

Використання індивідуального підходу для оцінювання функціонального стану організму

В роботі запропонований метод оцінювання функціонального стану організму на основі індивідуального підходу. В якості такого критерію запропоновано використання багатопараметричного критерію Хотеллінга. Метод може бути використаний для визначення адаптаційних можливостей організму людини до дії довготривалих екстремальних навантажень у різних ситуаціях.

Особливі умови виконання професійних обов'язків льотного складу пред'являють підвищені вимоги до стану організму та зміни його функціональних станів, що можуть вплинути на забезпечення безпеки польотів. Особливі умови завжди пов'язані з впливом екстремальних факторів або виникненням екстрених ситуацій. Тому оцінювання функціонального стану організму льотного складу як при проведенні медичної сертифікації так і прогнозування функціонального стану при дестабілізуючому впливі нештатних ситуацій є актуальним завданням. На сьогодні оцінювання функціонального стану організму базується на основі теорії нормології в медицині, що визначає достатньо широкі межі норми на досліджуваний параметр з урахуванням міжгрупової варіабельності параметрів (вікових та статевих особливостей). Використання даного підходу не враховує принципів концепції «Чотири «П» медицини. Для її реалізації необхідно розроблення методології, побудованої на персоналізованій нормології, що є нетривіальним завданням.

Для біологічних об'єктів, як об'єктів зі стохастичними параметрами практично неможливо не тільки створення зразків, але й фізично реалізованих моделей вимірюваних величин. Більш того, виникають труднощі з побудовою імовірнісних моделей таких об'єктів через неповноту інформації з видів їхніх станів. Це різко обмежує можливості використання існуючих методів оцінювання та прийняття рішення і створює проблему розробки нових імовірнісно-статистичних та інформаційних методів оцінювання для біологічних об'єктів, функціональний стан і працездатність яких можуть змінюватися, як в часі, так і через вплив випадкових факторів.

Таким чином, наукова й прикладна проблема оцінювання фізіологічного стану об'єктів зі стохастичними параметрами, або параметрами, стохастично зв'язаними, з оцінюваними величинами, є комплексною, вимагає розробки нової сучасної методології на основі формування індивідуальних норм на досліджувані параметри з використанням статистично-імовірнісних та інформаційних моделей оцінювання, що є актуальною проблемою й має важливе значення для розвитку теорії й методів оцінювання функціонального стану організму та визначає напрямок дисертаційного дослідження.

Задачу розробки методів оцінювання функціонального стану організму з урахування індивідуального підходу та врахуванням стохастичних параметрів повністю не вирішено, особливо коли неможливе використання еталонних об'єктів або фізично реалізованих моделей оцінюваних величин. Встановлено, що використання існуючих методів оцінювання без використання індивідуального підходу до ймовірно-статистичного аналізу кількісних характеристик медико-біологічних параметрів створює проблему невизначеності інформації на етапі прийняття рішення щодо функціонального стану організму і виникнення неусувної методичної складової ймовірності помилкових рішень.

Запропоновано розглянути задачу оцінювання медико-біологічних параметрів на основі індивідуальних меж, чутливих до особистісних особливостей кожного окремого організму з урахуванням статистичної неоднорідності первинної інформації. Таке урахування є обов'язковим як на етапі отримання вимірювальної інформації, так і при прийнятті рішень щодо функціонального стану. При аналізуванні способів порівняння вимірних значень параметрів біологічних об'єктів виявлено відсутність теоретично обґрунтованих методів формування індивідуальних меж норм на медико-біологічні параметри, які характеризують стан об'єкту з огляду на його біологічну унікальність, особливо враховуючи що:

- у більшості відсутні стандартні зразки властивостей медико-біологічних величин або їх фізично реалізованих моделей;
- обмежена інформація щодо виду функціонального зв'язку між вимірюваними величинами різних ієрархічних рівнів організму;
- обмежена інформація, що використовує ретроспективні дані щодо вимірюваних параметрів;
- вимірювані медико-біологічні параметри принципово випадкові, неоднаково інформативні та взаємозалежні.

Якщо функціональний стан організму характеризується параметром Y а $X_1, \dots, X_k$ - вимірювані фізичні величини, що відображають властивості такого складного фізичного об'єкта. То Y - випадкова величина в тому сенсі, що відсутня можливість точного, метрологічного обґрунтування відтворення будь-якого її заданого значення в діапазоні A_y всіх її можливих змін. Однак, дисперсія величини Y в будь-якій точці діапазону - кінцева і постійна ($\delta_y^2 = \text{const}$), а для математичних сподівань Y і X існує функціональний, але апіорі невідома зв'язок:

$$M[Y] = F(M[X_1], \dots M[X_k]) \quad (1).$$

Узагальнену структурну схему отримання і перетворення вимірювальної інформації про значення контрольованого параметра за результатами вимірювань значень контрольованих величин наведено на рис.1.

Блок В (вимірювання) здійснює перетворення вимірних значень $X_1^*, \dots, X_k^*$ контрольованих величин, в оцінку Y^* значення параметра Y , де $a_1, \dots, a_p$ – коефіцієнти математичної моделі перетворення (1).

Оцінка коефіцієнтів $a_1, \dots, a_p$ здійснюється на етапі вивчення об'єкта контролю за вибіркою об'єму n для кожної з фіксованих величин $Y_j, j = \overline{1, m}$ рівнів параметра Y (етап навчання системи контролю). Блок П (прийняття рішень) здійснює вибір $\{a_i, b_c\}_1^m$ одного $y_i \{a_i, b_c\}_1^m$ із багатьох $\{y_i\}_1^m$ рішень про

значення Y , після порівняння Y^* з нормою $(a_l, b_l), l = \overline{1, m}$ у відповідності з правилом вибору рішення $\forall Y^* [Y^* \in (a_j, b_j) \rightarrow Y^* \in Y_j]$. Множина $\{\psi\}$ – це фактори, які впливають на правильність вибору моделі перетворення $\hat{F}(\cdot)$ і на точність оцінювання коефіцієнтів $a_1, \dots, a_p$ цієї моделі.

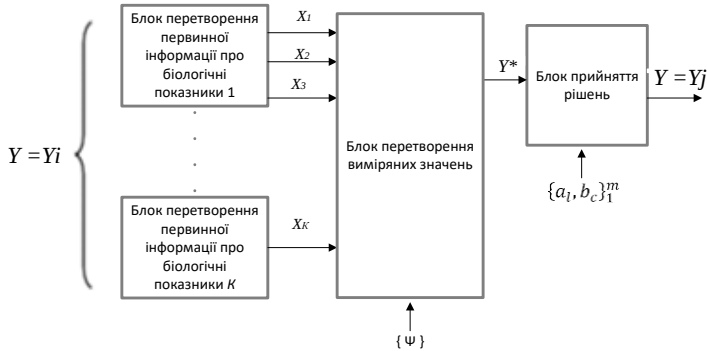


Рис.1. Структурна схема інформаційних перетворень

Саме використання в якості норми $(a_l, b_l), l = \overline{1, m}$ – індивідуальної межі норми, що засновані на ретроспективних даних з джерел попередньої сертифікації. Оскільки медико-біологічних параметри організму містить кореляційні зв'язки кожної з підсистем організму, виникає необхідність застосування багато параметричних критеріїв з метою визначення індивідуальних меж медико-біологічних параметрів, що характеризують умови розлагодження стабільності системи організму, тобто виходу її зі стану біологічної рівноваги. В якості такого критерію запропоновано використання багатопараметричного критерію Хотеллінга. За відомої коваріаційній матриці статистика Хотеллінга має хі-квадрат розподіл та надає можливість розрахунку точкових значень статистики T^2 .

$$T_H^2 = n(\bar{X} - \mu_0)^T S^{-1} (\bar{X} - \mu_0), \quad (2)$$

де $\bar{X}$ -вектор середніх значень параметрів в миттєвих вибірках, μ_0 – вектор цільових середніх (значення, яке найчастіше зустрічається у вибірці), n – обсяг вибірки.

Незміщена оцінка коваріаційної матриці визначається як:

$$S = \frac{1}{n-1} \begin{vmatrix} x_{11} - \mu_{01} & x_{21} - \mu_{02} & \dots & x_{p1} - \mu_{0p} \\ x_{12} - \mu_{01} & x_{22} - \mu_{02} & \dots & x_{p2} - \mu_{0p} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{1n} - \mu_{01} & x_{2n} - \mu_{02} & \dots & x_{pn} - \mu_{0p} \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} x_{11} - \mu_{01} & x_{12} - \mu_{01} & \dots & x_{1n} - \mu_{01} \\ x_{21} - \mu_{02} & x_{22} - \mu_{02} & \dots & x_{2n} - \mu_{01} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{p1} - \mu_{0p} & x_{p2} - \mu_{0p} & \dots & x_{pn} - \mu_{0p} \end{vmatrix} \quad (3)$$

Отримане на підставі виразу (3) значення T_H^2 порівнюється з критичним значенням для заданого рівня статистичної значущості $\alpha = 0,05$ й числа ступенів свободи p . Критичне значення статистики Хотеллінга визначається за формулою:

$$T_{\alpha, p, (n-p)}^2 = \frac{p(n-1)}{n-p} F_{\alpha, p, (n-p)}, \quad (4)$$

де $F_{\alpha, p, (n-p)}$ – статистика Фішера.

Для всіх значень має виконуватися нерівність:

$$T_H^2 < T_{кр}^2. \quad (5)$$

Якщо нерівність (5) не виконується, слід виявити показники, які здійснюють критичний вплив на функціональний стан організму. Для цього можна скористатися частинним критерієм Хотелінга за формулою:

$$T_{Hj}^2 = \frac{n[C_j^T(\bar{X}_j - \mu_{0j})^2]}{[C_j^T S C_j]}, \quad (6)$$

де C_j – вектор-стовпець, що складається з нулів у всіх рядках крім j -го, де стоїть

1. Якщо $T_{Hj}^2 > T_{кр}^2$, то саме параметр j здійснює критичний вплив на стабільність функціонального стану організму, і тому потрібно вжити заходів щодо його корекції. Головне значення при формуванні інформаційної моделі прийняття рішень при медико-біологічних досліджень набуває невизначеність, яка проявляється у взаємному впливі один на одного біологічного об'єкту і технічних засобів, неточності виконання методики експерименту, змінності властивостей об'єкта в процесі дослідження, шумах внутрішнього і зовнішнього походження, тобто на всіх етапах запропонованої моделі рис.1.

Висновки

В роботі запропонований метод оцінювання функціонального стану організму на основі індивідуального підходу. Визначення індивідуального підходу запропоновано здійснювати з використанням багато параметричного критерію з метою визначення індивідуальних меж медико-біологічних параметрів, що характеризують умови розлагодження стабільності системи організму, тобто виходу її зі стану біологічної рівноваги. В якості такого критерію запропоновано використання багатопараметричного критерію Хотелінга. Метод може бути використаний для завдань сертифікації льотного стану та визначення адаптаційних можливостей організму людини до дії довготривалих екстремальних навантажень у різних ситуаціях та оцінювання біологічної рівноваги організму людини з урахуванням невизначеності як в показниках біологічного функціонування, так і в параметрах, що відображають їхню динаміку у часі.

Список літератури

1. Ivanets O.B, Kosheva L.O Approach to the Evaluation of the Functional State of the Human Body Taking into Account the Variability of Medical and Biological Indicators. Proceeding of CAOL*2019. Sozopol, Bulgaria. September 6 – 8, 2019. – C.661-665. #978-1-7281-1814-7/19/31.00 2019 IEEE.
2. Shchapov PF, Ivanets OB, Sevryukova OS Dynamic properties of the time series of biomedical measurements. Science-based technologies № 2 (46), 2020. DOI: 10.18372 / 2310-5461.46.
3. Baevky R.M., Chernikova A.G. To the problem of physiological norm: Mathematical model of functional states based on the analysis of heart rate variability. Aerospace and Environmental Medicine, 2002, 6, p.11-17.
4. Ivanets O.B., Arkhyrei M.V., Khristenko A.A., Dikhtyaruk O.V. Uncertainty of test results. Optoelectronic information and energy technologies. - 2015. - №. 1. - P. 5-9.