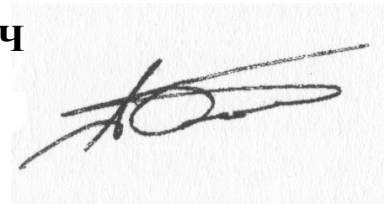


Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»**

ОГАНЕСЯН АРТЕМ СЕМЕНОВИЧ



УДК 531.74:628.92

**МЕТОДИ, МОДЕЛІ ТА ЗАСОБИ ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ В
КОМП'ЮТЕРИЗОВАНІЙ СИСТЕМІ ВИЗНАЧЕННЯ ПОЛОЖЕННЯ
РУЛЬОВИХ ПОВЕРХОНЬ ЛІТАКІВ**

Спеціальність 05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти

**Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук**

Харків – 2012

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі авіаційних приладів і вимірювань Національного аерокосмічного університету ім. М.Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут» Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України.

Науковий керівник доктор технічних наук, професор
Кошовий Микола Дмитрович,
Національний аерокосмічний університет
ім. М.Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут»,
завідувач кафедри авіаційних приладів і вимірювань

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, доцент
Борисенко Анатолій Миколайович,
Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
доцент кафедри теоретичних основ електротехніки


кандидат технічних наук, доцент
Шкіль Олександр Сергійович,
Харківський національний університет радіоелектроніки,
доцент кафедри автоматизації проектування обчислювальної
техніки

Захист відбудеться “24” травня 2012 р. о 14:30 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.050.14 в Національному технічному університеті «Харківський політехнічний інститут» за адресою: 61002, м. Харків, вул. Фрунзе, 21.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» за адресою: 61002, м. Харків, вул. Фрунзе, 21.

Автореферат розісланий “___” _____ 2012 року.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради



І.Г. Ліберг

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Забезпечення комплексної комп'ютеризації та єдиного інформаційного простору в процесі виробництва дозволить здійснювати більш ефективне управління, утворює єдині стандарти інформації у внутрішніх технологічних процесах, надасть можливість прискорити технічні процеси вимірювань, обробки, синтезу та передачі даних. Часткова відсутність цифрового технічного забезпечення у великій кількості стадій виробництва, починаючи з рівня отримання фізичних параметрів, вимірювання і перетворення їх в цифрову форму, призводить до неможливості комплексування інформаційних технологій на рівні підприємств.

Одним з неінтелектуалізованих процесів в авіаційному виробництві є вимірювання кутових відхилень рульових поверхонь літальних апаратів, яке проводиться на стадії виробництва і планового технічного огляду машин. Модернізація вимірювального процесу має створити контрольно-діагностичне та інформаційно-вимірювальне забезпечення процесів створення, збирання, зберігання, обробки, передачі, вводу, виводу та перетворення інформації. Для цих цілей необхідне застосування комп'ютерних інформаційно-вимірювальних систем та їх компонентів.

Вимірювання кутових відхилень в техніці в переважній більшості методів ґрунтується на вимірюванні кута повороту вала, що не може застосовуватися в даній задачі вимірювання кута відхилення рульової поверхні за причиною відсутності технологічної можливості доступу до валу обертання поверхні.

Тому розробка, розвиток та удосконалення комп'ютеризованих інформаційно-вимірювальних систем для отримання даних про кутове положення рульових поверхонь літальних апаратів є актуальною науково-прикладною задачею і визначено напрям дисертаційного дослідження.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана на кафедрі авіаційних приладів і вимірювань Національного аерокосмічного університету ім. М.Є. Жуковського «ХАІ» у процесі виконання досліджень по держбюджетній НДР МОН України «Енергоефективні і ресурсозберігаючі технології та засоби вимірювання, перетворення і використання енергоносіїв літальних апаратів і паливно-енергетичних комплексів» (№ ДР 0106U001053), де здобувач приймав участь як виконавець.

Мета і задачі дослідження. Мета дослідження - підвищення точності вимірювання та інтелектуалізація процесу збору даних про кутове положення рульових поверхонь за рахунок удосконалення і розробки методів, моделей і засобів обробки інформації в комп'ютеризованій системі визначення положення рульових поверхонь.

Для досягнення поставленої мети поставлені завдання:

- провести аналіз існуючих методів і засобів в області первинної та вторинної обробки інформації щодо вимірювання кутових відхилень рульових поверхонь літаків;

- удосконалити існуючі методи вимірювання кутових відхилень рульових поверхонь;

- удосконалити адекватні в умовах даної задачі засоби обробки інформації про існуючий об'єкт;

- розробити засіб інформаційно-вимірювального забезпечення для збору, зберігання, обробки, передачі, вводу, виводу та перетворення інформації, який має можливість використовуватися в комплексній інформаційно-вимірювальній системі;

- дослідити методи синтезу адекватних математичних моделей засобу вимірювання і синтезувати поліноми, що характеризують реакцію системи на зміну вхідних параметрів;

- розробити алгоритмічне, апаратно-програмне забезпечення для проведення процесів вимірювання кутових відхилень рульових поверхонь літаків;

- створити контрольно-діагностичне забезпечення процесів збору та обробки інформації;

- розробити програмний засіб взаємодії оператора з комп'ютерною системою в процесі синтезу математичних моделей, що прискорює процеси обчислень.

Об'єкт дослідження - процеси визначення кутових відхилень рульових поверхонь літальних апаратів.

Предмет дослідження - методи, моделі та засоби обробки інформації в комп'ютеризованій системі визначення положення рульових поверхонь літака.

Методи дослідження. У процесі роботи над дисертацією використовувались ефективні методи синтезу математичних моделей, що базуються на застосуванні фундаментальної теорії планування експерименту, а також методи математичної статистики, математичного моделювання та оптимізації, теоретичні аспекти технічної діагностики (принципи побудови і організація використання систем діагностування). Для оцінки адекватності математичних моделей застосовані методи математичної статистики. При створенні комп'ютеризованої інформаційно-вимірювальної системи та її компонентів використовувалися методи синтезу дискретних пристроїв і методи структурного програмування.

Наукова новизна одержаних результатів:

- *вперше* отримані математичні моделі фотоелектричної системи первинної обробки інформації вимірювача кутових відхилень рульових поверхонь літальних апаратів та математичні моделі похибок цієї системи, що дає можливість оптимізувати використання інформаційно-вимірювальної системи, знизити похибку процесу вимірювань, забезпечити ефективність апаратно-програмних компонентів системи за рахунок інформації, що одержується за допомогою даних моделей;

- *удосконалено* ємнісний метод вимірювання кутових відхилень рульових поверхонь шляхом використання дугоподібних пластин конденсатора, що закріплюються до рульової поверхні і корпусу літального апарату, розбиття першої пластини на дві рівних ділянки, порівняння ємностей двох конденсаторів, які утворились таким чином, що дає можливість збільшити точність вимірювання та більш ефективно використовувати отриману інформацію в системі перетворення.

- *удосконалено* фотоелектричний метод вимірювання кутових відхилень рульових поверхонь літаків, що досягнуто за рахунок способу встановлення оптичних елементів, застосування способу кріплення несучого конструктивного елемента вимірювальної системи, використання фотоелектричних перетворювачів безпосередньо на місці прийому світлового сигналу, що дає можливість інтелектуалізувати і підвищити ефективність застосування такої інформаційно-вимірювальної системи.

Працездатність і достовірність отриманих математичних моделей підтверджено їх практичною перевіркою і результатами роботи комп'ютеризованої інформаційно-вимірювальної системи. Наукова новизна вдосконалених методів і пристроїв, їх реалізація підтверджені отриманими 9 патентами України та зареєстрованими у Державному департаменті інтелектуальної власності свідоцтвами авторських прав на програмне забезпечення.

Практичне значення одержаних результатів для авіаційної промисловості полягає у створенні комп'ютеризованої інформаційно-вимірювальної системи кутових відхилень рульових поверхонь літального апарату, що має можливість впровадження в технологічні процеси виробництва. Розроблено програмне забезпечення, що надає можливість оператору в режимі реального часу відслідковувати функціонування досліджуваної системи, виходом якої є поворот рульових поверхонь літального апарату. Інтерфейс програмного забезпечення дозволяє наочно відображати результати експериментальних досліджень. Розроблені апаратний і апаратно-програмний комплекси мають високі функціональні, структурні та експлуатаційні якості та забезпечують зростання ефективності використання вимірювальних засобів у виробничих процесах.

Удосконалений фотоелектричний метод вимірювання кутових відхилень використовується у практиці контрольно-випробувальної станції Харківського державного авіаційного виробничого підприємства (ХДАВП), в роботі ПАТ «Авіаконтроль» (м. Харків) і ТОВ «ВО Овен» (м. Харків). Застосування результатів роботи дозволило забезпечити інтелектуалізацію процесів вимірювання, отримання вихідних сигналів в цифровому вигляді, підвищити точність вимірювань.

Теоретичні основи і принципи створення фотоелектричних перетворювачів кутових відхилень рульових поверхонь літального апарату, математичні моделі, отримані в дисертаційній роботі, впроваджені в навчальний процес кафедри авіаційних приладів і вимірювань Національного аерокосмічного університету ім. М.Є. Жуковського «ХАІ» в курсах лекцій «Вимірювальні перетворювачі» та «Теорія планування експерименту».

Особистий внесок здобувача. Всі основні результати дисертаційної роботи отримані здобувачем самостійно. Серед них: розробка методики синтезу математичних моделей досліджуваного пристрою; удосконалення фотоелектричного методу обробки інформації про досліджуваний об'єкт; проведення дослідження техніко-економічних показників при виборі елементної бази первинного перетворювача інформації; розробка рішень по обробці інформації в компонентах системи, розробка методики синтезу математичних моделей похибок досліджуваного пристрою; створення програмного забезпечення для проведення експерименту на основі ортогонального центрального композиційного плану;

розробка та інтеграція в інформаційно-вимірювальну систему програмного забезпечення, що забезпечує обробку та відображення інформації на клієнтському обладнанні оператора; розробка та удосконалення теоретичної та програмно-технічної бази комп'ютерних засобів та їх компонентів; внесення удосконалень в засоби вимірювання кутових відхилень рульових поверхонь літальних апаратів за рахунок застосування логічних пристроїв; усунення проблеми засвічування сусідніх приймачів світлового сигналу; забезпечення ефективного кріплення і розташування елементної бази; використання контролерної підсистеми обробки інформації усередині системи. Постановка задач досліджень, аналіз і обговорення отриманих результатів виконувалися здобувачем спільно з науковим керівником.

Апробація результатів дисертації. Наукові результати дисертації були представлені та обговорювались на наступних наукових конференціях: Міжнародних науково-технічних конференціях «Інтегровані комп'ютерні технології в машинобудуванні» ІКТМ-2007, ІКТМ-2008, ІКТМ-2009 (м. Харків, 2007, 2008, 2009 р.р.); X Міжнародній молодіжній науково-практичній конференції «Людина і космос» (м. Дніпропетровськ, 2008 р.); IV Міжнародній науково-практичній конференції «Наукові дослідження - теорія та експеримент 2008» (м. Полтава, 2008 р.); III Міжнародній науково-технічній конференції «Сучасні проблеми світлотехніки» (м. Харків, 2009 р.); Міжнародній науково-технічній конференції «Автоматизація: проблеми, ідеї, рішення» (м. Севастополь, 2009 р.); V Міжнародній науково-практичній конференції «Розвиток наукових досліджень 2009» (м. Полтава, 2009 р.); II Міжнародній науково-практичній конференції «Інтегровані інтелектуальні робото-технічні комплекси (ІРТК-2009)» (м. Київ, 2009 р.), IV Міжнародній науковій конференції «Функціональна база наноелектроніки» (м. Кацивелі, 2011 р.).

Публікації. Основні наукові результати дисертації опубліковано в 27 наукових роботах, серед них: 9 – у фахових виданнях України; 9 патентів України на винаходи; 2 свідоцтва про реєстрацію авторського права на комп'ютерну програму.

Структура дисертації. Дисертація складається із вступу та 4 розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Повний обсяг дисертації складає 184 сторінки, включаючи 39 рисунків за текстом, 25 таблиць за текстом, 125 найменувань використаних науково-технічних джерел на 13 сторінках, 6 додатків на 52 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** до дисертаційної роботи обґрунтовано актуальність теми, визначено зв'язок з науковими програмами, планами та темами. Сформульовано мету та задачі дослідження. Охарактеризовано об'єкт і предмет дослідження, зазначено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів для наукових та прикладних цілей.

Перший розділ дисертаційної роботи присвячено аналізу існуючих методів та засобів, що використовуються для вимірювання кутових відхилень, зокрема кутових відхилень рульових поверхонь літальних апаратів. Описано стан сучасного

неінтелектуалізованого промислового вимірювання кутових відхилень рульових поверхонь на підприємствах авіаційної промисловості.

Наведено класифікацію методів вимірювання кутових відхилень за фізичним принципом дії, структурою, характером та параметром вихідного сигналу, що вимірюється.

Розглянуто найбільш характерні варіанти реалізації зазначених вище методів. Наведено принцип дії вимірювальних перетворювачів, що можуть бути використані в якості первинних перетворювачів інформації аналогових, гібридних і цифрових компонентів комп'ютерних систем. Зазначено переваги та недоліки розглянутих інформаційно-вимірювальних засобів.

Досліджено метод і засіб, що використовуються у вітчизняній авіаційній промисловості для вимірювання кутових відхилень рульових поверхонь літака, спираючись на діючу технологічну інструкцію та реальні процеси вимірювань на підприємствах авіаційної галузі.

Обґрунтовано доцільність досліджень щодо розробки комп'ютеризованої інформаційно-вимірювальної системи, яка має високу точність, дозволяє проводити вимірювання в єдиному інформаційному просторі, надає можливість інтелектуалізувати та автоматизувати виробничі процеси. Такі комп'ютерні системи повинні забезпечувати авіаційне виробництво сучасним засобом, що має високі функціональні, структурні та експлуатаційні якості і дозволяє підвищити якість систем керування в авіаційній промисловості.

У другому розділі роботи викладені теоретичні основи розробки методів та засобів вимірювання кута відхилення рульових поверхонь літального апарату. Запропоновано два базових варіанти побудови інформаційно-вимірювального перетворювача: на базі ємнісного та оптичного методів. Наведено переваги та недоліки при проектуванні, розробці та експлуатації даних засобів.

На основі ємнісного метода вимірювань запропонована первинна система обробки інформації із цифровим виходом, що може бути використана в якості компонента комп'ютерної системи вимірювання кутових відхилень рульових поверхонь літального апарату (рис. 1).

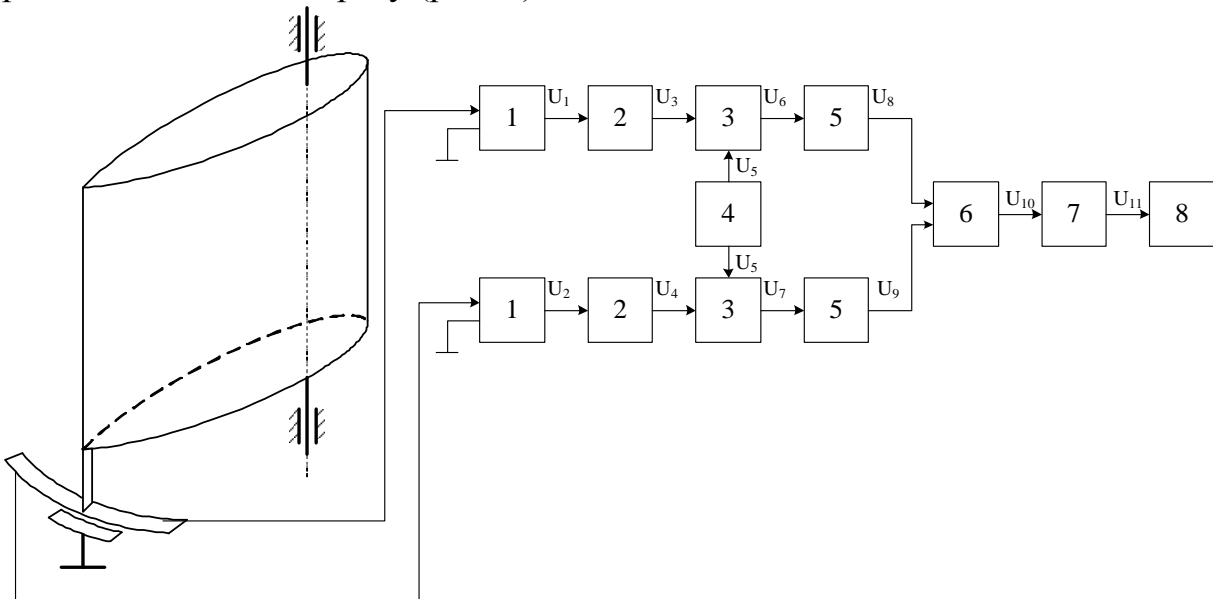


Рис. 1. Ємнісний вимірювальний засіб

Базується такий засіб на зміні електричної ємності конденсатора, що складається з двох струмопровідних пластин, в залежності від варіювання площі перекриття цих пластин. Перша пластина розташовується безпосередньо на рульовій поверхні в площині перпендикулярній до площини руля. Ця пластина має форму дуги, що окреслюється обертанням рульової поверхні, та конструктивно виконана з двох рівних половин. Друга пластина розташована паралельно першій та закріплена статично. Таким чином, при переміщенні першої пластини відносно другої змінюється електрична ємність двох конденсаторів, що утворені другою пластиною та двома частинами першої пластини.

Система перетворення інформації, отриманої з такого датчика, базується на двох RC-автогенераторах. Вихідним сигналом системи є послідовність імпульсів, кількість яких пропорційна до величини кутового відхилення рульової поверхні:

$$\Delta N = C \cdot \Delta \gamma,$$

де ΔN – кількість імпульсів; C – деяке постійне значення; $\Delta \gamma$ – приріст кутового відхилення.

Проте даний первинний компонент інформаційно-вимірювальної комп'ютерної системи є низькотехнологічним, оскільки його розміщення на реальному об'єкті пов'язано з необхідністю ретельного та точного встановлення, чіткого дотримання малих відстаней між двома пластинами конденсаторів, що, дивлячись на розміри рульових поверхонь, є складною і небажаною задачею.

Удосконалено і досліджено також оптичний метод вимірювання. Спираючись на нього, запропоновано компонент інформаційно-вимірювальної системи для збору інформації про кутове відхилення рульових поверхонь літальних апаратів, який представлено на рис. 2.

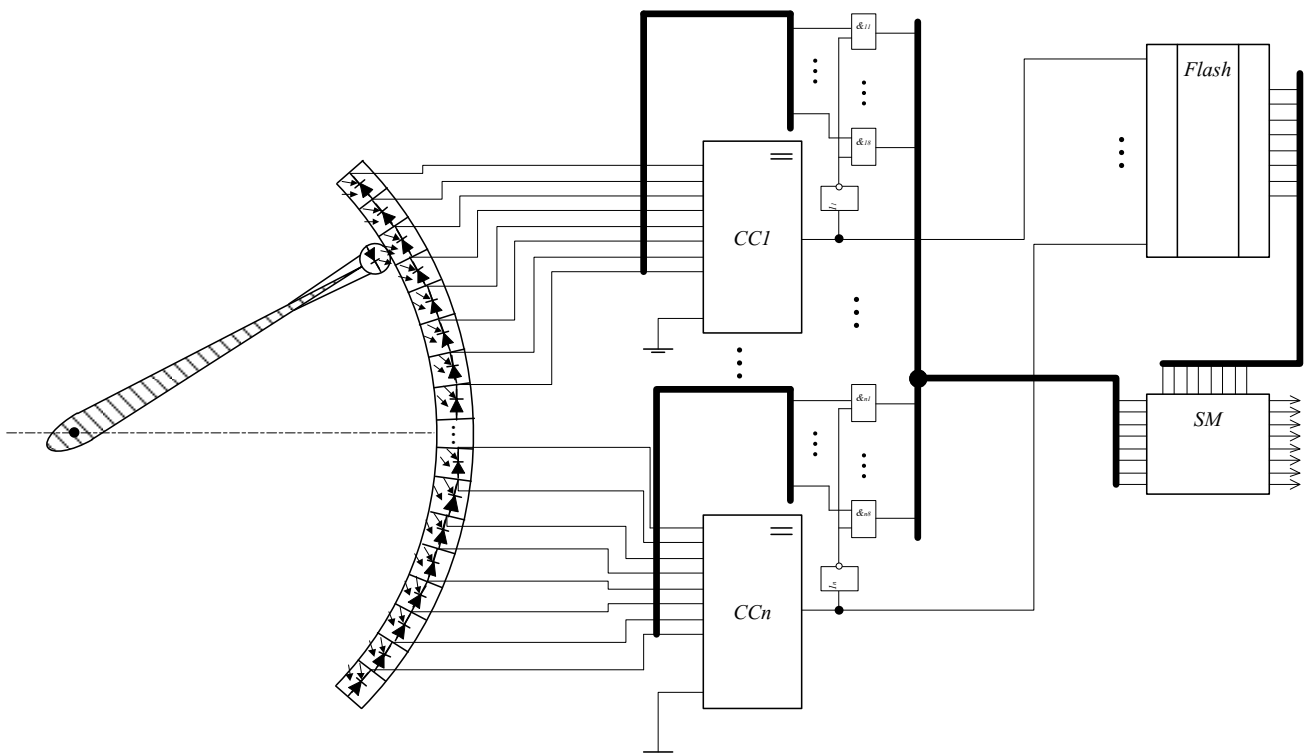


Рис. 2. Оптичний вимірювальний засіб

Випромінюючий елемент прикріплено на кінцівці рульової поверхні, а приймаючі оптичні елементи розташовані по дузі, що окреслюється цією рульовою поверхнею.

При використанні такої системи для її структурної оптимізації та отримання коректної інформації на виході, необхідно усунути проблему одночасного засвічення двох сусідніх приймаючих елементів. Запропоновано два варіанти систем, що вирішують дану проблему. У першій системі використано додатковий блок, що відповідає за розділення інформації, а в другій системі інформація з парних та непарних приймачів розведена на окремі гілки.

За принципом, що використовується у другій системі, запропоновано систему обробки інформації з оптичних датчиків. В ній вагомою перевагою є використання процесорної обробки інформації безпосередньо в системі первинної обробки інформації, що допомагає підвищити ефективність та оптимізувати використання даного засобу.

Враховуючи більшу технологічність, наявність достатнього рівня точності, високу швидкодію, простоту інтеграції в комплексну комп'ютерну інформаційно-вимірювальну систему, в якості оптимального варіанту обрано використання оптичного методу збору інформації.

Таким чином, удосконалено фотоелектричний метод вимірювання кутових відхилень за рахунок способу встановлення оптичних елементів, застосування способу кріплення несучого конструктивного елемента вимірювальної системи, використання фотоелектричних перетворювачів безпосередньо на місці прийому світлового сигналу, що дає можливість інтелектуалізувати і підвищити ефективність застосування такої інформаційно-вимірювальної системи.

Наведено аналіз різної елементної бази, яка може бути використана при реалізації оптичного інформаційно-вимірювального засобу. Запропоновано системи з використанням оптичних волокон та напівпровідникових приймачів. Спираючись на економічні та технічні показники ефективності застосування тих чи інших елементів, найбільш ефективними в якості приймачів первинної інформації комп'ютерної системи вимірювання кутових відхилень рульових поверхонь літальних апаратів обрано використання фототранзисторів ВРТ-ВР2931 і ВРТ-ВР2331.

Третій розділ дисертації присвячено експериментальному дослідженню, моделюванню й оптимізації інформаційно-вимірювальної системи, орієнтованої на вимірювання кутових відхилень рульових поверхонь літальних апаратів.

Для дослідження первинного перетворюючого компоненту оптичної інформаційно-вимірювальної системи обрано метод планування експерименту. Це дослідження має встановити рівень впливу найбільш характерних факторів на вихідний сигнал приймачів. Вихідним сигналом з фотоелектричних приймачів є рівень напруги.

Основними факторами, що впливають на результат вимірювання при проведенні тестування літального апарату, є фізичні координати встановлення приймачів відносно випромінювача. В даному випадку це: β – кут відхилення центральної осі випромінювача від центральної осі приймача; Δy – інтервал між центральними осями приймаючого та випромінюючого елементів; Δx – дистанція

між приймаючим та випромінюючим елементами. Найбільш ефективним буде отримання інформації з трьох приймачів, що розташовані в безпосередній близькості один від одного (рис. 3). Таким чином, для кожної точки плану експерименту можна відстежити реакцію трьох елементів і зробити висновок чи не засвічується більше двох приймачів одночасно та виявити граничний рівень напруги, при якому засвічення третього елемента за даних умов неможливо.

Для повного факторного експерименту (ПФЕ) 2^3 необхідно визначити рівні та інтервали варіювання факторів (табл. 1).

Таблиця 1

Рівні та інтервали варіювання факторів

Фактори	Рівні факторів			Інтервали варіювання	Розмірність
	-1	0	+1		
$x_1(\beta)$	-3,5	0	3,5	3,5	град
$x_2(\Delta y)$	-2,5	0	2,5	2,5	мм
$x_3(\Delta x)$	0	2	4	2	мм

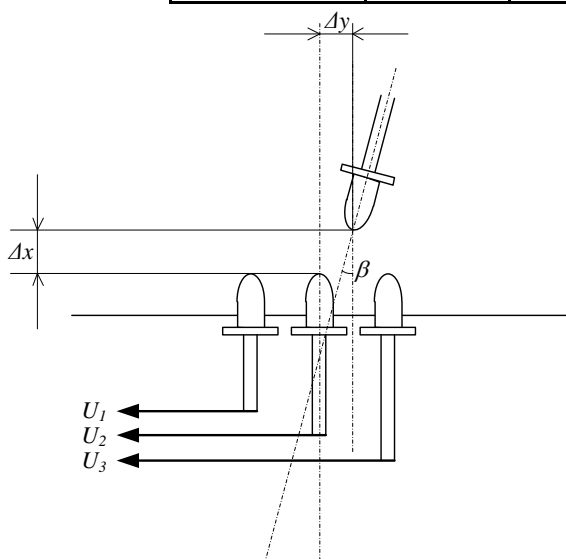


Рис. 3. Фактори та параметри оптимізації

На основі ПФЕ 2^3 отримується математична модель первинного перетворювача виду

$$U = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{123}x_1x_2x_3.$$

Методом аналізу перестановок строк вхідної матриці планування отримано оптимальний за вартістю реалізації план експерименту, ґрунтуючись на якому отримані коефіцієнти математичних моделей для двох видів фототранзисторів.

Перевірка адекватності отриманих моделей дала негативний результат. Не дивлячись на задовільний рівень F-критерія, практична перевірка математичних моделей показала хибний результат, крім того виявлено неоднорідність дисперсій за критерієм Кохрена.

Для отримання адекватних моделей запропоновано провести дослідження, що базується на ортогональному центральному композиційному плані (ОЦКП) експерименту. Задля цього проведено розширення факторного простору та отримані нові рівні та інтервали варіювання факторів (табл. 2).

Базуючись на ОЦКП, можна отримати поліноми другого порядку, що з більшою точністю описують реальний об'єкт дослідження. Ці математичні моделі будуть представлені наступним чином

$$U = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{11}(x_1^2 - a) + b_{22}(x_2^2 - a) + b_{33}(x_3^2 - a)$$

В цих рівняннях a – параметр зміщення, що для випадку трьох факторів дорівнює 0,7303.

Таблиця 2

Рівні та інтервали варіювання факторів для ОЦКП

Фактори	Рівні факторів					Інтервали варіювання	Розмірність
	$-\alpha$	-1	0	$+1$	$+\alpha$		
$x_1(\beta)$	-4,25	-3,50	0,00	3,50	4,25	3,50	град
$x_2(\Delta y)$	-3,00	-2,50	0,00	2,50	3,00	2,50	мм
$x_3(\Delta x)$	0,00	0,40	2,40	4,40	4,80	2,00	мм

Аналогічно із ПФЕ шляхом аналізу перестановок строк вхідної матриці планування отримано оптимальний за вартісними витратами план експерименту. За цим планом синтезовано математичні моделі другого порядку для двох видів приймачів. В даному випадку адекватність моделей підтверджено і за критерієм Фішера ($\gamma = 0,95$), і на основі практичної перевірки отриманих поліномів. Використовуючи критерій Ст'юдента ($\gamma = 0,95$), знайдені довірчі інтервали для коефіцієнтів регресії таких систем рівнянь. В результаті отримані спрощені математичні залежності:

1) для фототранзисторів ВРТ-ВР2331:

$$\begin{cases} U_1 = 76,44 - 2,92x_1 + 53,39x_2 + 4,87x_2^2; \\ U_2 = 22,27 + 3,57x_2 - 3,98x_2x_3 + 10,89x_2^2; \\ U_3 = 108,67 + 4,19x_1 - 53,57x_2 - 7,02x_1^2 - 16,50x_2^2 - 7,80x_3^2; \end{cases}$$

2) для фототранзисторів ВРТ-ВР2931:

$$\begin{cases} U_1 = 91,10 + 51,64x_2 - 2,58x_3 - 3,38x_2x_3 - 4,62x_2^2; \\ U_2 = 26,29 + 13,34x_2^2; \\ U_3 = 87,27 + 3,00x_1 - 47,75x_2 - 5,25x_3 + 5,88x_2x_3 - 5,07x_2^2. \end{cases}$$

Виявлено, що для фототранзисторів ВРТ-ВР2931 максимальна відносна похибка результатів використання математичних моделей нижче ніж для фототранзисторів ВРТ-ВР2331 і складає 5,0%. Тобто використання фототранзисторів ВРТ-ВР2931 є більш виправданим.

Рекомендації щодо оптимізації процесу вимірювання за допомогою розробленої інформаційно-вимірювальної системи базуються на дослідженні значень абсолютних похибок при проведенні експерименту. Наведено дві методики дослідження абсолютних похибок:

- 1) базується на синтезі математичних моделей похибок;
- 2) основана на обчисленні похибки в кожній точці плану, для чого використовуються математичні моделі системи, які наведені вище.

За першою методикою отримано наступні математичні моделі похибок:

$$\Delta U_{BP2331} = 14,77 - 1,42x_1 + 3,57x_2 + 0,28x_3 - 1,73x_1x_2 + 1,41x_1x_3 - 3,97x_2x_3 + 0,74(x_1^2 - a) + 10,90(x_2^2 - a) + 1,56(x_3^2 - a);$$

$$\Delta U_{BP2931} = 16,22 - 1,03x_1 - 0,06x_2 + 1,16x_3 - 1,43x_1x_2 + 0,29x_1x_3 + 0,70x_2x_3 - 1,26(x_1^2 - a) + 13,34(x_2^2 - a) - 0,38(x_3^2 - a).$$

Результати обчислень за рівняннями, отриманими таким чином (по першій і другій методикам), порівнюються з експериментальними значеннями абсолютних похибок в кожній точці плану експерименту. Друга методика виявилась більш ефективною за точністю оцінювання похибки.

В четвертому розділі обґрунтовано створення алгоритмічного та апаратно-програмного забезпечення автоматизації процесів вимірювання кутових відхилень рульових поверхонь. Проведено аналіз методів автоматизації аналогічних виробничих процесів. Виконано аналіз методів і засобів забезпечення ефективності контролю, діагностики, визначення параметрів, відлагодження, випробування, а також проектування високоефективних, надійних, придатних для контролю та діагностики комп'ютерних систем та мереж, їх пристроїв та компонентів.

Запропоновано програмно-апаратні засоби для автоматизації досліджень, в яких використовуються методи теорії планування експерименту. Розроблено автоматизовану систему для проведення багатofакторного експерименту, що формує значення рівнів факторів при проведенні практичних дослідів. Докладно описана дія запропонованої системи з наведенням прикладів.

На основі дослідження експериментів, що базуються на ОЦКП, побудовано програмну систему синтезу математичних моделей другого порядку. Даний алгоритмічний засіб опрацювання інформації, представлений формалізованими знаннями, дозволяє швидко та без зайвих громіздких обчислень отримувати потрібні поліноміальні залежності, базуючись на результатах експериментальних досліджень.

Впроваджена автоматизована система параметричного контролю, за допомогою якої проводиться оцінювання технічного стану об'єкту шляхом перевірки значень параметрів у контрольних точках об'єкта.

Розроблено апаратно-програмний комплекс для проведення виробничого тестування кутових відхилень рульових поверхонь літального апарату (рис. 4). Цей комплекс, призначений для використання в промисловості, складається з апаратної частини – блоку перетворення інформації та програмного забезпечення, що дозволяє оператору в режимі реального часу своєчасно отримувати інформацію про кутовий стан рульових поверхонь. Система може використовуватись в автономному режимі, коли інформація поступає тільки на комп'ютер оператора, також має можливість застосування замкнутого режиму інтеграції з системою автоматичного управління літального апарату.

Всі викладки в даному розділі виходять з результатів, отриманих в попередніх розділах. Зокрема: задано дискретність інформаційно-вимірювальної системи; відстежується граничний рівень напруги на виході з фототранзисторів 35 мВ; на основі результатів дослідження використано саме ту елементну базу, що пропонується в розділах 2 та 3; для обробки результатів роботи програмного комплексу можна використовувати вище викладені методики визначення похибок.

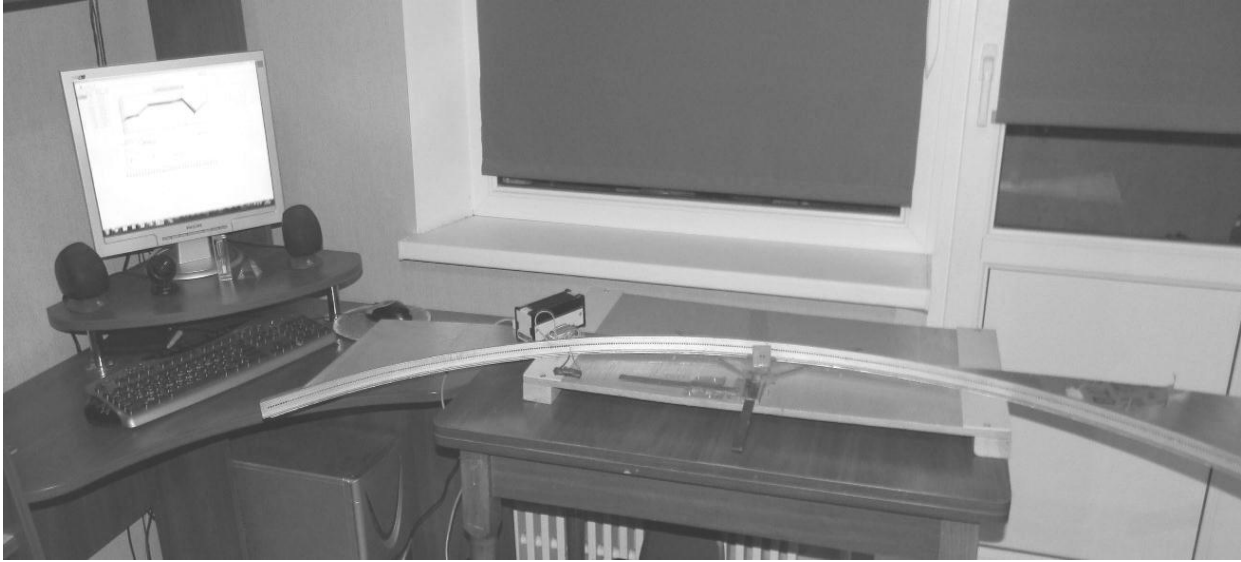


Рис. 4. Апаратно-програмний комплекс тестування відхилень рульових поверхонь.

ВИСНОВКИ

Дисертаційна робота пов'язана з рішенням науково-практичної задачі удосконалення методів та інформаційно-вимірювальних засобів для визначення кута повороту рульових поверхонь літального апарату. Удосконалено ємнісний та оптичний методи вимірювань. Для оптичного методу отримано математичні моделі, що описують реакцію елементів первинного перетворювача. Розроблено обладнання для застосування отриманих результатів в комп'ютеризованому комплексі отримання, обробки, перетворення та зберігання інформації.

Основні висновки:

1. Проведено аналіз існуючих методів і засобів обробки інформації щодо вимірювання кутових відхилень рульових поверхонь літаків. Розглянуто існуючі в авіаційній промисловості засоби вимірювань, які характеризуються низькою інтелектуальністю, відсутністю можливості сполучення з іншими пристроями, низькою інформативністю.

2. Удосконалено ємнісний і оптичний методи вимірювання кутових відхилень рульових поверхонь літака. Використання даних методів надає можливість більш ефективно і оперативно проводити збір інформації з об'єкту.

3. На основі удосконалених методів розроблено і досліджено засоби вимірювань. При використанні ємнісного перетворювача існує ряд недоліків, через що прийнято рішення в якості базового використовувати оптичний засіб вимірювання, точність якого може досягати: 11' - для руля висоти Ан-74; 19' - для руля висоти Ан-140; 20' - для елерона Ан-74; 23' - для елерона Ан-140; 7' - для руля напряму Ан-74; 16' - для руля напряму Ан-140.

4. Розроблено засіб інформаційно-вимірювального забезпечення збору, зберігання, обробки, передачі, вводу, виводу та перетворення інформації, який має можливість використовуватися в комплексній інформаційно-вимірювальній системі. Відповідно до техніко-економічних показників прийнято рішення в якості елементної бази датчика використовувати фототранзистори, так як при цьому незначно знижується точність вимірів: 15' - для руля висоти Ан-74; 27' - для руля

висоти Ан-140; 28' - для елерона Ан-74; 32' - для елерона Ан-140; 10' - для руля напрямку Ан-74; 22' - для руля напрямку Ан-140.

5. Із застосуванням методики планування експерименту синтезовано математичні моделі, що характеризують реакцію системи на зміну вхідних параметрів, в ролі яких визначені просторові координати джерела випромінювання відносно до приймачів. Доведено адекватність отриманих математичних моделей; визначено граничний рівень сигналу в 35 мВ; максимальна відносна похибка моделей становить 5,0% для випадку застосування приймачів ВРТ-ВР2931 і 5,9% - для приймачів ВРТ-ВР2331. Ґрунтуючись на цьому, проведено остаточний вибір елементної бази - прийнято рішення використовувати фототранзистори ВРТ-ВР2931.

6. Розроблено апаратно-програмне забезпечення блока перетворення інформації, що дозволяє з'єднувати первинний вимірювач з комп'ютером оператора. Створено алгоритмічне та програмне забезпечення, що дозволяє скоротити час обробки інформації про кутове відхилення рульових поверхонь з 2 годин до 10 хвилин.

7. Створено контрольно-діагностичне забезпечення процесів збору та обробки інформації, що надає можливості оперативного перетворення експериментальних даних.

8. Розроблено програмний засіб взаємодії оператора з комп'ютерною системою в процесі синтезу математичних моделей, що дозволяє отримувати необхідні поліноми після введення результатів експерименту.

Результати роботи підтверджено апробацією в Харківському державному авіаційному виробничому підприємстві (ХДАВП), ПАТ «Авіаконтроль» (м. Харків), ТОВ «ВО Овен» (м. Харків). Також результати впроваджені в навчальний процес Національного аерокосмічного університету ім. М.Є. Жуковського «ХАІ».

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Оганесян А.С. Универсальный фотоэлектрический датчик углового перемещения рулевых поверхностей самолета / Н.Д. Кошевой, А.С. Оганесян // Збірник наукових праць військового інституту Київського національного університету ім. Тараса Шевченка. – К.: Обрій. – 2008. – Вип. 11. – С. 34-37.

2. Оганесян А.С. Сравнительный анализ альтернативных элементных баз фотоэлектрического датчика углового перемещения рулевых поверхностей самолетов Ан-74 и Ан-140 / Н.Д. Кошевой, А.С. Оганесян // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: Сб. науч трудов. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – Харьков. – 2008. – Вып. 38. – С. 223 – 229.

3. Оганесян А.С. Схемотехнические решения по проектированию оптического устройства для измерения угла поворота рулевой поверхности самолета / А.С. Оганесян, Н.Д. Кошевой, М.В. Цеховской // Світлотехніка та електроенергетика. – Харків. – 2009. – №3 – С. 75-78.

4. Оганесян А.С. Применение методики планирования эксперимента при исследовании устройства для измерения угловых отклонений рулевых поверхностей

самолета / А.С. Оганесян, Н.Д. Кошевой, М.В. Цеховской, В.А. Гордиенко // *Авіаційно-космічна техніка і технологія*. – Харків. – 2009. – Вып. 6. – С. 48-53.

5. Oganesyanyan A.S. Investigation into optoelectronic aviation angle meter by the design-of-experiment method / A.S. Oganesyanyan, M.V. Tsekhovskiy, N.D. Koshevoy, V.A. Gordienko // *Telecommunications and Radio Engineering*. – N.Y. – 2010. – № 9, Vol. 69. – P. 841-847.

6. Оганесян А.С. Синтез математических моделей авиационного оптического угломера / Н.Д. Кошевой, А.С. Оганесян, Е.М. Костенко // *Математичне моделювання*. – Дніпродзержинськ. – 2010. – № 1 (22). – С. 31-35.

7. Оганесян А.С. Синтез та дослідження математичних моделей похибок вимірювача кутового відхилення рульових поверхонь літака / М.Д. Кошовий, А.С. Оганесян, О.М. Костенко // *Метрологія та прилади*. – Харків: Фавор. – 2010. – № 4 (24). – С. 37-40.

8. Оганесян А.С. Программно-аппаратный комплекс компьютеризированной системы измерения углового отклонения рулевых поверхностей летательного аппарата / А.С. Оганесян, М.В. Цеховской, Н.Д. Кошевой // *Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: Сб. науч. трудов Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ»*. – Вып. 49. – Х., 2011. – С. 162-168.

9. Oganesyanyan A.S. Design of element's construction in device for measuring steering surface's angle of deviation / N.D. Koshevoy, A.S. Oganesyanyan, M.V. Tsekhovskiy // *Вісник Черкаського державного технологічного університету*. – Черкаси. – 2009. – С. 135-137.

10. Оганесян А.С. Пристрій для вимірювання кутового переміщення рульових поверхонь літака / А.С. Оганесян, М.Д. Кошовий, М.В. Цеховський // *X Міжнародна молодіжна науково-практична конференція «Людина і Космос», 9-11 квітня 2008 р.: Збірник тез*. – Дніпропетровськ, 2008. – С. 194-195.

11. Oganesyanyan A. Steering surface's angle of deviation electronic measuring device / N. Koshevoy, A. Oganesyanyan // *«Наукові дослідження – теорія та експеримент 2008»*: Матеріали четвертої міжнародної науково-практичної конференції, 19-21 травня 2008 р.: Тези доп. – Полтава: Вид-во «ІнтерГрафіка». – 2008. – Т.8. – С. 29-30.

12. Оганесян А.С. Проблемы светотехнического измерения угловых отклонений рулевых поверхностей самолета и методы их решения // *Сучасні проблеми світлотехніки. Міжнародна науково-технічна конференція. 22-23 квітня 2009 р.: Тези доп.* – Харків: ХНАМГ. – 2009. – С. 89-91.

13. Оганесян А.С. Загальні питання вимірювання кутового переміщення рульових поверхонь літака / М.Д. Кошовий, А.С. Оганесян, М.В. Цеховський // *Інтегровані інтелектуальні робото-технічні комплекси (ІРТК-2009)*. Міжнар. науково-практ. конф. 25-28 травня 2009р.: Тези доп. – К. – 2009. – С. 167-168.

14. Оганесян А.С. Получение цифрового сигнала в измерении угла отклонения рулевой поверхности самолета / Н.Д. Кошевой, А.С. Оганесян, М.В. Цеховской // *Автоматизация: проблемы, идеи, решения. Международная научно-техническая конференция. 7-12 сентября 2009 г.: Тезисы докл.* – Севастополь. – 2009. – С. 212-213.

15. Оганесян А.С. Разработка фотоэлектрического датчика углового перемещения рулевых поверхностей самолета // Интегровані комп'ютерні технології в машинобудуванні «ІКТМ – 2007»: Міжнар. наук.-техн. конф. 17-18 травня 2007.: Тези доп. – Х.: ХАИ. – 2007. – С. 45-46.

16. Оганесян А.С. Программно-аппаратный комплекс для параметрического контроля / В.А. Дергачев, А.С. Савельев, А.С. Оганесян, Е.В. Сидоренко, Е.А. Сухобрус // Розвиток наукових досліджень 2009. Міжнародна науково-практична конференція. 23-25 листопада 2009 р. – Полтава. – 2009. – С. 31-32.

17. Пат. № 27040, Україна, МПК (2006) G01B 11/26. Фотоелектричний датчик кутового переміщення рульової поверхні літака / Оганесян А.С., Кошовий М.Д.; заявник і патентовласник Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут». – Заявл. 20.06.2007; Опубл. 10.10.2007, Бюл. № 16. – 4 с.

18. Пат. №52416, Україна, МПК (2009) G01B 11/26. Пристрій для вимірювання кутового відхилення рульової поверхні літака / Субота А.М., Оганесян А.С., Іваненко А.В. ; заявник і патентовласник Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут». – Заявл. 01.03.2010; Опубл. 25.08.2010, Бюл. № 16. – 4 с.

19. Пат. № 33535, Україна, МПК (2006) G01B 11/26. Оптронний датчик кутового переміщення рульової поверхні літака / Кошовий М.Д., Оганесян А.С., Цеховський М.В.; заявник і патентовласник Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут». – Заявл. 29.02.2008; Опубл. 25.06.2008, Бюл. № 12, 2008. – 4 с.

20. Пат. № 36496, Україна, МПК (2006) G01B 11/26. Цифровий датчик кутового переміщення рульової поверхні літака / Кошовий М.Д., Оганесян А.С., Цеховський М.В.; заявник і патентовласник Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут». – Заявл. 28.05.2008; Опубл. 27.10.2008, Бюл. №20. – 5 с.

21. Пат. № 36500, Україна, МПК (2006) G01B 11/26. Цифровий оптронний датчик кутового переміщення рульової поверхні літака / Кошовий М.Д., Оганесян А.С., Цеховський М.В.; заявник і патентовласник Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут». – Заявл. 28.05.2008; Опубл. 27.10.2008, Бюл. №20. – 4 с.

22. Пат. № 46220, Україна, МПК (2006) G01B 11/26. Пристрій для вимірювання кутового відхилення рульової поверхні літака / Оганесян А.С., Цеховський М.В., Кошовий М.Д.; заявник і патентовласник Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут». – Заявл. 30.06.2009; Опубл. 10.12.2009, Бюл. №23. – 5 с.

23. Пат. № 55950, Україна, МПК (2006) G02F 7/00. Система обробки інформації з фотодатчиків / Оганесян А.С., Цеховський М.В., Кошовий М.Д., Анікін А.М.; заявник і патентовласник Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут». – Заявл. 22.07.2010; Опубл. 27.12.2010, Бюл. №24. – 4 с.

24. Пат. № 49801, Україна, МПК (2006) G06F 17/00. Автоматизована система для проведення багатофакторного експерименту / Кошовий М.Д., Костенко О.М., Дергачов В.А., Цеховський М.В., Оганесян А.С.; заявник і патентовласник

Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут». – Заявл. 27.11.2009; Опубл. 11.05.2010, Бюл. №9. – 4 с.

25. Пат. № 50104, Україна, МПК (2006) G06F 11/30. Автоматизована система параметричного контролю / Кошовий М.Д., Костенко О.М., Дергачов В.А., Цеховський М.В., Оганесян А.С.; заявник і патентовласник Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут». – Заявл. 30.11.2009; Опубл. 25.05.2010, Бюл. №10. – 5 с.

26. Комп'ютерна програма “Комплекс ортогонального центрального композиційного планування експерименту” / А.С. Оганесян, М.В. Цеховський, М.Д. Кошовий // Свідоцтво про реєстр. авторського права на твір № 36940. – Зареєстр. в Держ. департ. інтелектуальної власності Мін. освіти і науки України 15.02.2011 р.

27. Комп'ютерна програма “Програмний комплекс обробки інформації комп'ютерної системи контролю кутового відхилення рульових поверхонь літального апарату” / А.С. Оганесян, М.В. Цеховський, М.Д. Кошовий, О.В. Гапоненков // Свідоцтво про реєстр. авторського права на твір № 37681. – Зареєстр. в Держ. департ. інтелектуальної власності Мін. освіти і науки України 31.03.2011 р.

АНОТАЦІЇ

Оганесян А.С. Методи, моделі та засоби обробки інформації в комп'ютеризованій системі визначення положення рульових поверхонь літаків. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти. – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут». Харків. – 2011.

Дисертацію присвячено вирішенню задачі вдосконалення існуючих та впровадженню нових методів та засобів вимірювання кутових відхилень рульових поверхонь літальних апаратів, підвищенню ефективності, оптимізації та застосування інформаційно-вимірювальних систем, орієнтованих на визначення кутових відхилень рульових поверхонь, і комп'ютеризованих систем діагностування та контролю процесів вимірювань, впровадженню апаратно-програмних засобів вимірювань, контролю. Окремо розглянуто синтез адекватних математичних моделей, що описують процес прийому інформації первинним перетворювачем, запропоновано програмне забезпечення для побудови таких поліномів.

Удосконалено ємнісний та оптичний (фотоелектричний) методи вимірювання відхилень рульових поверхонь літального апарату. Запропоновано інформаційно-вимірювальний засіб на основі оптичного методу. Розроблено датчик вимірювального пристрою. Вперше синтезовано математичні моделі другого порядку, що адекватно описують первинний перетворювач. Дістав подальшого розвитку напрям поліпшення технічних показників вимірювачів кутових відхилень рульових поверхонь літального апарату.

Ключові слова: кутове відхилення, перетворення інформації в інформаційно-вимірювальних системах, рульові поверхні, фотоелектричний метод, вдосконалення програмно-технічної бази засобів комп'ютерних систем, планування експерименту,

інтелектуалізація інформаційно-вимірювальних систем, комп'ютерні системи, компоненти комп'ютерних систем.

Оганесян А.С. Методы, модели и средства обработки информации в компьютеризированной системе определения положения рулевых поверхностей самолетов. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.05 – компьютерные системы и компоненты. – Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт». Харьков. – 2011.

Диссертация посвящена решению научно-прикладной задачи усовершенствования существующих и внедрению новых методов и средств измерения угловых отклонений рулевых поверхностей летательных аппаратов, повышению эффективности, оптимизации и применению информационно-измерительных систем, ориентированных на исследование угловых отклонений рулевых поверхностей, и компьютеризированных систем диагностирования и контроля процессов измерений, внедрению аппаратно-программных средств измерений, контроля.

Описаны используемые в промышленности методы определения угловых отклонений. Произведена их классификация, рассмотрены наиболее характерные варианты реализации. Исследованы методы, используемые в современном отечественном авиационном производстве, для определения угловых отклонений рулевых поверхностей.

Детально рассмотрен и усовершенствован емкостной метод измерения. Приведены средства сопряжения устройства, использующего емкостной метод для определения положения рулевых поверхностей, с компьютерными системами. Однако, при его использовании выявлены существенные недостатки: громоздкость конструкции, необходимость точного соблюдения малых расстояний между пластинами конденсатора, неудобство проведения монтажа.

Поэтому предложен, исследован и усовершенствован фотоэлектрический метод измерения, на основе которого создана компьютеризированная информационно-измерительная система, имеющая возможность функционирования в автономном и замкнутом режимах. Для данного метода проведен анализ альтернативных элементных баз, в результате чего определены устройства, применение которых является наиболее эффективным. Разработаны функциональные схемы, предоставляющие возможность качественной передачи сигнала в компьютеризированную систему непосредственно с измерителя. Преимуществами использования фотоэлектрического метода являются: точность, практичность, простота преобразования информации, технологичность.

Отдельно рассмотрены методы синтеза адекватных математических моделей, описывающих процесс получения информации первичным преобразователем. Использована методика планирования эксперимента. Уравнения регрессии первого порядка получены посредством полного факторного эксперимента 2^3 . Показана недостаточная степень адекватности полиномов первого порядка. Принято решение о синтезе уравнений регрессии второго порядка с применением ортогонального центрального композиционного плана на основе полного факторного

эксперимента 2³. Доказана адекватность полиномов второго порядка. Аналогичным образом получены квадратичные математические модели абсолютных погрешностей измерений, используя которые можно оптимизировать процессы определения угловых отклонений рулевых поверхностей летательных аппаратов.

Предложено программное обеспечение для построения математических моделей второго порядка, базирующееся на расчете коэффициентов регрессии по ортогональным центральным композиционным планам эксперимента. Обоснована возможность применения данной программы при использовании методики планирования эксперимента в различных областях теоретических и практических исследований.

Разработаны аппаратные и аппаратно-программные средства, применяемые для автоматизации параметрического контроля процесса измерения, автоматизации проведения многофакторных экспериментов, контроля угловых отклонений рулевых поверхностей летательного аппарата. Аппаратно-программное средство контроля угловых отклонений рулевых поверхностей позволяет в оперативном режиме отслеживать, преобразовывать, архивировать и выводить в графическом виде данные, получаемые в процессе измерений.

Усовершенствованы емкостной и оптический (фотоэлектрический) методы измерения угловых отклонений рулевых поверхностей летательного аппарата. Предложено информационно-измерительное средство на основе оптического метода. Разработан датчик измерительного устройства. Впервые синтезированы математические модели второго порядка, адекватно отображающие реакцию первичного преобразователя на изменение условий эксперимента. Получило дальнейшее развитие направление улучшения технических показателей измерителей угловых отклонений рулевых поверхностей летательного аппарата.

Ключевые слова: угловое отклонение, преобразование информации в информационно-измерительных системах, рулевые поверхности, фотоэлектрический метод, усовершенствование программно-технической базы средств компьютерных систем, планирования эксперимента, интеллектуализация информационно-измерительных систем, компьютерные системы, компоненты компьютерных систем.

Oganesyan A.S. Methods, models and tools for processing information in a computerized information system for deviations of aircraft's steering surfaces. - Manuscript.

Thesis for scientific degree candidate of technical sciences in the specialty 05.13.05 - computer systems and components. - National Technical University "Kharkov Polytechnic Institute". Kharkiv. - 2011.

Dissertation is devoted to problems of improving the existing and introduction of new methods and means of measuring the angular deviation of steering the aircraft surfaces, increasing efficiency and optimizing use of information and measurement systems-oriented research steering angular deviations of surfaces, and computerized systems for diagnosing and monitoring measurement processes, implementation of hardware and software measurement, control. Considered methods for synthesis of adequate mathematical models that describe the proposed converter is proposed software solution for the construction of such polynomials.

The capacitive and the optical (photoelectric) methods of measuring the angular deviation of steering the aircraft surfaces are improved. The optical-method-based tool is proposed. A sensor of measuring device is constructed. First synthesized a mathematical model of second order that adequately reflect the transducer. Given further development direction of improvement of performance measuring angular deviation of steering the aircraft surfaces.

Key words: angular deviation, information-measuring systems data conversion, steering surface, the photoelectric method, improving of computer systems program-technical means base, experiment planning, information-measuring systems intellectualization, computer systems, components of computer systems.

Підп. до друку 5.04.12. Формат 60×84 1/16. Спосіб друку – ризографія.
Умов. друк. арк. 1,2. Облік. вид. арк. 1,1. Тираж 100 прим.
Зам. № 2-328. Ціна договірна.

ХНУРЕ. Україна. 61166, Харків, просп. Леніна, 14

Віддруковано в навчально-науковому
видавничо-поліграфічному центрі ХНУРЕ
61166, Харків, просп. Леніна, 14