

DOI: 10.18372/2310-5461.47.14937

УДК 004.942(45)

В. С. Єременко, д-р техн. наук, проф.
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
orcid.org/0000-0002-4330-7518
e-mail: nau_307@ukr.net;

М. Ю. Буриченко, канд. техн. наук, доц.
Національний авіаційний університет
orcid.org/0000-0002-7846-2104
e-mail: bmu044@gmail.com;

О. Б. Іванець, канд. техн. наук, доц.
Національний авіаційний університет
orcid.org/0000-0002-0897-4219
e-mail: olchik2104@ukr.net

МЕТОД ОБРОБКИ РЕЗУЛЬТАТІВ ВИМІРЮВАННЯ МЕДИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ

Вступ

На практиці оцінювання параметрів складних об'єктів для забезпечення максимальної повноти отримання інформації про параметри даного об'єкта виконують вимірюванням фізичних значень, які корелюють із даним параметром [1].

Ступінь спільності процесів вимірювання та діагностування в інформаційному відношенні значна, що відкриває можливості їхнього спільного дослідження та отримання співвідношень, справедливих як під час вимірювань так і під час контролю. В обох випадках обов'язковою є операція порівняння з нормою, окрім цього є статистична залежність між значеннями контрольованої величини, яку оцінюють (тобто станом об'єкта) до та після проведення вимірювань. На практиці складні об'єкти характеризуються багатьма показниками, які іноді можуть бути корельованими [2]. До таких об'єктів можна віднести об'єкти діагностування в медицині, екології, біології, метеорології, кліматології тощо. При цьому незалежний контроль окремих показників може призвести до помилкових рішень про стан системи, тому пропонується використання статистичних методів з можливістю застосування багатопараметричних критеріїв для оцінювання параметрів та діагностування стабільності складних об'єктів на основі T^2 -статистики Хотеллінга.

Об'єктом дослідження обраний організм людини.

Постановка проблеми в загальному вигляді

Актуальною проблемою є підвищення достовірності оцінювання функціонального стану організму людини на основі статистичних методів. З метою підвищення достовірності прийняття

рішення при опрацюванні результатів спостережень слід враховувати як власну мінливість показників стану організму, так і невизначеність обробки результатів досліджень, що викликана як традиційними методами обробки, так і недосконалістю методики проведення досліджень.

Майже всім характеристикам організму людини 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 об'єкта, як це прийнято зазвичай в техніці, що призводить до великих труднощів в оцінці випадкових величин під час вимірювання і, як наслідок, помилок діагностування. Мінливість та індивідуальний розкид параметрів організму, їх взаємозв'язок, нелінійність цих зв'язків, наявність високого рівня перешкод, робить завдання об'єктивної оцінки стану організму досить складним. У біологічному експерименті немає поняття «істинного значення», тільки середнє, а розкид даних, унаслідок індивідуальної реакції організму, може сильно варіювати.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Статистичний контроль за показниками об'єктів різної природи — один з головних напрямків застосування математичної статистики. Його основний зміст полягає в тому, що керуючий вплив застосовують лише тоді, коли показники об'єкту ще задовольняють вимоги і відповідають нормам, але деякі статистичні показники процесу дають підставу припускати наявність

невипадкових причин, вплив яких з часом може призвести до суттєвих порушень об'єкта дослідження і, як наслідок, зниження його стабільності [1].

Першим практичним інструментом для вирішення питання про необхідність такого втручання — контрольна карта — був запропонований У. Шухартом: сигнал про розлад процесу подається при виході контрольованого показника за деяку порогову межу. Ідея У. Шухарта знайшла міжнародне визнання через свою простоту і, деякою мірою, універсальністю і була покладена в основу міжнародного стандарту [3], у якому викладені різні модифікації методу.

У даний час для вирішення завдання статистичного контролю процесу використовують три основні підходи [4]:

1) перший (історично) метод діагностики технологічного процесу базується на критерії Неймана–Пірсона і використовує контрольні карти У. Шухарта;

2) другий підхід заснований на багаторазовому застосуванні послідовного аналізу Вальда і реалізований на практиці у вигляді контрольних карт кумулятивних сум (CUSUM) [5];

3) третій підхід використовує метод експоненціального зваженого ковзного середнього [6].

Ці підходи та відповідні їм методи (і різні їх модифікації) і алгоритми успішно застосовувалися при контролі стабільності процесів, які характеризуються одним показником якості.

Мета статті

У статті запропоновано вдосконалення існуючих методів оцінювання точності вимірювань параметрів біологічного об'єкта за допомогою карт Хотеллінга. Даний математичний апарат широко використовується для аналізу процесів різного типу для підвищення достовірності під час аналізу багатопараметричних показників. У роботі проведені дослідження функціонального стану організму людини за допомогою статистики Хотеллінга.

Виклад основного матеріалу дослідження

Для перевірки гіпотези про стабільність біологічного об'єкта в одновимірному випадку за вибіркою обсягом n з відомою дисперсією σ^2 генеральної сукупності використано статистику:

$$z = (x - \mu_0) / (\sigma / \sqrt{n}),$$

де x — вимірюваний параметр об'єкта; μ_0 — його математичне сподівання.

Якщо піднести обидві частини попередньої рівності до другої степені, то:

$$z^2 = n(x - \mu_0)^2 \sigma^{-2}.$$

Під час дослідження багатовимірної випадкової величини [5], попередній вираз можна подати у матричній формі:

$$T_H^2 = n(\mathbf{x} - \boldsymbol{\mu}_0)^T \mathbf{S}^{-1} (\mathbf{x} - \boldsymbol{\mu}_0), \quad (1)$$

де \mathbf{S} — вибіркова незміщена оцінка коваріаційної матриці даних; \mathbf{x} — вектор-стовпець значень показників у миттєвих вибірках; $\boldsymbol{\mu}_0$ — вектор середніх значень показника; n — обсяг вибірки.

Вираз (1) є узагальненою характеристикою Хотеллінга (T^2 -статистика Хотеллінга), яку використовують при оцінюванні якості багатопараметричної системи за наявності кореляції її показників [6].

Незміщену оцінку коваріаційної матриці даних обчислюють як:

$$\mathbf{S} = \frac{1}{n-1} \mathbf{X}\mathbf{X}^T,$$

де \mathbf{X} — матриця центрованих значення показників

$$\mathbf{X} = \begin{pmatrix} x_{11} - \mu_{01} & x_{12} - \mu_{01} & \dots & x_{1n} - \mu_{01} \\ x_{21} - \mu_{02} & x_{22} - \mu_{02} & \dots & x_{2n} - \mu_{02} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{p1} - \mu_{0p} & x_{p2} - \mu_{0p} & \dots & x_{pn} - \mu_{0p} \end{pmatrix},$$

де μ_{0i} — математичне сподівання відповідного параметру об'єкта; $i = 1, \dots, p$ — кількість досліджуваних показників.

У цій матриці кожен рядок відповідає вибіркам одного з показників, тобто розмірність матриці $p \times n$. Обчислене за виразом (1) значення T_H^2 порівнюють з критичним значенням $T_{кр}^2$ для заданого рівня статистичної значущості α і числа степенів вільності $n - p$. Критичне значення $T_{кр}^2$ статистики Хотеллінга обчислюють як

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

де F — розподіл Фішера.

У даному дослідженні заданий рівень статистичної значущості $\alpha = 0,05$, обсяг вибірки $n = 12$, кількість досліджуваних показників $p = 4$. Число степенів вільності $n - p = 8$. Критичне значення $T_{кр}^2$ критерію дорівнює:

$$T_{кр}^2 = \frac{2(12-1)}{12-2} 4,459 = 9,8.$$

При нормальному процесі $T_H^2 < T_{кр}^2$ для всіх значень показників. Якщо остання нерівність не виконується, то слід виявити показники, які критично впливають на функціональний стан об'єкта. Для цього можна використовувати частинний критерій Хотеллінга:

$$T_H^2 = n \left[C_j^T (\mathbf{x} - \boldsymbol{\mu}_0) \right]^2 / (C_j^T \mathbf{S} C_j) \quad (2)$$

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

Якщо $T_H^2 < T_{кр}^2$, то саме j -й параметр має критичний вплив на функціональний стан організму, і тому потрібно вжити заходів щодо його корекції.

Далі наведено результати використання статистики Хотеллінга для оцінювання функціонального стану організму учасників 19-ї антарктичної експедиції на антарктичній станції «Академік Вернадський».

Для дослідження було обрано чотири основних показники стану здоров'я полярників: — частота серцевих скорочень (ЧСС); — коефіцієнт перенесення оксиду (TLCOSB); — об'єм альвеол (VA); — коефіцієнт об'єму вдиху (VIN). Значення показників стану організму полярників зібрані впродовж одного року перебування на антарктичній станції з щомісячним проведенням спірографічних досліджень (перебування полярників на станції починається з березня поточного року) [6]. У табл. 1 наведено зазначені показники для одного полярника (оператора).

Таблиця 1

Вхідні дані для оператора №1

Показник	Місяці реєстрації стану здоров'я												Середнє значення
	Березень	Квітень	Травень	Червень	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень	Листопад	Грудень	Січень	Лютий	
ЧСС	80	78	76	75	77	76	79	80	76	78	76	73	77
TLCOSB	8,9	8,6	8,8	9,0	8,7	8,9	8,9	8,7	8,7	8,8	8,9	8,7	8,8
VA	5,3	5,4	5,5	5,3	5,8	5,4	5,5	5,8	5,4	5,2	4,9	5,4	5,4
VIN	4,4	4,5	4,7	4,6	4,4	4,8	4,3	4,4	4,7	4,4	4,9	3,9	4,5

По даним табл. 1 обчислено матрицю центрованих значень показників оператора № 1

$$\mathbf{X} = \begin{bmatrix} 3 & 1 & -1 & -2 & 0 & -1 & 2 & 3 & -1 & 1 & -1 & -4 \\ 0,1 & -0,2 & 0,0 & 0,2 & -0,1 & 0,1 & 0,1 & -0,1 & -0,1 & 0,0 & 0,1 & -0,1 \\ -0,1 & 0,0 & 0,1 & -0,1 & 0,4 & 0,0 & 0,1 & 0,4 & 0,0 & -0,2 & -0,5 & 0,0 \\ -0,1 & 0,0 & 0,2 & 0,1 & -0,1 & 0,3 & -0,2 & -0,1 & 0,2 & -0,1 & 0,4 & 0,6 \end{bmatrix},$$

оцінку коваріаційної матриці показників оператора №1 і оберненої до неї

$$\mathbf{S} = \begin{bmatrix} 4,4 & -0,01 & 0,14 & 0,00 \\ -0,01 & 0,014 & -0,014 & 0,011 \\ 0,14 & -0,014 & 0,059 & 0,024 \\ 0,00 & 0,011 & 0,024 & 0,071 \end{bmatrix}; \mathbf{S}^{-1} = \begin{bmatrix} 0,25 & -0,40 & -0,75 & -0,19 \\ -0,40 & 92,3 & 19,1 & -7,8 \\ -0,75 & 19,1 & 25,2 & 5,48 \\ -0,19 & -7,8 & 5,48 & 17,1 \end{bmatrix}.$$

Для вихідних даних (табл. 1) за (1) розраховано T^2 — критерій Хотеллінга

$$T_H^2 = 12 \begin{bmatrix} 3 & 0,1 & -0,1 & -0,1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0,25 & -0,40 & -0,75 & -0,19 \\ -0,40 & 92,3 & 19,1 & -7,8 \\ -0,75 & 19,1 & 25,2 & 5,48 \\ -0,19 & -7,8 & 5,48 & 17,1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 3 \\ 0,1 \\ -0,1 \\ -0,1 \end{bmatrix} = 45,8.$$

Таким чином, $T_H^2 = 45,8 > T_{кр}^2 = 9,8$. Це означає, що функціональний стан організму зимівника не стабільний і те що на показники дихальної системи впливали екстремальні кліматичні умови.

Для наочного представлення використання математичного апарату T^2 -статистики Хотеллінга в роботі наведені розрахунки для оцінювання стану організму оператора №3. Вхідні дані для розрахунків наведено в табл. 2.

Таблиця 2

Вхідні дані для оператора №3

Показник	Місяці реєстрації стану здоров'я												Середнє значення
	Березень	Квітень	Травень	Червень	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень	Листопад	Грудень	Січень	Лютий	
ЧСС	78	82	81	79	75	77	79	79	78	78	79	83	79
TLCOSB	8,0	8,3	8,5	8,4	8,4	8,1	8,0	8,7	8,3	8,3	8,4	7,9	8,3
VA	5,3	5,4	5,5	5,3	5,6	5,4	5,5	5,7	5,4	5,0	4,9	5,0	5,3
VIN	4,5	4,7	4,5	4,6	4,1	4,3	4,3	4,7	4,8	4,5	4,5	4,2	4,5

По даним табл. 2 обчислено матрицю центрованих значень показників оператора № 3.

$$X = \begin{bmatrix} -1 & 3 & 2 & 0 & -4 & -2 & 0 & 0 & -1 & -1 & 0 & 4 \\ -0,3 & 0,0 & 0,2 & 0,1 & 0,1 & -0,2 & -0,3 & 0,4 & 0,0 & 0,0 & 0,1 & -0,4 \\ 0,0 & 0,1 & 0,2 & 0,0 & 0,3 & 0,1 & 0,2 & 0,4 & 0,1 & -0,3 & -0,4 & -0,3 \\ 0,0 & 0,2 & 0 & 0,1 & -0,4 & -0,2 & -0,2 & 0,2 & 0,3 & 0,0 & 0,0 & -0,3 \end{bmatrix}$$

оцінку коваріаційної матриці показників оператора №3 і оберненої до неї:

$$S = \begin{bmatrix} 4,7 & -0,082 & 0,0091 & 0,100 \\ -0,082 & 0,056 & 0,0009 & 0,024 \\ 0,0091 & 0,0009 & 0,064 & -0,013 \\ 0,100 & 0,024 & -0,013 & 0,046 \end{bmatrix}; S^{-1} = \begin{bmatrix} 0,25 & 0,82 & -0,23 & -1,03 \\ 0,82 & 26,6 & -0,01 & -16,7 \\ -0,23 & -0,01 & 17,1 & 6,8 \\ -1,03 & -16,7 & 6,8 & 34,5 \end{bmatrix}$$

Для вихідних даних (табл. 2) розраховано T^2 -критерій Хотеллінга

$$T_H^2 = 12 \cdot \begin{bmatrix} -1,0 & -0,3 & 0,0 & 0,0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0,25 & 0,82 & -0,23 & -1,03 \\ 0,82 & 26,6 & -0,01 & -16,7 \\ -0,23 & -0,01 & 17,1 & 6,8 \\ -1,03 & -16,7 & 6,8 & 34,5 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -1,0 \\ -0,3 \\ 0,0 \\ 0,0 \end{bmatrix} = 37,6$$

Отже отримуємо, $T_H^2 = 37,6 > T_{кр}^2 = 9,8$. Це означає, що функціональний стан організму зимівника був не стабільний протягом року перебування в екстремальних умовах. Таким чином можна зробити висновок: адаптаційний потенціал зазначеного зимівника був порушений при виконанні своїх професійних обов'язків в екстремальних умовах Антарктиди.

Використана T^2 -статистика Хотеллінга дозволяє виявити, які саме показники (або їх поєднання) можуть вказати на порушення в організмі зимівників антарктичної станції впродовж експедиції [7]. Далі представлено результати обчислень T^2 -статистики Хотеллінга для кожного з досліджених показників стану організму зимівників окремо, використовуючи частинний критерій Хотеллінга (3). Результати розрахунків наведено в табл. 3 і 4 і подано на рис. 1.

Аналогічно були розраховані показники функціональності стану дихальної системи всіх учасників антарктичної експедиції. Результати розрахунків та порівняльного аналізу подані на рис. 2.

Розрахункові значення порівняні з критичними значеннями. Червона лінія на рис. 1 відповідає критичному значенню. Якщо значення $T_H^2 < T_{кр}^2$, то можна зробити висновок про порушення функціонального стану організму зимівників, у тому числі виходу за межі норми гомеостазу. Всі значення, які знаходяться вище червоної лінії свідчать про порушення функціонального стану зимівників в екстремальних умовах Антарктиди.

Результати розрахунків наведено в табл. 3 і 4 і подано на рис. 1.

Таблиця 3

Частинний критерій Хотеллінга для оператора №1

Показник	Місяці реєстрації стану здоров'я											
	Березень	Квітень	Травень	Червень	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень	Листопад	Грудень	Січень	Лютий
ЧСС	24,84	2,75	2,75	11,00	0,00	2,75	11,00	24,75	2,75	2,75	2,75	44,0
TLCOSB	8,25	33,00	0,00	33,0	8,25	8,25	8,25	8,25	8,25	0,00	8,25	8,25
VA	2,03	0,0	2,03	2,03	32,5	0,00	2,03	32,5	0,00	8,12	50,8	0,0
VIN	1,70	0,0	6,77	1,70	1,70	15,2	6,77	1,70	6,77	1,70	27,1	60,9

Таблиця 4

Частинний критерій Хотеллінга для оператора №3

Показник	Місяці реєстрації стану здоров'я											
	Березень	Квітень	Травень	Червень	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень	Листопад	Грудень	Січень	Лютий
ЧСС	2,54	22,8	10,2	0,00	40,6	10,2	0,00	0,00	2,54	2,54	0,00	40,6
TLCOSB	19,5	0,00	8,65	2,16	2,16	8,65	19,5	34,6	0,00	0,00	2,16	34,6
VA	0,00	1,88	7,54	0,00	17,0	1,88	7,54	30,2	1,88	17,0	30,2	17,0
VIN	0,00	10,3	0,00	2,59	41,4	10,3	10,3	10,3	23,3	0,00	0,00	23,3

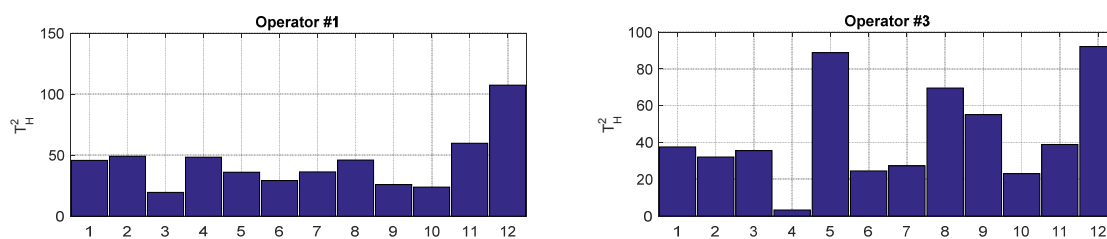


Рис. 1. Частинний критерій Хотеллінга

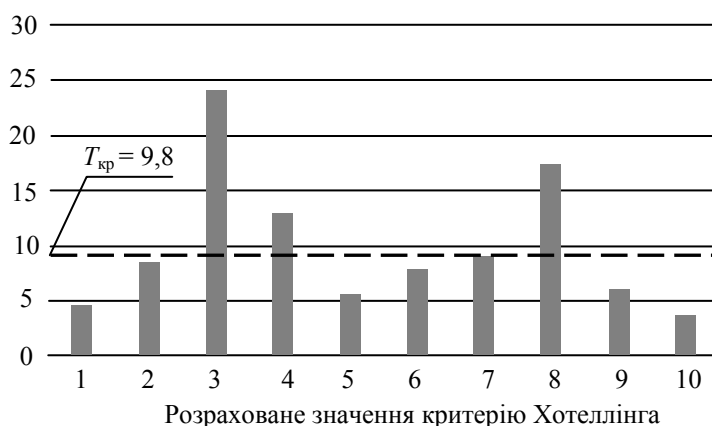


Рис. 2. Показники функціональності стану дихальної системи учасників 19-ї антарктичної експедиції

Можна зробити висновок, що меншість оброблених результатів виходять за межі критичного значення, що свідчить про стабільний стан систем, дані яких були оброблені.

У операторів №3, №4 та №8 показники дихальної системи є такими, що суттєво впливають на дестабілізацію функціонування організму та зрив адаптаційних можливостей. У інших операторів виявлено достатню кількість адаптаційних можливостей організму до роботи в екстремальних умовах за показниками серцевої та дихальної системи.

Висновки

Використання багатопараметричних критеріїв для визначення розладженості біологічних об'єктів дозволяють не тільки зробити висновок про порушення гомеостазу, але і надають досліднику змогу визначити який саме з показників має суттєвий вплив на розгалуженість усієї системи організму та запровадити заходи щодо повернення стану організму в зону стабільності.

Використання критерію Хотеллінга є більш чутливим інструментом для визначення розгалуженості функціонування організму, ніж загальноприйнятий метод дослідження за нормованими показниками, що і було продемонстровано в наведених дослідженнях.

ЛІТЕРАТУРА

1. Volodarsky E., Kosheva L., Warsza Z. Nowe statystyczne kryteria ostrożności do monitorowania jakości procesów technologicznych. *Przemysł chemiczny*. 2017. No 96/2. P. 336–338. Doi: 0.15199/62.2017.2.21 3.
2. Murdoch J. Control charts. The Macmillan Press Ltd, 1979, 150 p.
3. ISO 7870-1, -2 ... -6: 2014. Shewhart control charts - part 1–6.
4. Montgomery D. C. Introduction to Statistical Quality Control, 6th Ed. John Wiley&Sons, 2009. 734 p.
5. ISO 7870-4: 2011 Control charts — Part 4: Cumulative control charts.
6. 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 International Conference on Advanced Optoelectronics and Lasers with UM*2019 XVI Scientific Workshop "Measurement Uncertainty: Scientific, Normative, Applied and Methodical Aspects"* (Sozopol, Bulgaria. September 6–8, 2019). 2019. C. 661–665. #978-1-7281-1814-7/19/31.00 c 2019 IEEE.
7. Kuzovik V. D., Bulygina O. V., Ivanets O. B., Gerasymova I. G., Sopivnyk R. V., Omiotek Z., Kozbakova A. Methodology for flight crew psychophysiological status forecasting. *Proceedings Volume*

11176, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments 2019; 111762E (2019) <https://doi.org/10.1117/12.2536416>

8. Boichenko S. V., Kosheva L. O., Kuzovik V. D. Ivanets O. B. Methodological aspects of evaluating a

homeostasis of a biological object. *Сучасні досягнення в науці та освіті – Modern Achievements of Science and Education (MASE)*; 14 International conference (September 26-October 03, 2019. Netanya (Israel)). 2019. Pp. 19–22.

Єременко В. С., Іванець О. Б., Буриченко М. Ю.

МЕТОД ОБРОБКИ РЕЗУЛЬТАТІВ ВИМІРЮВАННЯ МЕДИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ

В роботі запропоновано підхід до оцінювання стану організму людини на основі медичних показників із забезпеченням максимальної повноти отриманої інформації про параметри даного об'єкта за рахунок вимірювання фізичних величин, що корелюються з даним параметром. Значна спільність в інформаційному відношенні процесів вимірювання та діагностування відкриває можливості їхнього сумісного дослідження та отримання співвідношень, справедливих як при вимірюваннях так і при контролі. В обох випадках обов'язковою є операція порівняння результатів з заданою нормою. Окрім цього в складних об'єктах є статистична залежність між значеннями різних контрольованих (вимірювальних) величин, тобто станом об'єкта. При цьому контроль за окремими показниками без врахування можливого статистичного зв'язку між ними може призвести до помилкових висновків про стан системи. Для усунення зазначеного недоліку пропонується використання багатопараметричних критеріїв для оцінювання та діагностування стабільності складних об'єктів, зокрема використання T^2 -статистики Хотеллінга для діагностування стану складних об'єктів. Представлені можливості оцінювання стабільності багато параметричного об'єкту при кореляції його показників з використанням критерію Хотеллінга. Наведені можливості критерію Хотеллінга оцінювати стабільність об'єкту як поетапно так і в цілому та визначити показники та їх сполучення, які суттєво впливають на стабільність процесу функціонування. В якості об'єкту дослідження обраний організм людини на прикладі зимівників антарктичної експедиції. Досліджується окремі медичні показники зимівників в екстремальних умовах антарктичної експедиції. Використання запропонованого методу обробки підвищує достовірність процесу прийняття рішення щодо стану об'єктів порівняно з традиційним методом обробки, що заснований на порівнянні з референтними значеннями. Так підвищення достовірності пояснюється тим що при проведенні розрахунків здійснюється порівняння фактичних значень не зі значеннями загальноприйнятої норми, а з унікальною нормою кожного окремого організму. Такий підхід, заснований на врахуванні індивідуальних меж норми є основою для персоналізації підходів при оцінюванні живих об'єктів. Використання персоналізованого підходу дає змогу враховувати особливості індивідуальної реакції кожного окремого організму на впливи факторів зовнішнього середовища. Також такий підхід дає змогу враховувати ранні (початкові) стадії дестабілізації. Використання багатопараметричних критеріїв для визначеності розладженості біологічних об'єктів дозволяють не тільки зробити висновок про порушення гомеостазу, але й надають дослідникам змогу визначити, які саме з показників мають суттєвий вплив на розгалуженість всієї системи організму та запровадити заходи щодо повернення організму в стабільний стан.

Ключові слова: медичні показники; процес вимірювання; кількісне оцінювання; багатопараметричний контроль; кореляція; коваріаційна матриця.

Eremenko V. S., Ivanets O. B., Burichenko M. Yu.

METHOD OF PROCESSING THE RESULTS OF MEASUREMENTS OF MEDICAL INDICATORS

The paper proposes an approach to assessing the state of the human body on the basis of medical indicators with the maximum completeness of obtaining information about the parameters of a given object by measuring physical quantities correlated with this parameter. Significant commonality in the informational relation of the processes of measurement and diagnostics opens up the possibility of their joint research and obtaining ratios that are valid both in diagnostics and control. In both cases, the operation of comparing the results with a given norm is mandatory. In addition, in complex objects there is a statistical relationship between the values of different controlled (measured) quantities, that is, the state of the object. At the same time, control over individual indicators without taking into account possible statistical relationships can lead to erroneous conclusions about the state of the system. To eliminate this drawback, the use of multi-parameter criteria for assessing and diagnosing the stability of complex objects is proposed, in particular, the use of Hotelling T^2 statistics for diagnosing the state of complex objects. Possibilities of assessing the stability of multiparametric objects when correlating their indicators using the Hotelling criterion are given. The possibilities of the Hotelling criterion to assess the stability of an object both in stages and in a complex are presented, and to determine indicators and their combinations that significantly affect the stability of the functioning process. The human body was chosen as the object of research by the example of the Antarctic expedition winterers.

The use of the proposed processing method increases the reliability of decision-making about the state of the object in comparison with the traditional processing method, which is based on comparison with reference values. Such an increase in reliability is explained by the fact that when carrying out calculations, the comparison of actual values is carried out not with the values of the generally accepted norm, but with the unique norm of each individual subject. Such an approach based on taking into account the individual boundaries of the norm makes it possible to take into account the peculiarities of the individual reaction of each individual organism to the influence of environmental factors. Also, this approach makes it possible to take into account the early (initial) stages of destabilization. The human body was selected as the object of study using the example of wintering workers of the Antarctic expedition. The use of multi-parameter criteria for determining the degradation of a biological object allows not only to conclude that homeostasis is impaired, but also allows researchers to determine exactly which indicators have a significant effect on the degradation of the body system and to take measures to return it to a stable state.

Keywords: medical indicators; measurement process; quantitative assessment; multi-parameter control; correlation; covariance matrix.

**Ерѐменко В. С., Иванец О. Б., Буриченко М. Ю.
МЕТОД ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ МЕДИЦИНСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ**

В работе предложен подход к оцениванию состояния организма человека на основе медицинских показателей с обеспечением максимальной полноты получения информации о параметрах данного объекта за счёт измерения физических величин, коррелированных с данным параметром. Значительная общность в информационном отношении процессов измерения и диагностики открывает возможности их совместного исследования и получения соотношений, справедливых как при диагностике, так и при контроле. В обоих случаях обязательной является операция сравнения результатов с заданной нормой. Кроме этого в сложных объектах есть статистическая зависимость между значениями разных контролируемых (измеряемых) величин, то есть состоянием объекта. При этом контроль за отдельными показателями без учета возможной статистической связи может привести к ошибочным выводам о состоянии системы. Для устранения указанного недостатка предлагается использование многопараметрических критериев для оценивания и диагностики стабильности сложных объектов, в частности, использование T^2 -статистики Хотеллинга для диагностики состояния сложных объектов. Приведены возможности оценки стабильности многопараметрических объектов при корреляции их показателей с использованием критерия Хотеллинга. Представлены возможности критерия Хотеллинга оценивать стабильность объекта как поэтапно так и в комплексе и определять показатели и их сочетания, которые существенно влияют на стабильность процесса функционирования. В качестве объекта исследования выбран организм человека на примере зимовщиков антарктической экспедиции. Использование предложенного метода обработки повышает достоверность принятия решений про состояние объекта по сравнению с традиционным методом обработки, который основан на сравнении с референтными значениями. Такое повышение достоверности объясняется тем, что при проведении расчётов сравнение фактических значений проводится не со значениями общепринятой нормы, а с уникальной нормой каждого отдельного субъекта. Такой подход основанный на том чтобы учитывать индивидуальные границы нормы даёт возможность учитывать особенности индивидуальной реакции каждого отдельного организма на влияние факторов внешней среды. Также такой подход даёт возможность учитывать ранние (начальные) стадии дестабилизации. В качестве объекта исследования выбран организм человека на примере зимовщиков антарктической экспедиции. Использование многопараметрических критериев для определения разлаженности биологического объекта позволяет не только сделать вывод о нарушении гомеостаза, но и даёт исследователям возможность определить, какие именно показатели имеют существенное влияние на разлаженность системы организма, и провести мероприятия по возвращению его в стабильное состояние.

Ключевые слова: медицинские показатели; процесс измерения; количественное оценивание; многопараметрический контроль; корреляция; ковариационная матрица.

Стаття надійшла до редакції 12.09.2020 р.

Прийнято до друку 30.09.2020 р.