

AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASI

Əlyazması hüququnda

KONVERTOPLAN TIPLİ PİLOTSUZ UÇUŞ APARATININ YARADILMASI VƏ ONUN ƏSAS PARAMETRLƏRİNİN STRATEJİ OBYEKTlərİN MÜŞAHİDƏSİ KONTEKSTİNDƏ OPTİMALLAŞDIRILMASI

İxtisas: 3324.04 – Yerüstü komplekslər, buraxılış avadanlıqları,
uçan aparatların və onların sistemlərinin istismarı

Elm sahəsi: Texnika elmləri

İddiaçı: **Anar Arif oğlu Abdullayev**

Elmlər doktoru elmi dərəcəsi almaq üçün
təqdim edilmiş dissertasiyanın

AVTOREFERATI

Bakı – 2025

Dissertasiya işi Milli Aviasiya Akademiyasının “Aerokosmik cihazlar” kafedrasında yerinə yetirilmişdir.

Elmi rəhbərlər:

Az. Res.-nin “Əməkdar Mühəndisi”,
texnika elmləri doktoru, professor
Rasim Nəsib oğlu Nəbiyev

Rəsmi opponətlər:

texnika elmləri doktoru, professor
Ədalət Soltan oğlu Səmədov

AMEA-nın müxbir üzvü,
texnika elmləri doktoru
Ramiz Məhəmməd oğlu Alıquliyev

texnika elmləri doktoru, professor
Lətafət Abbas qızı Qardaşova

texnika elmləri doktoru, professor
Hikmət Həmid oğlu Əsədov

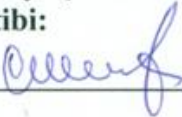
Azərbaycan Respublikasının Prezidenti yanında Ali Attestasiya Komissiyasının Milli Aviasiya Akademiyasının nəzdində fəaliyyət göstərən ED 2.01 Dissertasiya şurası

Dissertasiya şurasının sədri:



AMEA-nın həqiqi üzvü, fizika-riyaziyyat elmləri doktoru, akademik
Arif Mir Cəlal oğlu Paşayev

Dissertasiya şurasının elmi katibi:



coğrafiya elmləri doktoru, dosent
Surxay Həsən oğlu Səfərov

Elmi seminarın sədri:



texnika elmləri doktoru, professor
Mustafa Rəhim oğlu Mustafayev

İŞİN ÜMUMİ XARAKTERİSTİKASI

Mövzunun aktuallığı və işlənmə dərəcəsi. Müasir dövrdə pilotsuz uçuş aparatları (PUA) həyatımızın bütün fəaliyyət sahələrinə daxil olmuşdur. Bu tip uçuş aparatlarının (UA) yaradılması, təkmilləşdirilməsi, istismar xüsusiyyətlərinin daha da sadələşdirilməsi vacib məsələlərdəndir. PUA-lar insanlar üçün təhlükəli olan ərazilərin müşahidə və monitorinqinin aparılmasında, hərbi məsələlərinin həllində və dövlətlərin təhlükəsizliyinin təmin edilməsində əvəzedilməz rol oynayır ¹.

2016-cı il aprel döyüşləri, ikinci Qarabağ müharibəsi, keçirilən antiterror əməliyyatları, eləcə də digər müharibə və bir sıra lokal silahlı münaqişələrin təcrübəsi göstərdi ki, müxtəlif xarakterli tapşırıqların həlli zamanı pilotlu aviasiyanın tətbiqi mümkün və ya məqsədə uyğun olmadığı hallarda, dəqiq və daha yüksək nəticələrin əldə edilməsi üçün kəşfiyyat və ya silahlı pilotsuz aviasiya komplekslərindən səmərəli istifadə etməklə qoyulmuş tapşırıqların həllinə yüksək səviyyədə nail olmaq mümkündür. Uçuşu süni intellektlə idarəetməyə əsaslanan müasir PUA komplekslərinə quraşdırılan faydalı yük (FY) və silah sistemlərinin tətbiq effektivliyi xeyli artırmışdır. Belə ki, mülki və hərbi tapşırıqların həlli zamanı PUA-ların texniki göstəricilərinə uyğun olaraq onlara quraşdırılan silah sistemlərinin tətbiq üsulları dəyişmişdir.

Son zamanlar PUA-ların layihələndirilməsi və hazırlanması dinamik sürətlə inkişaf etməkdədir. İstismar xüsusiyyətlərinin sadəliyinə və tətbiq sahələrinin geniş olmasına görə PUA istismarçıları tərəfindən multirotasiya və planer əsaslı kiçik ölçülü PUA-lara olan maraq və tələbat daha da artmaqdadır. Multirotasiya və sabit qanad (planer) uçuş formalı konfigurasiyada layihələndirilərək hazırlanmış şaquli qalxma və enmə və təyyarə rejimlərində üfüqi uçuşu təmin edən hibrid əsaslı universal VTOL (Vertical takeoff and landing) tipli PUA-nın hərtərəfli kompleks işlənilməsi aktual tapşırıq olaraq aviasiya mütəxəssislərinin qarşısında qalmaqdadır.

¹Набиев, Р.Н., Абдуллаев, А. А. Малоразмерные беспилотные летательные аппараты и средства борьбы с ними // – Баку: Вестник Азербайджанской Инженерной Академии, – 2017, №2, том 9. – с. 15-20.

Respublikamızda PUA infrastrukturasının inkişaf etdirilməsi, mülki, kommersiya və dövlət aviasiyasında artan PUA yükünün tənzimlənməsi, qanunvericiliyinin təkmilləşdirilməsi istiqamətində mühüm addımlar atılmışdır². Bu tip PUA-ların hazırlanmasında əsas istiqamət və məqsəd uçuşun avtonomluğunun artırılması, müşahidələr zamanı aşkar olunma ehtimalının azaldılmasıdır. Qeyd olunan texniki və proqram təminatı imkanları aparatın etibarlığını artırır, istifadənin sadəliyini təmin edir, operatorun yüksək ixtisaslı mütəxəssis olmasına qoyulan tələbi və tapşırığın yerinə yetirilməsi üçün xərcləri əsaslı sürətdə azaldır.

Dissertasiya mövzusunda qarşıya qoyulan tapşırıqların son dərəcə aktual olması səbəbindən yuxarıda qeyd edilən məsələlərin həlli məqsədi ilə elmi-texniki ədəbiyyatın təhlili aparılmış, tədqiqat istiqamətinin əsas prioritet aspektləri müəyyənləşdirilmiş, VTOL tipli PUA-nın funksional, konseptual və struktur sxemləri işlənmiş, müasir tələblərə cavab verən element bazası seçilmiş və yekun olaraq texniki tələblərə cavab verən VTOL tipli PUA yaradılmışdır³.

Məsafədən idarə olunan VTOL tipli PUA-nın müxtəlif proqram təminatının bazasında kompüter modelləri işlənmiş və modelin texniki və aerodinamik xüsusiyyətlərinin tədqiqatı məqsədi ilə immitasiyası icra olunmuşdur. FY-nin təyinatı seçilmiş və VTOL tipli PUA-nın konstruktiv parametrlərinə təsiri müəyyən edilmişdir. Funksional imkanları təcrübi olaraq tədqiq edilmiş və alınmış nəticələr nəzəri və təcrübi olaraq laboratoriya və daha sonra təcrübə-sınaq uçuşları ilə mərhələli şəkildə aviasiya və uçuş təhlükəsizliyi şəraitində təcrübədən keçirilmişdir⁴.

VTOL tipli PUA-nın uzun müddətli uçuşunun təmin edilməsi məqsədi ilə hibrid əsaslı enerji mənbəyi və güc sistemini təşkil ed-

²Набиев, Р.Н., Абдуллаев, А.А. Беспилотные летательные аппараты конвертопланового типа: Текущее состояние и перспективы // Естественные и технические науки. – Москва: – 2021, №3 (154), – с. 146-162.

³Набиев Р.Н. Разработка концептуальной функциональной схемы беспилотного конвертоплана с гибридным источником энергии / Р.Н.Набиев, А.А.Абдуллаев, Г.И.Гараев // Авиакосмическое приборостроение, - Москва: - 2021, №5, - с. 03-18.

⁴Набиев, Р.Н. Конструктивное оформление беспилотного летательного аппарата конвертопланового типа / Р.Н.Набиев, А.А.Абдуллаев, Г.И. Гараев // Авиакосмическое приборостроение, – Москва: – 2022, №6. – с. 03-13.

cək elementlərin seçimi, eləcə də PUA-nın aerodinamik xüsusiyyətlərinin hesablanması istiqamətində tələb olunan tədqiqat işləri aparılmışdır.

Nano, mikro, mini və kiçik ölçülü UA-lar üçün ağırlıq mərkəzlərinin (AM) təyin edilməsi, eləcə də UA-ların layihələndirilərək hazırlanması zamanı AM-in hesablanmış qiymətlərinə nəzərən onun element bazasının füzelyajda mərkəzləşdirilməsi prosesinin metodologiyası hazırlanmışdır ⁵.

Orta və böyük ölçülü PUA-lar üçün uçuş məlumatlarını yazma qurğusunun yaradılmasına baxmayaraq nano, mikro, mini ölçülü PUA-lar üçün bu tip universal parametrləri qeydə alan qurğunun olmaması dron və PUA istismarçılarının qarşısında aktual məsələ olaraq qalmışdır. Bu məqsədlə VTOL tipli mikro PUA-ların uçuş öncəsi, uçuş zamanı “online” rejimdə və uçuşdan sonra güc sistemlərinin texniki və naviqasiya məlumatlarını eyni vaxtda qeydə almaq üçün bort nəzarət ölçmə sistemi (BNÖS) hazırlanmışdır. Uçuşdan sonra uçuş apartının güc qurğularının kompleks şəkildə diaqnostikasında BNÖS vasitəsi ilə yaddaş kartına yazılmış məlumatlardan istifadə edilir ⁶.

Səthi əksətdirmə əmsali (SƏƏ) və akustik səs effekti çox aşağı olan, çox rahat dəyişilən və tez yüklənmə xüsusiyyətlərinə sahib litium-polimer akkumuliyator batareyaları (LPAB) ilə təchiz olunma, qalxma-enmə zolaqları tələb etməyən “uçan qanad” planer formalı və multirotasiya əsaslı konstruksiyaların hibrid vəhdətindən yaradılmış VTOL tipli PUA havadan kəşfiyyatın aparılmasında və bu istiqamətdə tapşırıqların və fəaliyyətlərin müvəffəqiyyətlə tamamlanmasında faydalı olacaqdır. Həmçinin strateji obyektlərin müşahidəsi kontekstində havadan kəşfiyyatın aparılması üsulları təhlil edilmiş, ümumləşdirilmiş və prioritet istiqamətləri müəyyənləşdirilmişdir. PUA ilə müşahidənin qiymətləndirilməsi və tətbiqinin optimallaşdırılması təcrübi misallar üzərində göstərilmişdir. Hazırkı dissertasiya işi

⁵Набиев, Р.Н. Определение центра тяжести беспилотного летательного аппарата конвертопланового типа / Р.Н.Набиев, А.А.Абдуллаев, Г.И.Гараев [и др.] // Известия ЮФУ. Технические науки, – Таганрог: – 2022, № 5, – с. 258-268.

⁶Nabiyev R.N. On-board control-measurement system for micro convertiplane-type unmanned aerial vehicles / R.N.Nabiyev, A.A.Abdullayev, Q.I.Qarayev // Eurasian Physical Technical Journal, - Karaganda: - 2024, № 2(48), Vol 21, - p. 61-69.

yuxarıda müzakirə olunaraq məsələlərin həllinə həsr edilmişdir.

Tədqiqatın obyektı və predmeti.

Tədqiqatın obyektı VTOL tipli mikro PUA-lar.

Tədqiqatın predmeti VTOL tipli mikro PUA-nın yaradılması və onun aerodinamik xüsusiyyətlərinin tədqiq edilməklə strateji obyektlərin müşahidəsi kontekstində optimallaşdırılması.

Tədqiqatın məqsəd və vəzifələri.

Tədqiqatın məqsədi multirotasiya və sabit qanadlı planer əsaslı VTOL tipli PUA-nın işlənməsi və onun uzun müddətli uçuşunun təmin olunması məqsədi ilə hibrid qida mənbəyinə, hərəkətverici sistemə, qoyulmuş tələblərə cavab verən aerodinamik xüsusiyyətlərə, strateji obyektlərin müşahidəsi kontekstində optimallaşdırılmış təminatla malik uçuş aparatının yaradılmasıdır.

Məqsədə nail olmaq üçün dissertasiya işində aşağıdakı məsələlər qoyulmuş və həll edilmişdir:

1. Multirotasiya və planer konstruksiyasına malik VTOL tipli PUA üçün hibrid əsaslı enerji mənbəyi və hərəkətverici sistemlərin seçilməsi;

2. Hibrid enerji mənbəli VTOL tipli PUA üçün konseptual funksional sxeminin işlənilməsi;

3. “SolidWorks”, “ANSYS”, “Profil” və “Xflir5” tətbiqi proqramlar əsasında VTOL tipli PUA-nın planerinin əsas aerodinamik parametrlərinin tədqiq edilməsi;

4. VTOL tipli PUA-nın konstruktiv tərtibatı, dəstləyici elementlərin seçilməsi və onun PUA-nın aerodinamik xüsusiyyətlərinə təsirinin nəzəri və təcrübi biliklərlə əsaslandırılması;

5. VTOL tipli pilotsuz uçuş aparatının AM-in müəyyən edilməsi;

6. VTOL tipli pilotsuz mikro uçuş aparatının mühərriklərinin texniki parametrlərini və planerin fəzada vəziyyətini müəyyən edən məlumatları uçuşda qeydə almaq üçün BNÖS-in hazırlanması.

7. PUA-nın müxtəlif uçuş (stasionar, VTOL və VTOL-təyyarə) vəziyyətlərində BNÖS vasitəsi ilə qeydə alınmış texniki parametrlər əsasında zaman qrafiklərinin qurulması və uçuşun tədqiq edilməsi.

8. PUA vasitəsi ilə aparılan müşahidə üsullarının tədqiq edilməsi, müşahidə aparmağın qiymətləndirilməsi və optimallaşdırılması.

Tədqiqat metodları. Dissertasiya işinin yerinə yetirilməsi prosesində tədqiqat məqsədilə qarşıya qoyulmuş məsələlər öz həllini nəzəri və eksperimental yollarla - VTOL tipli mikro PUA-nın güc dövrəsinin monitorinqi və tətbiqi məqsədi ilə hazırlanmış bort-nəzarət ölçmə sisteminin PUA-nın müxtəlif uçuş vəziyyətlərində praktiki mühərrik çalışmaları və uçuşlardan əldə olunmuş məlumatlar, eləcə də AM-in müəyyənləşdirilməsi məqsədi ilə tətbiq edilən “tərəzi-kütlə” üsulunun tətbiqindən, standart laboratoriya avadanlıqları, xüsusi proqram təminatından istifadə etməklə planerin kompüter modeli və aerodinamik xüsusiyyətlərinin imitasiyasından istifadə etməklə tapılmışdır.

Tədqiqat işləri həm laboratoriya şəraitində müasir nəzarət-ölçü sistemləri ilə təchiz edilmiş qurğu və avadanlıqlarla, həm də real uçuşda həyata keçirilmiş, alınan elmi nəticələr riyazi-statistik və tədqiqat məlumatlarının qrafiki-analitik şərh üsulları ilə qiymətləndirilmişdir. Uçuş aparatının mühərriklərini diaqnostik yoxlamaq və vəziyyətini qiymətləndirmək üçün sınaq uçuşunun yerinə yetirilməsinin metodikası verilmişdir.

Dissertasiya işində qoyulan məsələlər ölçülər və oxşarlıq nəzəriyyəsinin metodlarından istifadə etməklə, nəzəri və eksperimental üsulla həll edilmiş, laboratoriya və real uçuşda alınmış nəticələr kompüter texnologiyasından istifadə əsasında riyazi modellə işlənilmişdir.

Müdafiyə çıxarılan əsas müddəalar:

1. PUA və daşınan elektron qurğuların uzun müddətli istismarının təmin edilməsi məqsədi ilə akkumulyator batareyalarının (AB) və yanacaq elementlərinin istismar xüsusiyyətlərinin, texniki xarakteristikalarının (xüsusi çəki və həcmə görə enerji tutumları) kompleks şəkildə müqayisəli təhlil edilməsi və bu tip qurğuların uzun müddətli işləməsinin təmin edən enerji mənbələrinin seçilməsi; LİAB və LPAB-ların PUA-larda və yüksək cərəyan-güc tələb olunan qurğularda enerji mənbəyi qismində istifadənin xüsusiyyətlərinin, eləcə də PUA-larda əsas enerji mənbəyi qismində yanacaq elementlərindən və hidrogenlə işləyən daxili yanma mühərriklərindən (DYM) az istifadə edilməsinin səbəblərinin müəyyənləşdirilməsi;

2. VTOL tipli PUA-nın hibrid enerji mənbələri və hibrid hərə-

kətvərici sistemləri özündə birləşdirən PUA qismində tədqiq olunması, kollektorsuz elektrik mühərrikli VTOL tipli PUA-da enerji mənbəyi qismində AB, yanacaq elementi (YE), eləcə də DYM ilə birlikdə elektrik generatorunun istifadə edilməsi, bunların əsasında hibrid enerji mənbələrinin və hibrid hərəkətverici sistemlərin hazırlanması xüsusiyyətlərinin müəyyənləşdirilməsi;

3. Müxtəlif sxemlər əsasında hazırlanan hibrid uçuş aparatını təşkil edən elementlərə və hesablanmış parametrlərə əsasən VTOL tipli mikro PUA-nın konseptual sxeminin işlənilməsi;

4. Şaquli və üfüqi uçuşu təmin edən, təyyarə və helikopterin uçuş-texniki xüsusiyyətlərini özündə birləşdirən aerodinamik profilin seçilməsi, sabit "uçan qanad" formalı planer konstruksiyasına sahib VTOL tipli PUA-nın "SolidWorks", "ANSYS", "Profili" və "Xflir5" tətbiqi proqramlar əsasında kompüter modelləşdirilməsi ilə uçuş aparatının optimallaşdırılmış aerodinamik xarakteristikaların müəyyənləşdirilməsi və bu nəticələr əsasında layihələndirilməsi;

5. VTOL tipli PUA-nın konstruktiv tərtibatı, dəstləyicilərinin təyinatı verilməklə seçilməsi, yerləşmə yerlərinin müəyyənləşdirilməsi, seçilən elementlərin PUA-nın aerodinamik xüsusiyyətlərinə təsirinin nəzəri və təcrübi biliklərlə əsaslandırılması və elektrik dövrəsinin funksional blok sxeminin işlənilməsi;

6. Uçuş aparatının AM-in daha yüksək dəqiqliklə müəyyən olunması üçün üsulun və ölçü metodologiyasının işlənilməsi, təklif olunan sistemin qurulması modelinin təqdim olunması. PUA-nın çəkisinin və AM-in müəyyən edilməsi üçün yerinə yetirilən nəzəri və eksperimental tədqiqatların aparılması və nəticələrinin təhlil edilməsi;

7. Akkumulyatorun doldurulması zamanı qütbləri özü təyin edən qurğunun işlənilməsi;

8. Güc dövrəsi dörd ədəd qaldırıcı və bir ədəd dartı kollektorsuz elektrik mühərrikdən təşkil olunmuş VTOL tipli PUA-nın hər bir mühərrikinin texniki parametrlərinin uçuş zamanı qeydə alınması, uçuşdan sonra uçuşun qiymətləndirilməsi və aviasiya texnikasının kompleks şəkildə diaqnostikası, baş vermiş fəvqəladə halın növbəti uçuşlarda təkrarlanmasının qarşısını almaq üçün kompleks şəkildə yanaşmanın həlli məqsədi ilə bort-nəzarət ölçmə sisteminin yaradıl-

ması. Yaradılmış sistem vasitəsi ilə müxtəlif uçuş rejimlərində stasionar (laborator) və real uçuşda eksperimental tədqiqatların aparılması;

9. VTOL tipli PUA-da elementlərin konstruktiv yerləşdirilməsi zamanı nəzərə alınması vacib olan əsas məqamlar:

- VTOL tipli hibrid PUA-da elementlərin konstruktiv yerləşdirilməsi zamanı tarazlıq şərtləri yerinə yetirilmiş, aerodinamik və elektromaqnit uyğunluğu tələbləri ödənilmişdir. Statik və dinamik tarazlıq şərtləri planerin AM-inə nəzərən kütlə və qüvvələrin bərabər paylanması ilə yerinə yetirilmişdir;

- aerodinamik tələblərin ödənilməsi üçün planerin səthində əks aerodinamik qüvvələr yaradan çıxıntılar mümkün qədər azaldılmış, elektromaqnit dalğalarının küy effektlərindən qorunması üçün işçi tezlikləri kəskin fərqlənən radioelektron qurğulardan istifadə edilmiş, həm də həssas və güc qurğuları müəyyən məsafədə və vəziyyətdə yerləşdirilmişdir. İzolyasiya qatı həm yüksək temperatura, həm də mexaniki təsirlərə dayanıqlı olan elektrik naqillərindən istifadə edilmişdir;

- Uçuş aparatının AM-inə nəzərən idarəetmə və naviqasiya qurğularının yerləşmə koordinatları idarəetmə qurğusuna yazılmış proqramda nəzərə alınmışdır. Radioelektron qurğuların antenalarının istiqamətlənmə diaqramları mümkün qədər rabitə kanalı istiqamətində yönəldilmişdir. RC qəbuledicisinin radioşəffaf kompozit materialdan hazırlanması onu füzelyajın daxilində yerləşdirməyə imkan vermişdir;

- VTOL tipli PUA-nın havada düzgün yerləşməsi və dayanıqlı uçuşunu təmin etmək üçün uçuş kontrolleri (akselerometr, geroskop) uçuş aparatının AM-ində yerləşdirilmişdir;

- PUA-ya quraşdırılmış müşahidə kamerasının görüntü sektorunun qarşısını qapamağın və pərlərin yer səthinə yaxın olmanın qarşısını almaq məqsədi ilə vertikal uçuşu təmin edən 4 ədəd kollektorsuz qaldırıcı elektrik mühərrikləri VTOL tipli PUA-nın qanadlarına üst hissədən konstruktiv bərkidilmiş borunun sonlarında yerləşdirilmişdir;

- “Pixhawk” UK mikroprosessorunun dəstinin enerji təchizatına daxil olan güc qurğusu yalnız UK-nı tələb olunan gərginlik və cərəyan ilə təmin edir. Uçuş kontrolleri qoşulmuş digər

qurğuların (servo mexanizmlər, müşahidə kamerasının stabilizatoru və s.) tələb olunan enerji ilə təminatı məsələsi uçuş aparatında əlavə 2 ədəd 24V DC – 5V DC gərginlik invertoru yerləşdirməklə həll edilmişdir;

- uçuş zamanı uçuş aparatının aerodinamik xüsusiyyətlərinə əks təsir etməsinin (qarşı əks müqavimət qüvvəsi) qarşısını almaq məqsədilə qlobal mövqe təyinetmə sisteminin (GPS) antenasının PUA-nın konstruksiyasının səthində yerləşdirilmişdir;

- planerin kompozit materialdan hazırlanması radioqəbul edici və ötürücü antenanın PUA-nın füzelyajı daxilində yerləşdirilməsinə və SƏƏ-nin, eləcə də çəkisinin aşağı olmasına səbəb olur. Bu da uçuş aparatının radiolokasiya sistemləri (RLS) ilə aşkarlanma ehtimalını çox aşağı edir;

- uçuş aparatında qaldırıcı və dartı mühərrikləri qismində elektrik mühərrikindən istifadə edilməsi PUA-nın akustik aşkar etmə və RLS vasitələri ilə aşkarlanma ehtimalını aşağı edir;

- ağ rəngdə hazırlanma uçuş aparatının vizual aşkar etmə vasitələri ilə aşkar olunma ehtimalını aşağı edir;

- uçuş aparatının füzelyajında akumulyator batareyası yerləşdirən zaman AM-i ətrafında çəki paylanması şərti ödənilmişdir;

- sistemin möhkəmlik və dayanıqlıq şərtlərinin ödənilməsi məqsədi ilə PUA konstruksiyasında qaldırıcı mühərriklər birləşən qollar planerin füzelyajına yaxın yerləşdirilmişdir.

Tədqiqatın elmi yeniliyi aşağıdakılardan ibarətdir:

1. Mikro PUA-nın mühərriklərinin texniki parametrlərinə və uçuşun telemetrik göstəricilərinə nəzarət etmək üçün məlumatları kompleks şəkildə toplayan bort nəzarət ölçü sistemi yaradılmışdır ^{6,7};

2. Yaradılmış BNÖS vasitəsi ilə uçuş öncəsi, uçuş vaxtı və uçuşdan sonra uçuş aparatının texniki parametrlərini kompleks şəkildə ($\dot{I}_1 \dots \dot{I}_5$ – mühərriklərin sərf etdiyi cərəyan, $T_1 \dots T_5$ – mühərrik temperaturları, $RPM_1 \dots RPM_5$ – (rotation per minute) dəqiqədə dövrlər sayı, $A_1 \dots A_3$ – akselerometr göstərişi, $G_1 \dots G_3$ – giroskopun göstərişi) qeydə alınması və onlayn rejimdə uçuşun və uçuş aparatının

⁷Pashayev A.M. Research of a vertical takeoff and landing micro UAV in the plane mode with the onboard control - measurement system / A.M.Pashayev, R.N.Nabiyev, A.A.Abdullayev [et. al] // Tuijin Jishu/Journal of Propulsion Technology. - 2025, ISSN 1001-4055, Vol. 46(1), -p. 870-878.

güc sistemlərinin diaqnostikası təmin olunmuşdur ⁸.

3. PUA-ların və digər elektron qurğuların akkumulyator batareyalarının təhlükəsiz yüklənməsi üçün qütbləri özü müəyyən edən və qoşulmanı təmin edən qurğu yaradılmışdır ⁹;

4. Uçuş müddətinin artırılması kontekstində qida mənbəyinin kütlə - enerji asılılıq parametrlərinin yüksəldilməsi təmin olunmuşdur ¹⁰;

5. Əsas texniki və aerodinamik parametrlərin “SolidWorks”, “ANSYS”, “Profili” və “Xflir5” tətbiqi proqramlar vasitəsi ilə nəzəri tədqiqinin nəticələri nəzərə alınmaqla “uçan qanad” profili əsasında hibrid enerji mənbəli VTOL tipli PUA-nın konseptual sxeminin işlənmişdir ¹¹;

6. VTOL tipli PUA-nın uzun müddətli uçuşunun təmin olunması məqsədi ilə hibrid enerji mənbəyinin funksional blok sxemi işlənmişdir ¹².

7. PUA ilə müşahidə axtarışının aparılması proseduru, müşahidənin effektivliyi, ərazinin ölçüsü, uçuş hündürlüyü nəzərə alınmaqla təsnifatlandırılmış və qiymətləndirilmə metodologiyası işlənmişdir ^{13, 14};

8. VTOL tipli mikro PUA-nın “tərzə-kütlə” üsulundan istifadə etməklə ağırlıq mərkəzinin müəyyən edilməsi üçün metodologiya işlənmişdir ¹⁵.

Tədqiqatın nəzəri və praktiki əhəmiyyəti.

1. Hazırlanmış VTOL tipli mikro PUA-dan mülki (elmi-tədqiqat işləri, ərazinin havadan elektron-optik (EO) müşahidəsinin aparılması, fəvqəladə hallar zamanı vəziyyətin monitorinqi, neft-qazboru kəmərlərinin təhlükəsizliyinə nəzarət, dənizdə və quruda neft sızmalarının müəyyən edilməsi, kino-TV-reklam çəkilişləri təsərrüfatlarının vəziyyətinə nəzarət, yüklərin çatdırılması, geologiya

⁸Nəbiyev, R.N. Kiçik ölçülü konvertoplan tipli pilotsuz uçuş aparatları üçün bort nəzarət-ölçü sistemi / R.N.Nəbiyev, A.A. Abdullayev, Q.İ.Qarayev [və b.] // Milli Aviasiya Akademiyasının Elmi Məcmuələri, - Bakı: - 2023, №4, cild 25, - s. 1-12.

⁹Paşayev, A.M. Akkumulyatorun doldurulması zamanı qütbləri özü təyin edən qurğu, Patent (İxtira) İ 2022 0034, Azərbaycan Respublikası / Nəbiyev R.N., Qarayev Q.İ., Abdullayev A.A.

sənayesində, kənd təsərrüfatında bitkiçilik və heyvandarlıq və korteteka sənayesində) və hərbi məqsədlər üçün (havadan gündüz-gecə və termal təyinatlı EO kameralarla kəşfiyyatın aparılması, “şərti yüklə-rin” atılması, idarə olunan (lazerlə və GPS-lə koordinata yönləndirilən) raket-bombaların hədəfə istiqamətləndirilməsi və s.) istifadə edilməsi məqsəddəyğundur;

2. Mikro PUA-lar üçün yaradılmış BNÖS. Sistem vasitəsi ilə müxtəlif uçuş rejimlərində pilotsuz mikro uçuş aparatının mühərriklərinin əsas texniki parametrlərini (mühərriklərin hər birinin dövrlər sayının, cərəyan sərfinin və temperaturunu) və planerin fəzada vəziyyətini müəyyən edən məlumatları (planerin üç koordinat oxu üzrə bucaq dəyişməsinin və təcilinin) qeydə almaq mümkündür. Qeydə alınmış parametrlər əsasında UA-ının diaqnostik yoxlamasını keçirməklə onun texniki vəziyyətini qiymətləndirmək, eləcə də qalxma, asılma, uçma və enmə rejimlərini tədqiq etmək mümkündür.

3. Mikro PUA-lar üçün yaradılmış BNÖS online rejimdə tam olaraq texniki parametrlərə nəzarət etməyə imkan verir ki, bu da uçuş zamanı bordda baş verən vəziyyət dəyişikliklərini qeyd edərək operativ qərar vermə imkanını yaradır. Həmçinin uçuşdan əvvəl və uçuş zamanı mikro PUA-ların mühərrik işinin diaqnostikası üçün metodologiya hazırlanmışdır.

4. “Tərəzi-kütlə” üsulundan istifadə etməklə VTOL tipli mikro PUA-nın AM-i müəynin edilməsi üçün metodologiya işlənmişdir. Qeyd edilmişdir ki, AM-i müəyyənləşdirilmiş UA-nın üzərində əlavə mühəndis və yaxud layihələndirmə işləri görülərsə, dayaqlararası məsafəni və dayaqlara düşən çəkiliəri yenidən ölçmək, AM-in koordinatlarını təkrar hesablamaq və dəqiqləşdirmək məqsəddəyğundur.

5. PUA akkumulyatorlarının təhlükəsiz doldurulmasının etibar-

¹⁰ Nəbiyev, R.N. Litium əsaslı akkumulyator batareyalarının inkişaf mərhələləri / R.N.Nəbiyev, A.A.Abdullayev, Q.İ.Qarayev // Azərbaycan Mühəndislik Akademiyasının Xəbərləri, - Bakı:- 2019, cild 11, №4, -s. 70-81.

¹¹ Абдуллаев, А.А. Тəбиқи proqramlar əsasında konvertoplan tipli pilotsuz uçan aparatın planerinin kompüter modelləşdirilməsi // Azərbaycan Mühəndislik Akademiyasının Xəbərləri, – Bakı: – 2022, cild 14, №2, – s. 95-106.

¹² Abdullayev, A.A. Konvertoplan tipli hibrid pilotsuz uçuş aparat üçün hibrid əsaslı enerji mənbələrinin və hərəkətverici sistemlərin seçilməsi // Azərbaycan Milli Aerokosmik Agentliyin xəbərlər jurnalı, – Bakı: – 2022, cild 25, №1, – s. 47-55.

lılığının artırmaq üçün akkumulyatorun doldurulması zamanı qütbləri özü təyin edən qurğu işlənmişdir.

6. Kiçik ölçülü (mini, mikro, nano) PUA-lar, onlara qarşı mübarizə vasitələri və onların aşkaredilmə xüsusiyyətləri geniş sürətdə tədqiq edilmişdir. Göstərilmişdir ki, kollektorsuz elektrik mühərrikləri ilə təchiz edilmiş və kompozit materialdan hazırlanmış kiçik ölçülü PUA-ların SƏƏ-nin və mühərriklərinin səsinin aşağı, qabarit ölçülərin kiçik olması, ağ və yaxud açıq mavi rəngdə olması, onların RLS, vizual və akustik aşkaretmə vasitələri tərəfindən aşağı səviyyədə aşkar edilməsinə səbəb olmasını.

7. PUA ilə müşahidə aparılan zaman qiymətləndirilmə və optimallaşdırılmanın aparılması;

8. Dissertasiya PUA-lar, onların inkişaf tendensiyaları, təsnifatlanması, konstruktiv tərtibatı, layihələndirilməsi, qida mənbələri, tətbiq sahələri istiqamətində kifayət qədər elmi tutumlu və texnoloji informasiya cəmlənmiş elmi işdir. Dissertasiya işi ali məktəblərin bakalavr, magistr və doktrantura təhsil pillələrində təhsil alan dinləyicilər və müəllimlər, eləcə də faliyyət istiqamətləri üzrə çalışan mütəxəssislər üçün faydalı ola bilər.

Müəllifin şəxsi iştirakı. Dissertasiyada alınmış nəticələr müəllif tərəfindən aparılmış tədqiqatlarla təsdiq olunmuşdur. Məsələlərin qoyuluşu, təcrübələrin aparılması, sistemləşdirilməsi yerinə yetirilmişdir.

Tədqiqatın aprobasiyası və tətbiqi. Dissertasiyada əldə edilən elmi nəticələr aşağıdakı beynəlxalq, respublika və universitetdaxili konfranslarda məruzə edilərək müzakirə olunmuşlar:

1) “Azərbaycan Beynəlxalq nəqliyyat sistemində: hədəflər və perspektivlər”. Beynəlxalq elmi-praktiki konfrans, Bakı Mühəndislik Universiteti, Bakı, Azərbaycan, 02-05 oktyabr 2018;

¹³ Nəbiyev, R.N., Abdullayev, A.A. Pilotsuz uçuş aparatları ilə elektron-optik müşahidənin aparılması və tətbiq imkanlarının optimallaşdırılması // Milli Aviasiya Akademiyasının Elmi Məcmuələri, – Bakı: – 2025, №1, cild 27, – s. 1-13.

¹⁴ Набиев, Р.Н., Абдуллаев, А.А. Методы поиска при наблюдении за стратегическими объектами с использованием беспилотных летательных аппаратов // Естественные и технические науки. – Москва: –2025. №4 (203), –с. 258-268.

¹⁵ Nəbiyev, R.N. Konvertoplan tipli pilotsuz uçuş aparatının ağırlıq mərkəzinin müəyyən edilməsi / R.N.Nəbiyev, A.A.Abdullayev, Q.İ.Qarayev [və b.] // Milli Aviasiya Akademiyası Elmi Məcmuələr, – Bakı: – 2022. №4, cild 24, – s. 1-8.

2) “Ölçmə və keyfiyyət: problemlər, perspektivlər” Beynəlxalq Elmi-texniki konfrans, Azərbaycan Texniki Universiteti, Bakı, Azərbaycan, 21-23 noyabr 2018;

3) “Azərbaycanın nəqliyyatı: nailiyyətlər, problemlər və perspektivlər” Respublika Elmi konfransı. Azərbaycan Texniki Universiteti, Bakı, Azərbaycan 16-17 aprel 2019;

4) 1st International Conference: Modern Information, Measurement and Control Systems: Problems and Perspectives (MIMCS'2019), Azerbaijan State Oil and Industry University, Baku, Azerbaijan, 01-02 July 2019;

5) Tokyo summit 4th International Conference on Innovative Studies of Contemporary Sciences. Tokyo, Japan, July 29-31.2021;

6) 4th International New York conference on evolving trends in interdisciplinary research & practices. Manhattan, New York City, May 2-4, 2021;

7) II International Baku scientific research conference. Odlar Yurdu University, Baku, Azerbaijan, 28-30 april 2021;

8) Proceedings of the 2nd International Scientific and Practical Conference. Concepts for the development of society's scientific potential., Prague, Czech Republic, Scientific Collection “InterConf+”, 19-20.05.2022;

9) Proceedings of the 6th International Scientific and Practical Conference «Current issues and prospects for the Development of Scientific Research». Orleans, France, Scientific Collection «InterConf+». № 26(129), 19-20.10. 2022;

10) Azərbaycan Respublikası Müdafiə Nazirliyi Milli Müdafiə Universiteti. “Hərb sənətinin aktual problemləri”. Ümummillî lider Heydər Əliyevin anadan olmasının 100 illiyinə həsr olunmuş Beynəlxalq Elmi-praktiki konfrans, Bakı, Azərbaycan, 3-4 may 2023-cü il;

11) “Fevral məruzələri 2021: Aviakosmik məsələlərin həllində gənclərin yaradıcı potensialı” IX Beynəlxalq elmi-praktiki gənclər konfransı. Bakı, Milli Aviasiya Akademiyası, Fevral məruzələri, 8-10 fevral, 2024;

12) ISUDEF-24 Beynəlxalq Elmi-praktiki konfrans, Milli Aviasiya Akademiyası, Azərbaycan, Bakı, 22-23 may 2024;

13) E3S Web of Conference. International Scientific Conference Energy Management of Municipal Facilities and Environmental Technologies (EMMFT-2024).

14) Süni intellekt: Nəzəriyyədən praktikaya I Beynəlxalq Konfrans (AICON-2024), Naxçıvan, Azərbaycan, 17-18 sentyabr 2024;

15) Proceedings of the 11 th International Scientific and Practical Conference «Theory and practice of science: key aspects». Roma, İtaliya, Scientific Collection «InterConf+», № 56(244), 19-20.04.2025;

16) Proceedings of the XVI International Scientific and Practical Conference, World of conferences (WOC), Viana, Avstriya, 03-04.04.2025.

Nəticələr aviasiya elektronikasısı və UA-lar istiqamətində təhsil alan Milli Aviasiya Akademiyasının tələbələri və ali hərbi məktəblərin kursantlarına tədris olunan müvafiq fənlərin tədrisi prosesində geniş istifadə edilmişdir.

İşin nəşri. Dissertasiyanın mövzusu üzrə aparılmış tədqiqatların nəticələri əsasında 52 iş çap olunmuşdur. Bunlardan 34–ü elmi jurnal məqaləsi, 16-sı müxtəlif səviyyəli Beynəlxalq elmi-praktiki və elmi-texniki konfrans materialı, 2-si müəlliflik (patent -ixtira) şəhadətnaməsidir.

Dissertasiya işinin yerinə yetirildiyi təşkilat: Dissertasiya işi Azərbaycan Milli Aviasiya Akademiyasının Elmi-Tədqiqat İnstitutunun “Aviasiya Elektronikasısı” şöbəsində və “Aerokosmik cihazlar” kafedrasında yerinə yetirilmişdir.

Dissertasiyanın struktur bölmələrinin ayrılıqda həcmi qeyd olunmaqla dissertasiyanın işarə ilə ümumi həcmi. Dissertasiya işi Azərbaycan Respublikasının Prezidenti yanında Ali Attestasiya Komissiyası tərəfindən qoyulan tələblərə uyğun qaydada yazılmışdır. Dissertasiya işi bütövlükdə 354 səhifədə yerləşdirilib. Dissertasiya işi 84 şəkil, 24 qrafik, 19 cədvəl, olmaqla giriş, altı fəsildən, nəticədən, istifadə edilmiş 380 adda ədəbiyyat siyahısından, ixtisarlardan siyahısından və 4 əlavədən ibarətdir. Dissertasiya işinin həcmi (məndəki boşluqlar və şəkillər, qrafiqlər, cədvəllər, əlavələr və ədəbiyyat siyahısı istisna edilməklə) – 428876 (giriş – 29887, I fəsil – 136333, II fəsil – 92175, III fəsil – 40845, IV fəsil – 32583, V fəsil –

40643, VI fəsil-52587, nəticə – 3819 işarə) işarə təşkil edir.

İddiaçı dissertasiya işində yer alan elmi problemlərin qoyulduğu, əldə edilən elmi nəticələrin formalaşmasında, onların müzakirəsində verdiyi dəyərli məsləhətlərə və tövsiyələrə, göstərdiyi daimi diqqətə, işin müasir tələblərə uyğun səviyyədə müdafiəyə təqdim olunmasına görə öz elmi məsləhətçisi Azərbaycan Milli Aviasiya Akademiyasının Elmi-tədqiqat Aviasiya İnstitutunda “Aviasiya Elektronikası” şöbəsinin rəisi “Əməkdar Mühəndis” t.e.d., professor R.Nəbiyevə öz dərin minnətdarlığını bildirir.

Müəllif həmçinin işin yerinə yetirilməsində yaratdıqları işgüzar şəraitə, göstərdikləri texniki və mənəvi dəstəyə görə Azərbaycan Milli Aviasiya Akademiyasının rəhbərliyinə və Elmi-tədqiqat Aviasiya İnstitutunda “Aviasiya Elektronikası” şöbəsinin əməkdaşlarına öz səmimi minnətdarlığını bildirir.

DİSSERTASIYA İŞİNİN ƏSAS MƏZMUNU

Girişdə mövzunun aktuallığı əsaslandırılmış, tədqiqatın məqsədi və vəzifələri, tədqiqat metodları, müdafiəyə çıxarılan əsas müddəalar sadalanmış, tədqiqatın elmi yeniliyi, tədqiqatın nəzəri və praktiki əhəmiyyəti, aprobeşiyası və qısa şəkildə dissertasiyanın məzmunu açıqlanmışdır.

Birinci fəsil. Bu fəsildə PUA-ların (multirotasiya və planer tipli) ümumiləşdirilmiş şəkildə inkişaf mərhələləri, inkişafına təkan verən amillər, onların hazırlanma texnologiyaları, layihələndirilməsinə və konstruksiyasına qoyulan tələblər (böyük FY-yə və müasir avtopilot sisteminə malik olma), hərəkətinin riyazi modeli, tətbiq sahələri və ölkəmizdə bu istiqamətin inkişafına təkan verən amillər haqqında təhlil aparılmış və inkişafının müasir aspektləri müəyyənləşdirilmiş, həmçinin PUA sistemlərin tədqiqi haqqında müasir elmi ədəbiyyat və elektron mənbələrdən əldə edilmiş məlumatların analizi aparılmışdır ¹⁶⁻¹⁸.

Yüksək texnologiyaların tətbiqi ilə layihələndirilən yeni nəsil multirotasiya, eləcə də hibrid əsaslı PUA-ların tam avtomatlaşdırılmış idarəetməyə malik olması güc və qeyri-güc strukturlarının xidməti fəaliyyətlərində istifadənin genişlənməsinə gətirib çıxarmışdır.

Həmçinin bu fəsildə PUA-ların avtomatik idarəetmə sistemlərini təşkil edəcək hər bir elementin iş prinsipləri və mövcud uçuş rejimləri geniş surətdə tədqiq edilmişdir.

Multirotasiya əsaslı kvadrokopter tipli PUA-ların idarə edilməsinin riyazi əsasları, kvadrokopterin riyazi modeli, dinamik əks əlaqə üsulu, idarə edilən səthi sistemlər, dinamik əks əlaqənin qurulması, xətti idarəetmə və stabilləşdirmə məsələlərinin həlli, eləcə də rəqəmsal modelləşdirmənin nəticələri öyrənilmiş və tədqiq edilmişdir.

VTOL tipli PUA-ların inkişafı tendensiyaları və müasir dövüdə bu tip uçuş aparatlarının inkişafına qoyulan əsas tələblər müəyyənləşdirilmişdir.

PUA sistemlərinin təsnifatlanması. PUA-ları taktiki-texniki göstəricilərə əsasən müxtəlif alt sistemlərə, belə ki, qalxma çəkisinə, uçuş müddətinə və uçuş hündürlüyünə, əməliyyat uzaqlığına (YİS-dən maksimum uzaqlıqda idarə edilməsi, avtonom uçuş uzaqlığı), yerinə yetirilən tapşırığın (“monoton”, “zəhərli”, “təhlükəli”) xüsusiyyətinə, enerji mənbəyi və hərəkətverici sistemlərə bölməklə geniş təsnifatlanması aparılmışdır ^{1, 2, 19}.

Məxfiliyin (gizlilik), böyük ərazidə EO kəşfiyyat aparmağın təmin olunması, eləcə də aşkar olunmanın çətin olması üçün əməliyyat hündürlüyünün yüksək olması PUA-lar üçün əsas uçuş göstəricisi hesab olunur. Xüsusi ilə DYM tipli hərəkətverici sistemə sahib PUA-ların yüksək hündürlükdə uçuşu zamanı, formalaşdırdığı akustik küy və temperatur korelyasiyası aşağı olur. Bu effektlər də qeyd olunan tip PUA-ların radarlar vasitəsi ilə aşkar edilmə ehtimalını azaldır ^{20, 21}.

VTOL tipli PUA-lar. Aerodinamik xüsusiyyətlərinə görə fərqli konfigurasiyada olan VTOL tipli PUA bir-birindən kəskin

¹⁶Nəbiyev, R.N., Abdullayev, A.A. Multikopter tipli pilotsuz uçuş aparatlarının inkişaf mərhələləri, konstruksiyası və lahiyələndirilməsi problemləri // – Bakı: MAA-nın Elmi Əsərləri, –2016, №2, –s. 15-29.

¹⁷Набиев, Р.Н., Абдуллаев, А.А. Этапы развития, конструкция и проблемы проектирование БПЛА типа мультикоптер // Milli Aviasiya Akademiyasının Elmi Məcmuələri. – Bakı: – 2016, №4, cild 18, – s. 10-17.

¹⁸Набиев, Р.Н. Требования к беспилотным летательным аппаратам на мультиротационной основе / Р.Н. Набиев, Гараев Г.И., Абдуллаев А.А. [и др.] // Авиакосмическое приборостроение, - Москва:- 2018, № 9, - с. 3-11.

fərqlənən iki uçuş rejimi ilə xarakterizə olunur. VTOL tipli PUA-nın hibrid UA qismində, helikopterin daşıyıcı pərləri vasitəsi ilə şaquli istiqamətdə havaya qalxıb-enmək və havada asılı qalmaqla bərabər həmçinin lazımi trayektoriya üzrə uçuşu təmin etmək və təyyarənin, qaldırıcı qüvvəyə malik tərpnəməz qanadlı PUA-nın itələyici mühərrikinin təmin etdiyi sürətdə yaranan aerodinamik qüvvə hesabına üfüqi uçmaq xüsusiyyətlərini özündə birləşdirir ²²⁻²⁴.

Üstünlüklərinə daxildir:

- helikopterlərə nəzərən daha sürətli və uzaq məsafəyə uçmaq;
- təyyarəyə nəzərən məhdud sahədən havaya şaquli qalxma-enməsi imkan verir ki, havadan asılmaqla daha böyük FİƏ malik olsun;
- qanadına az yük düşən sabit qanadlı UA-dan fərqli olaraq dönmən qanadlı və yaxud fırlanan pərli UA-lar hava burulğanına qarşı daha az həssas olurlar.

VTOL tipli PUA-nın çatışmazlıqları:

- mühərrikin imtinası zamanı qəza enişinin yerinə yetirilməsinin mürəkkəb olması;
- havadan asılma rejimində mühərriklərə düşən yüklənmənin böyük olması;
- sürət və uzaq məsafəyə uçma xüsusiyyətinə görə planer tipli UA-lar ilə müqayisədə aşağı göstəricilərə malik olması;
- üfüqi uçuş zamanı qaldırıcı qüvvəni təmin edən pərlərin konstruksiyasının (mühərriklərin dönmə mexanizminin) ağırlığı;
- FİƏ-nin aşağı olmasıdır.
- effektivliyini itirməsi;

Həmçinin I fəsildə PUA-ya qarşı mübarizə vasitələri və üsulları, eləcə də PUA-ya qarşı mübarizənin çətinliklərinə daxil olan məsələlər əsaslı sürətdə tədqiq edilmişdir ¹.

¹⁹Набиев, Р.Н., Абдуллаев, А.А. Обзор этапов развития, конструкций и проблем проектирования БПЛА типа мультикоптер // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия Естественные и технические науки, – Москва: – 2017, №3-4. – с. 16-21.

²⁰ Nabiyev, R.N. Structural drafting of conver-tiplane-type unmanned aerial vehicle / R.N.Nabiyev, A.A.Abdullayev, Q.I.Qarayev // Norwegian Journal of development of the International Science, – 2022, №94, – p. 45-51.

İkinci fəsil metodiki və praktiki xarakterlidir. Burada AB-lər və yanacaq elementlərinin (YE) istismar xüsusiyyətləri, texniki xarakteristikaları (xüsusi çəki və həcmə görə enerji tutumları) haqqında məlumatlar müqayisəli təhlil edilmiş, PUA-ların, eləcə də insan fəaliyyətinin müxtəlif sahələrində istismar olunan daşınan elektron cihazların və qurğuların uzun müddətli işləməsini təmin edən enerji mənbələri haqqında məlumat verilmişdir²⁵⁻²⁷.

Enerji mənbəyi qismində litium əsaslı AB-lərin çatışmazlıqlarına daxildir:

- istifadə edilmədikdə köhnəlməyə meyilli olması;
- köhnəlmə prosesinin istismara başlama müddətindən deyil, istehsal tarixindən başlaması;
- digər tip AB-lər ilə müqayisədə qiymətinin baha olması;

LPAB-nin mexaniki zədələnməyə, həddindən artıq yüklənməyə və temperatur dəyişməsinə qarşı həssas olması, həmçinin qısaqapanma səbəbindən alışma ehtimalının yaranması.

Eləcə də, dərin boşalma AB-nin tutumunun azalmasına (elektrolitin oksidləşməsi), daxili müqavimətinin artmasına səbəb olur və təkrar yükləmə zamanı enerjinin tam toplanmasına mane olur. Bu hal bir neçə dəfə təkrarlandıqda 2÷3 ildən sonra AB tamamilə istismara yararsız hala düşür^{9, 28}.

Litium əsaslı AB-lərin əsas xüsusiyyətləri və tətbiq sahələri. Bu tip AB-lərdə enerji tutumu $100\div 180 \text{ Vt}\cdot\text{saat/kq}$ və ya $250\div 400 \text{ Vt}\cdot\text{saat/litr}$, gərginlik $3.6\div 4.2 \text{ V}$, buraxıla bilən gərginliyin aşağı həddi $2.5\div 2 \text{ V}$ və işçi temperatur diapazonu $(-20\dots+60) \text{ }^\circ\text{C}$ arasında dəyişir. Kiçik ölçülü AB-də boşalma cərəyanının qiyməti 2 C , güclü

²¹ Nəbiyev, R.N., Abdullayev, A.A. Müasir innovasiyaların tətbiqi ilə hazırlanması planlaşdırılan multikopter tipli PUA-lara qoyulan tələblər // Bakı Mühəndislik Universiteti, “Azərbaycan Beynəlxalq nəqliyyat sistemində: hədəflər və perspektivlər” mövzusunda Beinəlxalq elmi-praktiki konfrans. – Bakı: – 02-05 oktyabr, – 2018, – s. 176-180.

²²Nəbiyev, R.N., Abdullayev, A.A. Konvertoplan tipli pilotsuz uçuş aparatları haqqında: Cari vəziyyət və perspektivlər // MAA-nın Elmi Məcmuələri, - Bakı: - 2020, №3-4, cild 22, - s.14-26.

²³Абдуллаев, А.А. Тенденция развития беспилотных летательных аппаратов конвертопланового типа // Тенденции развития науки и образования, Научный журнал, – Самара: – 2020, №63/07, часть 1, – с. 84-90.

AB-lərdə isə bu qiymət təxminən 10-20 C tərtibdə olur. Bir çox istehsalçılar mənfi 40 °C-də işləyən AB-lər hazırlamışlar. Litium əsaslı AB-lərin öz-özünə boşalması birinci ayda 4-6 %, sonrakı aylarda isə bu hədd əhəmiyyətli dərəcədə azalaraq ildə 10-20 %-ə çatır. Eyni ölçülü digər AB-lər ilə müqayisədə litium əsaslı AB-lər 20-30 % daha çox enerji tutumuna, az “yaddaş effekti”-nə, tam boşalmanı gözləmədən istənilən vaxt yükləmənin mümkün olması xüsusiyyətlərinə malikdir. Çoxdəfəli istismar xüsusiyyətləri ilə əlaqədar olaraq litium əsaslı AB-lər "adi" və "tez boşalan" olur. Birincilərdən az (mobil telefonlarda, noutbuklarda və s.), ikincilərdən isə böyük cərəyan tələb edilən yerlərdə (PUA-da, hibrid avtomobildə və s.) istifadə edilir ²⁹.

Aviasiyada hidrogenin tətbiq istiqamətləri. PUA-larda tətbiq olunan mühərriklər işləmə prinsipinə görə aşağıdakı növlərə bölünür: AB-li, YE-li, DYM-li və hibrid (AB-DYM, AB-YE, hidrogen əsaslı DYM). AB-li PUA-ların küyü aşağı və uçuş müddəti orta hesabla 2-3 saat olur. DYM-li PUA-lardan istifadə etdikdə bu göstəricilər artır, nəticədə uçuş aparatının çəkisi, qanad uzunluğu, yaranan səs və ayrılan istilik hesabına təhlükəsiz uçuş ehtimalı (aşkarlanma) və s. əsas parametrlər yüksəlir. Bu səbəbdən çəkisi 10-15 kq qədər olan PUA-larda hibrid və yaxud DYM tipli enerji mənbələrindən istifadə etmək az yayılmışdır. Müxtəlif növ (AB, DYM, hibrid və YE) enerji mənbələrinin texniki göstəriciləri müqayisə edilmişdir. Müəyyənləş

²⁴ Nəbiyev, R.N., Abdullayev, A.A., Qarayev, Q.İ. Pilotsuz uçuş aparatlarında hidrogen əsaslı yanacaq elementlərindən istifadənin xüsusiyyətləri // Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti. 1st International Conference: Modern Information, Measurement and Control Systems: Problems and Perspectives (MIMCS' 2019), – Bakı: – 01-02 July, 2019, – p. 212.

²⁵ Nəbiyev, R.N., Abdullayev, A.A. Litium-polimer əsaslı akkumulyator batareyaları // AzTU, “Azərbaycanın nəqliyyatı: nailiyyətlər, problemlər və perspektivlər” mövzusunda Respublika Elmi konfransı. -Bakı: -16-17 aprel, -2019, - s. 103-106.

²⁶ Nəbiyev, R.N., Abdullayev, A.A. Akkumulyator batareyaları və yanacaq elementləri // AzTU, “Ölçmə və keyfiyyət: problemlər, perspektivlər” mövzusunda Beynəlxalq Elmi-texniki konfransı.– Bakı: - 21-23 noyabr, - 2018, - s. 235-237.

²⁷ Nəbiyev, R.N. Enerji mənbəyi qismində hidrogenin xüsusiyyətlərinin təhlili / R.N.Nəbiyev, A.A.Abdullayev, Q.İ.Qarayev // MAA -nın Elmi Məcmuələri, - Bakı: - 2019, cild 21, №4, - s. 16-30.

dirilmişdir ki, YE-nin FİƏ və çəkiyə nəzərən xüsusi enerji tutumu digər tip enerji mənbələrindən yüksəkdir ^{30, 31}.

Lakin, həcmə nəzərən xüsusi enerji tutumu müqayisə olunan digər tip enerji mənbələrindən 3-4 dəfə azdır. Bu səbəbdən PUA-larda YE-lərdən az istifadə edilir. Hidrogen yanan zaman ayrılan istilik üzvü yanacaqlara nisbətə 2,8 dəfə çox olur. Hidrogenin tam yanma xüsusiyyəti DYM-də yanacaq sərfiyyatının azalmasına, mühərrikin ölçü və çəkisinin kiçilməsinə və FİƏ-nin yüksəlməsinə səbəb olur. UA-da ikili yanacaqdan istifadə etdikdə, hidrogen üçün əlavə yanacaq çəninin quraşdırılması tələb olunur. Çəkisinin kerosindən 2,8 dəfə az olmasına baxmayaraq, hidrogen üçün tələb olunan yanacaq çəninin həcmi 4,3 dəfə böyük olur.

Hidrogen əsaslı enerji mənbələrindən istifadəni məhdudlaşdıran amillər: yanacağın oksidləşmə reaksiyasının otaq temperaturunda çox yavaş getməsi; vahid zamanda əldə edilən enerjinin gücünün az olması; qurğunun ölçülərinin böyük olması; enerji hasil olunan reaksiyanın yüksək temperaturda getməsi; aşağı temperaturlarda bahalı katalizatorlardan istifadəni tələb etməsi; həcmə nəzərən xüsusi enerji tutumu göstəricisinin aşağı olması; bəzi yanacaqların (metanol spirtinin) zəhərli olması; qiymətinin, emal və istehsal texnologiyasından bir başa asılı olması; YE-nin qiymətinin və alınan enerjinin maya dəyərinin yüksək olması; alınan enerjinin bir hissəsinin yanacağın maye halından qaz halına çevirilməsinə sərf edilməsi; polimer elektrolitdən istifadənin mürəkkəb olması; istismarının təhlükəli olması ³⁰.

PUA-larada uzun müddətli uçuşun təmin edilməsi məqsədi ilə enerji mənbəyinin seçilməsi və əsaslandırılması. Metan (yaxud propan) maye halında saxlanılır (mənfi 164 °C temperaturda) və xüsusi enerji tutumu 9,2 kVt*saat/kq olur. Sıxılmış maye halında metanolun (kompozit materialdan olan balonda çəkisini nəzərə alsaq) enerji

²⁸ Abdullayev, A.A. Akkumulyator batareyaları və yanacaq elementləri // Azərbaycan Milli Aerokosmik Agentliyin xəbərlər jurnalı, - Bakı: – 2021, cild 24, №3, –s. 61-69.

²⁹ Набиев, Р.Н. Анализ особенностей водорода в качестве источника энергии / Р.Н.Набиев, А.А.Абдуллаев, Г.И. Гараев // Авиакосмическое приборостроение, – Москва: – 2021, № 3, – с. 41-58.

tutumunun qiyməti digər qazların enerji tutumlarının qiymətindən təxminən 1 kVt*saat/kq çox olur.

Müxtəlif növ qida mənbələrinin texniki göstəriciləri cədvəl 1-də müqayisə edilmişdir. Ümumiyyətlə, müqayisəli təhlil nəticəsində qeyd etmək olar ki, AB-nin istismar müddətinin artırılması onların daşınan elektron qurğularında tətbiq imkanlarının genişlənməsinə gətirib çıxarmışdır. Təhlilin nəticəsi göstərir ki, LİAB və LPAB-ların çəki və həcmə nəzərən enerji tutumu parametrləri daha yüksəkdir ²⁸.

Cədvəl 1.

Müxtəlif tip AB-ların texniki göstəriciləri

S/s	Parametrlər	QTAB	NMHAB	NCAB	NHAB	LİAB	LPAB
1	Nominal gərginlik, V.	2,1	1,25	1,2	1,25	3,6	2,7
2	Çəkiyə nisbətə xüsusi enerji tutumu, Vt*saat/kq	30÷60	60÷75	40÷45	50÷55	130	150÷200
3	Həcmə nisbətə xüsusi enerji tutumu, Vt*saat/dm ³	-	180÷200	80÷100	100÷120	260	250÷350
4	Öz-özünə boşalma, % (aylıq)	5	30	20	-	10	~10
5	Maksimal tələb olunan təzyiq, mPa	-	0,15	0,15	12	-	-
6	Enerji tutumunun sərfiyyatı, %	98	96-98	72	90-92	98	98
7	İstismar müddəti, il/dolub-boşalma	5/650	5/500	5/500	7/1000	5/500	5/500

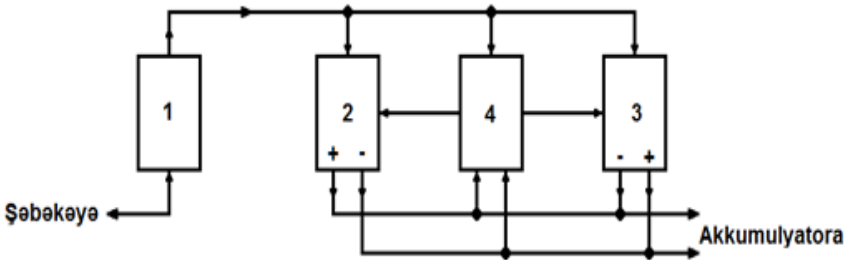
Akkumulyatorun doldurulması zamanı qütbləri özü təyin edən qurğu. Fəslin sonunda işlənib hazırlanmış AB-nin doldurulması zamanı qütbləri özü təyin edən qurğu təqdim edilmişdir. Belə ki, göstərilmişdir ki, qurğunun hazırlanma arxitekturası beş müqavimət, iki düzləndirici diod, altı optotranzistor və eyni tipli iki bi-

³⁰Abdullayev, A.A. Accumulator batteries and fuel elements // – Japan. Tokyo summit 4th International Conference on Innovative Studies of Contemporary Sciences. Tokyo, – july 29-31, – 2021, – p. 187-197.

³¹Nabiyev R.N., Abdullayev A.A. Creation of convertible-type unmanned aerial vehicles // 4th International New York conference on evolving trends in interdisciplinary research & practices.– Manhattan, New York City. - May 2-4, 2021, – p. 504-513.

polyar tranzistordan ibarətdir. Sxemin digər oxşarlarından fərqli xüsusiyyətləri göstərilmişdir: sxemdə üç müqavimət, iki düzləndirici diod, dörd optotranzistor və ikisi bir, ikisi başqa tipli dörd bipolyar tranzistordan istifadə edilir və bu tranzistorlar, hər qolda emitter-baza keçidləri paralel birləşmiş əks tipli iki tranzistor olmaqla iki qolda birləşdirilir. AB-nin qütbləri tranzistorların kollektor, şəbəkə gərginliyinin qütbləri isə tranzistorların baza dövrələri vasitəsi ilə təyin edildiyi qeyd edilmişdir⁹.

Akkumulyatorun doldurulması zamanı qütbləri özü müəyyən edən qurğu elektrik mənbələrinin təhlükəsiz doldurulması üçün tətbiq edilə bilər. Qurğu, şəbəkə gərginliyinin alçaldıcı transformatorundan, idarə olunan iki düzləndirici körpü sxemindən və idarəetmə sxemindən ibarətdir. Düzləndirici körpü sxemləri tiristorlar əsasında yığılmışdır. İdarəetmə sxeminə optotranzistorlar əsasında yığılmış tiristorların idarəetmə sxemi və dörd tranzistor əsasında yığılmış akkumulyatorun, eləcə də şəbəkə gərginliyinin qütblərini özü təyin edən sxem daxildir. Qurğu, sənaye tezlikli şəbəkəyə qoşulur və qütblərinin qoşulma istiqamətindən asılı olmayaraq akkumulyatorların təhlükəsiz doldurulmasını təmin edir. Texniki nəticə olaraq akkumulyatorların təhlükəsiz doldurulmasının etibarlılığının artmasını qeyd etmək olar.



Şəkil 1. Akkumulyatorun qütblərini özü təyin edən doldurucu qurğunun struktur sxemi

Akkumulyatorun qütblərini özü təyin edən doldurucu qurğunun struktur sxemi şəkil 1-də verilib. Qurğu, şəbəkə gərginliyinin alçaldıcı transformatorundan 1, idarə olunan iki düzləndirici körpü sxemi

mindən 2, 3 və idarəetmə sxemindən 4 ibarətdir. Sxem belə işləyir: - transformator 1 şəbəkə gərginliyinin qiymətini akkumulyatoru doldurmaq həddinə qədər azaldır. Akkumulyatorun qoşulma istiqamətindən asılı olaraq, idarəetmə sxemi 4 idarə olunan iki düzləndirici körpü sxemindən 2, 3 birini seçir və şəbəkə gərginliyinin qütbündən asılı olaraq seçilən idarə olunan düzləndirici körpü sxeminin qollarında olan tiristorların idarə olunmasını yerinə yetirir. İdarə olunan düzləndirici körpü sxemlərinin 2, 3 girişləri paralel, çıxışları əks-paralel qoşumuşdur. Doldurma prosesində seçilmiş düzləndirici işləyir.

Üçüncü fəsil. Bu fəsildə enerji təminatı üzrə hibrid enerji mənbəli (HEM) və uçuşu üzrə hibrid hərəkətverici sistemli (HHS) özündə birləşdirən VTOL tipli PUA-nın enerji təminatı tədqiq olunmuşdur. Kollektorsuz elektrik mühərrikli VTOL tipli PUA-da enerji mənbəyi qismində AB, YE, eləcə də DYM ilə birlikdə elektrik generatorunun istifadə edilməsi, bunların əsasında HEM və HHS-lərin hazırlanması xüsusiyyətləri, həmçinin VTOL tipli PUA-nın uzunmüddətli uçuşunun təmin edilməsi məsələlərinə baxılmışdır. Bu istiqamətdə aparılan elmi tədqiqat işləri HEM və HHS-lərin ardıcıl, paralel və ardıcıl-paralel qoşulmalarından təşkil olunmuş güc sistemlərinin struktur sxemləri təhlil edilmişdir. Təhlil nəticəsində YE, AB və DYM-generator tipli HEM-lərdən təşkil olunmuş matrisa qurulmuş və onların optimal qoşulma sxemləri müəyyənləşdirilmişdir.

VTOL tipli PUA-nın qaldırıcı sistemində dörd hibrid hərəkətverici pər-motor qurupundan (PMQ) istifadə etdikdə sistem mürəkkəbləşir və çəkisi nisbətən ağırlaşır. Çəkisi 15 kq-dan çox olan VTOL tipli PUA-da qaldırıcı mühərriklər qismində dörd ədəd kollektorsuz elektrik mühərrikindən, dartı mühərriki qismində bir ədəd DYM-dən istifadə etməklə uzunmüddətli şaquli uçuşu və ya havada asılmanı təmin etmək mümkündür. Uçuş müddətində DYM-in generator funksiyasından istifadə etməklə AB-nin doldurulması mümkündür^{3, 32}.

Layihələndirilən VTOL tipli PUA-nın hibrid güc sistemini təşkil edən elementlərin seçimi, həmçinin qaldırıcı və itələyici mühərriklərin dartı qüvvəsinə əsasən uçuş çəkisinin öncədən qiymətləndirilməsi aparılmışdır.

Müxtəlif sxemlər əsasında hazırlanan hibrid uçuş aparatını təşkil edən elementlərə və hesablanmış parametrlərə əsasən VTOL tipli PUA-nın konseptual blok sxemi işlənilmişdir.

Hibrid enerji mənbəli VTOL tipli PUA-nın konseptual funksional sxemi işlənilmişdir. UA-ların inkişafı planerin enerji təminatı və kütlə, güc və hərəkətverici sistemlərinin qarbit ölçülərinə nisbətindən, qanadın aerodinamik xüsusiyyətlərindən, həmçinin UA-nın qanadının aerodinamik keyfiyyət əmsalından bir başa asılı olur. Uçuş zamanı sərf olunan enerji UA üçün seçilmiş planerin formasından və həmlə bucağından asılı olaraq qanadın yaratdığı qaldırıcı qüvvə əmsalının əks müqavimət qüvvəsi əmsalından neçə dəfə böyük olmasını göstərən kəmiyyətdən bir başa asılı olur və layihələndirmə zamanı UA-nın uçuş vaxtı enerjiyə qənaət etmək imkanına sahib konstruksiyadan istifadə etmək tələb edilir.

Həmçinin UA-nın layihələndirilməsi zamanı qanadların aerodinamik xüsusiyyətlərinin nəzərə alınması və dayanıqlığın tənzimlənməsi məsələlərinin həll olunmasının vacibliyi tələb olunur.

Son illərdə güc qurğusu qismində kollektorsuz EM-lərdən, enerji mənbəyi qismində AB-dən istifadə edilən kiçik ölçülü ("nano", "mikro" və "mini") planer (təyyarə), helikopter, multikopter və VTOL tipli PUA istehsalı sürətlə inkişaf edir. Belə UA-ların istehsal, eləcə də istismar dəyəri orta və böyük ölçülü PUA-lardan olduqca aşağıdır və onların daha uzunmüddətli uçuşunu təmin etmək üçün müxtəlif tipli iki və ya daha çox enerji mənbəyi əsasında hazırlanan HEM-dən istifadə edilir. HEM-lər DYM ilə müqayisədə ekoloji cəhətdən nisbətən təmizdir, aşağı küyə, istilik şüalanmasına və s. üstünlüklərə malikdir və onun tətbiqi zamanı ətraf mühitə atılan zərərli tullantıların miqdarı azalır, enerji sərfinin effektivliyi, son nəticədə uçuşun səmərəliliyi yüksəlir.

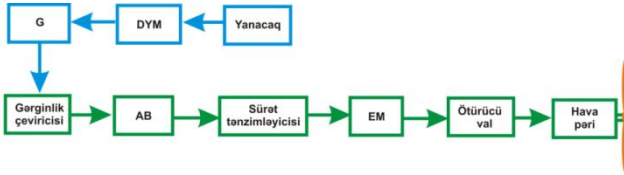
Kiçik ölçülü PUA-ların manevretmə və intellektuallıq xüsusiyyətləri yüksək olsa da, uçuş müddəti qısadır. Xüsusi enerji sıxlığı 100 Vt-saat/kq olan bir LPAB ilə uçuş müddəti 20-25 dəq təşkil edir.

³²Набиев, Р.Н., Абдуллаев, А.А. Исследование основных аэродинамических параметров планера беспилотного летательного аппарата конвертопланового типа // Авиакосмическое приборостроение, – Москва: – 2022, № 4. – с. 17-33.

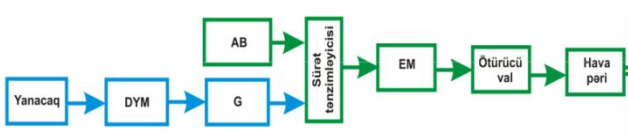
Əlavə AB qoşmaqla uçuş müddətini 40 dəqiqəyə qədər artırmaq mümkündür, lakin bu zaman FY-nın çəkisi azalır.

HEM-in enerji sistemlərinin təhlili. (DYM1+G)-AB tipli "ardıcıl" qoşulmada, verilmiş anda EM-in enerji təchizatı yalnız bir mənbədən – AB-dən, AB-nin doldurulması DYM+G sistemindən generatorun hasil etdiyi elektrik enerjisi ilə işləyən gərginlik çeviricisi vasitəsi ilə yerinə yetirilir (şəkil 2). Enerji təchizatı AB-dən yerinə yetirilən sürət tənzimləyicisi PUA-nın pərlərini hərəkətə gətirən kollektorsuz EM-lərə ötürülən gücü tənzimləyir. "Ardıcıl" qoşulmanın üstünlüyü konstruksiyanın sadə olması, çatışmazlığı enerji mənbələri arasında keçid prosesini yerinə yetirmək üçün mürəkkəb mexanizmdən istifadə edilməsidir. (DYM1+G)-AB tipli "paralel" qoşulmada EM-in enerji təchizatının eyni zamanda iki mənbədən yerinə yetirilməsi mümkündür (şəkil 3).

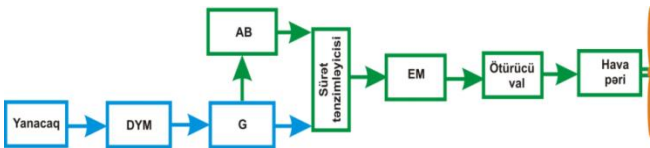
Bu halda EM-in əsas enerji təchizatı DYM+G vasitəsilə, sərt yüklənmələrdə bu kifayət etmədikdə AB-nin sistemə "paralel" qoşulması ilə yerinə yetirilir. Sxemin çatışmayan cəhəti, AB-nin elektrik generatorundan dolmaq funksiyasının olmamasıdır³³.



Şəkil 2. HEM-in "ardıcıl" qoşulma sxemi



Şəkil 3. HEM-in "paralel" qoşulma sxemi



Şəkil 4. HEM-in "qarışıq" qoşulma sxemi

(DYM 1+G)-AB tipli "paralel" qoşulmada, əvvəlki iki qoşulma sxeminin üstünlüklərini saxlamaqla, onlara məxsus çatışmazlıqlar aradan qaldırmaq mümkündür. Bu halda "qarışıq" qoşulmadan istifadə edilir və uzunmüddətli uçuş üçün dartı qüvvəsi əsasən (DYM 1+G) vasitəsi ilə yaradılır, eyni zamanda AB-nin doldurulması yerinə yetirilir (şəkil 4).

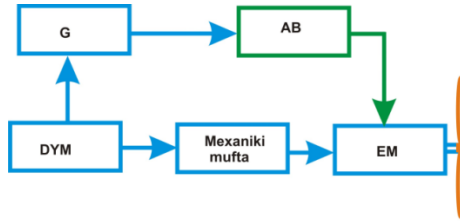
Sərt yüklənmələrdə EM işə qoşulur və əlavə dartı qüvvəsini təmin edir. Bu zaman EM-in enerji təchizatının həm elektrik generatorundan, həm də AB-dən yerinə yetirilməsi mümkündür. Bu da dartı qüvvəsindən asılı olmayaraq AB-nin və elektrik generatorunun daha effektiv yüklənməsinə imkan verir ³³.

Şəkil 4-də "qarışıq" qoşulmadan - AB-nin DYM-in G-dan doldurulmasından istifadə etməklə DYM və G, uyğun olaraq YE və gərginlik çeviricisi ilə əzəz edilərsə, sistemin texniki xüsusiyyətləri göstərilən sxemə uyğun olur. Bu halda yanacaq qismində hidrogendən istifadə edilir. Oksidləşmə-reduksiya reaksiyasının yüksək temperaturda (600...1000 °C) getməsi, temperaturu 60-100 °C-yə qədər azaltmaq 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 məqsədəuyğun deyil. Hibrid hərəkətverici sistemlərinin təhlili. PUA-nın HHS-in "ardıcıl" və "paralel" qoşulma sxemləri əsasən DYM və EM-in (şəkil 5-ə uyğun) 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 (şəkil 5). Bu halda DYM və EM-in oxları bir düz xətt üzrə yerləşir, EM-in rototu daşıyıcı oxda yığılır və onun enerji təchizatı AB tərəfindən yerinə yetirilir. EM, sərt yüklənmələr zamanı tələb olunan gücü təmin etmək üçün sistemə qoşulur.

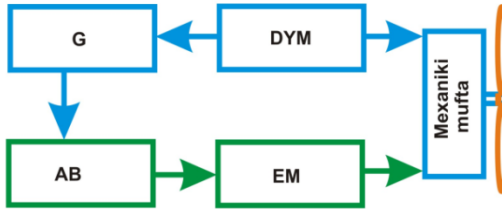
PUA-nın HHS-in "paralel" qoşulma sxemində DYM və EM tərəfindən formalaşdırılan fırlanma momentləri daşıyıcı oxa dişli çarxlar vasitəsi ilə ötürülür. Bu halda DYM və EM-in oxları bir düz xətt üzrə yerləşir (şəkil 6). Hər iki qoşulmada DYM dövrəsinə G

əlavə etməklə DYM+G konfigurasiyası almaq və uçuş müddətində AB-nin doldurulmasını təmin etmək mümkündür.

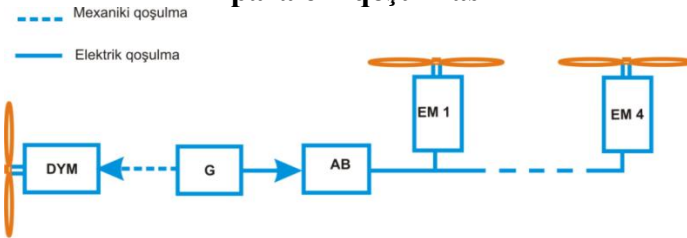
Yuxarıda təhlil edilmiş sxemlər bir PMQ-dən xidmət edir. Əgər VTOL tipli PUA-da dörd qaldırıcı PMQ-dən istifadə edilərsə, göstərilən sxemlərin tətbiqi sistemin mürəkkəbləşməsinə və PUA-nın çəkisinin artmasına səbəb ola bilər. Şaquli uçuşu təmin etmək üçün dörd ədəd EM-dən və üfüqi uçuşu təmin etmək üçün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



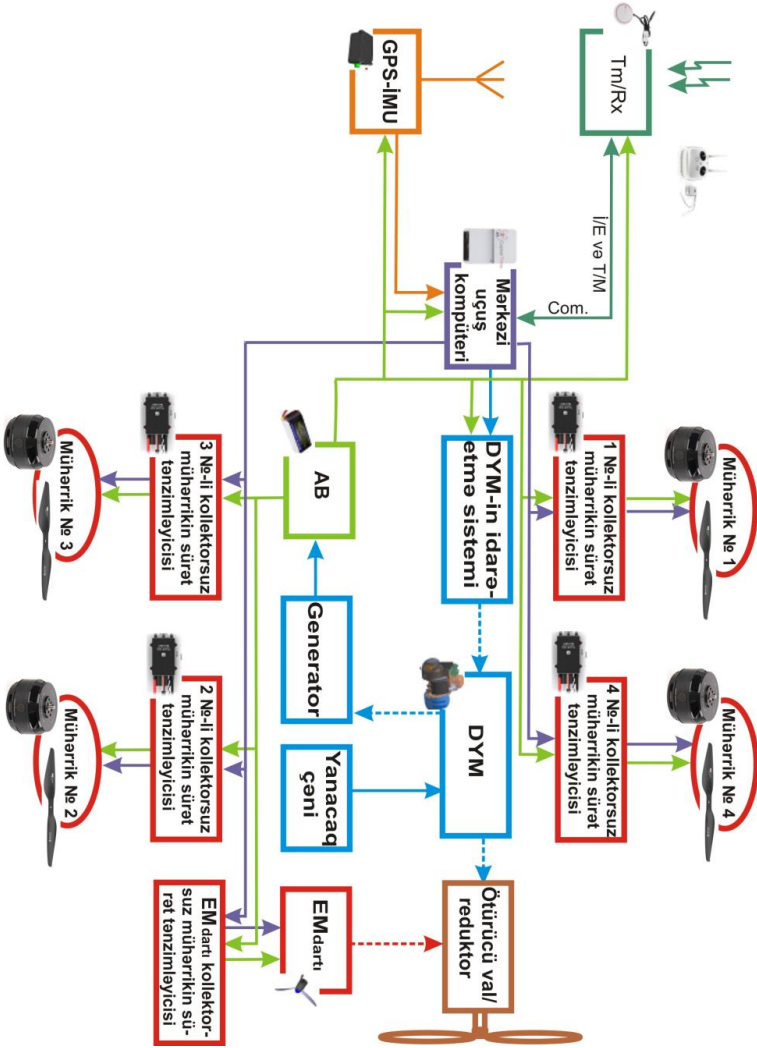
Şəkil 5. DYM-AB əsaslı HEM-in hərəkətverici sisteminin "ardıcıl" qoşulması



Şəkil 6. DYM-AB əsaslı HEM-in hərəkətverici sisteminin "paralel" qoşulması



Şəkil 7. Layihələndirilməsi planlaşdırılan VTOL tipli PUA-nın HEM-in hərəkətverici sisteminin qoşulma sxemi



Şəkil. 8. Layihələndirilən konvertolplan tipli hibrid PUA-nın blok diaqramı

Uzunmüddətli uçuşun təmin edilməsi məqsədi ilə şəkil 5 və şəkil 6-da təhlil olunan sxemlərin konstruktiv olaraq ümumilləşdirilməsi 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 enməsi təmin edilsin. Başqa sözlə PUA-nın təhlükəsiz sahəyə gətirilməsi və enməsi üçün 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 generatordan istifadə etməklə AB-nin doldurulması yerinə yetirilir (şəkil 7).

Həmçinin UA-nın layihələndirilməsi zamanı qanadların aerodinamik xüsusiyyətlərinin nəzərə alınması və dayanıqlığın tənzimlənməsi məsələlərinin həll olunmasının vacibliyinin tələb olduğu qeyd edilmişdir.

Pilot-operator tərəfindən verilən komanda (sürət, istiqamət və s.) real vaxtda blok diaqramdan görüldüyü kimi, PUA-nın hava məlumat terminalı ilə qəbul edilir və mərkəzi uçuş kompüterinə (MUK) ötürülür (şəkil 8). Naviqasiya sistemindən (GPS, akselerometr, giroskop, pitot borusu və baromet) alınan məlumatlar MUK-da hesablanaraq ümumiləşdirilir.

PUA-nın şaquli qalxıb-enmə və üfüqi uçuş rejimlərinə keçid MUK vasitəsi ilə idarə olunur. Şaquli uçuşu təmin etmək üçün, enerji təchizatı LPAB tərəfindən yerinə yetirilən və dövrlər sayı sürət tənzimləyicisi vastəsi ilə tənzimlənən dörd ədəd kollektorsuz EM-dən istifadə edilir. Sürət tənzimləyiciləri MUK tərəfindən verilən komandaya uyğun EM-in qaldırıcı qüvvəsini tənzimləyir.

MUK, HEM-in seçilmiş konfigurasiyasından asılı olaraq üfüqi uçuşu təmin edən DYM-in dartı qüvvəsini, generatorun işləməsini, həmçinin EM-lərin işləmə rejimlərini idarə edir ¹¹.

VTOL tipli PUA planerinin əsas aerodinamik parametrləri tədqiq edilmişdir. Burada məqsəd şaquli və üfüqi uçuşu təmin edən, təyyarə və helikopterin uçuş-texniki xüsusiyyətlərini özündə birləşdirən, sabit "uçan qanad" formalı planer konstruksiyasına sahib VTOL tipli PUA-nın "SolidWorks", "ANSYS", "Profili" və "Xflir5" tətbiqi proqramlar əsasında kompüter modelləşdirilməsi ilə uçuş aparatının optimallaşdırılmış aerodinamik xarakteristikaların

müəyyənləşdirilməsi və bu nəticələr əsasında layihələndirilməsindən ibarətdir. PUA-nın uçuşunun avtonomluq şərtinin ödənilməsi ən vacib və mürəkkəb həllərdən biridir. Bu səbəbdən hazırlanan PUA-lara qoyulan əsas tələb sərbəst uçuşun təmin edilməsi şərtinin ödənilməsidir. Əsas avtonomluq UA-nın uçuşu idarəetmə prosessoru, inersial naviqasiya, təzyiq və s. duyğacıların verilənləri ilə təmin edilir. Tam avtonomluq şərtinin ödənilməsi halında UA-nın istənilən ssenariyə cəld cavab vermək və təyyarənin xarici təsirlərə (məhdudiyətlərə) qarşı dayanıqlıq xüsusiyyətləri göstərməsi ilə xarakterizə olunmasıdır.

Təyyarə tipli UA-ların qalxma-enmə zolaqları ilə təmin edilməsi problemin aradan qaldırılması məqsədi ilə uçub qalxma və enmə zolaqları tələb etməyən UA-ların layihələndirilməsi və hazırlanması aviasiya mütəxəssisləri qarşısında prioritet məsələ olaraq qalmaqdadır.

Helikopterlər qismində havaya qalxan və təyyarə qismində planerin aerodinamik xüsusiyyətlərini özündə cəmləşdirən UA-lara tələbat getdikcə artmaqdadır. Konstruksiyasının mürəkkəb olması səbəbindən bu tip PUA-ların hazırlanması, istismarı sadə olmur və istismar zamanı pilot-texnik heyətindən böyük peşəkarlıq vərdişləri tələb olunur.

Dartı və qaldırıcı mühərriklər UA-nın manevr imkanlarını artırır. Mühərriklərin vəziyyəti (şaquli, üfüqi) və işləmə ardıcılığından asılı olaraq həm qaldırma qüvvəsi, həm də dartı qüvvəsi yaranır. UA-nın qalxması qaldırıcı mühərriklər (fırlanma müstəvisinə paralel), üfüqi uçuşu (fırlanma müstəvisi perpendikulyar) dartı mühərriki hesabına yaranır. Nəticədə UA təyyarə rejimində uçuşu davam etdirir. Əks proses zamanı UA şaquli uçuş (multikopter) rejiminə keçir. Qaldırıcı mühərrik pərlərin qarşılıqlı əks istiqamətlərdə fırlanma mamentlərinin differensial fərqlənməsi nəticəsində qalxma, dartı mühərriklərinin yaratdığı dartı qüvvəsi nəticəsində irəliləmə və UA-nın eleronlarının hücum bucaqlarını dəyişməsi nəticəsində istiqamətlənməklə irəli uçma hərəkəti yaradır. VTOL tipli PUA təyyarə rejimində üfüqi uçuş zamanı helikopter və çoxrotorlu UA-ların məhdudiyətlərindən (az uçuş məsafəsi və aşağı uçuş sürəti) azad olur.

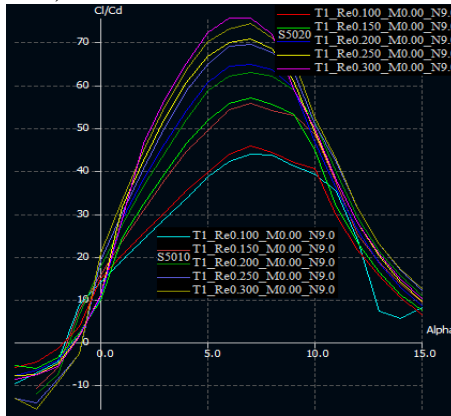
“Uçan qanad” sabit qanad konfigurasiyalı UA-ya aid olub, strukturuna qanad, füzelyaj və quyruq hissəsindən ibarət sadə forma daxildir. Ayrılıqda füzelyajı olmayan “uçan qanad” tipli sabit qanadlı təyyarə modelləri də mövcuddur. Yanacaq, AB, avionka avadanlıqları, FY və s. əsasən qanad daxilində konstruktiv yerləşdirilir. Həmçinin “uçan qanad” konstruksiyasına tutacaqlar, asqılar, yük bölməsi, eləcə də şaquli və üfüqi stabilizator qismində kiçik konstruktiv birləşmələr də daxil olur. “Uçan qanad” tipli planerin layihələndirilməsi. “XFLR5” proqram təminatı bazasından istifadə etməklə təhlillər aparılmış və “uçan qanad” profilinin parametrləri hesablanmışdır. Əvvəlcə “uçan qanad” qismində istifadə edilən ən yaxşı aerodinamik profil seçmək üçün iki fərqli aerodinamik səthlərin CFD (havanın dinamik axını) analizi aparılmış və tədqiq olunan qanad profillərindən biri seçilmişdir ¹¹.

Bunun üçün “XFLR5” proqramının alt sistemi olan “XFOIL” proqram bazasından istifadə edilmişdir. Bazadan seçilmiş panel kodundan istifadə etməklə “uçan qanadın” aerodinamik səthlərinin aerodinamik xüsusiyyətləri qiymətləndirilmişdir. Analiz üçün aerodinamik səthlərin qalınlıqları yüksək olan “S” seriyalı aerodinamik səthlər (S5010, $t/c=9.82\%$, S5020, $t/c=8.40\%$) seçilmiş və onlar üçün Reynolds ədədi geniş diapazonda hesablanmışdır. “XFLR5” bu qütbləri götürməklə və lazım olduqda fərqli Reynolds ədədlərindən istifadə etməklə hesablamalar arasında interpoliysiya edərək VLM-vorteks qəfəs üsulu analizinə uyğun faiz nisbəti əlavə edilmişdir. S5020 seriyalı aerodinamik səthin seçilmə səbəbi aşağıda qeyd edilmişdir:

- kiçik burulma əmsalına sahib olma ($c/4$);
- qanadın qaldırma qüvvə əmsalının maksimum yüksəlmə qiymətinin qanadın aerodinamik əmsalı göstəricisindən $s/4$ tərtib aşağı olması. Qaldırma və sürtünmə əmsalları S5010, S5020 ardıcılığı ilə artır. Hücüm bucağının ən yüksək qiyməti S5010 üçün təxminən 12-13 dərəcə qiymətlərində olur. Lakin VTOL tipli PUA-nın qaldırma gücünü təmin etmək üçün daha yüksək qaldırma əmsalı tələb olunur. H ücum bucağının ən yüksək qiyməti
- S5020-də təxminən 6-7 dərəcədə qeydə alınır. Planerin müəyyən hücüm bucağı ilə uçmasına imkan yaradır.

Bu səbəbdən XFLR5 proqramı vasitəsi ilə əldə olunan nəticələrin və tətbiqi həllərin ilkin model olaraq yoxlanılması tələb olunur. Buna baxmayaraq, əldə olunan nəticələr, “uçan qanad” modellərini müqayisə etmək üçün kifayət edir.

Qrafik 1-də təsvir olunan qrafikdən qaldırma əmsallarının yüksəldiyi aydın görünür və 6° - 12° hücum bucağı ilə qanad konfigurasiyası 45° olan qanad üçün ən yüksək olur. Qanadın analizini aparmaq üçün qanadda birdəfəlik nümunə analizi üsulundan istifadə olunur. UA-nın AM-inin yerləşmə yeri, qanadın qaldırma gücü, qüvvə momenti əmsalı və sürütmə əmsalı kimi müxtəlif aerodinamik xüsusiyyətləri müəyyən etmək üçün kütlə tarazlığı halı təmin olunur. Bundan əlavə, yan və uzununa dayanıqlığını müəyyən etmək üçün dinamik dayanıqlıq hesabları aparılır. Bu analiz üçün dörd fərqli qanad sonluğu tərtib etmişik (qanad sonluğu: 0° , 45° , 60° və 90° olan qanadlar).



Qrafik 1. C I/Cd əmsalının hücum bucağından asılılıq qrafiki

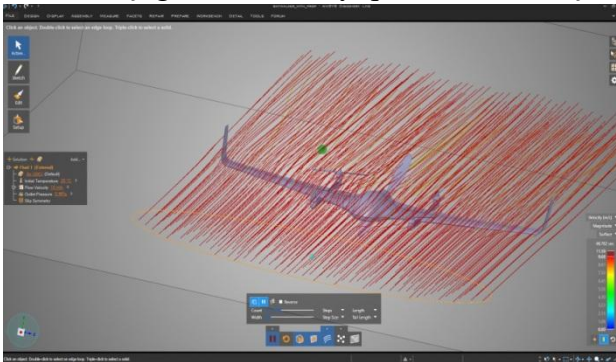
Qanad sonluğunun qaldırma qüvvəsini təmin edir və bu zaman daha yüksək qaldırma əmsalı tələb olunur. Müəyyən hücum bucağı altında daha yüksək sürütmə əmsalı UA-nın uzaq məsafəyə uçmasını təmin edir.

Artıq “prototip” layihə hazırdır. Tam modelləşdirmək üçün “SolidWorks” və “ANSYS” kompüter proqram təminatlarından istifadə etməklə müxtəlif hesablama sınaqları aparmaq və modeli daha da təkmilləşdirmək üçün yeni parametrlər əldə etmək mümkündür.

Bunun üçün UA-nın konstruktiv dizaynını “SolidWorks” proqram təminatının bazasında mükəmməl şəkildə çəkmişdir.

ANSYS proqram təminatlarının tətbiqi ilə aerodinamik sınaqlar. Aerodinamik sınaqların aparılması üçün əsas tapşırıqlar aşağıdakılardır: “uçan qanad” profili üzərindəki axın sxemini müəyyən etmək; qaldırma və müqavimət qüvvələrinin qiymətlərini hesablamaq. Aerodinamik layihələndirmənin yekun baza konfigurasiyasına uyğun olmasını təmin etmək üçün “ANSYS-Fluent” aerodinamik sınaqları aparılmışdır. Kompüter modelini hazırlamaq üçün 8^0 altında hücum bucağı seçilir. Bu, UA-nın z oxu ətrafında 8^0 bucaq altında həndəsi fırladılması ilə mümkün olmuşdur. PUA-nın ətrafında uyğun aerodinamik və termal tor çəkilmişdir. Aşağıdakı parametrlərdən istifadə edilməklə tor tamamlanmışdır ¹¹.

Uçuş zamanı “uçan qanad”ın pərlərinin sahəsi boyunca yaranan təzyiqlik paylanması aşağı dinamik təzyiqlik sahəsi formalaşdırır.



Şəkil 9. Daxili ətraf axın kanalı üçün statik təzyiqlik a) və uzununa ox boyunca və pər sahəsində təzyiqlikin b) konturları

Şəkil 9-dapər sahəsində və uçan qanadın “füzelyaj” sahəsində sürət paylanması təsvir etdirilmişdir. Burada daxili ətraf axın kanalı üçün uzununa ox boyunca və pər sahəsində təzyiqlikin (b) konturları təsvir edilmişdir. Pər sahəsində olan sürətin demək olar ki, sıfıra bərabər olduğu iki sahədə sürətin azalmasına gətirib çıxarır. Bu sahədə təzyiqlik artımı müşahidə olunur.

Füzelyaj üzərindəki sürət profili üçün yuxarı səthin böyük bir hissəsində aşağı səthlə müqayisədə daha yüksək sürət olduğu görsənir. Bu, qaldırıcı qüvvəni yaratmaq üçün kifayət edir.

Dördüncü fəsil. Bu fəsil VTOL tipli PUA-nın konstruktiv tərtibatı və seçilmiş dəstləyicilərin təyinatı verilmiş, yerləşdirilmə yerindən asılı olaraq seçilən elementlərin onun aerodinamik xüsusiyyətlərinə təsiri nəzəri və təcrübi biliklərlə əsaslandırılmasına həsr edilmişdir. Həmçinin, strateji obyektlərin müşahidəsi kontekstində VTOL tipli PUA-nın əsas parametrlərinin optimallaşdırılması aparılmış, visual, akustik və radar aşkarlama vasitələri ilə onun aşkar edilməsi ehtimalı müəyyənləşdirilmişdir ³³.

VTOL tipli PUA-nın elektrik dövrələrinin funksional blok-sxemi, struktruna daxil olan bort dəstləyiciləri: güc sistemi, füzelyajının arxitektura tərtibatı, görünüşü və avionika elementlərinin yerləşmə yerləri, enerji sistemi, idarəetmə kontrollerinin (“FC”), “RC” rabitə qəbuledicisi və naviqasiya “GPS” qurğularının funksiyaları, FY (EO kamera), ekranda təsvirin üzərində telemetriya məlumatlarının görüntüsünü təmin edən “OSD” qurğusu, “VideoLink” - (video transmitter - video ötürücü), rəqəmsal məlumatları uzaq məsafəyə ötürmək üçün telemetriya qurğusu “DataLink” təsvir edilmiş və seçilmişdir ^{4, 12}.

Uçuşların səmərəliliyini və təhlükəsizliyini artırmaq məqsədi ilə layihələndirmə və hazırlanma mərhələsində uçuş aparatlarının (UA) yüklənmə, mərkəzləşdirmə və AM-inin düzgün yerləşməsi istiqamətində aparılan tədqiqat işləri, həmçinin mövcud üsul və vasitələrin xüsusiyyətləri təhlil olunmuş, VTOL tipli PUA-nın misalında UA-nın AM-in müəyyən edilməsində daha çox istifadə olunan “tərəzi-kütlə” üsulundan istifadə etməyin metodologiyası işlənmişdir.

Hazırlanmış VTOL tipli PUA-nın çəkisinin müəyyən edilməsi və AM-in koordinatlarının hesablanması zamanı orta kvadratik kənara çıxmanın və ehtimal olunan xətanın təhlili aparılmışdır. VTOL tipli PUA-nın stasionar şəraitdə yüklənməsinin və AM-in müəyyən edilməsi üçün mobil elektron tərəzidən istifadə etməyin xüsusiyyətləri nəzərdən keçirilmişdir. Uçuş aparatının AM-in daha yüksək dəqiqliklə müəyyən olunması üçün işlənmiş üsul təsvir

³³Nəbiyev, R.N. Konvertoplan tipli pilotsuz uçuş aparatının konstruktiv işlənilməsi / R.N.Nəbiyev, Q.İ.Qarayev, A.A.Abdullayev // Milli Aviasiya Akademiyasının Elmi Məcmuələri, – Bakı: – 2022. №1, cild 24, – s. 1-10.

edilmiş, təklif olunan sistemin qurulması modeli təqdim olunmuşdur. PUA-nın çəkisinin və AM-in müəyyən edilməsi üçün yerinə yetirilən nəzəri və eksperimental tədqiqatların nəticələri təhlil edilmişdir.



Şəkil 10. VTOL tipli PUA-nın AM-nin təyin olunması məqsədi ilə laboratoriyada hazırlanmış işçi yer

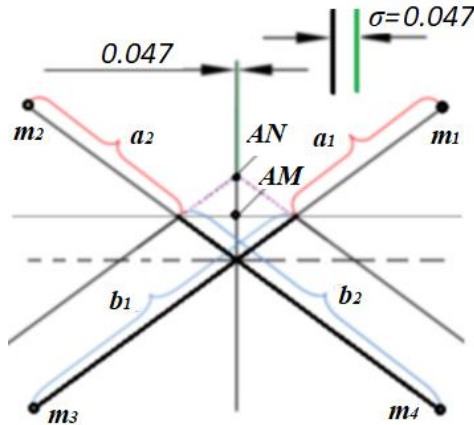
VTOL tipli PUA-nın AM-inin müəyyən edilməsi. UA-nın kütlə və AM-inin dəqiq müəyyən edilməsi, eləcə də bu istiqamətdə yeni metod və texnologiyaların işlənilib hazırlanması məsələsi bu gün də öz aktuallığını qorumaqdadır. Məlumdur ki, planerlərin AM-in koordinatlarını sorğu kitablarına əsasən əvvəlcədən müəyyən etmək mümkündür. Lakin, bu məlumatlar planerlərin son təchizatına uyğun olmayan yüksüz halına uyğun gəlir ³⁴.

AM-in uçuş aparatının bütün hissələrinin çəkisinin eyni qiymətlə təsir etdiyi və üçölçülü fəzada uçuş aparatının planerinin fırlanma oxlarının (x , y , z) kəsişdiyi "xəyali" nöqtədir. UA-nın yükü dəyişdikdə (məsələn, AB-nin dəyişdirilməsi, UA-nın ön hissəsinə kameranın quraşdırılması və s.) AM-in yeri dəyişir.

³⁴Nabiyev R.N., Abdullayev A.A. Results of measurements carried out for the purpose of determining the center of gravity of a convertiplane-type UAV // Proceedings of the 6th International Scientific and Practical Conference «Current issues and prospects for the Development of Scientific Research». – Orleans, France. Scientific Collection “InterConf+”. – № 26 (129) October, - 19-20.10. – 2022. -p. 197-202.

Hazırlanma mərhələsində UA-nın AM-i layihələndirilmiş yerdə yerləşdirilməlidir. Bu proses modelin mərkəzləşdirilməsi adlanır. AM-in yeri müxtəlif UA-lar üçün fərvidir. Yeni hazırlanan UA üçün hazır planer modeli istifadə edilirsə, onda bu modelin istismar təlimatında AM-in yeri öncədən təqdim olunur. UA-nın stabilliyinə və idarə oluna bilməsinə onun mərkəzləşmə yeri, əhəmiyyətli təsir göstərir³⁵.

AM-in yerinin maksimum icazə verilən həddən kənara çıxması, UA-nın öz idarəolunma qabiliyyətini qismən və yaxud tamamilə itirməsinə səbəb olur UA-nın yüklənməsini və AM-ni müəyyən etmək, çəkisini hesablamaq, eləcə də mərkəzləşdirmə məlumatlarını hazırlamaq üçün tətbiq olunan mövcud üsul və vasitələrin bir sıra çatışmazlıqları var. Müəyyən hallarda əldə olunan parametrlərin mütəxəssislər tərəfindən səhv təhlil edilməsi nəticəsində uçuşların təhlükəsizliyi aşağı düşür.



Qrafik 2. Eksperimental çəki qiymətlərinə əsasən PUA-nın AM-nin paraleloqram qaydası ilə təyin olunması sxemi

³⁵Nabiyev R.N., Abdullayev A.A. Structural emplacement and layout of elements of the developed convertiplane type unmanned aerial vehicle // Proceedings of the 2nd International Scientific and Practical Conference. Concepts for the development of society's scientific potential. - Prague, Czech Republic, Scientific Collection "InterConf+". - № 109, - 19-20.05. - 2022, - p.325-330.

UA-nın AM-ni təyin etmək üçün üsul və vasitələr. Son illərdə mülki, hərbi və eksperimental aviasiyada həm pilotlu, həm də PUA-ların icazə verilən qiymətdən artıq yüklənməsi, eləcə də mərkəzləşmə yerinin pozulması uçuş hadisələrinin artmasına səbəb olmuşdur. Bu baxımdan UA-nın çəkisinin və mərkəzləşmə yerinin uçuşdan əvvəl ölçülməsi üçün sistemlərin hazırlanmasına və tətbiqinə xüsusi diqqət yetirilməlidir ^{5, 15}.

Tərəzi sistemlərinin təhlili göstərir ki, onların dəqiqliyi, UA-nın çəkisinə nəzarət etmək üçün, nisbətən aşağıdır. Bu səbəbdən, AM-ini müəyyən etmək üçün uçuşdan öncə UA-nın çəkisini ölçmək, həmçinin məlumatı saxlamaq, ötürmək və göstərmək imkanı olan sistemlərdən geniş istifadə olunur ³⁶.

Lakin, belə sistemlər UA-nın strukturunda xüsusi duyğacların və radioötürücülərin quraşdırılmasını tələb edir. Əlavə olunan bu təchizatlar son nəticədə UA-nın çəkisinin artmasına səbəb olur. Son illər bir sıra müəlliflər UA-nın çəkisini müəyyən etmək üçün daha çevik imkanlara və tətbiq xüsusiyyətlərinə malik ölçü sistemlərinin yaradılması istiqamətində yeni üsul və vasitələrin işlənilib hazırlanmasına xüsusi diqqət yetirmişlər.

VTOL tipli PUA-nın AM-inin müəyyən olunması məqsədi ilə aparılan ölçmələrin metodologiyası işlənmiş, tələb olunan alətlər, işə hazırlıq və eksperimentlər aparılmışdır (şəkil 10). Ölçmələrin nəticələrinin dəqiqliyini yoxlamaq məqsədi ilə müxtəlif vaxtlarda sınaqları 10-15 dəfə təkrar edilmişdir.

Qurulmuş diaqramlar əsasında proqram vasitəsi ilə UA-nın simmetriya oxundan orta kvadratik kənara çıxma xətası $\sigma = 0.047$ -ə bərabər olan yekun qrafik qurulmuşdur (qrafik 2). Ölçmələrin nəticələri olaraq müəyyənləşdirilmişdir ki, metodologiyaya uyğun olaraq laboratoriya stolunun müstəvisi üzrə AM-lər fərqli alındığına və aralıq nöqtəsi mərkəzi oxdan kənara (sağa və yaxud sola, irəli-

³⁶Nəbiyev, R.N., Abdullayev, A.A., Qarayev, Q.İ. Konvertoplan tipli pilotsuz uçuş aparatının yaradılması və onun əsas parametrlərinin strateji obyektlərin müşahidəsi kontekstində optimallaşdırılması məqsədi ilə ağırlıq mərkəzinin müəyyən olunması // Azərbaycan Respublikası Müdafiə Nazirliyi Milli Müdafiə Universiteti. "Hərbi sənətinin actual problemləri". Ümummilli lider Heydər Əliyevin anadan olmasının 100 illiyinə həsr olunmuş Beynəlxalq Elmi-praktiki konfrans, – Bakı: – 3-4 may, 2023, – s. 275-278.

geri) düşdüyünə görə ölçmələr zamanı səviyyə ölçənle üfüqi vəziyyətə gətirilmiş və rəqəmsal ölçü tərəzilərinin ölçmə xətalari etalon yük qismində 1 kq-lıq yükün ölçülməsinin nəticələrinə əsasən yoxlanılmışdır. Ölçmələr, saat əqrəbi istiqamətində növbə ilə tərəzilərin yerini dəyişməklə 100 dəfə təkrarlanmışdır. Ölçmələrin nəticələrinə əsasən UA-nın hər iki ox mərkəzləşməni təmin etmək üçün yükləri uyğun istiqamətə sürüşdürməklə təkrar ölçmələr aparılmışdır. Yekun olaraq alınmış nəticələrinin əsasında, diaqonalların kəsişmə nöqtələrinin koordinatlarının hesablanmış qiymətlərinə əsasən paraleloqram qaydası ilə “Auto CAD-2020” proqramında AM-lərin diaqramları qurulmuşdur.

Bəşinci fəsil. Bu fəsildə, kiçik ölçülü (mikro) PUA-nın əsas texniki parametrlərini kompleks şəkildə real uçuşda qeydə almaq üçün hazırlanmış BNÖS və bu məqsədlə istifadə olunan element bazası təsvir edilmişdir. Kiçik ölçülü (mikro) VTOL tipli PUA-nın müxtəlif uçuş rejimlərində keçirilmiş sınaqları zamanı BNÖS qurğusu bortda olan 5 duyğac qrupundan və ətalətli naviqasiya sistemindən qəbul etdiyi məlumatları kart modulunun yaddaş kartına yazır və uçuşdan sonra alınmış məlumatlar əsasında “Excel 2016” proqramı vasitəsilə müvafiq zaman qrafikləri qurulur. Sistemin tətbiqi ilə PUA-nın mühərriklərinin diaqnostik yoxlanılması və vəziyyətinin qiymətləndirilməsi yerinə yetirilmişdir. Uçuşdan əvvəl və sonra mikro PUA-nın güc elementlərinin yerdə diaqnostikası, eləcə də uçuş zamanı havada baş verə biləcək uçuş hadisələrinə nəzarət etməyin mümkünlüyü müəyyənləşdirilmişdir^{6,37}.

Həmçinin, müxtəlif vaxtlarda və meteoroloji şəraitlərdə VTOL və təyyarə uçuş rejimində yerinə yetirilmiş sınaq uçuşlarında BNÖS vasitəsilə həm mühərriklərin hər birinin temperaturu, cərəyan sərfi və dövrlər sayı, həm də planerin üç koordinat oxu üzrə bucaq dəyişməsi və təcili ölçülmüş və qeydə alınmışdır. Qeydə alınmış parametrlərin zamandan asılılıq qrafikləri qurulmuş və bunlara əsasən uçuş aparatının qalxma, enmə və asılma rejimləri tədqiq edilmişdir.

VTOL tipli mikro PUA-nın uçuşa hazırlıq, qalxma və enmə rejimlərində güc elementlərinin ölçülmüş parametrlərinin avtomatlaşdırılmış qeydiyyatı aparılmış və qurulmuş qrafiklər üzrə təhlillər aparılmışdır.

Pilotsuz mikro UA-lar üçün BNÖS-ün yaradılması. Hazırda kiçik ölçülü (mikro) PUA-ların praktiki uçuş və laborator tədqiqatları zamanı texniki və telemetrik məlumatları qeydə almaq, eləcə də real vaxtda onları yerə ötürmək məsələlərinin həlli olduqca aktualdır. Bu istiqamətdə fəaliyyət göstərən elmi-tədqiqat, layihə-konstruktor və ixtisaslaşmış şirkətlər tərəfindən böyük həcmli işlərin yerinə yetirilməsinə baxmayaraq, uçuş zamanı dinamik rejimdə məsələnin kompleks həll yolu təqdim edilməmişdir ³⁸.

Orta və böyük ölçülü PUA-larda bu məsələlərin həlli məqsədi ilə, tələb olunan sayda duyğalar və mərkəzləşdirilmiş bort qeydiyyat sistemi (FDR - Flight data recorder) çox asanlıqla bordda yerləşdirilir.

Uçuş aparatının enerji, enerji paylama, İNS və güc sistemlərindən alınan məlumatlar mərkəzi kompüter vasitəsilə sinxron olaraq bort qeydiyyat sisteminin daimi yaddaşına həm yazılır, həm də uçuşdan sonra uçuşun qiymətləndirilməsi, eləcə də aviasiya texnikasının diaqnostikası zamanı istifadə olunur.

Bəzi telemetrik məlumatlar ($v_{üfiiqi}$, $v_{şaquli}$, $v_{külək}$, $H_{uçuş}$, T_{hava} , $T_{uçuş müddəti}$, U_{AB} , I_{AB} , $GPS_{sayı}$, $D_{uçuş uzaqlığı}$) kiçik ölçülü mövcud UA-larda radioötürücü vasitəsi ilə real vaxtda borddan yerə ötürülür.

Lakin, dörd qaldırıcı mühərrikdən təşkil olunmuş VTOL tipli PUA-da hər mühərrikin əsas texniki parametrlərinin uçuş zamanı qeydə alınması, uçuşdan sonra uçuşun qiymətləndirilməsi və aviasiya texnikasının kompleks şəkildə diaqnostikası, baş vermiş fəvqəladə halın növbəti uçuşlarda təkrarlanmasının qarşısını almaq üçün görülməli işlərin həlli məqsədi ilə kompleks şəkildə yanaşma olan tədqiqat işlərinə rast gəlinməmişdir. Burada texniki parametrlərə aiddir: $I_1...I_5$ – mühərriklərin sərf etdiyi cərəyan; $T_1...T_5$ – mühərriklərin uyğun temperaturları; $RPM_1...RPM_5$ – (revolution per minute) dəqiqədə dövrlər sayı; $A_1...A_3$ – akselerometrin göstərişi; $G_1...G_3$ – giroskopun göstərişi ⁷.

³⁷Nəbiyev, R.N. Bort nəzarət-ölçü sistemi ilə konvertoplan tipli mikro PUA-nın VTOL rejimində tədqiqi \ R.N.Nəbiyev, A.A.Abdullayev, Q.İ.Qarayev \ \ – Bakı: Milli Aviasiya Akademiyasının Elmi Məcmuələri, – 2024, №4, cild 26, – s. 1-7.

³⁸Abdullayev, A.A., Nəbiyev, R.N., Qarayev, Q.İ. Pilotsuz mikro uçuş aparatları üçün bort nəzarət-ölçü sisteminin yaradılması və stasionar rejimdə sınaqları // “Fevral məruzələri” IX Beynəlxalq elmi-praktiki gənclər konfransı materialları, – Bakı: –8–10 fevral, –2024, –s. 156-159.

BNÖS vasitəsilə mikro PUA-da texniki parametrləri ölçmək və çıxarıla bilən daimi yaddaş kartına yazmaq mümkündür. Texniki parametrlər qismində mikro PUA-da istifadə olunan mühərriklərin temperaturu, dövrlər sayı, sərf etdiyi cərəyan, eləcə də təyyarə oxlarının və sürət vektorunun istiqaməti haqqında məlumatlar istifadə edilmişdir. Qurğuda kart modulu, avtonom enerji təchizatı sistemi, ətalət ölçü sistemi, idarəedici kontroller və duyğalar qrupu var. Hər duyğalar qrupunda temperatur, dövrlər sayı və cərəyan duyğacı vardır. Uçuşdan sonra yerdə bort qeydiyyat qurğusundan, həm uçuş zamanı qeydə alınan məlumatlar əsasında mikro PUA-nın mühərriklərin uçuş üçün yararlığını müəyyən etmək, həm də onun növbəti uçuşa buraxılması və uçuşun təhlükəsiz icra olunması haqqında qərar qəbul etmək üçün istifadə edilə bilər. Bortda qeydə alınan texniki məlumatları yerdə təhlil etmək, eləcə də bu məlumatların əsasında uçuş zamanı baş vermiş qəza hadisələrinin yaranma səbəbini uçuşdan sonra müəyyən etmək mümkündür.

Qurğu aşağıdakı kimi işləyir: Planerin kütlə mərkəzləşdirmə xüsusiyyətlərini pozmadan bort qeydiyyat qurğusu və təkrar doldurulan batareyalı avtonom enerji təchizatı sistemi mikro PUA-nın bortuna tərənəmz bərkidilir. Kart moduluna mikroSD yaddaş kartı daxil edilir. Burada avtonom enerji təchizatı sistemi təkrar doldurulan batareyadan və çıxış gərginliyi stabilləşdirilmiş gərginlik çeviricisindən təşkil olunmuşdur. Qurğuya enerji verilən andan onun tərkibində olan kontrollerin proqram təminatında ətalət ölçü sistemindən və duyğalar qrupundan məlumatların alınması, eyni zamanda alınmış məlumatların kart modulu vasitəsilə enerjidən asılı olmayan yaddaş kartına yazılması funksiyaları yerinə yetirilir ³⁹⁻⁴¹.

³⁹Nabiyev, R.N., Abdullayev, A.A., Garayev, G.I. Study of the designed convertiplane-type micro UAV in stationary and multicopter flight modes with the onboard control-measurement system // ISUDEF-24-International Symposium on Unmanned Systems: AI, Design, and Efficiency, -Bakı, Azərbaycan: - 22-23 may - 2024, -p. 6

⁴⁰Nabiyev, R.N., Abdullayev, A.A., Garayev, G.I. Research of a vertical takeoff and landing micro UAV in the plane mode with the onboard control - measurement system // (EMMFT-2024) E3S Web of Conf.–2024, Vol. 592, 06024 (2024).

⁴¹Paşayev, A.M. Pilotsuz mikro uçuş aparatlarının uçuş-texniki parametrlərinin bort qeydiyyat qurğusu, Patent (İxtira) a 2024 0022, Azərbaycan Respublikası / Nəbiyev R.N., Qarayev Q.İ., Abdullayev A.A.

Qurğuya enerji verilişi kəsilən andan enerjidən asılı olmayan yaddaş kartına yazılmış məlumat orada saxlanılır. Qeydə alınmış texniki məlumatlarını uçuşdan sonra yerdə həm təhlil etmək, həm də bu məlumatlara əsasən uçuş zamanı baş vermiş qəza hadisələrinin yaranma səbəbini müəyyən etmək mümkündür. Tək və ya çoxrotorlu olmasından asılı olaraq mikro PUA-da bir və ya N sayda güc sistemi istifadə edilə bilər. Bir güc sistemini, əsasən bir mühərrik və bir elektron sürət tənzimləyicisi təşkil edir. Qurğu avtonomdur, “qara qutu” qismində istifadə edilir, lakin idarəetmə funksiyasını yerinə yetirmir və uçuş kontrollerinin işinə təsir etmir.

PUA-nın texniki istismar xüsusiyyətlərinin əksəriyyətini laboratoriyada stasionar rejimdə müəyyən etmək mümkündür, lakin bunların bəzilərinin yalnız uçuş zamanı dinamik rejimdə müəyyən edilməlidir. Burada məqsəd VTOL tipli kiçik ölçülü PUA-nın texniki parametrləri haqqında məlumatları uçuş rejimində (“online”) sistemli olaraq toplamaq (sinxron olaraq həm ölçən, həm də yaddaş kartına yazan) üçün BNÖS yaradaraq real uçuş şəraitində sınaqlarının aparılması, yəni ümumiləşdirilmiş şəkildə qeyd etsək mikro PUA-nın güc sisteminin uçuş müddətində yararlığının müəyyən edilməsindən ibarət olmuşdur ⁴¹.

Bu zaman yaradılmış sistem vasitəsi ilə toplanmış məlumatlar PUA-nın işinin etibarlılığının və səmərəliyinin artırılmasına, eləcə də uçuşların təhlükəsizliyinin təmin edilməsinə xidmət edir. Hər mühərrikin enerji sərfi və temperaturu, təyyarə oxlarının və sürət vektorunun istiqaməti haqqında alınmış uçuş məlumatları əsasında texniki qurğuların, xüsusilə mühərriklərin və başqa güc elementlərinin diaqnostikasını aparmaq, uçuş zamanı PUA-nın bortunda baş verə biləcək hadisələri vaxtında aşkarlamaq, eləcə də onlara nəzarət etmək mümkündür .

⁴²Abdullayev A.A. VTOL mikro PUA-nın uçuşunun müxtəlif uçuş rejimlərində bort nəzarət-ölçü sistemi ilə tədqiqi // Süni intellekt: Nəzəriyyədən praktikaya, I Beynəlxalq Konfrans, –Naxçıvan, Azərbaycan: -17-18 sent-br, -2024, - s. 271-277.

⁴³Nəbiyev, R.N. Bort nəzarət-ölçü sistemi ilə konvertoplan tipli mikro PUA-nın VTOL rejimində tədqiqi \ R.N.Nəbiyev, A.A.Abdullayev, Q.İ.Qarayev \ \ Milli Aviasiya Akademiyasının Elmi Məcmuələri, - Bakı: - 2024, №1, cild 26, - s. 17-29.



Şəkil 11. BNÖS quraşdırılmış VTOL tipli PUA

BNÖS-ün texniki dəstləyiciləri: VTOL tipli PUA-da quraşdırılmış BNÖS-ün təsviri şəkil 11-də göstərilmişdir. Qeydiyyat qurğusunda istifadə olunan modul və elementlərin siyahısı aşağıda verilmişdir: ESP32 kontrolleri; TTGO T-Display modulu; microSD kart modulu; 5×ACS758 cərəyan duyğacı; 5×FS-CPD02 duyğacı; 5×DS18B20 rəqəmsal temperatur duyğacı; İMU duyğacı; FS-i6 “Flysky” yerüstü idarəetmə pultu (YİP); gərginlik çeviricisi (12 V-u 5 V-a); 3S LiPo tipli AB.

Temperatur duyğacı qismində rəqəmsal və proqramlaşdırıla bilən duyğacdən, dövrlər sayı duyğacı qismində infraqırmızı diapazonda işləyən şüalandırıcı və qəbuledici yarımkeçirici diodlardan təşkil olunmuş EO sistemdən, cərəyan duyğacı qismində “Holl” effekti əsasında işləyən duyğacdən istifadə olunmuşdur.

BNÖS-ün element bazası. BNÖS-ün element bazası. Kontroller, TTGO Display modulu, microSD kart modulu, ətalət ölçü



a)



b)

Şəkil 12. VTOL tipli pilotsuz mikro uçuş aparatının VTOL və təyyarə uçuş rejimlərində aparılan praktiki sınaq uçuşları

modulu (İMU), gərginlik çeviricisi, AB və temperatur, cərəyan və dövrlər sayı duyğacılarından, eləcə də YİP-dan təşkil olunmuşdur.

Bunlardan BNÖS-ün əsas element bazasına kontroller, displey modulu, kart modulu, 5 dəst duyğacılar qrupu və İMU daxildir. Bir dəst duyğacılar qrupu temperatur, cərəyan və dövrlər sayı olmaqla üç növ duyğacdən təşkil olunmuşdur. BNÖS-ün laborator nümunəsinin elektrik birləşmələrinin təsviri şəkil 11-də göstərilmişdir^{42, 43}.

VTOL mikro PUA-nın VTOL - təyyarə uçuş rejiminin BNÖS ilə tədqiqi. Pilotsuz mikro UA-ların mühərriklərinin texniki parametrlərinə nəzarət etmək, eləcə də bu parametrlər haqqında məlumatları toplamaq üçün BNÖS-dən istifadə etmək mümkündür. Hazırlanmış BNÖS həm PUA-nın güc sistemində daxil olan mühərriklərin dövrlər sayı, cərəyan sərfi və temperaturu, həm də təyyarə oxlarının və sürət vektorunun istiqaməti haqqında məlumatları yerdə çalışdırma və uçuş zamanı qeydə almağa imkan verir. Eyni zamanda uçuş zamanı mühərriklərin dövrlər sayı radio ötürücü vasitəsi ilə BNÖS-də qəbuledici monitor qismində istifadə edilən YİP-yə ötürülür və qeyd olunur. Pultun ekranında indikasiya olunan dövrlər sayına əsasən real uçuş zamanı uçuş aparatının güc sistemində, nəticədə uçuşların təhlükəsizliyinə nəzarət edilir. Parametrlərin qeydə alınmış qiymətlərinə əsasən uçuş aparatının diaqnostikası aparılır və növbəti uçuşa buraxılması qərarlaşdırılır.

VTOL-təyyarə uçuş rejimində aparılan sınaqlar. Hibrid uçuş konsepsiyasına əsaslanan VTOL mikro PUA-nın uçuş dayanıqlığını yoxlamaq məqsədi ilə aerodrom şəraitində sınaq uçuşları keçirilmiş və güc sisteminin BNÖS vasitəsi ilə əldə olunmuş göstəriciləri tədqiq olunmuşdur. UA-nın uçuşunu VTOL-təyyarə rejimlərində tədqiq etmək üçün PUA-nın həm dartı, həm də qaldırıcı mühərriklərinə uyğun pərlər bərkidilmiş, günün fərqli vaxtlarında uçuş üçün əlverişli meteoroloji şəraitdə, davam etmə müddəti 7...8 dəqiqə olmaqla 10

⁴⁴ Nəbiyev, R.N. Pilotsuz uçuş aparatları üçün qida mənbələrinin seçilməsi / R.N. Nəbiyev, Q.İ.Qarayev, A.A.Abdullayev // Milli Aviasiya Akademiyasının Elmi Məcmuələri, - Bakı: - 2018. №3, cild 20, - s. 1-11.

⁴⁵ Nəbiyev R.N., Abdullayev A.A. Development trends of unmanned aerial vehicles: Main tasks, prospects and expectations // II International Baku scientific research conference. – Bakı, Azerbaijan: Odlar Yurdu University, conference, - 28-30 aprel, - 2021, – p. 556-579.

sınaq uçuşu icra olunmuşdur (şəkil 12 a və b). Məqalədə, qeydə alınmış və arxivləşdirilmiş məlumatlardan nümunə olaraq iki uçuşun nəticələrinə əsasən qurulmuş zaman qrafikləri ardıcılıqla verilmişdir.

Mühərriklərin texniki parametrlərinin və İMU-nun çıxış siqnallarının uzlaşması tədqiqatın doğruluğunu nümayiş etdirir. Uçuş zamanı qeydə alınmış qiymətlərin sinxron dəyişməsinə göstərmək üçün müxtəlif parametrlərin zaman qrafikləri eyni miqyasda tərtib edilmişdir (qrafik 3).

Sınaq. Sınaq zamanı havanın temperaturu 22°C , təzyiqi 765 mm.c.s. , azimutu 185° olan küləyin sürəti $4-5\text{ m/san}$, ani sürətlənməsi $8-10\text{ m/san}$ təşkil etmişdir ⁸.

Mühərriklərin dövrlər sayının zaman qrafiklərinə əsasən sınaq müddətini dörd mərhələyə bölmək mümkündür (qrafik 3):

- 1) PUA-nın yerdə olduğu halda mühərriklərin işləməsi;
- 2) PUA-nın hündürlük yığma və ya yerdən havaya qalxması və havada asılı qalması;
- 3) PUA-nın təyyarə uçuş rejiminə keçməsi və bu rejimdə uçuşu;
- 4) PUA-nın təyyarə uçuş rejimindən havada asılı qalma rejiminə keçməsi və yerə enməsi (qrafik 3, a).

Birinci mərhələdə, dövrlər sayı qaldırıcı mühərriklər üçün sıfırdan 5000 dövr/dəq. -dən az qiymətə qədər artmış, dartı mühərriki üçün sıfıra bərabər olmuşdur. Cərəyan sərfi qaldırıcı mühərriklər üçün sıfırdan başlayaraq 10 A -ya qədər artmış, lakin bu qiymətə çatmamışdır, dartı mühərriki üçün bu müddətdə sıfıra bərabər olmuşdur (qrafik 3, b). Bu mərhələdə həm dartı, həm də qaldırıcı mühərriklərin temperaturunda dəyişiklik hiss edilməmişdir (qrafik 3, c).

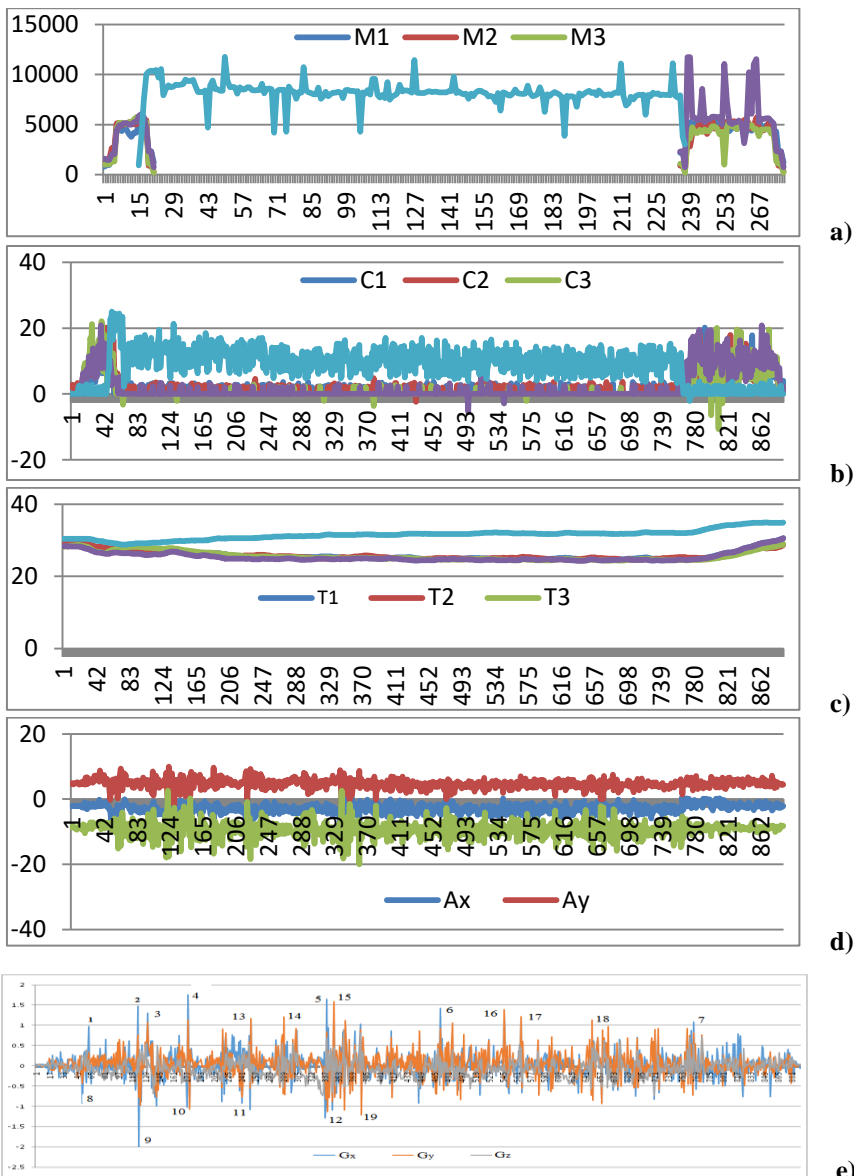
İkinci mərhələdə, dövrlər sayı sürət və ya hündürlük yığma müddətində qaldırıcı mühərriklər üçün sıfırdan 5000 dövr/dəq. -yə qədər artmış, sonra havada asılı qalma müddətində təqribən bu qiymət həddində qalmışdır. Hündürlük yığma müddətində cərəyan sərfi qaldırıcı mühərriklər üçün 10 A -dan başlayaraq 20 A -ya qədər artmış, dartı mühərriki üçün sıfıra bərabər olmuşdur (qrafik 3, b). Hündürlük yığma müddətində cərəyan sərfinin artmasına baxmayaraq, qaldırıcı mühərriklərin temperaturu başlanğıc qiymətə nəzərən $1...2^{\circ}\text{C}$ azalmışdır (qrafik 3, c) ⁴⁴.

Üçüncü mərhələdə, keçid anında dövrlər sayı qaldırıcı mühərriklər üçün 5000 dövr/dəq.-dən sıfıra qədər azalmış, dartı mühərriki üçün sıfırdan 10000 dövr/dəq.-yə qədər artmışdır (qrafik 3, a). Bu müddətdə cərəyan sərfi qaldırıcı mühərriklər üçün 20 A-dan sıfıra qədər azalmış, dartı mühərriki üçün əksinə sıfırdan təqribən 25 A-ya qədər artmışdır (qrafik 3, b). Nəticədə qaldırıcı mühərriklərin temperaturu müəyyən gecikmə ilə azalaraq ətraf mühitin temperaturuna uyğunlaşmışdır.

Nəhayət, dördüncü mərhələdə dövrlər sayı dartı mühərrikində sıfıra qədər azalmış, qaldırıcı mühərriklərdə sıfırdan başlayaraq 5000 dövr/dəq.-yə qədər artmışdır (qrafik 3, a). Cərəyan sərfi dartı mühərriki üçün 10 A-dan başlayaraq sıfıra qədər azalmış, qaldırıcı mühərriklər üçün 10 A-dan çox qiymətə qədər artmışdır (qrafik 3, b). Havada asılma və enmə müddətində verilən enerjiyə mütənasib olaraq qaldırıcı mühərriklərin temperaturu artmağa başlamışdır (qrafik 3, c) ⁴⁵.

Dartı mühərrikinin temperaturu uçuşun təyyarə rejiminə keçməsi anından başlayaraq ona tətbiq olunan enerjiyə mütənasib olaraq nisbətən artmış və sonra, uçuşun qərarlaşmış rejimində nisbətən sabit qalmışdır (qrafik 3, c). Uçuşun bütün mərhələlərində mühərriklərin dövrlər sayının və temperaturunun onların cərəyan sərfinə mütənasib olduğu qrafiklərdən aydın görünür (qrafik 3, a - qrafik 3, c). Lakin, hündürlük yığıma müddətində lazım olan qaldırıcı qüvvəni təmin etmək üçün mühərriklərin cərəyan sərfinin artmasına baxmayaraq, mühərriklərin temperaturunun başlanğıc qiymətə nəzərən azalmasının səbəbi mühərrikin fırlanma sürətinin artması hesabına pərlərin yaratdığı hava axınının sürətlənməsidir. Ümumiyyətlə, tətbiq olunan enerjinin həm artırması, həm də azalması halında mühərriklərin temperaturunun dəyişmə anı dövrlər sayının və cərəyan sərfinin dəyişmə anına nəzərən gecikir.

Bu hal keçid rejimlərində daha aydın görünür. Məsələn, uçuşun sonunda enmə zamanı mühərriklərin dövrlər sayının, uyğun olaraq temperaturunun azalmasına xidmət edən hava axını kəskin azalır, nəhayət sıfıra bərabər olur. Nəticədə, qısa müddətdə mühərriklərin temperaturu, təhlükəli həddə çatmadan 2...3 °C artır, zaman keçdikcə mühərriklərin və ətraf mühitin temperaturları bərabərləşir.



Qrafik 3. Sadə meteoroloji şəraitdə VTOL-təyyarə uçuş rejimində aparılmış sınaq uçuşları zamanı BNÖS vasitəsilə qeydə alınmış qiymətlər əsasında qurulmuş zaman qrafikləri: mühərriklərin dövrlər sayının (RPM, dövr/dəq.) - a, cərəyan sərfinin (A) - b, temperaturunun ($^{\circ}\text{C}$) - c; akselerometrin - d və giroskopun - e çıxış siqnailləri.

Uçuş müddətində VTOL mikro PUA-nın üfqi tarazlığı və dayanıqlığı təmin etməsi giroskop və akselerometrin x, y, z oxları üzrə çıxış siqnallarının küləyə və küləyin şiddətinə qarşı dayanıqlı olması sübuta yetirilmiş olur (qrafik 3, d və e).

Qrafik 3, e-də küləyin əks müqavimətinin 1-12 nöqtələrində giroskopun çıxış siqnalının x oxu üzrə və 13-19 nöqtələrində y oxu üzrə yüksəlməsi görünür.

Altıncı fəsil. Bu fəsildə axtarış və xilasetmə, eləcə də strateji obyektlərin müşahidəsi istiqamətində qarşıya qoyulmuş tapşırıqların müvəffəqiyyətlə həyata keçirilməsində PUA-lardan istifadə şərtləri və tətbiqi nəticəsində alınmış məlumatların təhlili aparılmışdır. Fövqəladə hallar zamanı çevik davranmaq, heyətin fəaliyyəti, həmçinin yerləşmə mövqelərinin təyin edilməsində qabaqcıl texnologiyaların tətbiqinin əhəmiyyəti əsaslandırılmış və PUA-lardan istifadənin vacibliyi vurğulanaraq önə çəkilmişdir^{46, 47}.

Burada cari əməliyyat tapşırığına əsasən texnoloji yeniliklərin tətbiqi ilə PUA-ların mürəkkəb və çətin şəraitlərdə necə işlədiyi araşdırılmışdır. Həmçinin havadan kəşfiyyat və axtarış-xilasetmə tapşırıqlarının icrasında, uçuş məhdudiyətləri daxilində tələb olunan nöqtəyə tibbi yardım məqsədi ilə dərman və zəruri ləvazimatların çatdırılmasında, eləcə də fəvqəladə hallarda ərazinin monitorinqində PUA-lardan geniş sferada istifadə olunduğu qeyd edilmişdir^{13, 14}.

Həmçinin dissertasiya işində havadan müşahidə aparmağın effektivlik meyarları müəyyənləşdirilmişdir. Bir uçuşda PUA-lar ilə müşahidə aparılan ərazinin sahəsi, müşahidənin aparılma dəyəri və yer səthinin təyin edilmiş sahəsindən müşahidə aparmaqla məlumatın əldə edilmə dəyərini hesablanması üçün tətbiqi hesablama üsulları təqdim edilmişdir.

Optimallaşdırma hesablatlarında vahid sahədən əldə olunan

⁴⁶Набиев, Р.Н., Абдуллаев, А.А. Ведение электронно-оптического наблюдения с помощью беспилотных летательных аппаратов и оптимизация возможностей применения // – Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия Естественные и технические науки. - Москва, - 2025. №5. с 116-123.

⁴⁷Набиев, Р.Н., Абдуллаев, А.А. Оптимизация наблюдательных возможностей беспилотных летательных аппаратов // Естественные и технические науки. – Москва: –2025, №2 (201), –с. 258-268.

müşahidə məlumatlarına çəkilən xərclərin müqayisəsini əsas meyar kimi götürmək məqsədəuyğundur. Bu zaman kəşfiyyat komplekslərinin effektivliyi üçün bütün digər meyarlar tam şəkildə nəzərə alınmalıdır. Bu meyarlara daxil edilmiş komponentlərin qiymətlərinin müəyyən edilməsi hər bir PUA-ların uçuş rejimləri və hündürlükləri nəzərə alınmaqla aparılır. PUA-lar üstünlüklərinin müəyyən olunmasının uçuş rejimi və uçuş hündürlüklərinin hesabatı ilə yerinə yetirildiyi qeyd edilmişdir ^{48, 49}.

Təhlükəsizlik işinin təşkilində PUA ilə müşahidə. Təbii fəlakətlər və axtarış-xilasetmə tapşırıqlarının icrası zamanı vaxt amili mühüm əhəmiyyət kəsb edir. Xilasetmə əməliyyatları zamanı PUA-lardan istifadə axtarışın (müşahidənin) səmərəliliyini və təhlükəsizlik dərəcəsini artırır, eləcə də xilasetmə müddətini azaldır. Axtarış və xilasetmə əməliyyatları zamanı əsas yanaşma PUA marşrutunun və müşahidə alqoritminin düzgün planlaşdırılmasıdır. Praktikada bəzən bu məqsədlər üçün sağ qalma, kütlə, sürü və s. prinsiplərdən istifadə edilə bilər.

Strateji obyektlərin axtarışının əsas üsulları müəyyənləşdirilmişdir: müəyyən bir lokal ərazidə axtarış-müşahidə; maraq zonada axtarış; obyektlərin üzərindən uçmaqla axtarış; verilmiş nöqtəyə uçmaqla obyektin havadan müşahidəsini aparmaq; verilmiş bucaq sektorlarında obyektin axtarışı; verilmiş uçuş marşrutunda obyektin axtarışı ^{13, 52}.

Kəşfiyyat tapşırıqlarının icrası zamanı PUA tətbiqinin effektivliyinin qiymətləndirilməsi. Havadan müşahidə aparmağın effektivlik meyarları ^{50, 51}.

Hava kəşfiyyatı kompleksinin əsas effektiv tətbiq meyarlarına qüvvə və vasitələrin nisbi effektivliyi və hava kəşfiyyatının keçirilmə maraqları daxildir:

⁴⁸Nabiyev R.N., Abdullayev A.A. Methods of conducting observation with unmanned flight vehicles // World of conferences. XVI International Scientific and Practical Conference «World science priorities», -Vienna. Austria: -03-04.04.2025, - p.143-145.

⁴⁹Nabiyev R.N., Abdullayev A.A. Basics of drone surveillance // Proceedings of the 11 th International Scientific and Practical Conference «Theory and practice of science: key aspects». Roma, İtaliya, Scientific Collection «InterConf+», - 19-20.04.2025, № 56(244). - p. 278-283.

$$U = \frac{W_K}{W} \quad (1)$$

burada, W_K , W - hava kəşfiyyatı məlumatlarından istifadə etməklə və istifadə etmədən təyin edilmiş tapşırığın yerinə yetirilmə ehtimalı.

Bununla belə, praktikada qüvvə və vasitələrin effektivliyinin nisbi qiymətini müəyyən etmək olduqca çətindir. Çünki hər iki vəziyyət üçün qüvvə və vasitələrin effektivliyini təyin etmək böyük həcmdə iş tələb edir. Kəşfiyyat vasitələrinin effektivliyini müəyyən etmək üçün aşağıda qeyd olunan meyarlardan istifadə olunur:

- tapşırığın kəşfiyyat PUA-sı ilə yerinə yetirilmə ehtimalı;
- tapşırığın yerinə yetirilmə dəyəri;
- görüntünün əldə edilmə dəyəri.

Kəşfiyyat PUA-sı ilə tapşırığı yerinə yetirilmə ehtimalı aşağıdakı ifadə ilə təyin edilir.

$$K_T = K_{iYOE} * K_{MTAQE} * K_{Məəlumat} * K_{AEE} \quad (2)$$

burada: K_T - kəşfiyyat PUA-sı ilə tapşırığı yerinə yetirilmə ehtimalı, K_{iYOE} - PUA-nın tam uçuş müddətində istismara yararlı olma ehtimalı və ya nasazlıq olmadan işləmə ehtimalıdır ⁵².

K_{MTAQE} - FY-nın tətbiq zonasına və yaxud bu zonaya yaxınlaşdıqda mənfi təsirlərin aradan qaldırılma ehtimalı. Hərbi təyinatlı PUA-lar üçün $K_{MTAQE} = K_{HHM}$ bərabər olur (düşmənin HHMV təsirinin aradan qaldırılması ehtimalı). K_{MTAQE} ehtimalı aşağıdakı ifadə ilə təyin olunur:

$$K_{MTAQE} = e^{-\sum_{i=1}^N \lambda_i * t_{ni}} \quad (3)$$

burada λ_i - i sayda əlverişsiz amillərin effektiv təsir intensivliyi, λ_{ni} - i sayda əlverişsiz amillərin birbaşa təsiri olduğu halda PUA-nın uçuş müddəti.

⁵⁰Nabiyev R.N., Abdullayev A.A. The Optimization of the Surveillance Capabilities of UAVs // Tuijin Jishu/Journal of Propulsion Technology. - 2025, ISSN 1001-4055, Vol. 46(2), -p. 1212-1221.

⁵¹Nabiyev R.N., Abdullayev A.A. Basics of electron-optical surveillance with UAVs // The Scientific Heritage, -Budapest, Hungary:-2025, Vol. 159, -p.140-143.

⁵²Nabiyev R.N., Abdullayev A.A. Optimized UAV surveillance strategies for securing strategic objects: a performance-based comparative analysis // Multidisciplinary Science Journal, - 2025, Vol. 7(12), -p. 1-7.

$K_{Məlumat}$ -PUA-nın EO müşahidə görüntülərinin əldə edilməsindən istifadəçiyə çatdırılmasına qədər müddətdir. Hansı ki, bu müddətdə məlumat aktuallığını itirməməsi ehtimalı:

$$K_{Məəəlumat} = e^{-\frac{Z_{MAÖV}}{Z_{OHP}}} \quad (4)$$

burada, $Z_{MAÖV}$ - məlumatların aşkarlanması və ötürülməsi vaxtı olub,- operatorun ekran sahəsində hədəfi aşkar etmə, müəyyən etmə və koordinatlarını təyin etmə vaxtlarının cəminə bərabər olur, $\frac{1}{Z_{OHP}}$ obyektin hərəkətilik parametri (Z_{OHP} - kəşfiyyat obyektinin müəyyən bir yerdə statik vəziyyətdə olmasının orta vaxtı).

K_{AEE} - FY-ünün baxış sahəsində bir ədəd kəşfiyyat olunan obyektin aşkar edilmə ehtimalı,

$$K_{AEE} = \frac{F_{BS}}{F_S} \quad (5)$$

burada F_{BS} - bir uçuşda PUA ilə müşahidə aparılan ərazinin sahəsi:

F_S – döyüş tapşırığının icrası zamanı hədəfi axtarmaq üçün axtarış keçirilən yerin sahəsi.

Müşahidənin yerinə yetirilməsinin dəyəri: bir tapşırığın yerinə yetirmək üçün çəkilən xərclərin cəmi kimi müəyyən edilir ^{14, 52}.

$$MYYD_{1T} = \frac{D_{UA}}{n_T} + D_{\partial X} + D_{YMX} \quad (6)$$

burada, D_{UA} –uçuş aparatının dəyəri, n_T – PUA tətbiqlərinin təxmini sayı, $D_{\partial X}$ - biruçuşu təmin etmək üçün sərf olunan əlavə resurs və xərclərin (mühərrik, servoötürücü və s.), D_{YMX} - yanacaq və material xərclərinin (yanacaq-sürtkü materialları, texniki qazlar və s.) dəyəri.

Yer səthinin təyin edilmiş sahəsindən müşahidə aparmaqla məlumatın əldə edilməsinin dəyəri universal bir spesifik meyar olub, hər bir kəşfiyyat PUA-nın sağ qalma imkanını, dəyərini və FY-nın imkanlarını nəzərə alaraq tətbiqinin effektivliyini qiymətləndirməsi üçün tərtib edilir:

$$D_M^- = \frac{MYYD_{1T}}{K_T * F_{\Sigma}^1} \quad (7)$$

burada, F_{Σ}^1 - 1 uçuşda PUA ilə müşahidə aparılan yer səthinin ümumi sahəsi.

NƏTİCƏ

Dissertasiya mövzusu üzrə aparılmış araşdırmalar prosesində qoyulmuş elmi məsələlər təhlil və tədqiq edilmiş, aşağıdakı əsas nəticələr alınmışdır:

1. Akkumulyatoru doldurmaq üçün şəbəkə gərginliyinin alçalıcı transformatorundan, idarə olunan iki düzləndirici körpü sxemindən, akkumulyatorun və şəbəkə gərginliyinin qütblərini təyin edən sxemdən ibarət qurğudan istifadə etməklə akkumulyatorun təhlükəsiz doldurulması üçün qütbləri özü təyin edən qurğu işlənmiş və tətbiq edilmişdir⁹.

2. Hibrid enerji mənbəli VTOL tipli PUA-nın konseptual funksional sxemi işlənmişdir^{3, 12, 36}.

3. Qida mənbəyi qismində DYM-lərdən istifadə etdikdə PUA-ların çəkisi artır və bu baxımdan çəkisi 15 kq-dan böyük olan PUA-larda DYM və HYE-lərdən hibrid enerji mənbəyi qismində istifadə etməklə uzaq məsafələrə uçuşları təmin edə bilən effektiv qida mənbələrini yaratmaq mümkündür^{3, 11, 12, 44}.

4. Sabit "uçan qanad" formalı VTOL tipli PUA-nın "Solid-Works", "ANSYS", "Profili" və "Xflir5" tətbiqi proqramları əsasında kompüter modelləşdirilməsi aparılmış və optimallaşdırılmış aerodinamik xarakteristikaları müəyyən edilmişdir. Layihələndirilən nəticəsində PUA-nın konstruksiyası, aerodinamik və dayanıqlıq xüsusiyyətləri müəyyən edilmiş, eləcə də əldə olunan hesabat və konstruktiv məlumatlara əsasən baza qismində qanad acılışı 2.21 m olan PUA-nın seçilmiş kütlə elementləri və yekun konstruksiyası layihələndirilərək hazırlanmışdır^{11, 12}.

5. Dayaqlarının altında yerləşdirilmiş elektron tərəzilər vasitəsi ilə ölçülmüş çəki qiymətlərinə əsasən VTOL tipli PUA-nın AM-nin koordinatları dayaq nöqtələrini diaqonal birləşdirən oxlar üzrə hesablanmış və bu qiymətlərdən istifadə etməklə "AutoCAD-2020" proqramında PUA-nın AM-i qrafik təsvir edilmişdir. AM-nin müəyyən olunması üçün tətbiq edilən "tərəzi-kütlə" üsulunun yüksək effektivliyi təsdiqlənmişdir. Hər iki ox üzrə AM-lərin koordinatlarının fərqli alınması səbəbindən AM-in tapılması üçün paraleloqram qaydası ilə aralıq nöqtə qurulmuşdur. Orta kvadratik

üsuldan istifadə etməklə aparılmış optimallaşdırmaya əsasən aralıq nöqtənin mərkəzi oxdan sapmasının orta kvadratik kənara çıxma xətasının: $\sigma = 0.047$ olduğu məlum olmuşdur ^{5, 15, 34-36}.

6. İlk dəfə olaraq VTOL tipli mikro PUA-nın texniki parametrlərini (İ1....İ5, T1....T5, RPM1....RPM5, A1....A3, G1....G3) kompleks şəkildə qeydə almaq üçün BNÖS yaradılmışdır və alınmış qiymətlərin təhlili əsasında uçuş aparatının güc dövrəsinin, xüsusilə mühərriklərin texniki vəziyyəti qiymətləndirilmişdir ^{6, 37, 38}.

7. Hazırlanmış BNÖS-dən istifadə etməklə VTOL tipli mikro PUA-nın stasionar, VTOL və VTOL-təyyarə uçuş rejimində sınaq uçuşları aparılmış, sınaqların davam etdiyi müddətdə mühərriklərin texniki parametrləri - dörd qaldırıcı və bir dartı mühərrikinin temperatur, cərəyan sərfiyyatı və dövrlər sayı, eləcə də təyyarə oxlarının və sürət vektorunun istiqaməti haqqında məlumatlar sinxron ölçülərək “online” rejimdə (eyni zamanda yaddaş kartına yazılaraq) alınmış qiymətlər əsasında uyğun parametrlərin zamandan asılılıq qrafikləri müqayisəli təhlil edilməklə qərar vermə imkanı təmin edilmişdir ^{7, 39, 40, 42}.

8. Uçuşdan əvvəl və uçuş zamanı mikro PUA-nın güc sisteminin diaqnostikası üçün metodologiya hazırlanmışdır ^{9, 41, 43, 44}.

9. Uçuşdan sonra BNÖS-də qeydə alınan məlumatlar əsasında mikro PUA-nın mühərriklərinin yararlılığını müəyyən etmək və onun növbəti uçuşa buraxılması haqqında qərar qəbul etmək və həmçinin qeydə alınan texniki məlumatlar əsasında uçuş zamanı baş vermiş qəza hadisələrinin yaranma səbəbini müəyyən etmək mümkündür ^{6, 7, 45}.

10. Çoxrotorlu və digər UA-larda istifadə etmək üçün BNÖS modifikasiya edilə bilər ^{8, 40, 41, 44}.

11. PUA ilə müşahidə və axtarış tapşırıqlarının icrası zamanı müşahidə aparılan ərazinin coğrafi relyefi, meteoroloji vəziyyət və PUA-ya qədər olan məsafə, PUA-nın vizual, akustik və termal aşkaredilmə göstəriciləri, REM vasitələrinin aktiv fəaliyyəti zamanı aviasiya texnikasının dayanıqlı naviqasiya və rabitə sisteminə malik olma xüsusiyyətləri kompleks şəkildə nəzərə alınmaqla PUA-nın uçuş hündürlüyü və ona inteqrasiya olunmuş FY-nın texniki və əməliyyat xüsusiyyətləri, obyekt haqqında digər mənbələrdən əldə

edilmiş kəşfiyyat məlumatları, aşkar edilmə ehtimalı və yerləşmə yeri, hərəkətliliyi, sürəti, ölçüsü, rəngi, eləcə də müşahidə aparılan ərazinin element sayına görə tərkib sıxlığının nəzərə alınmasının vacibliyi müəyyənləşdirilmişdir ^{13, 14, 46, 48-52}.

Dissertasiya işinin əsas məzmunu müəllifin aşağıdakı əsərlərində öz əksini tapmışdır:

1. Nəbiyev, R.N., Abdullayev, A.A. Multikopter tipli pilotsuz uçuş aparatlarının inkişaf mərhələləri, konstruksiyası və lahiyələndirilməsi problemləri // – Bakı: MAA-nın Elmi Əsərləri,–2016, №2, –s. 15-29.
2. Набиев, Р.Н., Абдуллаев, А.А. Этапы развития, конструкция и проблемы проектирование БПЛА типа мультикоптер // Milli Aviasiya Akademiyasının Elmi Məcmuələri. – Bakı: – 2016, №4, cild 18, – s. 10-17.
3. Набиев, Р.Н., Абдуллаев, А.А. Обзор этапов развития, конструкций и проблем проектирования БПЛА типа мультикоптер // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия Естественные и технические науки, – Москва: – 2017, №3-4. – с. 16-21.
4. Набиев, Р.Н., Абдуллаев, А. А. Малоразмерные беспилотные летательные аппараты и средства борьбы с ними // – Баку: Вестник Азербайджанской Инженерной Академии, – 2017, №2, том 9. – с. 15-20.
5. Nəbiyev, R.N. Pilotsuz uçuş aparatları üçün qida mənbələrinin seçilməsi / R.N.Nəbiyev, Q.İ.Qarayev, A.A.Abdullayev // Milli Aviasiya Akademiyasının Elmi Məcmuələri, - Bakı: - 2018. №3, cild 20, - s. 1-11.
6. Nəbiyev, R.N., Abdullayev, A.A. Akkumulyator batareyaları və yanacaq elementləri // AzTU, “Ölçmə və keyfiyyət: problemlər, perspektivlər” mövzusunda Beynəlxalq Elmi-texniki konfransı.– Bakı: - 21-23 noyabr, - 2018, - s. 235-237.

7. Nəbiyev, R.N., Abdullayev, A.A. Müasir innovasiyaların tətbiqi ilə hazırlanması planlaşdırılan multikopter tipli PUA-lara qoyulan tələblər // Bakı Mühəndislik Universiteti, “Azərbaycan Beynəlxalq nəqliyyat sistemində: hədəflər və perspektivlər” mövzusunda Beynəlxalq elmi-praktiki konfrans. – Bakı: – 02-05 oktyabr, – 2018, – s. 176-180.
8. Nəbiyev, R.N., Abdullayev, A.A., Qarayev, Q.İ. Pilotsuz uçuş aparatlarında hidrogen əsaslı yanacaq elementlərindən istifadənin xüsusiyyətləri // Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti. 1st International Conference: Modern Information, Measurement and Control Systems: Problems and Perspectives (MIMCS’ 2019), – Bakı: – 01-02 July, 2019, – p. 212.
9. Nəbiyev, R.N., Abdullayev, A.A. Litium-polimer əsaslı akkumulyator batareyaları // AzTU, “Azərbaycanın nəqliyyatı: nailiyyətlər, problemlər və perspektivlər” mövzusunda Respublika Elmi konfransı. – Bakı: – 16-17 aprel, – 2019, – s. 103-106.
10. Nəbiyev, R.N. Litium əsaslı akkumulyator batareyalarının inkişaf mərhələləri / R.N.Nəbiyev, A.A.Abdullayev, Q.İ.Qarayev // Azərbaycan Mühəndislik Akademiyasının Xəbərləri, - Bakı:- 2019, cild 11, №4, -s. 70-81
11. Nəbiyev, R.N. Enerji mənbəyi qismində hidrogenin xüsusiyyətlərinin təhlili / R.N.Nəbiyev, A.A.Abdullayev, Q.İ.Qarayev // MAA-nın Elmi Məcmuələri, - Bakı: - 2019, cild 21, №4, - s. 16-30.
12. Nəbiyev, R.N., Abdullayev, A.A. Konvertoplan tipli pilotsuz uçuş aparatları haqqında: Cari vəziyyət və perspektivlər // MAA-nın Elmi Məcmuələri, - Bakı: -2020, №3-4, cild 22, - s.14-26.
13. Абдуллаев, А.А. Тенденция развития беспилотных летательных аппаратов конвертопланового типа // Тенденции развития науки и образования, Научный журнал, – Самара: – 2020, №63/07, часть 1, – с. 84-90.
14. Набиев, Р.Н., Абдуллаев, А.А. Беспилотные летательные аппараты конвертопланового типа: Текущее состояние и перспективы // Естественные и технические науки. – Москва: – 2021, №3 (154), – с. 146-162.

15. Abdullayev, A.A. Akkumulyator batareyaları və yanacaq elementləri // Azərbaycan Milli Aerokosmik Agentliyin xəbərlər jurnalı, - Bakı: – 2021, cild 24, №3, –s. 61-69.
16. Набиев, Р.Н. Анализ особенностей водорода в качестве источника энергии / Р.Н.Набиев, А.А.Абдуллаев, Г.И. Гараев // Авиакосмическое приборостроение, – Москва: – 2021, № 3, – с. 41-58.
17. Abdullayev, A.A. Accumulator batteries and fuel elements // – Japan. Tokyo summit 4th International Conference on Innovative Studies of Contemporary Sciences. Tokyo, – july 29-31, – 2021, – p. 155-165.
18. Nəbiyev R.N., Abdullayev A.A. Creation of convertible-type unmanned aerial vehicles // 4th International New York conference on evolving trends in interdisciplinary research & practices.– Manhattan, New York City. - May 2-4, 2021, – p. 504-513.
19. Nəbiyev R.N., Abdullayev A.A. Development trends of unmanned aerial vehicles: Main tasks, prospects and expectations // II International Baku scientific research conference. – Baku, Azerbaijan: Odlar Yurdu University, conference, - 28-30 april, - 2021, – p. 556-579.
20. Набиев Р.Н. Разработка концептуальной функциональной схемы беспилотного конвертоплана с гибридным источником энергии / Р.Н.Набиев, А.А.Абдуллаев, Г.И.Гараев // Авиакосмическое приборостроение, - Москва: - 2021, №5, - с. 03-18.
21. Nəbiyev, R.N. Konvertoplan tipli pilotsuz uçuş aparatının konstruktiv işlənməsi / R.N.Nəbiyev, Q.İ.Qarayev, A.A.Abdullayev // Milli Aviasiya Akademiyasının Elmi Məcmuələri, – Bakı: – 2022. №1, cild 24, – s. 1-10.
22. Абдуллаев, А.А. Tətbiqi proqramlar əsasında konvertoplan tipli pilotsuz uçan aparatın planerinin kompüter modelləşdirilməsi // Azərbaycan Mühəndislik Akademiyasının Xəbərləri, – Bakı: – 2022, cild 14, №2, – s. 95-106.
23. Набиев, Р.Н. Конструктивное оформление беспилотного летательного аппарата конвертопланового типа / Р.Н.Набиев, А.А.Абдуллаев, Г.И. Гараев // Авиакосмическое приборостроение, – Москва: – 2022, №6. – с. 03-13.

24. Abdullayev, A.A. Konvertoplan tipli hibrid pilotsuz uçuş aparat üçün hibrid əsaslı enerji mənbələrinin və hərəkətverici sistemlərin seçilməsi // Azərbaycan Milli Aerokosmik Agentliyin xəbərlər jurnalı, – Bakı: – 2022, cild 25, №1, – s. 47-55.
25. Nəbiyev, R.N. Konvertoplan tipli pilotsuz uçan aparatın ağırlıq mərkəzinin müəyyən edilməsi / R.N.Nəbiyev, A.A.Abdullayev, Q.İ.Qarayev [və b.] // Milli Aviasiya Akademiyası Elmi Məcmuələr, – Bakı: – 2022. №4, cild 24, – s. 1-8.
26. Nabiyev R.N., Abdullayev A.A. Results of measurements carried out for the purpose of determining the center of gravity of a convertiplane-type UAV // Proceedings of the 6th International Scientific and Practical Conference «Current issues and prospects for the Development of Scientific Research». – Orleans, France. Scientific Collection “InterConf+”. – № 26 (129) October, - 19-20.10. – 2022. -p. 197-202.
27. Набиев, Р.Н. Определение центра тяжести беспилотного летательного аппарата конвертопланового типа / Р.Н.Набиев, А.А.Абдуллаев, Г.И.Гараев [и др.] // Известия ЮФУ. Технические науки, – Таганрог: – 2022, № 5, – с. 258-268.
28. Nabiyev R.N., Abdullayev A.A. Structural emplacement and layout of elements of the developed convertiplane type unmanned aerial vehicle // Proceedings of the 2nd International Scientific and Practical Conference. Concepts for the development of society’s scientific potential. - Prague, Czech Repub., Scientific Collection “InterConf+”. - № 109, - 19-20.05. - 2022, - p.325-330.
29. Набиев, Р.Н., Абдуллаев, А.А. Исследование основных аэродинамических параметров планера беспилотного летательного аппарата конвертопланового типа // Авиакосмическое приборостроение, – Москва: – 2022, № 4. – с. 17-33.
30. Nabiyev, R.N. Structural drafting of conver-tiplane-type unmanned aerial vehicle / R.N.Nabiyev, A.A.Abdullayev, Q.I.Qarayev // Norwegian Journal of development of the International Science, – 2022, №94, – p. 45-51.
31. Paşayev, A.M. Akkumulyatorun doldurulması zamanı qütbləri özü təyin edən qurğu, Patent (İxtira) İ 2022 0034, Azərbaycan Respublikası / Nəbiyev R.N., Qarayev Q.İ., Abdullayev A.A.

32. Nəbiyev, R.N. Kiçik ölçülü konvertoplan tipli pilotsuz uçuş aparatları üçün bort nəzarət-ölçü sistemi / R.N.Nəbiyev, A.A. Abdullayev, Q.İ.Qarayev [və b.] // Milli Aviasiya Akademiyasının Elmi Məcmuələri, – Bakı: – 2023, №4, cild 25, – s. 1-12.
33. Nəbiyev, R.N., Abdullayev, A.A., Qarayev, Q.İ. Konvertoplan tipli pilotsuz uçuş aparatının yaradılması və onun əsas parametrlərinin strateji obyektlərin müşahidəsi kontekstində optimallaşdırılması məqsədi ilə ağırlıq mərkəzinin müəyyən olunması // Azərbaycan Respublikası Müdafiə Nazirliyi Milli Müdafiə Universiteti. “Hərb sənətinin actual problemləri”. Ümummilli lider Heydər Əliyevin anadan olmasının 100 illiyinə həsr olunmuş Beynəlxalq Elmi-praktiki konfrans, – Bakı: – 3-4 may, 2023, – s. 275-278.
34. Nəbiyev, R.N. Bort nəzarət-ölçü sistemi ilə konvertoplan tipli mikro PUA-nın VTOL rejimində tədqiqi \ R.N.Nəbiyev, A.A.Abdullayev, Q.İ.Qarayev \ – Bakı: Milli Aviasiya Akademiyasının Elmi Məcmuələri, – 2024, №4, cild 26, – s. 1-7.
35. Abdullayev, A.A., Nəbiyev, R.N., Qarayev, Q.İ. Pilotsuz mikro uçuş aparatları üçün bort nəzarət-ölçü sisteminin yaradılması və stasionar rejimdə sınaqları // “Fevral məruzələri” IX Beynəlxalq elmi-praktiki gənclər konfransı materialları, –Bakı: –8–10 fevral, –2024, –s. 156-159.
36. Abdullayev A.A. VTOL mikro PUA-nın uçuşunun müxtəlif uçuş rejimlərində bort nəzarət-ölçü sistemi ilə tədqiqi // Süni intellekt: Nəzəriyyədən praktikaya, I Beynəlxalq Konfrans, –Naxçıvan, Azərbaycan: -17-18 sentyabr, - 2024, – s. 271-277.
37. Nəbiyev, R.N. Bort nəzarət-ölçü sistemi ilə konvertoplan tipli mikro PUA-nın VTOL rejimində tədqiqi \ R.N.Nəbiyev, A.A.Abdullayev, Q.İ.Qarayev \ \ Milli Aviasiya Akademiyasının Elmi Məcmuələri, – Bakı: – 2024, №1, cild 26, – s. 17-29.
38. Nabiyev R.N. On-board control-measurement system for micro convertiplane-type unmanned aerial vehicles / R.N.Nabiyev, A.A.Abdullayev, Q.I.Qarayev // Eurasian Physical Technical Journal, - Karaganda: - 2024, № 2(48), Vol 21, - p. 61-69.
39. Nabiyev, R.N., Abdullayev, A.A., Garayev, G.I. Study of the designed convertiplane-type micro UAV in stationary and

- multicopter flight modes with the on-board control-measurement system // ISUDEF-24-International Symposium on Unmanned Systems: AI, Design, and Efficiency, -Bakı, Azərbaycan: - 22-23 may - 2024, -p. 6
40. Nabiyev, R.N., Abdullayev, A.A., Garayev, G.I. Research of a vertical takeoff and landing micro UAV in the plane mode with the onboard control - measurement system // (EMMFT-2024) E3S Web of Conf.–2024, Vol. 592, 06024 (2024).
 41. Nəbiyev, R.N., Abdullayev, A.A. Pilotsuz uçuş aparatlar ilə elektron-optik müşahidənin aparılması və tətbiq imkanlarının optimallaşdırılması \\\ Milli Aviasiya Akademiyasının Elmi Məcmuələri, – Bakı: – 2025, №1, cild 27, – s. 1-13.
 42. Набиев, Р.Н., Абдуллаев, А.А. Ведение электронно-оптического наблюдения с помощью беспилотных летательных аппаратов и оптимизация возможностей применения // – Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия Естественные и технические науки. - Москва, - 2025. №5. с 116-123.
 43. Набиев, Р.Н., Абдуллаев, А.А. Оптимизация наблюдательных возможностей беспилотных летательных аппаратов // Естественные и технические науки. – Москва: –2025, №2 (201), –с. 258-268.
 44. Набиев, Р.Н., Абдуллаев, А.А. Методы поиска при наблюдении за стратегическими объектами с использованием беспилотных летательных аппаратов // Естественные и технические науки. – Москва: –2025. №4 (203), –с. 258-268.
 45. Pashayev A.M. Research of a vertical takeoff and landing micro UAV in the plane mode with the onboard control - measurement system / A.M.Pashayev, R.N.Nabiyev, A.A.Abdullayev [et. al] // Tuijin Jishu/Journal of Propulsion Technology. - 2025, ISSN 1001-4055, Vol. 46(1), -p. 870-878.
 46. Nabiyev R.N., Abdullayev A.A. Methods of conducting observation with unmanned flight vehicles // World of conferences. XVI International Scientific and Practical Conference «World science priorities», -Vienna. Austria: -03-04.04.2025, -p.143-145.

47. Nabiyev R.N., Abdullayev A.A. The Optimization of the Surveillance Capabilities of UAVs // Tuijin Jishu/Journal of Propulsion Technology. - 2025, ISSN 1001-4055, Vol. 46(2), -p. 1212-1221.
48. Nabiyev R.N., Abdullayev A.A. Basics of electron-optical surveillance with UAVs // The Scientific Heritage, -Budapest, Hungary: -2025, Vol. 159, -p.140-143.
49. Nabiyev R.N., Abdullayev A.A. Optimized UAV surveillance strategies for securing strategic objects: a performance-based comparative analysis // Multidisciplinary Science Journal, - 2025, Vol. 7(12), -p. 1-7.
50. Nabiyev R.N., Abdullayev A.A. Basics of drone surveillance // Proceedings of the 11 th International Scientific and Practical Conference «Theory and practice of science: key aspects». Roma, İtaliya, Scientific Collection «InterConf+», - 19-20.04.2025, № 56(244). - p. 278-283.
51. Nəbiyev, R.N., Abdullayev, A.A. Pilotsuz uçuş aparatları ilə strateji obyektlərin müşahidəsi zamanı axtarış üsulları // Azərbaycan Milli Aerokosmik Agentliyin xəbərlər jurnalı, – Bakı: –2025, cild 28, №2, – s. 65-73
52. Paşayev, A.M. Pilotsuz mikro uçuş aparatlarının uçuş-texniki parametrlərinin bort qeydiyyat qurğusu, Patent (İxtira) a 2024 0022, Azərbaycan Respublikası / Nəbiyev R.N., Qarayev Q.İ., Abdullayev A.A.

Tədqiqatçının dərc olunmuş əsərlərdə şəxsi töhfəsi:

[1] - Təhlilin aparılması, məlumatların toplanması və nəticələrin ümumiləşdirilməsi;

[2,3,4,5,10,11,12,14,16,41,42,43,44,45,47,48,49,51] - Tədqiqatın aparılması, məlumatların toplanması və nəticələrin ümumiləşdirilməsi;

[6,7,8,9] - Məlumatların toplanması, təhlilin və tədqiqatın aparılması, ümumiləşdirilməsi, konfransda çıxış;

[19,26,46,50,] - Tədqiqatın aparılması və nəticələrin ümumiləşdirilməsi, konfransda “online” çıxış;

[18] - Tədqiqatın aparılması və nəticələrin ümumiləşdirilməsi, konfransda çıxış;

[28] - Dəstləyicilərin seçilməsi və nəticələrin ümumiləşdirilməsi və konfransda çıxış;

[33,35,39,40] - Təcrübələrin yerinə yetirilməsi, sxemin yığılması, təhlilin aparılması, konfransda çıxış;

[25] - Təcrübələrin yerinə yetirilməsi, sxemin yığılması, təhlilin aparılması;

[31,52] - Məlumatların toplanması, nəticələrin ümumiləşdirilməsi, sxemin yığılması və təsvirin yazılması;

[20] - Konseptual struktur sxemin və alqoritmin işlənməsi, tədqiqatın aparılması və nəticələrin ümumiləşdirilməsi;

[21,23,27] - tədqiqatın aparılması, konstruksiyanın yığılması, dəstləyicilərin seçilməsi və nəticələrin ümumiləşdirilməsi;

[29] - Tədqiqatın aparılması, proqram təminatı ilə simulyasiya və hesabatların aparılması və nəticələrin ümumiləşdirilməsi;

[30,32,34,37,38] - Sxemin yığılması, riyazi hesablamaların aparılması, təcrübələrin yerinə yetirilməsi, nəticələrin təhlil edilməklə ümumiləşdirilməsi;

[13,15,17,22,24] - müəllif tərəfindən sərbəst yerinə yetirilmişdir.



Dissertasiyanın müdafiəsi 24.10.2025-ci il tarixində saat 14:00-da Milli Aviasiya Akademiyasının nəzdində fəaliyyət göstərən ED 2.01 Dissertasiya şurasının iclasında keçiriləcək.

Ünvan: AZ1045, Bakı şəhəri, Mərdəkan pr. 30, Milli Aviasiya Akademiyasının 3-cü tədris binasının iclas zalı.

Dissertasiya ilə Milli Aviasiya Akademiyasının kitabxanasında tanış olmaq mümkündür.

Dissertasiya və avtoreferatın elektron versiyaları MAA-nın rəsmi internet saytında (naa.edu.az) yerləşdirilmişdir.

Avtoreferat 20.09.2025-ci il tarixində zəruri ünvanlara göndərilmişdir.

Çapa imzalanıb: 15.09.2025
Kağız formatı: A5
Həcm:78750
Tiraj 105