

Розробка GPS-систем керування орієнтацією надмалих космічних апаратів

Разработка GPS-систем управления ориентацией сверхмалых космических аппаратов

Development of GPS-systems of ultra-small space vehicles attitude control.

1. Номер державної реєстрації теми - 0113U000718

2. Науковий керівник- д.т.н., проф. Збруцький О.В., Збруцкий А.В., Zbrutsky O.V.

3. Суть розробки, основні результати.

(укр.)

Розроблено новий принцип побудови системи керування орієнтацією надмалого космічного апарату (НКА), який базується на визначенні просторової орієнтації НКА за інформацією з багатоантенної GPS-системи та подальшому її використанню у контурі керування двигуна-маховика (ДМ) – виконуючого елемента системи керування кутовим рухом НКА. Відпрацьовані методи і алгоритми визначення просторової орієнтації НКА, а також методи і алгоритми формування сигналу кутового прискорення, що дозволить значно розширити точносний ресурс ДМ.

Особливістю побудови кутомірної системи на основі сигналів GPS для НКА на відміну від подібної системи для апаратів із значними геометричними розмірами є необхідність забезпечення точності визначення кутової орієнтації за малих відстаней між антенами споживача супутникової інформації. В цьому випадку доводиться розробляти інноваційні рішення для розв'язання поставленої задачі. Запропоновано спосіб визначення кутової орієнтації НКА по сигналах супутникових навігаційних систем (СНС), що ґрунтується на прийманні сигналів від космічних апаратів глобальних навігаційних супутникових систем на декілька рознесених антен приймачів сигналів СНС, вимірюванні фазового зсуву між прийнятими сигналами, визначені значень цілочисленних неоднозначностей, що разом з сучасними методами обробки інформації, дає можливість визначити параметри кутової орієнтації НКА та передати їх для подальшого використання в контур керування кутовою орієнтацією НКА. В НДР промодельовано роботу запропонованої кутомірної системи на основі сигналів GPS для НКА та підтвержено її працездатність.

Точність сучасних ДМ залежить від стабільності моменту опору обертанню. Ресурсні зміни в параметрах моменту опору для підтримання точності системи керування кутовим рухом супутника потребують періодичних тестових маніпуляцій на орбіті для визначення і компенсації параметрів моменту опору. Система керування ДМ з стабілізацією реактивного моменту, в якій кутове прискорення маховика повторює сигнали керування з супутника, дозволяє точне відтворення закону керування в незалежності від часових змін моменту опору в ДМ. Точність керування кутовим рухом НКА визначається в тому числі і точністю виконання закону керування ДМ. В сучасних ДМ магнітно-електричний момент формується з двох частин. Одна – пропорційна сигналу керування, а друга – компенсує всі внутрішні моменти супроводу. Ця складова формується на базі сигналу кутової швидкості, який формується в ДМ дискретно – після повороту на кут дискретизації. Збільшення кута дискретизації, пов'язане з мініатюрністю ДМ, збільшує похибку компенсації моментів опору. Частковий виробіток ресурсу ДМ також впливає на точність компенсації і зменшує точність виконання закону керування ДМ. Підвищення точності виконання закону керування ДМ, на сам перед у часі, завдяки створенню системи стабілізації реактивного моменту, що передбачає формування квазінеперервного сигналу кутового прискорення (СКП) маховика з рівнем високочастотних пульсацій не більше 0,1%. При виконанні НДР розроблено та промодельовано метод формування якісного СКП, алгоритми перетворення інформації та структура системи стабілізації реактивного моменту, що дозволяє забезпечувати високу точність виконання закону керування в умовах зміни моменту опору в ДМ при виробітку ресурсу.

(рос.)

Разработан новый принцип построения системы управления ориентацией сверхмалого космического аппарата (СКА), основанный на определении пространственной ориентации СКА по информации из многоантенной GPS-системы и дальнейшем ее использовании в контуре управления двигателя-маховика (ДМ) - исполняющего элемента системы управления угловым движением СКА. Отработаны методы и алгоритмы определения пространственной ориентации СКА, а также методы и алгоритмы формирования сигнала углового ускорения, что позволит значительно расширить точностной ресурс ДМ.

(англ.)

A new principle of attitude control system of ultra-small spacecraft (SKA) is developed, which is based on the determination of the spatial orientation of SKA by information of multi-antenna GPS-system and further usage of this information in the control loop of engine-flywheel (EF) - executing element of control system of angular motion of SKA. Methods and algorithms for determining the spatial orientation of SKA are investigated, as well as methods and algorithms for signal generation of the angular acceleration, which will significantly expand the resources of the precision of EF.

4. Наявність охоронних документів на об'єкти права інтелектуальної власності.

- Патент на корисну модель № 87041. Прилад виявлення та визначення положення цілей // О.В. Збруцький та інш. – опубл. 27.01.2014р.
- Патент на корисну модель 107272. Двигун-маховик // О.В. Збруцький та інш. – опубл. 10.12.2014р. Бюл. № 13;
- Патент на корисну модель № 135647. Способ комплексной обработки навигационной информации от датчиков курсо-скоростной навигационной системы и спутниковой навигационной системы летательного аппарата // Пономаренко С.О. та інш. – опубл. 18.03.2015.

5. Порівняння зі світовими аналогами.

Результати відповідають світовому рівню, а підходи до керування просторовим положення НКА за рахунок системи керування ДМ з стабілізацією реактивного моменту, в якій кутове прискорення маховика повторює сигнали керування з супутника, що дозволяє точне відтворення закону керування в незалежності від часових змін моменту опіру в ДМ не мають аналогів у світовій практиці.

6. Економічна привабливість для просування на ринок

Застосування розроблених методів, алгоритмів та інженерних рішень дозволяє значно підвищити точність керування просторовою орієнтацією НКА за рахунок:

- підвищення на 20–30 % точності визначення параметрів кутової орієнтації НКА, що передбачає оцінювання похибок спостерігачами калманівського типу;
- створення системи стабілізації реактивного моменту системи керування НКА, що передбачає формування квазінеперервного сигналу кутового прискорення маховика з рівнем високочастотних пульсацій не більше 0,1%;
- підвищення на 80-100% точності закону керування, який не залежить від часових змін моменту опіру в ДМ.

7. Потенційні користувачі (галузі, міністерства, підприємства, організації).

Підприємства аеро-космічної галузі при створенні НКА.

8. Стан готовності розробки.

Відпрацьовані методи і алгоритми визначення просторової орієнтації НКА, а також методи і алгоритми формування сигналу кутового прискорення, що дозволить значно розширити точносний ресурс ДМ. Розроблена конструкторська документація ДМ, яка може бути використана у промисловому виробництві.

9. Існуючі результати впровадження.

Результати роботи впроваджено Корпорацією «Науковий парк «Київська політехніка» під час виконання Договору №5-3240 «Розробка конструкторської документації та виготовлення складових частин електродвигуна великої потужності» (16.03.2015-27.11.2016р., всього -- 700,00 тис. грн., на 2015 - 550,00 тис. грн.), а також в навчальний процес у вигляді лабораторних робіт «Визначення координат рухомого об'єкта за допомогою приймача сигналів супутникових навігаційних систем. Дослідження похибок визначення координат рухомого об'єкта», «Визначення швидкості рухомого об'єкта за допомогою інтегрованого приймача сигналів СНС. Дослідження похибок визначення швидкості рухомого об'єкта», «Визначення напрямлення вектора швидкості рухомого об'єкта. Дослідження похибок визначення напрямлення вектора швидкості рухомого об'єкта» (дисципліна „Основи радіолокації”). Захищено три кандидатські дисертації. Підготовлена до захисту докторська дисертація. Опубліковано дві монографії. Опубліковано два навчальні посібники з грифом НТУУ «КПІ», захищено 6 магістерських робіт, 2 дипломні роботи бакалаврів.

10. Форма участі інвестора (яка краща форма участі в реалізації результатів проекту інвестора: частка в проекті %, частка від прибутку %, інше)

Форма участі інвестора – частка в проекті та частка від прибутку.

11. Обсяг інвестицій (необхідна для результатів проекту сума інвестицій у доларах США).

Необхідна для результатів проекту сума інвестицій у доларах США – 500 000,00.

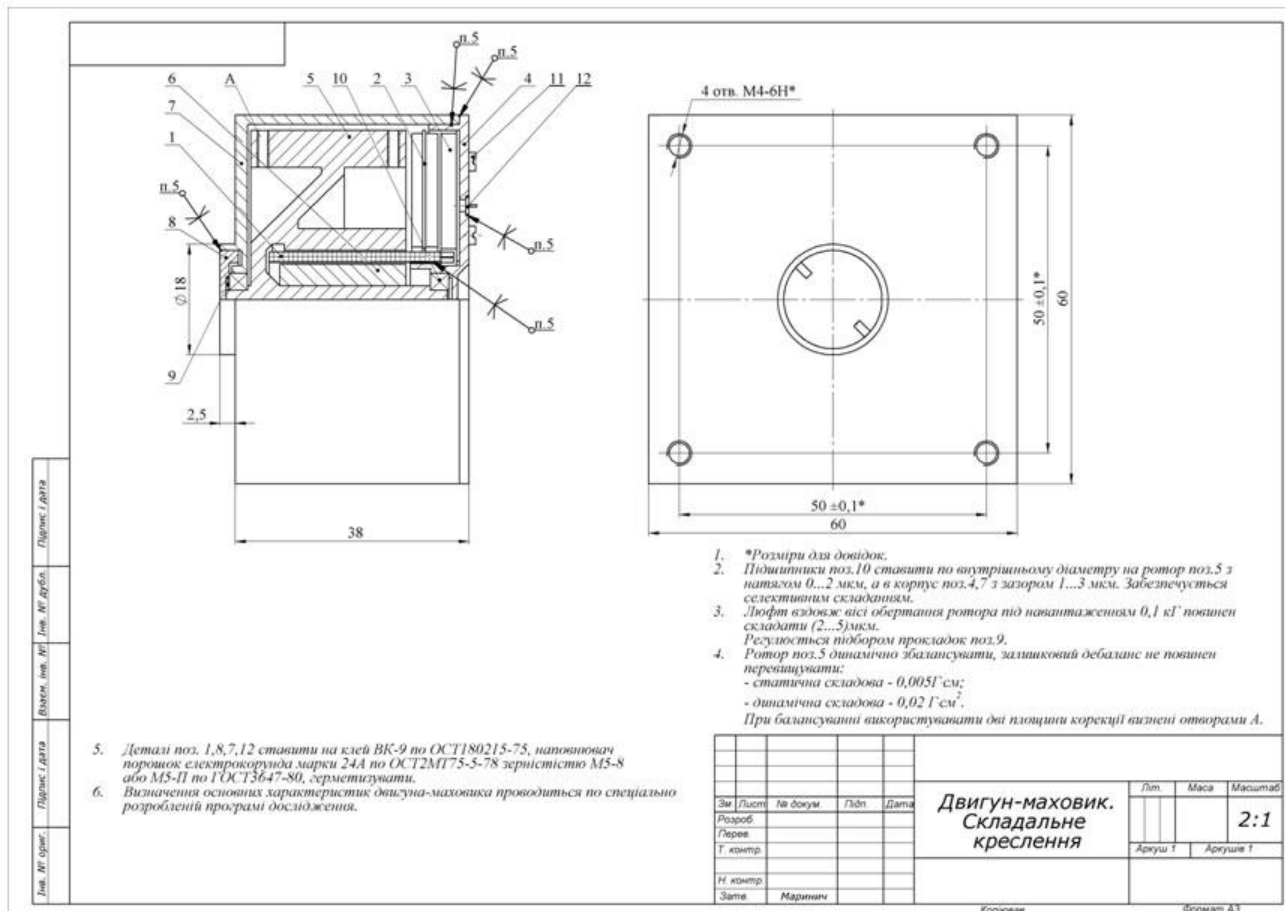
12. Мета інвестицій (розширення бізнесу, створення нового підприємства, інше).

Створення спільного підприємства для виробництва НКА, включаючи систем навігації, орієнтації, керування та інш.

13. Назва організації, телефон, E-mail

НТУУ «КПІ», факультет авіаційних і космічних систем, кафедра приладів та систем керування літальними апаратами, 044 406-82-24, faks@kpi.ua

14. Фото розробки



15. Перелік публікацій за матеріалами досліджень за період виконання розробки

Монографії

Управление автоматическим приземлением беспилотного самолета // В. В. Бурнашев, А. В. Збруцкий. – Киев: НТУУ "КПІ" ВПІ ВПК "Політехніка", 2015. – 125 с. російською мовою; № протокола метод. ради 10; дата 03.11.2014.

Навчальні посібники

В.В. Ванін, Г.А. Вірченко, О.В.Збруцкий. Теоретичні основи комп'ютерного геометричного моделювання авіаційної техніки//К.: НТУУ «КПІ», 2014. українською мовою; № протокола метод. ради 55; дата 29.05.2014.

Теорія різання. Мастильно-охолоджувальні технологічні середовища: навчальний посібник // В.А. Колот, В. С. Гузенко, А. В. Колот, Л. П. Колот. – Краматорськ : ДДМА, 2015. – 132 с.

Фахові видання

1. Шарапов В.М., Збруцкий А.В., Штеренхартц А., Саенко Н.В. Технологии научных исследований. Выявление и формулирование проблем. Вісник Черкаського державного технологічного університету, №4, 2013, с.163-169.
2. Шарапов В.М., Збруцкий А.В., Штеренхартц А., Саенко Н.В. Технологии научных исследований. Моделирование. Вісник Черкаського державного технологічного університету, №4, 2013, с.157-163.
3. Мобільні роботи: можливості, перспективи, проблеми //О. В. Збруцький, Ю. М. Савенко, Д. С. Мішкін/ Науково-технічний збірник "Механіка гіоскопічних систем", випуск 26, 2014 р. с. 112-121.
4. Збруцький О.В., Міщук А.С. Огляд сучасних систем керування, які використовуються на безпілотних літальних апаратах - Восточно-европейский журнал передовых технологий", 2/9 (68) 2014 . с. 23-28.
5. Збруцький О.В. Міщук А.С. «Адаптивний алгоритм керування із заданою точністю при невизначених зовнішніх збуреннях» // Інформаційні системи, механіка та керування.-2014.- Випуск 10.-с. 170-177.
6. А.В. Збруцкий, Г.Е. Янкелевич Определение координат пользователя в спутниковых навигационных системах. Науково-технічний збірник "Інформаційні системи, механіка та керування", випуск 10, 2014, с.56-61.
7. Збруцкий А.В., Малышева Ю.А., Бурнашев В.В. Инерциально-спутниковая система ориентации//Механика гироскопических систем. - №27. -2014. С 87-94.
8. О. О. Пікенін, О. В. Прохорчук, І. О. Кучерявенко. Модифікація фільтрів обробки багатоспектральних зображень для задач дистанційного зондування Землі // Інформаційні системи, механіка та керування, випуск 10, НТУУ "КПІ", 2014. - С.15-26.
9. Нечипоренко О.М., Лебедев К.А. Оптимізація динамічних процесів цифрової системи автоматизованого контролю // Науковий вісник Академії муніципального управління. Збірник наукових праць. Серія «Техніка». Вип. 6. Голова редакційної колегії В. К. Присяжнюк. – К.: Видавничо-поліграфічний центр АМУ, 2014. – С. 33-35.
10. Збруцкий А.В., Малышева Ю.А., Бурнашев В.В. Точність комплексованої системи орієнтації та навігації з оптичним датчиком горизонту // Інформаційні системи, механіка та керування. – 2014. –№ 11. – С.5-12.
11. Рижков Л.М., Олійник Є.М. Визначення орієнтації супутника на основі інформації з GPS// Інформаційні системи, механіка та керування. – 2014. –№ 11. – С.13-22.
12. Семидел П.С., Бурнашев В.В. Синтез законів керування автоматичним приземленням літака на шасі// Інформаційні системи, механіка та керування. – 2014. –№ 11. – С.102-111.

13. О.В. Прохорчук, О.П. Мариношенко, І.С. Студзінська. Особливості створення локальної позиційної системи для визначення місцеположення літального апарату//Збірник праць Інституту математики НАН України 2014, т. 11, No 5, 115-127.

14. Нечипоренко О. М. Оптимізація цифрової системи автоматизованого контролю // Науковий вісник Академії муніципального управління. Збірник наукових праць. Серія «Техніка». Вип. 8. Голова редакційної колегії В. К. Присяжнюк. – К.: Видавничо-поліграфічний центр АМУ, 2015. – С. 38-43.

Scopus, Copernicus

1. Збруцький О.В., Міщук А.С. Огляд сучасних систем керування, які використовуються на безпілотних літальних апаратах - Восточно-европейский журнал передовых технологий", 2/9 (68) 2014 . с. 23-28

2. Зінченко В. П., Сарибога Г. В. Дослідження та підбір параметрів котушки для мікросупутника НТУУ«КПІ» // Технологический аудит и резервы производства. - Выпуск 3 (17), 2014. - с.58-64.

3. И. С. Кривохатко, В. В. Сухов. Критерії подібності вихрових систем літальних апаратів схеми «тандем» // Вопросы проектирования и производства конструкции летательных аппаратов: сб. науч. тр. / М-во освіти і науки України, Нац. аерокосм. ун-т ім. Н. Є. Жуковського «ХАІ». – Харків, 2014. -- Вип. 4 (80). – С. 64–74.

4. И. С. Кривохатко, В. В. Сухов. Определение аэродинамических характеристик летательного аппарата с крылом сложной формы в плане при низких числах Рейнольдса // Авиационно-космическая техника и технология: сб. науч. тр. / М-во освіти і науки України, Нац. аерокосм. ун-т ім. Н. Є. Жуковського «ХАІ». – Харків, 2014. -- Вип. 5(112). – С. 79-85.

5. В.В. Борисов, В.В. Сухов. Метод автоматизированного синтеза конечно-элементной модели стыка центроплана и отъемной части кессона крыла транспортного самолета // Авиационная техника, КГТУ им. А.Н. Туполева, 2014. -- Вып. 1. -- С.7-11.

6. С. В. Іванов, П. Б. Олійник, В. М. Теут. Ідентифікація параметрів математичної моделі судна для забезпечення автоматичного керування в умовах переходу // Східно-Європейський журнал передових технологій. -- №3. --2015. – С.12-15.

Закордонні видання

1. Mishkin D. and Matas J. Matching of Images of Non-planar Objects with View Synthesis. Lecture Notes in Computer Science, vol. 8327, p.30-37. 2014

2. О. М. Masko, I. S. Kryvokhatko, V. V. Sukhov . Experimental research of tandem-scheme UAV model aerodynamic characteristics // Transactions of the Institute of Aviation. Prace Instytutu Lotnictwa – Warsaw, 2014. – No. 4 (237). – P. 63–75.

3. Zbrutsky A.V, Malysheva J.V., Burnashev V.V. Navaigation and orientation system with optical horizon sensor for mini UAV// 2014 IEEE 3rd International Conference on Methods and Systems of Navigation and Motion Control, Kiev, Ukraine 14-17 October 2014. - Kiev, – 2014. - p. 15 - 17.

4. О. М. Nechyporenko The method of analysis of reliability of frequency pressure sensor for systems of air signals of aircraft // Electronics and Control Systems, 2014. - № 3(41). – 41-46 pages. - ISSN 1990-5548.

Доповіді на конференціях

1. Бурнашев В.В., Семидел П.С. Алгоритмы управления посадкой беспилотного самолёта // Научно-техническая конференция ко Дню Науки. Тезисы докладов– К.: НТУУ “КПІ”, 2014. – С. 364 - 367.

2. Бурнашев В.В. Информационное обеспечение автоматической посадки беспилотного самолета // Научно-техническая конференция ко Дню Науки. Тезисы докладов– К.: НТУУ “КПІ”, 2014. – С. 269.

3. Хоменко О.В., Бурнашев В.В. Синтез алгоритмів автоматичного керування заходом на посадку безпілотного літака // тези доповідей учасників XVII науково-технічної конференції

- студентів та молодих вчених “Гіротехнології, навігація, керування рухом та конструювання авіаційно-космічної техніки”, Київ, – 2014. – С. 75.
4. Хотаб А.В., Бурнашев В.В. Автоматичне керування відходом на друге коло безпілотного літака // тези доповідей учасників XVII науково-технічної конференції студентів та молодих вчених “Гіротехнології, навігація, керування рухом та конструювання авіаційно-космічної техніки”, Київ, – 2014. – С. 76.
5. Матусевич Р.І., Прохорчук О.В. Синтез робастного регулятора для системи керування малогабаритного безпілотного літального апарату при впливі вітрових збурень // тези доповідей учасників XVIII науково-технічної конференції студентів та молодих вчених “Гіротехнології, навігація, керування рухом та конструювання авіаційно-космічної техніки”, Київ, – 2015. – С. 30.
6. Семіконь Є.В., Зінченко В.П., Сарибога Г.В. Система енергозабезпечення мікросупутника «НТУУ КП» // тези доповідей учасників XVIII науково-технічної конференції студентів та молодих вчених “Гіротехнології, навігація, керування рухом та конструювання авіаційно-космічної техніки”, Київ, – 2015. – С. 38.
7. Семідел П.С., Бурнашев В.В. Алгоритми керування автоматичним приземленням безпілотного літака на шасі // тези доповідей учасників XVIII науково-технічної конференції студентів та молодих вчених “Гіротехнології, навігація, керування рухом та конструювання авіаційно-космічної техніки”, Київ, – 2015. – С. 39.
8. Сумарев В.Ю., Прохорчук О.В. Одночасне використання двох приймачів СНС в системі навігації та орієнтації БПЛА // тези доповідей учасників XVIII науково-технічної конференції студентів та молодих вчених “Гіротехнології, навігація, керування рухом та конструювання авіаційно-космічної техніки”, Київ, – 2015. – С. 44.
9. О.Э. Копысов, А.В. Збруцкий, Ли Вэй, А.С. Мищук. Оценка эффективности метода гарантирования точности систем управления // X Міжнародна науково-технічна конференція "Гіротехнології, навігація, керування рухом і конструювання авіаційно-космічної техніки". Збірка доповідей – К.: НТУУ “КП”, 2015. – С. 439 - 447.
10. О.О. Пікенін, О.П. Мариношенко, О.В. Прохорчук. Підвищення інформативності багатоспектральних зображень для задач картографічної бази даних // X Міжнародна науково-технічна конференція "Гіротехнології, навігація, керування рухом і конструювання авіаційно-космічної техніки". Збірка доповідей – К.: НТУУ “КП”, 2015. – С. 491 - 499.
11. П.С. Семидел, В.В. Бурнашев. Синтез законов управления автоматическим приземлением самолета на шасси // X Міжнародна науково-технічна конференція "Гіротехнології, навігація, керування рухом і конструювання авіаційно-космічної техніки". Збірка доповідей – К.: НТУУ “КП”, 2015. – С. 526 - 523.
12. Є.В. Семіконь, Г.В. Сарибога. Вольт-амперні характеристики сонячних елементів мікросупутника // X Міжнародна науково-технічна конференція "Гіротехнології, навігація, керування рухом і конструювання авіаційно-космічної техніки". Збірка доповідей – К.: НТУУ “КП”, 2015. – С.132-134
13. Н.В. Бондаренко, А.В. Збруцкий, В.В. Гавриленко, Ли Вэй, Т.В. Стеценко, В.Ю. Трунов. Применение математических моделей вибрационных гироскопов для повышения точности систем управления летательных аппаратов // X Міжнародна науково-технічна конференція "Гіротехнології, навігація, керування рухом і конструювання авіаційно-космічної техніки". Збірка доповідей – К.: НТУУ “КП”, 2015. – С. 328-336.
14. J.A. Malysheva, A.V. Zbrutsky, V.V. Burnashev. Navigation and orientation system with optical horizon sensor for mini UAV // X Міжнародна науково-технічна конференція "Гіротехнології, навігація, керування рухом і конструювання авіаційно-космічної техніки". Збірка доповідей – К.: НТУУ “КП”, 2015. – С.453-458
15. О.О. Пікенін, О.П. Мариношенко, О.В. Прохорчук. Підвищення інформативності багатоспектральних зображень для задач картографічної бази даних // X Міжнародна науково-технічна конференція "Гіротехнології, навігація, керування рухом і конструювання авіаційно-космічної техніки". Збірка доповідей – К.: НТУУ “КП”, 2015. – С. 491-499.

16. О.В. Прохорчук, О.П. Мариношенко, І.С. Студзінська, О.О. Пікєнін. Перспективи використання локальних позиційних систем // X Міжнародна науково-технічна конференція "Гіротехнології, навігація, керування рухом і конструювання авіаційно-космічної техніки". Збірка доповідей – К.: НТУУ "КПІ", 2015. – С. 499-509.
17. Д.І. Степуренко, Л.М. Рижков. Візуалізація результатів коваріаційного аналізу методів визначення орієнтації // X Міжнародна науково-технічна конференція "Гіротехнології, навігація, керування рухом і конструювання авіаційно-космічної техніки". Збірка доповідей – К.: НТУУ "КПІ", 2015. – С. 547-553.
18. S.V. Terokhin, N.G. Chernyak. Instrumental errors of navigation accelerometer nonlinear metrological model's coefficients identification by test-positioning method in terrestrial gravitational field // X Міжнародна науково-технічна конференція "Гіротехнології, навігація, керування рухом і конструювання авіаційно-космічної техніки". Збірка доповідей – К.: НТУУ "КПІ", 2015. – С.553-559.

Підготовка кандидатів наук

Кавешгар Маріам «Система навігації та автоматичного керування рухом автомобіля в умовах небезпек», науковий керівник проф. Збруцький О.В., 21.02.2014.

Бондар Юрій Іванович, «Розрахунково-експериментальний метод визначення зовнішніх навантажень на крило літака з урахуванням статичної аеропружності», науковий керівник проф. Сухов В.В., 04.06.2015.

Кривохатько Ілля Станіславович, «Метод визначення аеродинамічних характеристик літального апарата схеми «тандем», науковий керівник проф. Сухов В.В., 01.10.2015.

Підготовка докторів наук

Апостолюк Владислав Олександрович, «Теорія та проектування коріолісових вібраційних гіроскопів», науковий керівник проф. Збруцький О.В., орієнтовна дата захисту – перший квартал 2016 року.