

**TOSHKENT DAVLAT TRANSPORT UNIVERSITETI HUZURIDAGI
ILMIY DARAJALAR BERUVCHI PhD.10/2025.27.12.T.01.07 RAQAMLI
ILMIY KENGASH**

TOSHKENT DAVLAT TRANSPORT UNIVERSITETI

TAXIROV DJONIBEK KOBILOVICH

**KO‘P MAQSADLI UCHUVCHISIZ UCHISH APPARATLARINI
LOYIHALASHDA OPTIMAL PARVOZ-TEXNIK
KO‘RSATKICHLARINI TANLASH**

**05.02.08 – Uchish apparatlarini loyihalash, ularning konstruksiyasi, ishlab chiqarish,
ulardan foydalanish va yer usti majmualari**

**Texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktorI (PhD) dissertatsiyasi
AVTOREFERATI**

Toshkent – 2026

**Texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi avtoreferati
mundarijasi**

**Оглавление автореферата диссертации доктора философии (PhD)
по техническим наукам**

**Content of the dissertation abstract of doctor of philosophy (PhD)
on technical sciences**

Taxirov Djonibek Kobilovich

Ко‘р maqsadli uchuvchisiz uchish apparatni loyihalashda optimal parvoz-
texnik ko‘rsatkichlarini tanlash..... 5

Тахиров Джонибек Кобирович

Выбор оптимальных летно-технических характеристик при
проектировании многоцелевого беспилотного летательного аппарата ... 21

Takhirov Djonibek Kobilovich

Selection of optimal flight performance and technical characteristics in the
design of a multi-purpose unmanned aerial vehicle..... 41

E‘lon qilingan ishlar ro‘yxati

Список опубликованных работ
List of published works..... 45

**TOSHKENT DAVLAT TRANSPORT UNIVERSITETI HUZURIDAGI
ILMIY DARAJALAR BERUVCHI PhD.10/2025.27.12.T.01.07 RAQAMLI
ILMIY KENGASH**

TOSHKENT DAVLAT TRANSPORT UNIVERSITETI

TAXIROV DJONIBEK KOBILOVICH

**KO'P MAQSADLI UCHUVCHISIZ UCHISH APPARATLARINI
LOYIHALASHDA OPTIMAL PARVOZ-TEXNIK
KO'RSATKICHLARINI TANLASH**

**05.02.08 – Uchish apparatlarini loyihalash, ularning konstruksiyasi, ishlab chiqarish,
ulardan foydalanish va yer usti majmualari**

**TEXNIKA FANLARI BO'YICHA FALSAFA DOKTORI (PhD)
DISSERTATSIYASI AVTOREFERATI**

Texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasining mavzusi O'zbekiston Respublikasi Oliy ta'lim, fan va innovatsiyalar Vazirligi huzuridagi Oliy attestatsiya komissiyasida B2024.4.PhD/T1608 ro'yxatga olingan.

Dissertatsiya Toshkent davlat transport universitetida bajarilgan.

Dissertatsiya avtoreferati uch tilda (o'zbek, rus, ingliz (rezyume)) Ilmiy kengash veb-sahifasida (www.tstu.uz) va "ZiyoNet" Axborot ta'lim portalida (www.ziynet.uz) joylashtirilgan.

Ilmiy rahbar:

Abdujabarov Nuriddin Anvarovich
texnika fanlari nomzodi, dotsent

Rasmiy opponentlar:

Parsiyev Saydiyaxad Solixodjayeich
texnika fanlari doktori, professor

Shamsiyev Rasul Zairovich
texnika fanlari bo'yich falsafa doktori, dotsent

Yetakchi tashkilot:

**Islom Karimov nomidagi Toshkent davlat
texnika universiteti**

Dissertatsiya himoyasi Toshkent davlat transport universiteti huzuridagi PhD.10/2025.27.12.T.01.07 raqamli Ilmiy kengashning 2026-yil «_____» _____ soat _____ dagi majlisida bo'lib o'tadi. Manzil: 100167, Toshkent, Temiryo'lhilar ko'chasi, 1 uy. Tel.: (99871) 299-00-01; faks: (99871) 293-57-54; e-mail: rektorat@tstu.ru.

Dissertatsiya bilan Toshkent davlat transport universitetining Axborot-resurs markazida tanishish mumkin (_____ raqami bilan ro'yxatga olingan). Manzil: 100167, Toshkent, Temiryo'lhilar ko'chasi, 1 uy. Tel: (99871) 299-05-66.

Dissertatsiya avtoreferati 2026-yil «_____» _____ kuni tarqatildi.

(2026-yil «_____» _____ dagi _____ raqamli reyestr bayonnomasi).

A.Abdukayumov

Ilmiy darajalar beruvchi
ilmiy kengash raisi, t.f.d., professor

I.S.Maturazov

Ilmiy darajalar beruvchi
ilmiy kengash ilmiy kotibi, PhD, dotsent

X.X.Xusnutdinova

Ilmiy darajalar beruvchi ilmiy
kengash qoshidagi ilmiy seminar raisi,
t.f.d., dotsent

KIRISH (falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi annotatsiyasi)

Dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va zarurati. Jahonda ko‘p maqsadli uchuvchisiz uchish apparatlaridan amaliy foydalanish ko‘lamini kengaytirish, parvoz vazifalarini yuqori aniqlikda bajarishni ta‘minlagan holda parvoz xavfsizligini oshirish, ekspluatatsiya samaradorligini ko‘tarish hamda tezkor va ishonchli monitoring yechimlarini joriy etish yetakchi o‘rinlardan birini egallamoqda. Jahon tajribasida uchuvchisiz uchish apparatlari hodisalari tahlillarida inson omili bilan bog‘liq sabablar sezilarli ulushni egallashi qayd etilgan (masalan, ayrim uchuvchisiz uchish apparatlari turlarida 21% dan 47% gacha)¹, shuningdek barqarorlik va ishonchlilikka qo‘yilayotgan talablar ortib borayotganini hisobga olsak, uchuvchisiz uchish apparatlarini loyihalashda aerodinamik, energetik va konstruktiv omillarni o‘zaro bog‘liqlikda hisobga oluvchi integratsiyalashgan matematik modellar va optimallashtirish algoritmlarini yaratish hamda loyihalash jarayonlarini avtomatlashtirish usullarini takomillashtirish zarurati yuzaga keladi. Shu nuqtai nazardan, belgilangan cheklovlar doirasida optimal parvoz-texnik ko‘rsatkichlarni ta‘minlaydigan konseptual va parametrik loyihalash yondashuvlarini ishlab chiqish, konstruktsiyani hisoblash natijalari bilan ilmiy asoslash hamda material tanlovini mezonlar asosida amalga oshirishga qaratilgan yechimlarni rivojlantirishga alohida e‘tibor qaratilmoqda.

Dunyo miqyosida uchuvchisiz uchish apparatlarini yaratish hamda ularning parvoz-texnik ko‘rsatkichlarini oshirishga qaratilgan izlanishlarda aerodinamik jarayonlarni matematik ifodalash, harakat tenglamalarini shakllantirish, barqarorlik va boshqaruvchanlik mezonlarini belgilash, shuningdek parametrlar fazosida cheklovlarni inobatga olgan holda optimallashtirish masalalarini yechishga doir ilmiy tadqiqotlar olib borilmoqda. Ushbu yo‘nalishda aerodinamik, energetik va konstruktiv parametrlarning o‘zaro bog‘liqligini nazariy jihatdan ochib berish, ko‘p mezonli optimallashtirish apparatini qo‘llash, funksional bog‘lanishlar va muvofiqlik shartlarini kiritgan holda integratsiyalashgan matematik modellarni shakllantirish hamda ularning adekvatligini baholashga qaratilgan tadqiqotlar ustuvor hisoblanmoqda. Shu bilan birga, modellarning mosligini ta‘minlash, parametrlarni iterativ aniqlash, identifikatsiya va sintez masalalarini yagona yondashuv doirasida hal etish orqali parvoz holatlarini prognozlash aniqligini oshirish hamda qaror qabul qilish mezonlarini asosli belgilash dolzarb vazifalardan biri hisoblanmoqda.

Respublikamizda iqtisodiyotning turli sohalariga energiya va resurs tejankor texnologiyalarni kiritish, shu jumladan, uchuvchisiz uchish apparatlaridan qishloq xo‘jaligi, ekologik monitoring, geodeziya va aerofotosuratga olish, transport-logistika, favqulodda vaziyatlar hamda mudofaa yo‘nalishlarida samarali foydalanishni kengaytirish, uchuvchisiz uchish apparatlari platformalarini mahalliy sharoitga moslashtirish hamda ularni yaratish va ekspluatatsiya qilish jarayonlarini texnologik modernizatsiyalash borasida tizimli chora-tadbirlar amalga oshirilib, bu borada muayyan natijalarga erishilmoqda. 2022–2026-yillarga mo‘ljallangan Yangi

¹ <https://archive.org/details/annalysisofhumca1094544637>

O‘zbekistonning taraqqiyot strategiyasida raqamli texnologiyalarni joriy etish, innovatsion yechimlar asosida tarmoqlar samaradorligini oshirish hamda yuqori texnologiyali mahsulotlar va xizmatlarni rivojlantirish bo‘yicha ustuvor maqsadlar belgilab berilgan. Ushbu maqsadlarga erishishda, ko‘p maqsadli samolyot tipidagi uchuvchisiz uchish apparatlari uchun optimal parvoz-texnik ko‘rsatkichlarni ilmiy asosda tanlash, aerodinamik, energetik va konstruktiv parametrlarni o‘zaro bog‘liqlikda kompleks baholash imkonini beruvchi integratsiyalashgan model va algoritmlar majmuasini yaratish, loyihalashning konseptual va parametrik bosqichlarini avtomatlashtirish hamda qaror qabul qilish jarayonini tezkorlashtiruvchi dasturiy vositalar majmuasini ishlab chiqish muhim vazifalardan biri hisoblanadi.

O‘zbekiston Respublikasi Vazirlar Mahkamasining 2016-yil 12-maydagi “O‘zbekiston Respublikasining havo hududida uchuvchisiz uchadigan apparatlardan foydalanishni tartibga solish chora-tadbirlari to‘g‘risida”gi 150-sonli qarori, O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2018-yil 29-martdagi “Iqtisodiyot tarmoqlarida fuqaro aviatsiyasining UUA dan maqsadli va samarali foydalanish chora-tadbirlari to‘g‘risida”gi PQ-3639-sonli qarori², shuningdek O‘zbekiston Respublikasi Vazirlar Mahkamasining 2022-yil 15-noyabrdagi “O‘zbekiston Respublikasida uchuvchisiz uchadigan apparatlardan foydalanishni tartibga solish bo‘yicha qo‘shimcha chora-tadbirlar to‘g‘risida”gi 658-sonli qarori hamda mazkur faoliyatga tegishli boshqa me‘yoriy-huquqiy hujjatlarda belgilangan vazifalarni amalga oshirishga ushbu dissertatsiya ishi muayyan darajada xizmat qiladi.

Tadqiqotning respublika fan va texnologiyalari rivojlanishining ustuvor yo‘nalishlariga mosligi. Ushbu oib borilgan tadqiqot ishi O‘zbekiston Respublikasi fan va texnologiyalar rivojlantirishning “I. Ilmiy-tadqiqot faoliyatini mustahkamlash va innovatsiyalarni joriy etish”, “VII. Kosmik tadqiqotlar va transport infratuzilmasini rivojlantirish”, “VIII. Xavfsizlik, mudofaa va strategik resurslarni rivojlantirish” ustivor yo‘nalishlari doirasida bajarilgan.

Muammoning o‘rganilganlik darajasi. Uchuvchisiz uchish apparatlarini loyihalash, ishlab chiqarish texnologiyasini yaratish, konstruksiya va mustahkamligini hisoblash, aerodinamik va matematik hisoblash usullari va algoritmlarini ishlab chiqish, shuningdek, tadqiqotlar natijalariga asoslangan so‘nggi yillardagi ilmiy-texnikaviy adabiyotlarning tahlili, bu sohada sezilarli nazariy va amaliy natijalarga erishilganligini ko‘rsatadi. Uchuvchisiz uchish apparatlarini loyihalash, ishlab chiqarish va ularni iqtisodiyot tarmoqlarida qo‘llash bo‘yicha bir qator ilmiy ishlar nashr qilingan, konsepsiyalar ishlab chiqilgan va har yilda amaliy vazifalarni hal qilishga yo‘naltirilgan tadqiqotlar soni ortib bormoqda. Uchuvchisiz uchish apparatlarini loyihalash masalalarini o‘rganishda xorijiy olimlar, jumladan, Abdul Aabid, Selçuk Bayraktar, V.A. Komarov, A.A. Samoylovskiy, Axmet Yigit Arabul, N. Kumar, S. Saderla va boshqalar Wang B., Ruben Raphael D’Sa, Reinhardt D., Quan Q., Darwin Jimenez, Gumbatov D.A. hamda mamlakatimizda uchish apparatlarini loyihalash, mustahkamligini hisoblash va ishlab chiqarishga katta hissa qo‘shgan olimlar X.G. Sarimsakov, A.X. Yakubov, A.X. Sultonov,

² O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2018-yil 29- martdagi PQ-3639-son «Iqtisodiyot tarmoqlarida fuqaro aviatsiyasining UUA dan maqsadli va samarali foydalanish chora-tadbirlari to‘g‘risida»gi qarori

X.X. Xusnutdinova shuningdek, uchish apparatlarini ishlab chiqarish nazariyasiga Sh.F. Ganixanov, Usmanov K.B., Z.Z. Shamsiyev, T.A. Sagdiyev, R.X. Saydaxmedov, N.A. Abdujabarov va boshqalar o'zlarining muhim hissalarini qo'shgan.

Shu bilan birga, ko'p maqsadli uchuvchisiz uchish apparatning aerodinamik samaradorligini oshirish, konstruksiya elementlarida kechadigan aerodinamik va dinamik jarayonlar, turli parvoz rejimlarida yuklanishlar taqsimoti, shuningdek apparat konstruksiyasini og'irlik, mustahkamlik va energetik samaradorlik nuqtai nazaridan optimallashtirish muammolari yetarli darajada o'rganilmagan.

Dissertatsiya tadqiqotining oliy ta'lim muassasasining ilmiy-tadqiqot ishlari rejalari bilan muvofiqligi. Dissertatsiya tadqiqoti Islom Karimov nomidagi Toshkent davlat texnika universiteti ilmiy tadqiqot rejasining 561989-EPP-1-2015-1-UK-EPPKA2-CBHE-JP "Parvozlarning xavfsizligi va uchishga yaroqlilik" (2015-2018-yillardagi ERASMUS+) loyihasi doirasida bajarilgan. Shuningdek, Toshkent davlat transport universiteti "Aviatsiya injiniringi" kafedrasining universitet va "ChATZ" rahbariyati tomonidan 2021-2031-yillar uchun tasdiqlangan ilmiy-ta'lim kelishuv asosida hamkorlikda ishlab chiqilgan texnik topshiriq asosida dissertatsiya mavzusi shakllangan.

Tadqiqotning maqsadi ko'p maqsadli uchuvchisiz uchish apparatini loyihalashda optimal parvoz-texnik ko'rsatkichlarini takomillashtirishdan iborat.

Tadqiqotning vazifalari:

uchuvchisiz uchish apparatini loyihalashda qo'llanilayotgan konseptual va parametrik metodlarni tizimli tahlil qilish hamda ularning ilmiy-texnik asoslarini asoslash;

parvoz-texnik ko'rsatkichlarga tayangan holda uchuvchisiz uchish apparatini loyihalash va baholash jarayonlarini qo'llab-quvvatlovchi integrallashgan matematik modelni ishlab chiqish;

aerodinamik optimallashtirish asosida uchuvchisiz uchish apparatining tashqi konfiguratsiyasini tanlash va avtomatlashtirilgan vizual 3D modelini shakllantirishda parametrlararo bog'liqligini tadqiq etish;

konstruksiyaning mustahkamlikka tahlili asosida uchuvchisiz uchish apparatining aerodinamik, konstruktiv va ishonchlilik ko'rsatkichlarini kompleks baholash yondashuvlarini takomillashtirish;

kompozit materiallarning fizik-mexanik xususiyatlarini modellashtirishga tayangan holda uchuvchisiz uchish apparatini konstruktiv talablariga mos material tanlash mezonlarini baholash usulini ishlab chiqish.

Tadqiqotning obyekti: uchuvchisiz uchish apparatini loyihalash jarayoni va ularning vazifalarga javob bera oladigan optimal parvoz-texnik ko'rsatkichlarini maqsadli shakllantirish va tanlash masalalari.

Tadqiqotning predmeti: Samolyot turiga mansub bo'lgan ko'p maqsadli uchuvchisiz uchish apparatini oldindan belgilangan parvoz-texnik ko'rsatkichlarga javob beradigan namunaviy konstruksiyalarini loyihalash usuli, modellar majmuasi hamda ularni amalga oshirish algoritmlari.

Tadqiqotning usullari: Tadqiqot jarayonida SolidWorks va ANSYS dasturlari, Octave matematik paketi, imitatsion va matematik modellashtirish, aerodinamik,

konstruktiv va mustahkamlik tahlil usullari, loyihalash parametrlarini optimallashtirish, shuningdek nazariy va analitik ma'lumotlarni tahlil qilish usullaridan foydalanilgan.

Tadqiqotning ilmiy yangiligi quyidagilardan iborat:

ko'p maqsadli uchuvchisiz uchish apparatini loyihalashda konseptual va parametrik bosqichlarni yagona tizimda bog'lashga xizmat qiluvchi, aerodinamik, energetik va konstruktiv parametrlar o'rtasidagi o'zaro ta'sirni birgalikda hisobga olgan holda kompleks baholash va optimal variantni tanlash jarayonini avtomatlashtiruvchi konseptual- uslubiy yondashuv ishlab chiqilgan;

uchuvchisiz uchish apparatining parvoz-texnik ko'rsatkichlari bo'yicha funksional uyg'unlikni ta'minlash uchun muvofiqlik shartlarini kiritish va moslikni iterativ aniqlash asosida asosiy ko'rsatkichlarni tanlash aniqligini oshiradigan integratsiyalashgan matematik model takomillashtirilgan;

aerodinamik optimallashtirish va sonli mustahkamlik tahlili natijalarini uyg'unlashtirib, ishonchlilik ko'rsatkichlarini inobatga olgan taqqoslash mezonlari asosida optimal loyihaviy yechimni tanlashni ta'minlovchi hisoblash algoritmlari majmuasi ishlab chiqilgan;

uchuvchisiz uchish apparati uchun parvoz-texnik ko'rsatkichlarini takomillashtirish natijasida shakllangan konstruktiv talablar asosida kompozit materiallarning fizik-mexanik xususiyatlarini modellashtirish orqali material tanlash mezonlarini baholash usuli ishlab chiqilgan.

Tadqiqotning amaliy natijalari quyidagilardan iborat:

iqtisodiyot tarmoqlarida ko'p maqsadli uchuvchisiz uchish apparatidan foydalanish talablarini shakllantirish uchun uning konstruktiv tuzilishi va asosiy parametrlarini takomillashtirishga qaratilgan, oqilona konstruktiv-kuch sxemasi hamda optimal parametrlarni tanlash bo'yicha ilmiy asoslangan tavsiyalar ishlab chiqilgan;

VTOL tipidagi uchuvchisiz uchish apparati uchun SolidWorks va ANSYS muhitida parametrik 3D raqamli prototip, aerodinamik va mustahkamlikka hisoblash modellari ishlab chiqilgan bo'lib, ular asosida konstruktiv va aerodinamik parametrlarini baholash va optimal variantni tanlash imkonini beruvchi hisoblash modeli ishlab chiqilgan;

oldindan talab etilgan parvoz-texnik ko'rsatkichlarni ta'minlovchi matematik-algoritmik va dasturiy vositalar majmuasi yaratildi, EHMda sinovdan o'tkazilib, amaliyotda qo'llash imkoniyati hamda samaradorligi asoslangan;

buyurtmachi talablari doirasida taklif etilgan uchuvchisiz uchish apparatining konstruktiv birliklarini texnologik bo'lish va yig'ish jarayonlarini aks ettiruvchi animatsion (vizual) model ishlab chiqilgan.

Tadqiqot natijalarining ishonchliligi. Tadqiqot natijalarining ishonchliligi hisoblash va modellashtirish jarayonlarida zamonaviy usullardan foydalanilganligi, olingan natijalarning belgilangan texnik talablarga hamda me'yoriy hujjatlar ma'lumotlariga muvofiqligi, shuningdek tadqiqot doirasida ishlab chiqilgan taklif va tavsiyalarning amaliyotga joriy etilganligi bilan asoslanadi.

Tadqiqot natijalarining ilmiy va amaliy ahamiyati. Tadqiqot natijalarining ilmiy ahamiyati ko'p maqsadli uchuvchisiz uchish apparatini uzluksiz maqsadli

avtomatlashtirilgan loyihalash jarayonini ta'minlovchi konseptual-uslubiy yondashuv takomillashtirilganligi, aerodinamik–energetik–konstruktiv omillar o'zaro bog'liqligini hisobga oluvchi integratsiyalashgan matematik model ishlab chiqilganligi, shuningdek parvoz-texnik ko'rsatkichlarni kompleks baholash va optimal parametrlarni tanlashni ta'minlovchi algoritmik yechimlar ishlab chiqilganligi bilan izohlanadi.

Tadqiqot natijalarining amaliy ahamiyati ko'p maqsadli, jumladan VTOL tipidagi uchuvchisiz uchish apparatini loyihalashni avtomatlashtirishga yo'naltirilgan dasturiy vositalar majmuasi ishlab chiqilganligi, CAD/CAE muhitida hisoblash-modellashtirish uchun amaliy modellar va parametrlashtirilgan loyihalash yechimlari yaratilganligi, shuningdek iqtisodiyot tarmoqlarida uchuvchisiz uchish apparatini qo'llash talablarini inobatga olgan holda konstruktiv yechimlar va optimal parametrlarni tanlash bo'yicha amaliy tavsiyalar ishlab chiqilganligi bilan izohlanadi.

Tadqiqot natijalarining joriy qilinishi. Ko'p maqsadli uchuvchisiz uchish apparatini loyihalashda optimal parvoz-texnik ko'rsatkichlarni tanlash bo'yicha olingan natijalar asosida:

ko'p maqsadli uchuvchisiz uchish apparatini loyihalash bo'yicha uslubiyot, uning tuzilmasiga muvofiq ishlab chiqilgan dasturlar hamda tavsiyalar "Chirchiq aviatsiya ta'mirlash zavodi" DKda joriy etilgan (O'zbekiston Respublikasi Mudofaa vazirligining 2024-yil 11-noyabrdagi 10/2367-son ma'lumotnomasi). Natijada uchuvchisiz uchish apparatini loyihalash va baholash jarayoniga matematik modellar hamda ko'rsatkichlar ta'sirini tahlil qilish usullari tatbiq etilib, uchish davomiyligini 14 daqiqagacha uzaytirish imkoniyati aniqlangan hamda energiya sarfini 5–7% gacha kamaytirish mumkinligi asoslangan.

yaratilgan loyiha yechimining iqtisodiy samaradorligi O'zbekiston Respublikasi Kadastr agentligi huzuridagi "Geoinnovatsiya markazi" DUK faoliyatiga joriy etilgan (O'zbekiston Respublikasi Iqtisodiyot va Moliya vazirligi huzuridagi Kadastr agentligining 2024-yil 15-oktyabrdagi 05/08-10572-son ma'lumotnomasi). Natijada parvoz-texnik ko'rsatkichlarni kompleks baholashga yo'naltirilgan integratsiyalashgan matematik model va optimal parametrlarni aniqlashni ta'minlovchi algoritmik yechimlar amaliyotga joriy etilib, loyihaviy qarorlarning iqtisodiy jihatdan maqsadga muvofiqligi texnik-iqtisodiy asoslar bilan tasdiqlangan.

belgilangan talablar asosida uslubiyot bo'yicha ishlab chiqilgan uchuvchisiz uchish apparati loyihasi Mudofaa sanoati agentligi faoliyatiga joriy etilgan (Mudofaa vazirligining 2024-yil 11-noyabrdagi 10/2367-son hamda O'zbekiston Respublikasi Transport vazirligining 2024-yil 4-dekabrdagi 4/E1631-son ma'lumotnomalari). Natijada aerodinamik tavsiflar, konstruktiv yechimlar va mustahkamlik bo'yicha bajarilgan tahlillar hamda ularning parvoz-texnik ko'rsatkichlarga ta'siri natijalariga tayangan holda loyiha yechimi amaliy tatbiq uchun baholanib, uchuvchisiz uchish apparatini loyihalash va ishlab chiqarishni iqtisodiyot tarmoqlariga joriy etish uchun zarur loyiha sifatida e'tirof etilgan.

Tadqiqot natijalarining aprobatsiyasi. Tadqiqot natijalari 6 ta ta ilmiy-amaliy anjumanlar, shu jumladan 4 ta xorijiy (shundan 2 ta *Scopus* bazasiga kiruvchi to'plamda) va 2 ta respublika ilmiy-amaliy anjumanlarida aprobatsiyadan o'tgan.

Tadqiqot natijalarining e'lon qilinganligi. Dissertatsiya mavzusi bo'yicha jami 22 ta ilmiy ish chop etilgan bo'lib, shulardan, O'zbekiston Respublikasi Oliy attestatsiya komissiyasining doktorlik dissertatsiyalari asosiy ilmiy natijalarini chop etish uchun tavsiya etgan ilmiy nashrlarda 6 ta maqolalar, jumladan 3 ta respublika, 3 ta xorijiy jurnallarda va 2 ta boshqa ilmiy jurnallarda chop etilgan. Shuningdek 7 ta EHM dasturiga guvohnoma olingan.

Dissertatsiyaning tuzilishi va hajmi. Dissertatsiya ishi kirish, uchta bob, xulosa, foydalanilgan adabiyotlar va ilovalardan iborat. Dissertatsiyaning asosiy mazmuni 110 sahifa, 22 ta rasm va 28 ta jadvallardan iborat.

DISSERTATSIYANING ASOSIY MAZMUNI

Dissertatsiyaning kirish qismida ilmiy mavzusning dolzarbligi asoslangan, tadqiqotning maqsad va vazifalari, obykti va predmeti tavsiflangan. Tadqiqotning O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2018-yil 29-martdagi PQ-3639-son «Iqtisodiyot tarmoqlarida fuqaro aviatsiyasining uchuvchisiz uchish apparatidan maqsadli va samarali foydalanish chora-tadbirlari to'g'risida»gi qaroriga muvofiq dolzarbligi eslatib o'tilgan. Jumladan, shu qarorda keltirilgan UUALarini ishlab chiqish, mahalliyashtirish, ularning texnik imkoniyatlarini takomillashtirish, ilmiy-tadqiqot va tajriba-konstruktorlik ishlarini rivojlantirish, shuningdek, mutaxassislar tayyorlash masalalari ustuvor vazifalar sifatida belgilanganligi tanlangan mavzuni dolzarbligi asoslangan. Mazkur qaror kesimida O'zbekiston Respublikasi fan va texnologiyalari rivojlanishining ustuvor yo'nalishlariga mosligi ko'rsatilgan, tadqiqotning ilmiy yangiligi va amaliy natijalari bayon qilingan, olingan natijalarning ilmiy va amaliy ahamiyati ochib berilgan, tadqiqot natijalarini amaliyotga joriy etish ro'yxati, nashr etilgan ishlar va dissertatsiya tuzilishi bo'yicha ma'lumotlar keltirilgan.

Dissertatsiya ishinining “Ko'p maqsadli UUA ni iqtisodiyot tarmoqlarida dolzarbligi” nomlanuvchi 1-bobida ko'p maqsadli UUA ni iqtisodiyot tarmoqlarida dolzarbligiga tegishli masalalar atroflicha va tizimli ravishda tahlil etilgan va tadqiqotlar nazaridan chetda qolgan nazariy va amaliy muammolar va savollar yoritilgan. Shu muammolar va savollarga mansub o'z yechimni topmagan ilmiy va maliy masalalarga oid dolzarb bo'lgan quyidagi asosiy xulosalar qabul etilgan:

uchuvchisiz uchish apparatlarini qishloq xo'jaligi, qurilish, xavfsizlik, ekologiya va logistika sohalarida muhim texnologik vosita sifatida faol qo'llanilmoqda;

zamonaviy loyihalash usullari, algoritmlar va parametrik tahlillar – UUA ning funksional samaradorligini oshirishda asosiy rol o'ynaydi;

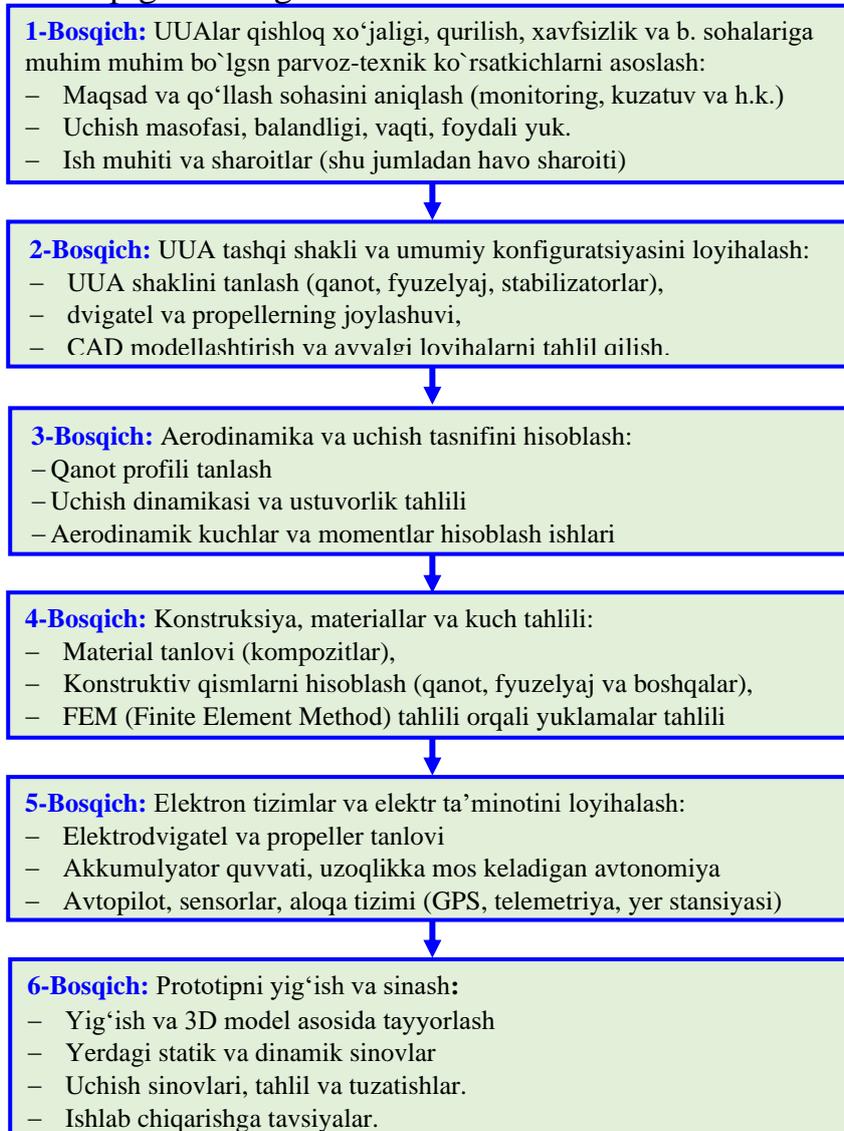
matematik modellashtirish orqali uchuvchisiz uchish apparatini parametrlarini aniqlash, noaniqliklarni oldindan baholash va optimal yechimlarni topish imkoniyati yaratiladi;

Ushbu tahlillar asosida ko'p maqsadli uchuvchisiz uchish apparatlarini loyihalashda texnik va iqtisodiy samaradorlikni ta'minlovchi ko'rsatkichlar aniqlanishi o'rganib chiqildi. Ushbu kesimdagi o'rganishlar asosida UUALarning konstruktiv-aerodinamik, funksional va iqtisodiy samaradorligini hisoblash uchun

ularga tegishli analitik tenglamalarni tizimga solish orqali amalga oshirish to'g'riligi aniqlandi.

Uchuvchisiz uchish apparatini loyihalash jarayonlarini, uslublarini va baholashni tahlil qilish orqali ularni oldinda talab etiladigan konstruktiv-aerodinamik va funksional ko'rsatkichlarga binon maqsadli loyihalash uchun uslubiyat yaratishga tegishli konseptual yondoshuv ishlab chiqildi (1-rasm).

Ko'p maqsadli uchuvchisiz uchish apparatini loyihalash kontseptsiyasi va matematik modellashtirish nomli 2-bobda belgilangan maqsad va vazifalarga muvofiq ko'pa UUAning konstruktiv va funksional ko'rsatkichlarini tahlilli tizimlashtirish; umumiy konstruktiv komponentlarini loyihalash va tanlash kontseptsiyasi; texnik-parvoz ko'rsatkichlarini hisoblash usuli; konstruktiv-kuch sxemasini tanlash va asoslash; maqsadli parvoz-texnika ko'rsatkichlariga muvofiq loyihalashning tuzilma-funksional modeli va parametrlari va konstruktiv yechimlarni baholash va tanlash bilan bog'liq loyihalash bosqichlarining tuzilma-funksional modellari ko'rib chiqilgan va tegishli ravishda uslub va modellari ishlab chiqilgan.



1-rasm. UUA tashqi shaklini aniqlash va parvoz-texnik ko'rsatkichlarini hisoblashning umumiy sxemasi

Ko'p maqsadli UUAning asosiy konstruktiv va funksional ko'rsatkichlari va

ularning hisoblash uchun quyidagi analitik formulalar yagona tizimga keltirilgan.

Og'irligi (massa), M , kg. UUAning to'liq og'irligi quyidagi elementlardan tashkil topadi:

$$M = M_k + M_{yuk} + M_q, \quad (1)$$

Bu yerda: M_k – UUA konstruksiyasining og'irligi; M_{yuk} – UUAning yuk ko'tarish qobiliyatiga mos keladigan yukning og'irligi; M_q – qo'shimcha elementlar (datchiklar, kameralar va hokazo) og'irligi.

UUA ko'taruvchi aerodinamik kuch, U ,

$$F = C_L \cdot \frac{1}{2} \rho V^2 S, \quad (2)$$

Bu yerda: C_L - ko'tarish koeffitsiyenti, ρ - havo zichligi, V - havo tezligi, S - qanot yuzasi.

Qarshilik kuchlari (D, \dots, N). Havo orqali harakatlanish vaqtida paydo bo'ladigan qarshilik kuchlari:

$$D = C_D \cdot \frac{1}{2} \rho V^2 S, \quad (3)$$

Bu yerda C_D - qarshilik koeffitsiyenti. Yuk ko'tarish qobiliyati (L): Yuk ko'tarish qobiliyatini hisoblash uchun:

$$L = W = M \cdot g, \quad (4)$$

Bu yerda: W - UUAning og'irligi (gravitatsiya ta'siridagi og'irlik), g - yerning gravitatsion tezlanishi (9.81 m/s^2).

Parvoz vaqti (T): UUAning parvoz vaqti:

$$T = \frac{E_{manba}}{R_{en.sarfi}}, \quad (5)$$

Bu yerda: E_{manba} - energiya manbai quvvati (akkumulyator yoki yonilg'i), $P_{energopot}$ - energiya sarflash quvvati.

Harakat tezligi (V), km/soat: UUAning harakat tezligini quyidagi formula orqali aniqlash mumkin:

$$V = \sqrt{\frac{2W}{\rho S C_L}}, \quad (6)$$

Bu yerda: $W = m \cdot g$ – UUAning og'irligi (gravitatsiya ta'siridagi og'irligi), ρ – havo zichligi, S – qanot maydoni, C_L – ko'tarish kuchi koeffitsiyenti.

Ushbu tenglamalardan ko'rinib turibdiki, UUAning konstruktiv parametrlari va funksional ko'rsatkichlari o'zaro chambarchas bog'liq bo'lib, ularning har biri hisoblash ishlari jarayonida muhim mezon sifatida xizmat qiladi.

Umuman mazkur bobga tegishli vazifalar yechimlari 2-rasmda keltirilgan blok-sxemaga tayangan.

Dissertatsiyaning 3-bobida UUAning konstruktiv-aerodinamik tuzilishini tanlashning tahliliy metodikasi quyidagi harakatlar ketma-ketligini o'z ichiga oladi:

Maqsadli mezonlarni rasmiylashtirish → *Geometriyaning parametrik modeli* → *Har bir variant uchun aerodinamik ko'rsatkichlarni hisoblash* → *Barqarorlik va boshqaruvchanlikni baholash* → *Variantlarni saralash* → *Farazlarni hujjatlashtirish*

→ Optimallashtirishning yaxlit mezonlari → Usul cheklovlari va tekshirish bo'yicha tavsiyalar.

Har bir variant uchun aerodinamik parametrlarni hisoblash. Klassik formulalar qo'llaniladi (potensial aerodinamika + empirik tuzatmalar):

Ko'tarish kuchi:

$$L = \frac{1}{2} \rho V^2 S C_L, \quad (7)$$

Qarshilik:

$$D = \frac{1}{2} \rho V^2 S C_D, \quad C_D = C_{D0} + k C_L^2, \quad (8)$$

Aerodinamik sifat ko'rsatkichi koeffitsiyenti:

$$E = \frac{C_L}{C_D}, \quad (9)$$

Bu yerda C_L va C_D koeffitsiyentlari qanot profillari, geometriyasi va parvoz rejimlari asosida aniqlanadi;

C_{D0} va k parametrlari esa empirik baholashlar yoki ma'lumotnoma ma'lumotlariga ko'ra belgilanadi.

Barqarorlik va boshqariluvchanlikni baholash. Kichik hujum burchaklarida momentlarning chiziqli yaqinlashtirilishi qo'llaniladi. Statik bo'ylama barqarorlik shartiga misol:

$$M_\alpha = C_m^\alpha (x_{ac} - x_{cg}), \quad (10)$$

Bu yerda x_{ac} - aerodinamik markazning joylashuvi, x_{cg} - og'irlik markazining joylashuvi, C_m^α esa hujum burchagi bo'yicha moment koeffitsiyenti hisoblanadi. Ifodaning ishorasi va qiymati statik bo'ylama barqarorlikni belgilaydi.

Variantlarni saralash. Har bir variant uchun ko'rsatkichlar to'plami (E , L/W , kreyser tezligidagi ko'tarilish zaxirasi, barqarorlik, massa va o'lcham xususiyatlari) hisoblab chiqiladi. Variantlar ko'p mezonli yaxlit ko'rsatkich asosida darajalanadi (12-formulaga qarang).

Analitik modeldagi farazlar, cheklovlar va xatolik chegaralarini aniqlash. Analitik modelning soddalashtiruvchi taxminlari bilan bog'liq barcha farazlar, qo'llanish doiralari va kutilayotgan xatoliklar aniq-ravshan qayd etiladi.

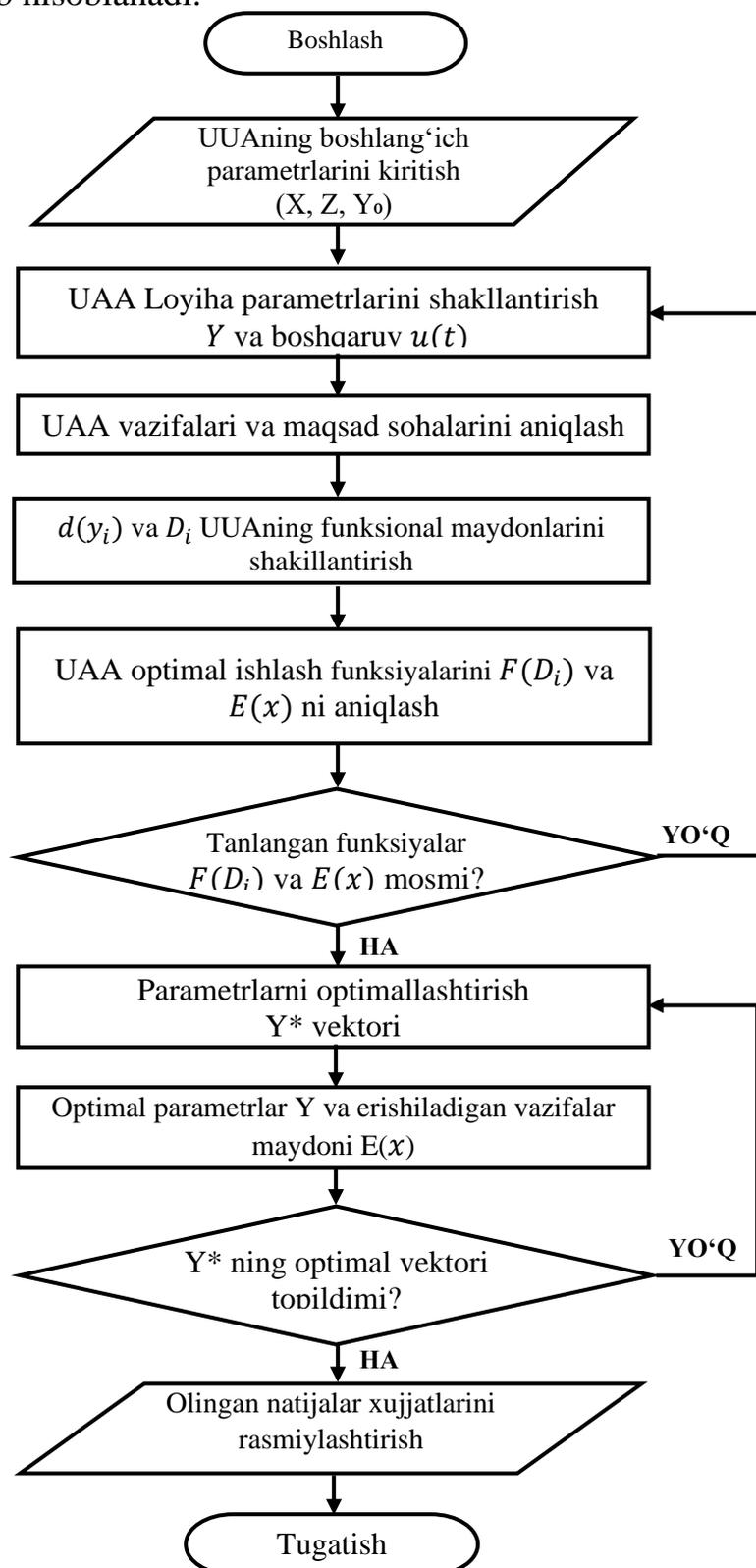
Optimallashtirishning yaxlit mezonlari. i -variantni ko'p mezonli baholash uchun umumlashtirilgan integral ko'rsatkich F_i qo'llaniladi:

$$F_i = w_1 \frac{E_i}{E_{max}} + w_2 \frac{(L/W)_i}{(L/W)_{max}} + w_3 \frac{U_{payload,i}}{U_{payload,max}} - w_4 \frac{D_i}{D_{max}}, \quad (11)$$

bu yerda:

- w_1, w_2, w_3, w_4 - mezonlarning og'irligi $\sum_j w_j = 1$
- E_i - i variantning aerodinamik xususiyati;
- $(L/W)_i$ - i varianti uchun ko'tarish kuchining massaga nisbati (yoki xos ko'tarish qobiliyati);
- $U_{payload,i}$ - i -variantning foydali yuklama qiymati;
- D_i - i varianti uchun kreyser tezligidagi qarshilik;

- “max” indeksli miqdorlar - ko‘rib chiqilayotgan variantlar to‘plami bo‘yicha eng yuqori qiymat (normallashtiruvchi ko‘paytmalar). F_i qiymati eng yuqori bo‘lgan variant optimal deb hisoblanadi.



2-rasm. UUAni maqsadli parvoz-texnik ko‘rsatkichlariga muvofiq loyihalashning umumlashtirilgan algoritmining blok-sxemasi

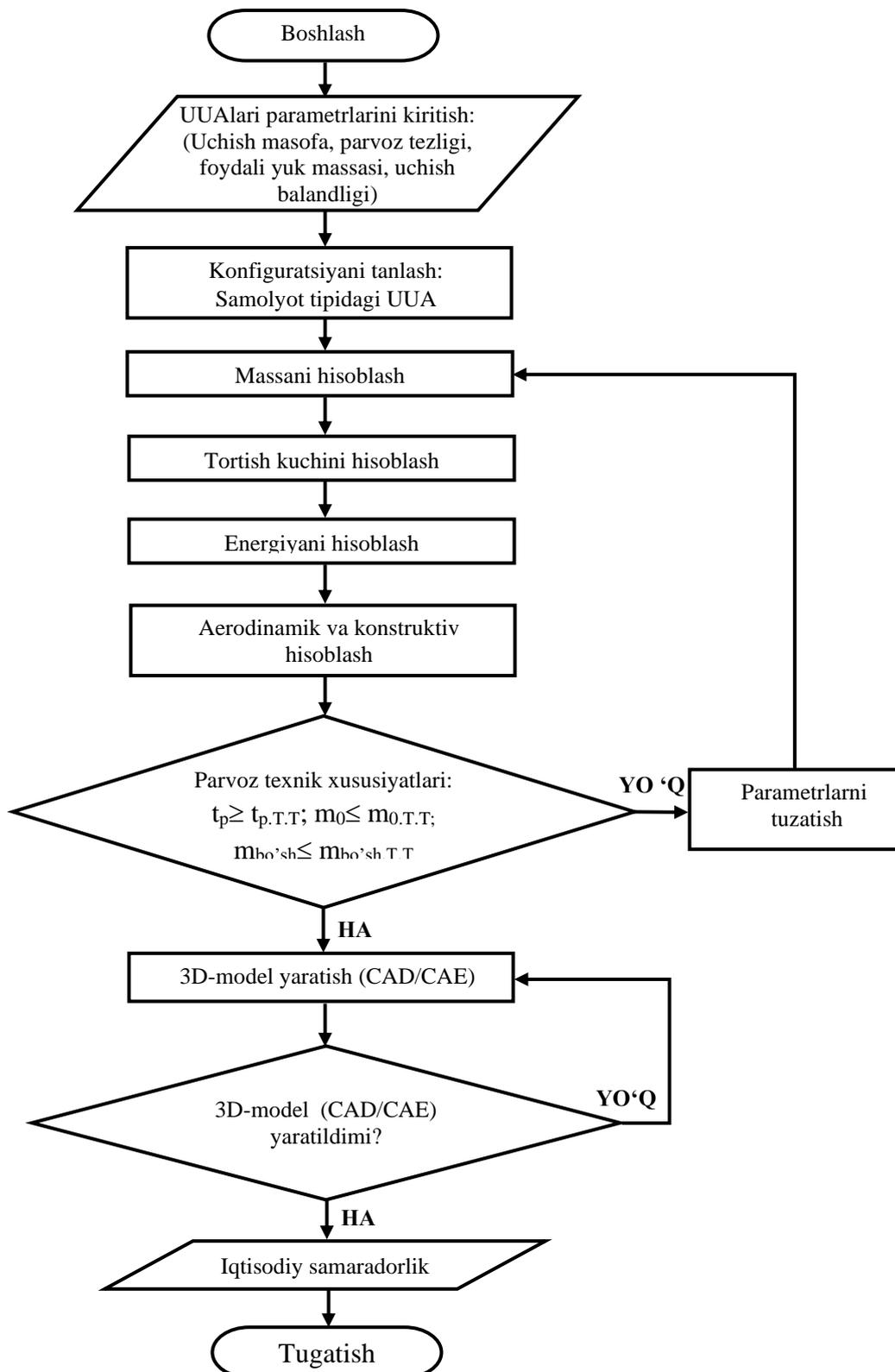
2-rasmda UUAni maqsadli parvoz-texnik ko‘rsatkichlariga muvofiq loyihalashning umumlashtirilgan algoritmining blok-sxemasi. Ushbu algoritm

UUAning muvofiqlashtirish ko'rsatkichlarini hamda optimal parametrlarini aniqlash imkonini berdi.

$$F_{opt} = \max_i F_i, \quad (12)$$

Cheklovlar (taxminiy ifodalar):

$$x_{cg,min} \leq x_{cg} \leq x_{cg,max}, \quad P \geq P_{min}, \quad V_{stall} \leq V_{required}, \quad (13)$$



3-rasm. Ko'p maqsadli UUA ni optimal konstruktiv-aerodinamik shaklini loyihalash konseptual algoritmining blok-sxemasi

Amaliy formula va hisob-kitoblar ketma-ketligi.

1. Geometriya variantlari to'plamini belgilaymiz ($S, AR, \lambda, \bar{c}, x_{cg,rel}$ va boshqalar).

2. Berilgan V tezlik va ρ zichlik uchun, talab qilingan L/W nisbatiga mos keladigan ko'tarish kuchini hosil qilish uchun zarur bo'lgan C_L ni hisoblaymiz:

$$L = W = mg, \quad C_L = \frac{2W}{\rho V^2 S}, \quad (14)$$

C_L orqali C_D ni $C_D = C_{D0} + kC_L^2$ modeli yordamida hisoblaymiz va so'ngra D va E ni aniqlaymiz.

3. Chiziqli munosabatlar asosida statik barqarorlik va boshqaruvchanlikni baholaymiz.

4. Integral ko'rsatkich F_i ni hisoblab chiqamiz va variantlarni tartiblaymiz.

Yuqorida keltirilgan metodikaning konseptual algoritmi asosi 3-rasmda keltirilgan. Unga asosan quyidagilar bajariladi: texnik topshiriq talablariga javob beradigan apparat konfiguratsiyasini tanlash; og'irlik-taqsimot, tortish kuchi va energiya samaradorligi kabi parametrlarni hisoblab chiqish; CAD va CAE muhitlarida modellash va tahlilni ta'minlash; apparatni real shartlarda ishlatishga yaqinlashtirish uchun yagona strukturada qaror qabul qilishni ta'minlash. UUA loyihalashning umumiy konseptual algoritmi quyidagi takroriy bosqichlarni o'z ichiga oladi (3-rasm).

Optimal parametrlarni hisoblash uchun algoritm tuziladi. Boshlang'ich ma'lumotlar sifatida M, F, L, V, T, D lar qabul qilingan. Yuqorida keltirilgan formulalar yordamida UUAning parametrlari hisoblanadi.

3-rasmda keltirilgan ko'p maqsadli UUA ni optimal konstruktiv-aerodinamik shaklini loyihalash konseptual algoritmining blok-sxemasi UUA 3D modelini yaratish imkonini berdi. Yaratilgan UUAning 3D modeli yordamida har xil turdagi UUA lar modellarini loyihalash mumkin bo'ladi.

Birinchi yaqinlashishda UUAning uchish og'irligi va uchish massasini hisoblanadi. Ushbu loyihada uchuvchisiz uchish apparatining (UUA) foydali yuk massasi $m_{kn} = 3$ kg deb qabul qilindi. Hisobiy parvoz masofasi $L_p = 10$ km ni tashkil etadi, kreyser rejimdagi parvoz tezligi esa $V_{kr} = 36$ m/s deb olindi.

Shu boshlang'ich ma'lumotlardan foydalanilgan holda, loyihalashtirilayotgan UUAning birinchi taxminiy uchish massasi quyidagi munosabat asosida aniqlanadi:

$$m_0^e = \frac{m_{kn}}{1 - \sum_i \bar{m}_i} = \frac{3}{1 - 0,784} = 13,85 \text{ kg}, \quad (15)$$

bu yerda:

m_0^e – UUAning uchishga tayyor massasi;

m_{kn} – foydali yuk massasi;

\bar{m}_i – alohida konstruktiv tizim va agregatlarning ulush massalari.

Qanotning umumiy yuzasi quyidagi tenglama yordamida aniqlanadi:

$$S_{kp} = \frac{m_0}{p_0} = \frac{13,85}{24} = 0,57 \text{ m}^2 \quad (16)$$

bu yerda:

– m_0 - UUAning umumiy uchish massasi;

– p_0 - parvoz jarayonida 1 m² qanot yuzasiga to‘g‘ri keladigan solishtirma aerodinamik yuk miqdori.

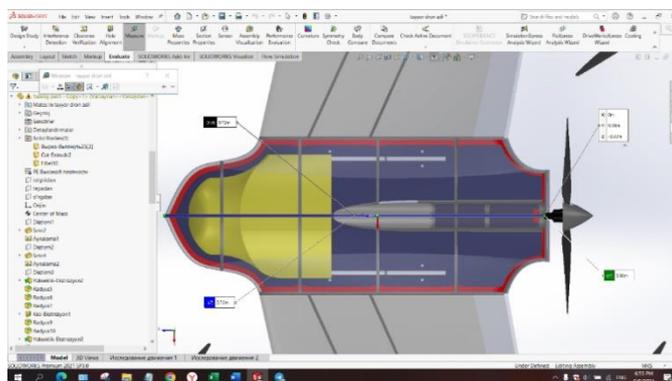
Prototip sifatida olingan UUA ning mavjud statistik ko‘rsatkichlari tahlil qilinib, ularning asosida loyiha uchun zarur bo‘lgan parametrlar tanlab olindi.

Shunday qilib, loyihalashtirilayotgan uchuvchisiz uchish apparatining (UUA) qanoti uchun quyidagi asosiy geometrik ko‘rsatkichlarni aniqlash mumkin.

Jumladan, qanot qulochi quyidagi ifoda orqali hisoblanadi:

$$L_{kp} = \sqrt{\lambda_{kp} \cdot S_{kp}} = \sqrt{11,9 \cdot 0,57} = 2,62 \text{ m} \quad (17)$$

Fyuzelyaj parametrlarini tanlash. Fyuzelyajdagi yuk bo‘limining zarur hajmi tashiladigan yukning og‘irligi va hajmiy xususiyatlariga muvofiq aniqlanadi, (4-rasm).



4-rasm. UUA ning fyuzelyaji

Parvoz jarayonida UUA ning qanotiga to‘g‘ri keladigan solishtirma yuk hamda tortish kuchi bilan ta‘minlanganlik darajasi aniqlanadi. Qanotning 1 m² yuzasiga to‘g‘ri keladigan solishtirma yuk, avvalo, qo‘nishga kirish tezligini ta‘minlash sharti asosida belgilanadi:

$$p_0^1 = \frac{c_{y,max. \text{ noc}} \cdot v_{3n}^2}{30,2 \cdot (1 - \bar{m}_{tr})} = \frac{2,57 \cdot 10^2}{30,2 \cdot (1 - 0,1085)} = 9,57 \text{ kГ/m}^2, \quad (18)$$

bu yerda:

– $S_{u,max,pos}$ qanotni mexanizatsiyalash tizimining turiga qarab statistik ma‘lumotlar asosida aniqlanadi;

– bir bosqichli orqa qanotchalar uchun $s_{u,max,pos} = 2,6 \cdot \cos(28^\circ) = 2,57$;

– $\bar{m}_{tr} = 0,2686$ – parvoz davomida sarflanadigan energiyaning nisbiy massasi;

– $V_{zp} = 36 \text{ km/soat} = 10 \text{ m/s}$ – hisobiy ko‘tarilish tezligi.

Bundan tashqari, qanot yuzasiga to‘g‘ri keladigan solishtirma yuk qiymati kreyser parvoz tezligini ta‘minlash sharti asosida aniqlanadi.

Bo‘sh og‘irligi 5,84 kg bo‘lgan VTOL turidagi UUA uchun parvozning har xil rejimlariga mos elektr dvigatellar tanlandi. Vertikal parvoz uchun T-Motor U12II KV80, gorizontol parvoz uchun esa T-Motor U8 Lite KV85 dvigatellari qo‘llanildi. Aparatning 10 km masofali parvozini ta‘minlash maqsadida quvvati 20000 mAs bo‘lgan, kuchlanishi tanlangan motorlar talablariga mos LiPo akkumulyator energiya manbai sifatida tanlab olindi.

UUAning geometrik parametrlarini qayta hisoblash. Olingan ikkinchi taxminiy massa qiymatlariga asoslanib, UUAning asosiy geometrik ko‘rsatkichlari qayta hisoblab chiqiladi. Ushbu bosqichda ikki trapesiyadan tashkil topgan birlashtirilgan qanotning geometrik parametrlarini aniqlash amalga oshiriladi.

1. Asosiy trapetsiya bo‘ylab qanot qulochi

$$l_{kp} = \sqrt{\lambda_{kp}^{o.T} \cdot S_{kp}^{o.T}} = \sqrt{11,9 \cdot 0,62} = 2,13 \text{ m}, \quad (19)$$

bu yerda:

$$S_{kp}^{o.T} = 1,10735 \cdot S_{kp} = 1,10735 \cdot 0,57 = 0,62 \text{ m}^2, \quad (20)$$

2. Qanotning umumiy yuzasi

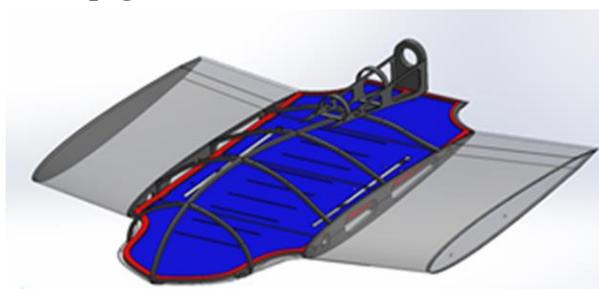
$$S_{kp}^{\Sigma} = S_{kp}^{\phi} + S_{kk} = 0,57 + 0,011 = 0,581 \text{ m}^2, \quad (21)$$

UUAning massalar markazini hisoblash. Uchuvchisiz uchish apparatini (UUA) komponovkalash jarayonidagi eng muhim bosqichlardan biri – apparatning massalar markazini aniqlash va uni qanotning o‘rtacha aerodinamik xordasiga nisbatan optimal holatda joylashtirishdir. Bu yondashuv parvoz barqarorligini ta’minlash va boshqaruv samaradorligini oshirish uchun zarur hisoblanadi. Qanotning o‘rtacha aerodinamik xordasi qiymati $b_a = 0,31\text{m}$ deb qabul qilindi. UUAning massalar markazi SolidWorks dasturining CAE hamda CAD modullari yordamida aniqlangan natijalar 5-jadvalda keltirilgan.

5-jadval

Massalar markazini aniqlashdagi koordinata tizimi	Qabul qilingan texnik standart	
Massasi, kg	Hajmi, m ³	Sirt maydoni, m ²
$m_0 = 13,850 \sim g$	$V = 8\,348\,864,46 \text{ mm}^3$	$S = 5\,535\,378,50 \text{ mm}^2$

Shuningdek, ko‘p maqsadli uchuvchisiz uchish apparatini ishlab chiqarish uchun texnologik takliflar ishlab chiqilgan.



5-rasm. Fyuzelyaj va qanotning biriktirilishi.

UUA ishlab chiqarishning o‘ziga xosligi an’anaviy uchish apparatlariga nisbatan texnik, texnologik va tashkiliy jihatlarida farqli yondashuv talab qilinishida ifodalanadi. Samolyot tipidagi UUAlari tuzilishi bo‘yicha uchar qanot sxema asosida loyihalangan bo‘lsada (5-rasm), UUA bajaradigan vazifalar va unda qo‘llaniladigan materiallarda katta farqlarga ega. Qanotning yarmi uchun materiallar va homashyo bo‘yicha sarf-harajatlar 396 128 so‘mni tashkil etdi. Unda, ikkala qanotlar (o‘ng va chap) uchun 792 256 so‘mni tashkil etadi. UUA qanotlarini ishlab chiqarish uchun zarur bo‘lgan materiallar va asbob-uskunalarga umumiy sarf **4 692 256 so‘mni** tashkil etadi. Ushbu qiymat loyihaning boshlang‘ich sarmoya xarajatlari hisobga olingan.

3. Loyihaning iqtisodiy samaradorligi ko'rsatkichlari

A) Loyihaning sof joriy qiymati (NPV)

Loyihaning sof joriy qiymati quyidagi munosabat orqali aniqlandi:

$$NPV = \sum_{t=1}^T \frac{CF_t}{(1+r)^t} - I_0, \quad (22)$$

bu yerda

CF_t – t-yildagi sof naqd pul oqimi,

r – diskontlash stavkasi,

I_0 – boshlang'ich investitsiya miqdori.

Hisob-kitoblar natijasida:

$NPV = 5\,661,79 - 2\,566 = 3\,095,79$ ming so'm qiymat olindi. Demak,

$$NPV > 0, \quad (23)$$

bo'lgani uchun loyiha iqtisodiy jihatdan ma'qul deb baholanadi.

B) Loyihaning o'zini-o'zi qoplash muddati (PP)

O'zini-o'zi qoplash muddati quyidagi ifoda bilan aniqlandi:

$$PP = \frac{I_0}{CF_{yil}}, \quad (24)$$

bu yerda I_0 – boshlang'ich sarmoya xarajatlari,

CF_{yil} – loyihadan olinadigan yillik sof foyda.

Hisoblangan qiymatlar asosida:

$$PP = \frac{2\,446}{1\,689} \approx 1,45 \text{ yil}, \quad (25)$$

Shu bilan:

$$PP < 2 \text{ yil}, \quad (26)$$

sharti bajariladi va loyiha qisqa muddatda o'zini qoplaydi.

C) Loyihaning foydalilik indeksi (PI)

Foydalilik indeksi quyidagi formula asosida hisoblandi:

$$PI = \frac{NPV}{I_0}, \quad (27)$$

Berilgan qiymatlar uchun:

$$PI = \frac{3\,095,79}{2\,566} \approx 1,21, \quad (28)$$

Shundan kelib chiqib:

$$PI > 1, \quad (29)$$

bo'lgani sababli loyiha investitsion jihatdan samarali hisoblanadi.

Yakuniy iqtisodiy xulosa. Quyidagi shartlarning bir vaqtning o'zida bajarilishi:

- $NPV > 0$ – loyiha sof iqtisodiy foyda keltirishini;
- $PP < 2$ yil – sarmoya qisqa muddatda o'zini qoplashini;
- $PI > 1$ – investitsiya foydaliligi yuqori ekanligini tasdiqlaydi.

Shu asosda, UUA ni ishlab chiqish va amaliyotga joriy etish bo'yicha taklif etilayotgan loyiha iqtisodiy jihatdan ma'qul, nisbatan kam xatarli va yuqori foydalilik salohiyatiga ega degan xulosa beriladi.

XULOSA

Ko'p maqsadli (jumladan VTOL tipidagi) uchuvchisiz uchish apparatini loyihalashda optimal parvoz-texnik ko'rsatkichlarni tanlash, kompleks baholash va amaliyotga joriy etish bo'yicha o'tkazilgan tadqiqot natijalariga ko'ra quyidagi xulosalar taqdim etilgan:

1. Ko'p maqsadli uchuvchisiz uchish apparatlarini loyihalashda qo'llaniladigan konseptual va parametrik yondashuvlar tizimli tahlil qilinib, ularni yagona loyihalash zanjirida uyg'unlashtiruvchi konseptual-uslubiy asoslar ilmiy jihatdan asoslab berilgan. Natijada loyihalash jarayonini izchil tashkil etish va optimal variantni tanlashga xizmat qiluvchi metodik yondashuv shakllantirilgan.
2. Aerodinamik, energetik va konstruktiv parametrlar o'rtasidagi o'zaro ta'sirni birgalikda hisobga oluvchi integratsiyalashgan matematik model ishlab chiqilgan hamda muvofiqlik shartlarini kiritish va moslikni iterativ aniqlash asosida takomillashtirilgan. Natijada parvoz-texnik ko'rsatkichlarni tanlash aniqligini oshirish va loyihaviy qarorlarni asoslash imkoniyati yaratilgan.
3. Aerodinamik optimallashtirish va sonli mustahkamlik tahlili natijalarini uyg'unlashtirgan, ishonchlilik ko'rsatkichlarini inobatga oluvchi taqqoslash mezonlari asosida optimal loyihaviy yechimni tanlashni ta'minlovchi hisoblash algoritmlari majmuasi ishlab chiqilgan. Natijada variantlarni kompleks solishtirish hamda tanlash jarayonlarini avtomatlashtirish imkoniyati ta'minlangan.
4. VTOL tipidagi uchuvchisiz uchish apparati uchun parametrik 3D raqamli prototip, aerodinamik tavsiflar hamda mustahkamlikka hisoblash modellarini qamrab oluvchi raqamli modellashtirish majmuasi ishlab chiqilgan. Natijada konstruktiv va aerodinamik parametrlarni baholash hamda optimal konfiguratsiyani tanlashni qo'llab-quvvatlovchi hisoblash modeli yaratilgan.
5. Oldindan belgilangan parvoz-texnik talablarni ta'minlovchi matematik-algoritmik va dasturiy vositalar majmuasi yaratilgan hamda EHMda sinovdan o'tkazilgan. Natijada loyihalash, baholash va optimallashtirish bosqichlarida hisoblash tajribalariga tayangan holda tezkor qaror qabul qilish imkoniyati asoslangan.
6. Parvoz-texnik ko'rsatkichlar bilan belgilangan konstruktiv talablar doirasida kompozit materiallarning fizik-mexanik xususiyatlarini modellashtirish orqali material tanlash mezonlarini baholash usuli ishlab chiqilgan. Natijada UUA konstruksiyasi uchun optimal material variantini tanlashning ilmiy asoslari shakllantirilgan.
7. Tadqiqotda ishlab chiqilgan uslubiyot, dasturiy vositalar va hisoblash yechimlari ishlab chiqarish-amaliy jarayonlarga tatbiq etilib, texnologik yechimlarni shakllantirish va iqtisodiy samaradorlikni baholash yo'nalishlarida sinovdan o'tkazilgan hamda tegishli tashkilotlar, jumladan "Chirchiq aviatsiya ta'mirlash zavodi" DK, "Geoinnovatsiya markazi" DUK va Mudofaa sanoati agentligi faoliyatida qo'llanilgan. Natijada taklif etilgan loyihaviy yechimlarning amaliy qo'llanishga yaroqliligi va joriy etish maqsadga muvofiqligi asoslangan.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ ПО ПРИСУЖДЕНИЮ НАУЧНЫХ СТЕПЕНЕЙ
PhD.10/2025.27.12.T.01.07 ПРИ ТАШКЕНТСКОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ
ТРАНСПОРТНОМ УНИВЕРСИТЕТЕ**

**ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТРАНСПОРТНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ**

ТАХИРОВ ДЖОНИБЕК КОБИЛОВИЧ

**ВЫБОР ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ МНОГОЦЕЛЕВЫХ
БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ**

**05.02.08 – Проектирование летательных аппаратов, их конструкция,
производство, эксплуатация и наземные комплексы**

**АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ ДОКТОРА ФИЛОСОФИИ (PhD)
ПО ТЕХНИЧЕСКИМ НАУКАМ**

Ташкент – 2026

Тема диссертации на соискание ученой степени доктора философии (PhD) по техническим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Министерстве высшего образования, науки и инноваций Республики Узбекистан под номером B2024.4.PhD/T1608.

Диссертация выполнена в Ташкентском государственном транспортном университете. Автореферат диссертации на трех языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещен на веб-сайте Научного Совета (www.tstu.uz) и Информационно-образовательном портале «Ziyonet» (www.ziyonet.uz).

Научный руководитель:

Абдужабаров Нуриддин Анварович
кандидат технических наук, доцент

Официальные оппоненты:

Парсиев Сайдирахат Солиходжаевич
доктор технических наук, профессор

Шамсиев Расул Заирович

доктор философии по техническим наукам (PhD), доцент

Ведущая организация:

Ташкентский государственный технический университет имени Ислама Каримова

Защита диссертации состоится «_____» _____ 2026 г. в _____ часов на заседании Научного совета PhD.10/2025.27.12.T.01.07 при Ташкентском государственном транспортном университете. (Адрес: 100167, г. Ташкент, ул. Темирийулчилар, 1. Тел.: (99871) 299-00-01; факс: (99871) 293-57-54; e-mail: rektorat@tstu.ru).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Ташкентского государственного транспортного университета (регистрационный номер - _____). (Адрес: 100167, Ташкент ул. Темирийулчилар, 1. Тел.: (99871) 299-05-66).

Автореферат диссертации разослан «_____» _____ 2026 года.
(протокол реестра № _____ от «_____» _____ 2026 года).

А.Абдукаюмов
Председатель Научного совета
по присуждению ученых степеней,
д.т.н., профессор

И.С.Матуразов
Ученый секретарь Научного совета
по присуждению ученых степеней, PhD, доцент

Х.Х.Хуснутдинова
Председатель научного семинара
при Научном совете по присуждению
учёных степеней, к.т.н., доцент

ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации на соискание ученой степени доктора философии (PhD))

Актуальность и необходимость темы диссертации. В мире расширение масштабов практического применения многоцелевых беспилотных летательных аппаратов, обеспечение выполнения полётных задач с высокой точностью при одновременном повышении безопасности полётов, повышение эксплуатационной эффективности, а также внедрение оперативных и надёжных решений мониторинга занимают одно из ведущих направлений. В мировой практике в анализах происшествий беспилотных летательных аппаратов отмечается, что причины, связанные с человеческим фактором, занимают значительную долю (например, для отдельных типов беспилотных летательных аппаратов – от 21% до 47%)¹. Кроме того, с учётом возрастающих требований к устойчивости и надёжности возникает необходимость разработки интегрированных математических моделей и алгоритмов оптимизации, учитывающих во взаимосвязи аэродинамические, энергетические и конструктивные факторы при проектировании беспилотных летательных аппаратов, а также совершенствования методов автоматизации проектных процессов. С этой точки зрения особое внимание уделяется разработке концептуальных и параметрических подходов к проектированию, обеспечивающих оптимальные лётно-технические характеристики в рамках установленных ограничений, их научному обоснованию на основе результатов расчёта конструкции, а также уделяется особое внимание развитию решений, направленных на осуществление выбора материала на основе установленных критериев.

В мировом масштабе в исследованиях, направленных на создание беспилотных летательных аппаратов и повышение их лётно-технических характеристик, проводятся научные работы по математическому описанию аэродинамических процессов, формированию уравнений движения, определению критериев устойчивости и управляемости, а также по решению задач оптимизации в пространстве параметров с учётом ограничений. В данном направлении приоритетными считаются исследования, направленные на теоретическое раскрытие взаимосвязи аэродинамических, энергетических и конструктивных параметров, применение аппарата многокритериальной оптимизации, формирование интегрированных математических моделей с введением функциональных зависимостей и условий согласования, а также оценку их адекватности. Вместе с тем обеспечение согласованности моделей, итерационное уточнение параметров, решение задач идентификации и синтеза в рамках единого подхода с целью повышения точности прогнозирования полётных режимов и обоснованного определения критериев принятия решений относится к числу актуальных задач.

¹ <https://archive.org/details/analysisofhumca1094544637>

В Республике осуществляются системные меры по внедрению энерго- и ресурсосберегающих технологий в различные отрасли экономики, в том числе по расширению эффективного использования беспилотных летательных аппаратов в сельском хозяйстве, экологическом мониторинге, геодезии и аэрофотосъёмке, транспортно-логистической сфере, при чрезвычайных ситуациях и в оборонном направлении, адаптации платформ беспилотных летательных аппаратов к местным условиям, а также по технологической модернизации процессов их создания и эксплуатации, в результате чего достигаются определённые результаты. В Стратегии развития Нового Узбекистана на 2022–2026 годы определены приоритетные цели по внедрению цифровых технологий, повышению эффективности отраслей на основе инновационных решений, а также развитию высокотехнологичной продукции и услуг. В достижении данных целей одной из важных задач является научно обоснованный выбор оптимальных лётно-технических характеристик для многоцелевых беспилотных летательных аппаратов самолётного типа, создание комплекса интегрированных моделей и алгоритмов, обеспечивающих комплексную оценку аэродинамических, энергетических и конструктивных параметров во взаимосвязи, автоматизация концептуального и параметрического этапов проектирования, а также разработка комплекса программных средств, ускоряющих процесс принятия решений.

Настоящая диссертационная работа в определённой степени служит реализации задач, установленных в постановлении Кабинета Министров Республики Узбекистан № 150 от 12 мая 2016 года «О мерах по регулированию использования беспилотных летательных аппаратов в воздушном пространстве Республики Узбекистан», постановлении Президента Республики Узбекистан № ПҚ-3639 от 29 марта 2018 года «О мерах по целевому и эффективному использованию беспилотных летательных аппаратов гражданской авиации в отраслях экономики»², а также в постановлении Кабинета Министров Республики Узбекистан № 658 от 15 ноября 2022 года «О дополнительных мерах по регулированию использования беспилотных летательных аппаратов в Республике Узбекистан» и иных нормативно-правовых актах, регулирующих данную деятельность.

Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики. Данная научно-исследовательская работа выполнена в рамках приоритетных направлений развития науки и технологий Республики Узбекистан: “I. Укрепление научно-исследовательской деятельности и внедрение инноваций”, “VII. Космические исследования и развитие транспортной инфраструктуры”, а также “VIII. Развитие безопасности, обороны и стратегических ресурсов”.

Степень изученности проблемы. Анализ научно-технической литературы последних лет, основанный на результатах исследований в области проектирования беспилотных летательных аппаратов, разработки технологии производства, расчета конструкции и прочности, создания методов и

² Постановлении Президента Республики Узбекистан от 29 марта 2018 года ПП-3639 “О мерах по целевому и эффективному использованию БПЛА гражданской авиации в отраслях экономики”

алгоритмов аэродинамических и математических расчетов, показывает, что в этой сфере достигнуты значительные теоретические и практические результаты. Опубликовано ряд научных работ по проектированию, производству беспилотных летательных аппаратов и их применению в отраслях экономики, разработаны концепции, и с каждым годом увеличивается количество исследований, направленных на решение практических задач. В изучении вопросов проектирования беспилотных летательных аппаратов значительный вклад внесли зарубежные ученые, такие как Abdul Aabid, Selçuk Bayraktar, B.A. Комаров, А.А. Самойловский, Ahmet Yigit Arabul, N. Kumar, S. Saderla и другие Wang B., Ruben Raphael D'Sa, Reinhardt D., Quan Q., Darwin Jimenez, Гумбатов Д.А., а также отечественные ученые Х.Г. Саримсаков, А.Х. Якубов, А.Х. Султанов, Х.Х. Хуснутдинова, внесшие большой вклад в проектирование, расчет прочности и производство летательных аппаратов. Кроме того, Ш.Ф. Ганиханов, К.Б. Усманов, З.З. Шамсиев, Т.А. Сагдиев, Р.Х. Сайдахмедов, Н.А. Абдужабаров и другие внесли значительный вклад в теорию производства летательных аппаратов.

Вместе с тем недостаточно изучены вопросы повышения аэродинамической эффективности многоцелевого беспилотного летательного аппарата, аэродинамические и динамические процессы, протекающие в элементах конструкции, распределение нагрузок в различных режимах полёта, а также проблемы оптимизации конструкции аппарата с точки зрения массы, прочности и энергетической эффективности.

Соответствие диссертационного исследования планам научно-исследовательских работ высшего учебного заведения. Диссертационное исследование выполнено в рамках научно-исследовательского плана Ташкентского государственного технического университета имени Ислама Каримова по проекту 561989-EPP-1-2015-1-UK-EPPKA2-SBHE-JP «Безопасность полётов и лётная годность» (ERASMUS+, 2015–2018 годы). Кроме того, тема диссертации сформирована на основе технического задания, разработанного совместно кафедрой «Авиационный инжиниринг» Ташкентского государственного транспортного университета и руководством университета и «ЧАТЗ» в соответствии с утверждённым на 2021–2031 годы научно-образовательным соглашением.

Цель исследования заключается в совершенствовании оптимальных лётно-технических характеристик многоцелевого беспилотного летательного аппарата на этапе его проектирования.

Задачи исследования:

системный анализ концептуальных и параметрических методов, применяемых при проектировании беспилотного летательного аппарата, и обоснование их научно-технических основ;

разработка интегрированной математической модели, поддерживающей процессы проектирования и оценки беспилотного летательного аппарата на основе лётно-технических характеристик;

исследование взаимосвязи параметров при выборе внешней конфигурации беспилотного летательного аппарата на основе аэродинамической оптимизации и формировании его автоматизированной визуальной 3D-модели;

совершенствование подходов к комплексной оценке аэродинамических, конструктивных и показателей надёжности беспилотного летательного аппарата на основе анализа прочности конструкции;

разработка метода оценки критериев выбора материала, соответствующего конструктивным требованиям беспилотного летательного аппарата, на основе моделирования физико-механических свойств композиционных материалов.

Объект исследования: процесс проектирования беспилотных летательных аппаратов и вопросы целенаправленного формирования и выбора оптимальных летно-технических характеристик, соответствующих поставленным задачам.

Предмет исследования: Метод проектирования типовых конструкций многоцелевых беспилотных летательных аппаратов самолетного типа, соответствующих заранее заданным летно-техническим характеристикам, комплекс моделей и алгоритмы их реализации.

Методы исследования

В процессе исследования использовались программные комплексы **SolidWorks** и **ANSYS**, математический пакет **Octave**, методы имитационного и математического моделирования, аэродинамического, конструктивного и прочностного анализа, методы оптимизации проектных параметров, а также методы теоретического и аналитического анализа научно-технической информации.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

разработан концептуально-методический подход, обеспечивающий увязку концептуального и параметрического этапов в единой системе при проектировании многоцелевого беспилотного летательного аппарата, автоматизирующий процесс комплексной оценки и выбора оптимального варианта с одновременным учётом взаимного влияния аэродинамических, энергетических и конструктивных параметров;

усовершенствована интегрированная математическая модель, повышающая точность выбора основных показателей на основе введения условий согласования для обеспечения функциональной совместимости беспилотного летательного аппарата и итерационного уточнения соответствия;

разработан комплекс вычислительных алгоритмов, обеспечивающий выбор оптимального проектного решения на основе сопоставительных критериев с учётом показателей надёжности при согласовании результатов аэродинамической оптимизации и численного анализа прочности;

разработан метод оценки критериев выбора материала путём моделирования физико-механических свойств композиционных материалов на основе конструктивных требований, сформированных в результате совершенствования летно-технических характеристик беспилотного летательного аппарата.

Практические результаты исследования:

разработаны научно обоснованные рекомендации по формированию рациональной конструктивно-силовой схемы многоцелевого беспилотного летательного аппарата и выбору его оптимальных параметров, направленные на совершенствование конструктивной структуры аппарата с учётом требований его применения в различных отраслях экономики;

для беспилотного летательного аппарата типа VTOL в средах SolidWorks и ANSYS разработаны параметрический 3D-цифровой прототип, а также расчётные аэродинамическая и прочностная модели, на основе которых создана вычислительная модель, обеспечивающая оценку конструктивных и аэродинамических параметров и выбор оптимального варианта.

создан комплекс математико-алгоритмических и программных средств, обеспечивающих достижение заданных лётно-технических характеристик, который прошёл вычислительные испытания на ЭВМ и обоснован с точки зрения возможности практического применения и эффективности;

в рамках требований заказчика разработана анимационная (визуальная) модель, отражающая технологическое членение конструкции беспилотных летательных аппаратов и процессы его сборки.

Достоверность результатов исследования. Достоверность результатов исследования обеспечивается применением современных методов расчёта и моделирования, соответствием полученных результатов установленным техническим требованиям и данным нормативной документации, а также подтверждается внедрением разработанных предложений и рекомендаций в практическую деятельность.

Научная и практическая значимость результатов исследования. **Научная значимость** результатов исследования заключается в совершенствовании концептуально-методического подхода, обеспечивающего непрерывный целевой автоматизированный процесс проектирования многоцелевых беспилотных летательных аппаратов, разработке интегрированной математической модели, учитывающей взаимосвязь аэродинамических, энергетических и конструктивных факторов, а также создании алгоритмических решений, обеспечивающих комплексную оценку лётно-технических характеристик и выбор оптимальных проектных параметров.

Практическая значимость результатов исследования определяется разработкой комплекса программных средств, ориентированных на автоматизацию проектирования многоцелевых беспилотных летательных аппаратов, включая аппараты типа VTOL, созданием прикладных расчётно-моделирующих решений и параметрических моделей в среде CAD/CAE, а также подготовкой практических рекомендаций по выбору конструктивных решений и оптимальных параметров с учётом требований эксплуатации беспилотных летательных аппаратов в различных отраслях экономики.

Внедрение результатов исследования. На основе полученных результатов по выбору оптимальных лётно-технических характеристик при проектировании многоцелевого беспилотного летательного аппарата:

методика проектирования многоцелевого беспилотного летательного аппарата, разработанные в соответствии с её структурой программные средства и рекомендации внедрены в деятельность ГП «Чирчикский авиационный ремонтный завод» (справка Министерства обороны Республики Узбекистан № 10/2367 от 11 ноября 2024 года). В результате в процесс проектирования и оценки беспилотного летательного аппарата внедрены математические модели и методы анализа влияния показателей, установлена возможность увеличения продолжительности полёта до 14 минут, а также обоснована возможность снижения энергопотребления на 5–7%;

экономическая эффективность разработанного проектного решения внедрена в деятельность ГУП «Геоинновационный центр» при Агентстве кадастра Республики Узбекистан (справка Агентства кадастра при Министерстве экономики и финансов Республики Узбекистан № 05/08-10572 от 15 октября 2024 года). В результате интегрированная математическая модель, ориентированная на комплексную оценку лётно-технических характеристик, и алгоритмические решения, обеспечивающие определение оптимальных параметров, внедрены в практику, а экономическая целесообразность проектных решений подтверждена технико-экономическими обоснованиями;

проект беспилотного летательного аппарата, разработанный по методике на основе установленных требований, внедрён в деятельность Агентства оборонной промышленности (справки Министерства обороны № 10/2367 от 11 ноября 2024 года и Министерства транспорта Республики Узбекистан № 4/E1631 от 4 декабря 2024 года). В результате этого на основе выполненных анализов аэродинамических характеристик, конструктивных решений и прочности, а также их влияния на лётно-технические показатели, проектное решение оценено для практического применения и признано необходимым проектом для внедрения проектирования и производства беспилотных летательных аппаратов в отрасли экономики.

Апробация результатов исследования. Результаты исследования прошли апробацию на 6 научно-практических конференциях, в том числе на 4 зарубежных (из них 2 – в сборниках, входящих в базу данных Scopus) и 2 республиканских научно-практических конференциях.

Публикация результатов исследования. По теме диссертации опубликовано всего 22 научные работы, из них 6 статей – в научных изданиях, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для опубликования основных научных результатов докторских диссертаций, в том числе 3 – в республиканских и 3 – в зарубежных журналах, а также 2 – в других научных журналах. Кроме того, получены свидетельства на 7 программ для ЭВМ.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, трех глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Основное содержание диссертации изложено на 110 страницах и включает 22 рисунка и 28 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении диссертации обоснована актуальность научной темы, описаны цели и задачи, объект и предмет исследования. Актуальность исследования отмечена в соответствии с постановлением Президента Республики Узбекистан от 29 марта 2018 года ПП-3639 “О мерах по целевому и эффективному использованию БПЛА гражданской авиации в отраслях экономики”. В частности, актуальность выбранной темы обоснована тем, что в качестве приоритетных задач определены вопросы разработки, локализации БПЛА, совершенствования их технических возможностей, развития научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, а также подготовки специалистов. В контексте данного постановления показано соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий Республики Узбекистан, изложены научная новизна и практические результаты исследования, раскрыта научная и практическая значимость полученных результатов, приведены сведения о внедрении результатов исследования в практику, опубликованных работах и структуре диссертации.

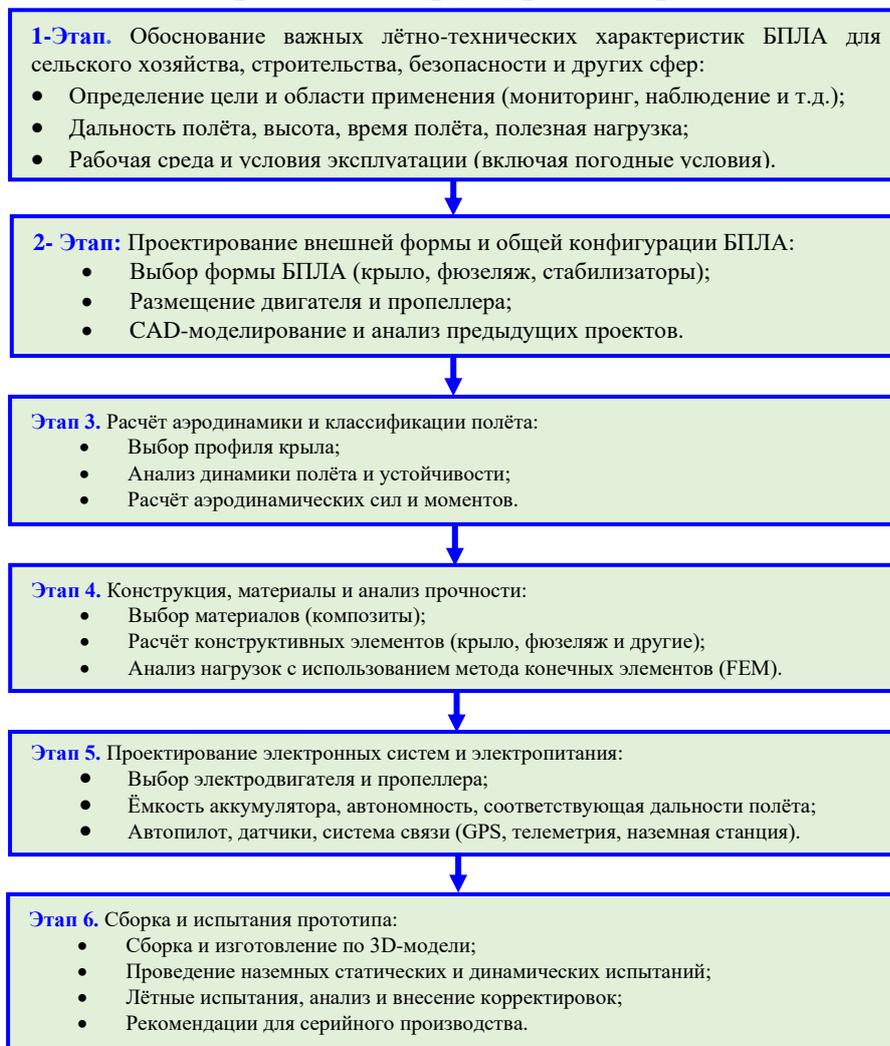


Рис. 1. Общая схема определения внешней формы БПЛА и расчета лётно-технических характеристик

В первой главе диссертации под названием “Актуальность многоцелевых БПЛА в отраслях экономики” всесторонне и системно проанализированы

вопросы, связанные с актуальностью многоцелевых БПЛА в отраслях экономики, освещены теоретические и практические проблемы и вопросы, которые остались вне поля зрения исследований. Приняты следующие основные выводы относительно актуальных научных и практических вопросов, относящихся к этим проблемам и вопросам, которые не нашли своего решения:

БПЛА активно используются в качестве важного технологического инструмента в области сельского хозяйства, строительства, безопасности, экологии и логистики;

Современные методы проектирования, алгоритмы и параметрический анализ играют ключевую роль в повышении функциональной эффективности БПЛА;

Математическое моделирование позволяет определить параметры БПЛА, предварительно оценить риски и найти оптимальные решения;

На основе этих анализов изучено определение показателей, обеспечивающих техническую и экономическую эффективность при проектировании многоцелевых БПЛА. На основе проведенных исследований в данном разрезе установлено, что для расчета конструктивно-аэродинамической, функциональной и экономической эффективности БПЛА целесообразно систематизировать соответствующие аналитические уравнения.

Путем анализа процессов, методов и оценок проектирования БПЛА разработан концептуальный подход к созданию методики целевого проектирования БПЛА с учетом их предстоящих конструктивно-аэродинамических и функциональных показателей (рис. 1).

В главе 2 “Концепция проектирования и математическое моделирование многоцелевых БПЛА” в соответствии с поставленными целями и задачами рассмотрены: аналитическая систематизация конструктивных и функциональных показателей многоцелевых БПЛА; концепция проектирования и выбора общей конструктивной компоновки; метод расчета летно-технических характеристик; выбор и обоснование конструктивно-силовой схемы; структурно-функциональные модели этапов проектирования, связанные с оценкой и выбором конструктивных решений и параметров проектирования в соответствии с целевыми летно-техническими показателями. Разработаны соответствующие методики и модели.

Основные конструктивные и функциональные параметры многоцелевых БПЛА и аналитические формулы для их расчета приведены в единую систему.

Вес (масса), M , кг. Полный вес БПЛА состоит из следующих элементов:

$$M = M_k + M_{yuk} + M_q, \quad (1)$$

где, M_k - вес конструкции БПЛА; $M_{груз}$ - вес груза, соответствующий грузоподъемности БПЛА. M_q - вес дополнительных элементов (датчиков, камер и т.д.).

Аэродинамическая подъемная сила БПЛА:

$$F = C_L \cdot \frac{1}{2} \rho V^2 S, \quad (2)$$

где, C_L - коэффициент подъемной силы, ρ - плотность воздуха, V - скорость воздуха, S - площадь крыла.

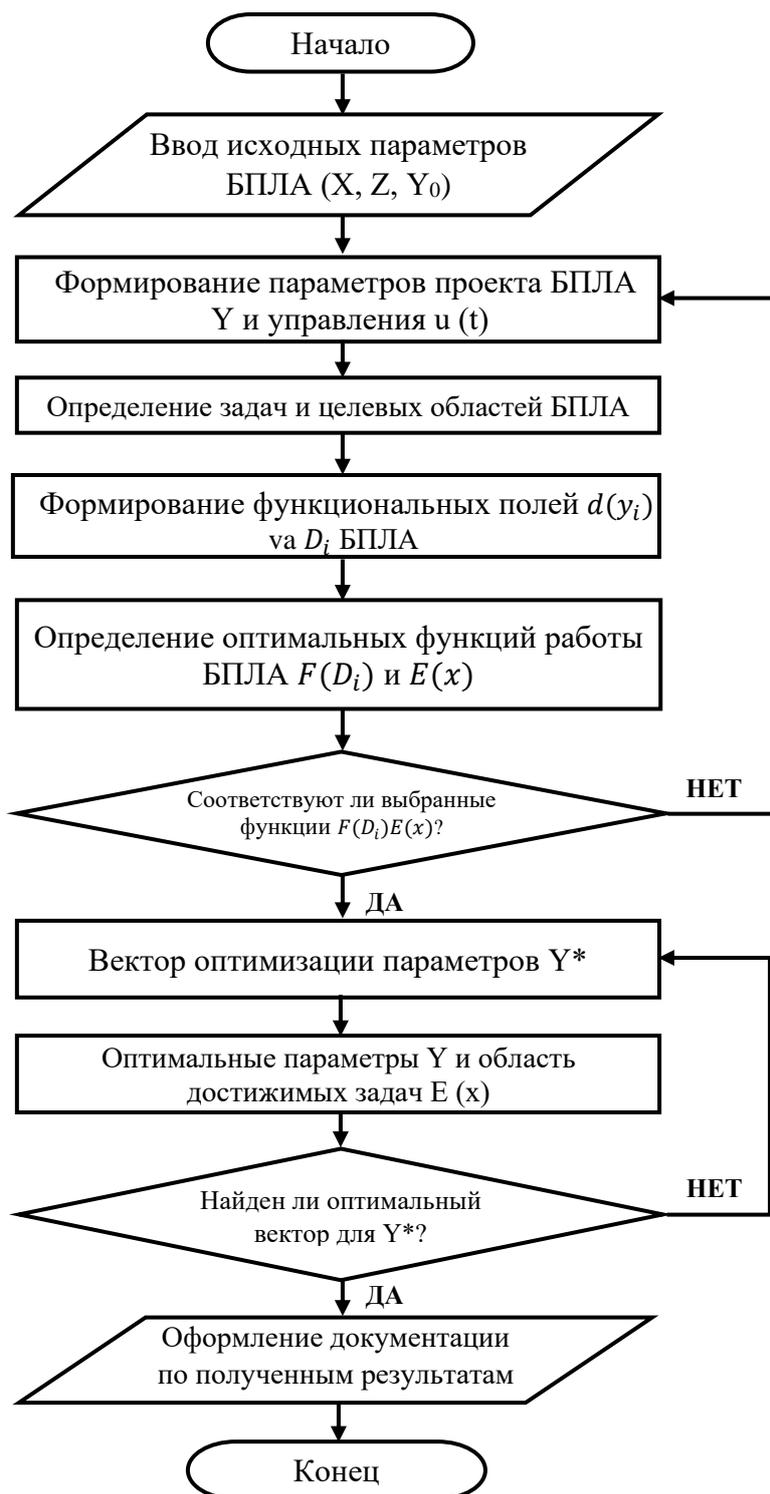


Рис.2. Блок-схема обобщённого алгоритма проектирования БПЛА в соответствии с целевыми лётно-техническими характеристиками

Силы сопротивления (D, \dots, N) . Силы сопротивления, возникающие при движении в воздухе:

$$D = C_D \cdot \frac{1}{2} \rho V^2 S, \quad (3)$$

где, C_D - коэффициент сопротивления. Грузоподъемность (L): Для расчета грузоподъемности:

$$L = W = M \cdot g, \quad (4)$$

где, W - вес БПЛА (вес под воздействием гравитации), g - гравитационное ускорение Земли ($9,81 \text{ м/с}^2$).

На рисунке 2 представлена блок-схема обобщённого алгоритма проектирования БПЛА в соответствии с его целевыми лётно-техническими характеристиками. Данный алгоритм позволил определить координационные показатели БПЛА, а также его оптимальные параметры.

Время полета (T): Время полета БПЛА:

$$T = \frac{Ye_{manba}}{R_{en.sarfi}}, \quad (5)$$

где, E_{manba} - мощность источника энергии (аккумулятор или топливо),

$R_{energopot}$ - мощность потребления энергии.

Скорость движения (V), км/ч: Скорость движения БПЛА можно определить по следующей формуле:

$$V = \sqrt{\frac{2W}{\rho S C_L}}, \quad (6)$$

где, $W = m \cdot g$ - вес БПЛА (вес под действием гравитации), ρ - плотность воздуха, S - площадь крыла, C_L - коэффициент подъемной силы.

Из этих уравнений видно, что конструктивные параметры и функциональные показатели БПЛА тесно взаимосвязаны, и каждый из них служит важным критерием в процессе расчетов.

В целом решения задач, относящихся к данной главе, основаны на блок-схеме, приведенной на рисунке 2.

В 3-й главе диссертации представлена аналитическая методика выбора конструктивно-аэродинамической структуры БПЛА, включающая следующую последовательность действий:

Формализация целевых критериев → Параметрическая модель геометрии → Расчет аэродинамических показателей для каждого варианта → Оценка устойчивости и управляемости → Отбор вариантов → Документирование гипотез → Комплексный критерий оптимизации → Ограничения метода и рекомендации по проверке.

Расчет аэродинамических параметров для каждого варианта. Применяются классические формулы (потенциальная аэродинамика + эмпирические поправки):

Подъемная сила:

$$L = \frac{1}{2} \rho V^2 S C_L, \quad (7)$$

Сопротивление:

$$D = \frac{1}{2} \rho V^2 S C_D, \quad C_D = C_{D0} + k C_L^2, \quad (8)$$

Коэффициент аэродинамического качества:

$$E = \frac{C_L}{C_D}, \quad (9)$$

где, коэффициенты C_L и C_D определяются на основе профилей крыльев, их геометрии и режимов полета;

параметры C_{D0} и k устанавливаются согласно эмпирическим оценкам или справочным данным.

Оценка устойчивости и управляемости. При малых углах атаки применяется линейное приближение моментов. Пример условия статической продольной устойчивости:

$$M_\alpha = C_m^\alpha (x_{ac} - x_{cg}), \quad (10)$$

где, x_{ac} - расположение аэродинамического центра, x_{cg} - расположение центра тяжести, а C_m^α - коэффициент момента по углу атаки. Знак и величина выражения определяют статическую продольную устойчивость.

Сортировка вариантов. Для каждого варианта рассчитывается набор показателей (E , L/W , запас подъема на крейсерской скорости, устойчивость, массовые и габаритные характеристики). Варианты ранжируются на основе многокритериального интегрального показателя (см. формулу 12).

Определение допущений, ограничений и пределов погрешностей в аналитической модели. Все допущения, связанные с упрощающими предположениями аналитической модели, области их применения и ожидаемые погрешности четко фиксируются.

Интегральный критерий оптимизации. Для многокритериальной оценки i -го варианта используется обобщенный интегральный показатель F_i :

$$F_i = w_1 \frac{E_i}{E_{max}} + w_2 \frac{(L/W)_i}{(L/W)_{max}} + w_3 \frac{U_{payload,i}}{U_{payload,max}} - w_4 \frac{D_i}{D_{max}}, \quad (11)$$

где,

w_1, w_2, w_3, w_4 - веса критериев $\sum_j w_j = 1$

E_i - аэродинамическая характеристика варианта i ;

$(L/W)_i$ - отношение подъемной силы к массе (или удельная подъемная сила) для варианта i ;

$U_{payload,i}$ - значение полезной нагрузки i -го варианта;

D_i - сопротивление при крейсерской скорости для варианта i ;

Величины с индексом “*max*” - максимальное значение (нормализующие множители) по рассматриваемому набору вариантов.

Вариант с наибольшим значением F_i считается оптимальным.

$$F_{opt} = \max_i F_i, \quad (12)$$

Ограничения (приближённые выражения):

$$x_{cg,min} \leq x_{cg} \leq x_{cg,max}, \quad P \geq P_{min}, \quad V_{stall} \leq V_{required}, \quad (13)$$

Практическая формула и алгоритм вычислений.

1. Обозначим набор геометрических параметров (S , AR , λ , \bar{c} , $x_{cg,rel}$ и другие).

2. Для заданной скорости V и плотности ρ рассчитаем C_L , необходимый для создания подъемной силы, соответствующей требуемому соотношению L/W :

$$L = W = mg, \quad C_L = \frac{2W}{\rho V^2 S}, \quad (14)$$

Вычислим C_D через C_L , используя модель $C_D = C_{D0} + kC_L^2$, а затем определим D и E.

3. Оценим статическую устойчивость и управляемость на основе линейных соотношений.

4. Рассчитаем интегральный показатель F_i и расположим варианты в порядке приоритета.

Концептуальный алгоритм вышеуказанной методики представлен на рисунке 3. На его основе выполняется следующее: выбор конфигурации аппарата, отвечающей требованиям технического задания; расчет таких параметров, как весовое распределение, тяга и энергоэффективность; обеспечение моделирования и анализа в средах CAD и CAE; обеспечение принятия решений в единой структуре для приближения аппарата к эксплуатации в реальных условиях.

Общий концептуальный алгоритм проектирования БПЛА включает следующие итерационные этапы (рис. 3):

Составляется алгоритм для расчета оптимальных параметров. В качестве исходных данных приняты M, F, L, V, T, D . С помощью вышеприведенных формул рассчитываются параметры БПЛА.

В первом приближении рассчитываются взлетный вес и взлетная масса БПЛА. В данном проекте масса полезной нагрузки беспилотного летательного аппарата (БПЛА) принята равной $m_{kn} = 3$ кг. Расчетная дальность полета составляет $L_p = 10$ км, а скорость полета в крейсерском режиме принята равной $V_{kr} = 36$ м/с.

Используя эти исходные данные, первая приближенная взлетная масса проектируемого БПЛА определяется по следующему соотношению:

$$m_0^I = \frac{m_{kn}}{1 - \left(\frac{\bar{m}_f + \bar{m}_{tsp} + \bar{m}_{ochk} + \bar{m}_{su} + \bar{t}_{ap} + \bar{m}_{pnk} + \bar{m}_{sme} + \bar{m}_{smr} + \bar{m}_{rm} + \bar{m}_T}{3} \right)} =$$

$$= \frac{3}{1 - \left(\frac{0,12 + 0,085 + 0,074 + 0,188 + 0,038 + 0,032 + 0,01 + 0,01 + 0,008 + 0,1085}{3} \right)} = 13,85 \text{ кг} \quad (15)$$

где,

m_{kn} - масса полезной нагрузки;

\bar{m}_f - общая относительная масса конструкции фюзеляжа и центроплана;

\bar{m}_{tsp} - относительная масса, приходящаяся на конструкцию основного крыла;

\bar{m}_T - относительная масса аккумуляторных батарей;

Общая площадь крыла определяется следующим уравнением:

$$S_{кр} = \frac{m_0}{p_0} = \frac{13,85}{24} = 0,57 \text{ м}^2 \quad (16)$$

где,

m_0 - общая взлетная масса БПЛА;

p_0 - удельная аэродинамическая нагрузка, приходящаяся на 1 м^2 поверхности крыла в процессе полета.

В частности, размах крыла рассчитывается по следующей формуле:

$$L_{\text{кр}} = \sqrt{\lambda_{\text{кр}} \cdot S_{\text{кр}}} = \sqrt{11,9 \cdot 0,57} = 2,62 \text{ м} \quad (17)$$

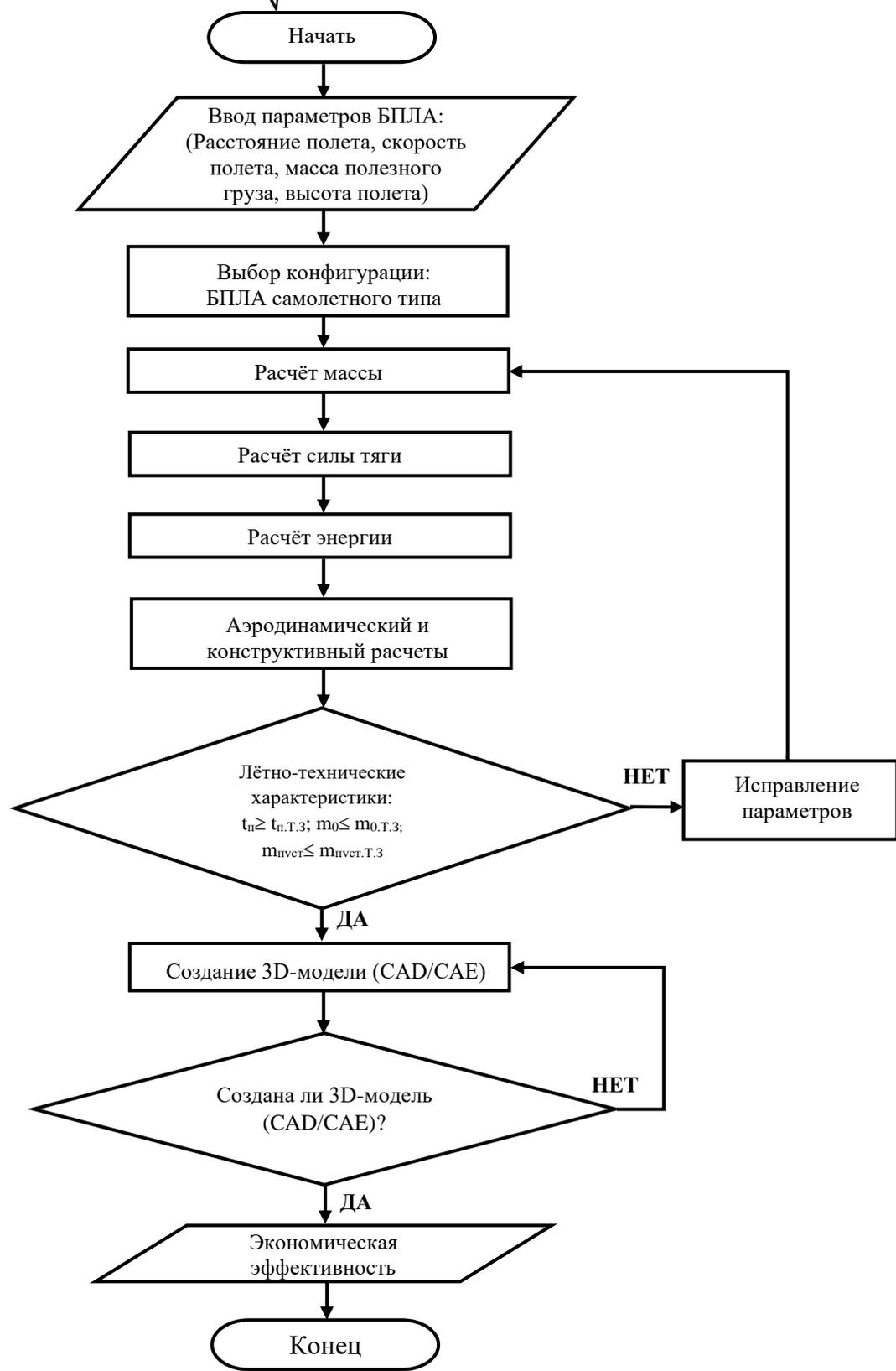


Рис.3. Блок-схема концептуального алгоритма проектирования оптимальной конструктивно-аэродинамической формы многоцелевого БПЛА.

Блок-схема концептуального алгоритма проектирования оптимальной конструктивно-аэродинамической формы многоцелевого БПЛА, представленная на рисунке 3, позволила создать 3D-модель БПЛА. С помощью созданной 3D-модели БПЛА становится возможным проектировать модели различных типов БПЛА.

Проанализированы существующие статистические показатели беспилотных летательных аппаратов, взятых в качестве прототипа, и на их основе отобраны параметры, необходимые для проекта.

Таким образом, можно определить следующие основные геометрические характеристики для крыла проектируемого БПЛА.

Выбор параметров фюзеляжа. Необходимый объем грузового отсека в фюзеляже определяется в соответствии с весовыми и объемными характеристиками перевозимого груза (рис. 4)

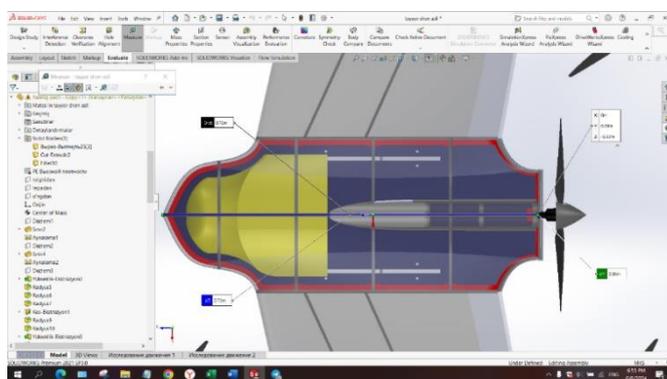


Рис. 4. Фюзеляж БПЛА.

В процессе полета определяется удельная нагрузка, приходящаяся на крыло БПЛА, а также степень обеспеченности силой тяги. Удельная нагрузка на 1 м² площади крыла определяется, прежде всего, исходя из условия обеспечения скорости захода на посадку:

$$p_0^1 = \frac{c_{y,max,poc} \cdot v_{зп}^2}{30,2 \cdot (1 - \bar{m}_{тр})} = \frac{2,57 \cdot 10^2}{30,2 \cdot (1 - 0,1085)} = 9,57 \text{ кг/м}^2, \quad (18)$$

где:

$S_{u,max,poc}$ определяется на основе статистических данных в зависимости от типа системы механизации крыла;

для одноступенчатых закрылков $S_{u,max,poc} = 2,6 \cdot \cos(28^\circ) = 2,57$;

$\bar{m}_{тр} = 0,2686$ - относительная масса энергии, расходуемой в течение полета;

$V_{зп} = 36 \text{ км/час} = 10 \text{ м/с}$ - расчетная скорость набора высоты.

Кроме того, величина удельной нагрузки, приходящейся на поверхность крыла, определяется исходя из условия обеспечения крейсерской скорости полета.

Для БПЛА типа VTOL с пустой массой 5,84 кг были подобраны электродвигатели, соответствующие различным режимам полета. Для вертикального полета применялись двигатели T-Motor U12II KV80, а для горизонтального полета - T-Motor U8 Lite KV85. С целью обеспечения полета аппарата на расстояние 10 км в качестве источника энергии

был выбран LiPo аккумулятор емкостью 20000 мАч, напряжение которого соответствует требованиям выбранных двигателей.

Пересчет геометрических параметров БПЛА. На основе полученных значений второго приближения массы производится перерасчет основных геометрических показателей БПЛА. На данном этапе осуществляется определение геометрических параметров составного крыла, состоящего из двух трапеций.

1. Размах крыла по основной трапеции

$$l_{кр} = \sqrt{\lambda_{кр}^{o.t} \cdot S_{кр}^{o.t}} = \sqrt{11,9 \cdot 0,62} = 2,13 \text{ м}, \quad (19)$$

где,

$$S_{кр}^{o.t} = 1,10735 \cdot S_{кр} = 1,10735 \cdot 0,57 = 0,62 \text{ м}^2, \quad (20)$$

2. Общая площадь крыла

$$S_{кр}^{\Sigma} = S_{кр}^{\Phi} + S_{кк} = 0,57 + 0,011 = 0,581 \text{ м}^2, \quad (21)$$

Расчет центра масс БПЛА. Одним из важнейших этапов в процессе компоновки БПЛА является определение центра масс аппарата и его оптимальное размещение относительно средней аэродинамической хорды крыла. Этот подход необходим для обеспечения устойчивости полета и повышения эффективности управления.

Значение средней аэродинамической хорды крыла было принято равным $b_a = 0,31$ м. Результаты определения центра масс БПЛА с помощью модулей CAE и CAD программы SolidWorks приведены в таблице 5.

Таблица 5

Координатная система для определения центра масс	Утвержденный технический стандарт	
	Объем, м ³	Площадь поверхности, м ²
Масса, кг	V = 8 348 864,46 мм ³	S = 5 535 378,50 мм ²
m0 = 13,850~g		

Также разработаны технологические предложения по производству многоцелевых беспилотных летательных аппаратов.

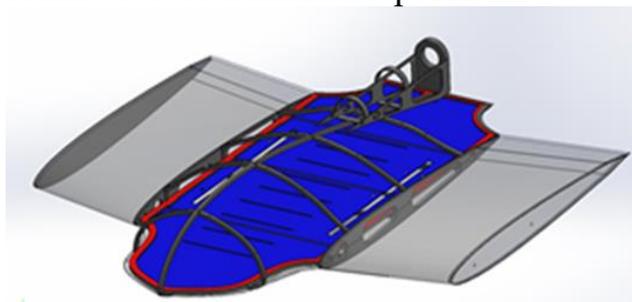


Рис. 5. Крепление фюзеляжа и крыла.

Специфика производства БПЛА выражается в том, что требуется иной подход в техническом, технологическом и организационном аспектах по сравнению с традиционными летательными аппаратами. Несмотря на то, что БПЛА самолетного типа по конструкции проектируются на основе схемы летающего крыла (рис. 5), они имеют существенные различия в задачах, выполняемых БПЛА, и применяемых в них материалах.

Затраты на материалы и сырье для половины крыла составили **396 128 сумов**. Таким образом, стоимость обоих крыльев (правого и левого) составляет **792 256 сумов**.

Общая стоимость материалов и оборудования, необходимых для изготовления крыла БПЛА, составляет **4 692 256 сумов**. Данная сумма учтена в составе начальных инвестиционных затрат проекта.

3. Показатели экономической эффективности проекта

А) Чистая приведённая стоимость проекта (NPV)

Чистая приведённая стоимость проекта определена по следующему соотношению:

$$NPV = \sum_{t=1}^T \frac{CF_t}{(1+r)^t} I_0, \quad (22)$$

где,

CF_t – чистый денежный поток в t-ом году,

r – ставка дисконтирования,

I_0 – величина первоначальных инвестиций.

В результате расчётов было получено следующее:

$$NPV = 5\,661,79 - 2\,566 = 3\,095,79 \text{ тыс. сумов}$$

Следовательно, так как $NPV > 0$, (23)

проект оценивается как экономически целесообразный.

В. Срок окупаемости проекта (PP):

Срок окупаемости был определён по следующему выражению:

$$PP = \frac{I_0}{CF_{yil}}, \quad (24)$$

где,

I_0 – начальные инвестиционные затраты,

$CF_{год}$ – ежегодная чистая прибыль от проекта.

На основе рассчитанных значений:

$$PP = \frac{2\,446}{1\,689} \approx 1,45 \text{ год}, \quad (25)$$

Значит, условие

$$PP < 2 \text{ года} \quad (26)$$

выполняется, и проект окупается в короткие сроки.

Индекс прибыльности был рассчитан по следующей формуле:

$$PI = \frac{NPV}{I_0}, \quad (27)$$

Для данных значений:

$$PI = \frac{3\,095,79}{2\,566} \approx 1,21, \quad (28)$$

Исходя из этого:

$$PI > 1, \quad (29)$$

поскольку данное условие выполняется, проект считается инвестиционно эффективным.

Окончательное экономическое заключение. Одновременное выполнение следующих условий:

- $NPV > 0$ – свидетельствует о том, что проект приносит чистую экономическую выгоду;
- $PP < 2 \text{ лет}$ – указывает на то, что инвестиции окупаются в короткий срок;
- $PI > 1$ – подтверждает высокую доходность инвестиций.

На этой основе делается вывод, что предлагаемый проект по разработке и внедрению БПЛА является экономически целесообразным, относительно малорискованным и обладающим высоким потенциалом прибыльности.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

По результатам проведённых исследований по выбору оптимальных лётно-технических характеристик, их комплексной оценке и внедрению в практику при проектировании многоцелевого (в том числе типа VTOL) беспилотного летательного аппарата представлены следующие выводы:

1. Проведён системный анализ концептуальных и параметрических подходов, применяемых при проектировании многоцелевых беспилотных летательных аппаратов, и научно обоснованы концептуально-методические основы, обеспечивающие их согласование в единой цепочке проектирования. В результате сформирован методический подход, обеспечивающий последовательную организацию процесса проектирования и выбор оптимального варианта.
2. Разработана и усовершенствована интегрированная математическая модель, учитывающая во взаимосвязи аэродинамические, энергетические и конструктивные параметры, на основе введения условий согласования и итерационного уточнения соответствия. В результате обеспечена возможность повышения точности выбора лётно-технических характеристик и обоснования проектных решений.
3. Разработан комплекс вычислительных алгоритмов, обеспечивающий выбор оптимального проектного решения на основе сопоставительных критериев с учётом показателей надёжности при согласовании результатов аэродинамической оптимизации и численного анализа прочности. В результате обеспечена возможность комплексного сопоставления вариантов и автоматизации процессов их выбора.
4. Для беспилотного летательного аппарата типа VTOL разработан комплекс цифрового моделирования, включающий параметрический 3D-цифровой прототип, аэродинамические характеристики и расчётные прочностные модели. В результате создана вычислительная модель, поддерживающая оценку конструктивных и аэродинамических параметров и выбор оптимальной конфигурации.
5. Создан комплекс математико-алгоритмических и программных средств, обеспечивающих выполнение заранее заданных лётно-технических

требований, и проведены его испытания на ЭВМ. В результате обоснована возможность оперативного принятия решений на основе вычислительных экспериментов на этапах проектирования, оценки и оптимизации.

6. Разработан метод оценки критериев выбора материала путём моделирования физико-механических свойств композиционных материалов в рамках конструктивных требований, определяемых лётно-техническими характеристиками. В результате сформированы научные основы выбора оптимального варианта материала для конструкции беспилотного летательного аппарата.
7. Разработанные в исследовании методика, программные средства и вычислительные решения внедрены в производственно-практические процессы, апробированы в направлениях формирования технологических решений и оценки экономической эффективности и применены в деятельности соответствующих организаций, в том числе ГП «Чирчикский авиационный ремонтный завод», ГУП «Геоинновационный центр» и Агентства оборонной промышленности. В результате обоснована практическая пригодность и целесообразность внедрения предложенных проектных решений.

**SCIENTIFIC COUNCIL PhD.10/2025.27.12.T.01.07 ON AWARDING
SCIENTIFIC DEGREES AT TASHKENT STATE TRANSPORT
UNIVERSITY**

TASHKENT STATE TRANSPORT UNIVERSITY

TAKHIROV JONIBEK KOBILOVICH

**SELECTION OF OPTIMAL PARAMETERS FOR MULTI-PURPOSE
UNMANNED AERIAL VEHICLES**

05.02.08 – Ground complexes and aircraft

**DISSERTATION ABSTRACT OF THE DOCTOR OF PHILOSOPHY (PhD)
ON TECHNICAL SCIENCES**

Tashkent – 2026

The theme of the dissertation of doctor of philosophy (PhD) on technical sciences was registered at the Supreme Attestation Commission at the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan under B2024.4.PhD/T1608.

The dissertation has been prepared at Tashkent State Transport University.

The abstract of the dissertation is posted in three languages (Uzbek, Russian, English (resume)) on the website of the Scientific Council (www.tstu.uz) and on the web site of «ZiyoNet» Information and education portal (www.ziynet.uz).

Scientific supervisor:

Abdujabarov Nuriddin Anvarovich

candidate of technical sciences, associate professor

Official opponents:

Parsiev Saydiyat Solixodjaevich

doctor of technical sciences, professor

Shamsiev Rasul Zairovich

PhD, Associate Professor

Leading organization:

**Tashkent State Technical University named
after Islam Karimov**

The defense will be take place «_____» _____ 2026 at _____ at the meeting of Scientific Council at the Scientific Council PhD.10/2025.27.12.T.01.07 Tashkent State Transport University. Address: 1, Temiryo'Ichilar str., Tashkent 100167, Uzbekistan. Phone:(+998 71) 299-00-01, fax: (99871) 293-57-57, e-mail: rektorat@tstu.ru.

The doctoral (PhD) dissertation can be reviewed at the Information–Resource Center of the Tashkent State Transport University (Registration number –_____). (Address: 1, Temiryo'Ichilar str., Tashkent 100167, Uzbekistan. Phone: (+998 71) 299-05-66)

Abstract of dissertation was distributed on «_____» _____ 2026 year.

(mailing record № _____ on «_____» _____ 2026 year)

A. Abduqayumov

Chairman of the Scientific Council
for Awarding Academic Degrees
Doctor of Technical Sciences, Professor

I.S. Maturazov

Scientific Secretary of the Scientific
Council for Awarding Academic Degrees
PhD, Associate Professor

Kh.Kh. Khusnutdinova

Chairman of the Scientific Seminar
under the Scientific Council for Awarding
Academic Degrees
Doctor of Technical Sciences, Associate Professor
Ph.D., Associate Professor

INTRODUCTION (abstract of PhD thesis)

The relevance and necessity of the research. The study addresses the urgent problem of developing an integrated methodological framework for designing multi-purpose unmanned aerial vehicles (UAVs) that meet predetermined flight–technical parameters. The research aims to create new constructive models, mathematical formulations, and computational algorithms that ensure optimal design decisions while considering aerodynamic, energy-related, and structural factors that vary during flight.

The purpose of the research is to develop a methodology and a complex of integrated mathematical models and algorithms for the design of unmanned aerial vehicles that correspond to predetermined flight and technical characteristics, as well as to automate the decision-making processes during design.

The main research objectives include:

- Systematic analysis of conceptual and parametric methods applied in unmanned aerial vehicles design, including their scientific and technical justification.
- Development of an integrated model supporting unmanned aerial vehicles design and evaluation processes using mathematical modeling methods based on flight performance parameters.
- Selection of the unmanned aerial vehicles is external configuration and creation of an automated visual model based on aerodynamic optimization methods.
- Comprehensive analysis of the aerodynamic, structural, and reliability characteristics of a multi-purpose unmanned aerial vehicles using numerical methods for structural strength assessment.
- Development of selection criteria for composite materials based on the indicator method and physical-mechanical modeling approach.

Scientific novelty. Based on conceptual and parametric design methods, a new conceptual-methodological approach has been developed that enables comprehensive assessment of the technical parameters of unmanned aerial vehicles.

Using the mathematical modeling method, an integrated mathematical model has been enhanced to ensure functional compatibility with flight performance indicators.

Based on aerodynamic optimization and numerical strength assessment methods, an algorithm has been developed that allows for comprehensive evaluation of aerodynamic, structural, and reliability indicators of unmanned aerial vehicles.

A modeling method is proposed based on the indicator approach for modeling and selecting the physical and mechanical properties of composite materials, which allows for determining and evaluating material selection criteria.

Practical results. For the first time, rational structural–force schemes and optimal parameters were determined to improve unmanned aerial vehicles design characteristics according to sectoral requirements. Additionally, animation models illustrating the technological assembly of unmanned aerial vehicles components were designed. Recommendations were proposed for using domestically produced basalt-fiber composite materials in unmanned aerial vehicles airframes.

Scientific and practical significance. The developed mathematical models and algorithms enhance the quality, reliability, and manufacturability of unmanned aerial

vehicles. The results can be effectively applied in various sectors of the national economy for remote monitoring, data acquisition, and processing systems, contributing to the advancement of domestic unmanned aerial vehicles technologies.

Implementation of results. Based on the results obtained for selecting optimal flight-technical parameters in designing a multipurpose unmanned aerial vehicle:

Based on practical research assessing the physical and mechanical properties of composite materials, the consumption of materials necessary for the unmanned aerial vehicles wing design and the production technology were implemented at the “Chirchik Aviation Repair Plant” State Enterprise (reference No. 10/2367 dated November 11, 2024, from the Ministry of Defense of the Republic of Uzbekistan). As a result, a technology for manufacturing unmanned aerial vehicle design components was developed;

The economic efficiency of the created project product was calculated by the “Geoinnovation Center” State Unitary Enterprise under the Cadastre Agency of the Republic of Uzbekistan (reference No. 05/08-10572 dated October 15, 2024, from the Cadastre Agency under the Ministry of Economy and Finance of the Republic of Uzbekistan). Consequently, the economic feasibility of the project solution was confirmed.

Based on the obtained scientific and technical results and calculations, the proposed UAV project has been implemented in the activities of the Defense Industry Agency (references No. 10/2367 dated November 11, 2024, from the Ministry of Defense and No. 4/E1631 dated December 4, 2024, from the Ministry of Transport of the Republic of Uzbekistan). As a result, it was determined that the designed unmanned aerial vehicle project is economically viable, low-risk, and has high profitability potential.

E'LON QILINGAN ISHLAR RO'YXATI
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

I bo'lim (I часть; I part)

1. Abdujabarov N.A., Toxirov J.K., Shokirov R.A., Saytov Q.G., Bobomurodov S.Q. Prospects of the development of unmanned aerial vehicles // TSTU, Technical science and innovation. 2020, № 3 (10) pg. 4-8. (05.00.00; № 16)
2. Shamsiev Z.Z., Abdujabarov N.A., Toxirov J. K., Qosimov U.D. Optimization of Specific Wing Loading for Fixed-Wing UAVs to Enhance Flight Efficiency // “Samo qalqonlari” - 2024. – 12(4) - pg. 375-380. Qarshi: O'RHAI. (05.00.00, №4 OAK Rayosatining 2021-yil 31-iyuldagi 303/5-son qarori).
3. Kosimov U.D., Takhirov J.K., Turayev A.A. Особенности использования технологий вакуумного формования и вакуумной инфузии при производстве деталей БПЛА // “Samo qalqonlari” - 2024. – 12(4). с. 356–360. Qarshi: O'RHAI, (05.00.00, №4 OAK Rayosatining 2021-yil 31-iyuldagi 303/5-son qarori).
4. Shamsiev Z. Z., Khusnutdinova Kh. Kh., Abdujabarov N. A., Takhirov J. K. The Use of Modern Composite Materials and Technologies in the Design of Unmanned Aerial Vehicles // Journal Engineer. TSTU. - 2025.-№ 3(1). - pg. 51–55. (05.00.00, №3 OAK Rayosatining 2024-yil 28-noyabrdagi 4-01/6827-son qarori).
5. Xusnutdinova X. X., Abdujabarov N. A., Toxirov J. K. Samolyot tipidagi uchuvchisiz uchish apparatlarining parvoz vaqtida qanotiga ta'sir qiluvchi solishtirma yuklanishni aniqlash // Temir yo'l transporti: Dolzarb masalalar va innovatsiyalar – 2024. – № 4. 197–202 b. TDTU. (05.00.00, №4 OAK Rayosatining 2020-yil 30-noyabrdagi 288/14-son qarori).
6. Kosimov U.D., Takhirov J.K., Novikov A.D. Research into technological features in the curing process of multilayer polymer composite parts // Technical Science and Innovation (TSTU). – 2025. – № 2(11). – pg. 58–62. (05.00.00; № 16).

II bo'lim (II часть; II part)

7. Abdujabarov N.A., Toxirov J.K., Shokirov R.A., Bobomurodov S.Q. Automated Design of the Appearance of an Unmanned Aerial Vehicle // Cite as: AIP Conference Proceedings 2432, 030088 (2022); <https://doi.org/10.1063/5.0090313>. Published Online: 16 June 2022.
8. Abdujabarov N.A., Toxirov J.K., Shokirov R.A. O'zbekistonda samolyot tipidagi UUALarning respublika iqtisodiyoti uchun qo'llash imkoniyatlari // “Aviatsiya va kosmik texnologiyalarda ta'lim va ilmning dolzarb muammolari”, Respublika ilmiy-texnik anjumani ma'ruzalar to'plami. – Toshkent, TDTU, 2021. – 15–16 aprel. – B. 116–119 b.

9. Xalilov X.T., Toxirov J.K., Djabbarov Sh.X., Abdujabarov N.A. Современное состояние и перспективы развития использования БПЛА в отраслях экономики Республики Узбекистан // “Transport sohasidagi xalqaro mutaxassislarni tayyorlash” Xalqaro ilmiy-amaliy konferensiya. – TDTU, 2022. – 21–22 aprel. –754–758 b.
10. Abdujabarov N.A., Takhirov J.K., Niyazbaev A.M., Kayimov S.A. Design methodology for UAV structures made of composite materials using optimization tools // “Aviatsiya va kosmik texnologiyalarda ta’lim va ilmning dolzarb muammolari” Xalqaro ilmiy-texnik anjumani. – TDTU, 2022. – 10–11 noyabr. –146–151 b.
11. Хуснутдинова Х.Х., Тахиров Дж.К., Кайимов С.А. Применение базальтового волокна для изготовления элементов конструкций беспилотных летательных аппаратов // “Avionika jihozlari ekspluatatsiyasida uchraydigan muammolar va yechimlar. Rivojlanish istiqbollari” Respublika ilmiy-amaliy anjumani materiallari. - Qarshi: O‘RHAI, 2024., 188-191 b.
12. Khusnutdinova K., Kosimov U., Takhirov J.K. Analysis of the influence of heat transfer mechanisms on the curing process of thick-walled UAV parts made of polymer composite materials based on epoxy binder // *Vibroengineering Procedia*. - 2025. - 58. - 333–339. - DOI: 10.21595/vp.2025.24995. - (*Scopus*).
13. Abdujabarov N.A., Toxirov J.K., Shokirov R.A., Saytov Q.G. Глубоко изученные стратегии для обнаружения беспилотных летательных аппаратов с помощью нескольких камер // «Aviatsiya va kosmik texnologiyalarda ta’lim va ilmning dolzarb muammolari” Respublika ilmiy-texnik anjumani ma’ruzalar to‘plami. 2021 yil 15-16 aprel. Toshkent, TDTU. 79-82 b.
14. Abdujabarov N.A., Toxirov J.K., Shokirov R.A., Computer vision in Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) // “Transportda resurs tejamkor texnologiyalar” Xorijiy olimlari ishtirokidagi Respublika ilmiy – texnika anjumani. Toshkent davlat transport universiteti, 2021 yil 18-19 dekabr. 558-563 b.
15. Abdujabarov N.A., Taxirov J.K., Narimanov J.Sh. An analysis of the procedures, prospects and advantages associated with setting up integrated on-board computing systems for aircrafts // *Transportda resurs tejamkor texnologiyalar. Xorijiy olimlari ishtirokidagi xalqaro ilmiy – texnika anjumani maqolalari to‘plami*. 20-21 dekabr 2023, Toshkent. S. 354-359.
16. Abdujabarov N.A., Toxirov J.K., Shokirov R.A., Kayimov S.A. Uchuvchisiz uchish apparatlariga ta’sir etuvchi aerodinamik kuchlarni hisoblash uchun dastur // O‘zbekiston Respublikasi Intellektual mulk agentligi — EHM dasturi guvohnomasi: DGU 2022 4906, DGU 19233 (11.11.2022).
17. Abdujabarov N.A., Toxirov J.K., Shokirov R.A., Kayimov S.A. - Uchuvchisiz uchish apparati yordamida uzatilayotgan ma’lumotlarni displayda (ekranda) aks ettirish

- uchun dastur. O‘zbekiston Respublikasi Adliya vazirligi huzuridagi Intellektual mulk agentligi. Elektron hisoblash mashinasi uchun dasturning rasmiy ro‘yxatdan o‘tkazilganligi to‘g‘risidagi guvohnoma. DGU 2022 4978, DGU 19367, 16.11.2022 y.
18. Abdujabarov N.A., Toxirov J.K., Shokirov R.A., Kayimov S.A. - Uchuvchisiz uchish apparatlarini masofadan boshqarish dasturi. O‘zbekiston Respublikasi Adliya vazirligi huzuridagi Intellektual mulk agentligi. Elektron hisoblash mashinasi uchun dasturning rasmiy ro‘yxatdan o‘tkazilganligi to‘g‘risidagi guvohnoma. DGU 2022 5527, DGU 19940, 05.12.2022 y.
19. Abdujabarov N.A. Xusnutdinova X.X., Toxirov J.K., Shokirov R.A., Risqinbayev F.F., Rustamov O.R. - VTOL (Vertical take-off and landing) - tipidagi uchuvchisiz uchish apparatlari parvozini boshqarish va nazorat qilish dasturi. O‘zbekiston Respublikasi Adliya vazirligi huzuridagi Intellektual mulk agentligi. Elektron hisoblash mashinasi uchun dasturning rasmiy ro‘yxatdan o‘tkazilganligi to‘g‘risidagi guvohnoma. DGU 202410107, DGU 42216, 04.09.2024
20. Xusnutdinova X.X., Shamsiyev Z.Z., Abdujabarov N.A., Toxirov J.K., Shokirov R.A. VTOL (Vertical take-off and landing) tipidagi uchuvchisiz uchish apparatlari dvigatellarining tortish kuchini hisoblash dasturi // O‘zbekiston Respublikasi Intellektual mulk agentligi — EHM dasturi guvohnomasi: DT 202500896, № DGU 47640, 13.02.2025 y.
21. Xusnutdinova X.X., Abdujabarov N.A., Turayev A.A., Qosimov U.D. VTOL (Vertical take-off and landing) tipidagi uchuvchisiz uchish apparatining parvoz-texnik ko‘rsatkichlarini hisoblash dasturi // O‘zbekiston Respublikasi Intellektual mulk agentligi — EHM dasturi guvohnomasi: DT 202500852, № DGU 47632, 13.02.2025 y.
22. Abdujabarov N.A., Toxirov J.K., Qosimov U.D. Uchuvchisiz uchish apparatlarining kompozitsion materiallardan ishlangan detallarini qotirish jarayonidagi issiqlik uzatish koeffitsiyentini aniqlash dasturi // O‘zbekiston Respublikasi Intellektual mulk agentligi — EHM dasturi guvohnomasi: DT 202500896, № DGU 47640, 13.02.2025 y.

Avtoreferat «ToshDTU xabarleri» ilmiy-texnik jurnali tahririyatida tahrirdan o'tkazilib, o'zbek, rus va ingliz tillaridagi matnlari o'zaro muvofiqlashtirildi

Qog'oz bichimi 60x84-1/16. Rizograf bosma usuli Times garniturasida
Shartli bosma tabog'i: 3 b.t. Adadi: 60 nusxa. Buyurtma № 43-5/2026
Nashrga ruxsat etildi: 20.02.2026 y.

Toshkent davlat transport universiteti bosmoxonasida chop etilgan.
Bosmoxona manzili: 100167, Toshkent sh., Temiryo'lchilar ko'chasi, 1-uy.