

УДК 621.396.98

Р.Е. Пашенко<sup>1</sup>, Д.В. Карлов<sup>1</sup>, С.В. Медвецький<sup>2</sup><sup>1</sup>Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків<sup>2</sup>В/ч А0515, Київ

## АНАЛІЗ РУХОМИХ ІОНОСФЕРНИХ ЗБУРЕНЬ, ЯКІ ВИКЛИКАНІ СТАРТОМ РАКЕТИ-НОСІЯ, З ВИКОРИСТАННЯМ ПОКАЗНИКА ХЕРСТА

Запропоновано структуру метода прийняття рішень та підходів щодо її адаптації до змін умов обстановки для досягнення поставлених органам управління цілей на всіх етапах підготовки та ведення бойових дій. Показано можливість використання методів фрактального аналізу, а саме оціненого показника Херста для дослідження сигналів, що приймаються двочастотними приймачами сигналів супутникових радіонавігаційних систем ГЛОНАСС/GPS.

**Ключові слова:** фрактальний аналіз, показник Херста, супутникові навігаційні системи.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Іоносфера збурюється багато якими чинниками, у тому числі (за допомогою акустико-гравітаційних хвиль) такими, як погодні фронти, виверження вулканів, землетруси, а також за допомогою штучних дій (нагрів могутнім радіовипромінюванням, викиди хімічно активних речовин, вибухи). До іоносферних збурень відносять відхилення іоносферних параметрів від їх спокійного добового ходу, що мають характерні тимчасові масштаби від десятків хвилин до декількох діб і виявляються на відстанях в сотні і тисячі кілометрів.

Питання аналізу іоносферних збурень представляє інтерес при створенні системи глобального і безперервного контролю іоносферних збурень природного та техногенного походження, як частини комплексного моніторингу космічної погоди в навколоземному просторі.

**Аналіз літератури.** Дослідження показують, що пуск ракети-носія надає певну дію на іоносферу. Дані зондування показують, що після пуску ракети-носія протягом приблизно однієї години відбувається часткова перебудова структури іоносфери на відстанях до 2000 км, яка виявляється у виникненні хвильових збурень іоносфери різного масштабу і реєстрованих при радіозондуванні іоносфери у вигляді рухомих іоносферних збурень (РІЗ). РІЗ представляють собою неоднорідності області F іоносфери з великими горизонтальними масштабами, чим інші неоднорідності. Це хвилеподібні коливання ізольованої електронної щільності, які повільно рухаються вниз. Швидкість руху РІЗ складає від ~200 м/с до ~10 км/с [1]. Аналізу структури і характеристик РІЗ різної природи в іоносфері присвячено багато робіт [2, 3, 4].

**Мета статті:** показати можливість використання показника Херста для аналізу даних отриманих двочастотними приймачами супутникової радіонавігаційної системи ГЛОНАСС/GPS, при виявленні РІЗ, що виникає після старту ракети-носія.

### Викладання основного матеріалу

#### Підготовка початкових даних для аналізу.

Для дослідження можливості застосування показника Херста при аналізі РІЗ, що виникає в іоносфері після пуску ракети-носія, скористаємося даними запуску ракети "Протон" 5 липня (186 день) 1999 року з космодрому "Байконур", які вільно розміщені в мережі Інтернет.

Як початкові данні використовуються так звані RINEX-файли, одержували сіттю базових станцій системи GPS і вільно публіковані в сіті Інтернет. Такі файли генеруються програмним забезпеченням двочастотних приймачів базових станцій. Як базових станцій були вибрані перманентні наземні GPS станції CHUM, POL2, SHAS і SELE. Дані у вигляді RINEX-файлів для цих станцій бралися за чотири дні 184, 185, 186, 187. Геометрія розміщення точки старту і базових станцій показана на рис. 1.

Для попередньої підготовки початкових даних було створене програмний модуль обробки RINEX-файлів. Програмний модуль також може використовуватися для розрахунку і візуалізації деяких параметрів переміщення РІЗ на основі обчислення повного електронного змісту в іоносфері. Більш детальний опис програмного модулю в [2, 5]. За допомогою програмного модуля обробки RINEX-файлів був розрахований вертикальний повний електронний склад (ВПЕС) в TECU (1 TECU = 1016 ел./м<sup>2</sup>).

Значення ВПЕС виходить шляхом проектування даних ПЕС по початковому напрямку на вертикаль, що проходить через шар F2 іоносфери в точці його перетину променем в напрямі супутник – приймач. Використовуючи ці дані, проведемо аналіз рухомих іоносферних збурень, які обумовлені стартом ракети-носія, з використанням показника Херста.

**Використання показника Херста для аналізу повного електронного складу.** Аналізовані послідовності (часові ряди), що отримуються з борту штучного супутника Землі носять випадковий характер. Для визначення фрактальності випадкового

процесу (часового ряду) часто використовують показник Херста (H) [6].

Якщо показник Херста рівний  $H = 0,5$ , то ана-

лізований процес є випадковим, якщо ж  $H < (>) 0,5$  – це говорить про фрактальні властивості процесу.

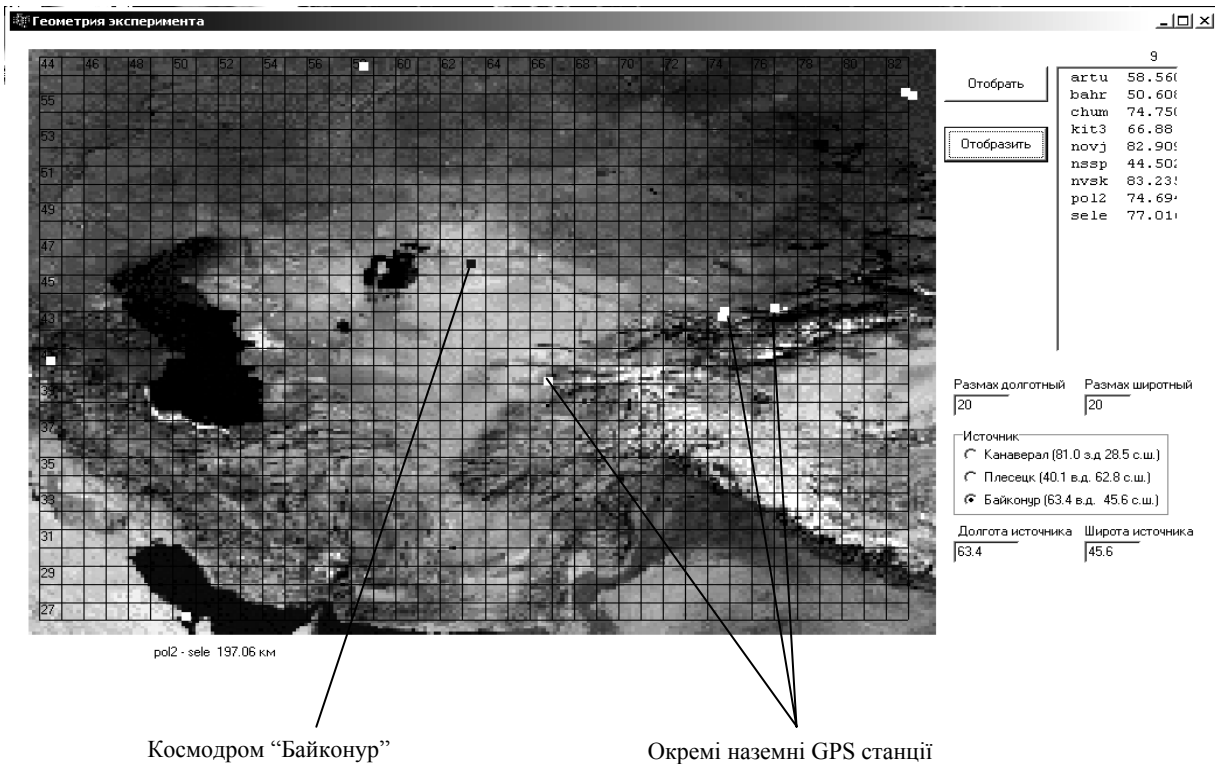


Рис. 1. Геометрія експерименту

Закон Херста для довільної випадкової послідовності може бути записаний [6]

$$\frac{R}{S} = \left(\frac{\tau}{2}\right)^H \quad (1)$$

У виразі (1)  $R$  – розмах (різниця максимального і мінімального значення) накопиченого відхилення  $X(t, \tau)$  визначається наступним виразом

$$R(\tau) = \max_{1 \leq t \leq \tau} X(t, \tau) - \min_{1 \leq t \leq \tau} X(t, \tau), \quad (2)$$

вираз для накопиченого відхилення  $X(t, \tau)$  поточного значення від середнього значення  $\langle y \rangle_\tau$  часового ряду  $y(t)$  за період дослідження  $\tau$  має вигляд

$$X(t, \tau) = \sum_{u=1}^t \{y(u) - \langle y \rangle_\tau\}, \quad (3)$$

середнє значення обчислюється таким чином

$$\langle y \rangle_\tau = \frac{1}{\tau} \sum_{t=1}^{\tau} y(t), \quad (4)$$

стандартне відхилення оцінюється виразом

$$S = \sqrt{\frac{1}{\tau} \sum_{t=1}^{\tau} \{y(t) - \langle y \rangle_\tau\}^2}, \quad (5)$$

а  $t$  приймає дискретні цілочисельні значення.

Взяв логарифм співвідношення (1) одержуємо наступний вираз

$$\log\left(\frac{R}{S}\right) = H \cdot \log\left(\frac{\tau}{2}\right). \quad (6)$$

Вираз (6) описує графік залежності нормованого розмаху від періоду спостереження, побудованого у подвійному логарифмічному масштабі (рис. 2). Як видно, шуканий показник, який носить назву показника Херста, буде рівний коефіцієнту кута нахилу одержаного графіка.

Коливання показника Херста розмірності можуть використовуватися для виявлення зміни стану динамічної системи.

У табл. 1 наведені розрахункові дані показника Херста для всіх станцій у чотири дні спостереження. Як видно з даних таблиці 1 показник Херста коливається близько одиниці, але цей показник повинен змінюватися у межах  $0 < H < 1$ . Тому можна зробити висновок, що отримані результати не відповідають дійсним. Це обумовлено тим, що показник Херста дуже чутливий до довжини вихідної вибірки. Для отримання достовірних даних показника Херста потрібні вибірки довжиною більше  $N = 20000$  [7]. Аналізовані часові вибірки повного електронного складу іоносфери значно менше (див. табл. 1), що і приводить до помилок визначення показника Херста-

та. Але аналіз отриманих даних показує, що для трьох станцій спостереження (POL2, SHAS, SELE) показник Херста має максимальне значення (в таблиці максимальні значення позначені сірим кольором) у день пуску ракети-носія (186 день).

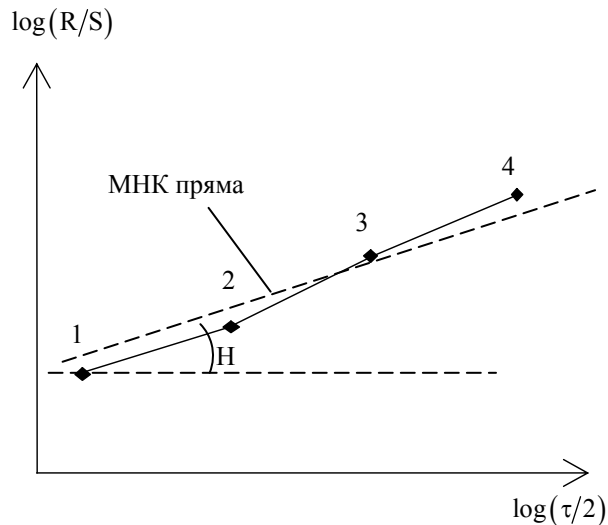


Рис. 2. Графік залежності нормованого розмаху від періоду спостереження

Таблиця 1  
Чисельні значення показника Херста

Станція	День спостереження			
	184	185	186	187
CHUM	1,1499	1,2556	1,1913	1,0799
POL2	1,0682	1,0736	1,1627	0,933
SHAS	1,1901	1,2369	1,2946	1,1362
SELE	1,1177	1,0687	1,1791	0,977

## Висновки

Таким чином, обмеженість вихідних даних повного електронного складу іоносфери за добу не дозволяє розрахувати показник Херста з необхідною

точністю, тому використання цього показника для аналізу структури рухомих іоносферних збурень є недоцільним. Але неточні значення показника Херста дозволяють визначити зміни в електронному складі іоносфери, які обумовлюються проведенням пуску ракети-носія.

## Список літератури

1. Солнечная и солнечно – земная физика. Иллюстрированный словарь терминов / Под ред. А. Бруцека и Ш. Дюрана. – М.: Мир, 1980. – 254 с.
2. Маловиця С.В. Возможности выявления рухомого іоносферного збурення, визначення місця знаходження його джерела, вимірювання фазової швидкості та напрямку приходу / С.В. Маловиця, Д.В. Карлов, А.М. Остапова // Зб. наук. пр. ОНДІ ЗС. – Х., 2007. – Вип. 1 (6). – С. 220-227.
3. Афраймович Э.Л. Перемещающееся ионосферное возмущение, возможно иницированное высотным взрывом / Э.Л. Афраймович, С.В. Воейков, О.С. Лесюта // Солнечно-земная физика. – 2002. – Вып. 3. – С. 73-79.
4. Афраймович Э.Л. Перемещающиеся волновые пакеты возмущений полного электронного содержания по данным глобальной сети GPS (морфология и динамика) / Э.Л. Афраймович, С.В. Воейков, Н.П. Перевалова // Солнечно-земная физика. – 2002. – Вып. 3. – С. 61-72.
5. Пащенко Р.Э. Анализ перемещающихся ионосферных возмущений, вызываемых стартом ракеты-носителя, с использованием псевдофазовой плоскости / Р.Э. Пащенко, Д.В. Карлов, К.К. Кулагин // Системи обробки інформації: зб. наук. пр. – Х.: ХУ ПС, 2007. – Вип. 3 (61). – С. 74-78.
6. Фрактальный анализ процессов, структур и сигналов. Коллективная монография / Под ред. Р.Э. Пащенко. – Х.: ХООО "НЭО "ЭкоПерспектива", 2006. – 348 с.
7. Мун Ф. Хаотические колебания: Вводный курс для научных работников и инженеров: пер. с англ. / Ф. Мун. – М.: Мир, 1990. – 312 с.

Надійшла до редколегії 21.01.2009

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. В.Д. Карлов, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

## АНАЛИЗ ПОДВИЖНЫХ ИОНОСФЕРНЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ, КОТОРЫЕ ВЫЗВАНЫ СТАРТОМ РАКЕТЫ-НОСИТЕЛЯ, С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОКАЗАТЕЛЯ ХЕРСТА

Р.Э. Пащенко, Д.В. Карлов, С.В. Медвецкий

Предложена структура метода принятия решений и подходов относительно ее адаптации к изменениям условий обстановки для достижения поставленных органам управления целей на всех этапах подготовки и ведения боевых действий. Показана возможность использования методов фрактального анализа, а именно оцененного показателя Херста, для исследования сигналов, которые принимаются двухчастотными приемниками сигналов спутниковых радионавигационных систем ГЛОНАСС/GPS.

**Ключевые слова:** фрактальный анализ, показатель Херста, спутниковые навигационные системы.

## ANALYSIS OF MOBILE INDIGNATIONS OF IONOSPHERES, WHICH ARE CAUSED THE START OF ROCKET-TRANSMITTER, WITH THE USE OF INDEX OF KHERST

R.E. Paschenko, D.V. Karlov, S.V. Medvetskiy

The structure of method of decision-making and approaches is offered in relation to its adaptation to the changes of terms of situation for achievement put the organs of management of aims on all stages of preparation and conduct of battle actions. Possibility of the use of methods of fractal analysis is shown, namely the appraised index of Kherst, for research of signals which are adopted the two-frequency receivers of signals of the satellite radio navigational systems of ГЛОНАСС/GPS.

**Keywords:** fractal analysis, index of Khersta, satellite systems of navigations.