

ЗАСТОСУВАННЯ НЕЛІНІЙНИХ ЯКІСНИХ РЕГУЛЯТОРІВ В СИСТЕМІ СТАБІЛІЗАЦІЇ ЛІТАКА

Національний Авіаційний Університет, Україна. compconsys@nau.edu.ua

Запропоновано застосування нелінійних якісних регуляторів, отриманих методом аналітичного конструювання з модифікованим функціоналом якості, в системі стабілізації літака на заданій траєкторії. Розглянуто методику дослідження якості перехідних процесів на математичній моделі руху літака.

Вступ

Підвищення маневреності сучасних літаків є актуальною задачею динаміки керованого польоту, розв'язання якої приводить до покращення технічних даних літальних апаратів, підвищенню безпеки польотів, сприяє покращенню конкурентоздатності авіаційної техніки. Досягнення цієї мети вимагає синтезу регуляторів, які дозволять найбільш повно використати всі можливості, закладені в конструкції керованих об'єктів, а також при цьому задовольняють вимогам, висунутим до керування і якості руху (функціонування) керованої системи..

Вимоги, що пред'являються до керованої системи, можна умовно поділити на дві групи – вимоги до показників стійкості системи в певному (робочому) діапазоні станів і вимоги до якості перехідних процесів. Як показано в ряді робіт [1,2], ці дві групи вимог тісно пов'язані між собою, але в той же час між ними існує певне протиріччя.

Постановка задачі

В багатьох випадках закони руху сучасного літального апарату є суттєво нелінійними. Незважаючи на наявність ряду методів побудови нелінійних регуляторів, на практиці при керуванні такими об'єктами часто продовжують застосовувати закони керування, отримані в результаті кусочно-лінійної апроксимації існуючих нелінійностей. Таким чином, нелінійний ресурс об'єкта використовується неповно. Причиною труднощів, що виникають при спробах застосування якісних регуляторів для керування літальними апаратами, є багатоконтактність вимог, що пред'являються в авіації до руху літального апарату і до систем керування ним [3,4]. Отже, актуальною є задача синтезу керування для літальних апаратів та інших об'єктів, функціонування або рух яких відбувається в суттєво нелінійних режимах, яке забезпечило б макси-

мальне використання можливостей об'єкта, знаходячи при цьому задовільний компроміс між вимогами стійкості та якості. Метою нашої роботи було розглянути задачу стабілізації літака під час руху по заданій траєкторії по тангажу та куту нахилу траєкторії і розробити методику дослідження якості перехідних процесів в залежності від параметрів нелінійного якісного регулятора та конструктивних обмежень на керування.

Математична модель керованого руху літака

Розгляд руху літального апарату необхідно починати з вибору такої системи координат, в якій рівняння руху матимуть вигляд, найбільш зручний для розв'язання конкретної задачі. Нами було розглянуто рух літака в пов'язаній системі координат, яка є зручною для аналізу кутового руху літака [5]. Так, наприклад, для поздовжнього руху літака рівняння динаміки можемо записати у вигляді:

$$m(\dot{u} + w\dot{\vartheta}) = -mg \sin \vartheta + L_w \sin \alpha + L_t \sin \alpha_t,$$

де m – маса літака ; u – проекція швидкості літака на вісь швидкісної системи координат, паралельну поздовжній осі літака; w – проекція швидкості літака на вісь, що лежить в площині симетрії літака; ϑ – кут тангажа; g – прискорення сили тяжіння; L_w – піднімальна сила крила; L_t – піднімальна сила горизонтального оперення; α – кут атаки крила ; α_t – кут атаки оперення.

Після отримання рівнянь динаміки для поступового та обертального руху літака їх необхідно перетворити до вигляду, що відповідає меті дослідження, а саме – до вигляду системи звичайних диференціальних рівнянь з поліноміальними правими частинами. З цією метою до рівнянь руху підставляємо вирази, що визначають піднімальну силу крила L_w і піднімальну силу горизонтального

оперення L_i . В даній моделі вважається, що при великих значеннях кута атаки залежність коефіцієнтів піднімальної сили крила й оперення від кута атаки з достатньою точністю може бути описана апроксимацією поліномами третього ступеня. До виразу для піднімальної сили хвостового оперення, крім кута атаки, входить величина, що описує положення руля висоти, яка в даному разі і буде керуванням. Необхідно також врахувати вираз для кута скошу повітряного потоку.

Запишемо зв'язок між складовими швидкості і прискорення для поперечного руху літака та відповідними величинами для поздовжнього руху. Отримані співвідношення дозволяють виключити з диференційних рівнянь руху літака величини w та \dot{w} . Після цього необхідно записати отримані диференційні рівняння в явному вигляді щодо величини α . Оскільки метою перетворень є одержати систему рівнянь з правими частинами у вигляді розкладів по ступенях змінних, вирази для функцій $\cos \alpha$, $\sin \alpha$, $\cos \vartheta$, $\sin \vartheta$ та їх ступенів апроксимуємо відрізками розкладів в ступеневі ряди: Після цього відкинемо у правих частинах рівнянь доданки, що містять величини α , ϑ у ступенях вище третього.

Два з отриманих рівнянь є диференційними рівняннями щодо величин α і ϑ . Записавши їх у нормальній формі, отримаємо математичну модель руху літака.

Для отримання конкретних чисельних результатів необхідно розглянути певний режим польоту і підставити до рівнянь відповідні значення числових коефіцієнтів. Визначивши балансовочні значення величин α і ϑ , проведемо заміну змінних так, щоб отримати диференційні рівняння у відхиленнях. Після цього можемо синтезувати нелінійні якісні регулятори для отриманої системи, застосовуючи метод аналітичного конструювання з модифікованим функціоналом якості, до підінтегрального виразу якого введено частини розкладу функції Ляпунова у ступеневий ряд за змінними стану системи з деякими коефіцієнтами [6].

Методика чисельного моделювання перехідних процесів, що виникають під час стабілізації літака на траєкторії руху

Дослідження руху літака з отриманими регуляторами мало на меті з'ясувати, як залежить поведінка системи від використаних під час синтезу регулятора значень коефіцієнтів загасання. Таке дослідження можна проводити двома шляхами:

або вивчати при різних значеннях коефіцієнтів параметри перехідного процесу, що починається з деякої точки фазового простору, або ж при обраних значеннях коефіцієнтів затухання вивчати множини таких точок фазового простору, для яких перехідні процеси, що починаються з цих точок, задовольняють певним умовам.

Прийоми побудови таких множин, що використовуються в дослідженнях з теорії керування, можна поділити на дві групи. Прийоми першої групи використовують той чи інший алгоритм руху вздовж границі області, що будується. Отримані в результаті роботи такого алгоритму точки будують на координатній площині і сполучають кривою, що з деякою точністю представляє границю області. В прийомах другої групи використовується "растровий" принцип побудови зображення; при цьому властивість функції, що досліджується, перевіряється в кожній точці деякої сітки, введеної на координатній площині.

В нашій роботі було використано "растровий" метод дослідження. В обраній (як правило, прямокутній) області дослідження вводимо сітку точок з визначеними кроками по кожній з координат, і, скануючи по рядках точки утвореної сітки, обчислюємо значення цільової функції чи функціонала. Область простору початкових точок руху для дослідження та параметри сітки задаються по кожній з фазових координат трьома величинами: початкове значення – крок сітки – кінцеве значення. Параметри сітки повинні задовольняти двом вимогам: з одного боку, розбиття має бути досить дрібним (а кількість точок достатньою) для того, щоб результати чисельного експерименту були досить інформативними; з іншого боку, надмірна кількість точок призводить до того, що обчислювальний експеримент стає занадто громіздким. На першому етапі дослідження можемо взяти кроки сітки досить великими, щоб з'ясувати загальні властивості цільової функції в досліджуваній області. Розглядаючи результати, можемо визначити характерні точки чи області значень координат чи параметрів, які представляють інтерес для подальшого, більш детального вивчення.

Оскільки повний цикл чисельного моделювання перехідних процесів по сітці початкових точок може зайняти досить тривалий час, в програмі моделювання нами було передбачено можливість у потрібний момент перервати розрахунки і продовжити їх пізніше при повторному запуску програми.

Чисельне моделювання перехідного процесу в керованій системі полягає в інтегруванні системи диференційних рівнянь об'єкта

$$\dot{X} = AX + BU + F(X)$$

з відповідним регулятором $U=U(X)$. До правої частини системи диференційних рівнянь можемо також додатково ввести збурення $D(t)$, яке можна використовувати для моделювання зовнішнього впливу на систему протягом перехідного процесу:

$$\dot{X} = AX + F_{(2)}(X) + F_{(3)}(X) + BU + D(t) .$$

При обчисленні доданка BU проводиться перевірка заданих конструкцією органів керування обмежень на величину керування U та швидкість її зміни dU/dt . Чисельне інтегрування системи диференційних рівнянь ведеться (за вибором) методом Ейлера чи Рунге-Кутта. В результаті чисельного інтегрування системи диференційних рівнянь отримуємо таблицю значень координат стану системи та керування протягом перехідного процесу як функцій часу. Ці значення можуть бути або одразу ж піддані подальшій обробці (наприклад, обчислення функціоналу якості по траєкторії руху системи), або ж збережені в робочих файлах, які після цього можна піддавати подальшій обробці. Під час чисельних експериментів з растрового моделювання кількість перехідних процесів досить велика, тому записувати до файлу-протоколу повні результати моделювання недоцільно. Ми проводили переважно часткову (первинну) обробку отриманих даних, після якої в файлах протоколу зберігалися проміжні результати. Таким результатом може бути, наприклад, відповідь на питання, рухається система з даної точки до точки рівноваги, чи ні, або певні чисельні характеристики якості цього руху. Алгоритм первинної обробки задається відповідно до мети дослідження.

Поточний розмір вихідного файлу контролюється програмою, а при перевищенні заданого (граничного) розміру відбувається виклик процедури, яка відкриває черговий вихідний файл для результатів, автоматично призначаючи йому відповідне ім'я та розширення.

Подальша обробка проміжних результатів чисельного моделювання полягала в створенні на їх основі псевдографічного зображення множини точок простору станів системи (або простору її параметрів, в якому проводиться дослідження), яка відповідає певним умовам. Отримані псевдографічні картини дозволяють не лише зробити висновки про властивості досліджуваного об'єкта, але і об-

рати області для подальшого, більш детального дослідження. Результатом обробки результатів на цьому етапі є файл, що складається з кількох кадрів псевдографічного зображення, утвореного певними символами. Кожен символ характеризує результати розрахунків у відповідній точці фазового простору. Кількість і розміри псевдографічних кадрів відповідають кількості точок у введеної сітці. Отримані псевдографічні зображення можна переглянути, використовуючи будь-який текстовий редактор з моноширинним шрифтом. В створеному комплексі програм передбачено можливість визначення координат точки, позначеної на псевдографічній схемі певним символом, що дозволяє, обираючи по псевдографічному представленню результатів першого чисельного експерименту область подальшого дослідження, знайти координати її границь.

Подальша обробка результатів полягає в переході від псевдографічних до графічних зображень. Під час обробки псевдографічної інформації необхідно врахувати наступні особливості:

1. При переході до графічного формату необхідно врахувати напрям зростання аргументів по координатних осях і за необхідності поміняти порядок рядків зображення або порядок даних в скан-рядку на зворотній.
2. При чисельному моделюванні кількість вузлів сітки може бути довільною, але формати графічних файлів вимагають, щоб кількість даних у скан-рядку зображення була кратна деякій величині, визначеній конкретним форматом. Тому в разі необхідності скан-рядок доведеться доповнити довільними байтами.

Нами було реалізовано два практично зручних шляхи створення графічного файлу, що містить інформацію про результати растрового чисельного моделювання. Перший спосіб – створення порожнього графічного файлу за допомогою будь-якого графічного редактора, з подальшим наповненням його інформацією програмним способом. Перевагою цього способу є простота реалізації; недоліком – те, що він не дозволяє змінювати розмір досліджуваних областей без внесення змін до програм копіювання. Другий спосіб – створення графічного файлу повністю програмними засобами – алгоритмічно дещо складніший, але дозволяє без змін у програмі створювати файли довільних розмірів. Крім того, реалізовано автоматичне накладання на отримане зображення координатних осей, що проходять через задані точки.

Висновки

Дослідження перехідних процесів, що виникають під час руху літака, дозволило побудувати для ряду наборів значень параметрів регулятора множини початкових точок траєкторій, які задовольняють певним вимогам до якості руху. При цьому було використано три різних критерії якості. Розгляд таких множин в порівнянні з технічними вимогами до експлуатаційного діапазону координат дозволяє зробити висновки про придатність того чи іншого регулятора для розв'язання поставленої задачі керування. Оскільки різні регулятори дають найкращі показники якості в різних областях простору станів системи, перспективним напрямком досліджень є синтез керування, яке б дозволило використати змінні параметри регулятора протягом перехідного процесу. Необхідно провести подібне дослідження множин точок, що задовольняють обраному критерію якості, у просторі параметрів регулятора, а це найперше вимагає переформулювання критерію якості. Практичне значення має розробка таких методів пошуку множин точок в просторі станів системи, які б, використовуючи властивості цільового функціонала, дозволили зменшити кількість необхідних розрахунків.

Список літератури

1. Зубов В.И. Проблема устойчивости процессов управления. – СПб.: НИИ Химии СПбГУ, 2001.– 353 с.
2. Летов А.М. Динамика полета и управление.– М.: Наука, 1969.– 360 с.
3. Боднер В.А. Системы управления летательными аппаратами. – М.: Машиностроение, 1973.– 506 с.
4. Топчеев Ю.И., Потемкин В.Г., Иваненко В.Г. Системы стабилизации. - М.: Машиностроение, 1974. - 248 с.
5. Аэромеханика самолета /Под ред. А.Ф.Бочкарева. - М.: Машиностроение, 1977. – 416 с.
6. Глазок О.М. Метод синтезу нелінійних якісних регуляторів. //Контроль і управління в складних системах. Тези доповідей сьомої міжнародної науково-технічної конференції.– Вінниця: Універсум–Вінниця, 2003. – С. 239.

А.М. Глазок

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЛИНЕЙНЫХ КАЧЕСТВЕННЫХ РЕГУЛЯТОРОВ В СИСТЕМЕ СТАБИЛИЗАЦИИ САМОЛЕТА

Национальный Авиационный Университет, Украина. compconsys@nau.edu.ua

Предложено применение нелинейных качественных регуляторов, полученных методом аналитического конструирования с модифицированным функционалом качества, в системе стабилизации самолета на заданной траектории. Рассмотрена методика исследования качества переходных процессов на математической модели движения самолета.

О.М. Glazok

APPLYING NONLINEAR QUALITY REGULATORS IN THE SYSTEM OF AIRCRAFT STABILIZATION

National Aviation University, Ukraine. compconsys@nau.edu.ua

An application of nonlinear quality regulators obtained by the method of analytical constructing with modified quality functional in the system of aircraft stabilization is offered. The methods of investigation quality of the transients on the mathematical model of aircraft motion is considered.