

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОБЧИСЛЮВАЛЬНІ МЕТОДИ

УДК 519.233:331.546:159.91(045)

Є.Т. ВОЛОДАРСЬКИЙ, О.В. БУЛИГІНА

Національний технічний університет України "КПІ", м.Київ

СТАТИСТИЧНЕ ОЦІНЮВАННЯ ПРОФЕСІЙНОЇ ПРИДАТНОСТІ ОПЕРАТОРІВ
ЕКСТРЕМАЛЬНИХ ВИДІВ ДІЯЛЬНОСТІ

Анотація. В роботі запропоновано статистичний підхід оцінювання професійної придатності операторів екстремальних видів діяльності. На основі введеного коефіцієнта енергетичної стійкості проаналізовано вплив особистих біоритмів та умов професійної діяльності на здатність виконувати цільову функцію. За результатами фізичного моделюючого експерименту визначено допустиме розсіювання коефіцієнта енергетичної стійкості. Введено тріступеневий критерій для оцінювання професійної придатності, в якому, в якості норми, прийнято розсіювання коефіцієнта енергетичної стійкості в екстремальних умовах.

Ключові слова: сигнали біоритмів, електроенцефалограми, психофізіологічний стан, кора головного мозку, дисперсія відтворюваності, енергетична стійкість, тріступеневий критерій.

Аннотация. В работе предложен статистический подход оценки профессиональной пригодности операторов экстремальных видов деятельности. На основе введенного коэффициента энергетической устойчивости проанализировано влияние личных биоритмов и условий профессиональной деятельности на способность выполнять целевую функцию. По результатам физического моделирующего эксперимента определены допустимое рассеяние коэффициента энергетической устойчивости. Введено трехступенчатый критерий для оценки профессиональной пригодности, в котором в качестве нормы принято рассеяние коэффициента энергетической устойчивости в экстремальных условиях.

Ключевые слова: сигналы биоритмов, электроэнцефалограммы, психофизиологическое состояние, кора головного мозга, дисперсия воспроизводимости, энергетическая устойчивость, трёхступенчатый критерий.

Abstract. This work presents a statistical approach of evaluating the proficiency of the operators of extreme kinds of activities. Based on the entered coefficient of the energetic stability has been done analysis of the influence of personal biorhythms and condition of professional work on the ability to perform objective function. According to the results of physical modeling of experiment it has been determined allowable dissipation of coefficient of energetic stability. Inputted three-level criteria to assess proficiency, in which the coefficient of energy stability in extreme conditions was taken as a norm.

Keywords: signals of biorhythms, electroencephalogram, physiological condition, cerebral cortex, the dispersion of reproducibility, energy stability, three-level criteria.

Вступ та постановка проблеми

Ефективність виробничої діяльності оператора, в першу чергу, залежить від професійної придатності. В цьому сенсі професійна придатність - це відповідність моральних якостей, психофізіологічних показників і інтересів певного виду трудової діяльності. Професійна придатність багато в чому залежить від трудової мотивації і схильностей оператора реалізувати свої потенційні можливості і здібності у галузі. Для визначення рівня професійної придатності доцільно визначити психофізіологічний стан оператора.

На сьогоднішній день правила профвідбору операторів базуються, в основному, на оцінюванні фізичних можливостей за категорією «фізично здоровий». Однак, як показує практика, для групи людей, які відносяться до операторів екстремальних видів діяльності, не завжди оцінка фізіологічного рівня здоров'я є достатньою. Тому, на ряду з оцінкою фізіологічних можливостей оператора, необхідно дослідити його психологічний стан. Особливо це важливо для операторів екстремальних видів діяльності – людей, для яких виконання функціонального призначення залежить більше не від його фізіологічних даних, а від його психологічного стану, стійкості до стресових та емоційних навантажень (вміння оперативно приймати рішення). При вирішенні поставленої задачі, особливе значення має відповідність психологічних особливостей профілю роботи. Найчастіше для визначення професійної придатності використовують такі тести: інтелектуальні, здібностей, психомоторні, особистісні тести і тести інтересів. Як показує практика, ефективність цих методів недостатня.

У сучасній фізіології основою при діагностуванні психологічного стану є аналіз сигналів електричної активності мозку, які вимірюються методами електроенцефалографії [1,2]. Отримані таким чином сигнали (електроенцефалограми, ЕЕГ) широко використовуються як в клінічній практиці (наприклад, для діагностики захворювань), так і в дослідницькій роботі, оскільки, без сумніву, вони відображають фундаментальні процеси, що відбуваються в мозку. При аналізі ЕЕГ особливу увагу необхідно приділяти дослідженню психофізіологічного стану (ПФС) головного мозку оператора. При дослідженні ПФС головного мозку вирішальне значення набувають методи виявлення кількісних змін в експериментальних даних та способи формалізації цих змін. Таким чином, одним із засобів комплексного оцінювання психофізіологічного стану оператора є використання електроенцефалограм, які отримують при вимірюванні сигналів біоритмів головного мозку. Такі сигнали можуть забезпечити кількісну оцінку психофізіологічного стану головного мозку при використанні підходу «по збудженню». Так як для операторів екстремальних видів діяльності важливі їх психічний стан і реакція при переході з «спокійного» (фоновий) стану до «збудженого» (стресовий) дослідження доцільно проводити в обох цих станах.

Мета дослідження

Метою роботи є підвищення достовірності оцінювання професійної придатності операторів екстремальних видів діяльності за рахунок введення статистичного критерію оцінювання їх придатності до діяльності.

Основний матеріал

Традиційно операторів поділяють за їх психоемоційними властивостями на категорії темпераменту: холерики, сангвініки, меланхоліки і флегматики. Кожна з зазначених категорій операторів відповідає визначеній сукупності психофізіологічних характеристик і параметрів, починаючи з рівня інтелекту і закінчуючи значеннями антропометричних параметрів. Однак оператори однієї і тієї ж категорії темпераменту мають широкий діапазон розбіжностей як по психофізіологічним характеристикам, так і по психофізіологічним параметрам. Тому при проведенні досліджень потенційного рівня можливостей організму оператора визначеної професійної орієнтації для кожної категорії темпераменту необхідно здійснювати інтеграцію операторів, об'єднавши у класи тих операторів, у яких медико-біологічний стан організму відповідає однаковим (близьким) за значенням психофізіологічним характеристикам і параметрам. Такий підхід дозволяє сформувати окремі класи операторів, для яких притаманний один і той же склад психофізіологічних характеристик і параметрів, але які для кожного класу відрізняються своїми кількісними показниками. Це забезпечує чисельне оцінювання професійної придатності операторів. Був введений критерій - рівень цільової виробничої функції $[F_y(t)]$. Зазначений критерій отожднює такі якості оператора як амбіційність, самокритичність та схильність до мотивації. Таким чином всі оператори були попередньо поділені за своїми психоемоційними властивостями. В подальшому в експериментальних дослідженнях розглядався клас, який умовно назвали «суперсильний» відповідно до психоемоційних властивостей.

Відібрані групи піддавались випробуванням для визначення ознак, що характеризують специфіку їх професійної придатності. У якості інформативного беруться сигнали, що отримані за допомогою електроенцефалографу. Практично ЕЕГ здійснює вимірювання в основному α -ритму, який найбільш активно проявляється майже у всіх ділянках головного мозку. Максимальне значення α -ритму спостерігається в потиличній частині головного мозку. Тому при проведенні експериментальних досліджень розглядалися зазначені сигнали. Сигнали біоритмів представляють собою стохастичний сигнал, обробка якого вимагає застосування спеціальних методів. Одним з відомих методів обробки сигналів являється швидке перетворення Фур'є [3]. Сутність експериментальних досліджень полягає в тому, що за допомогою ЕЕГ вимірюються та аналізуються сигнали біоритмів в спокійному стані оператора і в збудженому стані. При цьому фіксуються миттєві значення сигналів, за якими обчислюються їх параметри. До таких параметрів відносяться амплітуда та частота. Ці параметри традиційно застосовуються в якості інформативних параметрів сигналів. Їх сукупність відображає та дозволяє надати якісну, а не інтегральну оцінку прояву ознак збудженості або енергетичної стійкості при випробуваннях на професійну придатність. На рис. 1,2 показані фрагменти вихідних сигналів α -ритму у стані спокою та у збудженому стані відповідно для оператора, попередньо віднесеного до категорії темпераменту «суперсильний». По осі абсцис відкладено час в секундах, а по осі ординат-напруга в мкВ.

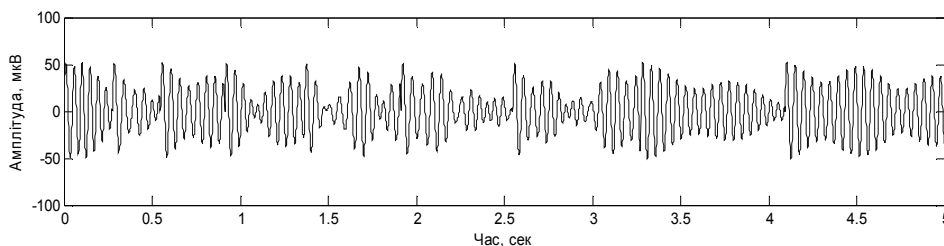


Рисунок 1 – Сигнали α -ритму в стані спокою

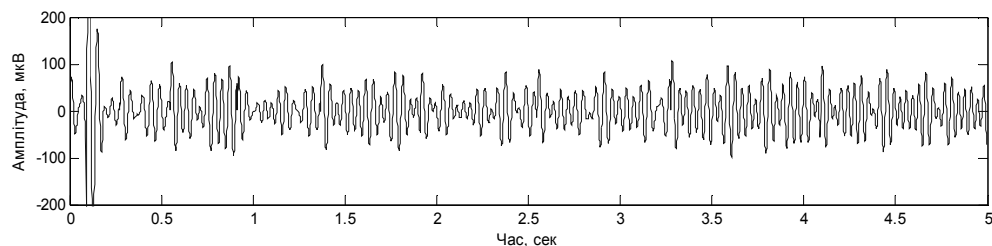


Рисунок 2 – Сигнали α -ритму у стані збудження

Як видно з наведених на рис. 1, 2 сигналів α -ритму в спокійному і збудженому стані суттєво різняться. Але за ними можна лише проводити оцінку в якісному вигляді. Тому пропонується для оцінки емоційного стану в якості інформативного параметру використовувати спектральну щільність сигналів біоритмів головного мозку. Співвідношення спектральних щільностей потужностей фонового та збудженого станів дозволить оцінити стійкість(зміну) психологічного стану, здібність мобілізувати та зберігати фізіологічний потенціал. На рис. 3 та рис.4 представлені отримані результати спектральної потужності α -ритму біосигналу у стані спокою та збудженому в межах одного дня для 20 циклів.

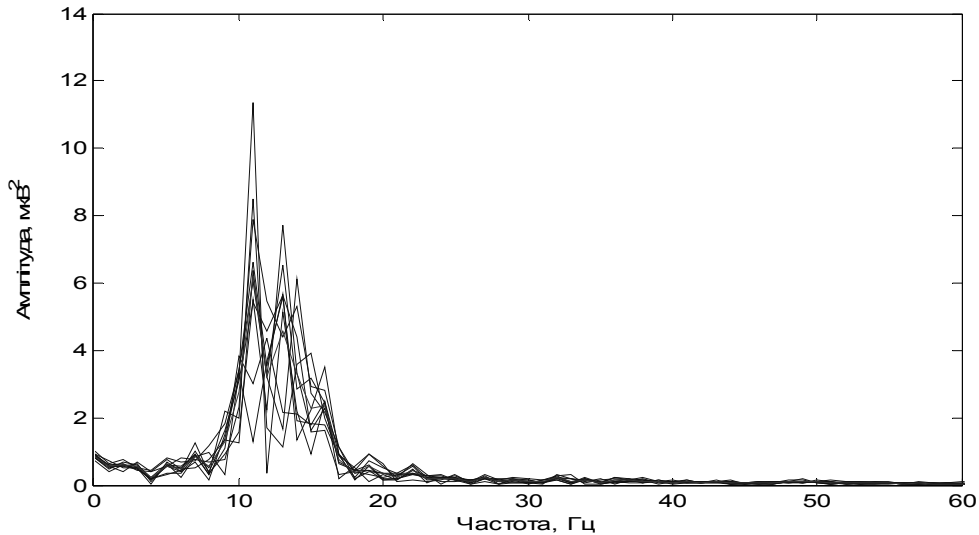


Рисунок 3 – Результати аналізу спектральної потужності α -ритму біосигналу у стані спокою

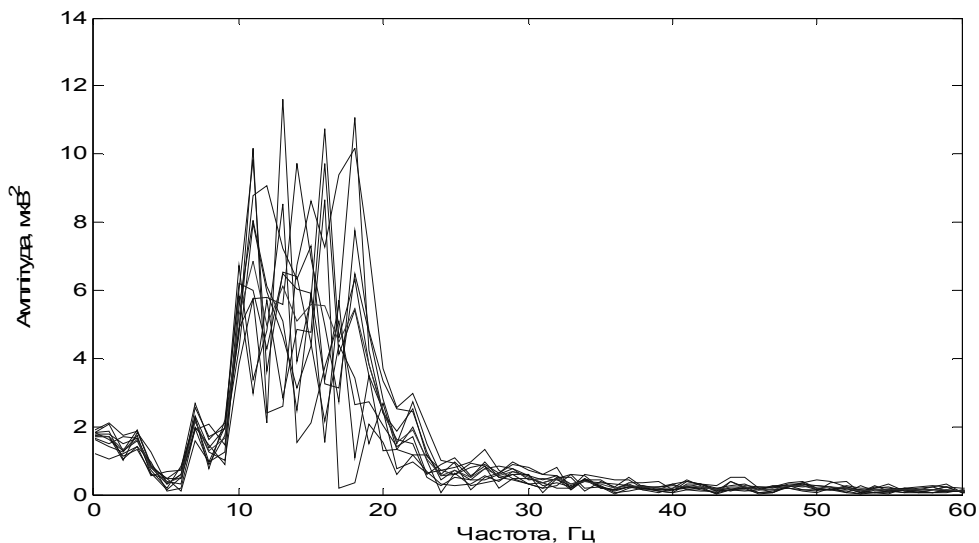


Рисунок 4 – Результати аналізу спектральної потужності α -ритму біосигналу у стані збудження

Як видно з графіків, наведених на рис 3, 4 цей показник дозволяє, наприклад, за площею оцінити стан оператора.

Для оцінки психофізіологічного стану введено коефіцієнт енергетичної стійкості θ , який визначається співвідношенням

$$\theta = \frac{S_{\phi}}{S_{зб}}, \text{ при цьому в ідеальному випадку } \theta \rightarrow 1, \quad (1)$$

Де S_{Φ} - площа під огинаючою спектральної щільності сигналу біоритму знятого у фоновому (спокійному) режимі, S_{36} - площа під огинаючою спектральної щільності сигналу біоритму знятого у збудженому режимі (світлове подразнення). Дослідження розбиті на окремі цикли. Під циклом будемо розуміти результати отримані в обох послідовних режимах (S_{Φ} , S_{36}).

Для проведення експериментальних досліджень в якості вихідної була взята модель багаторівневого дисперсійного аналізу. На першому (нижньому) рівні визначали розсіювання для кожного оператора на протязі одного дня, що обумовлено впливом власних біоритмів операторів. На другому рівні визначалося розсіювання результатів для одного оператора за N_2 днів, яке обумовлено впливом добових біоритмів та зміною параметрів навколишнього середовища. На найвищому рівні визначалось розсіювання, обумовлене індивідуальними властивостями N_3 операторів, які вже задіяні у даній професійній діяльності. Виходячи з цього можливо, отримавши середнє на кожному рівні, оцінити цей вплив. Для дослідження було проведено N_1 циклів випробувань.

Вихідними даними дисперсійного аналізу є значення параметру, який характеризує енергетичну стійкість θ психофізіологічного стану оператора.

На рис.5 наведено план проведення експериментальних досліджень з використанням дисперсійного аналізу для i -го ($i = \overline{1, N_3}$) оператора.

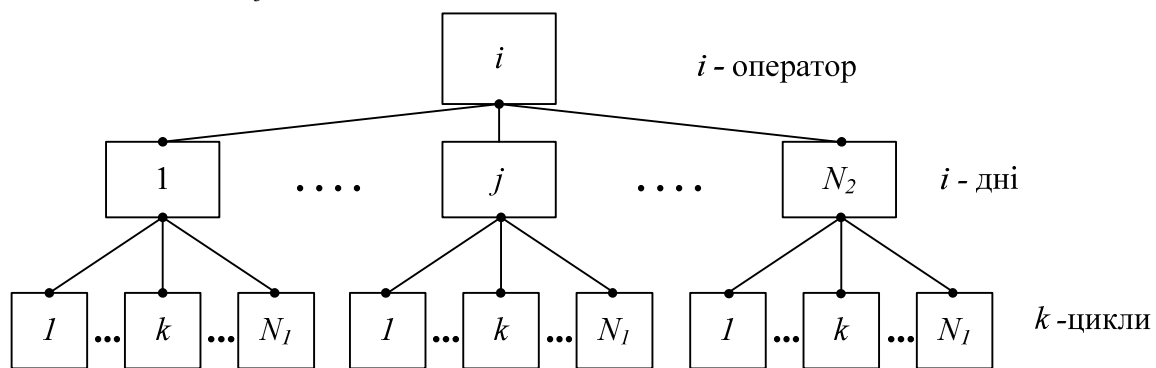


Рисунок 5 – Зображення плану проведення експериментальних досліджень ДА

Відповідно до плану в експериментальних дослідженнях приймали участь N_3 операторів ($i = \overline{1, N_3}$) попередньо віднесені до психотипу «суперсильної» категорії темпераменту. Для кожного оператора за допомогою медиків-фахівців на протязі кожного з j -днів ($j = \overline{1, N_2}$, де N_2 - кількість днів) проводились k -циклів випробувань ($k = \overline{1, N_1}$, де N_1 - кількість циклів). Результати, що отриманні за один цикл, використовуються для визначення площин спектральної щільності S_{Φ} і S_{36} , які використовуються для розрахунку енергетичної стійкості θ_{ijk} .

Розрахунки проводилися відповідно етапам проведення експерименту. Кожний етап було спрямовано на визначення впливу відповідної величини при оцінюванні професійної придатності.

1 етап. Визначення впливу зміну біоритмів оператора на протязі дня на величину θ_{ijk} . Вихідним є масив значень θ_{ijk} , отриманих на протязі дня за N_1 цикл випробувань ($k = \overline{1, N_1}$). За наявними даними можна оцінити варіацію значень θ_{ijk} для i -го оператора, що були отримані на протязі j -го дня. Ця варіація обумовлена зміною емоціонально-психологічного стану під впливом діючих випадкових величин.

$$Var(\theta_{ijk}) = \frac{\sum_{k=1}^{N_1} (\theta_{ijk} - \bar{\theta}_{ij})^2}{(N_1 - 1)}, \quad (2)$$

де $\bar{\theta}_{ij} = \frac{1}{N_1} \sum_{k=1}^{N_1} \theta_{ijk}$ - середнє значення коефіцієнта енергетичної стійкості, отриманих на протязі j -го дня за N_1 циклів випробувань.

2 етап. На цьому етапі виявляється розсіювання коефіцієнта енергетичної стійкості, обумовлене впливом кліматичних умов, електромагнітного поля Землі, інтенсивності сонячного випромінювання і т.п. Для цього експеримент проводився N_2 дні, і кожного дня здійснюється N_1 цикл випробувань.

$$Var(\bar{\theta}_{ij}) = \frac{\sum_{j=1}^{N_2} (\bar{\theta}_{ij} - \bar{\theta}_i)^2}{(N_2 - 1)}, \quad (3)$$

де $\bar{\theta}_i = \frac{1}{N_2} \sum_{j=1}^{N_2} \bar{\theta}_{ij}$ – середнє значення коефіцієнта енергетичної стійкості, обчислене для N_2 днів експерименту ($j = 1, N_2$).

3 етап спрямовано на встановлення розсіювання емоційно-психологічного стану операторів, віднесених до одного класу, але кожний з них має свої індивідуальні властивості. Так як до експерименту було залучено N_3 операторів, то

$$Var(\bar{\theta}_i) = \frac{\sum_{i=1}^{N_3} (\bar{\theta}_i - \bar{\theta})^2}{(N_3 - 1)}, \quad (4)$$

де $\bar{\theta} = \frac{1}{N_3} \sum_{i=1}^{N_3} \bar{\theta}_i$ – середнє значення коефіцієнта енергетичної стійкості, обчисленого за даними, що були отримані під час всього експерименту (з усіма операторами).

Основною ознакою професійної придатності операторів даної категорії вибрана їх емоційна (енергетична стійкість), тобто на скільки змінюється їх психофізіологічний стан, а не просто рівень їх стану (потенційних можливостей), яке характеризується середнім. Тому необхідно оцінювати можливі зміни стану при психофізіологічних навантаженнях. Об’єктивною характеристикою цього може служити не знаходження середнього значення показника в деякому інтервалі із заданою ймовірністю, а розсіювання показника при переході з одного режиму роботи (навантаження) в інший. Так як дана категорія операторів у своїй сукупності характеризується деякою варіацією (дисперсією), то об’єктивно і статистично надійною оцінкою оператора при його функціональному відборі є встановлення із заданою ймовірністю факту, що СКВ його показника є свідомством того, що даний оператор професійно придатний.

За результатами експерименту, що проводиться з сукупністю операторів, які професійно виконують свої функції в цьому виді діяльності, можна оцінити дисперсію одиночного значення θ_{ijk} коефіцієнта енергетичної стійкості по відношенню до центру розкидів його значень θ .

$$\sigma_o^2(\theta) = \frac{\sum_{i=1}^{N_3} \sum_{j=1}^{N_2} \sum_{k=1}^{N_1} (\theta_{ijk} - \bar{\theta})^2}{(N_1 N_2 N_3 - 1)}, \quad (5)$$

При великій кількості результатів отриманих даних оцінка може бути прийнята за нормоване значення допустимої варіації коефіцієнта енергетичної стійкості для даної категорії операторів, з яким зіставляється оцінка варіації коефіцієнта оператора, професійна придатність якого оцінюється.

Для визначення чи впливає день проведення випробувань на достовірність прийняття рішення про професійну придатність, треба оцінити наскільки статистично суттєва дисперсія, яку вносить зміна характеристик оточуючого оператора середовища. Тобто на скільки критична оцінка професійної придатності від дня випробувань.

Для цього необхідно з загального розсіювання, яке обчислюється за виразом (5), виділити складові результатів моделюючого експерименту, обумовлені впливом випадкових факторів на зміни біоритмів, та характеристик оточуючого середовища (для проведення випробувань). Зробимо математичне перетворення чисельника виразу (5)

$$Q_o^2 = \sum_{i=1}^{N_3} \sum_{j=1}^{N_2} \sum_{k=1}^{N_1} (\theta_{ijk} - \bar{\theta})^2 = \sum_{i=1}^{N_3} \sum_{j=1}^{N_2} \sum_{k=1}^{N_1} \left[(\bar{\theta}_i - \bar{\theta}) + (\bar{\theta}_{ij} - \bar{\theta}_i) + (\theta_{ijk} - \bar{\theta}_{ij}) \right]^2, \quad (6)$$

Так як складові в правій частині (6) не корельовані, то можна записати

$$Q_o^2 = Q_{on}^2 + Q_{\partial n}^2 + Q_{\text{цк}}^2,$$

де $Q_{on}^2 = \sum_{i=1}^{N_3} \sum_{j=1}^{N_2} \sum_{k=1}^{N_1} (\bar{\theta}_i - \bar{\theta})^2$ – розсіювання сукупності результатів, обумовлене можливими значеннями

коефіцієнту енергетичної стійкості операторів, які зайняті даним видом діяльності. Чисельне значення цієї величини залежить від кількості N_3 і властивостей конкретних операторів, які були залучені до фізичного моделюючого експерименту.

Особливою вимогою є те, що оператори вже мають досвід у визначених екстремальних умовах і процес вибору їх є випадковим;

$$Q_{\partial n}^2 = \sum_{i=1}^{N_3} \sum_{j=1}^{N_2} \sum_{k=1}^{N_1} (\bar{\theta}_{ij} - \bar{\theta}_i)^2 = N_1 \sum_{i=1}^{N_3} \sum_{j=1}^{N_2} (\bar{\theta}_{ij} - \bar{\theta}_i)^2 \quad (7)$$

- розсіювання сукупності результатів отриманих при проведенні досліджень, обумовлені впливом випадкових величин і можливим впливом для проведення випробувань (змінюю оточуючих оператора умов);

$$Q_{\text{цк}}^2 = \sum_{i=1}^{N_3} \sum_{j=1}^{N_2} \sum_{k=1}^{N_1} (\bar{\theta}_{ijk} - \bar{\theta}_{ij})^2 \quad (8)$$

- розсіювання сукупності експериментальних результатів, обумовлене впливом тільки випадкових величин (коливанням біоритмів на протязі дня). Поділив $Q_{\partial n}^2$ та $Q_{\text{цк}}^2$ на число степенів свободи $\nu_{\partial n} = N_3 N_1 (N_2 - 1)$; $\nu_{\text{цк}} = N_3 N_2 (N_1 - 1)$, отримаємо дисперсію коефіцієнтів енергетичної стійкості, обумовлену впливом випадкових величин і можливим впливом зміни навколишніх умов, в яких повсякденно працює оператор

$$\widetilde{\sigma}_{\partial n}^2(\theta) = \frac{Q_{\partial n}^2}{\nu_{\partial n}}.$$

Дисперсія, причиною якої є випадкові величини, що впливають на оператора, буде

$$\widetilde{\sigma}_{\text{цк}}^2(\theta) = \frac{Q_{\text{цк}}^2}{\nu_{\text{цк}}}.$$

Для визначеності суттєвості впливу навколишніх умов на коефіцієнт енергетичної стійкості, скористаємося критерієм Фішера. Обчислимо значення коефіцієнта та $F_p = \frac{\widetilde{\sigma}_{\partial n}^2(\theta)}{\widetilde{\sigma}_{\text{цк}}^2(\theta)}$ і порівняємо його з табличним значенням F_T для імовірності $P=0,95$ і числа степенів свободи $\nu_{\partial n}$ та $\nu_{\text{цк}}$.

Якщо $F_p \leq F_T$, то з імовірністю 95% можна стверджувати, що проведення профорієнтації можна здійснювати за один будь який день. Коли ж ця нерівність не виконується, то треба проводити випробування декілька днів за приведеною схемою. Для статистичної надійності результатів число днів повинно бути не менше 3, тобто $N_2 \geq 3$ [3]. Знайдене за N_2 днів значення дисперсії коефіцієнта енергетичної стійкості конкретного претендента на оператора даної професійної орієнтації статистично оцінюється до

норми $\widetilde{\sigma}_{\text{он}}^2$, значення якої було знайдено при очікуючому експерименті, що здійснювався за схемою, наведеною на рис.1.

Таким чином, за результатом спільного фізичного моделюючого експерименту отримано норму професійної придатності за стійкістю до емоціональних стресових екстремальних ситуацій $\widetilde{\sigma}_o^2$, яке характеризує відтворюваність характеристик властивостей операторів даної категорії та дві проміжні форми розсіювання коефіцієнта енергетичної стійкості, а саме попереднього оцінювання $\widetilde{\sigma}_{\text{цк}}^2(\theta)$, що дозволяє перевірити експертну оцінку придатності оператора до роботи в екстремальних умовах, та проміжне оцінювання з використанням дисперсії $\widetilde{\sigma}_{\text{он}}^2(\theta)$.

Для співставлення з цими нормами використовуємо критерій статистичної значущості хі-квадрат. З теорії математичної статистики відомо[4,5], що сума квадратів нормально розподілених випадкових величин з математичним сподіванням, що дорівнює нулю ($MX=0$), та одиночною дисперсією, що дорівнює одиниці ($\sigma^2=1$), має розподіл Пірсона χ^2 . Будемо допускати, що $\sigma_i^2(\theta)$, $\widetilde{\sigma}_{\text{он}}^2(\theta)$ та $\widetilde{\sigma}_{\text{оє}}^2(\theta)$ асимптотично наближені до значення дисперсії для генеральної сукупності екстремальних операторів даної категорії, а оцінки дисперсій, що розраховані при проведенні випробувань професійного відбору конкретного оператора, є вибірковими з генеральної сукупності. Прийmemo до уваги, що випадкова величина

$$\sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \bar{x})^2}{\sigma^2(x)} = \chi^2 \text{ має розподіл хі-квадрат з } \nu = (n-1) \text{ степенями свободи,}$$

де x_i – експериментальні дані, а \bar{x} їх середнє значення.

Тоді, виходячи з того що оцінка дисперсії вибірки випадкової величини є

$$S^2(x) = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{(n-1)},$$

можна записати, що

$$\frac{S^2(x) \cdot \nu}{\sigma^2(x)} = \chi^2(\nu) \tag{9}$$

За виразом (9) пропонується триступенева процедура професійного відбору операторів екстремальної діяльності, де на кожному ступені використовується відповідне значення $\widetilde{\sigma}_{\text{цк}}^2(\theta)$, $\widetilde{\sigma}_{\text{он}}^2(\theta)$ та $\sigma_i^2(\theta)$. Це дозволяє суттєво підвищити достовірність безпомилкового професійного відбору шляхом застосування статистичних критеріїв значущості. При цьому, при відборі використовується не будь-який середній показник і навіть не довірчий інтервал для нього, а саме розсіювання коефіцієнта енергетичної стійкості, яке і характеризує енергетичну стійкість екстремальних навантажень.

Висновки

В основу оцінювання придатності оператора до роботи в екстремальних умовах використовуються статистичні критерії оцінювання розсіювання його енергетичної стійкості по відношенню до нормованих значень, отриманих за результатами фізичного моделюючого експерименту. Це дозволяє на трьох послідовних рівнях оцінювати придатність оператора і тим самим підвищити методичну достовірність вірного відбору та зменшити об'єм випробувань.

Список літератури

1. Koronovskii A.A., Kuznetsova G.D., Midzyanovskaya I.S., Sitnikova E.Yu., Trubetskov D.I., Hramov A. E. Regularities of alternate behavior in spontaneous nonconvulsive seizure activity in rats // Doklady Biological Sciences. 2006. Vol. 409. P. 275.
2. Stam N.J. Nonlinear dynamical analysis of EEG and MEG: Review of emerging field // Clinical Neurophysiology. 2005. Vol. 116. P. 2266.

3. Сахаров В.Л., Андреев А.С. / Методы математической обработки электроэнцефалограмм: Учебное пособие. – Таганрог: «Антон», 2000.-44 с.

4. Смирнов Н.В., Дунин-Барковский И.В. Курс теории вероятностей и математической статистике для технических приложений.- М.:Наука, 1969.-512с.

5. Володарський Є.Т., Кошева Л.О. Статична обробка даних: Навчальний посібник.-К.:НАУ, 2008.-308 с.

Відомості про авторів

Володарський Євген Тимофійович, доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет України „Київський політехнічний інститут”.

Булигіна Олена Вячеславівна, асистент кафедри біомедичні і технічні апарати і системи інституту аерокосмічних систем управління Національного авіаційного університету.