
İNFORMASIYA-ÖLÇMƏ SİSTEMLƏRİ
ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

A.A.Abdullayev (Milli Aviasiya Akademiyası)

**KONVERTOPLAN TIPLİ HİBRİD PİLOTSUZ UÇUŞ APARATLARI ÜÇÜN
HİBRİD ƏSASLI ENERJİ MƏNBƏLƏRİNİN VƏ HƏRƏKƏTVERİCİ
QURĞULARIN SEÇİLMƏSİ**

Giriş. Məqalədə kollektorsuz elektrik mühərriki istifadə edilən konvertoplan tipli pilotsuz uçuş aparatında (PUA) enerji mənbəyi qismində akkumulyator batareyası, yanacaq elementi və daxiliyanma mühərriki ilə birlikdə elektrik generatorunun istifadə edilməsi və bunların əsasında hibrid əsaslı enerji mənbələrinin (HEM) hazırlanması xüsusiyyətləri, eləcə də konvertoplanın uzunmüddətli uçuşunun təmin edilməsi məsələlərinə baxılmışdır. Təhlil nəticəsində müxtəlif hündürlüklərdə uçuşun təmin edilməsində elektrik mühərriki, daxiliyanma mühərriki və onlardan təşkil olunmuş hibrid əsaslı enerji mənbələrindən istifadənin konstruktiv həlli yolları müəyyənləşdirilmişdir. Göstərilmişdir ki, elektrik mühərriki və daxiliyanma mühərrikindən təşkil olunmuş ardıcıl-paralel konfigurasiyalı effektiv qoşulma sxemindən istifadə etməklə hibrid əsaslı enerji mənbələrinin təkmilləşdirilməsi nəticəsində pilotsuz uçuş aparatının uçuş müddətini və istismarının səmərəliliyini artırmaq, texniki xidmət xərclərini azaltmaq mümkündür. Layihələndirilən konvertoplan tipli pilotsuz uçuş aparatının hibrid əsaslı enerji mənbələri sistemini təşkil edən elementlərin seçimi aparılmış, qaldırıcı və itələyici mühərriklərin dartı qüvvəsinə əsasən uçuş aparatının uçuş çəkisi və digər uçuş texniki parametrləri hesablanmışdır. HEM sistemini təşkil edən elementlərə və hesablanmış parametrlərə əsasən layihələndirilən konvertoplan tipli PUA-nın blok-diaqramı qurulmuşdur.

Pilotsuz uçuş aparatlarında istifadə edilən enerji mənbələrinin xüsusiyyətləri. Son illərdə istehsal və istismar dəyəri orta və böyük ölçülü PUA-lara nəzərən olduqca aşağı dəyərli və güc qurğusu qismində kollektorsuz elektrik mühərriklərindən (EM), enerji mənbəyi qismində akkumulyator batareyasından (AB) istifadə edilən kiçik ölçülü ("nano", "mikro" və "mini") planer (təyyarə), helikopter, multikopter və konvertoplan tipli PUA-ların istehsalı sürətlə inkişaf etmişdir. Belə uçuş aparatlarının (UA) daha uzunmüddətli uçuşunun təmin edilməsi üçün müxtəlif tipli iki və ya daha çox enerji mənbəyi əsasında hazırlanan HEM istifadə edilir. HEM adi daxili yanma mühərriki (DYM) ilə müqayisədə ekoloji cəhətdən nisbətən təmizdir, aşağı küyə və istilik şüalanmasına və s. üstünlüklərə malikdir, onun tətbiqi zamanı ətraf mühitə atılan zərərli tullantıların miqdarı azalır, enerji sərfinin, son nəticədə uçuşun səmərəliliyi yüksəlir [1].

Kiçik ölçülü PUA-ların manevretmə və intellektualıq xüsusiyyətləri yüksək olsa da, uçuş müddəti qısaadır, xüsusi enerji sıxlığı 100 Vt-saat/kq olan bir litium-polimer akumulyator batareyası (LPAB) ilə uçuş müddəti 20-25 dəq. təşkil edir [2]. Əlavə AB qoşmaqla uçuş müddətini 40 dəq.-yə qədər artırmaq mümkündür, lakin bu zaman faydalı yükün çəkisi azalır.

Hal-hazırda istismarda olan PUA-ların aşağıdakı çatışmayan xüsusiyyətlərini qeyd etmək olar:

- uçuş sürətinin aşağı olması;
- uçuşun idarəetmə sisteminin (İS) mürəkkəb olması;
- uçuş hündürlüyünün az olması (bir neçə yüz metr);
- faydalı yükün çəkisinin az olması.

Hazırda PUA-lar üçün texniki göstəriciləri mövcud enerji mənbələrinin istismar göstəricilərinə nisbətən üstün olan yeni enerji mənbələrinin və ya enerji təchizatı sxemlərinin yaradılması tədqiqatçılar qarşısında vacib məsələ kimi durur. Bundan əlavə uzunmüddətli uçuşun təmin edilməsi ilə yanaşı, layihələndirilən konvertoplan tipli PUA-nın yüksək manevrəmə qabiliyyətinə, uçuş sürətinə və etibarlılığa malik olması tələb olunur.

Bunlar nəzərə alınmaqla layihələndirilən konvertoplan tipli PUA-nın uzunmüddətli uçuşunu təmin etmək üçün optimal HEM sxeminin işlənməsi baxılan halda əsas məqsəd kimi qarşıya qoyulmuşdur.

Əvvəlcə müxtəlif tip enerji mənbələrinin qoşulma sxemlərindən alınan dörd konfigurasiyalı HEM-in mövcud modelləri təhlil edilmişdir [1,3,4,5]. Həmin mənbələrin təhlili göstərir ki, HEM-in layihələndirilməsi istiqamətində bir sıra elmi-tədqiqat işləri yerinə yetirilsə də, mini PUA-lar üçün HEM ilə işləyən hazır layihələr mövcud deyil [6,7,8,9,10].

Mütəxəssislər tərəfindən "MATLAB Simulink" proqramının bazasında "AeroSim Blockset" proqram təminatı vasitəsilə kiçik ölçülü PUA-lar üçün paralel sxem əsaslı HEM-in modeli işlənilib hazırlanmış, inkişaf xüsusiyyətləri, DYM ilə müqayisədə hibrid güc sistemində yanacağa əhəmiyyətli dərəcədə qənaət edildiyi göstərilmişdir [3]. Alınan nəticələrə əsasən kompüter modelinin PUA-da enerji mənbəyi qismində HEM-in tətbiq edilməsi üçün baza yaratdığı qeyd edilmişdir.

Digər araşdırmalarda enerji təchizatı yanacaq elementi (YE) və AB-dən ibarət, kommersiya təyinatlı HEM ilə təchiz edilən PUA-nın layihələndirilməsi təsvir edilmişdir [4]. Burada ilkin sınaqlar zamanı yüklənmədən asılı olaraq hibrid sistemin geniş texniki xarakteristikaları verilmişdir. Bunlara volt-ampere, elementlər arasında qarşılıqlı təsir, YE-yə hidrogen yanacağının verilməsi, istehlak edilən enerjinin ötürülməsi və YE-də yanacaq qismində istifadə edilən hidrogenin dayanıqlıq (hidrogenin yüksək təzyiqdə çəndə saxlanması və daşınması) xarakteristikaları daxil edilmişdir. YE-nin fasiləsiz yüklənmə zamanı 5,5-6,0 A cərəyan vermək, daha yüksək yüklənmə zamanı əlavə enerji hasil etmək imkanına malik olduğu, uzunmüddətli uçuşu təmin etmək üçün yüksək təzyiqli kompozit çən quraşdırılmış PUA-da daha böyük gücə malik YE-dən istifadə etməyin tələb olunduğu qeyd edilmişdir.

PUA-nın hazırlanması prosesində HEM sisteminin tətbiqi və mikro PUA-nın strukturunda ən ağır çəkiyə AB-nin malik olduğu digər müəlliflər tərəfindən göstərilmişdir [5]. PUA-nın strukturunun rəqəmsal miqyaslanması həyata keçirilmiş, enerji təchizatı HEM olan EM əsaslı PUA-nın layihələndirilməsi üçün sabit dəyişənlərdən istifadə etməklə hərəkətdirici sistemin komponentlərinin inteqrasiya olunmuş modelləri və hesablanma metodu işlənilib hazırlanmışdır. Hərəkətdirici sistemin hesablanması optimallaşdırmanın faktorial sxemi ilə yerinə yetirilmişdir.

[8]-də müxtəlif sxem üzrə qoşulmuş YE, AB və EM-dən ibarət üç HEM sxeminin xüsusiyyətləri təhlil edilmişdir. Burada maksimal uçuş çəkisi 13,6 kq olan və DYM-EM əsasında hazırlanmış PUA-nın HEM sistemi tədqiq edilmiş, uçuş sürəti və uzaqlığı

hesablanmışdır. Tədqiqat nəticəsində əsas qida mənbəyi qismində DYM-EM-dən ibarət HEM-in qarışıq birləşmə konfigurasiyasının daha münasib konstruksiya olduğu, bu konstruksiyadan istifadə etməklə PUA-nın yükqaldırma qabiliyyətini 1,225 kq artırmağın mümkünlüyü, yalnız DYM ilə təchiz edilmiş PUA-lar ilə müqayisədə HEM-in yanacağa 30,5% qənaət etməyə imkan verdiyi müəyyənləşdirilmişdir [9, 10].

Konvertoplan tipli hibrid PUA-nın güc sisteminin optimal sxeminin seçilməsi. Bu məqsədlə (DYM+G), AB və YE tipli hərəkətdirici sistemlər və enerji mənbələri əsasında HEM-lərin matrisası qurulmuşdur. Təkrarlanması zamanı üstünlük prinsipini nəzərə almaqla matrisadan alınan konfigurasiyaların optimallaşdırılması nəticəsində HEM üçün aşağıdakı həllər alınmışdır:

1. $(DYM 1+G) - AB$;
2. $(DYM 1+G) - YE$;
3. $(DYM 1 - DYM 2) + G$;
4. $(DYM 2+G) - AB$;
5. $(DYM 2+G) - YE$;
6. $YE - AB$.

Burada, DYM 1 - benzin və ya dizel əsaslı yanacaq ilə işləyən daxili yanma mühərriki, DYM 2 - hidrogen, propan, metanol və s. karbon-hidrogen əsaslı yanacaq ilə işləyən daxili yanma mühərriki, G - elektrik enerjisi hasil edən generator, AB - litium ion, litium polimer və s. tipli akkumulyator batareyası, YE - yanacaq elementidir [11,12,13].

HEM-lərin qoşulma ardıcılığına görə hərəkətdirici və enerji sistemlərinin "ardıcıl", "paralel" və "qarışıq" konfigurasiyalarının blok-sxemləri təhlil edilmişdir [14,15,16]. Çəkisinin böyük olması səbəbindən $(DYM1-2)+G$, $(DYM1+G)-YE$, $(DYM2+G)-AB$ və $(DYM2+G)-YE$ tipli konfigurasiyalardan çəkisi 50 kq-dan kiçik olan PUA-da istifadə etmək məqsədəuyğun hesab edilməmişdir.

Optimal sxemin seçilməsini yerinə yetirmək üçün müxtəlif tip enerji mənbələrinin qoşulma sxemlərindən alınan HEM modelləri təhlil olunmuşdur.

HEM-in enerji sistemlərinin təhlili. $(DYM1+G)-AB$ tipli "ardıcıl" qoşulmada verilmiş anda EM-in enerji təchizatı yalnız bir mənbədən - AB tərəfindən, AB-nin doldurulması DYM+G sistemi tərəfindən generatorun hasil etdiyi elektrik enerjisi ilə işləyən gərginlik çeviricisi vasitəsi ilə yerinə yetirilir (şək. 1a). Enerji təchizatı AB tərəfindən yerinə yetirilən sürət tənzimləyicisi PUA-nın pərlərini hərəkətə gətirən kollektorsuz EM-lərə ötürülən gücü tənzimləyir.

"Ardıcıl" qoşulmanın üstünlüyü konstruksiyanın sadə olması, çatışmazlığı isə enerji mənbələri arasında keçid prosesini yerinə yetirmək üçün mürəkkəb mexanizmdən istifadə edilməsidir [4, 5, 7].

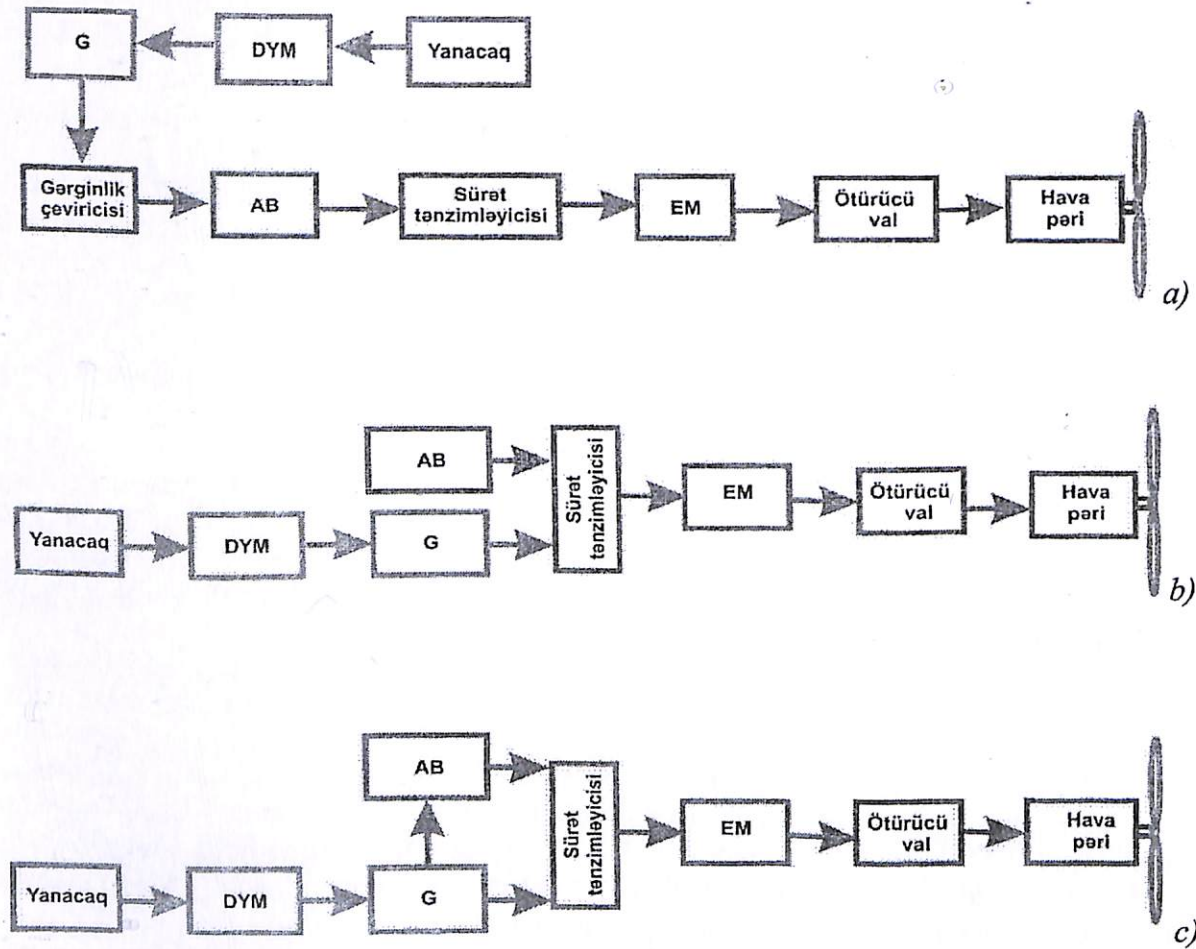
$(DYM1+G)-AB$ tipli "paralel" qoşulmada EM-in enerji təchizatının eyni zamanda iki mənbədən yerinə yetirilməsi mümkündür (şək. 1b). Bu halda EM-in əsas enerji təchizatı DYM+G vasitəsilə, sərt yüklənmələrdə bu kifayət etmədikdə, AB-nin sistemə "paralel" qoşulması ilə yerinə yetirilir. Sxemin çatışmayan cəhəti AB-nin elektrik generatorundan dolmaq funksiyasının olmamasıdır [13].

$(DYM1+G)-AB$ tipli "paralel" qoşulmada əvvəlki iki qoşulma sxeminin üstünlüklərini saxlamaqla, onlara məxsus çatışmazlıqları aradan qaldırmaq mümkündür. Bu halda "qarışıq" qoşulmadan istifadə edilir və uzunmüddətli uçuş üçün dartı qüvvəsi əsasən $(DYM1+G)$ vasitəsi ilə yaradılır, eyni zamanda AB-nin doldurulması yerinə yetirilir (şək. 1c). Sərt yüklənmələrdə EM işə qoşulur və əlavə dartı qüvvəsini təmin

edir. Bu zaman EM-in enerji təchizatının həm elektrik generatorundan, həm də AB-dən təmin edilməsi mümkündür. Bu da dartı qüvvəsindən asılı olmayaraq AB-nin və elektrik generatorunun daha effektiv yüklənməsinə imkan verir [4, 5, 7].

"Qarışıq" qoşulmadan - AB-nin DYM-in G-dan doldurulmasından istifadə etməklə DYM və G, uyğun olaraq YE və gərginlik çeviricisi ilə əvəz edilərsə, sistemin texniki xüsusiyyətləri göstərilən sxemə uyğun olur (şək. 1c). Bu halda yanacaq qismində hidrogendən istifadə edilir.

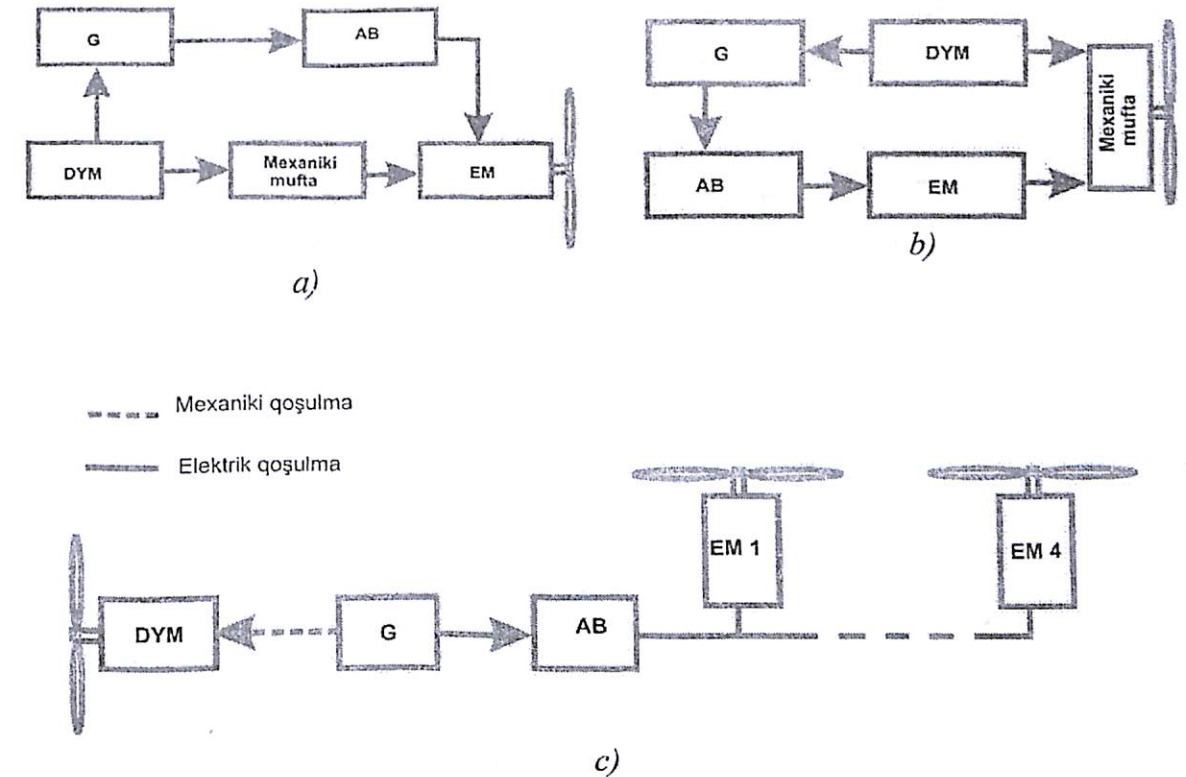
Oksidləşmə-reduksiya reaksiyasının yüksək temperaturda (60,...,1000 °C) getməsi, temperaturu azaltmaq (60-100 °C-yə qədər) üçün bahalı və nadir metallardan hazırlanan katalizatorun tətbiq olunması, eləcə də alınan enerjinin bir hissəsinin sistemi soyutmaq üçün sərf edilməsi, həmçinin yüksək təzyiqdə karbohidrogen qazı doldurulmuş kompozit çənlərin partlama ehtimalının yüksək olması səbəbindən YE-AB əsaslı HEM-in mikro və mini tipli PUA-larda enerji mənbələri qismində tətbiq edilməsi məqsəduyğun hesab edilmir [14, 15].



Şək. 1. Hibrid əsaslı enerji mənbələrinin qoşulma sxemi: a) "ardıcıl", b) "paralel", c) "qarışıq"

Hibrid hərəkətverici sistemlərinin təhlili. PUA-nın hibrid hərəkətverici sisteminin "ardıcıl" və "paralel" qoşulma sxemləri əsasən DYM və EM-in oxlarının konstruktiv yerləşməsi ilə xarakterizə olunurlar.

"Ardıcıl" qoşulma sxemində pərlər daşıyıcı oxa birbaşa bərkidilir və DYM-in fırlanma momenti daşıyıcı oxa mexaniki mufta vasitəsi ilə ötürülür (şək. 2 a) [5,6,7,8,9]. Bu halda DYM və EM-in oxları bir düz xətt üzrə yerləşir, EM-in rotoru daşıyıcı oxda yığılır və onun enerji təchizatı AB tərəfindən yerinə yetirilir.



Şək.2. DYM-AB əsaslı HEM-in hərəkətverici sisteminin qoşulma sxemi: a) "ardıcıl", b) "paralel", c) layihələndirilməsi planlaşdırılan konvertoplan tipli

EM sərt yüklənmələr zamanı tələb olunan gücü təmin etmək üçün sistemə qoşulur. PUA-nın hibrid hərəkətverici sisteminin "paralel" qoşulma sxemində DYM və EM tərəfindən formalaşdırılan fırlanma momentləri daşıyıcı oxa dişli çarxlar vasitəsi ilə ötürülür (şək. 2 b). Bu halda DYM və EM-in oxları bir düz xətt üzrə yerləşir.

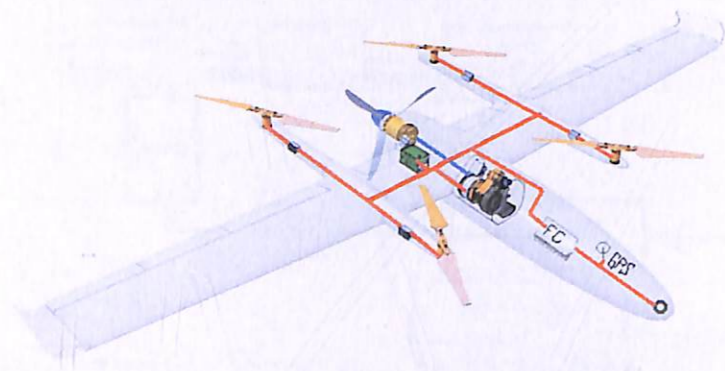
Hər iki qoşulmada DYM gövdəsinə G əlavə etməklə DYM+G konfigurasiyası almaq və uçuş müddətində AB-nin doldurulmasını təmin etmək mümkündür [6,7,8,9].

Yuxarıda təhlil edilmiş sxemlər bir pər-motor qrupuna (PMQ) xidmət edir. Əgər konvertoplan tipli PUA-da dörd qaldırıcı PMQ-dən istifadə edilərsə, göstərilən sxemlərin tətbiqi sistemin mürəkkəbləşməsinə və PUA-nın çəkisinin artmasına səbəb ola bilər. Şaquli uçuşu təmin etmək üçün dörd ədəd EM-dən və üfüqi uçuşu təmin etmək üçün bir DYM-dən istifadə etməklə PUA-nın çəkisinin azalmasına, üfüqi uçuş müddətinin artmasına nail olmaq mümkündür.

Uzunmüddətli uçuşun təmin edilməsi məqsədilə şək. 2a və şək. 2b-də təhlil olunan sxemlərin konstruktiv olaraq ümumiləşdirilməsi aparılmışdır. Qaldırıcı sistemin EM-lərini enerji ilə təchiz edən AB-nin enerji tutumunu elə seçmək mümkündür ki, uçuş müddətində üfüqi uçuşu təmin edən dartı DYM-in imtinası zamanı AB-nin dövrəyə qoşulması ilə UA-nın təhlükəsiz enməsinə şərait yaradılsın. Başqa sözlə PUA-nın təhlükəsiz sahəyə gətirilməsi və enməsinə tam kifayət etmək şərti ilə seçilmiş AB-nin çəkisini optimallaşdırmaqla UA-nın çəkisini azaltmaq mümkündür.

Uzunmüddətli şaquli uçuşu və ya havada asılı qalmanı təmin etmək üçün uçuş müddətində AB-nin intensiv doldurulması tələb oluna bilər. Bu halda generatorun istifadə etməklə AB-nin doldurulması yerinə yetirilir (şək. 2c).

Şaquli və üfüqi uçuşu təmin etmək məqsədilə hibrid hərəkətverici sistemə malik layihələndirilmiş və hazırlanmış konvertoplan tipli PUA-nın təsviri şək.3-də verilmişdir. Burada PUA-nın şaquli uçuşunu təmin edən EM-in enerji təchizatı LPAB ilə yerinə yetirilir, üfüqi uçuşu isə DYM-in pərləri tərəfindən formalaşdırılan itələyici qüvvə vasitəsi ilə təmin edilir. Hibrid UA-nın HEM-in seçilmiş (DYM+G) konfigurasiyasından asılı olaraq UA-nın üfüqi uçuşunu EM vasitəsi ilə kvadrokopter rejimində davam etdirmək mümkündür [17,18,19,20]. UA-nın şaquli və üfüqi uçuşunu təmin etmək üçün layihələndirmənin ilkin mərhələsində 4 ədəd qaldırıcı və bir ədəd itələyici mühərrikin və onların dəstləşdiricilərinin seçimi yerinə yetirilmişdir.



Şək. 3. Konvertoplan tipli PUA-nın "AutoCad" program təminatı bazasında qurulan 3D modelinin görünüşü

Nəticə. Konvertoplan tipli PUA-nın uçuş müddətini artırmaq üçün əlverişli qoşulma sxeminin YE-AB əsasında qurulan HEM-in olduğu, lakin UA-nın çəkisinin yüksəlməsi səbəbindən bu tip enerji mənbələrinin 50 kq-dan ağır olan PUA-larda tətbiqinin səmərəli olmadığı müəyyən edilmişdir.

UA-nın uçuş müddəti və uçuş məsafəsini artırmaq üçün (DYM1+G)-AB ardıcıl-paralel qoşulma sxeminə uyğun HEM-dən istifadənin, şaquli və üfüqi uçuşunu təmin etmək üçün qaldırıcı və itələyici tipli kollektorsuz EM-lərdən istifadənin səmərəli olduğu, həmçinin layihələndirilməsi planlaşdırılan konvertoplan tipli PUA-nın HEM sistemində daxil olan elementlər seçilmiş və seçilmiş hərəkətverici sistemlərə nəzərən UA-nın uçuş-texniki parametrləri müəyyən edilmişdir. Həmçinin seçilmiş elementlərə əsasən layihələndirilməsi planlaşdırılan PUA-nın blok-diaqramı və kompüterlə 3D modeli qurulmuşdur.

Ədəbiyyat siyahısı

1. L. Junghsen, S. Eric et.al. Design of Hybrid Propulsion Systems for UAVs. 47th AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference & Exhibit 31 July - 03 August 2011,

San Diego, California. American Institute of Aeronautics and Astronautics. 14 p.

2. M. Jaegera., D. Adairb. Conceptual Design of a High-Endurance Hybrid Electric UAV. Materials Today: Proceedings XX (INESS 2016) XXX-XXX., p.14.

3. А.С.Присяжнюк, А.Д.Арефьев., и т. д. Методика расчета аэродинамических характеристик и винтомоторной группы для создания гибридных БПЛА типа "конвертоплан" с поворотными двигателями // Информация и Космос, Авиационная и ракетно-космическая техника. - 2015, №2, с. 124-130.

4. M.Hassanalian, D.Rice, et.al. Evolution of space drones for planetary exploration: A review. Progress in Aerospace Sciences 97 (2018), 61-105 p.

5. D. Magdalena, P. Tomczyk et.al. Hybrid Fuel Cell - Battery System as a Main Power Unit for Small Unmanned Aerial Vehicles (UAV). Int. J. Electrochem. Sci., 8 (2013), p.8442 - 8463.

6. В.В.Сиденко, Ю.Н.Свириденко. Оценка летно-технических характеристик перспективного БПЛА вертикального взлета и посадки // Научный вестник МГТУ ГА., серия "Аэромеханика и прочность", 2008, № 125, с. 145-150.

7. Крылов Е. Д., Рутковский В.О. Создание линейки модульных гибридных авиационных силовых установок, адаптируемых под различные типы БПЛА. https://aviatp.ru/files/newturn/Presentatsiy/16_Aviamechanika.pdf.

8. Stabilizing system for quadrotor copter like flying robot by using proportional-integral-derivative (PID) controller. The 2nd International Conference on Eco Engineering Development 2018 (ICEED 2018), IOP Publishing,

9. https://cdn2.hubspot.net/hubfs/53140/6000W%20gen%20set%20data%20sheet_R2.pdf f. Launch Point Technologies 6000W Gen-Set.

10. Р.Н. Набиев, А.А. Абдуллаев и т. д. Выбор источников питания для БПЛА // Milli Aviasiya Akademiyasının Elmi Məcmuələri. Tom 25, №3, 2018, с.1-11.

11. Р.Н. Набиев, А.А. Абдуллаев и т. д. Сравнительный анализ особенностей аккумуляторных батарей на основе лития // Авиакосмическое приборостроение. Москва, 2019, № 9, с. 29-41.

12. Р.Н. Набиев, А.А. Абдуллаев и т. д. Требования к БПЛА на мультиротационной основе // Авиакосмическое приборостроение. Москва, 2018, № 9, с. 3-11.

13. И.А.Жданов, С.Штаудахер и т. д. Проблемы и перспективы развития микрогазотурбинных двигателей для БПЛА // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета. 2011, №3 (27), с.345-353.

14. Jane Y.H., Luis F.G. "Design, simulation and analysis of a parallel hybrid electric propulsion system for UAV" // Australian Research Centre for Aerospace Automation, Queensland University of Technology. ICAS 2012. 28-th international congress of the aeronautical sciences. 2012, 7 p.

15. Martin J. Desmond A. Conceptual Design of a High-Endurance Hybrid Electric Unmanned Aerial Vehicle. Materials Today: Proceedings XX (INESS 2016) XXX-XXX., p.14

16. В.В. Ростопчин. "Микро-ТРД для БПЛА". www.uav.ru. 15 с.

17. В.В.Лазарев, А.А.Павленко, и т. д. Аэродинамическое проектирование летательного аппарата ромбовидной формы в плане // Ученые Записки ЦАГИ. Том XLII, 2011, № 4, с. 30-37.

18. Ю.Н. Стариков, Е.Н. Коврижных. Основы аэродинамики ЛА. Учебное пособие. Рекомендовано редакционно-издательским советом УВАУ ГА. Ульяновск, 2004. - 152 с.

19. Курочкин Ф.П. Проектирование и конструирование самолётов с вертикальным взлётом и посадкой. М.: Машиностроение, 1977. - 224 с.

20. R. N. Nabiyev, A. A. Abdullayev et. al. Conceptual functional design of hybrid energy source of unmanned convertiplane. IOP Conference Series: Conference Scopus. Materials Science and Engineering. 862 (2020) 022043, doi:10.1088/1757-899X/862/2/022043.

А.А.Абдуллаев

Выбор гибридных источников энергии и двигательных установок для гибридных беспилотных летательных аппаратов типа конвертоплан

Резюме

Конвертоплан рассматривается как беспилотный летательный аппарат, включающий гибридные источники энергии и гибридные силовые установки. На основе использования электрогенератора совместно с аккумуляторной батареей, топливным элементом и двигателем внутреннего сгорания в качестве источника энергии в бесколлекторных электрических двигателях конвертопланов, гибридных источников питания и гибридных двигательных установок техническое задание на изготовление, а также обеспечение конвертоплана здесь рассматриваются вопросы длительного полета. Исследования в этой области включают анализ структурных схем энергосистем, состоящих из последовательных, параллельных и последовательно-параллельных звеньев гибридных энергетических и гибридных двигательных установок. В результате анализа определена матрица, составленная из гибридных источников ТВЭЛ, аккумулятор и двигатель внутреннего сгорания, и оптимальные схемы их подключения.

A.A.Abdullayev

Selection of hybrid power sources and propulsion systems for hybrid tiltrotor-type unmanned aerial vehicles

Abstract

Convertiplane is explored in this article as an unmanned aerial vehicle incorporating hybrid power sources and hybrid propulsion systems. Based on the use of an electric generator in conjunction with a battery, fuel element and internal combustion engine as a source of energy in the non-manifold electrical engine convertiplanes, hybrid power sources and hybrid propulsion systems manufacturing specifications, as well as providing convertiplane with a long-term flight issues are considered hereby. Scientific research in this area includes an analysis of the structural schemes of power systems consisting of consecutive, parallel and consecutive-parallel links of hybrid energy and hybrid propulsion systems. As a result of the analysis, a matrix composed of fuel element, battery and internal combustion engine-generator type hybrid sources and their optimal connection schemes were determined.