо гіпотеза про нормальність закону розподілу вибірки знову не підтверджена використовується робастний метод для розрахунку статистичних оцінок [11], наближених до нормального закону розподілу, та застосовується ітераційне моделювання за нормальним законом розподілу методом Монте-Карло. Завдяки отриманій змодельованій вибірці можна застосувати формулу (1) для визначення нормованої інтервальної оцінки, яка застосовується для ідентифікації ПФС ОЕВД.

Для реалізації прогностичної функції ПФС ОЕВД застосовано регресійне моделювання трьохвимірної залежності між енергетичним коефіцієнтом щільності (Q_{eeg}), коефіцієнтом кефалографії (K_{kef}) та часом (t) на основі поліному 7-го ступеня з розрахунком статистичних допусків. Адекватність моделей перевірена за двома методами: по середнім значенням відгуку моделі та системи (t -статистика); по дисперсіям відхилення відгуку моделі та системи (критерій Фішера). Завдяки розрахованим аналітичним залежностям є можливість контролювати ПФС в процесі виконання професійних обов'язків в екстремальних умовах праці ОЕВД або в процесі реабілітації ОЕВД.

6. Результати досліджень

Для прикладу практичної реалізації алгоритму статистичного підходу обробки даних, представлено результати експериментальних досліджень, реалізованих з представниками однієї з груп професій екстремального виду діяльності — антарктичними зимівниками (полярники). Так як серед представників даної професії найчастіше зустрічались оператори 31-го та 35-го типу темпераменту наступні результати представлено саме для цих підгруп. В експерименті приймали участь 21 оператор 31-ї підгрупи та 16 операторів 35-ї підгрупи.

Експериментальні дослідження показали, що оцінювання ПФС ОЕВД можна реалізовувати за даними фонового сигналу електроенцефалограми, проте такі результати досліджень мають меншу достовірність ніж

з використанням комбінованого підходу аналізу фонового сигналу та перехідних процесів електроенцефалограми. Однак, реалізація повноцінного експерименту з використанням перехідних процесів електроенцефалограми не завжди можлива через низку як технічних, так і програмних причин. Тому, враховуючи зазначене, крім аналізу енергетичного коефіцієнта щільності (Q_{eeg}) в табл. 1 представлено аналіз експериментальних досліджень параметру фонового сигналу електроенцефалограми, а саме усередненої миттєвої швидкості СЩП фонового сигналу ($Diff_{fon}$), з використанням ітераційного моделювання методом Монте-Карло. Як видно з результатів, використання зазначеного методу Монте-Карло дозволило звузити нормовані інтервальні оцінки запропонованих параметрів для кожної з підгруп операторів.

Таблиця 1

Нормовані та змодельовані показники електроенцефалограми антарктичних зимівників

Група операторів	Інтервальні оцінки параметрів Q_{eeg} та $Diff_{fon}$ до експедиції	Інтервальні оцінки параметрів Q_{eeg} та $Diff_{fon}$ після експедиції
31 підгрупа без моделювання	$0,644 \leq Q_{eeg} \leq 0,850$ $0,122 \leq Diff_{fon} \leq 0,138$	$0,540 \leq Q_{eeg} \leq 0,975$ $0,120 \leq Diff_{fon} \leq 0,139$
31 підгрупа підгрупа після моделювання	$0,741 \leq Q_{eeg} \leq 0,752$ $0,129 \leq Diff_{fon} \leq 0,130$	$0,882 \leq Q_{eeg} \leq 0,896$ $0,143 \leq Diff_{fon} \leq 0,145$
35 підгрупа без моделювання	$0,612 \leq Q_{eeg} \leq 0,846$ $0,134 \leq Diff_{fon} \leq 0,147$	$0,724 \leq Q_{eeg} \leq 0,953$ $0,129 \leq Diff_{fon} \leq 0,152$
35 підгрупа підгрупа після моделювання	$0,835 \leq Q_{eeg} \leq 0,843$ $0,140 \leq Diff_{fon} \leq 0,141$	$0,864 \leq Q_{eeg} \leq 0,878$ $0,134 \leq Diff_{fon} \leq 0,135$

Нормовані значення коефіцієнта кефалографії для антарктичних зимівників склав: $0,48 < K_{kef} < 2,53$. Для порівняння представлено нормоване значення коефіцієнта кефалографії для пересічних операторів: $2,11 < K_{kef} < 3,12$. Враховуючи викладене, метод кефалографії виявився достатньо чутливим під час оцінювання ПФС ОЕВД, що підтверджувало результати електроенцефалографічних досліджень.

В табл. 2 представлено результати аналізу показників крові антарктичних зимівників із застосуванням ітераційного моделювання. Як видно з результатів досліджень, використання ітераційного моделювання за методом Монте-Карло дозволило звузити нормовані значення інтегральних оцінок показників крові для кожної з підгруп операторів. Отримані результати аналізів крові відповідають нормованим діапазнам, визначеним МОЗ України для здорових операторів, що корелює з представленими результатами електроенцефалографічних та кефалографічних досліджень.

Таблиця 2

Нормовані та змодельовані показники аналізу крові антарктичних зимівників

Показник крові	Нормовані діапазони показника, визначені МОЗ України	Усереднені значення всіх зимівників без застосування ітераційного моделювання	Усереднені значення зимівників 31 підгрупи із застосуванням моделювання	Усереднені значення зимівників 35 підгрупи із застосуванням моделювання
Лейкоцити (WBC), $\cdot 10^9/\text{л}$	$4 \div 8,8$	$4,91 \div 6,95$	$5,44 \div 6,58$	$5,35 \div 6,09$
Еритроцити (RBC), $\cdot 10^{12}/\text{л}$	$3,9 \div 5,5$	$4,48 \div 5,26$	$4,52 \div 4,85$	$4,85 \div 5,10$
Гемоглобін (Hb), $\cdot 10^{12} \text{ г/л}$	$110 \div 160$	$133,75 \div 152,07$	$136,36 \div 143,61$	$141,22 \div 150,58$
...
Сечовина, ммоль/л	$1,71 \div 8,3$	$3,17 \div 6,37$	$3,79 \div 4,21$	$3,20 \div 4,75$
Холестерин, ммоль/л	$3,87 \div 6,71$	$3,89 \div 5,13$	$3,87 \div 3,92$	$4,35 \div 4,95$
Глюкоза, ммоль/л	$3,89 \div 7,8$	$4,72 \div 5,76$	$5,48 \div 5,77$	$4,92 \div 5,42$

Реалізуючи прогностичну функцію запропонованої програмної системи було побудовано графічну та аналітичну модель трьох-вимірної залежності між усередненою миттєвою швидкістю СЩП фоновому сигналу ($Diff_{fon}$), коефіцієнтом кефалографії (K_{kef}) та часом (t). На рис. 2 представлено графічну модель трьохвимірної залежності разом зі статистичними допущеннями для 31-ї та 35-ї підгрупи операторів.

Система рівнянь трьохвимірної моделі для 31-ї підгрупи операторів може бути представлена наступним чином:

$$\begin{cases} Diff_{fon} = -8,58 \cdot 10^{-7} \cdot t^7 + 3,75 \cdot 10^{-5} \cdot t^6 - 6,70 \cdot 10^{-4} \cdot t^5 + \\ + 0,0062 \cdot t^4 - 0,0322 \cdot t^3 + 0,0888 \cdot t^2 - 0,1169 \cdot t + 0,1928; \\ K_{kef} = 1,50 \cdot 10^{-5} \cdot t^7 - 6,30 \cdot 10^{-4} \cdot t^6 + 0,0107 \cdot t^5 - \\ - 0,0942 \cdot t^4 + 0,4559 \cdot t^3 - 1,1749 \cdot t^2 + 1,5266 \cdot t + 0,1262. \end{cases}$$

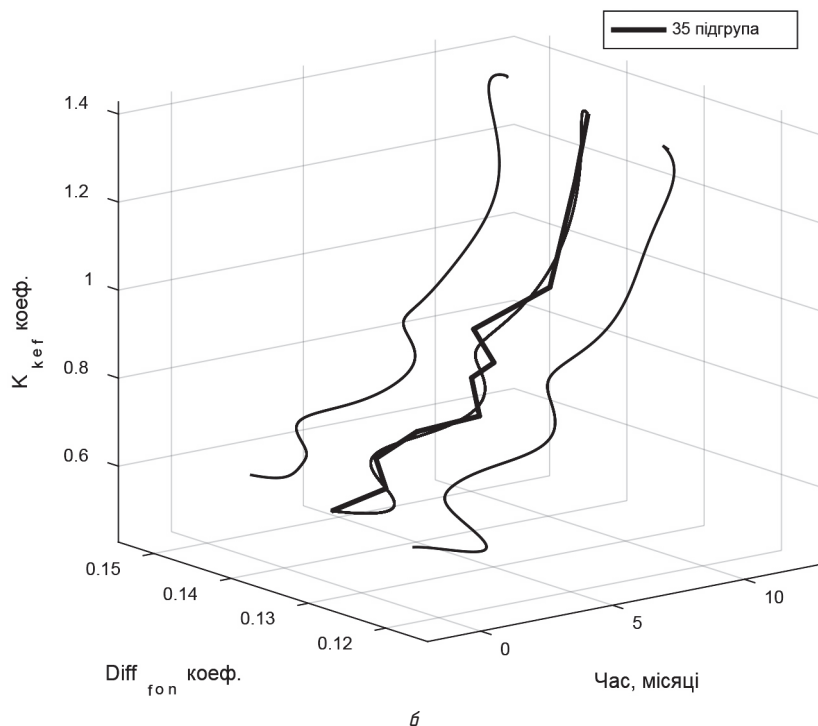
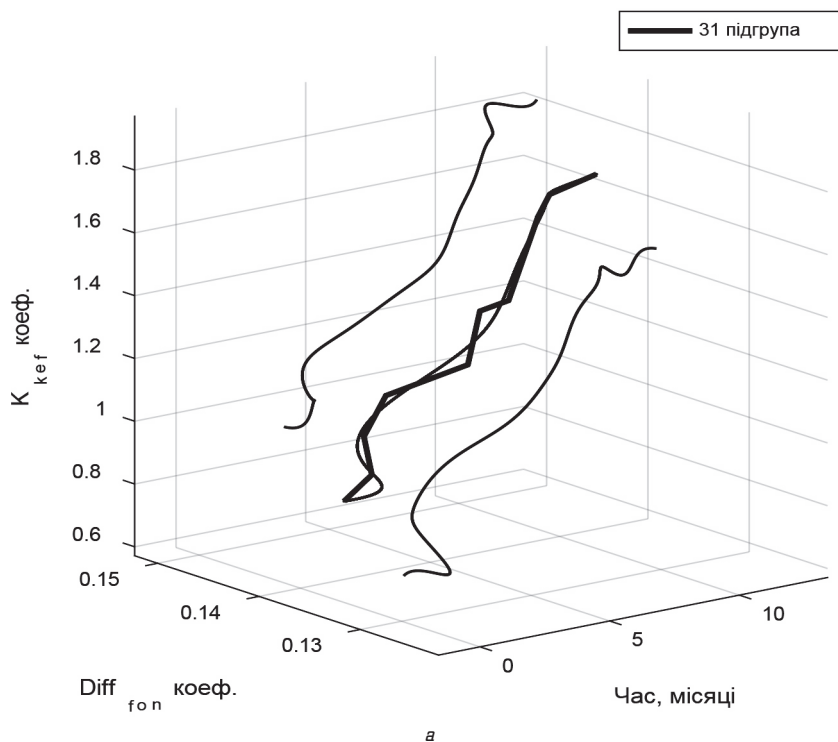


Рис. 2. Графічна модель трьохвимірної залежності між коефіцієнтами $Diff_{fon}$, K_{kef} та часом t ; а — для 31-ї підгрупи операторів; б — для 35-ї підгрупи операторів

Система рівнянь трьохвимірної моделі для 35-ї підгрупи операторів може бути представлена наступним чином:

$$\begin{cases} Diff_{fon} = -1,62 \cdot 10^{-6} \cdot t^7 + \\ + 7,23 \cdot 10^{-5} \cdot t^6 - 0,0013 \cdot t^5 + \\ + 0,0121 \cdot t^4 - 0,0619 \cdot t^3 + \\ + 0,1700 \cdot t^2 - 0,2260 \cdot t + 0,2444; \\ K_{kef} = -6,07 \cdot 10^{-6} \cdot t^7 + \\ + 1,974 \cdot 10^{-4} \cdot t^6 - 0,0024 \cdot t^5 + \\ + 0,0124 \cdot t^4 - 0,0228 \cdot t^3 - \\ - 0,0257 \cdot t^2 + 0,1708 \cdot t + 0,4276. \end{cases}$$

Підставляючи експериментальні значення параметрів кефалографії та електроенцефалографії при $t = 0$ можна реалізувати поглиблену оцінку ПФС ОЕВД, а контролюючи вказані параметри під час виконання професійних обов'язків в екстремальних зовнішніх умовах ($t > 0$) можна реалізувати контроль та реабілітацію ПФС ОЕВД.

7. SWOT-аналіз результатів досліджень

Завдяки автоматизації статистичного підходу обробки параметрів біоритмів КГМ із застосуванням перехідних процесів отримано інтегральні показники електроенцефалограми (Q_{eeg} , $Diff_{fon}$) та їх нормовані значення, які дозволяють оцінювати та прогнозувати ПФС організму операторів екстремальних видів діяльності.

Представлений підхід апробовано на невеликій вибірці експериментальних даних, через що в майбутніх дослідженнях будуть внесені корективи розрахованих нормованих значень показників. Проте, підібраний алгоритм статистичних розрахунків розрахований саме на малу вибірку експериментальних даних, що в майбутньому, при збільшенні вибірки, потребуватиме зміни деяких алгоритмів програмного продукту.

Представлений напрям досліджень можна використати в медичних установах для оцінювання психофізіологічної готовності досліджуваних до трансплантації внутрішніх органів, а також для індивідуального підбору донорів. Результати прогнозування ПФС досліджуваних можна використати під час реабілітації, наприклад, для підвищення якості підбору лікарських засобів.

На якість електроенцефалографічних досліджень впливають різні зовнішні фактори. Тому, для підвищення якості отриманих даних необхідно дотримуватись жорстких правил реалізації експериментальних досліджень.

8. Висновки

У результаті проведених досліджень:

1. Проведено аналіз процесу виникнення інформаційно-енергетичного поля людини, завдяки чому розроблено концептуальну модель, основним елементом якої є лімбічна система мозку людини, яка синтезує та оброблює інформацію, а також реалізує вплив на регуляцію гомеостазу організму людини.

2. Розроблено та комп'ютеризовано алгоритм розрахунку інтегрального критерія електроенцефалограми, а саме енергетичного коефіцієнта щільності (Q_{eeg}), який дозволяє на основі перехідних процесів біосигналі кори головного мозку оцінити та спрогнозувати психофізіологічний стан організму операторів екстремальних видів діяльності.

3. Розроблено та комп'ютеризовано алгоритм статистичної обробки даних для розрахунку нормованих значень енергетичного коефіцієнта щільності (Q_{eeg}), коефіцієнта кефалографії (K_{kef}) та параметрів крові, що дозволило автоматизувати процес оцінювання психофізіологічного стану організму операторів екстремальних видів діяльності медиком-спеціалістом.

4. Побудовано графічну та аналітичну модель трьохвимірної залежності між усередненою миттєвою швидкістю спектральної щільності потужності фоновому сигналу електроенцефалограми ($Diff_{fon}$), коефіцієнтом кефалографії (K_{kef}) та часом (t), що дозволило підвищити якість оцінювання та реалізувати прогноз психофізіологічного стану організму операторів екстремальних видів діяльності.

Література

1. Бодров, В. А. Психология профессиональной пригодности [Текст]: учебное пособие / В. А. Бодров. — М.: ПЕР СЭ, 2006. — 511 с.
2. Про схвалення Концепції Державної цільової програми безпеки польотів на період до 2015 року [Електронний ресурс]: Розпорядження Кабінету Міністрів України від 05.03.2009 № 273-р. — Режим доступу: \www/URL: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/273-2009-p>
3. Швець, А. В. Інформаційна технологія психофізіологічного оцінювання надійності діяльності та підтримки працездатності військових операторів [Текст]: автореф. дис. ... д-ра мед. наук: 14.01.03 / А. В. Швець; Науково-дослідний інститут проблем військової медицини Української військово-медичної академії МО України. — К., 2015. — 47 с.
4. Моїсеєнко, С. В. Психофізіологічний супровід антарктичних експедицій [Текст] / С. В. Моїсеєнко, В. І. Сухоруков, С.-А. Й. Мадяр та ін. — К., 2006. — 35 с.
5. Ломов, Б. Ф. Справочник по инженерной психологии [Текст] / Б. Ф. Ломов. — М.: Книга по Требованию, 2013. — 368 с.
6. Уэйберг, Р. С. Основы психологии спорта и физической культуры [Текст]: пер. с англ. / Р. С. Уэйберг, Д. Гоулд. — К.: Олімпійська література, 1998. — 334 с.

7. Поворинский, А. Г. Пособие по клинической электроэнцефалографии [Текст]: учебное пособие / А. Г. Поворинский, В. А. Заболотных; Институт физиологии им. И. П. Павлова АН СССР. — Л.: Наука, 1987. — 64 с.
8. Момот, Т. Г. Электроэнцефалография в клинической практике [Электронный ресурс] / Т. Г. Момот // ООО «Компания TREDEX». — 11.02.2002. — Режим доступа: \www/URL: <http://tredex-company.com/ru/elektroentsefalografiya-v-klinicheskoy-praktike>
9. Kurokawa-Kuroda, T. Temporal and spectral information processing in the auditory cortex: a steady-state auditory-evoked potential study [Text] / T. Kurokawa-Kuroda, T. Yamasaki, Y. Goto, S. Tobimatsu // International Congress Series. — 2005. — Vol. 1278. — P. 27–30. doi:10.1016/j.ics.2004.11.139
10. Eran, P. Disassociation between gamma power and visual evoked potential revealed in human visual cortex [Text] / P. Eran // Frontiers in Human Neuroscience. — 2011. — Vol. 5. — Available at: \www/URL: <http://doi.org/10.3389/conf.fnhum.2011.207.00043>
11. Володарський, Є. Т. Статистичне оцінювання професійної придатності операторів екстремальних видів діяльності [Текст] / Є. Т. Володарський, О. В. Булигіна // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. — 2012. — № 3. — С. 71–78.
12. Кузовик, В. Д. Методика планування експериментальних досліджень психофізіологічного стану головного мозку [Текст] / В. Д. Кузовик, А. Д. Гордєєв // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки. — 2014. — № 1. — С. 174–181.
13. Кузовик, В. Д. Аспекты планирования и реализации экспериментальных исследований психофизиологического состояния операторов экстремальных видов деятельности [Текст] / В. Д. Кузовик, Е. В. Булыгина, А. Д. Гордеев // Материалы 23-й Международной научно-практической конференции «КрымИКо2013». «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии», 18–14 сентября 2013, г. Севастополь. — Севастополь: Вебер, 2013. — С. 1081–1082.
14. Кузовик, В. Д. Апаратно-програмний комплекс для оцінювання психофізіологічного стану оператора [Текст] / В. Д. Кузовик, А. Д. Гордєєв // Технологічний аудит та резерви виробництва. — 2014. — № 1/5(15). — С. 44–46. doi:10.15587/2312-8372.2014.21740

СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ПАРАМЕТРОВ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ БИОРИТМОВ КОРЫ ГОЛОВНОГО МОЗГА

Представлено статистический подход к оценке параметров информационно-энергетического поля коры головного мозга человека на основе обработки стационарного и переходных процессов биоопотенциалов коры головного мозга человека с учетом психологической характеристики операторов экстремальных видов деятельности. Представленный подход включает в себя применение робастных методов анализа данных и имитационного моделирования по методу Монте-Карло.

Ключевые слова: робастный метод, Монте-Карло, электроэнцефалограф, вызванные потенциалы, экспертная система.

Кузовик Вячеслав Данилович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой биокibernетики та аерокосмічної медицини, Національний авіаційний університет, Київ, Україна.
Гордєєв Артем Дмитрович, аспірант, асистент, кафедра біокibernетики та аерокосмічної медицини, Національний авіаційний університет, Київ, Україна, e-mail: gordieiev.artem@gmail.com, artemko@i.ua.

Кузовик Вячеслав Данилович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой биокibernетики и аерокосміческой медицины, Национальный авиационный университет, Киев, Украина.

Гордєєв Артем Дмитриевич, аспирант, ассистент, кафедра биокibernетики и аерокосміческой медицины, Национальный авиационный университет, Киев, Украина.

Kuzovyk Vyacheslav, National Aviation University, Kyiv, Ukraine.
Gordieiev Artem, National Aviation University, Kyiv, Ukraine, e-mail: gordieiev.artem@gmail.com, artemko@i.ua