

DOI: 10.18372/2310-5461.49.15292

УДК 004.942(45)

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

**М. В. Архирей**, асистент  
Національний авіаційний університет  
orcid.org/0000-0002-2200-8404  
e-mail: marina1709@i.ua;

**О. В. Мельников**, канд. техн. наук, доц.  
Національний авіаційний університет  
orcid.org/0000-0001-8953-599X  
e-mail: melnykov\_@ukr.net;

**І. В. Якимець**, асистент  
Національний авіаційний університет  
<https://orcid.org/0000-0002-2797-2796>  
e-mail: 13elvi@gmail.com

## ПІДВИЩЕННЯ ДОСТОВІРНОСТІ ОЦІНЮВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ПАРАМЕТРІВ АДАПТАЦІЙНОГО ПОТЕНЦІАЛУ ЗА РАХУНОК ВИКОРИСТАННЯ КАРТ ХОТТЕЛІНГА

### Вступ

На практиці оцінювання параметрів складних об'єктів для забезпечення максимальної повноти отримання інформації про параметри даного об'єкта здійснюють вимірюванням фізичних значень, які корелюють з даним параметром [1]. Але при оцінюванні функціонального стану організму біологічних об'єктів на відміну від технічних об'єктів необхідно враховувати адаптаційні резерви організму які надають можливість підтримання біологічної рівноваги при дії зовнішніх факторів деталізації. Функції організму підтримуються в стані рівноваги лише тоді, коли умови зовнішнього середовища повністю відповідають його потребам. Якщо умови зовнішнього середовища, у тому числі виробничого, змінюються, стають несприятливими, ускладнюють його життєдіяльність, то на протидію їм організм спрямовує спеціальні механізми, які зберігають постійність внутрішнього середовища або змінюють його в межах, визначених фізіологічними законами. Такі механізми адаптації (приспосовування) є це динамічним процесом, завдяки якому в організмі підтримується постійність внутрішнього середовища в мінливому зовнішньому середовищі. Тому оцінювання адаптаційних резервів організму необхідно розглядати разом з врахуванням умов зовнішнього впливу як одну з компонент поточного функціонального стану організму. При цьому кількісна оцінювання

адаптаційних можливостей необхідно проводити з урахування кореляції окремих параметрів що є складовими даної оцінки. Тому пропонується використання статистичних методів з можливістю застосування карт Хотеллінга для підвищення достовірності оцінювання адаптаційних можливостей організму за рахунок існуючих методик [2].

### Постановка проблеми в загальному вигляді

Актуальною проблемою є підвищення достовірності оцінювання адаптаційних резервів організму на основі критеріальної оцінки [3] адаптаційних можливостей за рахунок використання статистичних методів.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

За останні роки збільшується інтерес до проблем побудови систем медичної діагностики, методології аналізу медичної інформації, математичних моделей для діагностики та прогнозування різних патологічних процесів. Головним показником рівня здоров'я, що містить як оцінку поточного функціонального стану, так і прогноз на майбутнє, на думку Р. М. Баєвського й А. П. Берсенєвої — є адаптаційні резерви організму [4]. Поточний стан можна оцінити за ступенем адаптації до умов навколишнього середовища, а оскільки ступінь адаптації визначається відповідною реакцією організму на вплив навколишнього середовища в даний конкретний

момент, то в такій оцінці міститься і прогностичний компонент [5]. Поточний стан організму — це миттєвий баланс між станом організму і середовищем, який визначається запасом функціональних резервів. Даний підхід активно використовується для розрахунку адаптаційних резервів організму різних груп населення [6].

Усі прояви адаптаційної діяльності організму пов'язані зі збільшенням навантаження на дихальну та серцево-судинну системи, оскільки вони забезпечують органи і тканини киснем та енергетичним матеріалом.

Рівень адаптаційних можливостей формується не стільки наявністю певних відхилень у стані здоров'я, скільки індивідуальними функціонально-резервними можливостями, притаманними кожному конституційному типу [7].

**Мета статті.** В роботі запропоновано вдосконалення методу оцінювання адаптаційних резер-

вів організму за рахунок визначення адаптаційного потенціалу з використання карт Хотеллінга, які дозволяють перевірити гіпотезу про біологічну стабільність об'єктів дослідження.

#### Виклад основного матеріалу дослідження

На сьогодні широко застосовується принцип аналізу окремих показників, що описують функціональний стан окремих підсистем організму, зокрема у праці [5] пропонується здійснити оцінювання стану організму на основі основних показників серцево-судинної системи, а саме, частоти серцевих скорочень (ЧСС), систолічного (САТ) та діастолічного (ДАТ) артеріального тиску, а також антропометричних показників (зріст та маса тіла) з урахуванням віку людини.

За даними показників у праці [4] розрахована математична залежність оцінювання адаптаційного показника:

$$AP = 0,011 ЧС + 0,014 АТс + 0,008 АТд + 0,009 МТ + 0,014 В - 0,009 ДТ - 0,27(y.o), \quad (1)$$

де В — вік, роки; ДТ — довжина тіла, см; АТс і АТд — систолічний і діастолічний артеріальний тиск; МТ — маса тіла.

У такий спосіб розрахований адаптаційний показник (АП) дозволяє оцінити адаптаційні можливості організму та визначити ризик розвитку захворювань [4].

Застосування цього підходу було здійснено у праці [6] для розрахунку адаптаційного показника зимівників антарктичної станції «Академік Вернадський» з метою встановлення рівня адаптації людини до тривалої діяльності у надзвичайних умовах Антарктики. Адаптаційна можливість в значній мірі пов'язана з ступенем стійкості резервів серцево-судинної системи та адаптаційною здатністю її регуляторних механізмів, що забезпечує стан здоров'я і працездатність зимівників [8].

Для розрахунку адаптаційного потенціалу була оброблена статистична інформація про фізіологічні показники членів XXI Української антарктичної експедиції, інформацію про стан серцево-судинної системи, а саме значень систолічного і діастолічного артеріального тиску, частота серцевих скорочень кожного з 12 учасників експедиції безпосередньо на станції «Академік Вернадський» в умовах зимівлі.

Данні були забрані через рівні проміжки часу для кожного члена експедиції.

Був розрахований адаптаційний показник для кожного учасника експедиції, результати розрахунку подані в табл. 1.

При опрацюванні результатів встановлено, що адаптаційний показник не залежить від пори року та добових коливань [5].

Таблиця 1

Розраховані значення АП для учасників антарктичної експедиції

Номер учасника експедиції	АП 1	АП 2	АП 3	АП 4	АП 5	АП 6
Зимівник 1	2,6995	2,6995	2,6895	2,6995	2,6155	2,744
Зимівник 2	2,744	2,744	3,3016	2,744	3,1936	3,1162
Зимівник 3	2,386	2,386	2,4	2,386	2,438	2,439
Зимівник 4	2,2576	2,2576	2,2736	2,2776	2,5436	2,2638
Зимівник 5	2,7696	2,7696	2,6436	2,7696	2,7062	2,5756
Зимівник 6	2,8368	2,8368	2,7378	2,8368	2,8498	2,548
Зимівник 7	2,461	2,685	2,635	2,741	2,545	2,777
Зимівник 8	2,36	2,08	1,924	2,08	2,088	2,232
Зимівник 9	2,3048	2,3048	2,3598	2,3048	2,3598	2,5538
Зимівник 10	3,235	3,235	3,131	3,235	2,929	2,802
Зимівник 11	2,6605	2,6605	2,9435	2,6605	2,9595	2,952
Зимівник 12	2,676	2,676	2,359	2,676	2,403	2,664

Згідно з працею [4] було визначено межі для оцінювання ознак рівня адаптаційного потенціалу. Адаптація вважається задовільною у разі, коли АП < 2,1 у.о.; спостерігається напруженість механізмів адаптації — АП від 2,11 у.о. до 3,2 у.о.; незадовільна адаптація — АП від 3,21 у.о. до 4,3 у.о.; зрив адаптації — АП > 4,3 у.о.

Встановлено, оператори (номери 2, 10, 11), старші за віком, важче адаптувалися до умов Антарктики, що характеризувалося більшими показниками АП.

Відповідно до значень адаптаційного показника здійснено ранжування груп за ймовірністю виникнення захворювання [4].

Таблиця 2

Результати ранжування операторів за показниками АП

Номер оператора	Межі АП, у.о.	Ймовірність виникнення захворювання
8	< 2,1	10 %
1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 11, 12	2,11 ... 3,2	20 %
10	3,21 ... 4,3	70 %

Як видно з розрахунків, у так звану «зону ризику» потрапляє тільки оператор № 10, у якого можна констатувати незадовільний рівень адаптації до складних кліматичних та психофізіологічних умов Антарктиди. Також прослідковується тенденція, пов'язана з віком операторів.

Недоліком підходу, запропонованим Баєвським, є неврахування того факту, що організм складається з багатьох підсистем та, за відсутності явної патології організму, всі підсистеми функціонують взаємопов'язано, що веде до кореляції різних фізичних параметрів. Тому для зменшення похибок першого та другого роду при прийнятті рішення щодо адаптаційних можливостей, оцінювання стану організму необхідно проводити з урахуванням взаємозв'язків, що існують як в окремих підсистемах так і у всього організму в цілому.

У роботі проведені дослідження адаптаційного показника за допомогою карт Хотеллінга. Даний математичний апарат широко використовується для аналізу процесів різного типу для підвищення достовірності при аналізі багатопараметричних показників [9].

Так для перевірки гіпотези про стабільність стану здоров'я антарктичних зимівників в одновимірному випадку за вибіркою обсягом  $n$  за

відомої дисперсії генеральної сукупності використано статистику:

$$z = \frac{(\bar{x} - \mu_0)}{\sigma / \sqrt{n}}, \quad (2)$$

При дослідженні багатовимірної випадкової величини [9]:

$$z^2 = n(\bar{x} - \mu_0)^2 (\sigma)^{-1}, \quad (3)$$

яке в матричній формі можна представити так:

$$T_H^2 = n(\bar{X} - \mu_0)^T \sum^{-1} (\bar{X} - \mu_0). \quad (4)$$

Даний вираз є характеристикою Хотеллінга ( $T^2$  — статистика Хотеллінга), що використовується при оцінюванні якості багатопараметричної системи у присутності кореляції її показників [9].

На основі виразу (3) були обраховані значення  $z^2$  адаптаційного потенціалу антарктичних зимівників на основі показників частоти серцевих скорочень, даних тиску, ваги та віку зимівників. Ступінь вільності для  $T^2$  — статистики Хотеллінга для даного випадку дорівнює:  $n - 1 = 5$ . Розраховані значення адаптаційного потенціалу за Хотеллінгом подані в табл. 3.

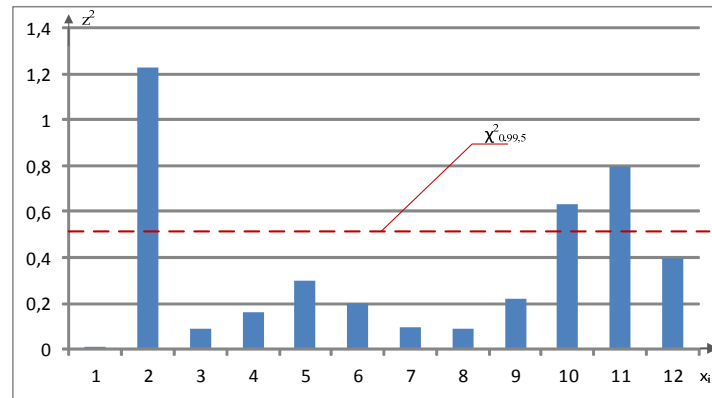
Таблиця 2

Результати розрахунків  $T^2$ -статистики

Номер оператора	АП 1	АП 2	АП 3	АП 4	АП 5	АП 6	$\bar{x}_i$	$z^2$
X <sub>1</sub>	2,6995	2,6995	2,6895	2,6995	2,6155	2,744	2,69125	0,009774
X <sub>2</sub>	2,744	2,744	3,3016	2,744	3,1936	3,1162	2,9739	1,226133
X <sub>3</sub>	2,386	2,386	2,4	2,386	2,438	2,439	2,405833	0,091197
X <sub>4</sub>	2,2576	2,2576	2,2736	2,2776	2,5436	2,2638	2,3123	0,158017
X <sub>5</sub>	2,7696	2,7696	2,6436	2,7696	2,7062	2,5756	2,7057	0,301418
X <sub>6</sub>	2,8368	2,8368	2,7378	2,8368	2,8498	2,548	2,774333	0,197924
X <sub>7</sub>	2,461	2,685	2,635	2,741	2,545	2,777	2,640667	0,098215
X <sub>8</sub>	2,36	2,08	1,924	2,08	2,088	2,232	2,127333	0,089633
X <sub>10</sub>	2,3048	2,3048	2,3598	2,3048	2,3598	2,5538	2,364633	0,222569
X <sub>11</sub>	3,235	3,235	3,131	3,235	2,929	2,802	3,0945	0,635828
X <sub>12</sub>	2,6605	2,6605	2,9435	2,6605	2,9595	2,952	2,806083	0,796991

Необхідно перевірити гіпотезу  $H_0$  про стабільність адаптаційних можливостей зимівників. Гіпотеза  $H_0$  — адаптаційні можливостей достатньо для підтримання біологічної стабільності організму, гіпотеза  $H_1$  порушення адаптаційних можливостей організму. Для даного випадку  $z^2 = T^2$ , розрахункові значення якого порівню-

ють з табличним квантилем  $\chi_{0,99,5}^2$ . Якщо значення  $T^2$  перевищує значення  $\chi_{0,99,5}^2$  як контрольної границі, то можна зробити висновок про порушення адаптаційних можливостей зимівників. Результати порівняльного аналізу подані в графічному вигляді на рисунку.



Результати порівняльного аналізу розрахункових значень  $T^2$  — статистики з критичним значенням

Червоною лінією визначене критичне значення  $\chi_{0,99,5}^2$ . Усі значення  $z^2$ , що вище червоної лінії свідчать про порушення адаптаційних можливостей до умов Антарктиди. Дані порушення можуть свідчити про недостатню кількість резервних можливостей організму, що можуть вплинути як на виконання професійних можливостей при роботі на антарктичній станції, так і про необхідність додаткової уваги при проведенні процедур реабілітації після проведення антарктичної експедиції.

Так, згідно з результатами розрахунків, порушення адаптаційних можливостей було визначено у трьох зимівників, у той час як ранжування за Баєвським визначило незадовільну адаптацію тільки у одного зимівника. Таким чином, використання  $T^2$  — статистики Хотеллінга для завдань оцінювання таких складних систем як організм людини дає більш достовірні результати порівняно з існуючими методами [11]. (У такий спосіб можливе визначення значень  $T^2$  для окремих показників, що характеризують стан серцево-судинної системи, таких як частота серцевих скорочень, артеріальний тиск для даних зимівників за період проведення антарктичної експедиції).

Отже, на сьогодні суттєві перспективи мають багатопараметричні інформаційні технології оцінки функціонального стану і функціональних резервів організму, методологічною основою

яких є комплексний системний інформаційний підхід до визначення співвідношень параметрів, які виступають як нові діагностичні ознаки, що доповнюють загальноприйняте в функціональній діагностиці трактування результатів електрофізіологічних досліджень на основі аналізу отриманих абсолютних величин [12].

### Висновки

Використання підходу з урахуванням адаптаційного потенціалу з використанням карт Хотеллінга, для визначення розладженості біологічних об'єктів, дозволяють зробити висновок про порушення адаптаційних резервів та функціонального стану організму.

Особливо це важливо для прийняття рішення про професійну придатність професій з екстремальними зовнішніми дестабілізуючими факторами. Також даний підхід може бути використаний при прийнятті поточного рішення про стан організму та може знизити похибки першого роду, тобто 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 метод розрахунку адаптаційного потенціалу запропонований Р. Баєвським [4], що і було продемонстровано в наведених дослідженнях.

## ЛІТЕРАТУРА

- [1] Іванець О. Б., Мельников О. В., Архирей М. В., Якимець І. В. Модель прийняття рішень щодо функціонального стану складних об'єктів. *Вимірjовальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах*. 2020. № 2(66). С. 21–28. DOI: 10.31891/2219-9365-2020-66-2-4.
- [2] Щапов П. Ф., Іванець О. Б., Севрюкова О. С. Динамічні властивості часового ряду результатів біомедичних вимірів. *Наукоємні технології*. 2020. № 2(46). С. 236–244. DOI: 10.18372/2310-5461.46.14811.
- [3] Кучерук В. Ю., Кулаков П. І., Іванець О. Б., Кулакова А. П. Підхід до критеріального оцінювання ступеню відхилення від норми стану об'єкта. *Вимірjовальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах*. 2020. № 2(66). С. 10–15. DOI: 10.31891/2219-9365-2020-66-2-2
- [4] Баевский Р. М., Берсенева А. П. Оценка адаптационных возможностей организма и риск развития заболеваний. М.: Медицина, 1997. 235 с.
- [5] Архирей М. В., Гнатюк А. О., Іванець О. Б. Метод оцінювання адаптаційних можливостей організму антарктичних зимівників. *Вісник інженерної академії України*. 2018. №1. С. 135–139.
- [6] Леонтьева З. Розрахунок адаптаційного потенціалу, оцінка адаптаційних можливостей організму і рівнів здоров'я студентів львівського національного медичного університету імені Данила Галицького. *Праці НТШ. Медичні науки*. 2017. Т. XLVII, С. 64–70.
- [7] Костроміна В. П., Речкіна О. О., Ярощук Л. Б., Стриж В. О., Дорошенкова А. С. Адаптаційно-резервні можливості організму дітей, хворих на бронхіальну астму. *Астма та алергія*. 2014. № 3. С. 13–19.
- [8] Моїсеєнко Є. В. Дослідження впливу екологічних факторів Антарктики на здатність людини до адаптації. *Фізіологічний журнал*. 2012. Т. 58. № 4. С. 35–43.
- [9] Володарський Е. Т., Кошева Л. А., Добролюбова М. В. Оценивание качества многопараметрического технологического процесса при корреляции его показателей. *Метрологія та прилади*. 2017. № 5. С. 20–24.
- [10] Montgomery D. C. Introduction to Statistical Quality Control, 6th Ed. John Wiley & Sons. 2009. 734 P.
- [11] 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*. 6 — 8 September, 2019/ IEEE — С. 661-665. #978-1-7281-1814-7/19/31.00.
- [12] Vasilevskiy O., Kulakov P., Kompanets D., Lysenko O., Prysyzhnyuk V., Wojcik W., Baitussupov D. “A new approach to assessing the dynamic uncertainty of measuring devices”, *Proc. SPIE 10808, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High Energy Physics Experiments 2018, 108082E* (1 October 2018); <https://doi.org/10.1117/12.2501578>

**Іванець О. Б., Мельников О. В., Архирей М. В., Якимець І. В.  
ПІДВИЩЕННЯ ДОСТОВІРНОСТІ ОЦІНЮВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ПАРАМЕТРІВ  
АДАПТАЦІЙНОГО ПОТЕНЦІАЛУ ЗА РАХУНОК ВИКОРИСТАННЯ КАРТ ХОТТЕЛІНГА**

*В роботі запропонований підхід до оцінювання стану організму за рахунок визначення адаптаційного потенціалу Функціональний стан організму можна оцінити за ступенем адаптації до умов навколишнього середовища, а оскільки ступінь адаптації визначається відповідною реакцією організму на вплив навколишнього середовища в даний конкретний момент, то в такій оцінці міститься і прогностичний компонент. В якості поточного функціонального стану організму розглянутий миттєвий баланс між станом організму і середовищем, який визначається запасом функціональних резервів.*

*Функції організму підтримуються в стані рівноваги лише тоді, коли умови зовнішнього середовища повністю відповідають його потребам. Якщо умови зовнішнього середовища, у тому числі виробничого, змінюються, стають несприятливими, ускладнюють його життєдіяльність, то на протидію їм організм спрямовує спеціальні механізми, які зберігають постійність внутрішнього середовища або змінюють його в межах, визначених фізіологічними законами. Такі механізми адаптації (приспосовування) є це динамічним процесом, завдяки якому в організмі підтримується постійність внутрішнього середовища в мінливому зовнішньому середовищі. Тому оцінювання адаптаційних резервів організму необхідно розглядати разом з врахуванням умов зовнішнього впливу як одну з компонент поточного функціонального стану організму. При цьому кількісна оцінювання адаптаційних можливостей необхідно проводити з урахування кореляції окремих параметрів що є складовими даної оцінки.*

*В роботі запропоновано вдосконалення методу оцінювання адаптаційних резервів організму за рахунок визначення адаптаційного потенціалу з використання карт Хотеллінга, які дозволяють перевірити гіпотезу про біологічну стабільність об'єктів дослідження. Було визначено, що використання карт Хотеллінга для завдань оцінювання таких складних систем як організм людини дає більш достовірні результати порівняно з існуючими*

методами. Використання підходу з урахуванням адаптаційного потенціалу з використанням карт Хоттелінга, для визначення розладженості біологічних об'єктів, дозволяють зробити висновок про порушення адаптаційних резервів та функціонального стану організму. Особливо це важливо для прийняття рішення про професійну придатність професій з екстремальними зовнішніми дестабілізуючими факторами.

**Ключові слова:** адаптація; потенціал; Хотеллінг; оцінювання; фактори; дестабілізація, серце, кореляція, рівновага.

**Ivanets O. B., Arkhyrei M. V., Melnykov O. V., Yakimets I. V.**  
**INCREASING THE RELIABILITY OF EVALUATING INFORMATION PARAMETERS OF THE ADAPTIVE POTENTIAL DUE TO THE USE OF HOTTELLINGS CARDS**

*The paper proposes an approach to assessing the state of the organism by determining the adaptive potential. The functional state of the organism can be assessed by the degree of adaptation to environmental conditions, and since the degree of adaptation is determined by the body's response to environmental influences this assessment also contains a prognostic component. The instantaneous balance between the state of the organism and the environment, which is determined by the stock of functional reserves, is considered as the current functional state of the organism. The functions of the organism are maintained in a state of equilibrium only when the conditions of the external environment fully meet its needs. If the conditions of the external environment, including production, change, become unfavorable, complicate its vital functions, then to counteract them the body directs special mechanisms that maintain the stability of the internal environment or change it within the limits set by physiological laws. Such mechanisms of adaptation (adaptation) are a dynamic process due to which the body maintains the constancy of the internal environment in a changing external environment. Therefore, the assessment of the adaptive reserves of the organism must be considered together with the conditions of external influence as one of the components of the current functional state of the organism. Thus the quantitative estimation of adaptive possibilities needs to be carried out taking into account correlation of separate parameters which are components of the given estimation. The paper proposes to improve the method of estimating the adaptive reserves of the organism by determining the adaptive potential using Hotelling maps, which allow to test the hypothesis of biological stability of the objects of study. It was found that the use of Hotelling maps for the evaluation of such complex systems as the human body gives more reliable results compared to existing methods. The use of the approach taking into account the adaptive potential with the use of Hotelling maps, to determine the disorder of biological objects, allows us to conclude that the adaptation reserves and the functional state of the organism. This is especially important for deciding on the professional suitability of professions with extreme external destabilizing factors.*

**Keywords:** adaptation; potential; Hotelling; assessment; destabilization; factors, iheart; correlation; imbalance.

Стаття надійшла до редакції 28.01.2021 р.  
Прийнято до друку 01.03.2021 р.