

**Հ.Գ. ԴԱՐԲԻՆՅԱՆ, Գ.Ի. ԵՆԳԻԲԱՐՅԱՆ, Ա.Գ. ԱՌԱՔԵԼՅԱՆ,
Բ.Կ. ԱԲՐԱՀԱՄՅԱՆ, Ռ.Կ. ՍԻՄՈՆՅԱՆ**

**ԱՆՕԴԱՉՈՒ ԹՈՉՈՂ ՍԱՐՔԻ ՇԱՐԺԻՉՆԵՐԻ ՔԱՐՇԻՉ ՈՒԺԵՐԻ ՀԱՇՎԱՐԿԸ
ԵՎ ՀԱՄԵՄԱՏԱԿԱՆ ՎԵՐԼՈՒԾՈՒԹՅՈՒՆԸ**

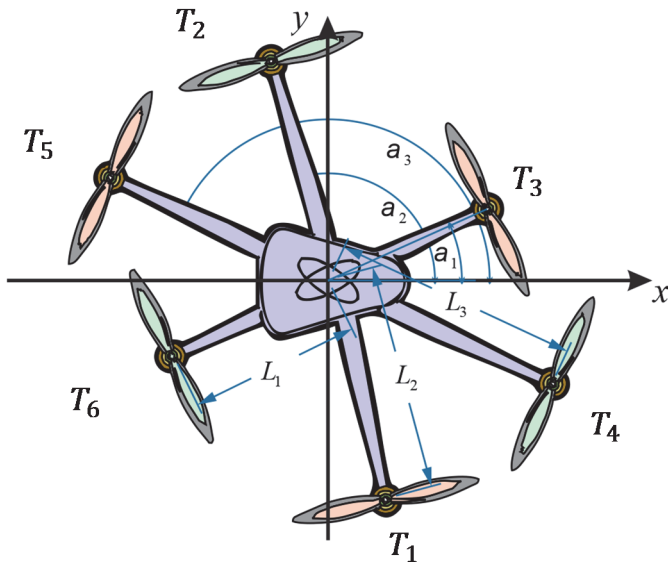
Ուսումնասիրվել են մինչև 2 լիտր հեղուկ նյութ տեղափոխող ԱԹՍ-ի կինեմատիկ առանձնահատկությունները, և հաշվարկվել քարշիչ ուժերը: RCbenchmark 1580 փորձարարական ստենդի միջոցով կատարվել է T-Motor U3 շարժիչի քարշիչ ուժերի փորձնական ստացում՝ չորս տարբեր թևապտուտակների դեպքում: Կատարվել է ստացված արդյունքների և փորձարկված շարժիչի տվյալային աղյուսակների համեմատական վերլուծություն: Հիմնավորվել է հեքսակոպտեր ԱԹՍ-ի շարժիչների ընտրությունը:

Առանցքային բառեր. քարշիչ ուժ, հեքսակոպտեր, կինեմատիկ սխեմա, ԱԹՍ:

Ներածություն: Հեղուկ նյութեր սփռող անօդաչու թռչող սարքերը (ԱԹՍ-ները), ունենալով որոշակի կառուցվածքային առանձնահատկություններ, օգտագործվում են տարբեր բնագավառներում, օրինակ՝ արտակարգ իրավիճակներում կամ գյուղատնտեսության մեջ: Գյուղատնտեսությունում օդային մշտադիտարկումը ֆերմերներին հնարավորություն է տալիս վերահսկել իրենց բերքը՝ սկսած հողի կառավարման համար տվյալների հավաքագրումից մինչև վնասատուների և հիվանդությունների հայտնաբերումը: Անօդաչու թռչող սարքերն օգնում են ֆերմերներին՝ կարգավորելու նաև հողի պայմանները, օրինակ՝ խոնավության ցանկալի մակարդակը, անհրաժեշտության դեպքում՝ քիմիական պարարտանյութերի սփռումը և այլն: Այս ԱԹՍ-ների նախագծման փուլում կարևոր է շարժիչ-թևապտուտակ զույգերի ճիշտ ընտրությունը՝ կախված տեղափոխվող առավելագույն օգտակար բեռի զանգվածից:

Հետազոտվող ԱԹՍ-ի կինեմատիկ կառուցվածքի նկարագրությունը (նկ. 1): Նման խնդիրների գրագետ լուծման համար նախ անհրաժեշտ է կատարել ԱԹՍ-ի իրանի ընտրություն՝ հաշվի առնելով հեղուկ նյութի համար նախատեսված բաքի չափերը: Հաշվի առնելով առաջադրված օգտակար բեռի զանգվածը, ընտրվել է համապատասխան հեքսակոպտեր կառուցվածքով ԱԹՍ, և ներկայացվել են u_z վերամբարձ ուժի և ընթացաշեղման, կողաթեքման ու երկայնաճոճման առանցքներով u_ψ , u_ϕ և u_θ կառավարող մոմենտների հավասարումները՝ արտահայտված $T_1, T_2, T_3, T_4, T_5, T_6$ քարշիչ ուժերով [1] և հեքսակոպտերի կինեմատիկ բնութագրերով ($\alpha_1=30^\circ$, $\alpha_2=90^\circ$, $\alpha_3=150^\circ$, $L_1=L_2=L_3=35$ սմ)

$$\begin{cases} u_z = T_1 + T_2 + T_3 + T_4 + T_5 + T_6, \\ u_\psi = k_\psi(T_1 + T_2 + T_4 + T_6) - (T_5 + T_3), \\ u_\phi = 17.5(T_1 - T_3 + T_5 - T_6) + 35(T_2 - T_4), \\ u_\theta = -17.5 * \sqrt{3}(T_1 - T_3 + T_5 - T_6). \end{cases} \quad (1)$$



Նկ. 1. Հեքսակոպտերի շարժիչների տեղակայման կինեմատիկական սխեման

Հեքսակոպտերի արդյունավետ թռիչքի իրականացման համար կատարվել է շարժիչ-թևապտուտակ զույգի ընտրություն փորձնական ճանապարհով, որոնք ապահովում են ժամանակի տվյալ պահին անհրաժեշտ $T_1, T_2, T_3, T_4, T_5, T_6$ քարշիչ ուժերը: Շարժիչի պարամետրերի որոշումը կատարվում է լաբորատոր պայմաններում: Ընտրված շարժիչի արագության կարգավորիչին առաջադրվում են մի քանի մուտքային ազդանշաններ, և չափվում է շարժիչի քարշիչ (վերամբարձ) ուժը:

Քարշիչ ուժի հաշվարկը: Անօդաչու թռչող սարքերի աշխատանքում քարշիչ ուժի հաշվարկներն անհրաժեշտ են, որպեսզի համոզվենք, որ ԱԹՍ-ի կառուցվածքում անհրաժեշտ թևապտուտակներ և շարժիչներ են ընտրված: Քարշիչ ուժը թևապտուտակների կողմից ստեղծված ուժն է, որը կայուն է երկրագնդի նկատմամբ: Քարշիչ ուժի հաշվարկման պարզեցված բանաձևը կարելի է արտահայտել (2) հավասարմամբ [2].

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

Քարշիչ ուժը կարելի է արտահայտել զանգվածի տեսքով՝

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

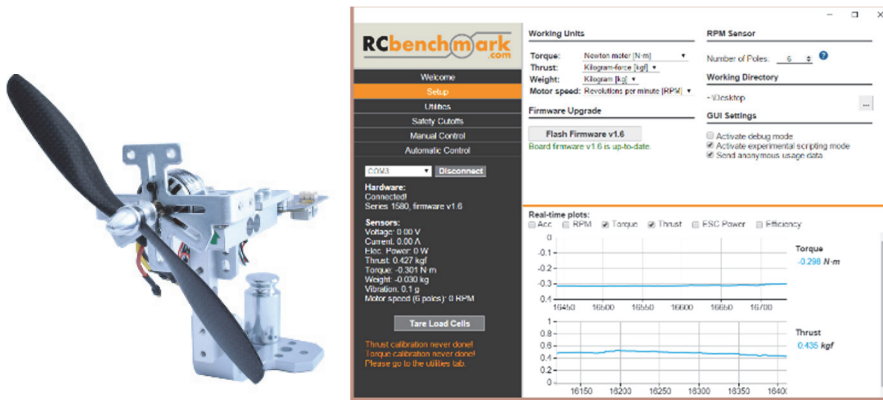
որտեղ $g = 9.81 \text{ մ/վ}^2$:

Կարևոր է նաև իմանալ շարժիչի էլեկտրական, մագնիսական և մեխանիկական ճշգրիտ պարամետրերը՝ դրա կոնստրուկտիվներին 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 թևապտուտակների քարշիչ ուժը, ինչպես նաև ստանալ համապատասխան բնութագրերը՝ լարումից և հոսանքից կախված:

RCbenchmark 1580 ստենդի նկարագրությունը: Հեքսակոպտերի ընդհանուր զանգվածը կազմում է 6,6 կգ, որից 2 կգ-ն օգտակար բեռի զանգվածն է: Ստացվում է, որ ընտրվող շարժիչներից յուրաքանչյուրը պետք է ապահովի 1,1 կգ-ուժ: Դիտարկված շարժիչներից նշված քաշն ապահովում է T-Motor U3 700 KV մոդելի շարժիչը: Նշված շարժիչի տվյալային աղյուսակում որպես քարշիչ ուժի առավելագույն արժեք նշված է 1,8 կգ-ուժ-ը: Քանի որ քարշիչ ուժի (2)-րդ բանաձևում հաշվի են առնված նաև օդի խտությունը և մթնոլորտային ճնշումը, ապա կարելի է եզրակացնել, որ աղյուսակում նշված արժեքները Հայաստանյան պայմաններում կարող են փոփոխվել, հետևաբար՝ անհրաժեշտություն է առաջանում այդ արժեքները որոշել փորձնական ճանապարհով: Հաշվարկներն իրականացնելու համար օգտագործվել է RCbenchmark 1580 փորձարարական ստենդը (նկ.2), որը դինամոմետր է՝ USB ինտերֆեյսով և ավտոմատ կառավարման ու տվյալների գրանցման հզոր ծրագրակազմով [3]:

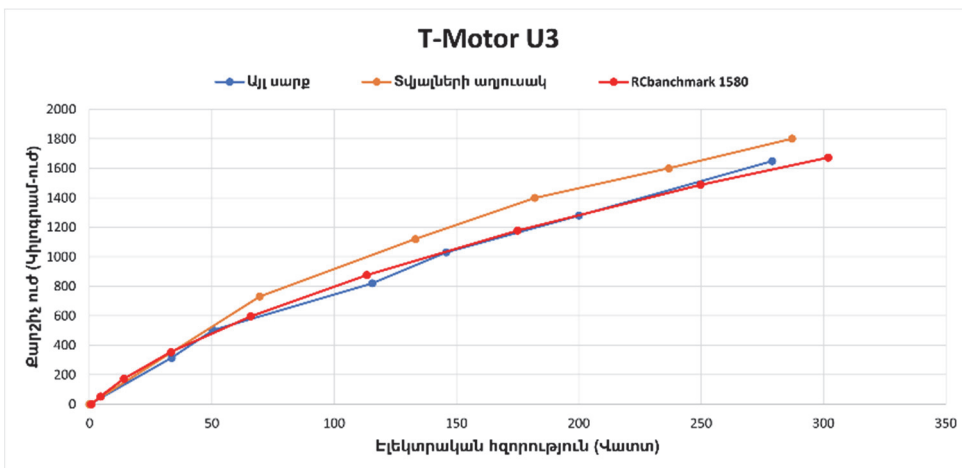
Ստենդը հնարավորություն է տալիս՝ չափելու հետևյալ պարամետրերը՝

- քարշիչ ուժը (gf),
- լարումը (V) և հոսանքը (A),
- շարժիչի պտույտների թիվը րոպեում (RPM),
- շարժիչի արդյունավետությունը (%),
- էլեկտրական հզորությունը (W),
- և այլն:



Նկ. 2. RCbenchmark 1580 ստենդի արտաքին տեսքը և ծրագրային միջավայրը

Մինչ նշված շարժիչի համար թևապտուտակների ընտրությունը՝ կատարվել է T-Motor U3 700 KV մոդելի շարժիչի տվյալային աղյուսակներում բերված տվյալների, RCbenchmark 1580 ստենդից և մեկ այլ փորձարարական ստենդից ստացված արդյունքների համեմատական վերլուծություն (նկ. 3):



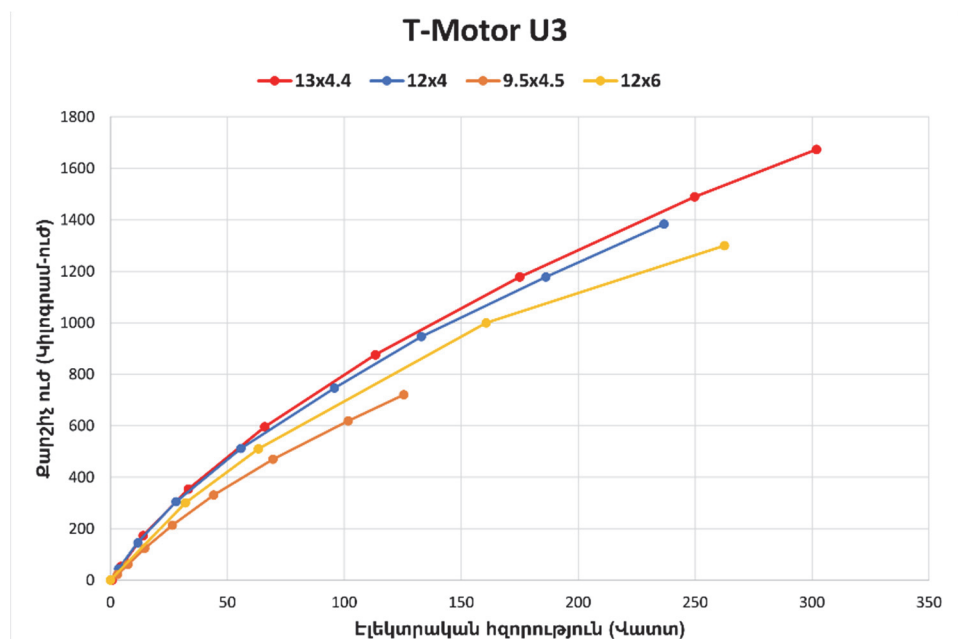
Նկ.3. T-Motor U3 շարժիչի փորձարկումների համեմատական վերլուծությունը

Տվյալային աղյուսակում բերված տվյալների տարբերությունը պայմանավորված է ՀՀ-ի ծովի մակարդակից ունեցած բարձրությամբ: Նախագծված ԱԹՄ-ն նախատեսվում է օգտագործել Վանաձորի տարածքում, որը գտնվում է ծովի մակարդակից 1344 մ բարձրության վրա: Աղյուսակից պարզ է դառնում, որ ընտրված շարժիչը (համապատասխան թևապտուտակով) փորձարկման արդյունքում, միևնույն մուտքային ազդանշանի դեպքում, ապահովել է ավելի ցածր քարշիչ ուժ, քան գործարանային աղյուսակում բերված տվյալները (աղ.):

Առաջ. ազդ. (մկվ)	RCbanchmark 1580		Տվյալ. աղ.	
	Քարշիչ ուժ (գ-ուժ)	Հզորություն (Վտ)	Քարշիչ ուժ (գ-ուժ)	Հզորություն (Վտ)
1100	0.132180821	0.716306544	0	0
1500	595.2732673	65.91896601	730	69.56
1600	875.9809528	113.3470147	1120	133.2
1700	1177.510265	174.944787	1400	182.04
1800	1488.871185	249.7580932	1600	236.8
1900	1672.698339	301.890398	1800	287.12

Փորձերն իրականացվել են T-Motor U3 շարժիչի վրա 4 տարբեր պարամետրերով թևապտուտակների (13x4.4, 12x4, 9.5x4.5, 12x6) միջոցով:

Փորձարկման գրաֆիկական արդյունքները ներկայացված են նկ. 4-ում:



Նկ. 4. Տարբեր պարամետրերով թևապտուտակների փորձարկումների արդյունքները

Եզրակացություն: Արդյունքները թույլ են տալիս եզրակացնել, որ 2 տարբեր փորձարարական ստենդներով ստացված տվյալները բավականին մոտ են իրար, ինչի արդյունքում որպես չափման հավաստի տվյալ վերցվել են ոչ թե տվյալային աղյուսակներում բերված, այլ RCbanchmark 1580 ստենդի միջոցով ստացված տվյալները: Նկ. 4-ից երևում է, որ քարշիչ ուժի և էլեկտրական հզորության կախվածության ամենամեծ արժեքը ստացվում է այն դեպքում, երբ

օգտագործում ենք 13x4.4-T-Motor U3 թևապտուտակ-շարժիչ զույգը: 13x4.4-T-Motor U3 մեկ զույգի միջոցով ստեղծվող քարշիչ ուժը, կախված մուտքում տրվող ազդանշանից, հավասար է 600–1650 գ-ուժի, այսինքն 6 զույգ թևապտուտակ-շարժիչների միջոցով ստացվող գումարային առավելագույն ուժը կլինի 3600–9600 գ-ուժ:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Дарбинян А.Г.** Система управления квадрокоптером с обобщенной кинематической схемой установки пропеллеров // Известия НАН РА и НПУА. Сер.ТН.-2019.- Т.72, №4.-С.525-538.
2. **Դարբինյան Հ.Գ., Ներսիսյան Ն.Շ., Դավթյան Ա.Շ.** Ոչ խոզանակավոր շարժիչների թեստավորումը, պարամետրերի և քարշիչ ուժի որոշումը // ՀԱՊՀ Լրագրեր. Գիտական հոդվածների ժողովածու. - Երևան: Ճարտարագետ, 2019. -3/1. - էջ 118-123:
3. **Adrien Robert.** Series 1580/1585 User Manua / Document ID: SFE272. - Gatineau, QC, Canada, 2021.-4 p.

**Ա.Գ. ԴԱՐԲԻՆՅԱՆ, Գ.Ի. ԵՆԳԻԲԱՐՅԱՆ, Ա.Գ. ԱՐԱԿԵԼՅԱՆ,
Բ.Կ. ԱԲՐԱՄՅԱՆ, Ր.Կ. ՍԻՄՈՆՅԱՆ**

РАСЧЕТ СИЛ ТЯГИ ДВИГАТЕЛЕЙ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА И СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ

Исследованы кинематические особенности беспилотного летательного аппарата (БПЛА), транспортирующего жидкое вещество до двух литров, и вычислены силы тяги. С помощью испытательного стенда RCbenchmark 1580 протестирована тяга двигателя T-Motor U3 с четырьмя разными пропеллерами. Проведен сравнительный анализ полученных результатов с табличными данными испытуемых двигателей. Обоснован выбор двигателей БПЛА гексакоптера.

Ключевые слова: тяга, гексакоптер, кинематическая схема, беспилотный летательный аппарат.

**H.G. DARBINYAN, G.I. YENGIBARYAN, A.G. ARAKELIAN,
B.K. ABRAHAMYAN, R.K. SIMONYAN**

CALCULATION OF THRUSTS OF UNMANNED AERIAL VEHICLE MOTORS AND COMPARATIVE ANALYSIS

The kinematic features of the UAV, transporting up to 2 litres of liquid material are studied, and the thrust forces are calculated. Through RCbenchmark 1580 test stand, the thrust of T-Motor U3 motor with four different propellers are tested. A comparative analysis of the obtained results and the data given in the datasheet of the tested motor is carried out. The choice of hexacopter-UAV motors is proved.

Keywords: thrust, hexacopter, kinematic scheme, UAV.