

УДК 502/504(15)

В.Ф. Фролов

ВОО «Аэрокосмическое общество Украины», Киев

## КОСМІЧНИЙ ПРОСТІР – ЯК СКЛАДНА БАГАТОПАРАМЕТРИЧНА ДИНАМІЧНА СИСТЕМА

*У статті космічний простір розглядається як складна багатопараметрична динамічна система. Кожна із орбіт, на якій перебувають космічні апарати, розглядається як середовище (система) зі своїми багатопараметричними динамічними характеристиками, зовнішнім впливом і своєю функціональною стійкістю.*

**Ключові слова:** космічний простір, орбіта, середовище, зовнішній вплив, функціональна стійкість.

### Вступ

Забруднення навколосемного космічного простору (НКП) космічним сміттям становить проблему Всесвітнього рівня. За майже 60-ти річну експлуатацію НКП, людство перетворило НКП в сміттєзвалище, в якому обертається більш ніж 20 тисяч каталогізованих уламків космічних апаратів і ракет розміром від 10 см, до ступенів ракет масою декілька тонн. Загальна маса всіх цих уламків складає більш ніж 5000 тонн. Загальна кількість уламків розміром менше 10 см вже переважила за трилліон [3]. Щорічно загальна маса та щільність сміття зростає на 4% [2]. Якщо людство не зупинить таку варварську експлуатацію НКП, це, через декілька десятків років, зробить неможливим, або дуже небезпечним освоєння космічного простору.

У зв'язку з цим, виникає проблема зменшення маси космічного сміття за рахунок його вилучення з робочих орбіт. Існують різні способи та методи, запатентовані пристрої, які забезпечують зменшення маси космічного сміття, а це, в свою чергу, збільшить безпеку космічних досліджень [3].

**Метою роботи** є подання навколосемного космічного простору як складної багатопараметричної функціональної системи зі своєю функціональною стійкістю.

### Головна частина

Розглянемо кожну з орбіт, на яких обертається космічне сміття, як складну багатопараметричну динамічну систему. На кожній з орбіт (їх нараховується десять), знаходиться певна маса космічного сміття з різними масовими, геометричними, балістичними характеристиками. На різних орбітах щільність та швидкість уламків, які обертаються навколо Землі різні. Це залежить від багатьох зовнішніх факторів, які по-різному впливають на внутрішнє середовище орбіти. Такими факторами являються галактичне космічне та сонячне випроміню-

вання, періоди сонячної активності, сонячний вітер і т.і. Припустимо, що кожне середовище, яке належить конкретній орбіті – це складна багатопараметрична система зі своїми функціональними можливостями, які забезпечують, або ні, безпечно знаходження на ній космічних апаратів. Як складна багатопараметрична динамічна система вона характеризується функціональною стійкістю [1]. В роботі [1] дана характеристика функціональної стійкості як властивості динамічної системи, що полягає в здатності виконувати хоча б установлений мінімальний обсяг своїх функцій при впливі зовнішніх факторів, що не передбачені умовами нормального функціонування.

Вперше поняття «функціональна стійкість», його визначення та принципові основи забезпечення функціональної стійкості були приведені в публікаціях [1], присвячених рішенням конкретних задач управління складними автоматичними об'єктами. Проведені дослідження дозволили встановити зв'язок понять «функціональна стійкість» з поняттями «надійність», «живучість», «відмовостійкість» [1]. Показана принципова відмінність між цими поняттями: методи забезпечення функціональної стійкості направлені не на зменшення кількості відмов та порушень, а на забезпечення виконання найбільш важливих функцій, коли ці порушення вже відбулися (в першу чергу це безпека знаходження КА на орбіті). Якщо цю теорію функціональної стійкості, її топологічні критерії та показники застосувати для конкретних орбіт НКП, зможемо розробити математичні моделі орбіт з урахуванням зовнішніх факторів.

Припустимо, що  $E$  – це стан середовища (орбіти), що створює множину

$$E = \{e_i\}.$$

Довільне  $e$  – це стан, який визначається множиною значень показників якості виконання функцій для стану  $S_i$ , покладених на систему:

$$Q^{(i)} = \{Q^{(i)}_1, Q^{(i)}_2, Q^{(i)}_3, \dots, Q^{(i)}_L\}, \quad (1)$$

де  $L$  – кількість показників.

В залежності від значень показників множини  $Q$ , система може знаходитись або у гарантоспроможному або негарнтоспроможному стані.

Введемо поняття функціональної стійкості –  $S$  – стану системи.

Припустимо, що система знаходиться в якомусь стані  $S_i$  і на неї діють деструктивні впливи  $r_j \in R$ .

Припустимо, що у результаті таких впливів змінюється  $S$  – стан середовища (орбіти): зі стану  $S_i$  вона переходить в стан  $S_{i+1}$ . Зі зміною  $S$  – стану середовища, відповідно змінюється її  $e$  – стан: із стану  $e_i$ , середовища переходить в стан  $e_{i+1}$ . При цьому, якщо воно гарантоспроможне, то стан  $S_i$  являється стійким до дестабілізуючого впливу  $r_j$ . Таким чином, стан  $S_i$  являється функціонально стійким до деструктивного впливу з множини  $R$ , якщо має місце наступне відображення:

$$\lambda^{(i)}: r^{(i)}X, S_i \rightarrow e^{(i+1)}_{\text{гар.}} \quad (2)$$

Введемо поняття функціональної стійкості середовища за рахунок узагальнення поняття функціонально стійкого  $S$  – стану.

Середовище (систему) позначимо функціонально стійкою на множині станів  $S$ , якщо йому, при деструктивних впливах множин  $R$ , відповідає множина  $E$ :

$$\{e_i | e_i \leftrightarrow S_i, r_j \in R, S_i \in S, r_j \in R\} \leftarrow E_{\text{гарант}} \quad (3)$$

Таким чином, формула (3) виявляє умови функціональної стійкості середовища. В зв'язку з тим, що на різних орбітах знаходяться різні маси космічного сміття (основна частина космічного сміття знаходиться на висотах 400 – 2000км), а також враховуючи зовнішній вплив, про який було згадано вище, можливо говорити про функціональну стійкість конкретних орбіт. В якості параметрів, які забезпечують визначення стану конкретної орбіти, можуть бути використані дані каталогів космічного сміття (які існують у NASA, ЄКА, Росії). Ці каталоги постійно оновлюються і щомісячно передаються захищеним користувачам по підписці (за винятком

каталогів Роскосмоса). Ці каталоги дають можливість ознайомитись з масою уламків, їх геометричними параметрами, швидкістю, орбітами, радіолокаційним перерізом. Це дає можливість зробити інтегральну оцінку складу та стану конкретної орбіти, визначити загальну масу уламків на орбіті, прогнозувати її функціональну стійкість.

## Висновки

Знаючи основні характеристики космічного сміття (масу, швидкість, геометричні розміри, орбіти), які існують для більш ніж 20 000 каталізованих уламків космічного сміття, а також характеристики зовнішнього впливу на конкретний висотний переріз, можливо визначити функціональну стійкість конкретної орбіти. Ця характеристика середовища, яка прив'язана до конкретної орбіти, дає можливість забезпечити зниження вирогідності зіткнення уламків космічного сміття з космічним апаратом (КА), а також розробити стратегію ухилення КА від зіткнення на час перебування його на орбіті.

## Список літератури

1. Машков О.А. Топологічні критерії та показники функціональної стійкості складних ієрархічних систем / О.А. Машков, О.В. Барабаш // Збірник наукових праць НАНУ ІПМЕ «Моделювання та інформаційні технології». – 2003. – Вип. 25. – С. 29 – 35.
2. Техногенное засорение околоземного космического пространства / А.П. Алпатов, В.П. Басс, С.А. Баулин, В.И. Бразинский, В.П. Гусынин и др. – Днепропетровск : Пороги, 2012. – 378 с.
3. Фролов В.Ф. Екологічна безпека біосфери Землі і Космосу. Монографія / И.Ф. Фролов. – К.: ТОВ НВП «Интерсервіс», 2015. – 220 с.

Надійшла до редколегії 26.12.2015

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. О.А. Машков, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління, Київ.

## КОСМИЧЕСКОЕ ПРОСТРАНСТВО – КАК СЛОЖНАЯ МНОГОПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ДИНАМИЧЕСКАЯ СИСТЕМА

В.Ф. Фролов

*В статье космическое пространство рассматривается как сложная многопараметрическая система. Каждая из орбит, на которой находятся космические аппараты, рассматривается как среда (система) со своими многопараметрическими динамическими характеристиками, внешним воздействием и своей функциональной устойчивостью.*

**Ключевые слова:** космическое пространство, орбита, среда, внешнее воздействие, функциональная устойчивость.

## OUTER SPACE AS A COMPLEX MULTIPARAMETER DYNAMIC SYSTEM

V.F. Frolov

*The article reviews outer space as a complex multi-parameter system. Each of the orbits on which the spacecrafts are situated is reviewed as the environment (system) with its multiparameter dynamic characteristics, external action and its functional stability.*

**Keywords:** outer space, orbit, environment, external action, functional stability.