

## ЕРГАТИЧНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ С КОНТУРОМ СТАБІЛІЗАЦІЇ ПАРАМЕТРІВ БІОЛОГІЧНОЇ КОМПОНЕНТИ

Національний авіаційний університет

*Аналізується ергатична система керування. Доводиться можливість підвищення ефективності керування та надійності системи за рахунок введення контуру стабілізації параметрів вектору стану біологічної компоненти*

**Вступ.** Створення сучасних біотехнічних систем (БТС), тобто систем, в яких людина є складовою ланцюга оптимізації процесу керування або об'єктом керування, неможливо без інформаційної інтеграції людини у біотехнічний комплекс.

Розвиток пілотованої космонавтики дав поштовх до створення особливого класу БТС контролювання стану організму космонавтів, які у подальшому сформували цілий науковий напрям – телеметричні системи медичного призначення.

Телеметричний моніторинг біологічної компоненти системи керування має особливе значення для складних технічних комплексів, де необхідно мати прогностичну інформацію для внесення поправок у процес керування або упередження виникнення аварійних ситуацій.

Аспекти телеметричного моніторингу технічних компонентів в енергетиці, авіації, морському флоті сьогодні достатньо досконало пророблені і не мають якихось принципових обмежень. Однак подальше підвищення ефективності процесів керування потребує нового підходу до структурної побудови БТС, що, в свою чергу, обумовлює необхідність поглиблення концепції інформаційного інтегрування біологічних об'єктів в контур керування автоматизованої системи.

У цьому випадку формування прогностичної інформації про стан біологічної компоненти системи керування, тобто екстраполяції психофізіологічних параметрів оператора або біологічного об'єкту керування (БОК) в умовах впливу ендогенних та екзогенних дестабілізуючих факторів сьогодні відносять до однієї з найбільш актуальної проблеми.

Серед усього різноманіття завдань прогнозування особливо важливо є оцінювання стану організму на граничних рівнях. Тобто, коли організм досягає своїх

максимальних фізичних, психічних, фізіологічних навантажень або коли хвороба ще не набрала розвитку, але рівновага між організмом та зовнішнім середовищем вже може бути порушена. Подібна ситуація виникає не тільки під час знаходження організму в екстремальних умовах, але і у повсякденному житті, наприклад при щоденних фізичних та психоемоційних перевантаженнях.

**Аналіз проблеми та постановка завдання.** Аналіз матеріалів розслідування техногенних аварій й катастроф вказує на суттєвий вплив людського чинника до причин їх виникнення, тобто низьку надійність біологічної складової автоматизованої системи керування. Іншими словами, за тих чи інших обставин біологічний ланцюг (оператор) не зміг створити ефективний керуючий вплив для утримання системи в межах дозволених станів.

Дослідження ефективності процесу екстракорпорального заміщення функції нирки у гемодіалітичних відділеннях України вказує на низьку здатність лікаря-оператора оптимізувати процес заміщення, що в свою чергу призводить до зменшення тривалості життя пацієнтів (рис. 1) [1].

Проведення експерименту “Спрут” на борту Міжнародної космічної станції у 2005 р. показав на можливість зриву програми польоту за рахунок падіння майже до критичного рівня загального об'єму рідини в організмі космонавтів (рис. 2) [2].

Наведені дані дають змогу стверджувати, що автоматизовані системи, в яких людина виконує кібернетичні функції або виступає як об'єкт керування піддаються впливу випадкових дестабілізуючих факторів, на які система не може реагувати, тому що у системі відсутні апаратні, програмні та алгоритмічні засо-

би для обробки подібної інформації. Це в свою чергу призводить до зниження ефективності керування у системі, а у деяких випадках до виникнення аварій та катастроф.

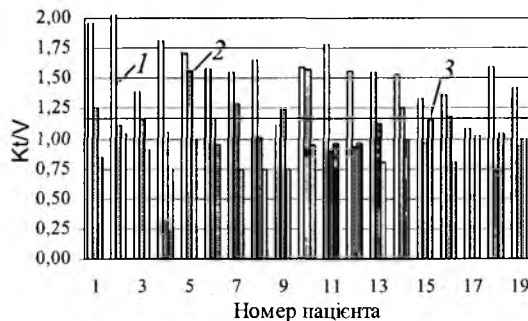


Рис.1. Показники ефективності гемодіалізу: Kt/V – гемодіалітичний індекс дози (ГІД); 1 – теоретичне значення ГІД; 2 – реально отримане значення ГІД; 3 – гемоглобін крові як маркер інтеграль-



Рис. 2. Зміна маси тіла космонавтів та стан рідинних компартментів під час орбітального польоту: 1 – загальна маса тіла; 2 – позаклітинний об’єм рідини; 3 – загальний об’єм рідини; 4 – внутрішньоклітинний об’єм рідини

Мета даної роботи полягає у деталізації теоретичних аспектів проблеми інформаційної інтеграції біологічної компоненти у контур керування БТС для підвищення надійності системи у цілому.

**Біотехнічні системи ергатичного типу.** Забезпечення ефективної роботи автоматизованої системи керування потребує мати кількісні характеристики різноманітних структурних компонентів, в тому числі і людини, яка забезпечує оптимізацію процесу керування.

У випадку представлення системи керування як ергатичної БТС першого роду (рис. 3) [3], її математичне описання має вигляд

$$y_i = f_i(x_1, x_2, \dots, x_j, \dots, x_s, \alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_l, \dots, \alpha_p, \dots, \alpha_r, t)$$

а простір можливих станів параметрів системи визначається нерівностями

$$\begin{aligned} x_{j_{\min}} &\leq x_j \leq x_{j_{\max}}; \\ z_{k_{\min}} &\leq z_k \leq z_{k_{\max}}; \\ \alpha_{l_{\min}} &\leq \alpha_l \leq \alpha_{l_{\max}}, \end{aligned} \quad (2)$$

де  $y_i$  – вихідні змінні;  $x_j$  – вхідні змінні;  $\alpha_l$  – змінні, які характеризують біологічний об’єкт оптимізації (БОО);  $\mu = f(y, \alpha_l, t) z_k$  – збурення;  $t$  – час.

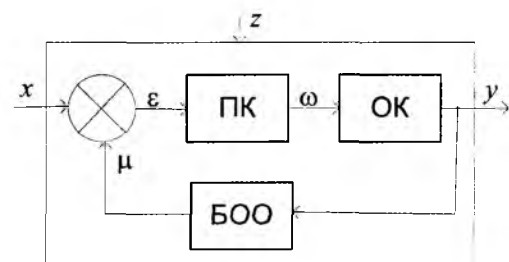


Рис. 3. Біотехнічна система ергатичного типу першого роду

В залежності від відхилення параметрів виходу ОК –  $y$ , від заданих –  $x$ , БОО формує сигнал неузгодженості  $\epsilon = f(x, y, \mu, z, t)$ , який поступає на вхід приладу керування (ПК) і змінює параметри вектору керування  $\omega$  для утримання параметрів вектору стану ОК в межах, що необхідні для досягнення цільової функції.

Зрозуміло, що завдання оптимізації процесу керування у системі необхідно мати кількісні показники БОО та їх кореляційні співвідношення з іншими параметрами системи.

**Актуальні параметри вектору стану БОО.** Традиційний підхід до розгляду оператора у ергатичній системі зводиться до оцінювання його кібернетичних можливостей під час процесу керування. У такому разі наближене формальне описання оператора як компоненти системи керування може бути представлено інерційною ланкою з постійною часу  $\tau$ . Для оцінювання та контролювання значення постійної часу оператора використовуються тренажери. Постійно ускладнюючи тренінгові завдання можна

досягти значення  $\tau_{\min}$  для конкретної людини і конкретного завдання у даній момент часу в даній точки простору. Але якщо досяжність максимального значення цільової функції у реальної системі залежить від параметру  $\tau$ , це не означає, що оператор буде працювати з ефективністю  $\tau_{\min}$ . Більш того, практично у всіх ергатичних системах першого роду відсутня інформація у системі про параметр  $\alpha_1$ , що характеризують стан БОО і впливають на ефективність керування, тому що  $\tau(t) = f(\alpha_1)$ .

Першим кроком до інформаційного інтегрування БОО у контур БТС є визначення актуальних показників  $\alpha_1$ . В роботах [4] запропоновано підхід до розгляду стану цілісного організму як об'єкта керування з точки зору теорії гомеостазу. У цьому випадку гомеостаз БОО може бути представлена вектором стану  $\bar{\Omega}$  як об'єднання елементів множин  $\alpha_i$ , які несуть інформацію відповідного рівня структурної організації організму людини,

$$\bar{\Omega} \in \{\alpha_0 \cup \alpha_1 \cup \alpha_2 \cup \alpha_3 \cup \alpha_4\}, \quad (3)$$

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

Деструктуризація цілісного організму на відповідні рівні необхідна для мінімізації показників, які є актуальними під час керування у ергатичних системах різноманітного призначення. Наприклад, час керування літаком під час рейсових авіаперевезень не перевищує декілька годин. Зрозуміло, що за цей час не може виникнути онкологічне захворювання, результат якого зміг би вплинути на процес керування. У цьому випадку достатньо мати інформаційне представлення рівнів  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$ , що дає можливість адекватного представлення стану організму пілота.

Інша справа коли ми маємо справу з екіпажем космічного корабля, що виконує міжпланетний переліт, тривалість якого перевищує декілька років. Тут проблема ускладнюється у декілька разів. Якщо у першому випадку, навіть якщо параметри рівнів  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$  вийшли за припустимі межі проблему можна вирішити

включенням в процес керування другого пілота, то під час міжпланетного польоту у більшості випадках це не буде можливим. Така ситуація обумовлена тривалістю польоту, його автономністю, неможливістю дублювання функцій членів екіпажу, недетермінованістю багатьох факторів зовнішнього середовища. Тому повинно бути забезпечено повне інформаційне інтегрування організмів космонавтів (рівні  $\alpha_0 - \alpha_4$ ), що створить можливість прогнозування виникнення хвороб і впровадження упереджувальних заходів для стабілізації стану організму.

Другим важливим кроком інформаційної інтеграції БОО є порозуміння впливу дестабілізуючих факторів як зовнішнього, так і внутрішнього середовища організму на параметри вектору стану  $\Omega$ . В роботі [5] дестабілізуючі фактори зовнішнього середовища (ДФЗС)  $\bar{Z}$  (рис. 4) розглядаються як об'єднання елементів множин  $\beta_i$ , дія яких призводить до зміщення маркерів гомеостазу БОО, які представлено вектором  $\Omega$ .

$$\bar{Z} = \{\beta_1 \cup \beta_2 \cup \beta_3 \cup \beta_4\}, \quad (4)$$

де  $\beta_1$  – вектор фізичних дестабілізуючих факторів;  $\beta_2$  – вектор біологічної впливу;

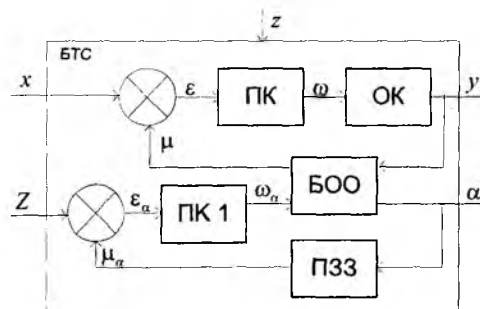


Рис. 4. Ергатична система з контуром стабілізації параметрів БОО

$\beta_3$  – вектор енергетичного балансу;  $\beta_4$  – вектор інформаційної безпеки.

І третім кроком інтегрування людини в контур керування є визначення інформаційної моделі БОО як функціональної залежності у часі параметрів вектору стану  $\Omega$  від значень ДФЗС  $Z$

$$\Omega(t) = \Phi(y, z) \quad (5)$$

де  $\Omega(t)$  – значення параметрів вектору стану БОО.

**Ергатична система першого роду с контуром стабілізації параметрів БОО.** На відміну від класич-

ної структури системи керування ергатичного типу, у пропонуємій системі сам БОО додатково виступає як об'єкт керування, і тому з'являється додатковий контур оцінювання його стану та формування інформації для можливості утримання параметрів вектору стану (маркерів гомеостазу) у рамках дозволених значень. Враховуючи (1) – (5), цільову функцію керування  $\Omega_{opt}$ , у цьому разі, можна записати як:

$$\Omega_{opt}(t) = \Phi(y, \alpha, Z) \Big|_{Z_{min} \leq Z \leq Z_{max}}$$

де  $Z_{min}$ ,  $Z_{max}$  – мінімальне, максимальне допустиме значення параметрів ДФЗС для даного БОО відповідно.

Вихідним сигналом у контурі стабілізації стану БОО є параметри  $\alpha_0 - \alpha_4$ , які пов'язані з вихідними сигналами БТС у та значеннями ДФЗС  $Z$ . На основі цих даних, і після їх обробки за відповідними алгоритмами, прилад керування контуру стабілізації параметрів БОО ПК1 формує сигнал неузгодженості  $\omega_\alpha$ . Сигнал  $\omega_\alpha$  може бути просто інформативним повідомленням на основі якої сам БОО приймає рішення або група медичного супроводження після його аналізу дає рекомендації щодо змінення його значення. Крім цього, побудова контуру стабілізації БОО може бути такою, що ПК 1 формує фізичний вплив (збільшення кисню, зменшення температури, ін'єкція необхідного препарату і т. ін), що призводить до оптимізації цільової функції керування всієї системи.

#### **Висновки.**

Запропонований підхід до створення системи ергатичного типу першого роду із стабілізацією параметрів БОО надає можливість підвищити надійність системи у цілому, що у свою чергу забезпечить більш високу ефективність та безпеку під час керування складними технічними реалізаціями.

Підвищення надійності обумовлена введенням додаткового контуру керування, який формує кількісне уявлення про

параметри стану біологічної компоненти БТС.

Запропонований підхід деструктуризації рівнів гомеостазу дає можливість спростити контур стабілізації БОО під час побудови конкретної автоматизованої системи.

Основна проблема, яка виникає під час розробки такої системи – це отримання кількісних значень маркерів гомеостазу різного рівня організації біологічної структури та процесів автоматизації усунення гомеостатичних зсувів.

Для вирішення завдання поведінки системи у цілому та прогнозування стану людини у частковості, треба означити, що присутність у контурі керування біологічних компонент відносить БТС до класу стохастичних, тому що повністю врахувати усі внутрішні та зовнішні фактори, що впливають на організм та побудувати однозначні залежності цих факторів з основними функціональними показниками системи практично неможливо.

#### **Список літератури**

1. *Поліщук С. Т.* Гемодіалізна технологія. – К.: ППНВ, 2006. – 216 с.
2. *В. Б. Носков, И. А. Ничипорук, Б. В. Моруков, Ю. И. Маленченко* Исследования состояния жидких сред организма человека в условиях длительного космического полета// *Авиакосмическая и экологическая медицина.* - 2005. - Т39, №1. – С.27 – 31.
3. *Поліщук С.Т.* Цілеспрямоване керування станом організму людини//*Електроніка та системи управління.* – 2007. – № 3. – С. 45–50.
4. *Поліщук С.Т., Азарсков В.М., Харчевка Е.О.* Визначення параметрів простору станів маркерів гомеостазу космонавта як об'єкта керування у контурі біотехнічної системи Збірник тез “7-ої Українська конференція з космічних досліджень”.– Євпаторія: Спейс-Інформ, 2007.– С. 227-228.
5. *Поліщук С.Т., Азарсков В.М., Харчевка Е.О.* Визначення інформативних рівнів маркерів гомеостазу організму космонавта як об'єкту керування// *Вісник НАУ.* – 2007. – №2 (32). – С. – 27 – 31.