

УДК 631.3.05

DOI: 10.31891/2219-9365-2020-66-2-4

ІВАНЕЦЬ О. Б., МЕЛЬНИКОВ О. В.,  
АРХИРЕЙ М. В., ЯКИМЕЦЬ І. В.  
Національний авіаційний університет

## МОДЕЛЬ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ЩОДО ФУНКЦІОНАЛЬНОГО СТАНУ СКЛАДНИХ ОБ'ЄКТІВ

У статті наведено результати досліджень у галузі методів експерименту та запропоновано новий підхід до оцінювання функціонального стану складних об'єктів на основі обробки результатів виміррювального контролю їх параметрів. В роботі запропонована формалізація процесу прийняття рішення при оцінюванні функціонального стану, такого складного об'єкту як організм людини, з використання статистичного методу. Запропонована можливість оцінювання стану організму, як багато параметричної системи при кореляції її показників, використання  $T_2$  – статистика Хотелінга, яка дозволяє за рахунок визначення індивідуальних особливостей перетворення інформативних параметрів, надавати більш достовірні результати про зміну стабільності організму порівняно з традиційним підходом визначення норми з урахуванням тільки статі та віку. Проведені розрахунки медичних показників 12 операторів, що виконують професійні обов'язки, у яких проведені дослідження аналізу крові впродовж одного року. Наведені особливості використання персоналізованої медицини в рамках «концепції ЗП». Та запропоновано використання  $T_2$  – статистики Хотелінга, що дає змогу визначати границі контрольованих значень на заданому рівні значущості за таблицею квантилів розподілу хи-квадрат.

Ключові слова: багато параметрична система, кореляція показників, статистичні методи, критерії оцінювання, медичні показники.

IVANETS O., MELNIKOV O.,  
ARKHYREI M., YAKIMETS I.  
National Aviation University

## DECISION-MAKING MODEL ON THE FUNCTIONAL STATE OF COMPLEX OBJECT

Effective assessment of the condition of complex objects is important for various industries and science. Almost all characteristics of a biological object are characterized by variability - a specific and distinctive feature of all biomedical measurements. Variation of the trait occurs if its values vary from individual to individual or for one individual over time, which makes it impossible to repeat control measurements of the parameters of the same biological object, as is usually accepted in the art, which leads to great difficulties in estimating random variables. measurement and, as a consequence, diagnostic errors. The aim of the work is to formalize the decision-making process in assessing the functional state, such a complex object as the human body, using a statistical method. The possibility of estimating the state of the organism as a lot of parametric system in the correlation of its indicators, the use of  $T_2$  – Hotelling statistics, which allows by determining the individual characteristics of the transformation of informative parameters, to provide more reliable results on changes in body stability compared to the traditional approach and age. The effectiveness of using the developed approach to assessing the state of the organism is confirmed by experimental results. The results of the research presented in the article can be used to assess the degree of deviation from the norm of both technical and biological objects, including the body of humans or animals.

The article presents the results of research in the field of experimental methods and proposes a new approach to assessing the functional state of complex objects based on the processing of the results of measuring control of their parameters. The paper proposes the formalization of the decision-making process in assessing the functional state, such a complex object as the human body, using a statistical method. The possibility of estimating the state of the organism as a lot of parametric system in the correlation of its indicators, the use of  $T_2$  – Hotelling statistics, which allows by determining the individual characteristics of the transformation of informative parameters, to provide more reliable results on changes in body stability compared to the traditional approach and age. Medical indicators of 12 operators performing professional duties, in which blood tests were performed during one year, were calculated. Peculiarities of using personalized medicine within the framework of the "3P concept" are given. However, the use of  $T_2$  – Hotelling statistics is proposed, which makes it possible to determine the limits of controlled values at a given level of significance according to the chi-square distribution quantile table.

Key words: multi-parametric system, correlation of indicators, statistical methods, evaluation criteria, medical indicators.

**Вступ.** В останні десятиріччя технічні методи та засоби оцінювання складних об'єктів все більше впроваджуються в галузі економіки, біології, медицини екології та інших. Необхідність побудови функціональних моделей для опису структур складних об'єктів є актуальною задачею, яка дозволяє вирішувати питання оцінювання як поточного стану даних систем так і прогнозувати їхній стан при зміні факторів впливу. При визначенні функціонального стану такого складного об'єкту як організм людини необхідно провести аналіз всіх етапів прийняття рішень щодо його оцінювання. Розробка функціональної моделі прийняття рішень для оцінювання стану організму надасть змогу забезпечити повноту отримання інформації про параметри об'єкта, що контролюються. Первинна інформація після перетворення набуває форми кількісних суджень про стан об'єкта. Але обов'язковою умовою є операція порівняння зі значеннями норми. На сьогодні при прийнятті рішень щодо стану біологічних об'єктів такою нормою є референтні

значення які характеризуються достатньо широким діапазоном та не враховують унікальні особливості як самого організму та його адаптації та реакції на зовнішні умови перебування.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Оцінювання складних об'єктів є важливим питанням для різноманітних галузей промисловості та науки. У роботах [1–3] розглянуто певні методики оцінювання у галузі лінгвістики, медицини та соціальної інфраструктури, розглянуто, а певні підходи до критеріального оцінювання біологічних об'єктів запропоновані – в роботах [4, 5]. Оцінювання та прогнозування різних функціональних станів організму людини розглянуті у роботах [6, 7]. Але майже всім характеристикам біологічного об'єкта притаманна варіабельність – специфічна і відмінна ознака всіх біомедичних вимірювань. Варіація ознаки виникає, якщо її значення змінюються від індивідууму до індивідууму або для одного індивідуума в часі. Майже завжди унеможливується проведення повторних контрольних вимірювань параметрів того самого біологічного об'єкту, як це прийнято зазвичай в техніці, що призводить до великих труднощів в оцінці випадкових величин при вимірюванні і, як наслідок, помилок діагностування. Мінливість та індивідуальний розкид параметрів біологічного об'єкту, їх взаємозв'язок, нелінійність цих зв'язків, наявність високого рівня перешкод, робить завдання об'єктивної оцінки стану біологічного об'єкту досить складним. У біологічному експерименті немає поняття «істинного значення», тільки середнє, а розкид даних, внаслідок індивідуальної реакції організму, може сильно варіювати.

**Постановка задачі.** Біологічний об'єкт як особливий об'єкт досліджень описується комплексом медико-біологічних показників – групами фізичних, біохімічних, психологічних параметрів, що визначаються в процесі досліджень [8, 9]. Через недостатню вивченість біологічного об'єкту ускладнено отримання адекватних математичних моделей між реєстрованими параметрами і відповідними їм біологічними показниками, що характеризують часово-просторовий стан біологічного об'єкта [10, 11]. Тому в роботі пропонується підхід який дозволяє при прийнятті діагностичних рішень враховувати індивідуальні особливості меж норми для кожного окремого об'єкту на основі його ретроспективних даних.

**Вирішення поставленої задачі.** В роботі запропоновано представити складний об'єкт (наприклад організм людини), що характеризується параметром  $Y$  а  $X_1, \dots, X_k$  – вимірювальні величини (величини що контролюються) які відображають властивості об'єкта.  $Y$  – випадкова величина в тому сенсі що відсутня можливість точного обґрунтованого метрологічного відтворення будь-якого заданого значення в діапазоні  $A_y$  усіх її можливих змін. Але дисперсія величини  $Y$  в будь-якій точці діапазону кінцева та постійна  $\sigma_Y^2 = \text{const}$ , а для математичних очікувань  $Y$  та  $\{X_i\}_1^k$  існує функціональна, але апріорі невідома залежність:

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

Узагальнена структурна схема отримання і перетворення вимірювальної інформації про значення показників системи організму за результатами вимірювального контролю його показників подана на рис.1 [12].

В якості первинної вимірювальної інформації про стан об'єкту обрані значення показників крові, а саме: значення параметрів лейкоцитів, еритроцитів та гемоглобіну Блок В (вимірювання) здійснює перетворення виміряних значень  $X_1^*, \dots, X_k^*$  контрольованих величин, а саме,  $X_1$  – кількість лейкоцитів,  $X_2$  – кількість еритроцитів,  $X_3$  – кількість гемоглобіну, в оцінку  $Y^*$  значення параметра  $Y$  математичної моделі перетворення  $M[Y] = F(M[X_1], \dots, M[X_k])$ .

Блок П (прийняття рішень) здійснює вибір  $\{a_l, b_c\}_1^m$  одного  $y_i \{a_l, b_c\}_1^m$  із багатьох  $\{y_j\}_1^m$  рішень про значення  $Y$  (рис. 2), після порівняння  $Y^*$  з нормою  $(a_l, b_l), l = \overline{1, m}$  відповідно до правила вибору рішення  $\forall Y^* [Y^* \in (a_l, b_l) \rightarrow Y^* \in Y_j]$ .

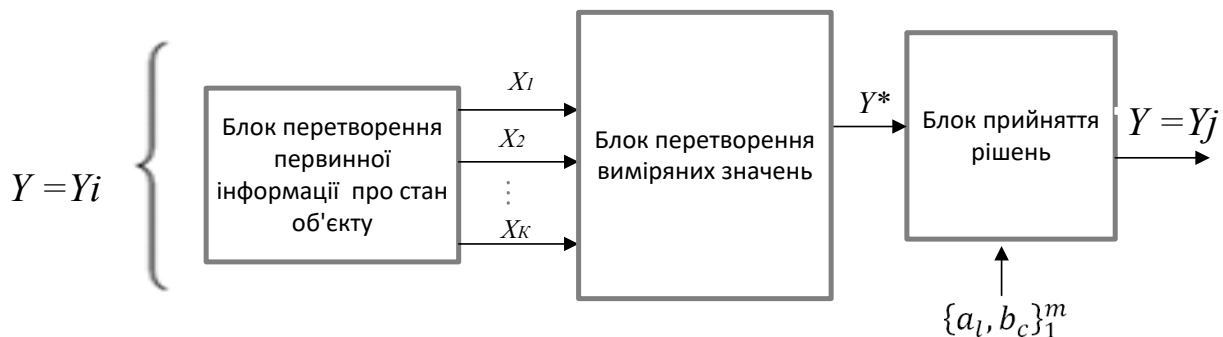


Рис. 1. Структурна схема інформаційної перетворень в системі прийняття рішень

Особливістю підходу запропонованого в даній роботі є визначення індивідуального підходу при формуванні значень норми. Це пов'язано з унікальними особливостями кожного окремого організму, який підтримує стійкість свого функціонування з огляду на фактори дестабілізації: кліматичні, соціальні,

демографічні, екологічні, спадкові та хронічні хвороби, шкідливі звички. В той час як традиційний підхід формує межі референтної норми для даних показників згідно доволі широких границь вікового ранжування та статі, так, наприклад, норми для значень лейкоцитів для дорослого чоловіка тільки 2 (табл. 1).

Таблиця 1.

**Референтні значення згідно традиційного підходу оцінювання**

Вік	Стать	Еритроцити, $\cdot 10^{12}/л$	Гемоглобін, г/л	Лейкоцити, $\cdot 10^9/л$
18–45 років	Чоловіча	4,3–5,7	132–173	4–5
	Жіноча	3,8–5,1	117–155	4–9
45–65 років	Чоловіча	4,2–5,6	131–172	3–9
	Жіноча	3,8–5,3	117–160	3,3–8,8
> 65 років	Чоловіча	3,8–5,8	126–174	3–9
	Жіноча	3,8–5,2	117–161	3,1–7,58

Якщо визначення оцінки кількості інформації про параметр  $Y$ , вважаючи, що ширина  $\Delta$  допусків інтервалів  $(a_j, b_j), j = \overline{1, k}$  однакова [13], а загальна кількість дорівнює  $k$ . В такому вигляді кількість інформації визначається різницею вихідної  $H(Y)$  і умовної  $H(Y | Y_j)$  ентропії  $I = H(Y) - H(Y | Y_j)$ ,

$$\text{де, } H(Y) = - \sum_{j=1}^k \left[ \int_{a_j}^{b_j} f(y) dy \right] \ln \left[ \int_{a_j}^{b_j} f(y) dy \right];$$

де  $f(y)$  – щільність розподілу величини  $Y$  в діапазоні  $\Delta y$ .

Умовну ентропію може бути знайдена через умовну ймовірність  $P(Y_j | Y_j)$  того, що істинне значення  $M[Y] = Y_j$  в той час як результат контролю (рішення  $y_j$ ) дав значення  $Y = Y_j$ :

$$H(Y | Y_j) = - \sum_{i=1}^k P(Y_i | Y_j) \ln P(Y_i | Y_j).$$

При рівномірному розподілі значень  $Y_1, \dots, Y_k$  і нормальному закону розподілу відхилення  $Y^*$  від дійсного значення  $M[Y] = \text{const}$ , якщо дисперсія цього відхилення дорівнює  $\sigma_Y^2$  маємо:

$$H(Y) = \ln \frac{A_y}{\Delta};$$

$$H(Y | Y_j) = \ln \frac{\sigma_y \sqrt{2\pi e}}{\Delta}$$

Оцінка кількості інформації, з врахуванням двох останніх виразів, має вигляд:

$$I = \ln \frac{A_y}{\sigma_y \sqrt{2\pi e}}$$

Вираз можна розглядати, як кількість очікуваної вимірюваної інформації про функціональний стан організму  $Y$  при дисперсії  $\sigma_X^2$  вхідних вимірюваних величин  $X_1, \dots, X_k$  [12]. В якості вимірюваної первинної інформації про такий складний об'єкт як організм людини обрані контрольовані показники аналізу крові. Але традиційний підхід визначення допусків інтервалів на основі прийнятих значень норми для відповідної групи згідно віку, статі та антропометричних особливостей знаходиться в протиріччі з новим курсом прийнятим галуззю охорони здоров'я так званою «концепцією ЗП». Предиктивна медицина в якості раннього виявлення спадкової схильності людини до захворювань, що може дозволити своєчасно проводити профілактичні заходи для попередження їх розвитку, поліпшити стан здоров'я, підвищити якість і збільшити тривалість активного періоду життя. Превентивна медицина як особливий аспект медицини профілактичної, принципами якої є не пасивне очікування хвороби, а проведення застережливих і коригуючих заходів задовго до розвитку хвороби. Ця медицина орієнтована, насамперед, на підтримку здоров'я, поліпшення його якості, на попередження процесів передчасного старіння організму. Та нарешті персоналізована медицина є спробою перейти від наукових досліджень і терапевтичної практики, в значній мірі орієнтованих на середньостатистичного пацієнта, до досліджень і практики, які були б чутливими до унікальних біологічних і особистісних особливостей конкретного пацієнта. Але на сьогодні не існують

формалізованих методів для визначення таких «персоналізованих норм» тобто допусків інтервалів. Тому в якості прикладу в роботі запропоновано використання  $T^2$  – статистики Хотелінга для контролю стабільності функціонального стану організму на основі синтезу інформаційних показників аналізу крові. Були визначені показники аналізу крові 12 дорослих чоловіків, що виконують професійні обов'язки операторів зібраних впродовж року. В якості показників обрані значення кількості гемоглобіну, еритроцитів, лейкоцитів в крові операторів, що діагностуються. Для проведення розрахунків була використана  $T^2$  – статистика Хотелінга яка дозволяє виявити, які саме показники або їх поєднання, можуть вказати на порушення в організмі.

Для використання  $T^2$  – статистика Хотелінга в одновимірному випадку за вибіркою обсягом  $n$  при відомій дисперсії генеральної сукупності використовується статистика:

$$z = \frac{(\bar{x} - \mu_0)}{\sigma / \sqrt{n}} \quad (1)$$

При розгляді багатовимірної випадкової величини, якщо звести ліву і праву частини виразу (1) до другого степеня, отримаємо вираз:

$$z^2 = n(\bar{x} - \mu_0)^2 (\sigma)^{-1}, \quad (2)$$

яке в матричній формі можна представити як:

$$T_H^2 = n(\bar{X} - \mu_0)^T \Sigma^{-1} (\bar{X} - \mu_0). \quad (3)$$

Отриманий вираз є узагальненою характеристикою Хотелінга ( $T^2$ -статистика Хотелінга), яка застосовується при оцінюванні якості багатопараметричного контролю при наявності кореляції його показників [14].

Багатовимірної випадкової величини відповідає коваріаційна матриця:

$$\Sigma = \begin{vmatrix} \sigma_1^2 & \rho_{12}\sigma_1\sigma_2 & \dots & \rho_{1p}\sigma_1\sigma_p \\ \rho_{21}\sigma_2\sigma_1 & \sigma_2^2 & \dots & \rho_{2p}\sigma_2\sigma_p \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \rho_{p1}\sigma_p\sigma_1 & \rho_{p2}\sigma_p\sigma_2 & \dots & \sigma_p^2 \end{vmatrix}, \quad (4)$$

де  $\rho_{ij}$  – коефіцієнт кореляції між величинами  $\bar{x}_i$  та  $\bar{x}_j$  ( $i, j = 1, \dots, p$ ) – число випадкових величин – контролюючих параметрів).

При відомій коваріаційній матриці  $\Sigma$  статистика Хотелінга має  $\chi^2$ -розподілення. В цьому випадку при статистичному контролі багатопараметричного об'єкта положення контрольованої кордону на заданому рівні значимості  $\alpha$  визначається безпосередньо по таблиці квантиль розподілу  $\chi^2$ т, тобто:

$$T_{kp}^2 = \chi_{(1-\alpha), p}^2. \quad (5)$$

Слід також відзначити особливість застосування критерію  $T^2$ -Хотелінга – на підставі відомої коваріаційної матриці можна розраховувати «точкові» значення  $T_H^2$ .

Потім, відповідно до виразу (3), необхідно для кожної підгрупи спостережень розрахувати  $T_H^2$ .

У багатовимірному випадку обчислюється незміщена оцінка  $S$  матриці  $\Sigma$ . В такому випадку статистика  $T_H^2$ -Хотелінга задається формулою:

$$T_H^2 = n(\bar{X} - \mu_0)^T S^{-1} (\bar{X} - \mu_0). \quad (6)$$

Отримане на основі виразу (5) значення  $T_H^2$  зіставляється з критичним значенням для заданого рівня статистичної значущості  $\alpha$  та чисел степенів свободи  $v_1 = p$  і  $v_2 = n - p$  ( $n - 1 \geq p$ ). Критичне значення статистики Хотелінга визначається як:

$$T_{\alpha, p, (n-p)}^2 = \frac{p(n-1)}{n-p} F_{\alpha, p, (n-p)}. \quad (7)$$

При цьому не зміщена оцінка коваріаційної матриці визначається на підставі виразу:

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

де  $n$  – число точок в вибірці/підгрупі.

Розрахункове значення статистики Хотелінга, певне на підставі виразу (7), порівнюється з критичним значенням  $T_{\alpha,p,(n-p)}^2$ . Якщо  $T_H^2$  більше критичного значення, то гіпотеза  $H_0$  про стабільність організму не приймається. Таким чином, при відомих (заданих) середньоквадратичних відхиленнях показників організму можна, обчислюючи статистику Хотелінга  $T_{Hi}$ , виявляти розладнаність процесів в організмі в реальному масштабі часу. При невідомих же СКВ оцінюється статистична керованість процесами в організмі за певний період.

В якості прикладу на основі запропонованого підходу проведений розрахунок ретроспективних даних операторів, що виконують професійні обов'язки, у яких проведені дослідження аналізу крові впродовж одного року. Наведені розрахунки двох операторів у яких значення  $T_H^2$  менше та більше  $T_{кр}^2$  відповідно для проведення порівняльної характеристики.

Таблиця 2.

**Показники клінічного аналізу крові оператора 1**

Показники	Оператор 1												Сред.знач
	Квітень	Травень	Червень	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень	Листопад	Грудень	Січень	Лютий	Березень	
Гемоглобін	14,8	15,3	15,7	15,2	14,8	14,5	15,2	14,8	14,4	13,8	13,2	12,7	14,5
Еритроцити	4,4	5	5,1	5,1	5,1	5,3	5,2	5,1	5,1	4,9	4,3	4	4,9
Лейкоцити	4,3	6,2	6,3	6,5	6,4	6,5	6,5	6,5	5,2	6,5	5,2	6,7	6,1

На основі наявних даних отримуємо оцінку коваріаційної матриці для першого оператора:

$$S1 = \frac{1}{n-1} * \begin{vmatrix} 14,8 - 14,5 & 15,3 - 14,5 & 15,7 - 14,5 & \dots & 13,8 - 14,5 & 13,2 - 14,5 & 12,7 - 14,5 \\ 4,4 - 4,9 & 5,0 - 4,9 & 5,1 - 4,9 & \dots & 4,9 - 4,9 & 4,3 - 4,9 & 4,0 - 4,9 \\ 4,3 - 6,1 & 6,2 - 6,1 & 6,3 - 6,1 & \dots & 6,5 - 6,1 & 5,2 - 6,1 & 6,7 - 6,1 \end{vmatrix} * \\ * \begin{vmatrix} 14,8 - 14,5 & 4,4 - 4,9 & 4,3 - 6,1 \\ 15,3 - 14,5 & 5,0 - 4,9 & 6,2 - 6,1 \\ 15,7 - 14,5 & 5,1 - 4,9 & 6,2 - 6,1 \\ \dots & \dots & \dots \\ 13,8 - 14,5 & 4,9 - 4,9 & 6,5 - 6,1 \\ 13,2 - 14,5 & 4,3 - 4,9 & 5,2 - 6,1 \\ 12,7 - 14,5 & 4,0 - 4,9 & 6,7 - 6,1 \end{vmatrix} = \frac{1}{11} * \begin{vmatrix} 8,76 & 3,02 & 0,45 \\ 3,02 & 1,88 & 1,27 \\ 0,45 & 1,27 & 6,16 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0,79 & 0,27 & 0,04 \\ 0,27 & 0,17 & 0,11 \\ 0,04 & 0,11 & 0,55 \end{vmatrix} = 0,025$$

На підставі вихідних даних, наведених в таблиці 1, розраховуємо  $T^2$ -критерій Хотелінга:

$$T_H^2 = 12 * |14,5 - 14,8 \quad 4,9 - 5,1 \quad 6,1 - 6,5| * \begin{vmatrix} 3,09 & -5,47 & 0,87 \\ -5,47 & 16,4 & -2,90 \\ 0,87 & -2,90 & 2,33 \end{vmatrix} * \begin{vmatrix} 14,5 - 14,8 \\ 4,9 - 5,1 \\ 6,1 - 6,5 \end{vmatrix} = 4,74$$

Критичне значення  $T^2$ -критерію для заданого рівня значущості  $\alpha = 0,05$  буде дорівнювати:

$$T_{кр}^2 = (2(12 - 1)/(12 - 2)) * 4,459 = 9,8$$

Таким чином,  $T_H^2 = 4,74 < T_{кр}^2 = 9,8$ , а це означає, що функціональний стан організму стабільний.

Аналогічно проведений розрахунок для всіх операторів. В якості прикладу наведені розрахунки оператора 7.

Таблиця 3.

**Показники клінічного аналізу крові оператора 7**

Показники	Оператор 7												Сред.знач
	Квітень	Травень	Червень	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень	Листопад	Грудень	Січень	Лютий	Березень	
Гемоглобін	16,7	15	15,3	15	15,5	15,3	15,2	15,3	14,9	14,8	15	14,8	15,2
Еритроцити	5,3	4,9	5	5	5,3	4,9	5,3	5,1	5,3	5,4	5	5,1	5,1
Лейкоцити	4,7	7,4	7,3	7,8	7,6	7,8	7,4	6,4	5,8	5,1	5	4,8	6,4

На основі наявних даних можна отримати оцінку каваріаційної матриці:

$$S7 = \frac{1}{n-1} * \begin{vmatrix} 16,7-15,2 & 15,0-15,2 & 15,3-15,2 & \dots & 14,8-15,2 & 15,0-15,2 & 14,8-15,2 \\ 5,3-5,1 & 4,9-5,1 & 5,0-5,1 & \dots & 5,4-5,1 & 5,0-5,1 & 5,1-5,1 \\ 4,7-6,4 & 7,4-6,4 & 7,3-6,4 & \dots & 5,1-6,4 & 5,0-6,4 & 4,8-6,4 \end{vmatrix} *$$

$$* \begin{vmatrix} 16,7-15,2 & 5,3-5,1 & 4,7-6,4 \\ 15,0-15,2 & 4,9-5,1 & 7,4-6,4 \\ 15,3-15,2 & 5,0-5,1 & 7,3-6,4 \\ \dots & \dots & \dots \\ 14,8-15,2 & 5,4-5,1 & 5,1-6,4 \\ 15,0-15,2 & 5,0-5,1 & 5,0-6,4 \\ 14,8-15,2 & 5,1-5,1 & 4,8-6,4 \end{vmatrix} = \frac{1}{11} * \begin{vmatrix} 2,9 & 0,23 & -0,82 \\ 0,23 & 0,36 & -0,98 \\ -0,82 & -0,98 & 17,63 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0,26 & 0,02 & -0,07 \\ 0,02 & 0,03 & -0,09 \\ -0,07 & -0,09 & 1,59 \end{vmatrix} = 0,011$$

Розраховуємо  $T^2$ -критерій Хотелінга:

$$T_H^2 = 12 * \begin{vmatrix} 15,2-15,0 & 5,1-5,3 & 6,4-7,4 \end{vmatrix} * \begin{vmatrix} 4,05 & -2,61 & 0,03 \\ -2,61 & 41,8 & 2,25 \\ 0,03 & 2,25 & 0,75 \end{vmatrix} * \begin{vmatrix} 15,2-15,0 \\ 5,1-5,3 \\ 6,4-7,4 \end{vmatrix} = 22,96$$

На основі розрахунків отримуємо,  $T_H^2 = 22,96 > T_{кр}^2 = 9,8$ , це вказує на те, що є порушення функціонального стану організму, а також говорить про те, що організм був схильний до дестабілізації за рахунок впливу зовнішніх факторів. Використання статистики Хотелінга також надає можливість провести додаткові розрахунки за кожним показником.

Розраховуємо окремо значення коефіцієнта Хотелінга для гемоглобіну:

$$T_{H1}^2 = \frac{12 * \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 \end{vmatrix} * \begin{vmatrix} 0,2 \\ -0,2 \\ 1,0 \end{vmatrix}^2}{\begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 \end{vmatrix} * \begin{vmatrix} 0,26 & 0,02 & -0,07 \\ 0,02 & 0,03 & -0,09 \\ -0,07 & -0,09 & 1,59 \end{vmatrix} * \begin{vmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{vmatrix}} = \frac{0,48}{0,26} = 1,84$$

Аналогічно розраховуємо коефіцієнт для еритроцитів:

$$T_{H2}^2 = \frac{12 * \begin{vmatrix} 0 & 1 & 0 \end{vmatrix} * \begin{vmatrix} 0,2 \\ -0,2 \\ 1,0 \end{vmatrix}^2}{\begin{vmatrix} 0 & 1 & 0 \end{vmatrix} * \begin{vmatrix} 0,26 & 0,02 & -0,07 \\ 0,02 & 0,03 & -0,09 \\ -0,07 & -0,09 & 1,59 \end{vmatrix} * \begin{vmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{vmatrix}} = \frac{0,48}{0,03} = 16$$

Також, визначаємо коефіцієнт Хотелінга і для третього показника крові – лейкоцитів:

$$T_{H3}^2 = \frac{12 * \begin{vmatrix} 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} * \begin{vmatrix} 0,2 \\ -0,2 \\ 1,0 \end{vmatrix}^2}{\begin{vmatrix} 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} * \begin{vmatrix} 0,26 & 0,02 & -0,07 \\ 0,02 & 0,03 & -0,09 \\ -0,07 & -0,09 & 1,59 \end{vmatrix} * \begin{vmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{vmatrix}} = \frac{12}{1,59} = 7,54$$

Оскільки  $T_{H2}^2 > T_{кр}^2$ , то можна зробити висновок, що показник еритроцитів був нестабільним впродовж вимірювального констролу. Суттєві зміни в організмі є наслідком того, що на показник еритроцитів впливали зовнішні фактори дестабілізації. Це означає, що функціональний стан організму оператора був не стабільний протягом року але як видно з таблиці 1 значення його показників крові не

виходять за межі прийнятої норми. Таким чином можна зробити висновок що використання карт Хотелінга є більш чутливим методом порівняно з традиційним [5].

Аналогічним чином були розраховані показники клінічного аналізу всіх операторів. Результати розрахунків та порівняльного аналізу подані на рис. 1.

Розрахункові значення порівняні з критичними значеннями. Якщо значення  $T_{\text{H}}^2$  перевищує значення  $T_{\text{кр}}^2$ , тобто контрольної границі, то можна зробити висновок про порушення функціонального стану організму в тому числі виходу за межі норми гомеостазису. Результати порівняльного аналізу подані в графічному вигляді на рис. 1.

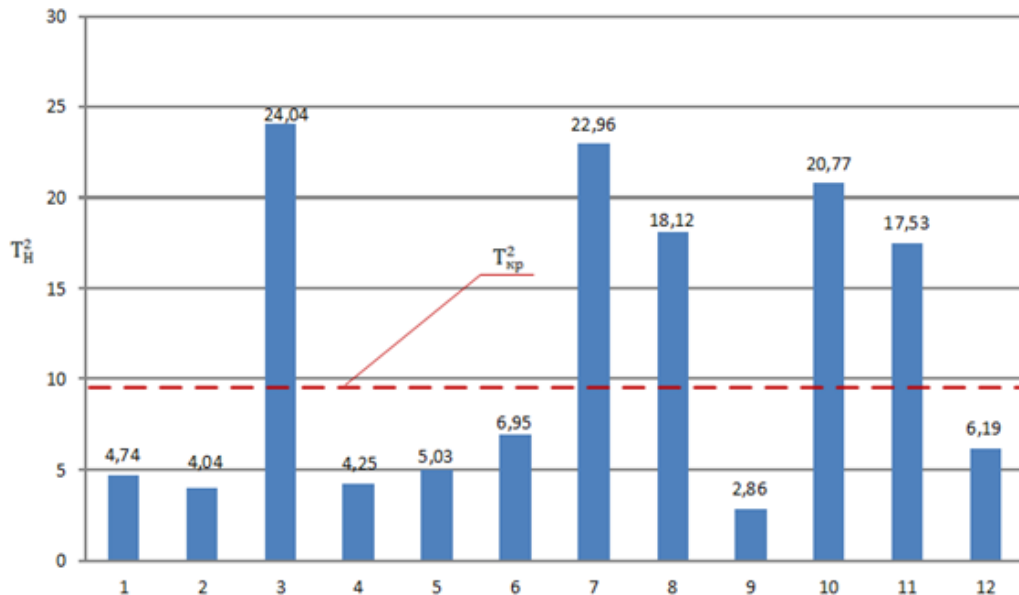


Рис. 1. Результати порівняльного аналізу розрахункових значень з критичним значенням

Червоною лінією встановлене критичне значення. Всі значення, які знаходяться вище червоної лінії свідчать про порушення функціонального стану організму [6]. Можна зробити висновок, що параметри крові п'ятих операторів виходять за межі критичного значення, що свідчить про порушення функціонального стану та потребує подальших діагностичних процедур.

За результатами розрахунків, порушення функціонального стану організму було визначено у п'ятих операторів, в той час як за традиційним підходом наявних відхилень не було виявлено. Таким чином, застосування статистики Хотелінга для оцінювання змін в системі організму людини, дає більш достовірні результати порівняно з традиційним підходом.

До останнього часу застосування многопараметрических критеріїв було обмежено складністю обчислень. Однак широке поширення сучасних засобів обчислювальної техніки зняло ці обмеження.

**Висновки.** В результаті проведених досліджень запропоновано модель прийняття рішень на основі порівняльної характеристики з індивідуальними межами норми. Для визначення стабільності функціонування організму запропоновано використання  $T^2$ -статистики Хотелінга, яка на основі визначення  $\mu_0$  як найчастішого значення, що і характеризую індивідуальне значення гомеостазу дозволяє підвищити рівень достовірності прийняття рішення в порівнянні з традиційним підходом. Даний підхід дозволяє урахувати особливості концепції персоналізованого підходу в галузі охорони здоров'я і може бути використаний при професійному відборі, прогнозуванні поточного стану та в задачах страхової медицини.

### Література

1. Van Trijp, R. (2013). Linguistic Assessment Criteria for Explaining Language Change: A Case Study on Syncretism in German Definite Articles, *Language Dynamics and Change*, 3(1), 105-132. doi: <https://doi.org/10.1163/22105832-13030106>
2. Rhodes V. A. Criteria for assessment of nausea, vomiting, and retching. *Oncology Nursing Forum*. 1997 Aug; 24 (7 Suppl): 13-19.
3. Sierra, Leonardo A., Víctor Yepes, and Eugenio Pellicer. "A review of multi-criteria assessment of the social sustainability of infrastructures." *Journal of Cleaner Production* 187 (2018): 496-513.
4. Kucheruk, V. Mathematical model of the visible range optical radiation passing through a water-milk solution / V. Kucheruk, I. P. Kurytnik, P. Kulakov, A. N. Vasilevskyi, D. Zh. Karabekova, D. Mostovyi, A. Kulakova // *Bulletin of the Karaganda University. «Physics» series.*, ISSN 2518-7198, № 1(89) / 2018, p. 24 – 31, URL: [rep.ksu.kz/handle/data/2937](http://rep.ksu.kz/handle/data/2937)
5. Volodymyr Kucheruk, Pavlo Kulakov, Oleksandr Vasilevskyi, Dmytro Mostovyi, Anna Kulakova, Iryna M. Kobylanska, Gaini Kamakova, and Piotr Kisala "Optical method to determine the quantity of water in milk using the visible radiation range", *Proc. SPIE* 10808,

Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High Energy Physics Experiments 2018, 108080Y (1 October 2018); <https://doi.org/10.1117/12.2501605>

6. Bemmell J. H. Handbook of medical informatics / J. H. van Bemmell, M. A. Musen. – Houten : Springer-Verlag, – 628 p., (2002).
7. Bronzino J. D. Medical Devices and Human Engineering Four Volume Set / J. D. Bronzino, D. R. Peterson. – Boca Raton : CRC Press. – 563 p., (2014).
8. Family Medicine: Principles and practice / R. B. Taylor, J. L. Buckingham, E. P. Donatelle, T. A. Johnson, Jr., J. E. Scherger. – New York : Springer-Verlag. – 743 p., (1988).
9. Pisanelli D. M. Ontologies in Medicine / D. M. Pisanelli. – Amsterdam : IOS Press. – 165 p., (2004)
10. Webster J. G. Medical instrumentation. Application and design / J. G. Webster – New York : John Wiley & Sons. – 675 p., (2009).
11. Ledzhevich, U. (ets.) Mathematical Methods and Models in biomedicine. – Springer, (2013).
12. Ivanets O., 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. CAOL\*2019 International Conference on Advanced Optoelectronics and Lasers C.661-665. #978-1-7281-1814-7/19/31.00 c 2019 IEEE
13. Іванець О. Б., Кулаков П. І., Шкіндер Г. П., Кулакова А. П. Оцінювання функціонального стану організму на основі критерію небезпеки відхилення. Наукоємні технології. - 2019. - № 4(44). - с. 441 - 448. DOI: 10.18372/2310-5461.44.14320
14. Іванець О.Б., Буріченко М.Ю., Еременко В.С. «Method of processing the results of measurements of medical indicators». Наукоємні технології. - 2020. - № 3(47). - с. 392 - 398. DOI: 10.18372/2310-5461.47.1493715.

### References

1. Van Trijp, R. (2013). Linguistic Assessment Criteria for Explaining Language Change: A Case Study on Syncretism in German Definite Articles, Language Dynamics and Change, 3(1), 105-132. doi: <https://doi.org/10.1163/22105832-13030106>
2. Rhodes V. A. Criteria for assessment of nausea, vomiting, and retching. Oncology Nursing Forum. 1997 Aug; 24 (7 Suppl): 13-19.
3. Sierra, Leonardo A., Victor Yepes, and Eugenio Pellicer. "A review of multi-criteria assessment of the social sustainability of infrastructures." Journal of Cleaner Production 187 (2018): 496-513.
4. Kucheruk, V. Mathematical model of the visible range optical radiation passing through a water-milk solution / V. Kucheruk, I. P. Kurytnik, P. Kulakov, A. N. Vasilevskyi, D. Zh. Karabekova, D. Mostovyi, A. Kulakova // Bulletin of the Karaganda University. «Physics» series., ISSN 2518-7198, № 1(89) / 2018, p. 24 – 31, URI: [rep.ksu.kz/handle/data/2937](http://rep.ksu.kz/handle/data/2937)
5. Volodymyr Kucheruk, Pavlo Kulakov, Oleksandr Vasilevskyi, Dmytro Mostovyi, Anna Kulakova, Iryna M. Kobylanska, Gaini Karnakova, and Piotr Kisala "Optical method to determine the quantity of water in milk using the visible radiation range", Proc. SPIE 10808, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High Energy Physics Experiments 2018, 108080Y (1 October 2018); <https://doi.org/10.1117/12.2501605>
6. Bemmell J. H. Handbook of medical informatics / J. H. van Bemmell, M. A. Musen. – Houten : Springer-Verlag, – 628 p., (2002).
7. Bronzino J. D. Medical Devices and Human Engineering Four Volume Set / J. D. Bronzino, D. R. Peterson. – Boca Raton : CRC Press. – 563 p. (2014).
8. Family Medicine: Principles and practice / R. B. Taylor, J. L. Buckingham, E. P. Donatelle, T. A. Johnson, Jr., J. E. Scherger. – New York : Springer-Verlag. – 743 p., (1988).
9. Pisanelli D. M. Ontologies in Medicine / D. M. Pisanelli. – Amsterdam : IOS Press. – 165 p., (2004)
10. Webster J. G. Medical instrumentation. Application and design / J. G. Webster – New York : John Wiley & Sons. – 675 p., (2009).
11. Ledzhevich, U. (ets.) Mathematical Methods and Models in biomedicine. – Springer, (2013).
12. Ivanets O., 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. CAOL\*2019 International Conference on Advanced Optoelectronics and Lasers C.661-665. #978-1-7281-1814-7/19/31.00 c 2019 IEEE
13. Ivanets OB, Kulakov PI, Shkinder GP, Kulakova AP Estimation of a functional condition of an organism on the basis of criterion of danger of deviation. Science-Based Technologies. - 2019. - № 4 (44). - with. 441 - 448. DOI: 10.18372 / 2310-5461.44.14320
14. Ivanets OB, Burichenko M.Yu., Eremenko VS "Method of processing the results of measurements of medical indicators". Science-Based Technologies. - 2020. - № 3 (47). - with. 392 - 398. DOI: 10.18372/2310-5461.47.1493715.

Надійшла / Paper received: 11.07.2020

Надрукована / Paper Printed : 01.12.2020