

УДК 629.78;613.693(045)

С. Т. Поліщук, канд. техн. наук, доц.

ВПЛИВ ФАКТОРІВ КОСМІЧНОГО ПОЛЬОТУ НА ГОМЕОСТАЗ ОРГАНІЗМУ ЛЮДИНИНАУ, кафедра систем управління літальних апаратів
E-mail: stp@nau.edu.ua*Розглянуто вплив тривалості польоту, мікрогравітації та іонізуючого випромінювання на організм людини під час перебування космічного корабля за межами геомагнітного поля Землі.**The influence of the flight duration, state of weightlessness and ionizing radiation on human organism at the time of being the spaceship abroad of the Earth geomagnetic field is considered.***Вступ**

Біологічні об'єкти, зокрема, людина в нормальних умовах існування, тобто в умовах планети Земля, постійно знаходяться під впливом зовнішніх факторів (ЗФ):

- гравітаційного та магнітного полів Землі;
- сонячного випромінювання;
- космічних променів;
- атмосферного тиску, вологості.

Дія одних ЗФ на організм людини носить відносно стабільний характер (гравітація), інші (температура, тиск) змінюються у більш широкому діапазоні залежно від орієнтації Землі в космічному просторі або від положення людини на її поверхні.

Цільова функція процесу життєдіяльності біологічного об'єкта Ω (ЦФБО)

$$\Omega(t) = \Phi(E, I, D), \quad (1)$$

де t – час спостереження; E – енергетичне забезпечення метаболічної системи; I – інформаційне забезпечення нервової та вищої психічної діяльності; D – інтегральний показник впливу зовнішніх дестабілізуючих факторів; може прагнути до максимальних значень Ω_{\max} , якщо енергетичне забезпечення організму відповідає витратам, пов'язаним з переробкою інформаційного середовища, спрямованого на забезпечення ЦФБО, а інтегральні показники впливу ЗФ не перевищують деяких межових значень.

У загальному вигляді положення (1) формально запишемо так:

$$\Omega_{\max} = \begin{cases} \Delta E \rightarrow 0; \\ I \rightarrow I_{\Sigma}; \\ D_{\min} \leq D \leq D_{\max}, \end{cases} \quad (2)$$

де Ω_{\max} – максимальне значення ЦФБО; ΔE – різниця між надходженням і витратами енергії; I_{Σ} – сумарна інформація, накопичена за час t ; D_{\min} , D_{\max} – мінімальне, максимальне значення параметрів ЗФ впливу відповідно.

У випадку порушення межових значень параметрів ЗФ впливу (див. формулу (2)) можливе виникнення деструктивних станів біологічного об'єкта (гострі або хронічні паталогічні процеси), які зменшують значення ЦФБО до нуля.

Для виключення або зменшення впливу дестабілізуючих факторів на біологічний об'єкт необхідно створення штучної системи забезпечення життєдіяльності (ШСЗЖ), яка б зменшувала або усувала вплив цих факторів.

$$\Omega(t)_{\text{ШСЗЖ}} = \Phi\left(E, I, \frac{D}{d}\right), \quad (3)$$

де d – коефіцієнт зменшення або усунення впливу дестабілізуючих ЗФ.

Теоретичний аспект кількісного аналізу стану біологічного об'єкта (гомеостаз організму) можна сформулювати як дослідження процесу оптимізації параметрів E , I , D у просторі і часі під час досягнення максимальних значень ЦФБО – Ω .

Аналіз проблеми і постановка завдання

Особливо актуальне дослідження гомеостазу виникає у випадку знаходження людини в екстремальних умовах (космічний політ), тобто коли системи підтримки рівноваги внутрішнього середовища організму самостійно не можуть компенсувати вплив дії дестабілізуючих ЗФ середовища.

Такий стан організму може привести до порушення фізіологічних норм органів та систем і у кінцевому випадку до зриву програми польоту.

Хоча більшість викладів перших концепцій космічних польотів присвячено розрахункам конструкції ракети та її динаміки польоту, питання забезпечення життєздатності екіпажу в умовах світового простору також приділяється увага.

На рис. 1 показано схему конструкції пілотованого реактивного приладу, запропонованого К. Е. Цюлковським та спосіб захисту людини від перевантажень [1].

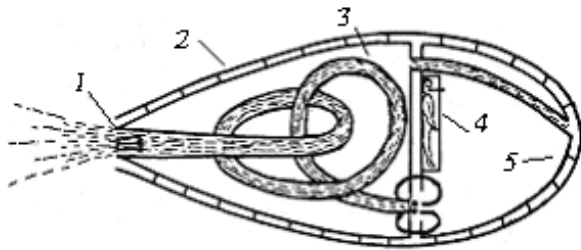


Рис. 1. Схема ракети:

1 – реактивний двигун; 2 – корпус ракети; 3 – система стабілізації руху ракети; 4 – футляр із водою; 5 – герметична кабіна

Вирішення першого й очевидного завдання – збереження життєдіяльних функцій біологічного об'єкта в разі виникнення критичних перевантажень – К.Е. Ціолковський пропонує в праці [1]. Вагомість, яка виникатиме у ракеті, залежить від прискорення, одержуваного від тиску газів. Тому під час вибухання в ракеті буде підсилена тяжіння протягом 3–4 хв; після припинення вибухання тяжіння нібито знищується, тому що прискорення від вибухання буде нульовим. Підсилення тяжіння можна легко перенести, занурившись у міцний футляр людської форми, який уміщає дуже небагато води.

Друге, на чому акцентується увага теоретиків космічних польотів, – це можливість порушення гомеостазу біологічного об'єкта в разі компенсування впливу гравітаційного поля Землі в умовах орбітального польоту, або його приближення до нульового значення в умовах значного віддалення від планет. Як і К.Е. Ціолковський, так і Ю.В. Кондратюк пропонують створення штучної гравітації за рахунок виникнення відцентрової сили на борту космічного корабля. Якщо людина важко переносить тривалу відсутність тяжіння, то приміщення може бути влаштоване окремо і з'єднано тросом довжиною в декілька десятків метрів з противагою. Якщо в цій системі створити обертання навколо загального центра тяжіння, то з'явиться доцентрове прискорення, яке буде відчуватися як і сила тяжіння на Землі [2, с. 59].

За 45 років дослідження космічного простору тривалість пілотованих польотів збільшилась зі 108 хв до 438 діб. До 1 січня 2006 р. у світі було виконано запуск дев'яти орбітальних станцій, на яких 70 космонавтів виконали тривалі орбітальні польоти. Загальна кількість людино/діб становить 11566 [3]. Уже перші орбітальні польоти тривалістю декілька діб показали необхідність знаходження фізичних, технічних, медичних, біологічних засобів, які б забезпечували виконання рівняння (3), тобто підтримували гомеостаз організму космонавта і давали змогу максимізувати ЦФБО.

Сьогодні провідні космічні держави США, Росія, Франція планують у найближчі десятиріччя пілотовані польоти до найближчих супутників та планет сонячної системи і в першу чергу до Місяця і Марса.

Але і досі проблема захисту людини в умовах 640-добового знаходження екіпажу у відкритому космічному просторі (приблизний мінімальний час місії до Марса) не мають остаточного як теоретичного, так і практичного вирішення.

Мета статті – оцінювання меж зміни маркерів гомеостазу організму космонавтів під час виконання тривалих орбітальних польотів.

Оцінювання впливу основних факторів космічного польоту на гомеостаз організму людини

Під час планування польоту до Марса можливо розроблення двох стратегій, які пов'язані із тривалістю експедиції та енергетичними витратами на її реалізацію:

- 1) польоти у фазі протистояння;
- 2) польоти у фазі з'єднання.

Особливістю польоту у фазі протистояння є менша загальна тривалість перебування експедиції на планеті чи орбіті Марса і більш високі вимоги до енергетичних характеристик силових установок космічного корабля.

Після старту з навколосемної орбіти космічний корабель прибуває на Марс через 270 діб польоту. Після 80-добового перебування на Марсі корабель стартує з поверхні планети і повертається до Землі через 290 діб.

Загальна тривалість польоту становить 640 діб. Максимальне віддалення космічного корабля від Землі дорівнює $2,8 \cdot 10^8$ км.

Загальна тривалість польоту до Марса у фазі з'єднання становитиме 1040 діб.

Максимальне віддалення космічного корабля від Землі припаде на період перебування експедиції на Марсі і досягатиме $4 \cdot 10^8$ км.

Найбільш значущими негативними ЗФ впливу на організм людини в сучасних космічних літальних апаратах, що мають герметичні житлові відсіки з необхідною ШСЖЗ, є:

- іонізуюча радіація;
- невагомість.

Іонізуюча радіація

Під час космічного польоту розглядають такі джерела іонізуючого випромінювання:

- випромінювання сонячних спалахів;
- галактичне космічне випромінювання;
- випромінювання радіаційних поясів Землі.

Сонце щосекунди розсіює у простір 4 млн. т своєї маси у вигляді електромагнітних випромінювань широкого діапазону, а також електрично заряджених і нейтральних частинок. До Землі надходить мала частка цього енергетичного потоку за рахунок двох постійно діючих факторів:

- товщі атмосфери;
- геомагнітного поля Землі.

За умови польоту на орбітах нижче радіаційних поясів Землі іонізуюча радіація не впливає помітно на організм, тому що радіаційний пояс Землі та його екрануюча властивість зменшує інтенсивність випромінювання в 6–15 разів. Наприклад, величина потужності дози галактичного космічного випромінювання для орбіти, розташованої на висоті 250 – 300 км з нахилом у площині екватора 65° з урахуванням вторинного випромінювання становить 8–10 мрад/доб.

Поглинена доза тілом космонавта в цьому випадку за 7–8 місяців польоту буде становити близько 5,0 бер.

В умовах міжпланетного простору галактичне космічне випромінювання, що складається з адронів – атомних ядер хімічних елементів (переважно водню і гелію, протонів – 85%, альфа-частинок – 13 %, важких ядер – 2%), наближених до високих енергій, які рухаються з релятивістською (близько світлової) швидкістю, буде одним з основних шкідливих факторів впливу на біологічні об'єкти [4]. Для захисту екіпажу від іонізуючого випромінювання за межами радіаційного поясу Землі необхідно створення антирадіаційного щита і сталі товщиною приблизно 1,25 м [5].

Невагомість

Невагомість є неодмінним атрибутом космічного польоту, яка викликає найбільш істотні зміни гомеостазу організму, спрямовані на встановлення адекватних взаємовідносин організму з новими параметрами довкілля.

Першим, що було зафіксовано під час повернення космонавтів з орбітальних польотів – це

зменшення ваги тіла (рис. 2) зменшення об'єму циркулюючої крові, зменшення вмісту води в організмі і порушення балансу електролітів [3; 6].



Рис. 2. Зменшення ваги космонавтів залежно від тривалості польоту:

1 – Восток, Восход, Союз, Салют; 2 – Джеміні; 3 – Аполло

Порушення рідинно-сольового гомеостазу за рахунок впливу невагомості є дуже критичним для організму.

Так, втрата 3–4 % води призводить до зменшення працездатності, а 10–20 % може призводити до летального наслідку. Порушення ж іонного балансу впливає в першу чергу на роботу серцево-судинної системи, що також може призводити до негативних наслідків.

Останні дослідження з використанням методу біоімпедансометрії дали можливість оцінити гідратаційний статус організму людини безпосередньо в умовах тривалого космічного польоту на борту Міжнародної космічної станції (МКС).

Під час піврічної експедиції у російського космонавта щомісяця проводилося імпедансометричне визначення об'єму рідинних просторів організму (експеримент «Спрут») [7].

Під час експерименту вдалося визначити загальну кількість рідини в організмі, а також величини внутрішньоклітинного і позаклітинного рідинних об'ємів у реальному часі.

Основні результати біоімпедансометричного дослідження гідратаційного статусу організму людини в ході тривалої космічної експедиції на орбітальній станції подані в таблиці і зображені на рис. 3.

Основні показники гідратаційного статусу космонавтів на різних етапах виконання експерименту «Спрут»

Термін обстеження, доба	ЗОР	ПОР	ВОР	ЗОР/ПОР	СМ	МТ
0 (до КП)	45,4	11,3	34,1	4,0	56,5	69,3
27 (КП)	41,3	10,3	31,0	4,0	53,7	66,3
67(КП)	37,8	9,8	28,0	3,85	53,1	65,9
108 (КП)	37,2	9,8	27,4	3,79	53,1	64,7
137 (КП)	38,4	10,1	28,3	3,80	53,9	65,9
138,0 (після КП)	36,8	9,0	27,8	4,10	52,0	64,5
153,15 (після КП)	39,2	10,4	28,8	3,77	54,2	65,9

Примітка. ЗОР – загальний об'єм рідини, л; ПОР – позаклітинний об'єм рідини, л; ВОР – внутрішньоклітинний об'єм рідини, л; МТ – маса тіла, кг; СМ – суха маса тіла, кг; КП – космічний політ

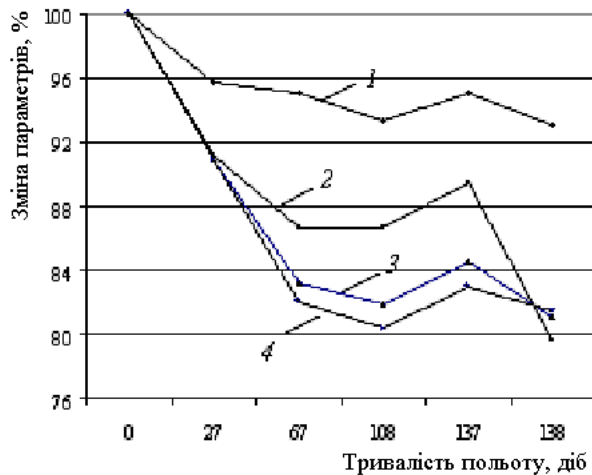


Рис. 3. Зміна об'ємів рідинних компартментів організму космонавта в часі за умов орбітального польоту МКС:

1 – МТ; 2 – ПОР; 3 – ЗОР; 4 – ВОР

Висновки

1. Розрахунковий час місії до Марса у кращому випадку може становити близько 640 діб, що на 46 % більше, ніж абсолютний рекорд перебування однієї людини в невагомості на орбіті Землі. Це не дає можливості обґрунтувати динаміку гомеостазу організму членів екіпажу за час польоту.

2. Сучасні фізичні, хімічні, біологічні методи, які сьогодні з технічної та економічної точки зору можна використати в конструкції корабля, не забезпечують необхідний рівень захисту біологічних об'єктів від галактичного космічного випромінювання, що може призвести до

отримання критичної дози опромінювання членів екіпажу за час польоту.

3. Динаміка зміни об'ємів рідинних компартментів організму має стійку закономірність до зменшення зі збільшенням тривалості польоту, що може призвести до зміщення гомеостазу організму членів екіпажу за межі припустимих значень.

Література

1. Циолковский Э.К. Исследование мировых пространств реактивными приборами (дополнение к 1-й и 2-й части). – Калуга, 1914. – 16 с.
2. Кондратьев Ю.П. Завоевание межпланетных пространств. – Новосибирск, 1929. – 73 с.
3. Григорьев А.И., Егоров А.Д. Длительные космические полеты // Человек в космическом полете (Космическая биология и медицина. Т. III, кн. 2). – М.: Наука, 1997. – С. 368 – 429.
4. Физиологические проблемы невесомости/ Под ред. О.Г. Газенко, И.И. Касьяна. – М.: Медицина, 1990. – 288 с.
4. Баранський П.І., Венгер С.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.
5. Газенко О.Г., Григорьев А.И., Наточин Ю.В. Водно-солевой гомеостаз и космический полет// Пробл. космической биологии. – М.: Наука, 1986. – Т. 54. – 240 с.
6. Носков В.Б., Ничипорук И.А., Моруков Б.В., Маленченко Ю.И. Исследования состояния жидких сред организма человека в условиях длительного космического полета// Авиакосмическая и экологическая медицина. – 2005. – Т. 39, №1. – С. 27–31.

Стаття надійшла до редакції 23.08.06.