

УДК 621.739

Г.А. Калашник, Д.М. Обідін, М.А. Калашник

Кіровоградська льотна академія Національного авіаційного університету, Кіровоград

## ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТІЙКОГО ФУНКЦІОНУВАННЯ ЗАСОБІВ НАВІГАЦІЇ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ ПІД ВПЛИВОМ ЗОВНІШНІХ ДЕСТАБІЛІЗУЮЧИХ ФАКТОРІВ

Проведено аналіз вимог до навігаційного забезпечення повітряних суден цивільної авіації в умовах реалізації концепції ICAO CNS / ATM з використання в якості основного засобу навігації глобальних систем супутникової навігації та організації забезпечення авіаперевезень даними про космічну погоду. Проведено аналіз проблем навігаційного забезпечення повітряних суден цивільної авіації при використанні супутникових систем навігації в умовах спокійної і збуреної космічної погоди. Запропоновано нові підходи до їх вирішення.

**Ключові слова:** дестабілізуючі фактори, функціональна стійкість, навігаційне забезпечення.

### Вступ

**Загальна постановка проблеми та зв'язок з практичними завданнями.** Мінливість факторів космічної погоди та дестабілізуючий вплив нерегулярних варіацій параметрів космічної погоди (геомагнітної та сонячної активності) на середовище і умови розповсюдження навігаційного сигналу є природними явищами, які неможливо уникнути. Знання характеру параметрів космічної погоди, діапазону їх змін необхідно для удосконалення використовуваних і розробки нових технічних засобів, з метою мінімізації негативного впливу на них головного з зовнішніх дестабілізуючих факторів - динамічних змін космофізичних полів під дією геліогеофізичних явищ.

У зв'язку з початком впровадження в систему управління повітряним рухом концепції ICAO CNS/ATM [1, 2] про створення глобальної навігаційної супутникової системи, значно посилюються вимоги до якості навігаційного забезпечення повітряних суден цивільної авіації, що призводить до необхідності підвищення точності і надійності їх позиціонування при використанні супутникових систем навігації (ССН).

Кількісні значення похибок визначення координат в технічно справній системі супутникової навігації визначаються умовами поширення навігаційного сигналу, які, в першу чергу залежать від стану космічної погоди, що визначається базовими параметрами геомагнітної і сонячної активності, а також залежить від сезону, часу доби, метеорологічних умов. Численні дослідження показують, що при будь-яких умовах основний внесок у похибку позиціонування повітряних суден цивільної авіації при технічно справній системі супутникової навігації вносять трансформації середовища поширення сигналів навігаційних систем (іоносфери і тро-

посфери) під дією геліогеофізичних збурень космічної погоди.

Таким чином, з метою забезпечення безпеки польотів є актуальною загальною проблемою підвищення ефективності навігаційного забезпечення повітряних суден цивільної авіації, для якої однією з найбільш важливих пріоритетних проблем є нова проблема забезпечення точності позиціонування повітряних суден цивільної авіації при використанні супутникових систем навігації в умовах збуреної космічної погоди під впливом на середовище та умови розповсюдження навігаційного сигналу геомагнітної і сонячної активності певного рівня.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій та визначення невирішеної раніше частини проблеми.** Основні типи наслідків негативного впливу явищ космічної погоди для безпеки польотів повітряних суден полягають у наступному:

1) зростання помилок позиціонування під час іоносферних збурень внаслідок виникаючих змін електронної концентрації на шляху поширення сигналу від передавача до приймача;

2) втрата сигналу внаслідок виникнення мерехтін під час сильних сонячних бурь;

3) виникнення при сонячній активності радіосплесків на частотах, що збігаються з частотами, які використовуються системою супутникової навігації;

4) як наслідок сонячно-протонних подій суттєвий радіаційний вплив на висотах польотів повітряних суден цивільної авіації; пробій діелектриків технічних пристроїв літальних апаратів (ЛА); виведення з ладу електронних пристроїв ЛА; помилки в показаннях приборів; помилкова геолокація.

Основні джерела помилок позиціонування супутникових систем розділені на два типи [3 – 5]:

1 - помилки апаратної природи, що виникають у приймально-передавальних трактах радіотехніч-

них засобів систем (і при апаратній обробці сигналів);

2 - помилки, які пов'язані з впливом на поширення радіосигналів з боку середовища. Помилки першого типу можуть бути ліквідовані шляхом вдосконалення апаратури. Помилки другого типу принципово не ліквідується технічними засобами внаслідок їх природного характеру. Це обумовлено тим фактом, що нейтральні і іонізовані компоненти верхньої атмосфери Землі змінюють швидкість поширення радіохвиль.

Найбільша частина вкладу в помилки позиціонування природного характеру зумовлена трансформаціями іоносфери [6]. Тому в систему обробки даних навігаційних сигналів включена емпірична модель іоносфери Клобучара [7]. Однак, ця модель не враховує нерегулярних, випадкових варіацій (флуктуацій) іоносферних параметрів під впливом змін космічної погоди. Тому невирішеною частиною проблеми є вивчення можливості врахування варіацій параметрів іоносфери під дією геліогеофізичних збурень космічної погоди і вивчення можливостей уточнення коригування іоносферних похибок супутникових систем навігації, виходячи з аналізу самих параметрів сигналів навігаційних сигналів, що пройшли іоносферу. Для вирішення цієї проблеми необхідно проаналізувати вплив нерегулярних варіацій космічної погоди на точність позиціонування, спробувати описати його кількісно і врахувати у вигляді кількісної моделі. Така концепція дозволяє сподіватися на створення методики більш точного визначення похибки внаслідок збурень космічної погоди і трансформації іоносфери, принаймні, у порівнянні з існуючою ситуацією.

**Мета дослідження:** провести аналіз проблем навігаційного забезпечення повітряних суден цивільної авіації при використанні супутникових систем навігації під впливом дестабілізуючих факторів космічної погоди та визначити нові підходи у їх вирішенні.

### **Аналіз вимог до навігаційного забезпечення повітряних суден цивільної авіації в умовах реалізації концепції ICAO CNS/ATM**

Згідно концепції CNS/ATM (Communication, Navigation, Surveillance/Air Traffic Management) у найближчому майбутньому навігаційне забезпечення повітряних суден (ПС) буде побудовано на базі супутникових систем навігації (СН) [1, 2]. Вимоги до навігаційного забезпечення ПС цивільної авіації (ЦА) щодо реалізації концепції ICAO CNS/ATM перш за все визначаються необхідністю якісного навігаційного забезпечення та безпеки польотів ПС в умовах зростаючої інтенсивності

польотів, а у найближчому майбутньому - відмови польотів по суворо регламентованим коридорам і переходу до польотів по так званим найбільш вигідним траєкторіям [1].

Основа підсистеми навігації в концепції CNS/ATM – глобальні діючі системи супутникової системи навігації (СН) GPS та ГЛОНАСС і Європейська СН Galileo, яка поступово вводиться в дію. СН в змозі забезпечити вимоги користувача до навігації на будь-яких маршрутах в умовах неточного заходу на посадку. В диференційному режимі СН відповідають вимогам точного заходу на посадку. Глобальні СН дозволять відмовитись від прив'язки ПС до наземних засобів навігації і здійснити зональну навігацію (RNAV-Area Navigation), яка буде базуватись на принципі здійснення польоту по будь якій траєкторії в межах дії бортових навігаційних засобів.

За умові введення в дію концепції CNS/ATM можливо не використовувати наступні радіонавігаційні системи (РНС): OMEGA, LORAN-C (окрім Північно-Західної Європи), TAGAN. Крім того, можливо зменшити кількість ПРС, радіомаяки VOR/DME будуть замінені на багатоканальні DME [2]. Це призводить до необхідності значного підвищення цілісності, надійності та точності позиціонування СН.

Згідно рекомендацій ICAO потрібно продовжувати зусилля щодо вирішення проблем вразливості глобальної навігаційної супутникової системи (GNSS) до космічної погоди для надання державам допомоги у впровадженні GNSS, беручи до уваги еволюцію GNSS в довгостроковому плані, а також прогнозовані явища космічної погоди; оптимально використовувати інформацію про космічну погоду для забезпечення підвищених характеристик глобальної навігаційної супутникової системи [8]. В зв'язку з цим Україні нагально потрібно здійснювати заходи до впровадження рекомендації та вимог ICAO, що робить виконання ситуаційного аналізу стану космічної погоди для навігаційного забезпечення повітряних суден цивільної авіації в межах необхідної точності важливим та актуальним.

Зростаюча роль негативних наслідків явищ космічної погоди для безпеки авіаперевезень, забезпечення зв'язку, геолокації послужили основою для прийняття цілої низки рішень в рамках ICAO [8].

У відповідність з рішеннями керівних органів Міжнародної організації цивільної авіації в 2016 році забезпечення авіаперевезень даними про космічну погоду повинно бути включено в регламент ICAO, який регулює правила перевезень (IAVWOPSG/7-WP/19 Concept of Operations (ConOps) for the Provision of Space Weather Information in Support of International Air Navigation, December 2012) [8].

Згідно з вимогами ConOps з 2016 року кожна країна-член ІКАО повинна створити національні сервіси космічної погоди для авіакомпаній, які повинні надавати експлуатантам, постачальникам аеронавігаційного обслуговування та льотним екіпажам повідомлення про геомагнітні бурі або бурі сонячного випромінювання, що відбуваються та очікуються, які можуть вплинути на зв'язок, навігацію, авіаційне електронне устаткування і створити небезпеку для здоров'я людини. В зв'язку з цим з 2016 року всі повітряні судна цивільної авіації, що виконують міжнародні рейси, зобов'язані мати на борту інформаційну систему про стан космічної погоди.

### Проблеми стійкого функціонування систем навігаційного забезпечення під впливом дестабілізуючих факторів космічної погоди

Принцип роботи ССН базується на передаванні кодованих радіосигналів від навігаційного супутника до обладнання користувача, яке працює у пасивному режимі. Проведений нами аналіз впливу різних факторів на точність позиціонування координат в ССН згідно даних вказаних на офіційному сайті GPS [9] вказує, що головний внесок у похибку, яка обумовлена середовищем розповсюдження сигналу ССН, вносить стан іоносфери (рис. 1).

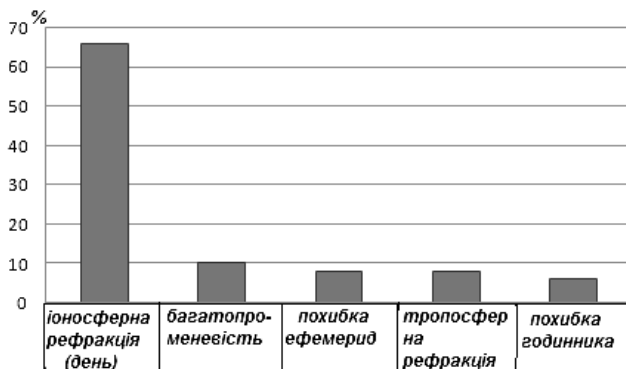


Рис. 1. Вплив різних факторів на точність позиціонування координат в ССН GPS [9]

Таким чином, на сьогодні визначено, що іоносферні збурення під впливом динамічних змін геліогеофізичної обстановки є основною причиною збоїв нетехнічного характеру у роботі систем супутникової навігації. При цьому в двохчастотних приймачах сигналу систем супутникової навігації проблема компенсації іоносферних похибок вирішена з достатньою точністю.

Однак, внаслідок низки причин економічного та технічного характеру, навігаційне забезпечення повітряних суден цивільної авіації побудовано на використанні в якості стандартного обладнання одночастотних приймачів сигналу, для яких про-

блема коректної диференційованої компенсації іоносферних похибок дотепер не вирішена.

Для вирішення проблеми забезпечення стійкого функціонування систем навігаційного забезпечення в умовах збуреної космічної погоди під впливом динаміки космофізичних полів необхідно перш за все дослідити можливості на основі існуючої моделі системи «іоносфера-плазмосфера» визначити вплив на навігаційне забезпечення повітряних суден цивільної авіації збуреної по хвильової активності іоносфери в умовах середніх широт шляхом полігонних досліджень із застосуванням групи одночастотних приймачів сигналу систем супутникової навігації (ССН) і їх різних комбінаціях при багаторазових вимірах в різних умовах спокійної та збуреної геліогеофізичної обстановки. Визначені закономірності дозволять модернізувати існуюче фізико-математичне та апаратно-програмне забезпечення методики визначення іоносферних похибок систем супутникової навігації GPS із застосуванням одночастотних приймачів сигналу систем супутникової навігації; розробити та експериментально апробувати методику коректного визначення іоносферних похибок ССН GPS при застосуванні одночастотних приймачів сигналу шляхом визначення найбільш оптимального розташування одночастотних приймачів на борту повітряного судна при збуреній геліогеофізичній обстановці. Перевірку якості позиціонування пропонуємо виконати шляхом полігонних досліджень на аеродромі Кіровоградської льотної академії Національного авіаційного університету (КЛА НАУ).

Нами планується на основі існуючої моделі системи «іоносфера-плазмосфера» визначити вплив на навігаційне забезпечення повітряних суден цивільної авіації збуреної по хвильової активності іоносфери в умовах середніх широт шляхом полігонних досліджень із застосуванням групи одночастотних приймачів сигналу систем супутникової навігації і їх різних комбінаціях при багаторазових вимірах в різних умовах спокійної та обуреної геліогеофізичної обстановки. Це дозволить модернізувати існуюче фізико-математичне та апаратно-програмне забезпечення методики визначення іоносферних похибок систем супутникової навігації GPS із застосуванням одночастотних приймачів сигналу систем супутникової навігації; розробити та експериментально апробувати методику коректного визначення іоносферних похибок ССН GPS; провести експериментальне дослідження впливу нерегулярних варіацій іоносферних параметрів на точність позиціонування ССН, вивчити можливі впливи іоносферних збурень на роботу ССН з метою підвищення якості навігаційного забезпечення повітряних суден цивільної авіації; визначити іоносферні похибки ССН за допомогою одночастот-

них приймачів з високим тимчасовим і просторовим дозволом, шляхом мобільної та оперативної зміни геометрії вимірювальних пунктів при багатопозиційних синхронних вимірах групи одночастотних приймачів і їх різних комбінацій при багаторазових вимірах в різних умовах спокійної і збуреної геліогеофізичної обстановки; з розробкою рекомендацій щодо найбільш оптимального розташування їх антен відносно один одного на борту повітряного судна, що дозволяє підвищити ефективність прийому сигналів систем супутникової навігації; з експериментальним апробування якості прийому сигналів систем супутникової навігації при використанні визначеного в якості оптимального розташування одночастотних приймачів на борту повітряного судна при збуреній геліогеофізичній обстановці.

При вирішенні перерахованих завдань в роботі будуть використані теоретичні та емпіричні методи обробки результатів дослідження стану іоносфери і навколишнього космічного простору, варіацій параметрів космічної погоди, прикладні методи функціонального аналізу, чисельні методи, методи математичного моделювання, пакети прикладних математичних і навігаційних програм, а також експериментальні дослідження за допомогою навігаційного обладнання стандартного та спеціалізованого призначення.

Заплановані дослідження включають такі етапи:

1) проведення полігонних досліджень на аеродромі Кіровоградської льотної академії Національного авіаційного університету для оцінки впливу різних чинників космічної погоди на величину помилки позиціонування повітряних суден цивільної авіації в супутниковій системі навігації GPS в умовах спокійної і збуреної космічної погоди;

2) аналіз похибки систем супутникової навігації, що вносяться трансформованим середовищем (іоносфера, тропосфера) під впливом збурень космічної погоди на трасі поширення навігаційних сигналів;

3) теоретичне обґрунтування можливості визначення похибок позиціонування повітряних суден цивільної авіації в технічно справній супутниковій системі навігації під впливом на середовище та умови розповсюдження навігаційного сигналу рівня геомагнітної та сонячної активності;

4) розробка та експериментально апробування моделі визначення похибок супутникових систем навігації та впливу нерегулярних варіацій параметрів космічної погоди на точність позиціонування ПС цивільної авіації.

Очікуваними результатами є створення та експериментальне апробування моделі визначення похибок систем супутникової навігації під впливом нерегулярних варіацій параметрів космічної погоди

на точність позиціонування повітряних суден цивільної авіації, що в подальшому дозволить:

- прогнозувати збої у роботі систем супутникової навігації під впливом нерегулярних варіацій космічної погоди, що викликають іоносферні похибки середовища поширення радіосигналів при збуреннях космічної погоди різного рівня;

- впливати на точність і надійність навігаційного забезпечення повітряних суден цивільної авіації шляхом визначення похибок позиціонування під впливом варіацій космічної погоди, що викликають іоносферні трансформації середовища поширення радіосигналів;

- забезпечити рівень безпеки польотів повітряних суден цивільної авіації шляхом підвищення точності визначення місцеположення при використанні одночастотних приймачів систем супутникової навігації в якості бортового обладнання.

### **Висновки та перспективи подальшого розвитку у визначеному напрямку**

В сучасних умовах особливу важливість для України набуває загальна науково-прикладна проблема сталого функціонування навігаційного забезпечення на основі космічних технологій під впливом дестабілізуючих факторів космічної погоди. Прикладні результати досліджень у цій сфері мають подвійне використання, як для цивільної, так і для військової авіації, мають особливо важливе значення для підвищення обороноздатності та національної безпеки держави. Авторами проводились дослідження негативних впливів геофізичних полів, що призводять до тимчасових відмов дії біологічних навігаційних механізмів в просторі і часі для їх врахування при вирішенні завдань по створенню нових інтелектуальних автономних навігаційних систем на біологічній основі [10]. Крім того, авторами [11, 12] розроблено технологічні основи забезпечення функціональної стійкості автоматизованої системи управління повітряним рухом, які засновані на математичному моделюванні процесу виявлення області надмірності та оптимального використання існуючих ресурсів для парирования нештатних ситуацій. Запропоновані технологічні основи дозволили розробити рекомендації щодо реалізації розроблених концептуальних та теоретичних основ забезпечення функціональної стійкості автоматизованої системи управління повітряним рухом в основі актуальної нової наукової проблеми забезпечення властивості функціональної стійкості автоматизованої системи управління повітряним рухом на етапах побудови та експлуатації в умовах зовнішніх та внутрішніх дестабілізуючих впливів. Вивчення процесу функціонування систем навігаційного забезпечення повітряних суден цивільної авіації

льної авіації під впливом дестабілізуючих факторів космічної погоди, є однією з ланок продовження вищевказаного напрямку досліджень, але у сфері розробки шляхів підвищення якості навігаційного забезпечення в умовах потреби в високій точності позиціонування рухомих об'єктів під впливом динамічно змінних геофізичних полів, в першу чергу для забезпечення безпеки повітряних суден при польоті в районі аеродрому та при категорійному заході на посадку.

В останній час сегмент користувача навігаційної інформації розвивається виключно у напрямку імпорту закордонних технічних засобів, які використовують сигнали космічної навігаційної системи GPS, диференційну корекцію іоносферної похибки вимірів. Але повне домінування на внутрішньому ринку послуг і навігаційних систем лише закордонних зразків неприпустимо.

Враховуючи це, економічно, технологічно із поглядом на необхідність створення національного виробництва незалежно від закордонного постачання є створення вітчизняних розробок для забезпечення точності позиціонування повітряних суден цивільної авіації під впливом дестабілізуючих факторів космічної погоди, на що будуть направлені заплановані авторами подальші дослідження.

## Список літератури

1. Крыжанский Г.А. Концепция и системы CNS/ATM в гражданской авиации / Г.А. Крыжанский. - М.: ИКЦ Академкнига, 2003. - 415 с.
2. Doc. 9719. Всемирная конференция по внедрению систем CNS/ATM. - Монреаль : ICAO, 1998.
3. Шебшаевич В.С. Дифференциальный режим сетевой спутниковой радионавигационной системы / В.С. Шебшаевич, М.Н. Григорьев, Э.Г. Коккина и др. // Зарубежная радиоэлектроника. - 1989. - № 1. - С. 24-29.
4. Соловьев Ю.А. Спутниковая навигация и её приложения / Соловьев Ю.А. — М.: Эко-Трендз, 2003. - 376 с.

5. Gorbachev O.A. Fluctuations of Total Electron Content in the Ionosphere as Deduced from Measurements by Single-Frequency GPS Receivers / O.A. Gorbachev, V.B. Ivanov, P.V. Ryabkov // *Geomagnetism and Aeronomy*. - 2010. - Vol. 50, № 7 (Special Issue 1). - P. 868-872.

6. Hoffman-Wellenhof, B. *Global Positioning System: Theory and Practice* / B. Hoffman-Wellenhof, H. Lichtenegger, J. Collins. - Springer-Verlag Wien, New-York, 1992.

7. Klobuchar, J.A. *Ionospheric effects on GPS / J.A. Klobuchar // Global Positioning System: Theory and Applications*. Edited by B.W. Parkinson and J.J. Spilker Jr. Published by the American Institute of Aeronautics and Astronomics Inc., 1996.

8. *Concept of Operations (ConOps) for the Provision of Space Weather Information in Support of International Air Navigation, December 2012/ IAVWOPSG/7-WP/19*

9. Официальный сайт правительства США и системы GPS со статусом спутниковой группировки [Электронный ресурс]. - Режим доступа до матеріалу сайту: <http://www.navcen.uscg.gov/?pageName=GPS>.

10. Калашиник А.А. Применение синергетического подхода - основной путь к созданию новых интеллектуальных автономных навигационных систем на биотехнологической основе / А.А. Калашиник, В.Н. Неделько // Системы управления, навигации та зв'язку. - 2014. - Вип. 3 (31). - С. 8-17.

11. Барабаш О.В. Математична модель забезпечення функціональної стійкості мобільних систем / О.В. Барабаш, Н.М. Берназ // Наукове періодичне видання «Системи обробки інформації». - X: ХВПС, 2015. - Вип. 12 (137). - С. 97-100.

12. Обідін Д.М. Оцінка функціональної стійкості інформаційно-телекомунікаційних мереж на основі автоматизованих систем управління / Д.М. Обідін // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. - 2014. - Вип. 1 (14). - С. 167-169.

Надійшла до редколегії 23.02.2016

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.В. Барабаш, Державний університет телекомунікацій, Київ.

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ УСТОЙЧИВОГО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СРЕДСТВ НАВИГАЦИИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ВНЕШНИХ ДЕСТАБИЛИЗИРУЮЩИХ ФАКТОРОВ

А.А. Калашник, Д.Н. Обідін, М.А. Калашник

Проведен анализ требований к навигационному обеспечению воздушных судов гражданской авиации в условиях реализации концепции ICAO CNS/ATM по использованию в качестве основного средства навигации глобальных систем спутниковой навигации и организации обеспечения авиaperевозок данными о космической погоде. Проведен анализ проблем навигационного обеспечения воздушных судов гражданской авиации при использовании спутниковых систем навигации в условиях спокойной и возмущенной космической погоды. Предложены новые подходы к их решению.

**Ключевые слова:** дестабилизирующие факторы, функциональная устойчивость, навигационное обеспечение.

## PROVISION OF STABLE FUNCTIONING OF AIRCRAFT NAVIGATIONAL AIDS UNDER THE INFLUENCE OF DESTABILIZING FACTORS

G.A. Kalashnyk, D.M. Obidin, M.A. Kalashnyk

There was carried out the analysis of requirements for navigational provision of civil aviation aircraft in condition of realization of ICAO CNS / ATM conception for using of global navigation satellite systems like the main aid of navigation and organization of provision of air flights by cosmic weather data. There were analyzed problems of navigational provision of civil aviation aircraft using navigation satellite systems in condition of calm and perturbed cosmic weather. There were offered new sides in order to solve it.

**Keywords:** destabilizing factors, functional stability, navigational provision.