

Навігація

УДК 621.7396

М.А. Калашник

Кіровоградська льотна академія Національного авіаційного університету, Кіровоград

МЕХАНІЗМИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТАЛОГО ФУНКЦІОНУВАННЯ ЗАСОБІВ НАВІГАЦІЇ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ В УМОВАХ ДЕСТРУКТИВНОГО ВПЛИВУ

Розглянуто загальну комплексну модель функціонування супутникових систем навігації (ССН) під впливом зовнішніх дестабілізуючих факторів. Показано взаємозв'язок та взаємний вплив дестабілізуючих факторів на стійкість функціонування навігаційних систем літальних апаратів (ЛА). Визначено основні механізми функціональної стійкості роботи засобів навігації ЛА в умовах деструктивного впливу на них зовнішніх факторів.

Ключові слова: деструктивний вплив, стає функціонування, навігаційне забезпечення.

Вступ

Загальна постановка проблеми та зв'язок з практичними завданнями. У зв'язку з початком впровадження в систему управління повітряним рухом концепції ICAO CNS/ATM [1 – 3] 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).

В сучасних умовах розширилось коло принципів організації стабільного функціонування засобів навігаційного забезпечення ЛА: 1) доступність (готовність) для виконання поставленого завдання; 2) цілісність; 3) конфіденційність - захищеність від несанкціонованого доступу (завадозахищеність); 4) глобальність дії; 5) незалежність від метеорологічних умов, рельєфу місцевості, висоти над поверхнею Землі, часу доби; 6) безперервність обслуговування; 7) точність визначення навігаційних параметрів; 8) надійність навігаційного забезпечення.

Вимоги до точності навігаційного забезпечення на кожному етапі польоту ЛА різні. Для вирішення завдань категорійної посадки ЛА за допомогою ССН необхідно підвищувати точність визначення просторових координат за допомогою зменшення похибок позиціонування ССН. У цій ситуації актуальною є можлива компенсація навігаційної похибки ССН в районі аеродрому за допомогою одночастотної навігаційної апаратури користувачів (НАК) GPS з забезпеченням функціональної стійкості засобів навігації ЛА під впливом зовнішніх дестабілізуючих факторів.

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.

В сучасних умовах особливу важливість для України набуває загальна науково-прикладна проблема стійкого 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.

Аналіз останніх досліджень і публікацій та визначення невирішеної раніше частини проблеми. Ключові положення теорії функціональної стійкості були розвинені в численних роботах О.А. Машкова, О.В. Барабаша, Ю.В. Кравченко, С.М. Неділько, Д.М. Обідіна [4 – 6] та інших дослідників. Авторами [4 – 6] розроблено технологічні основи забезпечення функціональної стійкості автоматизованої системи управління повітряним рухом. Вивчення процесу функціонування систем навігаційного забезпечення повітряних суден цивільної 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. Нами проведено аналіз

вимог до навігаційного забезпечення повітряних суден цивільної авіації в умовах реалізації концепції ICAO CNS/ATM з використанням в якості основного засобу навігації глобальних систем супутникової навігації та організації забезпечення авіаперевезень даними про космічну погоду [7,8] та проаналізовано проблеми навігаційного забезпечення повітряних суден цивільної авіації при використанні супутникових систем навігації в умовах спокійної і збуреної космічної погоди [7].

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.

Принцип роботи ССН базується на передаванні кодованих радіосигналів від навігаційного супутника до обладнання користувача, яке працює у пасивному режимі. Іоносферні збурення - основний дестабілізуючий фактор роботи ССН, є головною причиною збоїв в її роботі. 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 проблема коректної диференційованої компенсації іоносферних похибок дотепер не вирішена.

Мета дослідження. Створити комплексну модель функціонування ССН під впливом зовнішніх дестабілізуючих факторів. Вивчити взаємозв'язок та взаємний вплив дестабілізуючих факторів на стійкість функціонування навігаційних систем літальних апаратів (ЛА). Визначити основні механізми функціональної стійкості роботи засобів навігації ЛА в умовах деструктивного впливу на них зовнішніх факторів.

Комплексна модель функціонування ССН під впливом зовнішніх дестабілізуючих факторів

Функціональна стійкість навігаційного забезпечення ЛА ЦА – це здатність виконувати функції та

забезпечувати основні параметри в межах встановлених норм під дією зовнішніх та внутрішніх факторів [4 – 6 та ін.].

В узагальненому вигляді комплексна модель функціонування ССН під впливом зовнішніх дестабілізуючих факторів може бути представлена як:

$$G = \langle M, \gamma \rangle,$$

де M – модель роботи систем супутникової навігації; γ – модель дестабілізуючих впливів зовнішніх факторів. У свою чергу, модель роботи систем супутникової навігації може бути представлена, як

$$M = \langle A, U, L, \beta \rangle,$$

де A – множина ресурсів системи супутникової навігації, яка включає інфраструктуру апаратно-програмного забезпечення, що складається з орбітального угруповання, комплексу управління системою, користувальницького устаткування, програмного та інформаційного забезпечення, засобів комунікації з користувачами (зокрема, ЛА цивільної авіації (ЦА) навігаційною інформацією; U – моделі середовища поширення навігаційного сигналу (зокрема, іоносфери, тропосфери); L – опис структури ССН, організації її роботи, кількісні значення вимог до ССН, показники в межах встановлених норм (зокрема, згідно вимог ICAO, Радіонавігаційного плану України, концепції CNS/ATM); β – опис технології визначення позиціонування (зокрема, ЛА ЦА) з компенсацією іоносферної та інших похибок, які виникають під впливом дестабілізуючих факторів, апаратно-програмне забезпечення методики визначення іоносферних похибок ССН, при яких використовуються ресурси множин A та U .

Узагальнена модель дестабілізуючих впливів зовнішніх факторів може бути описана як

$$\gamma = \langle R, \alpha \rangle,$$

де R – множина дестабілізуючих зовнішніх факторів впливу; α – просторово-часова структура впливу дестабілізуючих зовнішніх факторів.

Множина R є сукупністю факторів, вплив яких на роботу систем супутникової навігації призводить до виникнення помилок позиціонування ЛА, збоїв у роботі систем, відмов.

Просторово-часова структура α впливу дестабілізуючих зовнішніх факторів множини R на роботу систем супутникової навігації характеризує моменти початку впливів, їх часову тривалість для регулярних та нерегулярних збурень космічної погоди, просторовий розподіл їх впливу, на середовище поширення навігаційного сигналу, зокрема, нерівномірний розподіл іоносферних збурень (широтні, довготні зміни впливу), нерівномірний розподіл тропосферної рефракції, вплив на приймально-передавальні тракти радіотехнічних засобів систем, штучно створений вплив середовища (створеного противником), безпосередні дії противника на елементи

системи. Може бути представлена, як:

$$\alpha = \langle n, m, \tau \rangle,$$

де $n = \langle A, R, N \rangle$ – бінарне відношення ($N \subseteq A \times R$), яке визначає розподіл впливів множини дестабілізуючих факторів R на множини ресурсів системи супутникової навігації A ; де $m = \langle U, R, M \rangle$ – бінарне відношення ($M \subseteq U \times R$), яке визначає розподіл впливів множини дестабілізуючих факторів R на моделі середовища поширення навігаційного сигналу; τ – параметр, який визначає тривалість впливів дестабілізуючих факторів та моменти початку їх впливу.

Крім того, для вирішення навігаційної задачі потрібна наявність сузір'я не менш чотирьох видимих супутників, що достатньо для визначення чотирьох параметрів $x, y, z, \Delta T$, де ΔT – похибка годинника приймача відносно годинника супутника, які є чотирма невідомими у системі чотирьох алгебраїчних рівнянь. Геометрична суть рішення означає, що визначаються дві точки, які одночасно належать трьом сферичним поверхням з центрами, які співпадають з положеннями супутників, і з радіусами, які представляють собою псевдодальності, з яких виключено вклади від похибок (здвигов) годинників.

Взаємний вплив зовнішніх дестабілізуючих факторів один на одного та на стійкість функціонування складових систем навігаційного забезпечення літальних апаратів має дуже складну природу (рис. 1).

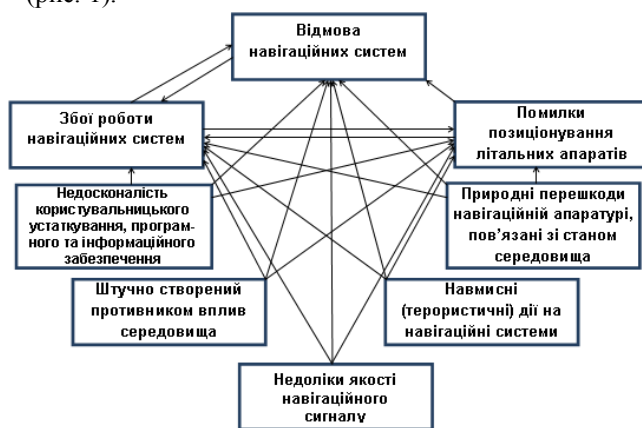


Рис. 1. Взаємозв'язок і взаємовплив дестабілізуючих факторів на стає функціонування навігаційних систем літальних апаратів

Механізми забезпечення функціональної стійкості засобів навігації ЛА ЦА

Представлена нами комплексна модель функціонування засобів навігації ЛА ЦА під впливом зовнішніх дестабілізуючих факторів є основою для створення системи забезпечення їх функціональної стійкості (ФС). Система забезпечення ФС ССН в загальному вигляді повинна відповідати класичній схемі системи управління [9], в якій об'єктом управління виступає навігаційна система, органами управління

будуть механізми забезпечення її сталого функціонування, керуючими впливами в узагальненому вигляді будуть протидії загрозам порушення працездатності, підвищення характеристик точності позиціонування. Створення механізмів забезпечення функціональної стійкості засобів навігації ЛА ЦА повинно давати можливість у разі необхідності здійснювати вибір належного варіанту керуючого впливу на представлену в комплексній моделі структуровану множини ресурсів навігаційної системи за допомогою сукупності апаратних, програмно-технічних, методичних та організаційних заходів, спрямованих на протидію деструктивному впливу зовнішніх факторів на систему в цілому або на окремі її елементи.

Основні механізми забезпечення функціональної стійкості засобів навігації ЛА ЦА повинні включати: 1) своєчасне прогнозування збоїв у роботі систем супутникової навігації під впливом нерегулярних варіацій космічної погоди, що викликають іоносферні похибки середовища поширення радіосигналів при збуреннях космічної погоди різного рівня; 2) підвищення точності та надійності навігаційного забезпечення повітряних суден цивільної авіації шляхом визначення похибок позиціонування під впливом варіацій космічної погоди, що викликають іоносферні трансформації середовища поширення радіосигналів; 3) забезпечення високого рівня безпеки польотів повітряних суден цивільної авіації шляхом підвищення точності визначення місцеположення при використанні одночастотних приймачів систем супутникової навігації в якості бортового обладнання; 4) створення алгоритмів відбракування аномальних похибок вимірювань; 5) забезпечення автономних методів контролю цілісності систем; 6) підвищення надійності, завадостійкості та електромагнітної цілісності навігаційних систем; 7) створення схем та алгоритмів усунення штучно створених впливів на середовище та приймально-передавальні тракти радіотехнічних систем.

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 тропосфери) під дією геліогеофізичних збурень космічної погоди.

Помилки позиціонування супутникових систем навігації апаратної природи, що виникають у приймально-передавальних трактах радіотехнічних засобів систем (і при апаратній обробці сигналів) мо-

жуть бути ліквідовані шляхом вдосконалення апаратури [2, 10]. Помилки, що пов'язані зі станом середовища, в першу чергу іоносфери, 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. Іоносферні збурення зазвичай виникають після сонячних спалахів, коли різко посилюється іонізуюче випромінювання або розвиваються магнітні бурі. При посиленні сонячного вітру відбувається деформація магнітосфери Землі, збурення геомагнітного поля з, посилення радіаційних поясів, посилюються корпускулярні потоки в зоні полярних сьайв. При цьому також відбувається додаткове розігрівання верхньої атмосфери і змінюються умови іонізації іоносфери, що призводить до зміни висотних профілів концентрації і температури плазми [10]. Процеси, які відбуваються в іоносфері, носять складний нелінійний характер. На точність навігаційного забезпечення крім середовища поширення сигналу (стану іоносфери і тропосфери), впливають багато інших чинників, наприклад, якість навігаційного сигналу, конструктивні недоліки приймача, багатопроменевість, похибка ефемерид, похибка годинника та ін. Однак їх вплив на точність навігаційного забезпечення можливо знизити до необхідного користувачем рівня за допомогою різних технічних рішень, в той час як вплив середовища поширення сигналу, в силу його природи, зменшити технічними засобами неможливо.

Навігаційне вимірювання, яке виконується рухомим об'єктом в i -й момент часу з використанням j -того навігаційного супутника Землі ССН в загальному вигляді може бути представлено у вигляді [9]:

$$R_{ij} = R_{0ij} + \delta_{ij} + \Delta_{ij} + \lambda_{ij},$$

де R_{ij} – істинне значення вимірюваного навігаційного параметра; δ_{ij} , Δ_{ij} , λ_{ij} – відповідно випадкова, систематична та аномальна похибки вимірювань.

Для компенсації випадкової похибки навігаційних вимірювань можуть використовуватися алгоритми обробки, засновані на усередненні ряду послідовних вимірювань, наближенні послідовності вимірювань рядами, зокрема Чебишева, Лаггера, різними ортогональними функціями і т. д [9].

До числа систематичних похибок відносяться похибки, пов'язані з іоносферною та тропосферною рефракціями, похибки релятивістсько-гравітаційного походження, похибки годинника ССН та ЛА та інші.

Значення іоносферної похибки пропорційне повному електронному вмісту (ПЕВ) і включає в себе фазове випередження і групову затримку, доплерівське зрушення частоти, обертання площини поляризації радіохвилі. Похибки ССН, які пов'язані з іоносферною рефракцією супутникового сигналу, обумовлені варіаціями діелектричної проникності іоносфе-

рних шарів, а також значними неоднорідностями електронної концентрації. Кількісно ці похибки пропорційні ПЕВ [10], що залежить від широти, довготи, часу доби, року, сонячної і геомагнітної активності [10]. Ключовими характеристиками іоносфери, значення яких необхідно знати для вирішення прикладних завдань, є просторові розподілу іонів і електронів, а також їх швидкості і температури. Розподіл заряджених частинок, їх швидкість і траєкторії руху, є результатом дії великої кількості зовнішніх чинників, серед яких сонячна активність, рух нейтральної атмосфери і геомагнітна обстановка. Постійна зміна параметрів, що впливають на ключові характеристики іоносфери, ускладнює її точний математичний опис.

У систему обробки даних навігаційних сигналів GPS включена емпірична модель іоносфери Клобучара [11]. Ця модель має просте аналітичне опис середньомісячних значень ПЕВ, яке частково уточнюється по поточній ситуації шляхом оперативної корекції ряду параметрів моделі. Перевагою моделі є можливість застосування її в реальному масштабі часу. Ця модель недостатньо враховує нерегулярні, випадкові варіації (флуктуації) іоносферних параметрів під впливом зміни космічної погоди. В результаті, модель Клобучара дає середню помилку в описі ПЕВ, яка досягає 50% [11]. В останні роки розроблена емпірична модель іоносфери Gemtec [12]. У ній використовують розкладання значень ПЕВ для конкретного дня одного циклу сонячної активності з природничих ортогональних функцій і в якості вхідного параметра вводять значення сонячної активності для конкретного дня. Авторами цієї моделі на представницькому обсязі даних отримана величина відносної похибки 19,6% [13]. Більш точно компенсувати вплив іоносфери дозволяє математична модель IONEX. Для розрахунку іоносферної корекції R_{iono} в моделі використовуються глобальні іоносферні карти GIM в форматі IONEX, які коригуються через кожні 2 години, починаючи з 00:00 UTC. Недоліком моделі є неможливість її використання в реальному масштабі часу. У моделі IONEX величина відносної похибки часових визначень становить близько 30% [13]. На сьогоднішній день є декілька іоносферних моделей, які здатні відтворювати профіль електронної концентрації до висот орбіт навігаційних супутників і мають глобальний характер. Це моделі IRI і NeQuick [13]. Емпірична модель IRI розробляється спільною робочою групою Міжнародного союзу з досліджень радіохвиль (URSI) і Комітету з космічних досліджень (COSPAR). Вона заснована на тимчасових рядах іоносферних вимірювань. Однак, за даними [13] модель IRI справедлива до висот ~ 2000 км, а модель NeQuick - до висот ~ 20000 км, точність моделей різна і низька: IRI істотно завищує значення електронної концентрації на висотах вище максимуму F-шару, в той час як мо-

дель NeQuick має низьку точність на висотах нижче максимуму F-шару. Модель NeQuick є медіанною, середньомісячною, тому її середня відносна похибка досягає 35,8% [14]. Найвні методи компенсації іоносферної похибки в значній мірі (до 95%) усувають лише регулярну складову варіацій ПЕВ в іоносфері [12]. Аномальні похибки вимірювань виникають головним чином під дією геліогеофізичних збурень космічної погоди.

Таким чином, 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.

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 комбінацій при багаторазових вимірах в різних умовах спокійної та збуреної 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 одночастотних 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 геліогеофізичної 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.

Висновки та перспективи подальшого розвитку у визначеному напрямку

Таким чином, система механізмів забезпечення сталого функціонування засобів навігації ЛА ЦА уявляє собою комплексну структуровану сукупність науково-методичних, організаційних, програмно-технічних заходів.

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» визначення впливу на навігаційне забезпечення повітряних

суден цивільної авіації збудованої по хвильової активності іоносфери в умовах середніх широт шляхом полігонних досліджень із застосуванням групи одночастотних приймачів сигналу систем супутникової навігації (СНН) і їх різних комбінаціях при багаторазових вимірах в різних умовах 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 СНН GPS при застосуванні одночастотних приймачів сигналу шляхом визначення найбільш оптимального розташування одночастотних приймачів на борту повітряного судна при збудованій геліогеофізичної обстановці, на що будуть направлені заплановані авторами подальші дослідження.

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.

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. Concept of Operations (ConOps) for the Provision of Space Weather Information in Support of International Air Navigation, December 2012/ IAVWOPSG/7-WP/19
4. Обідін Д.М. Математична формалізація функціональної стійкості процесів управління літальними апаратами / Д.М. Обідін // Системи озброєння і військова техніка. – 2014. – Вип.1 (37). – С. 179–182.
5. Барабаш О.В. Математична модель забезпечення функціональної стійкості мобільних систем /О.В. Бара-

баш, Н.М. Берназ //Системи обробки інформації. – 2015. – Вип.12 (137). – С. 97–100.

6. Кравченко Ю.В. Визначення проблематики теорії функціональної стійкості щодо застосування в комп'ютерних системах/ Ю.В. Кравченко, С.В. Нікіфоров // Телекомунікаційні та інформаційні технології. – 2014. – №1. – С. 12-18.

7. Калашник Г.А. Забезпечення стійкого функціонування засобів навігації літальних апаратів під впливом зовнішніх дестабілізуючих факторів/ Г.А. Калашник, Д.М. Обідін, М.А. Калашник // Системи обробки інформації. – 2016. – Випуск 3 (140). – С.52-56.

8. Kalashnyk G.A. Mechanism of precision and reliability improvement of navigational provision of aircraft under influence of heliogeophysical disturbances / G.A. Kalashnyk, D.N. Obidin, M.A. Kalashnyk // Conference proceedings XII International conference «Intellectual systems for decision making and problems of computational intelligence (ISDMCI'2016)», Zaliznyj Port, Ukraine, May 24–28, 2016, Kherson National Technical University, 2016. – P.7-8.

9. Навігаційне забезпечення Збройних сил України з використанням космічних систем: монографія / С.В. Козелков, К.С. Козелкова, С.М. Неділько та ін.; за ред. С.М. Неділько. – Кіровоград: Вид-во КЛА НАУ, 2013 р. – 628 с.

10. Соловьев Ю.А. Спутниковая навигация и её приложения/ Ю.А. Соловьев. — М.: Эко-Трендз, 2003. — 376 с.

11. 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 Astronautics Inc., 1996.

12. Горбачев О. А. Оценка эффективности модели коррекции ионосферной погрешности Gemtec для систем GPS/ГЛОНАСС/ О.А. Горбачев, В.Б. Иванов, Е.Е. Нецаев // Научный вестник МГТУ ГА. – 2012. – №180. – С.78-83.

13. Сажин В.И. Моделирование полного электронного содержания ионосферы/ В.И. Сажин, Е.М. Вдовин, А.Е. Торшина// Известия Иркутского государственного университета. – 2014. – Т.9 – С. 94-102.

14. Radicella S.M. The NeQuick model genesis, uses and evolution/ S.M. Radicella // Annals of Geophysics. – 2009. – Vol.52. – P.417-422.

Надійшла до редколегії 25.12.2015

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Д.М. Обідін, Кіровоградська льотна академія Національного авіаційного університету, Кіровоград.

МЕХАНИЗМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТОЙЧИВОГО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СРЕДСТВ НАВИГАЦИИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ В УСЛОВИЯХ ДЕСТРУКТИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

М.А. Калашник

Рассмотрена общая комплексная модель функционирования спутниковых систем навигации (СНН) под воздействием дестабилизирующих факторов. Показана взаимосвязь и взаимное влияние дестабилизирующих факторов на стойкость функционирования навигационных систем летательных аппаратов (ЛА). Определены основные механизмы функциональной стойкости работы навигации ЛА в условиях деструктивного влияния на них внешних факторов.

Ключевые слова: деструктивное воздействие, устойчивое функционирование, навигационное обеспечение.

MECHANISMS OF PROVISION OF STABLE FUNCTIONING OF AIRCRAFT NAVIGATIONAL AIDS UNDER THE INFLUENCE OF ENVIRONMENTAL DISTURBANCES

M.A. Kalashnik

There was considered a general complex model of functioning of satellite navigation systems (SNS) under the influence of destabilizing factors. The interrelation and mutual influence of destabilizing factors on the stability of operation of the navigation systems of aircraft was showed. The basic mechanisms of functional stability of the aircraft navigation operation under destabilizing impact on them were determined.

Key words: destabilizing impact, functional stability, navigational provision.