

УДК 629.78; 681.513

**В. М. Азарсков**, д-р. техн. наук, проф.  
**С. Т. Поліщук**, канд. техн. наук, доц.  
**Е. О. Харчевка**, студ.

## **ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ПРОСТОРУ СТАНІВ МАРКЕРІВ ГОМЕОСТАЗУ ОРГАНІЗМУ КОСМОНАВТА ЯК ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ В КОНТУРІ БІОТЕХНІЧНОЇ СИСТЕМИ**

*Визначено якісні показники маркерів гомеостазу біологічного об'єкта як простору стану фізіологічної системи організму космонавта. Формалізовано процес подання вектора стану біологічного об'єкта керування.*

*Qualitative adjectives of biological object homeostasis markers as state space of cosmonaut organism physiological system are defined. The building process of homeostasis image of biological control object is formalized.*

### **Вступ**

Розвиток наукових програм у напрямі космічних досліджень (EXPLORATION, AURORA) припускає участь людини у міжпланетних польотах, що обумовлює тривале перебування людини в умовах дії дестабілізуючих факторів космічного простору. Під час виконання програм подібного класу на сучасному етапі розвитку науки і техніки великий внесок у вірогідність успішного виконання завдання робить екіпаж. Незаперечним фактом також є нагромаджений досвід передпольотної підготовки космонавтів, підтримання належного задовільного стану здоров'я організму під час довготривалих орбітальних польотів та реабілітаційних заходів після повернення. Але на сьогодні групи медичного супроводження космічних польотів не мають "інструменту", який би давав їм змогу формувати довготривалі достовірні прогнози стану та поведінки організму космонавтів і реалізовувати запобіжні заходи для уникнення виникнення деструктивних і термінальних станів організму космонавтів. Яскравим прикладом цієї тези може бути повернення на Землю у 2006 р. з Міжнародної космічної станції на кораблі Atlantis американської астронавтки Хейдемари Стефанишин-Пайпер. Незважаючи на відсутність будь-якої інформації про погіршення стану здоров'я, вона знепритомніла безпосередньо під час церемонії ушанування екіпажу. Подібна неспрогнозована ситуація у разі виходу космонавта у відкритий космічний простір під час міжпланетного польоту могла мати зовсім інший результат.

### **Аналіз проблеми**

Уже перші орбітальні пілотовані польоти обумовили потребу у створенні системи моніторингу стану космонавта, побудова якої ґрунтувалась на передаванні в центр керування польотів інформації про основні показники фізіологічної систе-

ми організму: судинний тиск, частоту серцевих скорочень, температуру тіла [1].

Подальше збільшення часу перебування космонавтів в орбітальних польотах свідчило про значні порушення в організмі, що можуть призводити до критичних станів, якщо не вжити запобіжних заходів [2]. Дослідження, проведені для розуміння цих порушень в організмі довели, що основним фактором, який спричиняє порушення діяльності організму, є мікрогравітація [3].

Аналіз медико-біологічної інформації довготривалих пілотованих орбітальних польотів дозволяють зробити висновок, що, незважаючи на комплекс заходів, які проводять служби медичної підготовки як до польоту, так і під час виконання програми, можливе виникнення гомеостатичного зсуву в організмі, який може призводити до термінального стану організму космонавта [4]. У праці [5] вказується на можливість використання теорії автоматичного керування для побудови автоматизованої системи корекції стану біологічного об'єкта (АСКСБО), завданням якої є формування достовірної інформації, потрібної для визначення вектора стану біологічного об'єкта керування (БОК) та в разі потреби визначити стратегію стабілізації гомеостазу організму людини.

### **Постановка завдання**

Створення АСКСБО, у розглядуваному випадку керування станом організму людини, потребує кількісної мінімізації параметрів простору стану БОК. Залежно від глибини аналізу цього класу об'єктів керування кількість параметрів, необхідних для формування "достовірної картини", може досягати декілька сотень. Зрозуміло, що в умовах обмеження часу, простору та недостачі усіх необхідних технічних засобів, такий прямий підхід реалізувати неможливо. Тому одна з основних проблем під час виконання будь-яких складних завдань з участю людини полягає у створенні АСКСБО, яка давала б змогу надавати

центру керування і самому БОК інформацію про стан організму та ймовірність можливості виконання завдання.

Для вирішення цієї проблеми необхідно мати формалізований опис як самого БОК, так і факторів, що впливають на його стан. У цій роботі пропонується підхід до формування параметрів простору стану БОК, та якісно визначається простір дестабілізуючих факторів зовнішнього середовища (ДФЗС).

**Параметри простору стану біологічного об’єкта керування**

Розглянемо організм людини з кібернетичного погляду (рис. 1).

Структурно БОК, на першому рівні розгляду, можна уявити як систему, спрямовану на досягнення максимального значення цільової функції, алгоритми виконання якої закладено у центральній нервовій системі.

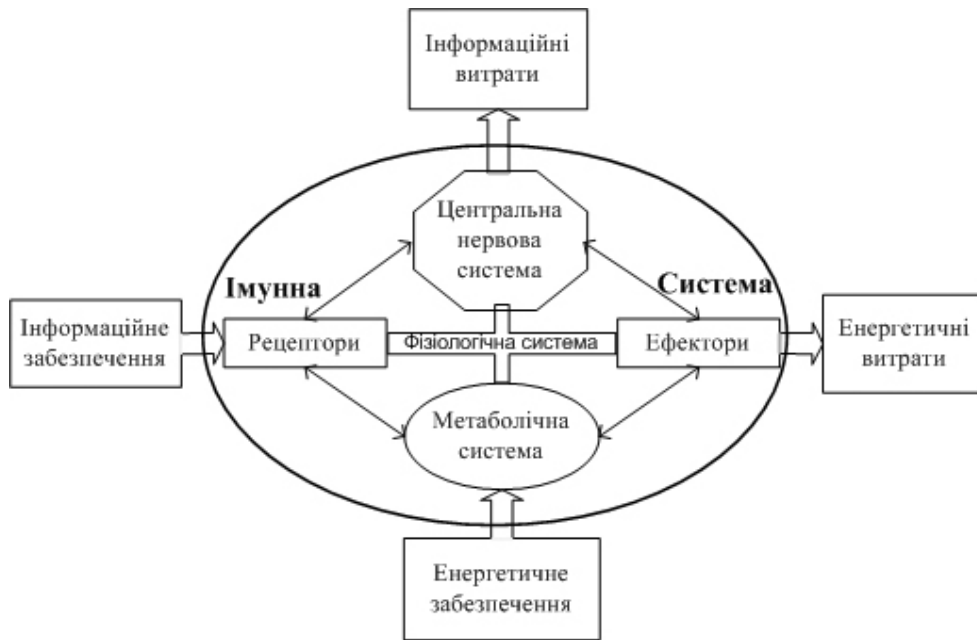


Рис. 1. Зображення БОК з кібернетичного погляду

Оцінювання положення у просторі й часі забезпечують рецептори. Переміщення у просторі виконують ефектори, а енергетичне забезпечення підтримує метаболічна система.

Під час виконання різноманітних програм цільова функція процесу керування може досягнути максимального значення за умови збереження вітальних функцій БОК, тобто якщо виконується умова

$$\Theta(t)_{\max} = \Phi \begin{cases} \Delta E \rightarrow 0, \\ I \rightarrow I_{\Sigma}, \\ RE \rightarrow RE_{\max}, \end{cases}$$

$I$  – поточне значення нагромадженої інформації;  
 $I_{\Sigma}$  – інформаційна ємність біологічної системи;  
 $RE$  – фактор працездатності рецепторно-ефекторних органів і систем.

Досягність цільової функції керування БОК завжди відбувається під дією ДФЗС, які призводять до збурення динамічної рівноваги внутрішнього середовища гомеостазу БОК (рис. 2):

$$\Theta(t)_{\text{opt}} = \Phi \begin{cases} \Delta E \rightarrow 0 \\ I \rightarrow I_{\Sigma} \\ RE \rightarrow RE_{\max} \end{cases} \Big|_{D_{\min} \leq D \leq D_{\max}},$$

де  $\Theta(t)_{\text{opt}}$  – оптимальні значення маркерів гомеостазу БОК;  $D_{\min}, D_{\max}$  – мінімальне, максимальне припустиме значення параметрів ДФЗС для даного типу БОК відповідно.

де  $\Theta(t)_{\max}$  – екстремальні значення маркерів гомеостазу БОК;

$\Delta E$  – енергетичний баланс;

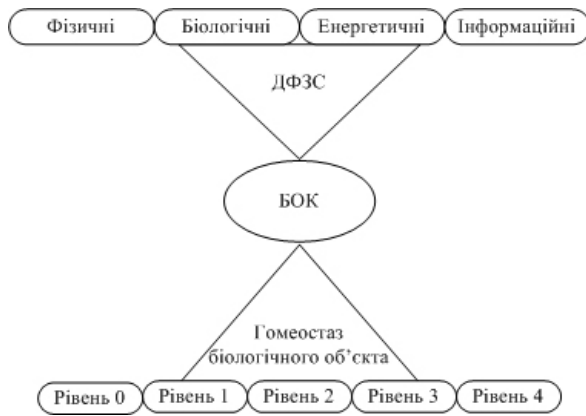


Рис. 2. Дія дестабілізуючих факторів на об'єкт керування

Для формування інформативних параметрів вектора стану БОК формалізуємо підхід, який вже протягом тривалого часу використовується у реанімації, інтенсивній терапії та спортивній медицині.

Із погляду значущості інформативності показників їх можна розділити на п'ять рівнів (рис. 3).



Рис. 3. Рівні векторів стану БОК

Кожен рівень відображає стан різних фізіологічних та функціональних систем БОК.

Сформуємо вектор стану БОК  $\bar{\Omega}$  як об'єднання елементів множин  $\alpha_i$ , які містять інформацію відповідного рівня структурної організації біологічного об'єкта,

$$\bar{\Omega} \in \{\alpha_0 \cup \alpha_1 \cup \alpha_2 \cup \alpha_3 \cup \alpha_4\},$$

де  $\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$  – рівень фізичної цілісності, загального функціонування, психічної адекватності, метаболічного статусу, імунної резистивності відповідно.

Вектор стану нульового рівня повинен надавати інформацію про механічну цілісність та рухому

здатність БОК у певний момент часу, у певній точці простору:

$$\alpha_0 = \{HD, HL, HR, FHL, FHR, LL, LR\},$$

де HD, HL, HR, FHL, FHR, LL, LR – рухомість голови, лівої руки, правої руки, пальців лівої руки, пальців правої руки відповідно.

Вектор стану першого рівня повинен надавати найбільш оперативну інформацію у реальному часі про загальний стан фізіологічної системи БОК:

$$\alpha_1 = \{AVT, HF, BF, BT, SE, PO_2, PCO_2\},$$

де AVT – артеріальний тиск;

HF – частота серцевих скорочень;

---

BT – температура тіла;

SE – електропровідність шкіри;

PO<sub>2</sub> – сатурація крові киснем;

PCO<sub>2</sub> – тиск вуглекислого газу у крові.

Вектор стану другого рівня повинен формувати у реальному часі інформацію, яка давала б змогу фахівцям центру керування проводити оцінювання стану психічної діяльності БОК:

$$\alpha_2 = \{SV, KV, SE, KE, SAC, SLC, AS, PS, QS\},$$

де SV – стереоскопічність зору;

KV – гострота зору;

SE – стереоскопічність слуху;

KE – гострота слуху;

SAC – швидкість виконання арифметичних операцій;

SLC – швидкість виконання логічних операцій;

AS – спектр голосових повідомлень;

PS – наявність нюху;

QS – смакове сприйняття.

Вектор стану третього рівня має надавати інформацію про внутрішнє середовище БОК з наперед заданою періодичністю і формуватись позапланово в разі відхилень від середньостатистичних значень показників на першому і другому рівнях:

$$\alpha_3 = \{BM, QL, CR, UR, SH, HT, CB, VUR\},$$

де BM – маса тіла;

QL – об'єм рідини в організмі;

CR – концентрація креатиніну;

UR – концентрація сечовини;

SH – концентрація цукру;

CP – загальний білок;

VUR – добовий об'єм сечі.

Вектор стану четвертого рівня повинен надавати інформацію про показники імунної системи БОК із заданою періодичністю, а в разі відхилення показників від оптимальних значень на першому, другому і третьому рівнях – поза встановленою періодичністю:

$$\alpha_4 = \{HB, LK, ER, LF, MN\},$$

де HB, LK, ER, LF, MN – концентрація гемоглобіну, лейкоцитів, еритроцитів, лімфоцитів, моноцитів відповідно.

#### Параметри простору стану зовнішніх факторів

Дестабілізуючі фактори зовнішнього середовища можна поділити на фізичні, біологічні, енергетичні та інформаційні (рис.4).

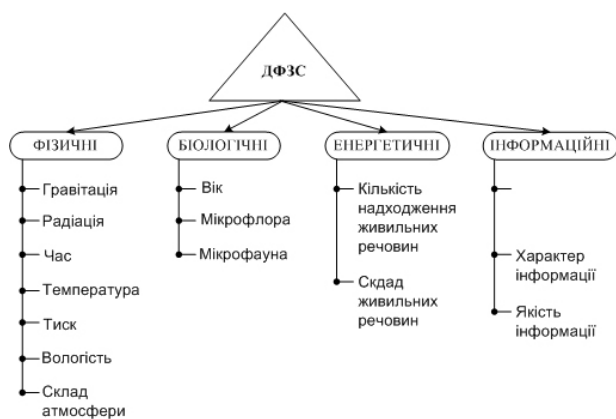


Рис. 4. Класифікація ДФЗС

Сформуємо простір стану ДФЗС, DSF як об'єднання елементів множин  $\beta_i$ , дія яких призводить до зсуву маркерів гомеостазу БОК:

$$DSF = \{\beta_1 \cup \beta_2 \cup \beta_3 \cup \beta_4\},$$

де  $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$  – вектор фізичних дестабілізуючих факторів, біологічного впливу, енергетичного балансу, інформаційної безпеки відповідно. Залежно від розміщення БОК у конкретній точці простору та часу величина DSF може змінюватися у діапазоні  $DSF_{var}$ :

$$DSF_{min} \leq DSF_{var} \leq DSF_{max},$$

де  $DSF_{min}, DSF_{max}$  – мінімальне та максимальне значення показників простору ДФЗС відповідно. Уведемо поняття  $DSF_{opt}$  – оптимального значення параметрів простору стану ДФЗС, тобто кількісної характеристики фізичних, біологічних, енергетичних та інформаційних факторів в умо-

вах планети Земля і регіону його існування для конкретного БОК.

Відповідно до величини впливу цих ДФЗС параметри простору стану БОК будуть мати кількісні характеристики, які також визначимо як оптимальні –  $BSS_{opt}$ .

У разі відхилень параметрів простору ДФЗС від оптимальних параметри простору стану БОК будуть змінюватися.

Кожен клас ДФЗС має свою селективність відносно спрямованості дії на БОК.

Фізичні ДФЗС впливають передусім на рецептори, ефектори; біологічні – на імунну систему; енергетичні – на метаболічну систему; інформаційні – на центральну нервову систему.

Однакові значення параметрів ДФЗС можуть викликати різні реакції параметрів простору стану БОК залежно від особливостей конкретного організму. Тому для формування з великою достовірністю прогнозу простору стану БОК під час дії ДФЗС, відмінних від оптимальних, необхідно визначити граничні можливості всіх систем організму цього біологічного об'єкта, тобто визначити простір допустимих станів БОК –  $BSS_{var}$  :

$$BSS_{min} \leq BSS_{var} \leq BSS_{max} ,$$

де  $BSS_{min}$ ,  $BSS_{max}$  – мінімальне та максимальне значення параметрів простору стану БОК відповідно.

### Висновки

Аналіз інформації медико-біологічних досліджень стану організму космонавтів вказує на можливість виникнення деструктивних та термінальних станів фізіологічної системи, що можуть призводити до відміни програми польоту.

Уникнення відміни програми польоту можливе лише за умови утримання гомеостазу організму у границях гомеостатичного плато під час дії дестабілізуювальних факторів зовнішнього середовища на організм космонавта.

Визначені структурні рівні та маркери гомеостазу організму космонавта дозволяють розглядати його автоматизовану біотехнічну систему керування і є даними для розроблення алгоритму керування у ній.

### Література

1. Баевский Р.М., Росс Эйди У. Методы исследований в космической биологии и медицине. Передача биомедицинской информации// Основы космической биологии и медицины. – М.: Наука, 1975. – Т.2. – С. 269 – 305.
2. Физиологические проблемы невесомости / Под ред. О.Г. Газенко, И.И. Касьяна. – М.: Медицина, 1990. – 288 с.
3. Баранський П.І., Венгер Є.Ф., Гайдар О.В. Проблеми, пов'язані з довготривалим перебуванням космічних кораблів з астронавтами на борту в міжпланетному просторі (Довготривалі космічні подорожі: погляд у майбутнє)//Космічна наука і технологія. – 2002. – Т. 8, №4. – С. 86 – 94.
4. Николаев Д. В., Смирнов А. В., Носков В. Б. Методические вопросы биоимпедансного анализа состава тела и баланса водных секторов// Диагностика и лечение сердечно-сосудистой системы. – М., 2004. – С. 105 – 114.
5. Поліщук С. Т. Гемодіалізна технологія. – К.: ППНВ, 2006. – 216 с.

Стаття надійшла до редакції 05.09.07.