



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИ
Державний університет
телекомунікацій
03680, м. Київ, вул. Солом'янська, 7
тел. (044) 248-85-97,
факс (044) 248-85-78

MINISTRY OF EDUCATION
AND SCIENCE OF UKRAINE
State University of
Telecommunications
03680, Kiev, Solomenskaya Str., 7
Tel. 38(044) 248-85-97
fax 38(044) 248-85-78

Від 25.05.18 № 34.04/467
На _____ від _____

Голові спеціалізованої вченої ради
К 26.894.01 Національного центру
управління та випробувань
космічних засобів

доктору технічних наук, професору
Баранову Г. Л.

01010, м. Київ, вул. Московська, 8

ВІДГУК

офіційного опонента – завідувача кафедри вищої математики Державного університету телекомунікацій доктора технічних наук, професора Барабаша Олега Володимировича на дисертацію Іванової Валентини Іванівни “Науково-методичне забезпечення тренажерного моделювання динаміки сонячно-сінхронних орбіт”, подану на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.07.14 «Авіаційно-космічні тренажери».

Актуальність теми дисертації. На сучасному етапі розвитку інформаційних технологій в усіх сферах життя важливе місце займає спостереження за земною поверхнею із космічного простору за допомогою космічних апаратів (КА) дистанційного зондування Землі (ДЗЗ). У ХХІ столітті з розвитком мікромініатюризації та нанотехнологій масовим явищем стало створення надмалих супутників форматів кубсат (від одного до кілька кг і від кількох до кількох десятків см), а також з'явився новий формат покетсат (буквально кишеньковий) в кілька сотень або десятків грам і кілька сантиметрів. Сучасні супутники переважно створюються як безвідмовні, з

призначеним ресурсом понад 5 – 10 років. В таких умовах найважливішим процесом є точне виведення супутника на задану орбіту із заданими прогнозованими функціональними параметрами.

В більшості випадків КА ДЗЗ запускаються на сонячно-синхронні орбіти. Основними перевагами таких запусків є постійні параметри зйомки підстилаючої поверхні, в один і той же час, кожену добу. Це обумовлено безпосередньо особливостями сонячно-синхронної орбіти та постійною орієнтацією площини її орбіти відносно напрямку на Сонце, що забезпечується відповідним вибором нахилу орбіти в залежності від заданої висоти орбіти КА.

Для визначення оптимальних початкових параметрів сонячно-синхронних орбіт (ССО) та прогнозування її еволюції потрібно розробити відповідні математичні моделі для аналізу впливу кожного збурюючого фактору, що впливає на орбіту. При цьому, слід відзначити, що в теорії комічних польотів достатньо повно розроблено математичні моделі впливу різних факторів на довільні орбіти супутників. Так, наприклад, у відпоідності до загальної теорії, вплив гравітаційних полів Місяця та Сонця на низькі білякругові орбіти (до 1000 км) є періодичним та на порядок меншим ніж вплив від розрідженої атмосфери та гравітаційних аномалій Землі.

Окрім того, оцінка впливу від гравітаційного поля Місяця показала, що він більше ніж вплив гравітаційного поля Сонця. Тому при початковому проектуванні більшості запусків, вплив гравітаційного поля Сонця не включається в моделі руху КА. Проте, спостереження за еволюцією параметрів ССО показує суттєвий вплив таких факторів на характеристики орбіти. Тому загальні завдання забезпечення максимальної стабільності функціональних характеристик ССО є пріорітетними завданнями при підготовці до запуску КА.

Найважливішою складовою комплексів підготовки до запуску космічних апаратів та управління їх орбітальним рухом є сучасне програмне забезпечення, яке, зокрема, призначене для оперативного розрахунку параметрів орбіти КА на етапі підготовки до запуску та прогнозування їх зміни (динаміки) на етапі функціонування КА. При цьому програмне забезпечення повинно базуватися на методах та моделях розрахунку, що відповідають сучасним принципам балістичного проектування космічних апаратів. Очевидно, що таким самим принципам повинно відповідати і математичне забезпечення тренажерів підготовки до запуску та супроводу космічних апаратів.

Класична методика забезпечення стабільності місцевого сонячного часу висхідного вузла орбіти (МСЧ ВВ) базуються на розрахунку початкового

значення нахилу в залежності від висоти орбіти таким чином, щоб швидкість прецесії площини орбіти дорівнювала кутовій швидкості середнього екваторіального Сонця. При цьому обґрунтовано враховується лише одна, основна, збурююча сила – від полюсного стискання земного еліпсоїда. При такому розрахунку значення МСЧ ВВ на початку руху КА буде номінальним, але під дією інших збурюючих факторів відхилення від номінального значення монотонно зростатиме, тобто умови функціонування КА будуть погіршуватися. Для КА з коригуючими силовими установками, проблема вирішувалась за рахунок корекцій параметрів орбіти. Сучасні тенденції в проектуванні КА дистанційного зондування Землі – суттєве зменшення розмірів і ваги КА та спрощення системи керування, робить нагальною проблему мінімізації відхилення основної функціональної характеристики ССО без корекцій орбіти.

Таким чином, актуальним є наукове завдання, що полягає в розробці аналітичної моделі впливу на динаміку сонячно-синхронних орбіт збурюючих факторів та, на її основі, вдосконалення методу розрахунку початкових значень параметрів таких орбіт, що спрямоване на мінімізацію відхилення місцевого сонячного часу висхідного вузла на терміні експлуатації космічного апарата без корекцій параметрів орбіти.

Вирішенню даного наукового завдання і присвячена дисертаційна робота Іванової В.І.

Зв'язок роботи з науковими програмами та планами. Дисертаційна робота виконувалась у відповідності до планів науково-технічної діяльності Державного підприємства «Конструкторське бюро «Південне» ім. М.К. Янгеля (ДП «КБ «Південне»») з проектування та експлуатації ракет-носіїв і космічних апаратів у рамках Загальних цільових науково-технічних космічних програм України на 2008-2012 р.р. та 2013 -2017 р.р. Зокрема, у дисертації використані результати проведених автором досліджень в рамках науково-дослідних робіт з проектування сучасних малих КА, створених за Державними контрактами: №2-01/10 від 05.10.2010р. «Космічної системи для спостереження Землі в оптичному діапазоні» (реєстраційний номер 0110U004830); №2-01/11 від 21.10.2011р. «Підготовка космічної системи «Січ-2» з КА МС-2-8 до пуску та льотно-конструкторські випробування космічної системи «Січ-2» (реєстраційний номер 0111U009283).

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертації. Обґрунтованість одержаних результатів забезпечується глибоким аналізом сутності впливу збурюючих факторів на стабільність функціональних параметрів ССО та зумовлена коректним застосуванням обраних методів дослідження, а саме, методів

теоретичної механіки та математичного аналізу. Зокрема: теореми динаміки матеріальної точки стали основою для побудови єдиного методу оцінки вікового руху площини ССО; теоретичні положення теорії руху штучних супутників Землі лежать в основі аналізу впливу кожного збурюючого фактору на еволюцію параметрів орбіти КА; методи небесної механіки використані при моделюванні збурюючої дії на рух КА гравітаційного поля Сонця та для розрахунку місцевого сонячного часу висхідного вузла. Виведення всіх співвідношень зроблено методами математичного аналізу.

Достовірність одержаних в роботі результатів підтверджується обґрунтованими теоретичними твердженнями та збіжністю теоретичних результатів з результатами виконаних експериментальних спостережень за еволюцією сонячно-синхронної орбіти штучних супутників Землі без коригуючих двигунів. Одержані у роботі результати мають чітке наукове тлумачення і не суперечать відомим даним.

Наукова новизна одержаних результатів.

Вперше розроблено новий метод оцінки систематичної (вікової) складової динаміки руху площини сонячно-синхронної орбіти. Метод ґрунтується на теоремі про зміну кінетичного моменту матеріальної точки і представляє собою єдину прозору за фізичною суттю основу для методики розрахунку параметрів впливу на кутовий рух площини ССО збурюючих факторів різної природи.

Вперше розроблено аналітичну модель для розрахунку вікової складової еволюції параметрів сонячно-синхронної орбіти під прямим та опосередкованим впливом гравітаційного поля Сонця як функції кута орієнтації площини орбіти відносно напрямку «Земля-Сонце». Модель входить складовою частиною до методу визначення початкових значень нахилу сонячно-синхронної орбіти, а також може бути використана окремо у системі супроводу космічного апарату на сонячно-синхронній орбіті для оперативної чисельної оцінки параметрів еволюції площини цієї орбіти.

Удосконалено метод визначення початкових значень нахилу сонячно-синхронної орбіти шляхом введення поправки, що враховує вікові складові еволюції параметрів орбіти за рахунок домінуючих збурюючих факторів. Реалізація методу дозволяє запускати космічні апарати на сонячно-синхронну орбіту з забезпеченням максимально можливої стабільності умов його функціонування без корекції орбіти.

Практичне значення одержаних автором наукових результатів.

Запропоновані в роботі модель та методи дозволяють розробити програмне забезпечення систем підготовки та супроводу КА на ССО. Вони можуть бути використані як на етапі проектування, так і на етапі

безпосередньо підготовки та супроводу польоту КА та тренажерного моделювання цих процесів.

Впровадження розроблених методів у програмне забезпечення тренажерів систем підготовки до запуску та супроводу КА приводить останні у відповідність сучасним вимогам до КА ДЗЗ, що розробляються без двигунів корекції орбіти. Зокрема, запропонований метод розрахунку початкового значення нахилу типових ССО з поправкою дозволяє без корекцій орбіти зменшити відхилення МСЧ ВВ на терміні функціонування КА приблизно у 6 разів, порівняно з розрахунком без поправки.

Основні результати дисертаційної роботи були апробовані при підготовці до запуску КА Egiptosat-1 та підтверджені результатами спостереження за його польотом.

Результати досліджень прийняті до впровадження у практику проектування КА в ДП «КБ «Південне» (акт від 09.01.2018 р.).

Перспективними напрямком подальших досліджень є вдосконалення методу оперативного розрахунку поправки до базового нахилу сонячно-синхронної орбіти з урахуванням еволюції висоти орбіти для терміну експлуатації космічних апаратів більше 5 років.

Повнота викладу основних результатів дисертації в публікаціях.

Основні результати дисертаційної роботи з необхідною повнотою відображені у 6 наукових статтях, опублікованих автором особисто і у співавторстві у фахових наукових виданнях, та 8 тезах доповідей на наукових конференціях. Для спільних наукових статей автором зазначено її особистий внесок.

Оцінка змісту дисертації, відповідність встановленим вимогам щодо оформлення. Дисертація Іванової В.І. являє собою одноосібно написану кваліфікаційну наукову працю, яка містить сукупність результатів та наукових положень, поданих автором для публічного захисту, має достатній ступінь завершеності, структурність та достатньо логічну внутрішню цілісність і свідчить про наявний особистий внесок автора у науку.

Дисертація та автореферат написані грамотною науково-технічною мовою з використанням загальноприйнятих наукових термінів, визначень та понять, достатньо ясно та зрозуміло. Матеріали досліджень викладені логічно та послідовно. Стил ь їх викладення не суперечить методології наукових досліджень. Висновки достатньо конкретні та відображають основні результати досліджень.

Дисертацію достатньо добре ілюстровано. Винесені на захист наукові результати викладено вичерпно. Використані в роботі терміни, визначення та поняття відповідають діючим Державним стандартам України.

Відповідність змісту автореферату основним положенням дисертації. За структурою, змістом та оформленням автореферат відповідає встановленим вимогам та загальноприйнятому стилю його викладення. Зміст автореферату ідентичний основним положенням дисертації, у ньому достатньо повно і точно відображені основні результати досліджень, що детально подані в дисертації.

Недоліки та зауваження.

1. В дисертаційній роботі використовується словосполучення «типові сонячно-синхронні орбіти». Разом із тим, в деяких розділах, у відповідності до такого поняття вказано висоту орбіти 500...900 км. В розділі 1.3 дисертації викладено постановку завдання дослідження. При цьому доцільно було б сформулювати та обґрунтувати поняття типової орбіти, а також роз'яснити, чи є діапазон висот загальним обмеженням для дослідження чи відноситься лише до окремих висновків.

2. Під час аналізу різних факторів, що впливають на еволюцію місцевого сонячного часу висхідного вузла сонячно-синхронної орбіти, найменшу увагу, у порівнянні із іншими, приділено такому збурюючому фактору, як тиск світла. Не дивлячись на те, що у роботі вказано, що фактор не є домінуючим за впливом на основну функціональну характеристику сонячно-синхронної орбіти, висновок можна було зробити більш доказовим. Для цього доцільно було зробити теоретичний аналіз аналогічно тим, що зроблені для інших збурюючих факторів. Натомість, в дисертаційній роботі подано посилання на результати досліджень інших авторів і лише декілька прикладів результатів чисельного моделювання цього збурення, що отримані автором дисертаційної роботи.

3. Під час виконання чисельного моделювання з метою підтвердження достовірності запропонованих наукових результатів та порівняння з результатами обчислення з отриманими аналітичними співвідношеннями автор приводить результати математичного моделювання не по кожному збурюючому фактору. На мій погляд, такі порівняння підсилили б доказову базу зроблених висновків.

4. Всі отримані наукові результати та науково-методичне забезпечення тренажерного моделювання динаміки сонячно-синхронних орбіт, що запропоновано автором обмежується спостереженнями на терміні експлуатації космічного апарата в 5 років. Доцільно було б навести рекомендації щодо удосконалення науково-методичного апарату прогнозування еволюції місцевого сонячного часу висхідного вузла для сонячно-синхронних орбіт на термін більше 5 років. Разом із тим, в дисертації немає відомостей, яким чином можна враховувати похибки цього

параметру від зменшення радіусу орбіти за період експлуатації космічного апарату, що перевищують 5 років.

5. Деякі поняття у різних частинах тексту дисертації названі різними термінами. Наприклад, «нецентральність гравітаційного поля Землі» та «несферичність геопотенціалу», «динаміка площини орбіти», «еволюція площини орбіти», тощо. Здебільшого, із контексту стає зрозумілим, що йдеться про одні і тіж самі процеси. Проте, це додає деякої нестрогості викладу.

Вказані недоліки не знижують цінності та практичного значення одержаних в дисертаційній роботі наукових результатів і, внаслідок цього, її позитивну оцінку в цілому.

Висновок. Дисертаційна робота Іванової В.І. є кваліфікаційною науковою працею, яка містить нові науково обґрунтовані результати проведених автором досліджень, що в сукупності вирішують актуальне наукове завдання, сутність якого полягає в розробці аналітичної моделі впливу на динаміку сонячно-синхронних орбіт збурюючих факторів та, на її основі, вдосконалення методу розрахунку початкових значень параметрів таких орбіт, що спрямоване на мінімізацію відхилення місцевого сонячного часу висхідного вузла на терміні експлуатації космічного апарату без корекцій параметрів орбіти. Дисертаційна робота має зазначену наукову новизну та практичну значимість, відповідає вимогам п.п. 9, 11, 12 "Порядку присудження наукових ступенів", які висуваються до кандидатських дисертацій, а її автор, Іванова Валентина Іванівна, заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.07.14 «Авіаційно-космічні тренажери».

Завідувач кафедри вищої математики
Державного університету телекомунікацій
доктор технічних наук, професор
“25” травня 2018 року



О.В. БАРАБАШ

Підпис професора Барабаша О.В. засвідчую.

Учений секретар
Державного університету телекомунікацій



О.В. ПОПОВ