

УДК 531.787

М. Улінович ПРИКЛАДНІ МЕТОДИ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ПОВІТРЯНИХ СУДЕН

Системи ідентифікації являють собою процес визначення адекватної математичної моделі на основі вводу- виводу даних. У статті представлено кілька найбільш часто використовуваних методів ідентифікації повітряних суден. Описані методи порівнюються по простоті використовуваної узагальненої моделі, перешкодам системи, вимірним даними вводу-виводу і простоті реалізації. Ця стаття є першим кроком у виборі відповідного методу ідентифікації повітряних суден в режимі реального часу з метою управління.

Ключові слова: ідентифікація повітряних суден, системи керування.

УДК 004.93'11

О. О. Пікєнін, О. В. Прохорчук, І. О. Кучерявенко МОДИФІКАЦІЯ ФІЛЬТРІВ ОБРОБКИ БАГАТОСПЕКТРАЛЬНИХ ЗОБРАЖЕНЬ ДЛЯ ЗАДАЧ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ

Модифікація фільтрів для обробки багатоспектральних зображень забезпечує високу інформативність та точність оброблених знімків для збільшення рівня пошукової здатності до обраного об'єкту (аеропорт, машина, берегова лінія) в незалежності від шумів, ракурсу знімку, якості оригінального зображення.

В ході виконання роботи було проведено дослідження на прикладі зображення аеропорту ESSA (Стокгольм), наданим компанією Jerpesen (США), які показали, що після доповнення локальних методів фільтрації методом селективного згладжування, підвищилось відношення сигнал/шум (зменшився вплив аналогових шумів), розмиття контурів об'єкта майже не впливає на інформативність, що підвищило розпізнавальну здатність та дало можливість чітко виділити об'єкт (злітну смугу). Нелокальний метод в поєднанні з медіанним проходженням дав можливість ефективно видаляти з зображення шум, не впливаючи на окремі його пікселі. Медіанне проходження при оптимальних значеннях вибраної апертури зберігає без спотворення різкі межі об'єктів, зменшуючи некорельовані або слабо корельовані шуми і малорозмірні деталі. Метод м'якої граничної вейвлет обробки модифікований нерізким маскуванням вводить нові ознаки контурів, розділяючи на зображенні чорне та біле поля, значення тону яких відповідають ознакам "біліше білого" і "чорніше чорного". Ця властивість приводить до утворення чіткої середньої лінії злітної смуги.

Використання модифікованих фільтрів покращило дешифрувальний стан зображень, а саме підвищило контрастність, поліпшило градаційну структуру, зменшило вплив шумів на оригінальне зображення, що дало можливість розрізняти малорозмірні об'єкти, які не можна було спостерігати на оригінальних знімках, та виділяти об'єкти з тепловими аномаліями і об'єкти, що несуттєво відрізняються за кольором у видимому діапазоні на оригінальних знімках.

Ключові слова: багатоспектральні зображення, фільтрація багатоспектральних зображень, дистанційне зондування землі, нелокальний метод, локальні методи.

УДК 621.396:621.372

Л. М. Рижков, Д. М. Бахтін АРХІТЕКТУРА ТА ОРГАНІЗАЦІЯ СИСТЕМИ ОБРОБКИ НАВІГАЦІЙНОЇ ІНФОРМАЦІЇ МІКРОСУПУТНИКА

Система навігації повинна забезпечувати точне і швидке визначення навігаційних параметрів мікросупутника, а також бути малогабаритною та мати мале енергоспоживання. Система обробки навігаційної інформації мікросупутника

використовується для визначення, реєстрації та обробки навігаційної інформації з метою визначення положення мікросупутника відносно Землі та подальшої передачі цієї інформації для виконання покладених на мікросупутник завдань. У даній статті запропонована структура апаратно-програмного комплексу, та на основі досліджень стандартів обміну інформацією між навігаційними пристроями, паспортних даних та електричних схем приймача АН-4706, проаналізована можливість її застосування. Це дозволить забезпечити малогабаритність, зменшення енергоспоживання, та дасть можливість підвищити точність реєстрації та обробки навігаційної інформації мікросупутника за рахунок застосування сучасних алгоритмів обробки інформації та фільтрації сигналів.

Ключові слова: мікросупутник, система обробки навігаційної інформації мікросупутника, навігаційна інформація, архітектура системи обробки навігаційної інформації мікросупутника.

УДК 62-752.4:621.373.8

Є. А. Бондаренко ОЦІНКА ЗАЛЕЖНОСТІ ЗОНИ СИНХРОНІЗАЦІЇ ЛАЗЕРНОГО ГІРОСКОПА ВІД РАДІУСА КРИВИЗНИ СФЕРИЧНИХ ДЗЕРКАЛ

Для лазерного гіроскопа з чотирикутним квадратним резонатором (з периметром 20 см) на основі розробленої математичної моделі [Bondarenko E.A. // Quantum Electronics, 41, 824 (2011); 42, 465 (2012)] виконано кількісну оцінку залежності напівширини зони синхронізації частот зустрічних хвиль від радіуса кривизни сферичних дзеркал. Результати оцінки на якісному рівні узгоджуються з відомими експериментальними даними, що були отримані для гіроскопа з трьохдзеркальним резонатором.

Ключові слова: лазерний гіроскоп, кільцевий газовий лазер, синхронізація частот зустрічних хвиль.

УДК: 681.327+656.34-523

Ли Вэй, С. В. Зинченко, В. П. Зинченко КЕРУВАННЯ ПОТОКОМ У АЕРОДИНАМІЧНІЙ ТРУБІ

Запропоновано алгоритм програмного керування потоком в дозвуковій аеродинамічній трубі в режимі реального часу на основі математичної моделі за припущення, що потік нестискуваний, ізотермічний і відбувається в горизонтальній площині без урахування об'ємних сил. Прикладне програмне забезпечення має два рівні, які взаємодіють через загальну область пам'яті двох комп'ютерів. Один комп'ютер здійснює регулювання, а інший - виконує управління експериментом, що забезпечує відповідність експериментальних і натурних умов, необхідну точність та інформативність.

Ключові слова: алгоритм, керування, потік, експеримент, програмне забезпечення, аеродинамічна труба.

УДК 621.396

А. Копит МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ОПЕРАТОРА В СИСТЕМАХ ЛЮДИНА - МАШИНА. ПРОБЛЕМИ І РІШЕННЯ

У всіх завданнях, де людина є невід'ємною частиною системи необхідно ідентифікувати модель людини-оператора. У деяких випадках немає необхідності розробляти складну форму моделі оператора. Але є деякі проекти, які вимагають дуже точну модель людини. Така модель може дати нам набагато більше точну реакцію

людини під час імітації. І результати можуть бути більш схожі на результати справжнього випробування.

Ключові слова: системи людина- машина, оператор, системи керування.

УДК 621.396.9

О. В. Збруцький, Г.Є. Янкелевич **ВИЗНАЧЕННЯ** **КООРДИНАТ**
КОРИСТУВАЧА В СУПУТНИКОВИХ НАВІГАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ

Запропоновано систему лінійних алгебраїчних рівнянь за допомогою якої можна визначати координати користувача та поправку різниці часів годинників супутника та користувача в супутникових навігаційних системах.

Ключові слова: супутникові навігаційні системи, координати користувача, поправка різниці часів годинників.

УДК 681.3, УДК 532

О. П. Мариношенко, М. Ю. Коноваленко **МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ РУХУ**
РОБОЧОГО ТІЛА ВИХРОВОГО ДВИГУНА-ГЕНЕРАТОРА ПО ТОРОЇДНІЙ
ТРАЄКТОРІЇ

Проведений аналіз руху рідини, показав що рух має складну просторову траєкторію і дозволив вперше отримати математичну модель та описані вирази, для діючих сил, при вихровому русі робочого тіла в замкненому об'ємі, по тороїдній траєкторії. Це дає змогу промоделювати вихровий рух рідини, проаналізувати та здійснити реалізацію даного дослідження, у вигляді працездатної моделі вихрового двигуна-генератора.

Ключові слова: вихровий рух, вихровий двигун, вихор в обмеженому просторі, математична модель вихору.

УДК 629.735.33

І. С. Кривохатько, О. М. Масько **ВИБІР АЕРОДИНАМІЧНОЇ СХЕМИ БПЛА**
КОНТЕЙНЕРНОГО СТАРТУ З ВРАХУВАННЯМ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БОКОВОЇ
СТІЙКОСТІ

Досліджено питання формування загального аеродинамічного обрису безпілотного літального апарату контейнерного старту. Обґрунтовано застосування аеродинамічної схеми тандем. Запропоновано підхід у визначення раціональних геометричних розмірів окремих частин безпілотного літального апарату. Отримані теоретичні характеристики перевірялись експериментально та підтвердили теоретичні розрахунки. Запропоновано методику визначення обрису та визначені перспективні напрями дослідження.

Ключові слова: БпЛА, стійкість, керованість, проектування.

УДК 534.1

В. Г. Савін, Н. І. Штефан, В. М. Шаранов **ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ**
ДОСЛІДЖЕННЯ ЦИЛІНДРИЧНОГО П'ЄЗОЕЛЕКТРИЧНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА
ПРИ ЕЛЕКТРИЧНОМУ ІМПУЛЬСНОМУ ЗБУДЖЕННІ

Наведені експериментальні дослідження, які показують можливість практичного застосування математичних моделей, що описують процес нестационарної поведінки циліндричного п'єзоелектричного перетворювача (випромінювача).

Наведено опис вимірювальної установки та умови проведення експериментів.

Проведений аналіз отриманих результатів їх порівняння з теоретичними. На основі виконаних розрахунків та експериментів зроблено висновок щодо застосування на практиці моделі циліндричного п'єзоелектричного перетворювача, що базується на лінійній теорії Кірхгофа-Лява в нестационарних задачах при розрахунку циліндричних перетворювачів.

Необхідно зауважити, що прийняті геометричні розміри п'єзоелектричного циліндра характерні для реальних випромінювачів на режимах, що є близькими до робочих.

Розглянуто збудження перетворювача на порівняно низьких резонансних частотах. Із зростанням частоти електричного сигналу, що підводиться, або при збуджуючій дії електричними імпульсами складної форми зі стрибками напруги, розбіжність експериментальних та теоретичних результатів, може збільшуватись. Однак, режими, що вивчаються, є робочими для гідроакустичних систем та їх дослідження представляє собою найбільший інтерес.

Ключові слова: нестационарна поведінка, циліндричний п'єзоелектричний перетворювач, експериментальні дослідження.

УДК 539.595

В. В. Губська ВИМУШЕНІ КОЛИВАННЯ КОНІЧНОГО РЕЗЕРВУАРУ І РІДИНИ З ВІЛЬНОЮ ПОВЕРХНЕЮ ПІД ДІЄЮ ПЕРИОДИЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ

Розглянуто задачу про вимушені нелінійні коливання резервуару у формі усіченого конуса і рідини з вільною поверхнею при їх сумісному русі. Поведінка системи розглядається в рамках нелінійної моделі на тривалому проміжку часу. Досліджено задачу про вихід такої системи на усталений режим коливань при збудженні руху системи гармонічною силою, що діє за законом $\sin \omega t$, а також періодичною силою пилообразної форми $(2/\pi)\arcsin(\sin \omega t)$ в зоні частот до резонансу, в малому околі резонансу, а також більших за резонанс. В усіх випадках вихід на режим усталених коливань не відбувався, хоча для частот, більших за резонанс, проявлявся ефект виходу на впорядковані коливання з суттєвою модуляцією.

Ключові слова: нелінійна динаміка, вільна поверхня рідини, вихід на усталений режим.

УДК 629.7.021

И. В. Король, А. Д. Молодчик ОЦЕНКА АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОТСЕКА КРЫЛА ЧИСЛЕННЫМ МЕТОДОМ С УЧЕТОМ ВЯЗКОСТИ

Требования к аэродинамическим характеристикам летательных аппаратов (далее ЛА) постоянно повышаются, что делает задачу улучшения аэродинамических характеристик крыловых профилей несущих поверхностей все более актуальной и злободневной. В связи с этим дальнейшие исследования в этой области должны быть направлены на создание специализированных аэродинамических профилей с заданными для выполнения конкретных задач, улучшенными аэродинамическими характеристиками. Выполнение этой задачи тесно связано с использованием численных методов, основанных на решении уравнений Навье-Стокса с моделированием условий, которые влияют на движение ЛА в реальной среде.

Решены задачи с использованием расчетной программы «*FLOWWORKS*», показавшей удовлетворительную сходимость в тестовом расчете с результатами параметрических данных. Решение численной задачи по определению основных аэродинамических характеристик крыла на основе профиля *D-2* с максимальной относительной толщиной 30% выявило ряд преимуществ, таких как смещение

аэродинамического фокуса к 30% от носка крыла, увеличение площади самого профиля, соответственно, и доли наполняемого подъемного газа. В дальнейшем планируется совершенствовать данный профиль для проектирования ЛА с аэростатической поддержкой с помощью расчетной программы «*FLOWORKS*».

Получены основные аэродинамические характеристики, из анализа которых можно сделать вывод о целесообразности использования крыла с вихрегенераторами по передней кромке. Уже в первом приближении видно, что вихрегенераторы, неклассической формы, установленные на передней кромке крыла обеспечивают значительное увеличение подъемной силы, при небольшом повышении лобового сопротивления.

Дальнейшие исследования будут направлены на оптимизацию геометрии вихрегенераторов и их количества, а так же на борьбу со срывом потока на больших углах атаки и малых *Re*.

Ключевые слова: аэродинамика, крыло, профиль, вихрь, вихрегенератор, вязкость, уравнения Навье-Стокса, числа Рейнольдса.

УДК 629.7.015

А. Г. Казак, Р. В. Карнаушенко, О. П. Мариношенко ІДЕНТИФІКАЦІЯ АЕРОДИНАМІЧНИХ КОЕФІЦІЄНТІВ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ БОКОВОГО РУХУ ЛІТАЛЬНОГО АПАРАТА

Системи автоматичного керування літальним апаратом повинні забезпечувати точну і швидку реакцію на командний вплив, незважаючи на значні зміни умов польоту. Адаптивне керування є одним з основних методів вирішення таких проблем як точне і швидке визначення поточних параметрів під час польоту. У даній статті запропонований метод, який є вдосконаленим методом ідентифікації на основі синтезу адаптивної системи. Він поєднує переваги відомих методів ідентифікації аеродинамічних коефіцієнтів поданих у відкритих джерелах. Метод ідентифікації аеродинамічних коефіцієнтів дозволяє досить добре визначити аеродинамічні коефіцієнти із записів льотних випробувань: після проведення ідентифікації збільшується ступінь збіжності перехідних процесів реального ЛА і його математичної моделі. Цей метод забезпечить підвищення точності ідентифікації параметрів руху ЛА.

Ключові слова: ідентифікація аеродинамічних коефіцієнтів, синтез адаптивної системи, льотні випробування, аеродинамічні похідні, боковий рух літака.

УДК 531/534

Т. В. Балабанова, О. В. Шевченко ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТІ ІНТЕГРАЦІЇ МЕТОДУ ВУЗЛОВОЇ КОНДЕНСАЦІЇ ТА ПАКЕТУ СКІНЧЕННО-ЕЛЕМЕНТНОГО АНАЛІЗУ

В сучасних інерціальних навігаційних системах широко застосовуються датчики з пружними підвісами. У загальному випадку пружні підвіси мають вигляд просторових конструкцій, а вибір їх оптимальних параметрів вимагає багаторазових розрахунків і, в першу чергу, характеристик жорсткості.

Розглянуто можливість поєднання методу вузлової конденсації та пакету пакеті прикладних програм скінченно-елементного аналізу. Це дає змогу розраховувати характеристики складних механічних конструкцій у аналітичному вигляді, заощаджувати час розрахунків та машинний ресурс.

Можливість поєднання двох методів розглянуто на прикладі розрахунку жорсткісних характеристик пружного підвісу камертонного мікромеханічного гіроскопу. Для порівняння проведено моделювання у пакеті прикладних програм скінченно-елементного аналізу. Результати співпали з достатньою точністю. Таким

чином доведено можливість інтеграції методу вузлової конденсації та пакету скінченно-елементного аналізу.

Ключові слова: метод вузлової конденсації, пружний підвіс, просторові конструкції, жорсткісні характеристики.

УДК.539.3

С. І. Трубачев, О. Н. Алексейчук **ВИМУШЕНІ КОЛИВАННЯ ПЛАСТИН НА ПРУЖНІЙ ОСНОВІ З УРАХУВАННЯМ ПОВЗУЧОСТІ МАТЕРІАЛУ**

Досліджено вимушені коливання пластини, що лежить на пружній основі, з урахуванням повзучості матеріалу. Розв'язок задачі отримано методом Бубнова-Гальоркіна з урахуванням декількох форм коливань. Амплітудно-частотні характеристики знаходили методом підвищення жорсткостей, який заснований на варіаційно-сітковому підході побудови функціоналу типу Релея і мінімізований методом покоординатного спуску. Розглянуто стійкість стаціонарних коливань. Наведені аналітичні залежності показують вплив повзучості матеріалу на амплітуду вимушених коливань.

Ключові слова: вимушені коливання, повзучість матеріалу.

УДК 62-531.787

О. М. Нечипоренко, К. А. Лебедєва **СИСТЕМА АВТОМАТИЗОВАНОГО КОНТРОЛЮ БАРОМЕТРИЧНИХ ВИСОТОМІРІВ ЛІТАЛЬНОГО АПАРАТУ**

Проведена оптимізація релейної цифрової системи автоматизованого контролю, яка може бути використана для синтезу автоматизованої системи контролю, градування і перевірки, оптимальної за точністю, надійністю і швидкодією, з можливістю зняття варіації показань контролюємих засобів повітряного тиску.

Ключові слова: система автоматизованого контролю, швидкодія, барометричний висотомір.

УДК 681.5

І. М. Голінко, І. Є. Галицька, В. Ю. Степаненко **СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ІЗ КОМПЕНСАЦІЄЮ НЕЛІНІЙНОСТІ ВИКОНУЮЧОГО ПРИСТРОЮ**

Вирішується завдання подолання недоліків систем керування, пов'язаних із наявністю інерційності та статичної нелінійності виконуючих пристроїв. Розглянуто системи каскадного керування, де в якості виконуючого пристрою використовується допоміжний контур стабілізації витрати, який зменшує негативний вплив інерційності та нелінійності регулюючого клапану. Запропоновано алгоритм цифрового керування, який у сигналі регулювання враховує статичні та динамічні властивості виконуючого пристрою. Проведено дослідження роботи описаних контурів керування. Виходячи з результатів видно, що розглянуті методи компенсації негативних властивостей регулюючих клапанів зменшують перерегулювання та тривалість перехідних процесів у реальних системах керування.

Ключові слова: інерційність, статична нелінійність, контур регулювання, виконуючий пристрій, ПІ регулятор, система керування.

УДК 681.3

О. М. Бондаренко, Д. Є. Івахнюк **МЕТОДИ ЗМЕНШЕННЯ УДАРНОГО ВПЛИВУ НА ВИХІДНИЙ СИГНАЛ ДАТЧИКА КУТОВОЇ ШВИДКОСТІ**

Запропоновано амортизацію та інтегрування по періоду вихідного сигналу як засоби зменшення впливу ударних навантажень на роботу елементів систем управління

літальних апаратів. Ефективність таких засобів становить декілька разів. Показано, що зазначеної ефективності достатньо для зменшення до припустимого рівня впливу ударів на вихідний сигнал датчика кутової швидкості як елемента системи управління літальних апаратів. Із використанням сучасної науково-технічної літератури визначено методики розрахунку запропонованих систем ударного захисту. Запропоновані методики перевірено моделюванням в системі Matlab.

Ключові слова: інерціальні навігаційні системи, акселерометр, кутова швидкість, ударні навантаження, система амортизації, коефіцієнт динамічності системи, демодуляція, інтегрування по періоду.

УДК 629.7

Г.А. Вірченко, Д.Д. Пасічник, А.Й. Незенко ОСОБЛИВОСТІ НІВЕЛЮВАННЯ ЛІТАКІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ЛАЗЕРНОЇ КООРДИНАТНО-ВИМІРЮВАЛЬНОЇ МАШИНИ

У статті подано основні можливості та переваги нівелювання з використанням лазерних координатно-вимірювальних систем.

Запропоновано спосіб проведення «математичного вирівнювання», при застосуванні якого спочатку здійснюється обчислення параметрів системи координат літака при переході від системи координат, в якій проводилося вимірювання, і після цього робиться перерахунок координат вимірюваних точок в дану систему координат. Це дозволяє уникати необхідності точного встановлення літака в горизонтальне положення.

Проаналізовано нові можливості аналізу деформацій поверхонь завдяки швидкому обміру великої кількості точок поверхні агрегату, на основі яких генерується нова електронна модель фактичної геометрії об'єкта для проведення аеродинамічних досліджень.

Ключові слова: лазерна координатно-вимірювальна машина, математичне вирівнювання, нівелювання літака.

УДК 629.072.57

А. Прач, О. Текіналп NONLINEAR CONTROL FOR HIGH-ANGLE-OF-ATTACK AIRCRAFT FLIGHT USING THE STATE-DEPENDENT RICCATI EQUATION

В цій статті представлено застосування методу state-dependent Riccati equation (SDRE) для проектування системи керування польотом літака, що працює в нелінійному режимі польоту. SDRE це метод нелінійного керування, який вимагає параметризації нелінійної динаміки в формі залежній від коефіцієнтів вектору стану.

В регуляторі стеження реалізується подвійний контур. Невідповідності у зв'язку з факторизацією у внутрішньому контурі виправляються за допомогою нелінійного компенсатора. Для дослідження роботи SDRE регулятора використовується нелінійна модель літака.

Ключові слова: SDRE, нелінійне керування, проблема стеження.

УДК 519.71

О. В. Збруцький, А. С. Міщук АДАПТИВНИЙ АЛГОРИТМ КЕРУВАННЯ ІЗ ЗАДАНОЮ ТОЧНІСТЮ ЗА НЕВИЗНАЧЕНИХ ЗОВНІШНІХ ЗБУРЕННЯХ

Запропоновано адаптивний алгоритм керування із гарантованою точністю, який залежить від прогнозування стану системи в кожен наступний момент часу. Зміна параметрів системи відбувається в залежності від прогнозованої зміни зовнішнього збурення. Розглянуто використання нейронної мережі в якості модулю прогнозування стану системи в кожен наступний момент часу. Наведено результати моделювання

А н о т а ц і ї

функціонування системи. Доведено ефективність адаптивного алгоритму для забезпечення заданої точності системи керування за довільного збурення.

Ключові слова: системи автоматичного керування, інтелектуальні системи керування, адаптивне керування, нейронні мережі.

UDC 531.787

M. Ulinowicz METHODS APPLIED TO AIRCRAFT IDENTIFICATION

System identification is the process of determining an adequate mathematical model on the basis of input-output data. It is crucial for aircraft control systems. Determining the model of considered system in real time can improve the accuracy of the control.

Recently the concept of More Electrical Aircraft MEA is highly promoted in aircraft engineering. Taking this into consideration, more electrical systems in aircraft means also more highly reliable control systems. That is the reason of great interest in identification techniques which leads to accurate system model and also its control based on this model.

In the paper few commonly used parameter methods for aircraft identification are presented. At first different types of identification and phases of this process are described. After that different kinds of models especially commonly used linear regression models are discussed. As an example the 6 DOF linearized aircraft motion model is presented.

Next identification algorithms for aircraft implementation such as Maximum Likelihood Methods and Real-Time Identification Methods are considered. Described methods are compared with respect to the simplicity of used generalized model, noises of the system and measured input-output data, calculations time and simplicity of implementation.

This paper is a first step to choose appropriate method for the real-time aircraft identification for control purposes.

Keywords: *aircraft identification, control systems.*

UDC 004.93'11

A. A. Pikienin, A. V. Prokhorchuk, I. O. Kycheravenko MODIFICATION OF FILTERS OF MULTISPECTRAL RASTER IMAGES TO SOLVE THE PROBLEM OF REMOTE PROBING

Methods of remote Earth probing (REP) is widely used to solve various problems. There are areas of application of remote sensing: the search of minerals, information on the environment, assessing the state, the study of ecosystems and their diversity, hydrography, evaluation of consequences of natural disasters. There are more than 20 companies in the world involved in REP tasks, including: Jeppesen, Trimble, ArcGis, GeoGude, Spectra Precision.

Modern remote Earth probing devices from high-flying carriers capture images in the visible and infrared ranges. Altogether brightness distribution of corresponding images form multidimensional geometric object – multispectral image (MSI), the components of which give the spatial form and physical condition of recorded material objects.

The main method of reducing the dimension MSI presented in this format, currently are the filtering of multiple components, which leads to the approximation of the brightness distribution of the source bitmap set of graphics primitives.

The task of increasing of remote probing image information content in each case requires individual approach to images using the combined information processing algorithms, since there is no universal approach that would be able to provide a high level descramble condition of such images.

To solve the problem of remote probing, namely providing high information content and precision there is lack of universal tool (filtration method) that would be able to provide a high level of ability to search the selected unit (airport, car, coastline) regardless of the angle, the picture quality of the original image and computing power. Currently almost all the problems related to information content and accuracy is a heuristic task that requires an individual approach to each shot.

Studies on the example of airport ESSA (Stockholm) provided by Jeppesen (USA) showed that after addition of local filtering methods using selective smoothing, improved signal/noise ratio (decreased effect of analog noise) and blur the contours of the object has almost no effect on the information content, which increased the distinctive ability and made it possible to clearly identify the object (runway).

Analysis and modification of existing filters and correction of existing search methods for increasing information content of multispectral raster images (search of small object) based on filtering polychromatic shades and brightness thresholds.

The use of modified filters and search methods made it possible to create a software product, which greatly improved the images descramblecondition, making it possible to differentiate small objects that cannot be seen on the original images, and select objects with thermal anomalies and objects which slightly differ in color in the visible range on the original images.

Keywords: *modification of filters, multispectral raster images, remote sensing of the earth, the nonlocal method, local methods.*

UDC 621.396:621.372

L. Ryzhkov, D. Bakhtin ARCHITECTURE AND ORGANIZATION THE SYSTEM THAT HANDLES THE NAVIGATIONAL INFORMATION OF MICROSATELLITE

The navigation system must provide accurate and rapid determination of microsatellite navigation information, be small-sized and have low power consumption. Navigational information microsatellite's processing system (NIMPS) used to identify microsatellite, recording and processing of navigation data to determine the position of microsatellite relative Earth and the subsequent transfer of this information to carry of microsatellite tasks. In this article, the structure of hardware and software system, and research-based standards for the exchange of information between navigation devices, passport data and electrical circuits of the receiver AN-4706, analyzed the possibility of its application.

Conventionally NIMPS can be divided into on-board (devices on board microsatellite) and off-board components (hardware and software that runs on Earth).

The main components of NIMPS are receiver radio frequencies (RF – receiver), the navigation processor, RF-antenna and additional elements for the operation: output serial interface for transferring data RS-232 software to display navigation information and more.

The practical significance of the proposed presents the printed circuit board that can be used for further experimental studies of microsatellite processing of navigational information.

This will ensure small-sized, reducing power consumption, and enable to improve the accuracy of registration and processing of microsatellite navigation information through the use of advanced algorithms for processing and filtering of signals.

Keywords: *system that handles the navigational information of microsatellite, microsatellite navigation data processing, architecture of navigation information system of microsatellite.*

UDC 62-752.4:621.373.8

E. A. Bondarenko ESTIMATION OF THE LASER GYRO SYNCHRONIZATION ZONE DEPENDENCE ON THE CURVATURE RADIUS OF SPHERICAL MIRRORS

A laser gyro with a four-mirror square resonator (having a perimeter of 20 cm) is considered. For this device, on the basis of the developed mathematical model [Bondarenko E. A. // Quantum Electronics, 41, 824 (2011); 42, 465 (2012)], a quantitative estimation of the dependence of the half-width of the synchronization zone of the frequencies of counterpropagating waves on the curvature radius of the spherical mirrors is performed. The

A b s t r a c t

results of such estimation are in qualitative agreement with the known experimental data obtained for a gyro with a three-mirror resonator.

Keywords: *laser gyro, ring gas laser, frequency synchronization of counterpropagating waves.*

UDC: 681.327+656.34-523

Li Wey, S. V. Zinchenko, V. P. Zinchenk **GAS FLOW CONTROL IN A WIND TUNNEL**

Power unit (compressor, fan, etc.) wind tunnel (ADT) to create airflow in which to put the object model for experimental research. We need an algorithm for support (flow control) of the velocity head, and the speed with precision and change the function of the transition from current values to set.

Mathematical model of gas movement takes into account the state of the thread, geometry and surface quality elements ADT, as well as the dynamics of power installation. Turbulent motion of a viscous incompressible gas is described by the Stokes equation and the continuity. The uniqueness of a solution accomplished by setting boundary and initial conditions.

Differential pressure generated by the power plant, is spent to overcome the hydraulic resistance caused by the forces of the resistance and friction. Value of pressure drop for a given velocity, and flow rate is determined from the solution of the problem of stationary motion of the gas. Use of methods and algorithms of determination of coefficients of friction resistance and local forces. Resistance of the object model, power plants, etc. are measured and determined in real-time experiment.

The solution of nonstationary equations of axisymmetric motion of gas in a cylindrical coordinate system with boundary and initial condition is obtained by the method of separation of variables as a combination of involuntary movements from changes in the pressure gradient in the absence of initial motion and change movement caused the initial state.

The value of velocity and volumetric flow rate is determined in the form of series of special cylindrical functions in the assumption of possible expansion of describing the dynamics of the energy facility, in Fourier series on the observation interval.

Shows the structural and functional scheme of the system of flow control, which performs the rough (output into the specified area) and exact (support of parameter values) the regulation and management of the experiment. The algorithm flow control and the stationary solution of the problem is presented in the form of procedures. Application software includes two levels, interacting through shared memory. To implement the algorithm proposed in the operating system of real time QNX/ Linux on the first and W CE on the second level of the system. In the future will be tested tools and methods to support the experiment in real time.

Keywords: *algorithm, control, gas flow, experiment software, wind tunnel.*

UDC 621.396

A. Kopyt **THE MATHEMATICAL MODEL OF AN OPERATOR IN A HUMAN – MACHINE SYSTEMS. PROBLEMS AND SOLUTIONS**

In all of the problems where human is a inherent part of a system it is needed to identify a model of a human operator. In some cases it is not necessary to develop a complicated form of an operator's model. But there are some projects which demand a very precise human model. Such a model can give us much more accurate response of a human during the simulation. And the results may be more similar to the results took during the real test.

Keywords: human transfer function, identification, human – machine systems, operator, control systems, transmittance.

UDC 621.396.9

A. V. Zbrutcky, G. Ye. Yankelevich DETERMINATION OF USER COORDINATE POSITIONS IN SATELLITES NAVIGATION SYSTEMS

In satellite navigation systems (SNS) the user's and satellites' coordinates and the difference between the satellite and the user clocks are connected by the system of nonlinear equations of pseudo-distances between satellites and the user. The usage of these equations in calculations is not convenient. Therefore, for calculation of the user's coordinates and the difference between clocks in SNS the linearized by Taylor series expansion and rejection of members of the second order of smallness equations are used. Thus the calculation of these variables is carried out by iterations.

By algebraic manipulations it is possible to transform the system of nonlinear equations of pseudo-distances between satellites and the user into a system of linear equations about the coordinates of the user and the difference between the satellites' and the user's clocks. Application of the method of iteration is not required. Therefore, the application of such a system of linear equations will reduce the number and the count of these variables.

Keywords: satellites navigation systems, user's coordinates, difference between the satellite and the user clocks.

UDC 681.3, UDC 532

A. Marinoshenko, M. Konovalenko MATHEMATICAL MODEL OF WORKING FLUID MOTION, VORTEX ENGINE-GENERATOR ON TOROIDAL TRAJECTORY

The vortex motion is a promising direction for the development of the engine. The basis of the formation of vortex motion is the laws of hydrodynamics. The article deals with recent advances in fluid dynamics used in aviation and aerospace. As well as approaches to the definition and description of the vortex motion of fluid and gas. The urgency of the problem is that not enough attention paid in the literature to develop a mathematical model and there are significant differences in the description of the principle of work and the processes occurring in the vortex motor-generator, and the creation of vortex motion in the mid of specific engine structure will reduce the energy consumption.

The object of the work is necessity of development a mathematical model of vortex motion the working fluid of the engine-generator for toroidal path created in the working engine volume.

The analysis of fluid motion showed that the movement has a complex spatial trajectory and allowed for the first time to obtain a mathematical model and describe expressions for operating forces in vortex motion of the working fluid in a closed volume on toroidal path. This allows simulate vortex fluid motion, analyze and make the implementation of this study, as a workable model vortex engine-generator.

Keywords: vortex motion on the toroid, vortex engine, the vortex in a limited space, the mathematical model of a vortex.

UDC 629.735.33

I. Kryvokhatko, A. Masko DEFINITION OF THE AERODYNAMIC CONFIGURATION OF THE TUBE LAUNCH UAV WITH COLLATERAL LATERAL STABILITY

In this case of study the analysis of methods of designing unmanned aircraft launch container with regard to the requirements of sustainability were conducted. In this study

A b s t r a c t

theoretical and empirical methods were used, theoretical calculations are confirmed by field experiment.

Based on theoretical approaches were formed and justified a general outline of aircraft. During the work was used a complex method of decision-making based on expert analysis. For this was defined a list of criteria that most accurately describes the requirements for object of development, calculated numerical values of the coefficients weight b_i and numerical values t_i of each criterion for a particular layout. In the analysis was founded that the most rational aerodynamic layout for a "tandem" or "duck" with a total normalized value 0.8145. Determination of design parameters were based on a region of acceptable rational values of design options 6 specific wing load and energy available. Field of values formed with consideration of general requirements and restrictions placed for the aircraft. Considering layout restrictions layout of unmanned aircraft was designed and main geometrical characteristics was calculated.

Consideration of the impact of geometric parameters on the characteristics of stability was conducted on based of developed mathematical model. Verification of the mathematical model was conducted in a wind tunnel AT-1 ("Antonov"). To determine characteristics of lateral stability were tested model schemes " tandem " with the various positions of the wings: longitudinal making wings was varied (390, 490 and 590 mm), angle ψ V – similarity rear wing (0° , -5° , -9°), swing the front (1050, 1450 mm) and rear wings (1170, 1570 mm).

Matches of theoretical calculations with experiment were received as a result of researches indicating the adequacy of the proposed approach. In further studies it will be planned to examine roll handling in detail.

Keywords: UAV, design, stability, controllability.

UDC 534.1

V. G. Savin, N. I. Shtefan, V. M. Sharapov EXPERIMENTAL STUDIES OF THE CYLINDRICAL PIEZOELECTRIC TRANSDUCER UNDER ELECTRICAL PULSE EXCITATION

Experimental studies that show the possibility of practical use of mathematical models to describe the process of non-stationary behavior of the cylindrical piezoelectric transducer (emitter).

Description of the measuring system and the experimental conditions. Analysis of obtained results and their comparison with theory. On the basis of the calculations and the experiments made a conclusion on the applicability of the practice model of cylindrical piezoelectric transducer based on the linear theory of the Kirchhoff-Liav in nonstationary problems when calculating the cylindrical converters.

It should be noted that the geometrical dimensions of the piezoelectric cylinder characteristic of real emitters on the conditions close to work.

Considered excitation Converter at a relatively low resonant frequencies. With the increase in frequency of incoming electrical signal or arousing the impact of the electrical impulses of a complex shape with irregular voltage mismatch of the experimental and theoretical results can grow. However, the examined here modes are working for hydroacoustic systems and their study is of the greatest interest.

Keywords: non-stationary behavior, cylindrical piezoelectric transducer, experimental studies.

UDC 539.595

V. Gubska FORCED OSCILLATIONS OF A CONICAL RESERVOIR AND FLUID WITH FREE SURFACE UNDER PERIODIC LOAD

The problem of forced nonlinear vibrations of the tank in the form of a truncated cone and a fluid with a free surface in their joint motion is under consideration. The behavior of the system is considered in the framework of nonlinear model for long period of time. The problem of the output of the system at steady state oscillations under action of harmonic excitation force, acting on the law of $\sin \omega t$ and periodic force saw form $(2/\pi) \arcsin(\sin \omega t)$ in the area of the resonance frequency, in a small neighborhood of the resonance, and greater than resonance was investigated. In all cases, exit at steady state oscillations did not occur, although for frequencies greater than the resonance, effect of output on steady oscillations with substantial modulation was manifested.

Maximum oscillation amplitudes decreases under action of periodic force $(2/\pi) \arcsin(\sin \omega t)$ as compared with the action of a periodic force by law $\sin \omega t$ for all ranges of oscillation. This is because the impulse that provides saw-form loading to the system is less than impulse given to the system by harmonically varying force (this follows from a comparison of forces areas in half-cycle).

It is shown that under the excitation of a system reservoir-liquid by periodic forces in both cases observe the modulation oscillations (mainly for near- and per- resonant frequency excitation), a significant effect of higher harmonics on oscillation with their frequencies (for all three frequency ranges), the drift of the mean amplitude of oscillation (for excitation by before-resonant frequency, as well as the resonant case for the force $(2/\pi) \arcsin(\sin \omega t)$). The results obtained are in good agreement with the data of experiments.

Keywords: *nonlinear dynamics of liquid, free surface of liquid, attainment on stationary mode.*

UDC 629.7.021

Igor Korol, Aleksandra Molodchik AERODYNAMIC CHARACTERISTICS OF THE WING'S COMPARTMENT USING A NUMERICAL METHOD WITH VISCOSITY

Requirements for aerodynamic characteristics of aircraft are constantly increasing, which makes the task of improving the aerodynamic characteristics of airfoils bearing surfaces increasingly important and topical. In this regard, further research in this area should be directed to the creation of specialized airfoils with prescribed for specific tasks, improved aerodynamic performance.

This task is closely related to the use of numerical methods based on the solution of the Navier -Stokes simulation of conditions that affect the movement of aircraft in a real environment.

Wing geometry optimization problem, especially issues issues related to a decrease in the inductive component of the velocity, doing both domestic and foreign scholars. Most often, it is recommended to use vortex generators and end airfoils. In the known scientific and technical sources is no guidance on the use of vortex generators in the form of wave-like rush to the front edge, but the closest analogue we consider the work , in a study where the wind tunnel studies have been conducted compartment model with wing mounted on the leading edge vortex generators. In this article were obtained experimentally the aerodynamic characteristics of the model wing with vortex generators.

This article has addressed the problem by using the calculation program «**FLOWWORKS**», showed satisfactory convergence in calculating the results of the test for parametric data. Solving the problem of determining the numerical main wing aerodynamic

A b s t r a c t

profile-based *D-2* with a maximum relative thickness of 30 % revealed a number of advantages, such as an aerodynamic focus offset by 30 % from the tip of the wing, to increase the area of the profile, respectively, and the proportion of the lifting of the filled gas. In the future we plan to improve this profile is to design aircraft with aerostatic support with the planning software «*FLOWORKS*».

Were obtained basic aerodynamic characteristics of the analysis which can conclude the feasibility of using a wing with vortex generators on the leading edge. Already in the first approximation shows that vortex generators, non-classical form, mounted on the front edge of the wing provide a significant increase in lift, with a slight increase in drag.

Further research will focus on optimizing the geometry of vortex generators and their number, as well as to combat stalling at high angles of attack and small *Re*.

Keywords: *aerodynamics, wing, profile, vortex, vortex generator, viscosity, Navier-Stokes equations, Reynolds number.*

UDC 629.7.015

A. G. Kazak, R. V. Karnaushenko, A. P. Marinoshenko **THE IDENTIFICATION OF MATHEMATICAL MODEL AERODYNAMIC COEFFICIENTS OF AIRCRAFT LATERAL MOVEMENT**

The aim of this work is to develop improved methods of identifying the aerodynamic coefficients based on the synthesis of adaptive system, an adaptive algorithm aiming to identify and study the relations to identify and refine the aerodynamic parameters not maneuver lateral motion of the aircraft. The method combines the advantages of the known methods for the identification of the aerodynamic coefficients, which are presented in the public domain.

The main problem lies in the fact that by traditional flight test aerodynamic coefficients are a set of discrete values. Linear model, which then is used does not describe accurately coefficients in flight, especially when changing parameters in a wide range of flight.

The basic idea of the method consists in the following: synthesizing adaptive system that eliminates the inconsistency between the calculated values of the phase coordinates by which to identify and value, taken from the record flight tests. Simulation of changes in time of the phase coordinates is based on the results of other flight tests phase coordinates and mathematical model aircraft.

After processing the records modified aircraft movement on the proposed algorithm we obtain the value of aerodynamic coefficients as a function of time for small changes in the parameters of flight and as a function of angle, angular velocity and deviation of steering for changing flight parameters in large range.

The method of identification of the aerodynamic coefficients can fairly well determine the aerodynamic coefficients from flight test records: after identification increases the degree of real convergence of transient aircraft and its mathematical model. This method will improve the accuracy of identification of the aircraft motion parameters and therefore improve the quality of control.

Keywords: *identification of the aerodynamic coefficients, the synthesis of adaptive systems, flight tests, aerodynamic derivatives, the lateral movement of the aircraft.*

T. V. Balabanova, O. V. Shevchenko STUDY ON AN INTEGRATION OF THE NODAL CONDENSATION METHOD INTO THE FINITE ELEMENTS ANALYSIS TOOLS

The modern inertial navigation devices often utilize elastic suspension based sensitive elements. In general elastic suspension has a complicated structure, and its optimization requires numerous calculations for various parameters, such as stiffness characteristics. The major contribution to the solution of the above optimization problem is brought by highly effective nodal condensation method. This method however is often overcomplicated by difficulties in the analytical determination of stiffness matrixes of the elastic elements. Furthermore, it is even impossible to perform exact calculations in some cases.

On contrary to the nodal condensation method, the finite elements analysis tools provide inexact solutions to the optimization problems, and thus can be applied for elastic elements of even complicated structure. The disadvantages of the finite elements method is in large computational resources required for the calculations, and in the absence of the preprocessing analytical structural analysis that might simplify the following calculations.

Hence the research on the possible integration of the nodal condensation method into the finite-elements analysis tools is of the primary importance for the handling of the complicated designs.

In this work, we investigate the results of the aforementioned integration for the stiffness characteristics analysis of the micromechanical tuning-fork gyroscopes.

More precisely, stiffness characteristics and the computation of the loads on the individual elastic elements are proposed to compute using the equations of the nodal condensation method. After the individual characteristics are calculated, the finite-elements method is used to compute the optimal stiffness characteristics for the elastic element.

Combination of the nodal condensation method and the finite elements method, was applied for the calculation of the stiffness characteristics of the micromechanical tuning-fork gyroscope. It showed better performance compare to their separate application, thus proving its effectiveness.

Analysis of the results obtained in the conducted investigation provides a conclusion of the principal superiority of the proposed method. It allows to improve the precision of the obtained optimal solution, and to reduce the computational effort.

In summary, proposed method gives an opportunity of utilizing strong sides of both nodal condensation method and finite elements method for the analysis of the application of different loads on the individual elements of the mechanical design.

Keywords: *method of nodal condensation, elastic suspension, stiffness characteristics.*

S. Trubachev, O. Alekseichuk THE FORCED VIBRATIONS OF PLATES ON ELASTIC FOUNDATION CONSIDERING THE MATERIAL'S CREEP

The article investigates the forced oscillation of plate on an elastic foundation, taking into account the creep of the material. The solution of this problem is obtained by the Bubnov - Galerkin method based on a several waveforms.

To investigate the stability of complex oscillation of plate-shell structures, which are widely used in the aircraft industry, power engineering and other industries the main problem is to determine the spectrum of the natural frequencies and mode shapes. In connection with the complexity of the geometric shape of objects to determine the natural frequencies and mode shapes is advisable to use numerical methods. One of efficient numerical methods for solving the problem of oscillations is a method for increasing the stiffness, which is based on

variational-grid approach of construct a functional type of Rayleigh and minimize its by method of coordinatewise descent. It's a stable iteration algorithm.

The stability of stationary oscillations was examined. The analytical dependence, that showing the effect of creep on the amplitude of the forced oscillations.

Keywords: *forced vibrations , material's creep.*

UDC 62-531.787

***O. Nechyporenko, K. Lebedyev* AUTOMATED CONTROL SYSTEM OF AIRCRAFT BAROMETRIC ALTIMETERS**

To solve this problem the authors have developed a digital automated air pressure control system (ACS) based on automatic frequency pressure selector, which is different from air-operated ones due to the fact that it is a nonlinear system of automatic stabilization with the relay servo mechanism and adaptive control with high levels of accuracy, reliability and high-speed performance.

An optimization of digital ACS of barometric pressure measuring equipment has been conducted, including aircraft barometric altimeters (BA), with its optimal accuracy and speed, with the desired transition process of providing one-way transition process without sacrificing the accuracy. The results can be used for the synthesis of high-speed automated control system, calibration and verification.

Optimization of relay digital automated control system of measuring air pressure, optimal according to the criteria of accuracy and speed, with the desired one-way transition process has been carried out in order to remove BA variations indications. Optimization of the accuracy, speed and one-way transition process of the system (multi-criteria optimization problem) allowed choosing the relay servo mechanism as a result.

Scientific novelty is that developed algorithm of ACS is of *optimal performance*, and operates in medium and low vacuum, which establishes a one-way approach to a given level of pressure without sacrificing accuracy.

For a complete analysis of dynamic processes in the frequency ACS, including analog (pneumatic, mechanical, electrical) and digital conversions, a comprehensive mathematical model of dynamic processes in ACS has been developed.

Keywords: *automated control system, high-speed performance, optimization, air pressure, barometric altimeter.*

UDC 681.5

***I. M. Golyenko, I. E. Galitskaya, V. Y. Stepanenko* THE CONTROL SYSTEM WITH THE NONLINEARITY COMPENSATION OF EXECUTING DEVICES**

The problem overcoming of the control systems deficiencies connected with time lag and static nonlinearity of executing devices is considered. It is outlined systems of the cascade management where in the capacity of executing device the auxiliary contour of regulating which reduces negative influence of time lag and nonlinearity of a regulating valve is used. It is offered the algorithm of a digital control which in an initial signal of regulating considers static and dynamic properties of executing device. The research of the presented control loops is conducted. According to the results the considered methods of compensation of negative properties of regulating valves reduce an overshoot and transients time in real control systems.

Keywords: *time lag, static nonlinearity, contour of regulating, executing devices, PI controller, control system.*

UDC 681.3

O. Bondarenko, D. Ivakhnyuk METHODS REDUCTION OF SHOCK IMPACT ON OUTPUT SIGNAL ANGULAR RATE SENSOR

In the article the urgent question of constructing a system of shock protection elements of the control system aircraft as an example of the angular velocity sensor. The means to reduce the effect of transients in the sensing element of the sensor of angular velocity after impact loads on the measurement results several times, which is sufficient for most applications of the angular velocity sensor. Particularly important are the results for the angular velocity sensor based on Carioles vibratory gyroscope is sensitive to mechanical alternating loads.

The methods taken from the practice of aviation turbine vibration and industrial adapted to a new kind of technology. The authors elaborated and summarized a large amount of materials and results of scientific and technological development area. Problem statement made clear, specifying areas to solve it. Conclusions made by the authors justify the materials contained in Sections Article.

The optimal means of shock and vibration protection element management systems allowed a detailed analysis of the current scientific literature. The simulation results in applied mathematics packages confirm the effectiveness of the proposed facilities. Using these tools will expand the application of low-cost devices for high accuracy measurement of mechanical quantities (angular velocity, linear acceleration) in the navigation and management of the aircraft. Inexpensive devices on new physical principles of action, such as Carioles vibratory gyroscope, fiber optic gyroscope can be made on a modern production base of domestic enterprises. Built on such devices inertial and provided the means proposed by the authors means of vibration shock protection have much lower cost than the Platform system, and will not yield to the last in terms of precision.

However, these observations do not reduce the practical value of the presented work, not disclosed in the article should become material for these publications in this field.

Submitted material will accelerate the further development and implementation of modern gyro technology for new types of navigation devices. The article is relevant to scientific and technical journal "Mechanics of gyroscopic systems," and may be published in it.

Keywords: *inertial navigation systems, accelerometer, angular velocity, shock, shock-absorbing system, the coefficient of dynamic systems, demodulation, integration over the period.*

UDC 629.7

G. A. Virchenko, D. D. Pasichnik, A. I. Nezenko THE RIGGING CHECK FEATURES OF AIRCRAFT BY MEANS OF LASER COORDINATE MEASURING MACHINES

The paper presents the main features and benefits of rigging check by means of laser coordinate measuring systems.

One of the main features is that it occurs during the measurement processing the three-dimensional coordinates of points, whereas during the normal rigging check – the distance between the projections of the points on the vertical or horizontal plane. Introduced a three-dimensional cartesian coordinate system relative to which measurements are performed.

Proposed a method of carrying out a "mathematical alignment", which first calculates the parameters of the airplane coordinate system in the transition from a system of coordinates in which the measurements were made, and then recalculate the coordinates of the measured points in a new coordinate system. This allows to avoid the need for ascertaining the aircraft in a horizontal position.

The paper analyzes the new possibilities of deformation analysis of surfaces with quick measurement of a large number of points on the unit's surface, which is generated on the basis of a new object actual geometry electronic model for aerodynamic researches.

Keywords: *the rigging check, laser coordinate measuring machine, a mathematical alignment, airplane.*

UDC 629.072.57

A. Prach, O. Tekinalp NONLINEAR CONTROL FOR HIGH-ANGLE-OF-ATTACK AIRCRAFT FLIGHT USING THE STATE-DEPENDENT RICCATI EQUATION

This paper presents application of the state-dependent Riccati equation (SDRE) technique for design of flight control system for a fixed-wing aircraft that operates in a nonlinear flight regime. SDRE is a nonlinear control technique that requires parameterization of the nonlinear dynamics into a state-dependent coefficient form.

A dual-loop tracking controller is implemented. The mismatch due to the factorization of the inner loop is handled with a nonlinear compensator derived from the tracking control formulation. A nonlinear simulation model of the UAV is used to examine the performance of the SDRE controller.

Keywords: *SDRE, nonlinear control, tracking problem.*

UDC 519.71

A. V. Zbrutcky, A. S. Mishchuk ADAPTIVE CONTROL ALGORITHM WITH GIVEN ACCURACY UNDER UNKNOWN EXTERNAL DISTURBANCES

Typical tasks that UAVs deal with are aerial patrols, monitoring, landscape photos and others, and flight parameters are required to be kept guaranteed with the desired accuracy. At the same time UAVs are flying on low altitudes in the turbulent atmosphere. The external disturbance perceived on UAV cannot be determined with sufficient accuracy. Therefore, the creation of Automatic Control System (ACS) to provide the desired accuracy keeping flight parameters in the face of uncertain external perturbations is an urgent task.

Purpose of work – to develop an algorithm for adaptive systems control that allows keeping guaranteed specified accuracy under unknown disturbances.

Regulator control law was synthesized by the method of standard coefficients (at the minimum of the error criteria and maximum speed control). To ensure the specified accuracy (α changes in a specified range) under the action of perturbations change the feedback coefficient K and exclude its influence on the stability and quality of the system, provide value parameters. The adaptive algorithm used online neural network that learns “on-flight”. System was tested with different parameters of disturbance, “unknown” disturbance was emulated. We’ve tested neural network behavior on real test flight results and it was proven that neural network works adequately for prediction. Desired angle value was chosen as 1° for System to be hold. Under different parameters system was proved to work better than without adaptive algorithm or existing analogues.

Research showed that developed algorithm for adaptive systems control with unknown disturbances using neural networks for forecasting allows keeping guaranteed specified accuracy under unknown disturbances.

Further work will deal with improving of performance of the algorithm and testing on UAV control system in real flight.

Keywords: *uav control system, adaptive control, neural networks.*

УДК 531.787

М. Улинович ПРИКЛАДНЫЕ МЕТОДЫ ИДЕНТИФИКАЦИИ ВОЗДУШНЫХ СУДЕН

Системы идентификации представляют собой процесс определения адекватной математической модели на основе ввода-вывода данных. В статье представлено несколько наиболее часто используемых методов идентификации воздушных судов. Описанные методы сравниваются по простоте используемой обобщенной модели, помехам системы, измеренным данным ввода-вывода и простоте реализации. Эта статья является первым шагом в выборе подходящего метода идентификации воздушных судов в режиме реального времени с целью управления.

Ключевые слова: идентификация воздушных судов, системы управления.

УДК 004.93'11

А. А. Пикенин, А. В. Прохорчук, И. А. Кучерявенко МОДИФИКАЦИЯ ФИЛЬТРОВ ОБРОБОТКИ МНОГОСПЕКТРАЛЬНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ДЛЯ ЗАДАЧ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

Модификация фильтров для обработки многоспектральных изображений обеспечивает высокую информативность и точность обработанных снимков для увеличения уровня поисковой способности к выбранному объекту (аэропорт, машина, береговая линия) в независимости от шумов, ракурса снимка, качества исходного изображения.

В ходе выполнения работы было проведено исследование на примере изображения аэропорту ESSA (Стокгольм), предоставленным компанией Jeppesen (США), которое показало, что после дополнения локальных методов фильтрации методом селективного сглаживания, повысилось отношение сигнал/шум (уменьшилось влияние аналоговых шумов), размытие контуров объекта почти не влияет на информативность, что повысило распознавательную способность и дало возможность четко выделить объект (взлетную полосу). Нелокальный метод в сочетании с медианным прохождением позволяет эффективно удалять из изображения шум, не влияя на отдельные его точки. Медианное прохождение при оптимальных значениях выбранной апертуры сохраняет без искажения резкие границы объектов, уменьшая некоррелированные или слабо коррелированные шумы и малоразмерные детали. Метод мягкой граничной вейвлет обработки модифицированный нерезкой маскировкой вводит новые признаки контуров, разделяя на картинке черное и белое поля, значения тона которых соответствуют признакам "белее белого" и "чернее черного". Это свойство приводит к образованию четкой средней линии взлетной полосы.

Использование модифицированных фильтров улучшило дешифрующее состояние изображений, а именно повысило контрастность, улучшило тональную структуру, уменьшило влияние шумов на оригинальное изображение, что позволило различать малоразмерные объекты, которые нельзя было наблюдать на оригинальных снимках, и выделять объекты с тепловыми аномалиями и объекты, незначительно отличаются по цвету в видимом диапазоне на оригинальных снимках.

Ключевые слова: многоспектральные изображения, фильтрация многоспектральных изображений, дистанционное зондирование земли, нелокальный метод, локальные методы.

УДК 621.396:621.372

Л. М. Рыжков, Д. Н. Бахтин АРХИТЕКТУРА И ОРГАНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ОБРАБОТКИ НАВИГАЦИОННОЙ ИНФОРМАЦИИ МИКРОСПУТНИКА

Система навигации должна обеспечивать точное и быстрое определение навигационных параметров микроспутника, быть малогабаритной и иметь малое энергопотребление. Система обработки навигационной информации микроспутника используется для определения, регистрации и обработки навигационной информации с

целью определения положения микроспутника относительно Земли и дальнейшей передачи этой информации для выполнения возложенных на микроспутник задач. В данной статье предложена структура аппаратно-программного комплекса, и на основе исследований стандартов обмена информацией между навигационными устройствами, паспортных данных и электрических схем приемника АН-4706, проанализирована возможность ее применения. Это позволит обеспечить малогабаритность, уменьшение энергопотребления и даст возможность повысить точность регистрации и обработки навигационной информации микроспутника за счет применения современных алгоритмов обработки информации и фильтрации сигналов.

Ключевые слова: микроспутник, система обработки навигационной информации микроспутника, навигационная информация, архитектура системы обработки навигационной информации микроспутника.

УДК 62-752.4:621.373.8

Е. А. Бондаренко ОЦЕНКА ЗАВИСИМОСТИ ЗОНЫ СИНХРОНИЗАЦИИ ЛАЗЕРНОГО ГИРОСКОПА ОТ РАДИУСА КРИВИЗНЫ СФЕРИЧЕСКИХ ЗЕРКАЛ

Для лазерного гироскопа с четырехугольным квадратным резонатором (с периметром 20 см) на основе разработанной математической модели [Bondarenko E.A. // Quantum Electronics, 41, 824 (2011); 42, 465 (2012)] выполнена количественная оценка зависимости полуширины зоны синхронизации частот встречных волн от радиуса кривизны сферических зеркал. Результаты оценки качественно согласуются с известными экспериментальными данными, полученными для гироскопа с трехзеркальным резонатором.

Ключевые слова: лазерный гироскоп, кольцевой газовый лазер, синхронизация частот встречных волн.

УДК: 681.327+656.34-523

Ли Вэй, С. В. Зинченко, В. П. Зинченко УПРАВЛЕНИЯ ПОТОКОМ В АЭРОДИНАМИЧЕСКОЙ ТРУБЕ

Предложен алгоритм программного управления потоком в дозвуковой аэродинамической трубе в режиме реального времени на основе математической модели в предположении, что поток несжимаем, изотермический и происходит в горизонтальной плоскости без учета объемных сил. Прикладное программное обеспечение имеет два уровня, взаимодействующих через общую область памяти двух компьютеров. Один компьютер осуществляет регулирование, а другой - выполняет управления экспериментом, что обеспечивает соответствие экспериментальных и натуральных условий, требуемая точность и информативность.

Ключевые слова: алгоритм, управление, поток, эксперимент, программное обеспечение, аэродинамическая труба.

УДК 621.396

А. Копыт МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОПЕРАТОРА В СИСТЕМАХ ЧЕЛОВЕК - МАШИНА. ПРОБЛЕМЫ И РЕШЕНИЯ

Во всех задачах, где человек является неотъемлемой частью системы необходимо идентифицировать модель человека-оператора. В некоторых случаях нет необходимости разрабатывать сложную форму модели оператора. Но есть некоторые проекты, которые требуют очень точную модель человека. Такая модель может дать нам гораздо более точную реакцию человека во время имитации. И результаты могут быть более схожи на результаты настоящих испытаний.

Ключевые слова: системы человек-машина, оператор, системы управления.

УДК 621.396.9

А. В. Збруцький, Г. Е. Янкелевич ОПРЕДЕЛЕНИЕ КООРДИНАТ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ В СПУТНИКОВЫХ НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

Предложена система линейных алгебраических уравнений с помощью которой можно определять координаты пользователя и поправку разности времен часов спутника и пользователя в спутниковых навигационных системах.

Ключевые слова: спутниковые навигационные системы, координаты пользователя, поправку разности времен часов.

УДК 681.3, УДК 532

А. П. Мариношенко, М. Ю. Коноваленко МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДВИЖЕНИЯ РАБОЧЕГО ТЕЛА ВИХРЕВОГО ДВИГАТЕЛЯ – ГЕНЕРАТОРА ПО ТОРОИДАЛЬНОЙ ТРАЕКТОРИИ

Проведенный анализ движения жидкости, показал, что движение имеет сложную пространственную траекторию и позволил впервые получить математическую модель и выражения, которые описывают действующих сил, при вихревом движении рабочего тела в замкнутом объеме, по торообразной траектории. Полученные результаты позволяют провести моделирование вихревого движения жидкости, проанализировать и осуществить реализацию данного исследования в виде работоспособной модели вихревого двигателя-генератора.

Ключевые слова: вихревое движение, вихревой двигатель, вихрь в ограниченном пространстве, математическая модель вихря.

УДК 629.735.33

И. С. Кривохатко, А. Н. Масько ВЫБОР АЭРОДИНАМИЧЕСКОЙ СХЕМЫ БПЛА КОНТЕЙНЕРНОГО СТАРТУ С УЧЕТОМ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БОКОВОЙ УСТОЙЧИВОСТИ

Исследованы вопросы формирования общего аэродинамического облика беспилотного летательного аппарата контейнерного старта. Обосновано применение аэродинамической схемы тандем. Предложен подход в определении рациональных геометрических размеров отдельных частей беспилотного летательного аппарата. Полученные теоретические характеристики проверялись экспериментально и подтвердили теоретические расчеты. Предложена методика определения очертания и определены перспективные направления исследования.

Ключевые слова: БпЛА, устойчивость, управляемость, проектирование.

УДК 534.1

В. Г. Савин, Н. И. Штефан, В. М. Шаранов ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ПРИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ИМПУЛЬСНОМ ВОЗБУЖДЕНИИ

Приведены экспериментальные исследования, которые показывают возможность практического использования математических моделей, описывающих процесс нестационарного поведения цилиндрического пьезоэлектрического преобразователя (излучателя).

Приведено описание измерительной установки и условия проведения экспериментов.

Проведен анализ полученных результатов и их сравнение с теоретическими. На основании выполненных расчетов и экспериментов сделан вывод о применимости на практике модели цилиндрического пьезоэлектрического преобразователя, основанной на линейной теории Кирхгофа-Лява в нестационарных задачах при расчете цилиндрических преобразователей.

Необходимо отметить, что принятые геометрические размеры пьезоэлектрического цилиндра характерны для реальных излучателей на режимах, близких к рабочим.

Рассмотрено возбуждение преобразователя на сравнительно низких резонансных частотах. С возрастанием частоты подводимого электрического сигнала или при возбуждающем воздействии электрическими импульсами сложной формы со скачками напряжений рассогласование экспериментальных и теоретических результатов может увеличиваться. Однако изучаемые здесь режимы являются рабочими для гидроакустических систем и их исследование представляет наибольший интерес.

Ключевые слова: нестационарное поведение, цилиндрический пьезоэлектрический преобразователь, экспериментальные исследования.

УДК 539.595

В. В. Губська **ВЫНУЖДЕННЫЕ КОЛЕБАНИЯ КОНИЧЕСКОГО РЕЗЕРВУАРА И ЖИДКОСТИ СО СВОБОДНОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ПЕРИОДИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ**

Рассмотрена задача о вынужденных нелинейных колебаниях резервуара в форме усеченного конуса и жидкости со свободной поверхностью при их совместном движении. Поведение системы рассматривается в рамках нелинейной модели на длительном промежутке времени. Исследована задача о выходе такой системы на установившийся режим колебаний при возбуждении движения системы гармоничной силой, действующей по закону $\sin\omega t$, а также периодической силой пилообразной формы $(2/\pi)\arcsin(\sin\omega t)$ в зоне частот резонанса, в малой окрестности резонанса, а также больших, чем резонансная. Во всех случаях выход на режим установившихся колебаний не происходил, хотя для частот, больших резонансной, проявлялся эффект выхода на установившиеся колебания с существенной модуляцией.

Ключевые слова: нелинейная динамика, свободная поверхность жидкости, выход на установившийся режим.

УДК 629.7.021

И. В. Король, А. Д. Молодчик **ОЦЕНКА АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОТСЕКА КРЫЛА ЧИСЛЕННЫМ МЕТОДОМ С УЧЕТОМ ВЯЗКОСТИ**

Требования к аэродинамическим характеристикам летательных аппаратов (далее ЛА) постоянно повышаются, что делает задачу улучшения аэродинамических характеристик крыловых профилей несущих поверхностей все более актуальной и злободневной. В связи с этим дальнейшие исследования в этой области должны быть направлены на создание специализированных аэродинамических профилей с заданными для выполнения конкретных задач, улучшенными аэродинамическими характеристиками. Выполнение этой задачи тесно связано с использованием численных методов, основанных на решении уравнений Навье-Стокса с моделированием условий, которые влияют на движение ЛА в реальной среде.

Решены задачи с использованием расчетной программы «**FLOWORKS**», показавшей удовлетворительную сходимость в тестовом расчете с результатами параметрических данных. Решение численной задачи по определению основных аэродинамических характеристик крыла на основе профиля **D-2** с максимальной относительной толщиной 30% выявило ряд преимуществ, таких как смещение аэродинамического фокуса к 30% от носка крыла, увеличение площади самого профиля, соответственно, и доли наполняемого подъемного газа. В дальнейшем планируется совершенствовать данный профиль для проектирования ЛА с аэростатической поддержкой с помощью расчетной программы «**FLOWORKS**».

Получены основные аэродинамические характеристики, из анализа которых можно сделать вывод о целесообразности использования крыла с вихрегенераторами по передней кромке. Уже в первом приближении видно, что вихрегенераторы, неклассической формы,

установленные на передней кромке крыла обеспечивают значительное увеличение подъемной силы, при небольшом повышении лобового сопротивления.

Дальнейшие исследования будут направлены на оптимизацию геометрии вихрегенераторов и их количества, а так же на борьбу со срывом потока на больших углах атаки и малых Re .

Ключевые слова: аэродинамика, крыло, профиль, вихрь, вихрегенератор, вязкость, уравнения Навье-Стокса, числа Рейнольдса.

УДК 629.7.015

А. Г. Казак, Р. В. Карнаушенко, А. П. Мариношенко ИДЕНТИФИКАЦИЯ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ КОЭФФИЦИЕНТОВ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ БОКОВОГО ДВИЖЕНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

Системы автоматического управления летательным аппаратом должны обеспечивать точную и быструю реакцию на командное влияние, несмотря на значительные изменения условий полета. Адаптивное управление является одним из основных методов решения таких проблем как точное и быстрое определение текущих параметров во время полета. В данной статье предложен метод, который является усовершенствованным методом идентификации на основе синтеза адаптивной системы. Он сочетает преимущества известных методов идентификации аэродинамических коэффициентов, которые представлены в открытых источниках. Метод идентификации аэродинамических коэффициентов позволяет достаточно хорошо определять аэродинамические коэффициенты из записей летных испытаний: после проведения идентификации увеличивается степень сходимости переходных процессов реального ЛА и его математической модели. Этот метод обеспечит повышение точности идентификации параметров движения ЛА.

Ключевые слова: идентификация аэродинамических коэффициентов, синтез адаптивной системы, летные испытания, аэродинамические производные, боковое движение самолета.

УДК 531/534

Т. В. Балабанова, О. В. Шевченко ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИНТЕГРАЦИИ МЕТОДА УЗЛОВОЙ КОНДЕНСАЦИИ И ПАКЕТА КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОГО АНАЛИЗА

В современных инерциальных навигационных системах широко применяются датчики с упругими подвесами. В общем случае упругие подвесы имеют вид пространственных конструкций, а выбор их оптимальных параметров требует многоразовых расчетов и, в первую очередь, характеристик жесткости.

Рассмотрена возможность объединения метода узловой конденсации и пакета прикладных программ конечно-элементного анализа. Это даёт возможность рассчитывать характеристики сложных механических конструкций в аналитическом виде, сэкономить время расчета и машинный ресурс.

Возможность объединения двух методов рассмотрена на примере расчета жесткостных характеристик упругого подвеса камертонного микромеханического гироскопа. Для сравнения проведено моделирование в пакете конечно-элементного анализа. Результаты совпали с достаточной точностью. Таким образом доказана возможность интеграции метода узловой конденсации и пакета прикладных программ конечно-элементного анализа.

Ключевые слова: метод узловой конденсации, упругий подвес, пространственная конструкция, жесткостные характеристики.

УДК.539.3

С. И. Трубачев, О. Н. Алексейчук ВИНУЖДЕННЫЕ КОЛЕБАНИЯ ПЛАСТИН НА УПРУГОМ ОСНОВАНИИ С УЧЕТОМ ПОЛЗУЧЕСТИ МАТЕРИАЛА

В статье исследованы вынужденные колебания пластины, лежащей на упругом основании, с учетом ползучести материала. Решение задачи получено методом Бубнова–Галеркина с учетом нескольких форм колебаний. Для численного построения амплитудно-частотных характеристик использовался метод повышения жесткостей, который основан на вариационно-сеточном подходе построения функционала типа Релея и минимизирован методом покоординатного спуска. Рассмотрена устойчивость стационарных колебаний. Приведены аналитические зависимости, показывающие влияние ползучести материала на амплитуду вынужденных колебаний.

Ключевые слова: вынужденные колебания, ползучесть материала.

УДК 62-531.787

О. М. Нечипоренко, К. А. Лебедева СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО КОНТРОЛЯ БАРОМЕТРИЧЕСКИХ ВЫСОТОМЕРОВ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

Проведена оптимизация релейной цифровой системы автоматизированного контроля, которая может быть использована для синтеза автоматизированной системы контроля, градуировки и поверки, оптимальной по точности, надежности и быстродействию, с возможностью снятия вариации показаний контролируемых средств измерения давления воздуха.

Ключевые слова: система автоматизированного контроля, быстродействие, барометрический высотомер.

УДК 681.5

И. М. Голинко, И. Е. Галицкая, В. Ю. Степаненко СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ С КОМПЕНСАЦИЕЙ НЕЛИНЕЙНОСТИ ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА

Решается задача преодоления недостатков систем управления, связанных с наличием инерционности и статической нелинейности исполнительных устройств. Рассмотрены системы каскадного управления, где в качестве исполнительного устройства используется вспомогательный контур стабилизации расхода, который уменьшает негативное влияние инерционности и нелинейности регулирующего клапана. Предлагается алгоритм цифрового управления, который в сигнале регулирования учитывает статические и динамические свойства исполнительного устройства. Проведено исследование работы описанных контуров управления. Исходя из результатов видно, что рассмотренные методы компенсации негативных свойств регулирующих клапанов уменьшают перерегулирование и длительность переходных процессов в реальных системах управления.

Ключевые слова: инерционность, статическая нелинейность, контур регулирования, исполнительное устройство, ПИ регулятор, система управления.

УДК 681.3

А. Н. Бондаренко, Д. Е. Ивахнюк МЕТОДЫ УМЕНЬШЕНИЯ УДАРНОГО ВЛИЯНИЯ НА ВЫХОДНОЙ СИГНАЛ ДАТЧИКА УГЛОВОЙ СКОРОСТИ

Предложено амортизацию и интегрирования по периоду выходного сигнала как средства уменьшения воздействия ударных нагрузок на работу элементов систем управления летательных аппаратов. Эффективность таких средств составляет несколько раз. Показано, что указанной эффективности достаточно для уменьшения до допустимого уровня воздействия ударов на выходной сигнал датчика угловой скорости как элемента системы управления летательных аппаратов. С использованием современной научно - технической литературы определены методики расчета предложенных систем ударного защиты. Предложенные методики проверены моделированием в системе Matlab.

Ключевые слова: инерциальные навигационные системы, акселерометр, угловая скорость, ударные нагрузки, система амортизации, коэффициент динамичности системы, демодуляция, интегрирование по периоду.

УДК 629.7

Г. А. Вирченко, Д. Д. Пасичник, А. Й. Незенко ОСОБЕННОСТИ НИВЕЛИРОВКИ САМОЛЕТОВ С ПОМОЩЬЮ ЛАЗЕРНОЙ КООРДИНАТНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ МАШИНЫ

В статье представлены основные возможности и преимущества нивелирования с использованием лазерных координатно-измерительных систем.

Предложен способ проведения «математического выравнивания», при применении которого сначала производится определение параметров системы координат самолета при переходе от системы координат, в которой проводилось измерение, и после этого осуществляется пересчет координат измеренных точек в данную систему координат. Это позволяет избежать необходимости точного установления самолета в горизонтальное положение.

Проанализированы новые возможности анализа деформаций поверхностей благодаря быстрому обмеру большого количества точек поверхности агрегата, на основе которых генерируется новая электронная модель фактической геометрии объекта для проведения аэродинамических исследований.

Ключевые слова: лазерная координатно-измерительная машина, математическое выравнивание, нивелировка самолета.

УДК 629.072.57

А. Прач, О. Текиналп NONLINEAR CONTROL FOR HIGH-ANGLE-OF-ATTACK AIRCRAFT FLIGHT USING THE STATE-DEPENDENT RICCATI EQUATION

В этой статье представлено применения метода state - dependent Riccati equation (SDRE) для проектирования системы управления полетом самолета, работающего в нелинейном режиме полета. SDRE это метод нелинейного управления, требует параметризации нелинейной динамики в форме зависимой от коэффициентов вектора состояния

В регуляторе слежения реализуется двойной контур. Несоответствия в связи с факторизации во внутреннем контуре исправляются с помощью нелинейного компенсатора. Для исследования работы SDRE регулятора используется нелинейная модель самолета.

Ключевые слова: SDRE, нелинейное управление, проблема слежения.

УДК 519.71

А. В. Збруцкий, А. С. Мишук АДАПТИВНЫЙ АЛГОРИТМ УПРАВЛЕНИЯ С ЗАДАННОЙ ТОЧНОСТЬЮ ПРИ НЕОПРЕДЕЛЕННЫХ ВНЕШНИХ ВОЗМУЩЕНИЯХ

Предложен адаптивный алгоритм управления с гарантированной точностью, который зависит от прогнозирования состояния системы в каждый следующий момент времени. Изменение параметров системы происходит в зависимости от прогнозируемого изменения внешнего возмущения . Рассмотрено использование нейронной сети в качестве модуля прогнозирования состояния системы в каждый следующий момент времени. Приведены результаты моделирования функционирования системы. Доказана эффективность адаптивного алгоритма для обеспечения заданной точности системы управления по произвольному возмущению .

Ключевые слова: системы автоматического управления, интеллектуальные системы управления, адаптивное управление, нейронные сети.