

УДК 159.9:629.7:656.7:086.1 (045)

# КОНЦЕПЦІЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ПСИХОФІЗІОЛОГІЧНОГО СТАНУ ЛЬОТНОГО СКЛАДУ

**Є. Володарський**, доктор технічних наук, президент Академії метрології України, м.Київ;  
**О. Булигіна**, кандидат технічних наук, доцент кафедри біокібернетики та аерокосмічної медицини,  
**О. Іванець**, кандидат технічних наук, доцент кафедри,  
 Національний авіаційний університет, м. Київ

**Ключові слова:** безпека польотів, пілот, психофізіологічний стан, критерій стійкості, екстремальні умови.  
**Keywords:** safety of flying, pilot, psychophysiological state, stability criterion, extremal condition.

Убезпечення польотів є пріоритетом діяльності авіаційного транспорту і невід'ємною складовою національної безпеки. Відповідно до Конвенції про міжнародну цивільну авіацію Україна як член Міжнародної організації цивільної авіації (ІКАО) повинна дотримуватися установлених цією організацією стандартів, згідно з якими кожна держава — член ІКАО зобов'язана розробити і виконати національну програму безпеки польотів, а суб'єкти авіаційної діяльності — впровадити систему управління безпекою польотів.

Система управління безпекою польотів — це сукупність заходів із застосування єдиного підходу до управління безпекою польотів, що передбачає оптимізацію організаційної структури, розподіл відповідальності між органами державної влади та суб'єктами авіаційної діяльності, визначення політики та експлуатаційних процедур щодо забезпечення безпеки польотів. Основою управління безпекою польотів є системний підхід до виявлення й усунення джерел небезпеки та здійснення контролю за ризиками для убезпечення польотів з метою мінімізації людських втрат, матеріальних, фінансових, екологічних та соціальних збитків [1].

Результати аналізу причин виникнення авіаційних подій та інцидентів за останні десять років свідчать, що приблизно 80 відсотків таких подій та інцидентів сталися через помилкові дії та порушення екіпажами повітряних суден правил експлуатації (людський фактор). Тому постає проблема у встановленні інтегрального показника, за допомогою якого можна проводити кількісну оцінку психофізіологічного стану пілотів та можливості прийняття адекватних рішень за екстремальних умов.



Є. Володарський



О. Булигіна



О. Іванець

На сьогодні прийняття рішення щодо допуску пілотів до виконання своїх службових обов'язків здійснює авіаційний лікар згідно з правилами медичного забезпечення і контролю польотів цивільної авіації України, затвердженими наказом Державіаслужби від 05.12.2005 за № 920 (z0044-06), зареєстрованими Міністерством юстиції України 19.01.2006 за № 44/11918. Згідно з п. 13 зазначених правил для досягнення високої ефективності медичного забезпечення видів польотів велике значення має психофізіологічна підготовка членів екіпажу. Для цього лікар авіаційної компанії повинен: брати участь у формуванні стійкості організму пілотів до факторів польоту (проведення спеціальних фізичних вправ, навчання та тренування у використанні спеціального спорядження, барокамерні випробування, вестибулярні випробування, активний відпочинок, інші заходи, які підвищують стійкість до прискорень, кисневої недостатності, заколихування, виникнення ілюзій у польоті тощо); проведенні спеціальних тренувань щодо дій в особливих випадках польоту (це тренування у кабінах літаків і на тренажерах, а також у польоті на літаках) для вивчення індивідуальних психофізіологічних особливостей авіаційного персоналу (це реєстрація певних фізіологічних функцій: пульсу, дихання, — спостереження за поведінкою); визначенні раціональних норм льотного навантаження у процесі освоєння нових типів літаків із урахуванням індивідуальних психофізіологічних особливостей авіаційного персоналу, реакції організму на виконання складних видів польоту, рівня психофізіологічних можливостей; навчати авіаційний персонал вимогам авіаційної психології, фізіології та гігієни, спрямованих на збереження здоров'я та працездатності; проводити психофізіологічні та психогігієнічні заходи, спрямовані на зниження емоційної напруги у польоті, відновлення працездатності після польотів і запобігання стомленню (це навчання методам самонагляду, самоконтролю, самопідготовки, а також методу ауто-тренінгу тощо) [2]. Тобто, перед лікарем авіакомпанії постає завдання комплексної оцінки психофізіологічного стану льотного складу, а особливо процесу прогнозування психофізіологічного стану під час дії екстремальних факторів.

Прогнозування психофізіологічного стану має два аспекти: фізіологічну складову та складову психіки. Якщо оцінювання фізіологічних показників успішно проводяться медичними працівниками, то складова психіки оцінюється лише якісно і в статичному режимі. Використання тестів, за допомогою яких сьогодні проводиться оцінювання психіч-

ного стану пілотів, має суб'єктивний характер та неможливість контролю чесних відповідей. Тому існує необхідність кількісної оцінки психічної складової, а також у прогнозуванні психофізіологічного стану льотного складу. Також проблематичним питанням є введення нових методів та засобів для оцінювання психофізіологічного стану, оскільки перелік процедур для медичної сертифікації є законодавчо затвердженим переліком. А зазвичай пілоти проти проведення додаткових обстежень. Тому необхідно виконувати оцінювання та прогнозування психофізіологічного стану пілотів у рамках вже проведених процедур. У цій роботі запропоновано виконувати оцінювання з використанням обстеження, яке є обов'язковим для льотного складу, а саме, електроенцефалографії.

Для пілотів, як операторів екстремальних видів діяльності, суттєвим є їх психофізіологічний стан, який відображається на електроенцефалограмі. Доцільно досліджувати стан пілотів за нормальної робочої обстановки і екстремальних обставин та їх співвідношення. Найбільш ефективним для вирішення такого завдання є використання  $\alpha$ -ритмів, рівень сигналу яких більше ніж на півпорядку перевищує рівень сигналів інших біоритмів, отриманих за спокійного та збудженого станів [3]. Це дозволяє оцінити не диференційні показники, такі як амплітудно-частотний спектр, а інтегральний показник, який оцінює позитивну зміну енергії  $\alpha$ -ритму, що відповідає мобілізації психофізіологічних ресурсів, а не просто зміну спектра сигналу [4].

Випадковий процес  $x(t)$ , яким є сигнал, що відповідає  $\alpha$ -ритму, характеризується спектральною щільністю

$$S_x(\omega) = \lim_{\Delta\omega \rightarrow 0} \frac{D_x(\omega, \omega + \Delta\omega)}{\Delta\omega} \quad (1)$$

Ця функція називається спектральною щільністю реалізації. Якщо припустити, що випадковий процес є напругою або струмом, то чисельник виразу (1) можна розглядати як потужність, що виділяється на опорі 1 Ом. Тому  $S_x(\omega)$  ще називають спектральною щільністю потужності. Взевши до уваги, що в чисельнику (1) одиниця фізичної величини — Вт, а в знаменнику — Гц, то  $S_x(\omega)$  має розмірність Вт·с, що відповідає енергії сигналу. Саме цей параметр випадкового процесу може характеризувати психофізіологічну енергоздатність пілотів до прийняття і реалізації рішень за екстремальних умов.

Спектральна щільність випадкового процесу може бути визначена за допомогою теореми Вінера-Хінчина як перетворення Фур'є від кореляційної

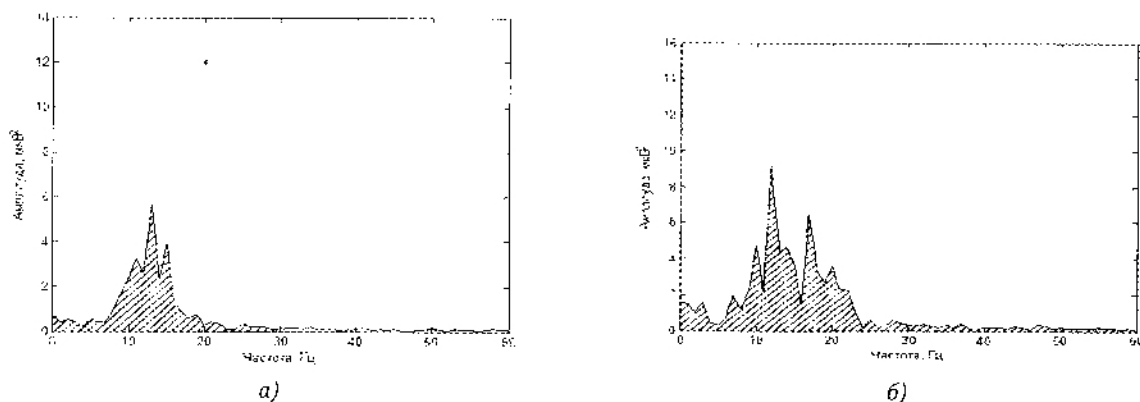


Рис. 1. Спектральна щільність  $\alpha$ -ритму біосигналу: а) у стані спокою; б) у стані збудження  
 Fig. 1. The spectral density of alpha rhythm biosignals: a) at rest; b) in a state of excitement

функції

$$S_x(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} R_x(\tau) e^{j\omega\tau} d\tau. \quad (2)$$

Отже, повній енергії стаціонарного (квазістаціонарного) випадкового процесу відповідає площа під кривою спектральної щільності [5].

На рис.1 наведено приклади спектральної щільності потужності сигналу електроенцефалограми оператора за один цикл дослідження/випробування. Між графіками а і б існує суттєва відмінність між площами під кривими спектральної щільності потужності. Більш того, на наведеному рисунку спектральна щільність потужності, а тим самим і енергетика оператора у збудженому стані більша, ніж у заспокійливому. Це відповідає здібності пілота мобілізувати свої психофізіологічні можливості в екстремальній ситуації, що дозволяє більш ефективно виконувати свої функціональні (професійні) обов'язки. Здібність пілота до мобілізації та підтримки фізіологічного потенціалу за екстремальної ситуації оцінюється за допомогою відносного показника — коефіцієнта енергетичної стійкості  $\theta = P_{\text{сп}}/P_{\text{зб}}$ , що відповідає відношенню повних енергій сигналів  $\alpha$ -ритму, отриманих за спокійного (фонового) стану і за збудження, який дає можливість виконувати кількісну інтегральну оцінку психофізіологічного стану льотно-го складу для роботи за екстремальних умов [6].

Як коефіцієнт професійної придатності пілота до виконання професійних обов'язків запропоновано використовувати співвідношення  $\eta = 1 - \theta$ , яке наблизиться до нуля, чим менше пілот придатний для роботи за екстремальних умов. При цьому професійна придатність льотно-го складу залежить не від його вихідного психофізіологічного стану, а від можливості мобілізувати енергетичні ресурси за виникнення екстремальної ситуації. Коли  $\eta = 0$ , це означає, що енергетика пілота не змінюється за екстремальної ситуації й він не зможе вчасно відреагувати на фактори стресу.

На рис. 2 представлено сукупність реалізацій спектральної потужності, розсіювання яких можна пояснити двома причинами: внутрішніми випадковими факторами функціонування складного організму людини і впливом стресової (нештатної) ситуації. Для виявлення та оцінювання впливу внутрішніх факторів необхідно провести декілька послідовних циклів дослідження, які складаються з фаз спокійного і збудженого станів пілотів, а потім провести статистичне опрацювання обчисленої сукупності коефіцієнтів професійної придатності. Для оцінювання професійної придатності пілота необхідно створити «відносну шкалу». Для цього залучаються пілоти, які мають багаторічний позитивний досвід професійної діяльності, включаючи й нештатні (екстремальні) ситуації. Застосування статистичного апарату ANOVA дозволяє виділити складову, зумовлену зміною психофізіологічного стану та провести за запропонованим критерієм об'єктивне оцінювання професійної придатності пілотів.

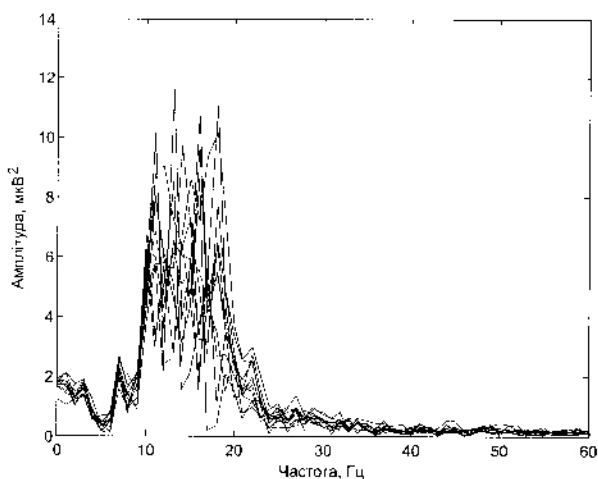



Рис. 2. Сукупність реалізацій спектральної потужності сигналу  $\alpha$ -ритму  
 Fig. 2. A set of implementations spectral signal alpha rhythm

**ВИСНОВКИ**

Запропонований підхід надає можливість кількісної оцінки психофізіологічного стану пілотів. Підхід засновано на визначенні коефіцієнта енергетичної стійкості, який надає можливість кількісно оцінити стан пілота за екстремальних умов під час вико-

нання професійної діяльності. Такий підхід, разом з використанням методу ANOVA, дозволяє об'єктивно оцінити зміну психофізіологічного стану льотного складу за дії екстремальних факторів та можливість прогнозування прийняття адекватних рішень під час дії стресових факторів [7].

**СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ / REFERENCES**

1. Розпорядження Кабінету Міністрів України від 05.03.2009 № 273-р щодо державної цільової програми безпеки польотів на період до 2015 року (Rozporядzhennya Kabinetu Ministriv Ukrayiny` vid 05.03.2009 № 273-r shhodo derzhavnoyi cil`ovoyi programy` bezpeky` pol`otiv` na period do 2015 roku).
2. Наказ від 05.12.2005 № 920 Про затвердження Правил медичного забезпечення і контролю польотів цивільної авіації України (Nakaz vid 05.12.2005 № 920 Pro zatverdzhennya Pravy`l medy`chnogo zabezpechennya i kontrolyu pol`otiv` sy`vil`noyi aviatsiyi Ukrayiny`).
3. Володарський Є.Т. Статистичне оцінювання професійної придатності операторів екстремальних видів діяльності / Є.Т. Володарський, О.В.Булигіна// Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. ВНТУ-2012 (Volodars`ky`j Ye.T. Staty`sty`chne oscinyuvannya profesijnoyi pry`datnosti operatoriv ekstremal`ny`x vy`div diyal`nosti / Ye.T. Volodars`ky`j, O.V.Buly`gina// Informacijni tehnologiyi ta komp`yuterna inzheneriya. VNTU-2012). — №3(25). — С/С. 71—78. — ISSN 1999-9941.
4. Булигіна О.В. Методика експериментальних досліджень щодо оцінювання професійної придатності операторів транспортних засобів, Автошляховик України. Вісник Центрального наукового центру Транспортної академії України (Buly`gina O.V. Metody`ka ekspery`mental`ny`x doslidzhen` shhodo oscinyuvannya profesijnoyi pry`datnosti operatoriv transportny`x zasobiv, Avtoshlyaxovy`k Ukrayiny`. Visny`k Central`nogo naukovogo centru Transportnoyi akademiyi Ukrayiny`). — 2015. — № 1—2. — С/С. 9—11.
5. Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы / С. И Баскаков// — 3-е изд. — М.: «Высшая школа» (Baskakov S.I. Radiotekhnicheskie tsepi i signaly / S. I Baskakov// — 3-e izd. — М.: «Vysshaya shkola»), 2000. — 462 с/с. — ISBN 5-06-003843-2.
6. Авторське свідоцтво № 52712 Україна, Розрахунок інформативних параметрів електроенцефалограми для оцінювання психофізіологічного стану операторів / Булигіна О.В., Кузовик В.Д., Гордєєв А.Д.; заявник Національний авіаційний університет — № 52986 заявл. 22.10.2013; опубл. 20.12.2013 р. (Avtors`ke svidocztvo № 52712 Ukrayina, Rozrachunok informatyvny`x parametriv elektroencefalogramy` dlya oscinyuvannya psy`hofiziologichnogo stanu operatoriv / Buly`gina O.V., Kuzovy`k V.D., Gordyeyev A.D.; zayavny`k Nacional`ny`j aviacijny`j universy`tet — № 52986 zayavl. 22.10.2013; opubl. 20.12.2013 r.).
7. Freund John E., Walpole Ronald E.: Mathematical Statistics 4th Ed. Prentice-Hall, Inc., NJ 1987. 

Отримано / received: 04.03.2017.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. Л.О. Кошевою (Україна).  
Prof. L.O. Kosheva, D. Sc. (Techn.), Ukraine, recommended this article to be published.