

И.С. БАХТИКЯН, А.А. БАГИЯН

О ПРОЕКТИРОВАНИИ ЭКСПЕРИМЕНТА ПО ВЫОДУ МОДЕЛИ ТРЕНИЯ ДЛЯ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ ПРИЛОЖЕНИЙ

Рассмотрена проблема вывода моделей трения и показана ее важность для аэрокосмических приложений. Предложен метод экспериментальной оценки связи сил трения с условиями полетов без их производства. Представлены математические основы эксперимента и схема стенда для испытаний. Реализация экспериментов приведет к выводу новой модели трения, приемлемой для аэрокосмических приложений.

Ключевые слова: летательные аппараты, сухое трение, компенсация трения, экспериментальный вывод.

ՀՏԴ 681.5.09

Հ.Գ. ԴԱՐԲԻՆՅԱՆ, Ն. Հ. ՆԵՐՍԻՍՅԱՆ, Ա. Հ. ԴԱՎԹՅԱՆ

ՈՉ ԽՈՋԱՆԱԿԱՎՈՐ ՇԱՐԺԻՉՆԵՐԻ ԹԵՍՏԱՎՈՐՈՒՄԸ, ՊԱՐԱՄԵՏՐԵՐԻ ԵՎ ՔԱՐՇԻՉ ՈՒԺԻ ՈՐՈՇՈՒՄԸ

Կատարվել է անօդաչու թռչող սարքերի (ԱԹՍ-երի) կառուցվածքում անփոխարինելի մաս կազմող, պահանջվող չափերով և հզորությամբ շարժիչների ու թևապտուտակների ճշգրիտ ընտրություն: Նկարագրվել է դրանց հետազոտման համար նախատեսված փորձարարական ստենդի կառուցվածքը: Արդյունքները և փորձնական տվյալները ստացվել և մշակվել են LabVIEW ծրագրային միջավայրում:

Առանցքային բառեր. փորձարարական ստենդ, ԱԹՍ, ոչ խոզանակավոր շարժիչ, քարշիչ ուժ, պտուտակ:

Ներածություն. Արդյունավետ և ոչ թանկարժեք ԱԹՍ-երի նախագծման կարևոր խնդիրներից են կատարողականությունը, թռիչքի որակը և բեռի տեղափոխման ունակությունը: ԱԹՍ-երի համար ինքնավար ուղղահայաց թռիչքի և վայրէջքի կարողությունները կարևոր, սակայն հակասական խնդիրներ են համարվում: Ուղղահայաց թռիչքի կամ վայրէջքի կարողության հիմնական պահանջներն են՝ ճշգրիտ ուղղությունը և գետնի նկատմամբ օդի հոսքի կառավարումը, ինչը կենսական նշանակություն ունի օդանավի հավասարակշռության համար: Երբ աշխատում ենք էլեկտրական սարքավորումներով (շարժիչներ և կոնտրոլերներ), կարևոր նշանակության մեխանիկական և էլեկտրական պարամետրերը երբեմն անհայտ կամ մասամբ հայտնի են լինում, հետևաբար՝ պետք է քայլեր ձեռնարկել այդ պարամետրերը որոշելու ուղղությամբ: Աշխատանքում քննարկվում են շարժիչների պարամետրերի որոշման և էլեկտրական ու էլեկտրոնային

բաղադրիչների ընտրության հարցերը: Շարժիչները և շարժիչների կոնտրոլերները մոդելավորված են որպես մի քանի մուտք և մեկ ելք (MISO) ունեցող համակարգեր, որոնց պարամետրերը նախապես որոշված են:

Շարժիչի պարամետրերի որոշման անհրաժեշտությունը. Շարժիչի պարամետրերի որոշումը կատարվում է լաբորատոր պայմաններում: Որոշակի դինամիկ պայմաններում շարժիչի կոնտրոլերին առաջադրվում են մի քանի մուտքային ազդանշաններ, և չափվում է շարժիչի քարշիչ (վերամբարձ) ուժը՝ ազդող ուժի ձևափոխության միջոցով:

Վերջին տասնամյակներին փոխադրամիջոցներին ներկայացվող շատ հատկությունների, ինչպիսիք են՝ տեխնիկական պարամետրերը, կառավարման ալգորիթմները և տարածության մեջ մանևրում իրականացնելը, պահանջները մեծապես աճել են: Այս ոլորտի ինժեներների վերջին ձեռքբերումներից են ԱԹՍ—երը, որոնք, ի տարբերություն օդաչուների կողմից ղեկավարվող թռչող սարքերի, կարող են լուծել առաջադրված մի շարք խնդիրներ՝ արտադրական և կատարողական քիչ ծախսերի պարագայում: ԱԹՍ-երն օգտագործվում են և ռազմական, և քաղաքացիական ոլորտներում, օրինակ՝ վերահսկողության, որոնողափրկարական, հեռավորության վրա չափումների և հետազոտությունների իրականացման աշխատանքներում: ԱԹՍ-երը լինում են մինիմալ քանակությամբ սենսորներով հագեցած, թռչնի չափեր ունեցող սարքերից մինչև ամբողջապես զինված և հեռավորության վրա ինքնաղեկավարվող օդանավեր:

Այս ոլորտում կատարված հետազոտությունները և ձեռքբերումները ավելացնում են որակական ցուցանիշները և պահանջները ԱԹՍ-երի նկատմամբ: Տարբեր գիտական հետազոտությունների արդյունքում մշակված սարքավորումներն ունեն մի շարք առավելություններ, որոնցից ամենակարևորներն են՝ նեղ տարածություններում թռիչքի իրականացումը, օդում ճախրելու յուրահատուկ տարբերակները և ուղղահայաց դիրքով թռիչքի և վայրէջքի իրականացումը:

Ուղղահայաց դիրքով ինքավար թռիչքի իրականացումը ԱԹՍ-ի համար բարդ, սակայն շատ կարևոր խնդիր է և պահանջում է ինքնավար թռիչքի բարձր մակարդակ: Այդ խնդիրներից մի քանիսի լուծման համար լայն կիրառություն են գտել փոքր չափերի ռեակտիվ շարժիչները: Այնուամենայնիվ, այդ շարժիչներն ունեն շատ ցածր արդյունավետություն և մեծ քանակությամբ վառելիքի ծախս: Հաստատուն հոսանքի ոչ խոզանակավոր շարժիչները լավագույնս լուծում են թռչող սարքերի օդում տեղաշարժման իրականացումը: Այս շարժիչներն ունեն բազում առավելություններ մյուսների նկատմամբ՝ իրենց բարձր արդյունավետության, թեթև քաշի, անաղմուկ աշխատանքի, կոմպակտ չափսերի, բարձր հուսալիության և սպասարկման բարձր պահանջներ ունենալու շնորհիվ [1]:

Քարշիչ ուժի հաշվարկը. Ստատիկ քարշիչ ուժի հաշվարկներն անհրաժեշտ են, որպեսզի համոզվենք, որ պահանջվող պտուտակներ և շարժիչներ են ընտրված: Ստատիկ քարշիչ ուժը արտածվում է որպես պտուտակների միջոցով ստեղծված ուժ, որը կայուն է երկրագնդի նկատմամբ: Շատ կարևոր է ցանկացած թռչող սարքի ստեղծման դեպքում նախապես հաշվարկել ստատիկ քարշիչ ուժի անվանական արժեքները [2]:

Ստատիկ քարշիչ ուժի հաշվարկի առաջին քայլը շարժիչից թևապտուտակներին հաղորդվող ընդհանուր կատարված պտույտների թվի որոշումն է՝ rpm. Գոյություն ունեն հատուկ աղյուսակներ, որտեղ, կախված թևապտուտակի տվյալ տեսակից, կարելի է որոշել Power, Prop Const և Power Factor արժեքները և հավասարումից արտածել rpm-ի արժեքը:

$$\text{Power} = \text{Prop Const} * \text{rpm}^{\text{Power Factor}} \quad (1)$$

Օրինակ, նկ. 1-ում բերված 6X4 APC տեսակի պտուտակի համար՝
 Power=24W – հզորություն,
 Prop Const=0.015 – թևապտուտակի գործակից,
 Power Factor=3.2 – հզորության գործակից:
 Արդյունքում կարելի է դուրս բերել, որ՝ rpm=10.000 պր/ր:



Նկ. 1. 6X4 APC տեսակի թևապտուտակը

Հաջորդ քայլը թևապտուտակով ստեղծվող քարշիչ ուժի որոշումն է՝ հետևյալ բանաձևով (2).

$$T = \frac{\pi}{4} D^2 \rho v \Delta v \quad (2)$$

որտեղ T -ն քարշիչ ուժն է (\mathcal{L}), D -ն՝ դիտարկվող թևապտուտակի տրամագիծը (\mathcal{L}), v -ն՝ օդի արագությունն թևապտուտակի վրա (\mathcal{L}/\mathcal{L}), Δv -ն՝ թևապտուտակի պտույտից ստացվող օդի շարժման արագությունը (\mathcal{L}/\mathcal{L}), ρ -ն՝ օդի խտությունը ($1.225 \text{ կգ}/\mathcal{L}^3$):

Հաշվի առնելով, որ $v = \frac{\Delta v}{2}$, կատարելով (3) հավասարումը՝

$$T = \frac{\pi}{8} D^2 \rho (\Delta v)^2 \quad (3)$$

Ընդունելով (4) հավասարումը, տեղադրելով (3)-ի մեջ և լուծելով՝ կարելի է որոշել պտուտակի միջոցով ստեղծվող քարշիչ ուժը.

$$P = \frac{T \Delta v}{2} \Rightarrow \Delta v = \frac{2P}{T} \quad (4)$$

$$T = \sqrt[3]{\frac{\pi}{2} D^2 \rho P^2} \quad (5)$$

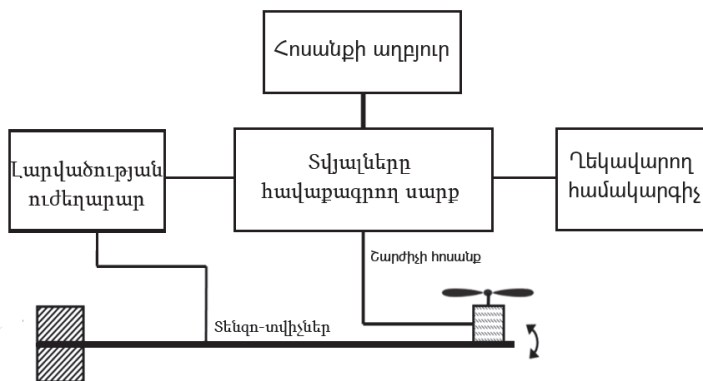
Քարշիչ ուժը կարելի է արտահայտել զանգվածի տեսքով՝

$$m = \frac{\sqrt[3]{\frac{\pi}{2} D^2 \rho P^2}}{g}, \quad (6)$$

որտեղ՝ $g = 9.81 \text{ մ/վ}^2$:

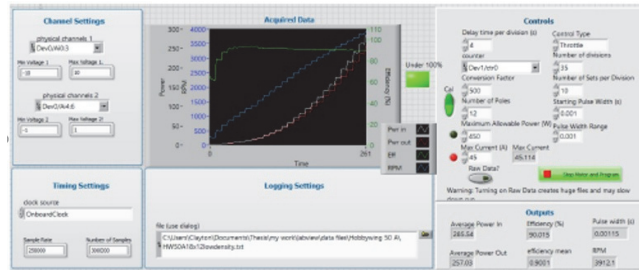
Կարևոր է իմանալ շարժիչի էլեկտրական, մագնիսական և մեխանիկական ճշգրիտ պարամետրերը՝ դրա կոնտրոլերներին ճշգրիտ կարգավորումներ առաջադրելու համար: Սակայն շատ հաճախ արտադրված սարքավորումների տվյալների աղյուսակում չեն նշվում բոլոր պարամետրերը: Դա նշանակում է, որ էլեկտրական դրայվերների նախագծման ընթացքում կամ պետք է օգտագործվեն մոտավոր արժեքներ, կամ փորձնական ճանապարհով որոշվեն անհայտ պարամետրերը: Գոյություն ունեն մի շարք փորձնական ստենդներ, որոնք հնարավորություն են տալիս չափել շարժիչների և պտուտակների քարշիչ ուժը, ինչպես նաև ստանալ համապատասխան բնութագրերը լարումից և հոսանքից կախված՝ հաշվի առնելով վերևում ներկայացված բանաձևերը:

Փորձարարական ստենդի նկարագրությունը.



Նկ.2. Քարշիչ ուժի փորձնական ստենդի ֆունկցիոնալ սխեման

Ստենդը կազմված է սնուցման աղբյուրից, սլյախները հավաքագրող սարքից, մետաղական թիթեղից, որի վրա տեղադրված են թենզոսովիչներ, թիթեղի մի ծայրը անշարժ վիճակում ամրացված է սեղանին, իսկ մյուս ծայրում տեղադրվում է ոչ խոզանակավոր շարժիչը՝ իրեն ամրացված պտտատակով և համապատասխան կոնտրոլերներով [3]:



Նկ. 3. Քարշիչ ուժը որոշող ծրագրի դիմային վահանակը

LabVIEW ծրագրային միջավայրում մշակվել է ծրագիր, որը հավաքագրված արդյունքների հիման վրա ստանում է տրված շարժիչի և թևապտտուտակի քարշիչ ուժը:

Կախված թռչող սարքին ներկայացվող խնդիրներից՝ ստենդի միջոցով կարելի է որոշել՝ ինչ հզորությամբ շարժիչ և ինչ չափսերով թևապտտուտակներ կարող են օգտագործվել:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Corentin C., Aaron D., Semerjyan V.** A Multifunctional HIL Testbed for Multirotor VTOL UAV Actuator.-Utah, IEEE, 2010.
2. **Robert W. D & Michael S. S.**- Urbana, Illinois 2008.
3. **Christopher S.M.** Thrust sensing for small UAVs. Masters Theses, 2016.

А.Г. ДАРБИНЯН, Н.Г. НЕРСИСЯН, А.Г. ДАВТЯН

ТЕСТИРОВАНИЕ, ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ И СИЛЫ ТЯГИ БЕСЩЕТОЧНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Произведен точный выбор двигателей и пропеллеров, составляющих незаменимые части беспилотных летательных аппаратов и имеющих требуемые мощности и размеры. Описывается испытательный стенд, предназначенный для исследования бесщеточных двигателей. Результаты и экспериментальные данные получены и проанализированы в графической среде пакета LabVIEW.

Ключевые слова: испытательный стенд, беспилотный летательный аппарат, бесщеточный двигатель, сила тяги, пропеллер.

H.G. DARBINYAN, N.H. NERSISYAN, A.H. DAVTYAN

**TESTING, DETERMINING OF PARAMETERS AND TORQUE FORCES
OF BRUSHLESS MOTORS**

Accurate selection of propellers and motors constituting an irreplaceable part of unmanned aerial vehicles (UAV) and having appropriate power and size is performed. A test bench destined for conducting investigation of brushless DC motors is described. The results and test data were obtained and processed in the LabVIEW package environment

Keywords: test bench, UAV, Brushless DC Motor, torque, propeller.

УДК 681.51

С.Ш. БАЛАСАНЯН, В.С. БАЛАСАНЯН, Э.М. ГЕВОРГЯН

**КОМПЬЮТЕРНАЯ СТРАТИФИЦИРОВАННАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ
ОЦЕНКИ И АНАЛИЗА НАДЕЖНОСТИ СТРУКТУРНО-СЛОЖНЫХ
СИСТЕМ
(Капан)**

Предлагается обобщенная стратифицированная модель для оценки и анализа надежности структурно-сложных технических систем. Разработана компьютерная модель сопряжения элементов в предлагаемой модели, позволяющая свести имитацию сопряжения элементов смежных страт к стандартной операции умножения матриц. Показано, что предложенная модель допускает распараллеливание процесса имитации передачи сигналов от элементов каждой страты к элементам последующей страты, что предоставляет возможность при использовании многопроцессорных компьютеров значительно ускорить процесс имитации. Применение предложенной модели в качестве схемы формализации позволяет существенно упростить и ускорить построение компьютерной модели надежности структурно-сложных систем, обеспечивая удобство проведения имитационных экспериментов.

Ключевые слова: состояние, стратифицированная модель, страта, надежность, сопряжение, имитация.

Введение. Методологической основой существующих методов оценки и исследования надежности сложных технических систем служит концепция системного подхода [1]. Эта концепция в данном случае проявляется в том, что показатели надежности рассматриваются как функционалы от процесса изменения работоспособности элементов системы. В рамках указанного подхода оценка показателей надежности сложных систем основывается на использовании модели процесса изменения работоспособности элементов системы. Ее сущность заключается в следующем. Формально каждый