

На правах рукописи

АФТАНДИЛ ЗАКАЛЫ оглы МАМЕДОВ

**ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ВЕРТИКАЛЬНЫХ
СКОРОСТЕЙ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ**

**Специальность: 3324.04 – Наземные комплексы, стартовое
оборудование, эксплуатация летательных аппаратов и их систем**

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
диссертации на соискание ученой степени
доктора философии по технике

БАКУ- 2015

Əlyazması hüququnda

AFTANDİL ZƏKALİ OĞLU MƏMMƏDOV

**UÇUŞ APARATLARININ ŞAQLI SÜRƏTLƏRİNİN
ÖLÇÜLMƏSİNİN XÜSUSİYYƏTLƏRİ**

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

Texnika üzrə fəlsəfə doktoru elmi dərəcəsi
almaq üçün təqdim edilmiş dissertasiyanın

A V T O R E F E R A T I

BAKİ- 2015

Dissertasiya işi Milli Aviasiya Akademiyasında yerinə yetirilmişdir.

Elmi rəhbər:

t.e.d., professor

R.N. Nəbiyev

Rəsmi opponentlər:

t.e.d., professor

İ.M. İsmayilov

f.-r.e.d., professor

R.M. Sərdarlı

Aparıcı təşkilat:

Azərbaycan Texniki Universitetinin “Avtomatika və idarəetmə” kafedrası.

Müdafiə “8” may 2015-ci il tarixində saat 14⁰⁰ Milli Aviasiya Akademiyasının D 06.001 dissertasiya şurasının iclasında keçiriləcəkdir. Ünvan: AZ 1045, Bakı ş., Mərdəkan prospekti 30.

Dissertasiya ilə MAA-nın kitabxanasında tanış olmaq olar.

Avtoreferat “2” aprel 2015-ci il tarixində göndərilmişdir.

D 06.001 dissertasiya şurasının elmi katibi,
texnika üzrə fəlsəfə doktoru, dosent



S.B. Həbibullayev

Aftandil Zekalı oğlu Mamedov

**FEATURES MEASURING VERTICAL SPEED OF THE
AIRCRAFT**

The thesis is devoted to the development and research of measuring instruments for vertical speed of aircraft's flight during their descent or ascent. As you know, the vertical velocity of the aircraft's flight is one of the most important parameters which control is necessary to ensure a secure environment. On the basis of applying analytical review of the principles of constructing measuring instruments of speed and prospects of their development has been designed on a completely new device principle of magnetic levitation, the novelty of which is confirmed by the patent (№ I 2012 0042). As the sensor in the device used Hall sensor. Using the principle of magnetic levitation, compared with known devices, provides higher metrological performance and simplicity of design and of constructing process. These results were achieved, largely due to the abandonment of the principle of measuring the differential pressure difference (dynamic and static) value which carries information on airspeed. During execution of the thesis the following basic scientific and technical results obtained:

♦ The application of the principle of magnetic levitation is substantiated to create an instrument for measuring the vertical velocity of the aircraft. Calculations of the element moving under the influence of magnetic levitation were made;

♦ The obtained analytical expressions that determine the amount of movement of the sensor on the speed of flight of the aircraft. Stand and methods designed for checking metrological instrument and identified metrological indicators of instrument;

♦ The layout of the device made on the basis of design as well as assembled and tested designed electronic circuit instrument.

ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ВЕРТИКАЛЬНЫХ СКОРОСТЕЙ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Настоящая диссертационная работа посвящена разработке и исследованию средства измерения (СИ) скорости полёта летательных аппаратов (ЛА) при наборе высоты и спуске. Известно, что скорость ЛА при наборе высоты и спуске является одним из важнейших параметров, непрерывный контроль которой необходим для обеспечения условий безопасности полёта. В диссертационной работе на основании выполненного аналитического обзора принципов построения СИ скорости полёта ЛА и перспектив их развития на современном этапе, приведены результаты работ всех этапов по разработке принципиально нового прибора, использующим для измерения скорости полёта принцип магнитной левитации. Новизна разработанного прибора подтверждена патентом (№ 120120042). В качестве электрического преобразователя использован датчик Холла. Использование принципа магнитной левитации, в разработанном приборе, обеспечивает по сравнению с известными принципами, более высокие метрологические характеристики, простоту схемотехнического решения, технологичность и высокую надёжность в эксплуатационную. Указанное достигнуто, в значительной степени, благодаря отказу от принципа измерения дифференциальной разности давлений. В процессе выполнения настоящей диссертационной работы получены следующие основные научно-технические результаты:

♦Обосновано применение принципа магнитной-левитации для построения прибора для измерения скорости полета ЛА. Выполнен расчёт чувствительного элемента, перемещающегося под воздействием магнитной левитации;

♦Получены аналитические выражения, определяющие величину перемещения чувствительного элемента от величины скорости полёта ЛА. Разработан стенд и методика для поверки метрологических характеристик прибора и определены метрологические показатели прибора;

♦На основе разработанных рабочих чертежей изготовлен рабочий макет прибора, разработана электронная схема прибора. Прибор собран в целом и подвергнут метрологическим испытаниям. Разработана математическая модель прибора.

İŞİN ÜMUMİ XARAKTERİSTİKASI

Mövzunun aktuallığı. Uçuş aparatlarının şaquli sürəti uçuş rejimini səciyyələndirən çox mühüm parametrlərdən biridir. Ümumiyyətlə təyyarənin düzgün idarə edilməsi üçün onun şaquli sürətini bilmək olduqca vacibdir. Uçan aparatların (UA) şaquli sürətinin ölçülməsinin vacibliyini şərtləndirən səbəblər aşağıdakılardır:

- təyyarənin qalxma və enmə rejimlərinin təhlükəsiz təmin edilməsi;
- verilmiş uçuş hündürlüyünün sabit saxlanılması;
- təyyarənin üfüqi hərəkətinin dayanıqlığının saxlanılması;
- təyyarənin üfüqi uçuşa keçmə anının müəyyən edilməsi;
- qalxma və enmə zamanı təyyarənin trayektoriya üzrə optimal mailliyinin seçilməsi.

Aviasiyada UA – nın uçuş hündürlüyünün stabil saxlanılması olduqca vacib məsələdir. Bu hal aerofotoçəkilişlərin aparılması zamanı daha böyük əhəmiyyət kəsb edir. Hündürlüyün yüksək dəqiqliklə stabil səviyyədə saxlanılması fotokadrların sonrakı emalını yaxşılaşdırır. Buna görə də UA-nın şaquli sürətinin daha dəqiq və həssaslıqla ölçülməsi mühüm əhəmiyyət kəsb edir.

Şaquli sürətin ölçülməsinin inersial metoduna əsasən təyyarənin şaquli təcili ölçülür və bu təcilə mütənəib olan signal inteqrallanaraq şaquli sürət təyin edilir. İnersial naviqasiyada əsas məqsəd ətalət qanunundan istifadə edərək hava gəmisinin yerinin müəyyənləşdirilməsidir. Bu zaman radiovasitələrdən və ya optik vasitələrdən alınan digər informasiyaya ehtiyac duyulmur. Onun realizasiyası zamanı hava gəmisinin hərəkəti nəticəsində ölçülən təcil emal olunur. Ölçülən təcilləri inteqrallamaqla sürət əldə edilir. İnersial sistemlərin realizasiyasının prinsipial çətinlikləri təyyarənin müxtəlif bucaq hərəkətlərində koordinat oxlarının tam dəqiqliklə hərəkət istiqamətində olmamasıdır. Hava gəmisinin yerin səthinə yaxın uçuşları zamanı bu çətinlikləri ölçü oxlarını dəqiqliklə üfüqi müstəvidə saxlamaqla azaltmaq olar. Yerin fırlanmasına və obyektin hərəkətinə görə platformanı elə fırlatmaq lazımdır ki, o həmişə üfüqi şəkildə qalsın. Əgər bu mümkün deyilsə, onda hesabi yolla və yaxud xüsusi cihazlarla ölçülən parametrlərə müəyyən düzəlişlər etmək lazım gəlir.

Bu tip naviqasiya sisteminin digər sistemlərdən üstün cəhəti onun avtonom olması və xarici maneələrə qarşı dayanıqlılıq qabiliyyətidir. Digər naviqasiya sistemləri məsələn, GPS global naviqasiya sistemi elektromaqnit maneələrə, hava şəraitinin dəyişməsinə həssasdır. Ətalətli və ya inersial naviqasiya sistemi isə koordinatların hesablanması üçün informasiyanı

birbaşa hərəkət edən obyektin özündən alır. Hərəkət təcilini ölçməklə və onun qiymətini zamana görə integrallamaqla sürət təyin edilir. Təcil qiyməti ilə bərabər, istiqaməti ilə də xarakterizə olunur. İstiqamət haqqında informasiyanı isə giroskop verir. Uçuş aparatının hərəkət təcilini ölçən zaman onun işinə yerin qravitasiya sahəsi də təsir göstərir. Naviqasiya sistemi təcilin ölçülən qiymətindən bu qiyməti yəni, sərbəstdüşmə təcili g-ni çıxaraq həqiqi qiyməti verir.

UA – nın üfqi uçuşunun stabil saxlanması üçün şaquli sürətin yüksək dəqiqliklə və həssaslıqla ölçülməsinin böyük praktiki əhəmiyyəti vardır. Son dövrlərdə uçuşların intensivliyinin kəskin artması eşalonlar arasında məsafənin azaldılmasına və uyğun olaraq təyyarənin şaqul üzrə vəziyyətinin müəyyənəşdirilməsinə qoyulan dəqiqlik tələblərinin artırılmasına gətirib çıxarmışdır. Bu baxımdan eşalon üzrə uçuş zamanı təyyarənin vəziyyətinin tənzimlənməsi üçün şaquli sürətin dəqiq və etibarlı ölçülməsinə ehtiyac duyulur.

Hazırda uçan aparatlarda şaquli sürətin təyin olunması üçün statik hava təzyiqindən istifadə olunur. Bu üsulla uçuş hündürlüyünü və sürətini yüksək dəqiqliklə ölçmək üçün mikromexaniki təzyiq vericiləri tətbiq olunur. Lakin nəzərə almaq lazımdır ki, bu tip vericilərlə şaquli sürəti təyin etmək üçün statik hava təzyiqindən istifadə olunmalıdır. Belə ki, təyyarə ani olaraq şaquli istiqamətdə yuxarı və ya aşağı hərəkət etdikdə statik hava təzyiqinin dəyişməsi müəyyən uzunluqlu boru vasitəsilə təzyiq vericisinə ötürüldüyündən cihaz şaquli sürətin yarandığını ya müəyyən ləngimə ilə bildirir, ya da heç reaksiya vermir. Bundan başqa statik hava təzyiqi borusunun tutulması da alınan informasiyanın düzgün olmamasına səbəb ola bilər.

Son dövrlərdə müasir elektronikanın inkişafı onu göstərir ki, şaquli sürəti inersial metoda əsaslanaraq kiçik ətalətliliklə, daha yüksək dəqiqliklə və həssaslıqla ölçmək mümkündür.

İndiki dövrdə təyyarə və helikopterlərdən aerofotoçəkilişlərin yüksək keyfiyyətlə və dəqiqliklə yerinə yetirilməsi üçün verilmiş eşalonu uçuş hündürlüyünün stabil saxlanması şərti irəli sürülür. Bu baxımdan da uçan aparatların şaquli sürətinin yüksək dəqiqliklə və həssaslıqla ölçülməsi problemi də aktual məsələdir.

Elmi-texniki ədəbiyyatın təhlili onu göstərir ki, istehsalatda istifadə olunan müasir qurğulardan istifadə etməklə qoyulan tələblərə (kiçik ətalətlilik, yüksək dəqiqlik və həssaslıq) cavab verən şaquli sürəti ölçən qurğu tapmaq mümkün deyildir. Ona görə də bir sıra xüsusiyyətlərinə görə

«Микроэлектронные Преобразователи и Приборы на Их Основе», Баку-Сумгаит, 27-29 ноября 2013 г. стр. 4-7.

10. Бадалов А.З., Набиев Р.Н., Мамедов А.З. Особенности измерения вертикальной скорости / Московский Государственный Технический Университет Гражданской Авиации Международная научно-техническая конференция, посвященная 90-летию гражданской авиации, Москва, 24 апреля 2013г. стр.116.

11. Бадалов А.З, Набиев Р.Н., Мамедов А.З. Условия устойчивой и стабильной левитации магнитного сердечника // Известия ЮФУ 2013, №2, стр.130-135.

12. Бадалов А.З., Набиев Р.Н., Мамедов А.З. Шукюров С.А. Анализ погрешностей датчика вертикальной скорости летательного аппарата на основе принципа магнитной левитации // Известия ЮФУ 2014, №5, стр.182-188.; (Магнит левитасија принципі əsasında uçan aparatın şaquli sürət vericisinin xətlərinin analizi // Milli Aviasiya Akademiyasının Elmi Əsərləri, Bakı-2013, №1, səh. 49-58.).

13. Bədəlov A.Z., Nəbiyev R.N., Məmmədov A.Z. Hava gəmilərinin şaquli sürətini maqnit levitasiya prinsipi əsasında ölçən qurğu // Azərbaycan Mühəndislik Akademiyasının Xəbərləri, Bakı-2014, №4, Cild 6, səh. 103-109.

14. Bədəlov A.Z., Nəbiyev R.N., Məmmədov A.Z., Yusubov V.F. Şaquli sürəti maqnit levitasiya prinsipi əsasında ölçən qurğunun xətləri // Milli Aviasiya Akademiyasının Elmi Əsərləri, Bakı-2014, №2, səh. 59-72.

15. Mamedov A.Z. Comparative analysis of features of measuring vertical speed / European Science and Technology: 9th International scientific conference. Vol. II, Munich 2014. p.379-383. (<http://sciencic.com/conference 12-24-25-2014-2.zip>)

16. Məmmədov A.Z. Şaquli sürəti ölçən maqnit levitasiya sisteminin parametrlərinin keçid proseslərinin texniki optimum şərtinə görə hesablanması // Milli Aviasiya Akademiyası, Elmi Məcmuələr, Bakı-2014, cild 16, №4, səh. 25-32.

**Dissertasiya işinin əsas məzmunu aşağıda nəşr olunmuş
elmi işlərdə öz əksini tapmışdır**

1. O.Z. Əfəndiyev, A.Z. Məmmədov Maqnit levitasiyası prinsipləri əsasında vertikal sürətölçənin qurulmasının bəzi nəzəri aspektləri // Milli Aviasiya Akademiyasının Elmi Əsərləri, Bakı-2010, №1, səh. 49-59.
2. O.Z. Əfəndiyev, A.Z. Məmmədov Vertikal sürəti ölçən levitasiya qurğusunun qüvvə xarakteristikası // Milli Aviasiya Akademiyası, Elmi Məcmuələr, Bakı-2010, cild 13, №1, səh. 7-13.
3. O.Z. Əfəndiyev, A.Z. Məmmədov Vertikal sürəti ölçən maqnit levitasiya qurğusu // AzTU, Elmi Əsərlər Bakı – 2011, №4, səh. 14-18.
4. O.Z. Əfəndiyev, A.Z. Məmmədov. Vertikal sürəti ölçən maqnit levitasiya qurğusunun konstruktiv parametrlərinin seçilməsi // Milli Aviasiya Akademiyası, Elmi Məcmuələr, Bakı-2011, cild 13, səh.13-18.
5. Əfəndiyev O.Z., Əzizov R.R., Məmmədov A.Z. Vertikal sürəti ölçən maqnit levitasiya sisteminin riyazi modeli və elektromaqnit dempferləyici bəndin cərəyan gücləndiricisinin ötürmə əmsalı K_s –ə görə dayanıqlıq oblastının qurulması / Azərbaycan Texniki Universitetinin 60 illik yubileyinə həsr olunmuş “Təhsildə və elmdə innovasiya texnologiyaları” Respublika Elmi – Praktiki Konfransının Materialları, Bakı – 2011, səh. 78-82.
6. Patent İ 2012 0042, 18.04.2012 “Uçan aparatın şaquli sürətini ölçən cihaz”, Paşayev A.M., Əfəndiyev O.Z., Məmmədov A.Z.
7. Бадалов А.З., Набиев Р.Н., Мамедов А.З. Сравнительный анализ особенностей измерения вертикальной скорости // Донецкого Национального Технического Университета «Прогрессивные Технологии и Системы Машиностроения», Международный сборник научных трудов, Выпуск 1, 2 (45), Донецк – 2013, стр. 33-41.; (Şaquli sürətin ölçülməsinin xüsusiyyətlərinin müqayisəli təhlili // Milli Aviasiya Akademiyasının Elmi Əsərləri, Bakı-2012, №1, səh. 33-47.).
8. Bədəlov A.Z., Nəbiyev R.N., Məmmədov A.Z., Şükürov S.A. Uçuş prosesində maqnit levitasiya qurğusuna təsir edən qüvvələr // Milli Aviasiya Akademiyasının Elmi Əsərləri, Bakı-2012, №2, səh. 44-66.; (Azərbaycan Mühəndislik Akademiyasının Xəbərləri, Bakı-2013, №3, Cild 5, səh. 13-27.).
9. Paşayev A.M., Bədəlov A.Z., Nəbiyev R.N., Məmmədov A.Z. Анализ погрешностей датчика скоростей с магнитной левитацией / Седьмой Международной Научно-Технической Конференции,

təsvir edilmiş cihaz və üsullardan fərqlənən uçan aparatın şaquli sürətini ölçən qurğunun yaradılması problemi olduqca aktualdır.

Tədqiqatın əsas obyektı. Dissertasiya işinin tədqiqat obyektı şaquli sürəti ölçməyə imkan verən yüksək həssaslığa malik inersial ölçü sistemlərin yaradılması və aviasiyaya tətbiqidir.

İşin məqsədi uçan aparatların şaquli sürətini ölçmək üçün maqnit levitasiya prinsipi əsasında işləyən qurğunun yaradılması, onun parametrlərinin tədqiqi və optimallaşdırılmasından ibarətdir.

Göstərilən məqsədlərə çatmaq üçün dissertasiyada aşağıdakı məsələlər qoyulmuş və həll edilmişdir:

1. Qoyulan tələblərə cavab verən şaquli sürəti ölçən maqnit levitasiya qurğusunun funksional blok sxeminin işlənməsi;
2. Uçuş prosesində təcilli hərəkət zamanı şaquli sürəti ölçən maqnit levitasiya qurğusuna təsir edən qüvvələrin dinamik tarazlıq tənliklərinin müəyyənləşdirilməsi və bu qüvvələrin təsirindən sürtünmə qüvvəsinin hesabına artan xətlərin minimuma endirilməsi;
3. Şaquli sürəti ölçən qurğunun qüvvə xarakteristikasını tədqiq etməklə onun konstruktiv parametrlərinin optimal qiymətlərinin müəyyənləşdirilməsi;
4. MLQ-nin riyazi modeli əsasında maqnit içliyin dayanıqlılıq şərtlərinin tədqiqi;
5. Şaquli sürəti ölçən maqnit levitasiya qurğusunun ölçmə sxemi işlənilməklə eksperimental ölçmə nəticələrinə əsasən onun gətirilmiş əsas xətasının, ölçmə diapazonunun və etibarlılıq sərhədlərinin təyin edilməsi;
6. Maqnit levitasiya prinsipinə əsaslanan şaquli sürəti ölçən qurğunun prinsipial elektrik sxeminin işlənməsi;
7. Şaquli sürəti ölçən cihazın laboratoriya nümunəsinin tədqiqi və nəticələrin təhlili;
8. Qurğunun işləmə algoritmini təmin edən blok sxemin qurulması və proqram təminatının yazılması.

Tədqiqat metodları. İşdə yerinə yetirilmiş nəzəri tədqiqatlar, avtomatik idarəetmə sistemlərinin nəzəri metodlarının, ehtimal nəzəriyyəsi və riyazi statistika metodlarının, informasiya-ölçmə sistemlərinin nəzəriyyəsinin əsas qanunlarından və metodlarından, müasir informatika və hesablama texnikasından, o cümlədən proqram vasitələrindən istifadə edilməklə aparılmışdır.

Dissertasiyanın **elmi yenilikləri** aşağıdakılardan ibarətdir:

1. Şaquli sürəti ölçən qurğuya təyyarənin qalxma, hündürlükyığma, üfüqi uçuş və enmə mərhələlərində x , y və z oxları istiqamətində təcilli

hərəkəti zamanı təsir edən qüvvələrin tarazlıq tənlikləri müəyyənləşdirilmişdir. Eyni zamanda maqnit içliyə təsir edən yan qüvvələrin təsirindən sürtünmə qüvvəsinin hesabına artan xətlərin minimuma endirilməsi üçün üsullar işlənmişdir;

2. Maqnit levitasiya sisteminin riyazi modeli əsasında bir parametərə görə dayanıqlıq oblastı qurulmuş və konstruktiv parametrlərə görə dayanıqlılıq şərtləri təyin edilmişdir. İlk dəfə olaraq, keçid proseslərinin texniki optimuma sazlanması üsulu şaquli sürəti ölçən maqnit levitasiya sistemi üçün tətbiq edilmiş, bu zaman ənənəvi olaraq bir parametərə görə seçilmə üsulundan fərqli olaraq dörd parametərə əsasında riyazi model qurulmuşdur;

3. Şaquli sürəti ölçən qurğunun funksional blok sxemi işlənmiş və konstruktiv parametrlərinin optimal qiymətləri müəyyənləşdirilmişdir;

4. Şaquli sürəti ölçən maqnit levitasiya qurğusunun eksperimental ölçmə nəticələrinə əsasən onun gətirilmiş əsas xətası, ölçmə diapazonu və etibarlılıq sərhədləri təyin edilmişdir;

5. Maqnit levitasiya prinsipinə əsaslanan şaquli sürəti ölçən qurğunun prinsipial elektrik sxemi və iş alqoritmi işlənmişdir;

Dissertasiyanın müdafiəyə çıxarılan əsas müddəaları:

1. Həssaslığı, cəldliyi və dəqiqliyi ilə hal-hazırda istifadə edilən şaquli sürəti ölçən cihazlarda tətbiq edilən üsullardan daha effektiv olan ölçü üsulu-maqnit asqı üslu və bu üsul əsasında cihazın funksional blok sxemi.

2. Şaquli sürəti ölçən qurğuya təyyarənin uçub qalxma, hündürlük yığma, üfüqi uçuş və enmə mərhələlərində x, y və z oxları istiqamətində təcilli hərəkəti zamanı təsir edən qüvvələrin tarazlıq tənlikləri və eyni zamanda maqnit içliyə təsir edən yan qüvvələrin təsirindən sürtünmə qüvvəsinin hesabına artan xətlərin minimuma endirilməsi üsulları.

3. Şaquli sürəti ölçən maqnit levitasiya qurğusunun konstruktiv parametrlərinin optimal qiymətləndirməsinin nəticələri, işlənmiş struktur sxemi və parametrləri texniki optimum şərtinə uyğun olan riyazi modeli.

4. Aparılmış ölçmələrin nəticələrinə əsasən maqnit levitasiya prinsipinə əsaslanan şaquli sürəti ölçən cihazın hazırlanmış laborator nümunəsindən istifadə etməklə aparılan eksperimental ölçmələrin nəticələrinə əsasən verici hissəsinin gətirilmiş əsas xətasının və etibarlılıq sərhəddinin tədqiqinin nəticələri.

5. Qurğunun işlənmiş prinsipial elektrik sxeminin tərtibi və iş alqoritminin və proqram təminatının yazılması.

ƏSAS NƏTİCƏLƏR

1. Həssaslığı, cəldliyi və dəqiqliyi ilə hal-hazırda istifadə edilən şaquli sürəti ölçən cihaz və üsullardan daha effektiv olan ölçü üsulu təklif edilmiş və onun funksional blok sxemi işlənmişdir.

2. Uçuş prosesində təcilli hərəkət zamanı şaquli sürəti ölçən qurğuya təsir edən kənar qüvvələrin dinamik tarazlıq tənliklərinin müəyyənləşdirilməsi nəticəsində formalaşan yan qüvvələrin təsirindən sürtünmə qüvvəsinin hesabına yaranan xətlər konstruktiv yanaşma, vibrasiyalardan istifadə və içliyin hərəkət diapazonunun kiçildilməsi hesabına minimumlaşdırılmışdır.

3. Şaquli sürəti ölçən qurğunun qüvvə xarakteristikasını tədqiq etməklə onun konstruktiv parametrlərinin optimal qiymətləri $h=30\text{mm}$, $R=15\text{mm}$, $b=22\text{mm}$ müəyyənləşdirilmiş və qurğunun riyazi modeli əsasında onun dinamik xassələri tədqiq olunmuş və maqnit içliyin dayanıqlılıq şərtləri təyin edilmişdir. Şaquli sürəti ölçən maqnit levitasiya sisteminin parametrlərinin keçid proseslərinin texniki optimum şərtinə görə müəyyən edilməsi məsələsinin həllinin riyazi aparatı yaradılaraq, MATLAB Simulink proqram mühitində simulyasiyası yerinə yetirilmişdir.

4. Maqnit levitasiya əsaslı şaquli sürəti ölçən qurğunun gətirilmiş əsas xətasının, ölçmə diapazonunun və etibarlılıq sərhədlərinin eksperimental təyini üçün ölçü sxemi işlənmişdir. Aparığımız ölçmələrə əsasən laboratoriya nümunəsi yaradılmış qurğunun işçi diapazonu $-3g \div +3g$ müəyyənləşdirilmişdir. Təcrübi ölçmə nəticələrinə əsasən ölçmə diapazonunda maqnit levitasiya əsaslı şaquli sürəti ölçən qurğunun gətirilmiş əsas xətası ГОСТ 8.009-84 standartına əsasən $\pm 0.2\%$ həddində müəyyənləşdirilmişdir.

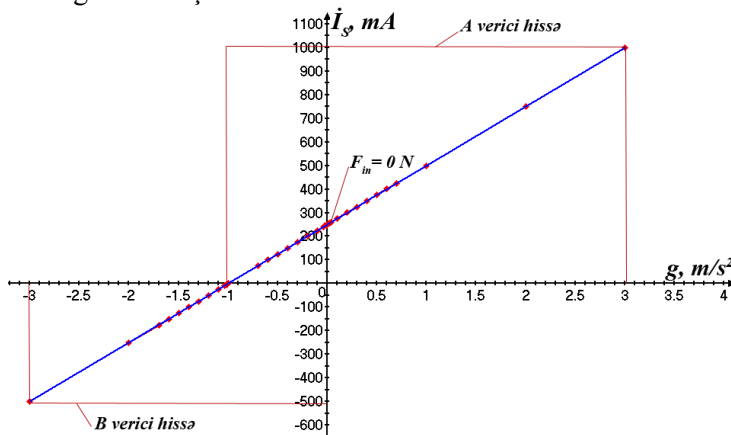
5. Şaquli sürəti ölçən qurğunun işləmə alqoritmini təmin edən blok sxem qurulmuş, prinsipial elektrik sxemi işlənmiş və işlənmiş cizgilər əsasında işlək nümunəsi hazırlanmışdır.

$$-a_y = g - \frac{k_0}{m} \cdot I_s$$

A verici hissədə maqnit içliyə ağırlıq qüvvəsinin əksinə şaquli istiqamətdə $F_{in} \geq mg$ inersiya qüvvəsi təsir edərsə maqnit içlik çəkisizliyə düşərək A verici hissədə qalvanomaqnit vericinin həssaslıq zonasından çıxacaqdır. Yəni təyyarə -1g təcillə aşağı enərsə A verici hissədə solenoiddən axan cərəyan 250mA-dən 0mA-ə qədər azalacaqdır. Bu zaman B verici hissədə olan maqnit içlik öz vəziyyətini ağırlıq qüvvəsinin əksi istiqamətində öz yerini dəyişəcəkdir. Bu yerdəyişmə B verici hissədə olan qalvanomaqnitdə elektrik siqnalına çevrilərək aşağı enmə şaquli sürətinə mütənasib olacaqdır. Bu halda B verici hissədə solenoiddən axan cərəyan mənfi istiqamətdə artacaqdır. B verici hissədə qüvvələrin tarazlıq tənliyinə əsasən maqnit içliyə ağırlıq qüvvəsinin əksinə şaquli istiqamətdə təsir edən $-a_y$ təcil aşağıdakı kimi müəyyənləşdirilir:

$$-a_y = g + \frac{k_0}{m} \cdot I_s$$

Şək. 8-də hazırlanmış qurğunun maketinə şaquli istiqamətdə təsir edən müxtəlif g təcillərin qiymətində A və B verici hissələrdə solenoidlərdən axan cərəyanın nəzəri və praktiki nəticələrə əsasən dəyişmə xarakteristikası göstərilmişdir.



Şək. 8. Maqnit içliyə şaquli istiqamətdə təsir edən g-dən asılı olaraq solenoiddən axan cərəyanın nəzəri və praktiki olaraq dəyişməsi

Aparılmış təcrübədə ölçmə nəticələrinə əsasən laboratoriya nümunəsi yaradılmış qurğunun ölçmə diapazonu (-3g ÷ +3g) müəyyən edilmiş və verici hissəsinin gətirilmiş əsas xətasının standartda əsasən $\pm 0.2\%$ olması müəyyən edilmişdir.

Praktiki əhəmiyyəti. Aviasiyada uçan aparatların uçuş hündürlüyünün stabil saxlanması olduqca vacib məsələlərdən biridir. Bu baxımdan bu cür məsələlərin həlli üçün maqnit levitasiya prinsipinə əsaslanan yüksək dəqiqliklə və həssaslıqla şaquli sürəti ölçən qurğunun yaradılması və onun UA – da tətbiqi mühüm praktiki əhəmiyyət daşıyır. Bundan əlavə işlənmiş maqnit levitasiya sistemi tələbələrin öyrədilməsi üçün praktiki əyani vasitə kimi və həmçinin texnoloji qurğularda sərfölçən kimi də istifadə oluna bilər.

İşin aprobasiyası. Dissertasiyanın nəticələri aşağıdakı konfranslarda məruzə edilmiş və qrant layihəsində icra edilmişdir:

1. Azərbaycan Respublikası Prezidenti yanında Gənclər Fondunun 2013-cü ildə IV qrand müsabiqəsi çərçivəsində C kateqoriyası üzrə “Uçan aparatların şaquli sürətini ölçən qurğunun işlənməsi” adlı fərdi qrand layihəsinin qalibi olmuş və uğurla icra edilmişdir.

2. Azərbaycan Texniki Universitetinin 60 illik yubileyinə həsr olunmuş “Təhsildə və elmdə innovasiya texnologiyaları” Respublika Elmi – Praktiki Konfransının Materialları, Bakı – 2010.

3. Московский Государственный Технический Университет Гражданской Авиации. Международная научно-техническая конференция, посвященная 90-летию гражданской авиации, Москва, 24 апреля 2013г.

4. Седьмой Международной Научно-Технической Конференции «Микроэлектронные Преобразователи и Приборы на Их Основе», Баку-Сумгаит, 27-29 ноября 2013 г.

5. European Science and Technology: 9th International scientific conference. Munich 2014.

Dərc olunan məqalələr. Dissertasiya işinə aid 1 ixtiraya dair patent, elmi jurnallarda və bir sıra konfransların məcmuələrində 15 məqalə dərc edilmişdir ki, onların 5-i xarici ölkələrdə nəşr edilmişdir.

İşin strukturu və həcmi. Dissertasiya işi 17 cədvəl və 63 şəkil də daxil edilməklə ümumilikdə 114 çap səhifəsində şərh edilmişdir. Quruluşca iş girişdən, dörd fəsildən, nəticədən və 133 adda istifadə edilmiş ədəbiyyat siyahısından ibarətdir.

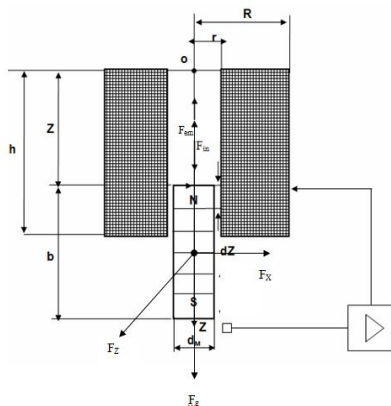
İŞİN MƏZMUNU

Girişdə dissertasiya işinin mövzusunun aktuallığı əsaslandırılmış, görülən işin məqsədi, elmi yeniliyi, praktiki əhəmiyyəti və vəzifələri müəyyənləşdirilmiş, müdafiəyə çıxarılan əsas müddəalar, aprobasiya

dərəcəsi verilmiş, işin fəsilər üzrə əsas məzmunu qısa formada şərh olunmuşdur.

Birinci fəsildə ədəbiyyat icmalı verilmişdir. Uçan aparatların şaquli sürətinin ölçülməsinin vacibliyini şərtləndirən əsas səbəblər göstərilmişdir. İşdə şaquli sürətin ölçülməsinin müasir metod və vasitələri, onların imkanlarını və xüsusiyyətlərini nəzərə almaqla parametrlərinin optimallaşdırılması məqsədi ilə müqayisəli şəkildə təhlil edilmiş və onların perspektiv inkişaf istiqamətləri göstərilmişdir. Bundan başqa bu bölmədə maqnit levitasiya prinsipinə əsaslanan kontaktsiz asqıların tətbiq sahələri verilmiş və maqnit levitasiya sxemlərinin müqayisəli analizi aparılmışdır. Bir çox üstünlüklərinə görə maqnit qalvanik tipli maqnit levitasiya sxeminin istifadəsi əsaslandırılmışdır. Müasir tələblərə cavab verən və bir sıra xüsusiyyətləri ilə hal-hazırda istifadə edilən şaquli sürəti ölçən cihazlardan daha effektiv olan ölçü üsulu və onun funksional blok sxemi təklif olunmuşdur.

İkinci fəsildə maqnit levitasiya sisteminin (MLS) nəzəri aspektlərinə baxılmışdır. Burada MLS-ə şaquli istiqamətdə təsir edən qüvvələrin (Şəkl. 1) dinamik tarazlıq halına baxılmışdır.



Şəkl. 1. Şaquli sürəti ölçən maqnit levitasiya qurğusuna təyyarənin hərəkəti zamanı x, y və z oxları istiqamətində təsir edən qüvvələr

Təyyarənin x, y, z oxları üzrə aldıkları maksimal təcilləri nəzərə alaraq maqnit içliyə təsir edən qüvvələrin tarazlıq tənliyi aşağıdakı kimidir:

$$\sqrt{((F_g - F_{em} - F_D \pm F_{in})^2 + F_x^2 - \bar{F}_{R1})^2 + (0.05mg)^2} - \bar{F}_{R2} = 0,$$

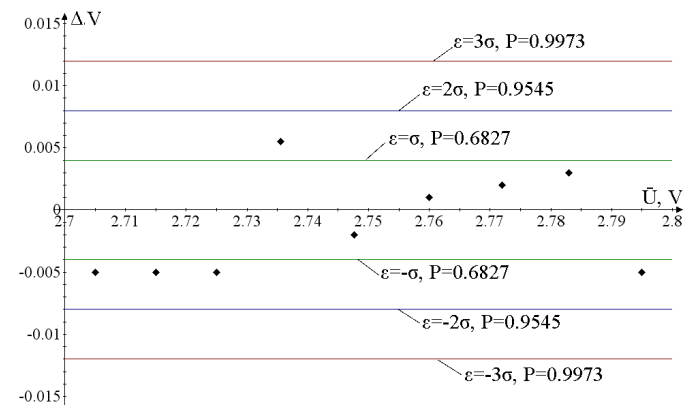
Müəyyən olunmuşdur ki, təyyarənin müxtəlif dönmə hərəkətləri zamanı şaquli sürəti ölçən maqnit levitasiya qurğusundakı maqnit içlik bəzi

Dördüncü fəsildə uçan aparatların şaquli sürətini maqnit levitasiya prinsipi əsasında ölçən qurğunun işlənmiş cizgilərə və elektrik sxeminə əsasən real laboratoriya maketi hazırlanmış və onun parametrlərinin müvafiq hesabları aparılmışdır.

Maqnit levitasiya prinsipi əsasında uçan aparatın şaquli sürət vericisinin ölçmə sxemi işlənmişdir və aparılmış təcrübə ölçmələrə əsasən Holl vericisinin çıxış gərginliyinin maqnit içlikdən olan məsafədən asılılıq qrafiki qurulmuşdur.

Aparılmış ölçmələrin nəticələrinə əsasən maqnit levitasyalı şaquli sürəti ölçən cihazın vericisinin gətirilmiş əsas xətası və etibarlılıq sərhəddi tədqiq olunmuşdur (Şəkl. 7).

Laboratoriya nümunəsi yaradılmış maqnit levitasiya prinsipi əsasında olan şaquli sürəti ölçən qurğu həm yuxarı qalxma, həm də aşağı enmə sürətlərini təyin etmək üçün A və B verici hissələrdən ibarətdir. Bu verici hissələr eyni qüvvə xarakteristikasına malikdir. Eksperiment nəticələri bu iki hissə ilə ayrıca aparılmış ölçmələrə əsasən müəyyən olunmuşdur.



Şəkl. 7. Holl çıxış gərginliyinin xətasına əsasən etibarlılıq sərhəddi

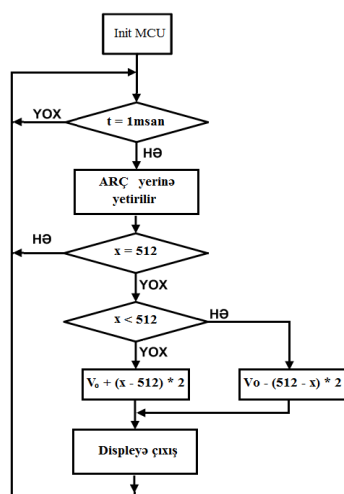
Qurğuya ağırlıq qüvvəsi istiqamətində ətalət qüvvəsi təsir etdikdə, yəni təyyarə müəyyən sürətlə yuxarı qalxarsa bu zaman A verici hissədə maqnit içliyə şaquli istiqamətdə təsir edən təcil aşağıdakı kimi təyin edilir:

$$a_y = \frac{k_0}{m} \cdot I_s - g$$

Qurğuya maqnit içliyin ağırlıq qüvvəsinin əksinə ətalət qüvvəsi təsir edərsə, yəni təyyarə müəyyən şaquli sürətlə aşağı enərsə bu zaman A verici hissədə maqnit içliyə ağırlıq qüvvəsinin əksinə şaquli istiqamətdə təsir edən $-a_y$ təcil aşağıdakı kimi təyin olunur:

[illegible]

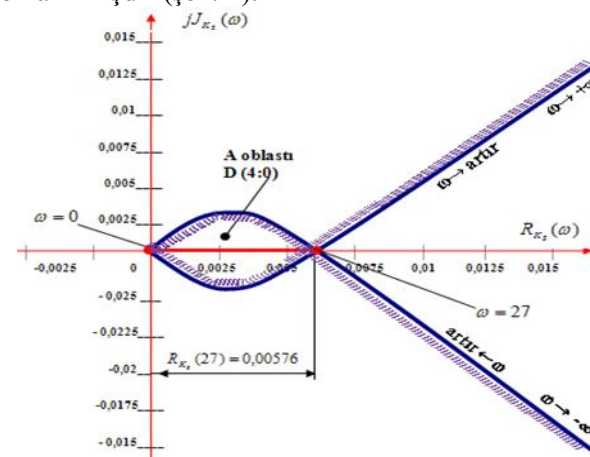
Şaquli sürəti ölçən qurğunun blok sxeminə əsasən Assembler dilində onun proqramı təminatı yazılmışdır. Mikrokontrollerin yuxarıdakı alqoritmi reallaşdırmaq üçün Assembler dilində yazılmış proqram dissertasiya işində Əlavə 1-də göstərilmişdir.



12

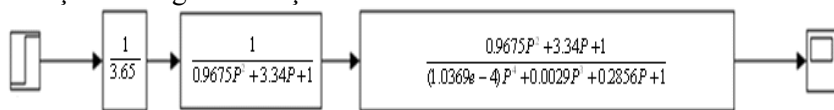
İşdə maqnit levitasiya sisteminin dinamik xassələri tədqiq olunmuş, maqnit içliyin stabil və dayanıqlı vəziyyətini təmin edən şərtləri və lazım parametrlərin hesabət nəticələri verilmişdir. Şaquli sürəti ölçən qurğunun struktur sxemi əsasında çevirmə qaydalarına uyğun olaraq MLS-in avtomatik qapalı tənzimləmə sisteminin ötürmə funksiyası şəklində riyazi modeli qurulmuşdur. Cərəyan gücləndiricisinin k_s - ötürmə əmsalı üçün dayanıqlıq oblası qurulmuş və dəyişmə intervalı tapılmışdır. Bunun üçün sistemin ötürmə funksiyasında qapalı sistemin xarakteristik tənliyindən istifadə edilmişdir :

Sistemin həqiqi və xəyali tezlik xarakteristikalarına görə D-bölmə oblastı qurulmuş və k_s - ötürmə əmsalının müxtəlif qiymətləri üçün sistemin dayanıqlılığı yoxlanılmışdır (şək. 2).



Şaquli sürəti ölçən maqnit levitasiya sisteminin (ŞSMLS) keçid proseslərinin konkret bir tələblə formalaşan texniki tapşırıq əsasında müəyyən edilməsi məsələsi də tədqiqatın qarşıya qoyduğu vacib məsələlərdən biridir. Belə ki, məsələnin bu formada qoyuluşu ŞSMLS-nin

dayanıqlı sisteminin sintezi probleminin həlli istiqamətlərini müəyyən etməyə imkan verir. Bu mənada, ŞSMLS-in keçid proseslərinin konkret bir tələblə formalaşan texniki tapşırıq əsasında müəyyən edilməsi məsələsi nəzərə alaraq əsaslandırılmış, parametrlərinin keçid proseslərinin texniki optimum şərtinə görə müəyyən edilməsi məsələsinin həllinin riyazi aparatı yaradılaraq, MATLAB Simulink proqram mühitində simulyasiyası yerinə yetirilmişdir. Belə bir ikitərtibli süzgəcə malik olan ŞSMLS-nin struktur sxemi şəkl. 3-də göstərilmişdir.



Şəkl. 3. Parametrləri texniki optimum şərtinə görə hesablanmış və ikitərtibli süzgəcə malik ŞSMLS-nin struktur sxemi

Müəyyən edilmişdir ki, parametrlərin dəyişməsi keçid prosesinin texniki optimum şərtini ödəyən halını saxlaması üçün əmsalları avtomatik olaraq müəyyən edilən ikitərtibli süzgəc tətbiq etmək lazımdır. Belə ikitərtibli süzgəcin riyazi modelinin əmsallarının avtomatik hesablanması üçün riyazi aparat işlənilib hazırlanmışdır.

Üçüncü fəsildə uçan aparatların şaquli sürətini maqnit levitasiya prinsipi əsasında ölçən qurğunun tədqiqi məsələlərinə baxılmışdır. Şaquli sürəti ölçən maqnit levitasiya qurğusunun funksional sxemi işlənilmiş və onun iş prinsipi izah olunmuşdur.

Yüksək dəqiqlik və həssaslıqla şaquli sürəti ölçmək üçün bizim təklif etdiyimiz maqnit levitasiya sistemi əsasında şaquli sürəti ölçən qurğu aşağıdakı üstünlüklərə malikdir:

- ətalətliliyin kiçik olması; temperatur xətasının əsasən kompensasiya edilməsi; ölçmə diapazonunun geniş olması; şaquli sürəti ölçən levitasiya qurğusunun maqnit içliyinin ölçmə kamerasının divarları ilə mexaniki kontaktda olmaması ölçmənin həssaslığını yüksəldir; alınan informasiyanın elektrik signalı şəklində olması diskretizasiya tərtibinin artırılması və sistemə xətaların aradan qaldırılması hesabına dəqiqliyin artırılmasına və avtomatik idarəetmə sistemlərində (AİS) birbaşa istifadəsinə imkan verir.

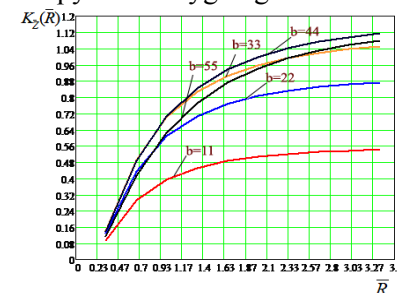
Bu bölmədə şaquli sürəti ölçən maqnit levitasiya qurğusunun müxtəlif konstruksiya parametrlərində qüvvə xarakteristikaları təyin edilmişdir. Maqnit levitasiya əsaslı şaquli sürəti ölçən qurğunun qüvvə xarakteristikasının tədqiqatının əsası maqnit levitasiya sisteminin konstruktiv parametrlərinin optimal qiymətinin müəyyən olunmasıdır. Bu

zaman az enerji sərf etməklə və solenoid cərəyanının stabil saxlanması ilə silindirik maqnit içliyin levitasiya vəziyyəti dayanıqlı təmin olunmalıdır.

Şaquli sürəti ölçən maqnit levitasiya qurğusunun konstruktiv parametrlərinin hesablanması sxemi əsasında $K(\bar{R})$ - nisbi dartqı əmsalının xarakteristikaları qurulmuş və konstruktiv parametrlərinin optimal qiymətlərinin tapılmasının analizi aparılmışdır (şəkl. 4). Levitasiya qurğusunun konstruksiya parametrlərinin optimal qiymətlərinin seçilməsi üçün ilkin olaraq maqnit içliyin uzunluğu $b=11, 22, 33, 44, 55$ mm və solenoidin hündürlüyünün $h=30, 50, 75$ mm vəziyyətində $\bar{R}$ solenoidin xarici radiusu ilə $K(\bar{z})$ nisbi dartqı əmsalı arasındakı asılılıqlar müəyyən olunmuşdur. Alınmış ayrılərə əsasən müəyyən edilir ki, şaquli sürəti ölçən maqnit levitasiya qurğusunun h, b və R konstruktiv parametrlərinin optimal qiymətlərini $K(\bar{R})$ - nisbi dartqı əmsalına görə seçə bilərik.

Bundan başqa bu fəsildə maqnit levitasiya prinsipi əsasında şaquli sürəti ölçən qurğunun funksional blok sxeminin qurulma prinsipi göstərilmişdir. Burada qurğunun analoq blokunun prinsiplial elektrik sxemi işlənilmiş, sxemə daxil olan elementlərin vəzifələri göstərilmiş və hesabatı aparılmışdır. Qurğunun Holl vericili analoq elektron blokunun prinsiplial elektrik sxemi şəkl. 5-də göstərilmişdir. Levitasiya edən sabit maqnitin vəziyyətini bildirən verici kimi Honywell firmasının istehsalı olan SS495A tipli Holl vericisi istifadə olunmuşdur. Gərginlik gücləndiricisi LM358 tipli əməliyyat gücləndiricisi üzərində yığılmışdır.

Bundan başqa qurğunun hesablama algoritmi təyin edilmiş və proqram təminatı yazılmışdır. Burada mikrokontroller kimi Microchip firmasının istehsalı olan 8 bitli PIC16F676 mikrokontrolleri istifadə olunmuşdur. Hazırlanmış qurğunun iş algoritmi şəkl. 6-da göstərilmişdir. ARÇ-nin girişində 2.5 V gərginliyə uyğun kod 512 ədədinə uyğundur. Bu isə verilmiş halda təcilin 0 qiymətinə uyğun gəlir.



Şəkl. 4. $r=7\text{mm}=\text{const}$, $h=30\text{mm}$ və $b=11, 22, 33, 44, 55$ mm halları üçün $K_z(\bar{R})$ nisbi dartqı əmsalının solenoidin $\bar{R}$ nisbi xarici radiusundan asılılığı