

ELEKTROS ENERGIJOS PANAUDOJIMAS LENGVOJOJE AVIACIJOJE

Bronius Merkys

Vilniaus Gedimino technikos universitetas

El. paštas: b.merkys@vgtu.lt

Santrauka. Nagrinėjama elektrinių variklių ir elektros energijos akumuliatorių naudojimo galimybė labai lengvuose ir ultralengvuose orlaiviuose atsižvelgiant į jau pasiektą elektros energijos saugojimo įrangos lygį ir raidos prognozes. Įvertinant variklio ir akumulatoriaus masę ir ją lyginant su vidaus degimo variklio ir degalų mase ieškoma kriterijų, kurie leistų priimti sprendimą pasirenkant vieno ar kito tipo jėgainę.

Reikšminiai žodžiai: elektros variklis, akumulatorius, jėgainė, lengvas orlaivis, vidaus degimo variklis, degalai, masė.

Įvadas

Pastaruosiu metu cheminės taršos mažinimas yra labai svarbus uždavinys visai transporto sistemai. Tai taip pat svarbu ir aviacijai. Vienas iš mažinimo būdų – naudoti elektros energiją. Kadangi dideliems transportiniams orlaiviams reikalingi didelės galios varikliai, akivaizdu, kad kol kas pasiektas technologijų lygis negali išspręsti kelių dešimčių tūkstančių kilovatų galios elektros variklių aprūpinimo elektros energija problemos. Be to, tokios galios variklių, tinkamų aviacijai, irgi dar nėra. Šiuo metu gana populiarūs motorizuoti sklandytuvai, kuriems startuoti arba tik kilti naudojami elektriniai varikliai. Pavyzdys galėtų būti ultralengvasis motosklandytuvus su elektriniu varikliu „Alatus-ME“ (1 pav.).



1 pav. Ultralengvasis motosklandytuvus „Alatus-ME“

Fig. 1. Ultralight motorglider Alatus-ME

Tačiau motosklandytuvai skirti tik sportiniams skrydžiams. Be to, motosklandytuvo motoras dirba tik startuojant ir kylant. Taigi jo darbo laikas, o kartu ir reikalingos elektros energijos atsargos, yra labai riboti. Dėl to motorizuotų sklandytuvų pritaikymo sritis gana siaura.

Jau daugiau kaip dešimtmetį juntama ultralengvųjų (UL) ir labai lengvųjų (LL) orlaivių rinkos plėtra. Didžiausi šių klasių orlaivių privalumai:

1. Tokie orlaiviai gerokai pigesni už kitų klasių orlaivius, nes juos sertifikuojant taikomi gerokai paprastesni reikalavimai.

2. Paprastesnė ultralengvųjų orlaivių pilotų licencijavimo tvarka, pigiau kainuoja tokių pilotų paruošimas.

Dėl šių priežasčių abi orlaivių klasės (ypač ultralengvieji orlaiviai) kelia vis didesnę susidomėjimą. Kadangi ir UL, ir LL orlaiviai naudojami tik pramogoms ir oro turizmui, jiems nėra aktualu pasiekti itin didelių skrydžio nuotolių. Atitinkamai jiems nereikia turėti didelių elektros energijos atsargų. Atsižvelgiant į tai, kad bent jau kol kas būtent akumuliatorių, kaip elektros energijos atsargos kaupimo priemonių, masė labiausiai riboja elektros energijos panaudojimą aviacijoje, galima prognozuoti, kad elektriniai varikliai bus pradėti naudoti būtent šiose orlaivių klasėse.

Orlaivių masės skaičiavimas

Šio darbo tikslas sukurti metodiką, kurią taikant būtų galima įvertinti elektros energijos kaupimo ir saugojimo priemonių (akumuliatorių) ir elektrinių motorų parametrumą naudoti ultralengvųjų ir labai lengvųjų orlaivių konstrukcijose. Tam siūlomas algoritmas, padedantis apskaičiuoti orlaivio jėgainės masės priklausomybę nuo jo skrydžio laiko. Žinant šią priklausomybę nesunku įvertinti, ar turimų parametrumų elektros variklio varoma jėgainė yra tinkama naudoti ultralengvajam ar labai lengvam orlaiviui.

Pagal priimtą tarptautinę ir Lietuvos praktiką bei teisės aktus ultralengvuju laikomas ne daugiau kaip 2 vietų orlaivis, kurio maksimali leistina kilimo masė ne

didesnė kaip 450 kg. Labai lengvo orlaivio maksimalus vietų skaičius taip pat apsiriboja dviem vietomis, o maksimali leistina kilimo masė neturi viršyti 750 kg.

Santykinai nedideli apribojimų skirtumai irgi padeda lengviau ir paprasčiau palyginti šių tipų orlaivių jėgainių mases ir galimybę pilnaverčiam jų skrydžiui naudoti elektros energiją.

Tiek lengvojo, tiek ultralengvojo orlaivių jėgainę sudaro:

- motoras;
- motoro tvirtinimo įranga;
- motoro valdymo ir kontrolės įranga;
- aušinimo sistema;
- tepimo sistema;
- kapotas;
- degalų sistema (elektros energijos saugojimo ar generavimo sistema).

Akivaizdu, kad pirmųjų šešių pozicijų elementų mases galima laikyti nepriklausomomis nuo skrydžio trukmės. Šias mases laikysime pastoviomis. Degalų sistemos, ypač elektros energijos saugojimo ir generavimo sistemų masės, labai priklauso nuo skrydžio trukmės. Todėl jų masės bus išreikštos kaip skrydžio trukmės funkcijos.

Kadangi orlaivio jėgainės masė labai priklauso nuo jo paties savybių, suformuluojamos pradinės sąlygos, vienodos abiejų lyginamų orlaivių tipams:

- abiejų orlaivių aerodinaminė kreiserinės konfigūracijos kokybė lygi 15;
- abiejų orlaivių aerodinaminė kilimo konfigūracijos kokybė lygi 10;
- abu orlaiviai turi atitinkamai benzininį vidaus degimo motorą ir elektrinį motorą;
- abu orlaiviai kildami turi pasiekti minimalų 2 m/s vertikalųjį kilimo greitį;
- abiejų orlaivių jėgainės ir skrydžiui būtinos energijos (degalų) atsargų suma neturi viršyti 25 % maksimalios kilimo masės.

Dėl specifinių apribojimų ultralengvasis orlaivis turi šias tik jam būdingas savybes ir jėgainės charakteristikas:

1. Maksimali kilimo masė 450 kg. Benzininiam motorui naudotos vidaus degimo benzininio dvitakčio motoro „Rotax 447 U1“ degalų sąnaudų charakteristikos (Rotax... 2010).
2. Maksimali motoro (tiek benzininio, tiek elektrinio) kilimo galia $P_{UL} = 29$ kW (39 AG).

Labai lengvo orlaivio apribojimai ir jėgainės charakteristikos:

1. Maksimali kilimo masė 750 kg. Benzininiam motorui naudotos vidaus degimo benzininio dvi-

takčio motoro „Rotax 582 UL-2V“ degalų sąnaudų charakteristikos (Rotax... 2010).

2. Maksimali motoro (tiek benzininio, tiek elektrinio) kilimo galia $P_{LL} = 48$ kW (64,3 AG).

M. Dudley ir A. Misra pateikia lyginamosios elektrinių ir benzininių variklių, naudojamų aviacijoje, mases (Dudley *et al.* 2009):

a) lyginamoji benzininio motoro masė $w_B = 1,1$ kW/kg;

b) lyginamoji elektrinio motoro masė $w_E = 3,4$ kW/kg.

Žinodami šiuos parametrus ir kilimui reikalingas galias galime apskaičiuoti ultralengvojo ir labai lengvo orlaivių benzininių ir elektrinių motorų versijų mases (1 lentelė).

Ultralengvojo orlaivio benzininio motoro masė:

$$W_{BUL} = P_{UL}/w_B \quad (1)$$

Tokios pat klasės lėktuvo elektros motoro masė:

$$W_{EUL} = P_{UL}/w_E \quad (2)$$

Analogiškai labai lengvo orlaivio benzininio motoro masė:

$$W_{BLL} = P_{LL}/w_B \quad (3)$$

Tos pačios klasės orlaivio elektrinio motoro masė:

$$W_{ELL} = P_{LL}/w_E \quad (4)$$

1 lentelė. Orlaivių motorų masė

Table 1. The mass of aircraft engines

Ultralengvųjų orlaivių motorų masės	Su benzininiu motoru (W_{BUL})	26,4 kg
	Su elektros motoru (W_{EUL})	8,5 kg
Labai lengvųjų orlaivių motorų masės	Su benzininiu motoru (W_{BLL})	43,6 kg
	Su elektros motoru (W_{ELL})	14,2 kg

Atsižvelgiant į J. Roskamo tyrimą galima teigti, kad orlaivio, turinčio vidaus degimo variklį, likusių jėgainės elementų (be degalų bakų ir jų atsargos) masė sudaro 0,3 jo kilimo galios (kai galia skaičiuojama AG vienetais) (Roskam 1989). Todėl ultralengvojo ir labai lengvo orlaivių su benzininiais motorais jėgainės, be motoro ir degalų masės, bus atitinkamai:

$$W_{JBUL} = P_{UL} 0,3 = 9 \cdot 0,3 = 11,7 \text{ kg} \quad (5)$$

ir

$$W_{JBLL} = P_{LL} 0,3 = 64,3 \cdot 0,3 = 19,3 \text{ kg.} \quad (6)$$

Aviacinio elektros motoro jėgainę sudaro:

- motoras;
- motoro tvirtinimo sistema;
- motoro valdymo ir kontrolės įranga;
- aušinimo sistema;

- tepimo sistema;
- kapotai;
- keitikliai.

Taigi elektros motoro jėgainę sudaro tie patys elementai kaip ir benzininio, tik dar prisideda keitikliai. Keitiklių lyginamoji masė w_K priklauso nuo motoro galios ir yra 4,2 kW/kg (2015 m. prognozuojama pasiekti 6 kW/kg) (Dudley *et al.* 2009). Todėl elektrinių ultralengvojo ir labai lengvo variantų orlaivių jėgainės masė (žr. 2 lentelė) atitinkamai bus:

$$W_{JEUL} = W_{BUL} + P_{UL}/w_K, \quad (7)$$

$$W_{JELL} = W_{JBVLA} + P_{UL}/w_K. \quad (8)$$

Prognostinė elektrinės jėgainės masė:

$$W_{JEUL} = W_{JBUL} + P_{UL}/w_K, \quad (9)$$

$$W_{JELL} = W_{JBIL} + P_{UL}/w_K. \quad (10)$$

2 lentelė. Elektrinių lėktuvų jėgainių masės

Table 2. The mass of electric aircraft powerhouses

Jėgainių masės įvertinant dabar pasiektą lygį	Ultralengvojo orlaivio (W_{JEUL})	18,6 kg
		Labai lengvo orlaivio (W_{JELL})
Prognostinės jėgainių masės	Ultralengvojo orlaivio (W_{JEUL})	16,5 kg
	Labai lengvo orlaivio (W_{JELL})	27,3 kg

Orlaivių su benziniais varikliais motorų ir jėgainių masės:

$$W_{MJBUL} = W_{BUL} + W_{JBUL}, \quad (11)$$

$$W_{MJBLL} = W_{BVLL} + W_{JBLL}. \quad (12)$$

Tas pats orlaiviams su elektros motorais:

$$W_{MJEUL} = W_{EUL} + W_{JEUL}, \quad (13)$$

$$W_{MJELL} = W_{ELL} + W_{JELL}. \quad (14)$$

Šių masių skaičiavimai pateikti 3 lentelėje.

3 lentelė. Motorų ir jėgainių masė

Table 3. The mass of engines and powerhouses

Orlaivio klasė	Motoro tipas	Motoro ir jėgainės masė, kg
Ultralengvasis	benzininis	38,1
	elektros	27,1
Labai lengvas	benzininis	62,9
	elektros	44,9

Orlaivio, turinčio jėgainę su elektros motoru, jėgainės masė taikant 2015 m. prognozuojamą lyginamąją keitiklių masę (Dudley *et al.* 2009):

$$W_{MJEUL} = W_{EUL} + W_{JEUL}, \quad (15)$$

$$W_{MJEVLA} = W_{EVLA} + W_{JEVLA}. \quad (16)$$

Prognozuojamos orlaivių su elektros motorais jėgainių masės pateiktos 4 lentelėje.

4 lentelė. Prognozuojamos motorų ir jėgainių masės

Table 4. Prognostications of the masses of engines and powerhouses

Orlaivio tipas	Prognozuojama jėgainės masė kg	
	žymėjimas	dydis
Ultralengvasis	W_{MJEUL}	25
Labai lengvas	W_{MJELLA}	41,5

Apskaičiavus pastoviąją jėgainės masės dalį visiems galimiems orlaivių variantams, galima skaičiuoti kintamąją dalį. Benzininio motoro ją sudarys degalų masė, o elektrinio – akumuliatorių masė. Akumuliatorių masė priklauso nuo to, koks energijos kiekis juose turi būti sukauptas. Taigi iš esmės abiem atvejais šios masės bus skrydžio įvairiais režimais laiko funkcijos. Norint apskaičiuoti degalų ar elektros energijos atsargų poreikį suformuojamas tipinis skrydis, parodantis, kiek laiko ir kokių režimu dirba orlaivio variklis. Tipinį skrydį sudaro tokie etapai:

1. Riedėjimas žeme: riedėjimo trukmė $t_r = 10$ min. (0,17 val.). Motoras veikia 50 % galios.

2. Įsibėgėjimas ir kilimas: šio režimo trukmė $t_i = 15$ min. (0,25 val.). Motoras veikia maksimalia galia.

3. Kreiserinis skrydis: šio režimo trukmė t_k neribojama. Motoras veikia kreiseriniu 55 % maksimalios galios režimu.

4. Žemėjimas ir tūpimas: motoras veikia minimalia galia. Režimo trukmė $t_f = 10$ min. (0,17 val.).

5. Numatoma avarinė degalų atsarga (benzininio motoro) ar avarinė energijos šaltinio atsarga (elektrinio motoro): darbo šiuo režimu laikas $t_a = 5$ min. (0,085 val.), motorui veikiant maksimalia galia.

6. Neišnaudojama benzininio motoro degalų atsarga 1 l (0,7 kg).

Išnagrinėjus pasiūlytą tipinį skrydį tampa akivaizdu, kad energijos atsarga visiems skrydžio etapams ir vienam skrydžiui nekis, priklausomai nuo laiko, išskyrus skrydžio etapą kreiseriniu režimu. Būtent šio etapo energijos atsarga priklausys nuo skrydžio nuotolio arba laiko. Taigi nuo to iš esmės ir keisis visa jėgainės masė, įskaitant skrydžiui reikalingos energijos atsargų (degalų ar akumuliatorių) masę.

Lyginamąsias degalų sąnaudas skrendant kiekvienu iš šių režimų (benzininiam motorui) imame iš atitinkamo motoro techninių charakteristikų, pateiktų „Rotax“ firmos (Rotax... 2010). Variklių degalų sąnaudų duomenys pateikti 5 lentelėje.

5 lentelė. Variklių degalų sąnaudos

Table 5. Motor fuel consumption

Motoro tipas	Motoro darbo režimas	Galia dirbant tuo režimu, kW	Lyginamosios degalų sąnaudos c_{lyg} , g/kW h
„Rotax 447UI“	Maksimalios galios (kilimo)	29	500
	Kreiserinis (55 % maks. galios)	15,95	600
	Kreiserinis (50 % maks. galios)	14,5	650
	Minimalus (20 % maks. galios)	5,8	1200
„Rotax 582 UL-2V“	Maksimalios galios (kilimo)	48	420
	Kreiserinis (55 % maks. galios)	26,4	520
	Kreiserinis (50 % maks. galios)	24	550
	Minimalus (20 % maks. galios)	9,6	1000

Todėl orlaivio su benzininiu motoru degalų masę skaidome į pastoviąją tipiniam skrydžiui atlikti reikalingos degalų masės W_{BPUL} ir W_{BPLL} (atitinkamai UL ir LL orlaiviams) ir kintamąją dalis W_{BKUL} ir W_{BKLL} . Kintamoji dalis priklausys nuo skrydžio kreiseriniu režimu laiko. Analogiškai elgiamės apskaičiuodami orlaivių su elektriniais motorais jėgainių mases.

Ultralengvojo orlaivio su benzininiu motoru „Rotax 447UI“ pastoviosios degalų masės, reikalingos tipiniam skrydžiui atlikti, dalis yra:

$$W_{BPUL} = t_r c_{lyg} 14,5 + t_i c_{lyg} 29 + t_l c_{lyg} 5,8 + t_r c_{lyg} 29.$$

To paties tipo orlaivio visos jėgainės ir pastoviosios degalų masių suma yra:

$$W_{BJPDUL} = W_{BPUL} + W_{MJBUL}. \quad (17)$$

Labai lengvo orlaivio su benzininiu motoru „Rotax 582 UL-2V“ pastovioji degalų masės, reikalingos tipiniam skrydžiui atlikti, dalis yra:

$$W_{BPLL} = t_r c_{lyg} 24 + t_i c_{lyg} 48 + t_l c_{lyg} 9,6 + t_r c_{lyg} 48 + 0,7.$$

Labai lengvo orlaivio visos jėgainės ir pastoviosios degalų masių suma yra:

$$W_{BJPDL} = W_{BPLL} + W_{MJBLL}. \quad (18)$$

Ultralengvojo ir labai lengvo orlaivio pastoviųjų degalų masių, reikalingų tipiniam skrydžiui atlikti, bei jėgainių ir pastoviųjų degalų masių sumų reikšmės pateiktos 6 lentelėje.

6 lentelė. Pastoviosios degalų ir jėgainių masės

Table 6. Constant fuel and masses of powerhouses

Lėktuvo tipas	Masės, kg			
	Pastovioji degalų masės dalis		Jėgainės ir pastoviosios degalų masės dalis	
	žymėjimas	dydis	žymėjimas	dydis
Ultralengvasis	W_{BPUL}	6,9	W_{BJPDUL}	45
Labai lengvas	W_{BPLL}	9,5	W_{BJPDL}	73,4

Benzininiam motorui naudoti reikalingų degalų, skrendant kreiseriniu režimu, masę išreiškiame kaip skrydžio laiko kreiseriniu režimu t_k funkciją. Šių degalų masės ultralengvajam ir labai lengvam orlaiviams atitinkamai bus tokios:

$$W_{BKSUL} = c_{lyg} t_k 15,95 = 10,36 t_k, \quad (19)$$

$$W_{BKSLL} = c_{lyg} t_k 26,4 = 15,84 t_k. \quad (20)$$

Analogiškai, kaip ir orlaivių su benzininiu motoru, ultralengvajam ir labai lengvam orlaiviams su elektros motorais skaičiuojamos energijos atsargos ir akumulatoriaus masė. Tipiniai skrydžiai vienodi, išskyrus tai, kad akumulatorius neturi neišnaudojamos energijos atsargos. Motorų galios, reikalingos skrydžiams atitinkamais režimais, imamos iš lentelės (nes tarėme, kad benzininių ir elektrinių orlaivių motorai bus vienodos galios). Akumulatoriaus lyginamasis talpumas c_{abyg} kW val./kg, paimtas iš M. Dudley ir kt. knygos (Dudley *et al.* 2009) (TESLA akumulatorius), yra 0,12 kW val./kg (arba 8,33 kg/kW val.), planuojamas pasiekti 2015 metais – 0,2 kW val./kg (arba 5 kg/kW val.); įdiegus nanotechnologijas manoma pasiekti talpumo lygį 0,75 kW val./kg (arba 1,33 kg/kW val.).

Ultralengvojo orlaivio su elektros motoru pastovioji akumulatoriaus masės, reikalingos tipiniam skrydžiui atlikti, dalis yra:

$$W_{EPUL} = t_r c_{abyg} 14,5 + t_i c_{abyg} 29 + t_l c_{abyg} 5,8 + t_r c_{abyg} 29.$$

Ultralengvojo orlaivio su elektros motoru pastoviųjų akumuliatorių masių, reikalingų tipiniam skrydžiui atlikti, dalių skaičiavimų rezultatai pateikti 7 lentelėje (Dudley *et al.* 2009).

7 lentelė. Ultralengvųjų orlaivių akumuliatorių masė

Table 7. The mass of accumulators used in ultra light airplanes

Žymėjimas	Lygis	Masės reikšmė, kg
W_{EPUL}	Dabartinis	108,3
	Prognozė 2015 metams	65
	Įdiegus nanotechnologijų pasiekimus	17,3

Ultralengvojo orlaivio su elektros motoru visos jėgainės ir pastoviosios degalų masių suma šiuo metu pasiektu akumulatoriaus lyginamojo talpumo lygiu yra:

$$W_{EJPDL} = W_{BPUL} + W_{MJEUL} = 27,1 + 108,3 = 135,4 \text{ kg.}$$

Atsižvelgiant į 2015 metų prognozę (Dudley *et al.* 2009) $W_{EJPDL} = 90 \text{ kg.}$

Prognozė įdiegus nanotechnologijas (Dudley *et al.* 2009) $W_{EJPDL} = 42,3 \text{ kg.}$

Labai lengvo orlaivio su elektriniu motoru pastovioji akumuliatorių masės, reikalingos tipiniam skrydžiui atlikti, dalis yra:

$$W_{EPLL} = t_r c_{abyg} 24 + t_i c_{abyg} 48 + t_l c_{abyg} 9,6 + t_r c_{abyg} 48. \quad (21)$$

Labai lengvo orlaivio su elektros motoru pastoviųjų akumuliatorių masių, reikalingų tipiniam skrydžiui atlikti, dalių skaičiavimų rezultatai pateikti 8 lentelėje (Dudley *et al.* 2009).

8 lentelė. Labai lengvų orlaivių akumuliatorių masė

Table 8. The mass of accumulators used in very light airplanes

Žymėjimas	Lygis	Masės reikšmė, kg
W_{EPLL}	Dabartinis	179,5
	Progozė 2015 metams	107,7
	Įdiegus nanotechnologijų pasiekimus	28,7

Labai lengvo orlaivio visos jėgainės ir pastoviosios akumuliatorių masių suma yra:

$$W_{EJPDLL} = W_{EPLL} + W_{EJBL} = 44,9 + 179,5 = 224,4 \text{ kg.}$$

Įvertinus lyginamojo talpumo 2015 metų prognozę (Dudley *et al.* 2009): $W_{EJPDLL} = 149,2 \text{ kg.}$

Įdiegus nanotechnologijų pasiekimus (Dudley *et al.* 2009): $W_{EJPDLL} = 70,2 \text{ kg.}$

Elektros motorui reikalingoms energijos atsargoms saugoti, skrendant kreiseriniu režimu, būtiną akumuliatorių masę išreiškiame kaip skrydžio laiko kreiseriniu režimu t_k funkciją. Akumuliatorių masės ultralengvojo ir labai lengvo orlaivių bus atitinkamai:

$$W_{EKSUL} = c_{elyg} t_k 15,95 = 132,9 t_k, \quad (22)$$

$$W_{EKSLL} = c_{elyg} t_k 26,4 = 219 t_k. \quad (23)$$

Pagal A. Badiagino ir kt. (Бадягин *et al.* 1978) pateiktą orlaivio egzistavimo lygties sprendinį galima teigti, kad šiuolaikinis orlaivis gali skristi, jei jo visos jėgainės su skrydžiui reikalingais degalais masę sudaro ne daugiau kaip 25 % maksimalios jo kilimo masės. Šis teiginys galioja tiek ultralengvajam, tiek ir labai lengvam orlaiviui. Todėl 2 paveiksle nubrėžtos ultralengvojo ir labai lengvo lėktuvų jėgainių masės ribos, ultralengvojo orlaivio jėgainę apribojant 113 kg mase, o lengvojo – 188 kg, kuri sudaro po 25 % kiekvienos klasės orlaivio kilimo masės.

Turint ultralengvojo ir labai lengvo orlaivio jėgainių ir pastoviąsias degalų bei elektros akumuliatorių mases, prie jų pridėjus degalų ar akumuliatorių masių priklausomybes nuo skrydžio kreiseriniu režimu laiko, galima nustatyti, kaip visos jėgainės skrydžiui reikalingos energijos atsargos priklauso nuo kreiserinio skrydžio laiko. Taigi ultralengvojo orlaivio su benzininiu motoru jėgainės ir būtinų degalų atsargos masė nuo skrydžio kreiseriniu režimu laiko, išreikšto valandomis, priklauso taip:

$$W_J = W_{BJPDUL} + W_{BKSUL} = 45 + 10,36 t_k. \quad (24)$$

Labai lengvo orlaivio su benzininiu motoru jėgainės ir degalų atsargos masės priklausomybė nuo skrydžio kreiseriniu režimu laiko bus tokia:

$$W_J = W_{BJPDLL} + W_{BKSLL} = 73,4 + 15,84 t_k. \quad (25)$$

Iš pateiktų formulų matyti, kad minimali ultralengvojo orlaivio jėgainės ir degalų atsargos, būtinoms tipiniam skrydžiui atlikti, masė yra 45 kg netgi tuo atveju, jei orlaivis tik pakils ir iškart nusileis. Labai lengvam orlaiviui ši masė būtų 73,4 kg.

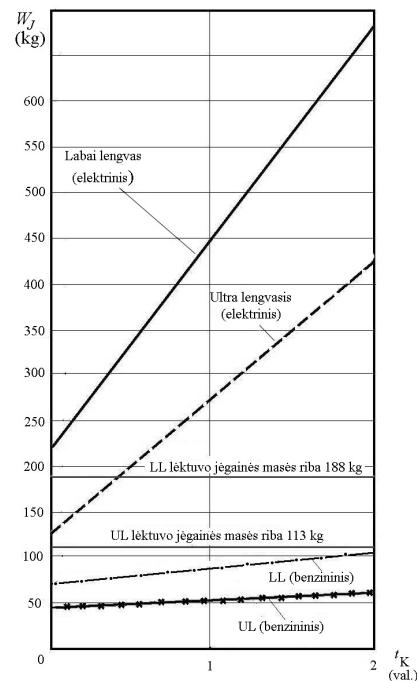
Ultralengvojo orlaivio, kuriame sumontuotas elektros energija varomas motoras, jėgainės ir elektros energijos atsargos kaupimo priemonių masės nuo skrydžio kreiseriniu režimu laiko priklauso taip:

$$W_J = W_{EJPDUL} + W_{EKSUL} = 135,4 + 132,9 t_k. \quad (26)$$

Labai lengvam elektriniam orlaiviui ši priklausomybė bus tokia:

$$W_J = W_{EJPDLL} + W_{EKSLL} = 224,4 + 219,9 t_k. \quad (27)$$

Pagal šias formules apskaičiuotos jėgainių ir joms funkcionuoti būtinų energijos atsargų masių priklausomybių nuo skrydžio kreiseriniu režimu laiko grafines išraiškas parodytos 2 paveiksle.



2 pav. Ultra lengvojo ir labai lengvo orlaivio benzininio ir elektrinio variantų jėgainių masių W_J priklausomybė nuo skrydžio kreiseriniu režimu laiko t_k

Fig. 2. A comparison of the dependence of petrol and electric powerhouse W_J used in ultra light and very light aircrafts on flight time t_k in cruiser mode

Išvados

1. Orlaiviui su bet kokio tipo jėgaine nagrinėtam tipiniam skrydžiui atlikti reikalingas degalų kiekis ar akumuliatorių masė tiesiškai priklauso nuo skrydžio kreiseriniu režimu trukmės.

2. Orlaivių su elektriniu motoru jėgainės masė gali būti mažinama, mažinant keitiklių masės, reikalingos vieno kilovato galiai valdyti, dalį ir didinant lyginamąją akumuliatorių talpą. Paties elektros motoro masė jau dabar gerokai mažesnė, nei analogiškos galios benzininio motoro masė.

3. Šiuo metu pasiekti akumuliatorių lyginamosios talpos rodikliai, esant nagrinėtoms orlaivių charakteristikoms, neleidžia jų pritaikyti realiems skrydžiams.

4. Elektros energijos šaltiniai ir jiems naudojama įranga sparčiai tobulinama. Tikimasi ženklaus akumuliatorių lyginamosios talpos padidėjimo. Manoma, kad po penkerių metų akumuliatorių lyginamoji talpa padidės 1,5 karto. Įdiegus nanotechnologijas tikimasi didesnio kaip šešiagubo augimo.

Literatūra

- Dudley, M.; Misra, A.; 2009. Electric airplane power-system performance requirements, in *The 2009 CAFE Foundation Electric Aircraft Symposium*. San Carlos, California, USA.
- Roskam, J. 1989. *Airplane Design*. Ottawa: Roskam Aviation and Engineering Corp.
- Rotax Aircraft Engines Brochure [interaktyvus], [žiūrėta 2010 m. kovo 5 d.]. Prieiga per internetą: <www.rotax-aircraft-engines.com>.
- Бадягин, А.; Мухамедов, Ф. 1978. *Проектирование легких самолетов* [Badiagin, A.; Muchamedov, F. Lengvųjų lėktuvų projektavimas]. Москва: Машиностроение.

THE USE OF ELECTRIC POWER IN A LIGHT AIRCRAFT

B. Merkys

Abstract

The article analyzes a possibility of using electric engines and electric power accumulators in very light and ultra light airplanes, considering the achieved electric power keeping level and predictions of development. First of all, the mass of the engine and accumulator is evaluated. At a later stage, it is compared with the mass of the gas engine and fuel. The last step is to find criterions allowing making a decision on how to choose a powerhouse.

Keywords: electric engine, accumulator, powerhouse, light airplane, gas-engine, fuel, mass.