**АННОТАЦИЯ**

**к диссертации Қалекеевой Марины Есенгелдікызы на тему: «Разработка и исследование беспилотного летательного манипулятора с искусственным зрением», представленную на соискание ученой степени доктора по специальности 6D071400 - «Авиационная техника и технологии»**

**Актуальность работы.** Использование БПЛА с манипулятором, способными взаимодействовать с внешней средой, может значительно увеличить их возможности. В последние годы появилось новое направление по использованию беспилотных летательных манипуляторов для большего функционального разнообразия: физический осмотр, техническое обслуживание, очистка стен и сбор объектов в труднодоступных местах.

Основной проблемой использования БПЛМ не решенной до настоящего времени, является обеспечения точного позиционирования и стабилизации при взаимодействии с вертикальной стеной. Основная причина заключается в сильном влиянии внешних факторов: аэродинамика, инерционность БПЛМ, влияние сил взаимодействия и т.д.

Предлагается решение указанной проблемы путем применения БПЛМ с более сложной роботизированной рукой и искусственным зрением, которая способна обеспечить точное позиционирование и стабилизацию при взаимодействии с поверхностью.

**Уровень изучения проблемы.** Люди всегда пытались превзойти свои собственные возможности. Этот инстинкт преодоления и непрерывная эволюция технологии вели в начале прошлого века к важным достижениям в областях робототехники и аэронавтики, в результате чего способность летать стала не только умением животного мира, но и позволила создать надежный вид транспорта в современных обществах. В то время как коммерческие самолеты стали частью повседневной жизни, развитие других типов воздушных транспортных средств также претерпевало изменения и совершенствовалось. Это касается мультироторов. Однако у всех аппаратов было важное ограничение: их контроль требовал, чтобы сложные операции на борту производились человеком. И только в конце ХХ века инновационные технологии позволили заменить пилота системами автоматического управления, беспилотными летательными аппаратами (БПЛА). Эти беспилотники были более экономичными, небольшими и легкими, чем управляемые самолеты, и давали возможность выполнять целый ряд задач, которые не подвергали опасности человеческую жизнь. Беспилотные летательные аппараты, особенно многороторные системы, в последние годы приобрели большую популярность благодаря значительному увеличению маневренности и снижению веса. БПЛА хорошо зарекомендовали себя в условиях исключения физического взаимодействия с окружающей средой, выполнения отслеживания, наблюдения и других инспекционных задач. В случаях, при которых необходимо физическое взаимодействие, существуют решения - ARCAS, AEROARMS1 и ЕС AEROWORKS1, в которых создавались БПЛА с продвинутыми возможностями манипуляции к автономным промышленным задачам контроля и ремонта. Этот новый тип воздушных транспортных средств, называемых Unmanned Aerial Manipulators (UAM), состоит из платформы мультиротора (способного провести, колебаться в положении или взлете и земле вертикально) с одним или более автоматизированными манипуляторами, обычно предназначенными для взаимодействия с окружающей средой.

Эта работа сосредоточена на навигации UAMs посредством визуальной информации, влекущий за собой методы для оценки состояния робота (т.е., чтобы получить ее положение, ориентацию, скорость и ускорение), и задача ориентировала контроль. Тематика исследования направлена на определенные цели и схемы подхода для достижения таких целей, завершающих научным продуктом публикаций работы.

Область применения беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) постоянно расширяется. Для некоторых сфер жизнедеятельности использование пилотируемой авиации недопустимо из-за высоких рисков для пилота. Например, БПЛА были задействованы в операциях с высоким риском для выполнения агрессивных маневров или для сбора данных исследований в опасных условиях, таких как ураганы. БПЛА также могут быть меньше по габаритам, так как они не рассчитаны на вес человеческого тела. Они потенциально дешевые и пригодны для работы в небольших помещениях, что делает их пригодными для использования в помещениях.

Таким образом, БПЛА стали универсальным классом летательных аппаратов для многопланового использования, таких как воздушная разведка, погрузка транспорта, досмотр и др.

Мультикоптеры, важный класс БПЛА, появились в течение последних нескольких лет. С продвижением технологий улучшилась компьютерная обработка данных, инерциальные датчики и литий-ионные полимерные (LiPo) батареи. Поскольку эти устройства имеют очень простую механическую конструкцию без гребных винтов изменяемого шага и могут быть спроектированы соответствующего размера и количества роторов, они могут использоваться как простые и универсальные решения для многих приложений.

В теоретической части, когда проблема достижения базовых навыков полета была решена, исследователи переключили свое внимание на более сложные задачи, такие как агрессивное маневрирование, отслеживание траектории, предотвращение препятствий, визуальная навигация, совместные задачи и воздушные манипуляции. Исследования применения БПЛА обычно ограничиваются обменом информацией без физического взаимодействия, таких как отслеживание, наблюдение, картографирование и визуальный осмотр.

**Цель диссертационной работы**состоит в исследовании возможностей управления беспилотным летающим аппаратом с многошарнирным роботизированным манипулятором при взаимодействии с поверхностью плоскости и разработке научно-теоретических и прикладных решений повышения точности позиционирования и стабилизации. Исследуются возможность управления летательными манипуляторами при условиях пристенного и силового возмущения с объектом.

**Задачи исследования:**

* Изучение современного состояния использования беспилотного летательного аппарата с манипулятором.
* Разработка математической модели беспилотного летательного аппарата с манипулятором. Разработка виртуальной модели БПЛА с манипулятором.
* Разработка системы управления беспилотного летательного манипулятора.
* Экспериментальные исследования на основе компьютерного моделирования беспилотного роботизированного летательного аппарата.
* Разработка системы искусственного зрения для позиционирования БПЛМ и контроля последовательности выполнения операций.

**Объектом исследования**является беспилотный летательный аппарат с манипулятором.

**Методы и предметы исследования –**аналитические исследования, компьютерное моделирование, методы анализа и синтеза систем управления.

**Научная новизна.** 1. Концептуальный подход управления БПЛМ в условиях нестабильности путем применения искусственного зрения. 2. Метод и алгоритм управления беспилотным летательным аппаратом при взаимодействии с поверхностью.

**Теоретическая и практическая значимость.**

– разработанный метод и алгоритм анализа управления беспилотным летательным аппаратом при взаимодействии с поверхностью позволяет обеспечить точное позиционирование и стабилизацию летательного аппарата.

– предложенная схема системы управления беспилотного летательного манипулятора позволяет встраивать его в уже существующие системы диагностики, мониторинга и контроля воздушных манипуляции, с учетом пристенного возмущения и силового взаимодействия с объектом, закрепленным на стене.

**Апробация работы.** Основные результаты диссертационной работы доложены и обсуждены на международных и зарубежных научных конференциях, научных семинарах:

− Международная научно-практическая конференция АО «Академия гражданской авиации», доклад на тему: «Адаптивный фильтр для систем с техническим зрением» (Алматы, 10.04.2020);

− Международная научно-практическая конференция АО «Академия гражданской авиации», доклад на тему: «Разработка беспилотного манипулятора»(Алматы, 07.12.2020);

* Международная конференция «Инновации в образовании, науке, транспортно-логистической и телекоммуникационных отраслях» Академии логистики и транспорта, доклад на тему: «Ұшқышсыз ұшу манипуляторларының жер бетіндегі объектілермен өзара физикалық іс-қимыл мәселелері» (Алматы, 26.11.2021);

− Научном семинаре кафедры Авиационной техники и технологии АО «Академия гражданской авиации». Результаты диссертационного исследования опубликованы в 8 работах. Из них 3 статьи в журналах, рекомендованных Комитетом по контролю в сфере образования и науки МОН РК, 1 статья в международном научном издании, входящий в базу данных Scopus, 3 работы в материалах международных конференций, 1 авторский патент на полезную модель (Нур-Султан, 21.03.2020 – 26.03.2021).

**Основные положения, выводимые на защиту.** Математическая модель роботизированного летательного аппарата в условиях пристенного и силового возмущения с объектом закрепленным на стену. Методология системной идентификации робототизированного летательного аппарата. Система контроля решения для стадии свободного полета.

**Личный вклад исследователя.**Проведен обзор современного состояния развития летательных манипуляторов, разработана математическая модель модель летательного манипулятора с учетом пристенных помех, проведена системная идентификация для роботизированного летательного аппарата.

**Структура и объем диссертации.** Общий объем диссертационной работы составляет 124 страниц. Диссертационная работа состоит из введения, 4 глав, заключения, списка использованной литературы и приложения А.

В диссертации приводятся результаты исследований по моделированию и управлению воздушным манипулятором. Исследования проведены с использованием современного лабораторного оборудования, оборудованного мультикоптером с трехзвенным роботом-манипулятором и датчиком силы и крутящего момента.

В главе I приводится обзор литературы, в котором представлено современное состояние исследований по воздушным манипуляциям и связанными с этими операциями: пристенные помехи, управление мультикоптерами, анализ мультикоптеров, взаимодействующих со стенами.

В главе II приводится математическая модель воздушного манипулятора, разработанного с учетом пристенного возмущения и силового взаимодействия с объектом, закрепленным на стене.

В главе III приводится методология системной идентификации и результаты экспериментов для мультикоптера с шестью роторами (гексакоптер), оснащенного роботизированной рукой.

В главе IV предлагается контроль решения для стадии свободного полета, когда аппарат приближается к стене, проводится моделирование беспилотного роботизированного летательного аппарата.

**АҢДАТПА**

**«Жасанды көру арқылы ұшқышсыз ұшу манипуляторын әзірлеу және зерттеу» тақырыбындағы 6D071400 – «Авиациялық техника және технологиялар" мамандығы бойынша доктор ғылыми дәрежесін алуға ұсынылған Қалекеева Марина Есенгелдіқызының диссертациясы**

**Жұмыстың өзектілігі.** Сыртқы ортамен әрекеттесуге қабілетті манипуляторы бар ұшқышсыз ұшу аппараттарын пайдалану олардың мүмкіндіктерін айтарлықтай арттыруы мүмкін. Соңғы жылдары функционалды әртүрлілік үшін дрондарды пайдаланудың жаңа бағыты пайда болды: физикалық тексеру, техникалық қызмет көрсету, қабырғаларды тазалау және жетуі қиын жерлерде заттарды жинау.

Осы уақытқа дейін шешілмеген ҰҰА пайдаланудың негізгі мәселесі тік қабырғамен әрекеттесу үшін дәл позицияны және тұрақтандыруды қамтамасыз ету болып табылады. Негізгі себеп – сыртқы факторлардың күшті әсері: аэродинамика, ҰҰА инерциясы, өзара әрекеттесу күштерінің әсері және т.б.

Бұл мәселені шешу ҰҰА-ң неғұрлым күрделі роботты қолмен және жасанды көруді қолдану арқылы ұсынылады, ол жер бетіндегі өзара әрекеттесудің дәл орналасуы мен тұрақтануын қамтамасыз ете алады.

**Мәселенің зерттелу деңгейі.** Адамдар әрқашан өз қабілеттерінен асып түсуге тырысты. Бұл жеңу инстинкті және технологияның үздіксіз эволюциясы өткен ғасырдың басында робототехника және аэронавтика салаларындағы маңызды жетістіктерге әкелді, соның арқасында ұшу қабілеті жануарлар әлемінің шеберлігі ғана емес, сонымен қатар жануарлар әлемін құруға мүмкіндік берді. қазіргі қоғамдағы сенімді көлік түрі. Дегенмен, барлық құрылғылардың маңызды шектеуі болды: оларды басқару борттағы күрделі операцияларды адамның орындауын талап етті. Тек ХХ ғасырдың аяғында ғана инновациялық технологиялар ұшқышты автоматты басқару жүйелерімен, ұшқышсыз ұшу аппараттарымен (ұшқышсыз ұшу аппараттарымен) ауыстыруға мүмкіндік берді. Бұл аппараттар басқарылатын ұшақтарға қарағанда үнемді, шағын және жеңіл болды және адам өміріне қауіп төндірмейтін бірқатар тапсырмаларды орындауға мүмкіндік берді. Ұшқышсыз ұшу аппараттары, әсіресе көп роторлы жүйелер соңғы жылдары маневрлік қабілетінің айтарлықтай артуы мен салмағын азайтудың арқасында үлкен танымалдылыққа ие болды. Ұшқышсыз ұшу аппараттары қоршаған ортамен физикалық өзара әрекеттесуді болдырмау, бақылау және басқа да тексеру тапсырмаларын орындау тұрғысынан өздерін жақсы дәлелдеді. Физикалық өзара әрекеттесу қажет болған жағдайда шешімдер бар - ARCAS, AEROARMS1 және EC AEROWORKS1, оларда автономды өндірістік басқару және жөндеу тапсырмалары үшін озық манипуляциялық мүмкіндіктері бар ұшқышсыз ұшу аппараттары жасалған. Ұшқышсыз әуе манипуляторлары (UAM) деп аталатын әуе көлігінің бұл жаңа түрі әдетте қоршаған ортамен әрекеттесу үшін әзірленген бір немесе бірнеше автоматтандырылған манипуляторлары бар көп роторлы платформадан (навигациялауға, орнында тербелуге немесе ұшуға және тігінен қонуға қабілетті) тұрады.

Бұл жұмыс робот күйін бағалау әдістерін (яғни оның орнын, бағдарын, жылдамдығын және үдеуін алу үшін) және тапсырмаға бағытталған басқаруды қажет ететін көрнекі ақпарат арқылы UAM құрылғыларын шарлауға бағытталған. Зерттеу пәні жұмыстың жарияланымдарының ғылыми өнімін аяқтай отырып, осындай мақсаттарға жету үшін белгілі бір мақсаттар мен тәсілдердің схемаларына бағытталған.

Ұшқышсыз ұшатын аппараттардың (ҰҰА) қолдану аясы үнемі кеңейіп келеді. Өмірдің кейбір салаларында ұшқыш үшін жоғары тәуекелдерге байланысты басқарылатын ұшақтарды пайдалану мүмкін емес. Мысалы, ұшқышсыз ұшу аппараттары агрессивті маневрлерді орындау немесе дауыл сияқты қауіпті ортада зерттеу деректерін жинау үшін жоғары тәуекелді операцияларда орналастырылған. ҰҰА-тардың көлемі де кішірек болуы мүмкін, өйткені олар адам денесінің салмағын көтеруге арналмаған. Олар ықтимал арзан және кішігірім кеңістіктерге жарамды, бұл оларды ішкі пайдалануға жарамды етеді.

Осылайша, ұшқышсыз ұшу аппараттары әуеден барлау, көлікті тиеу, тексеру және т.б. сияқты көп қырлы пайдалануға арналған ұшақтардың әмбебап класына айналды.

Соңғы бірнеше жылда ұшқышсыз ұшу аппараттарының маңызды класы болып табылатын мультикоптерлер пайда болды. Технология дамыған сайын компьютерді өңдеу, инерциялық сенсорлар және литий-ионды полимерлі (LiPo) батареялары жақсарды. Бұл қондырғылар айнымалы қадамдық пропеллерсіз өте қарапайым механикалық конструкцияға ие болғандықтан және роторлардың өлшемі мен санына сәйкес жобалануы мүмкін болғандықтан, оларды көптеген қолданбалар үшін қарапайым және әмбебап шешім ретінде пайдалануға болады.

Теориялық бөлімде, негізгі ұшу дағдыларына қол жеткізу мәселесі шешілген кезде, зерттеушілер агрессивті маневр жасау, траекторияны қадағалау, кедергілерді болдырмау, визуалды навигация, бірлескен тапсырмалар және әуе манипуляциясы сияқты күрделі тапсырмаларға назар аударды. ҰАА зерттеулері әдетте бақылау, бақылау, картаға түсіру және визуалды тексеру сияқты физикалық өзара әрекеттесусіз ақпарат алмасумен шектеледі.

**Диссертациялық жұмыстың мақсаты** – ұшақ бетімен әрекеттесу кезінде көп буынды робот қолы бар ұшқышсыз ұшатын аппаратты басқару мүмкіндіктерін зерттеу және позициялау мен тұрақтандыру дәлдігін жақсарту үшін ғылыми, теориялық және қолданбалы шешімдерді әзірлеу. Қабырғаға жақын және объектіге күшті әсер ету жағдайында ұшатын манипуляторларды басқару мүмкіндігі зерттеледі.

**Зерттеу мақсаттары**:

− Манипуляторы бар ұшқышсыз ұшатын аппаратты пайдаланудың ағымдағы жағдайын зерттеу.

− Манипуляторы бар ұшқышсыз ұшатын аппараттың математикалық моделін жасау. Манипуляторы бар ұшқышсыз ұшақтың виртуалды моделін жасау.

− Ұшқышсыз манипуляторды басқару жүйесін әзірлеу.

− Ұшқышсыз роботты ұшатын аппаратты компьютерлік модельдеуге негізделген эксперименттік зерттеулер.

− ҰАА позициясын анықтау және операциялардың реттілігін бақылау үшін жасанды көру жүйесін әзірлеу.

**Зерттеу объектісі** – манипуляторы бар ұшқышсыз ұшу аппараты.

**Зерттеу әдістері мен пәндері** – аналитикалық зерттеу, компьютерлік модельдеу, басқару жүйелерін талдау және синтездеу әдістері.

**Ғылыми жаңалық.** 1. Жасанды көруді қолдану арқылы тұрақсыздық жағдайында BPLM бақылауының тұжырымдамалық тәсілі. 2. Жер бетімен әрекеттесу кезінде ұшқышсыз ұшатын аппаратты басқару әдісі мен алгоритмі.

**Теориялық және практикалық маңызы.**

– ұшқышсыз ұшатын аппаратты жер бетімен әрекеттесу кезінде басқаруды талдаудың әзірленген әдісі мен алгоритмі әуе кемесінің дәл орналасуына және тұрақталуына мүмкіндік береді.

- ұшқышсыз ұшқышсыз манипуляторды басқару жүйесінің ұсынылған схемасы оны қабырғаға жақын бұзылуларды және қабырғаға бекітілген нысанмен күш әрекеттесуін ескере отырып, ауа манипуляцияларын диагностикалау, бақылау және басқару үшін қолданыстағы жүйелерге біріктіруге мүмкіндік береді.

**Жұмысты апробациялау**. Диссертациялық жұмыстың негізгі нәтижелері халықаралық және шетелдік ғылыми конференцияларда, ғылыми семинарларда баяндалып, талқыланды:

− «Азаматтық авиация академиясы» АҚ халықаралық ғылыми-тәжірибелік конференциясы, «Техникалық көрнекілігі бар жүйелерге арналған адаптивті фильтр» тақырыбындағы баяндама (Алматы, 10.04.2020 ж.);

«Азаматтық авиация академиясы» АҚ халықаралық ғылыми-тәжірибелік конференциясы, «Ұшқышсыз манипуляторды дамыту» тақырыбындағы баяндамасы (Алматы, 07.12.2020 ж.);

− Логистика және көлік академиясының «Білім, ғылым, көлік, логистика және телекоммуникация салаларындағы инновациялар» халықаралық конференциясы, «Ұшқышсыз ұшу манипуляторларының жер бетіндегі объектілермен өзара физикалық іс-әрекеттері» тақырыбындағы баяндама (Алматы 11/26, Алматы қ., /2021);

− «Азаматтық авиация академиясы» АҚ авиациялық техника және технологиялар кафедрасының ғылыми семинары. Диссертациялық зерттеудің нәтижелері 8 мақалада жарияланды. Оның ішінде 3 мақала Қазақстан Республикасы Білім және ғылым министрлігі Білім және ғылым саласындағы бақылау комитеті ұсынған журналдарда, 1 мақала Scopus деректер базасына енгізілген халықаралық ғылыми басылымда, 3 мақала халықаралық ғылыми зерттеулерде. конференциялар, пайдалы модельге 1 патент (Нұр-Сұлтан, 21.03.2020 - 26.03.2021).

**Қорғаныстың негізгі ережелері.** Қабырғаға жақын және қабырғаға бекітілген затпен күш әсер ету жағдайында роботты ұшақтың математикалық моделі. Роботтық ұшақты жүйені идентификациялау әдістемесі. Еркін ұшу кезеңі үшін шешімді басқару жүйесі.

**Зерттеушінің жеке үлесі.** Ұшатын манипуляторлардың қазіргі дамуының жай-күйіне шолу жасалды, қабырға кедергілерін ескере отырып, ұшатын манипулятор моделінің математикалық моделі әзірленді, роботты ұшақ үшін жүйе идентификациясы жүргізілді.

**Диссертацияның құрылымы мен көлемі.** Диссертациялық жұмыстың жалпы көлемі 124 бет. Диссертациялық жұмыс кіріспеден, 4 тараудан, қорытындыдан, пайдаланылған әдебиеттер тізімінен және А қосымшасынан тұрады.

Диссертацияда ауа манипуляторын модельдеу және басқару бойынша зерттеулердің нәтижелері берілген. Зерттеулер үш буынды робот қолы және күш пен айналу моменті сенсоры бар мультикоптермен жабдықталған заманауи зертханалық жабдықты қолдану арқылы жүргізілді.

I тарауда ауа манипуляциясы және соған байланысты операциялар бойынша зерттеулердегі техниканың жай-күйін ұсынатын әдебиеттерге шолу берілген: қабырғаға кедергі, мультикоптерді басқару, қабырғалармен әрекеттесетін мультикоптерді талдау.

ІІ тарауда қабырға маңындағы кедергілерді және қабырғаға бекітілген нысанмен күш әсерлесуін ескере отырып жасалған ауа манипуляторының математикалық моделі берілген.

III тарауда роботты қолмен жабдықталған алты роторлы мультикоптер (гексоптер) үшін жүйені идентификациялау әдістемесі және тәжірибе нәтижелері берілген.

IV тарауда еркін ұшу кезеңі үшін шешімді басқару ұсынылады, көлік құралы қабырғаға жақындаған кезде ұшқышсыз роботты ұшақты модельдеу жүзеге асырылады.

**ABSTRACT**

**Dissertation of Kalekeyeva Marina Esengeldikyzy on the topic: "Development and research of an unmanned aerial manipulator with artificial vision", submitted for the degree of doctor in the specialty 6D071400 - "Aviation engineering and technology"**

**Relevance of work.** The use of UAVs with a manipulator capable of interacting with the external environment can significantly increase their capabilities. In recent years, there has been a new trend in the use of unmanned aerial manipulators for greater functional diversity: physical inspection, maintenance, wall cleaning and site collection in hard-to-reach locations.

The main problem of the use of UPMs not solved so far is to ensure accurate positioning and stabilization when interacting with the vertical wall. interactions, etc. The main reason lies in the strong influence of external factors: aerodynamics, inertia of the AFL, the influence of the forces of interaction, etc.

It is proposed to solve the above problem by applying a more complex robotic arm and artificial vision, which is able to provide accurate positioning and stabilization in interaction with the surface.

**The level of study of the problem**. People have always tried to exceed their own capabilities. This coping instinct and the continuous evolution of technology led at the beginning of the last century to important achievements in the fields of robotics and aeronautics, as a result of which the ability to fly became not only a skill of the animal world, But it also made it possible to create a reliable mode of transport in modern societies. While commercial aircraft have become part of daily life, the development of other types of aircraft has also been modified and improved. It’s about the multirotors. However, all vehicles had an important limitation: their control required that complex operations on board be performed by humans. It was only at the end of the twentieth century that innovative technologies made it possible to replace the pilot with automatic control systems, unmanned aerial vehicles (UAVs). These drones were more cost-effective, small and lightweight than guided aircraft and provided a range of missions that did not endanger human life. Unmanned aerial vehicles, especially multi-rotor systems, have gained in popularity in recent years due to significant increases in manoeuvrability and weight reduction. The UAVs have performed well in excluding physical interaction with the environment, tracking, surveillance and other inspection tasks. In cases where physical interaction is required, there are solutions - ARCAS, AEROARMS1 and EU AEROWORKS1, in which were created UAVs with advanced manipulation capabilities to autonomous industrial control and repair tasks. This new type of aircraft, called Unmanned Aerial Manipulators (UAM), consists of a multi-rotor platform (capable of conducting, oscillate in position or take off and the ground vertically) with one or more automated manipulators, usually designed to interact with the environment.This work focuses on UAMs navigation via visual information, entailing methods for assessing the robot’s condition (i.e., to get its position, orientation, speed and acceleration), and the task guides the control. The research focuses on specific objectives and approaches to achieve such objectives, which are the scientific output of the work.

The scope of unmanned aerial vehicles (UAVs) is constantly expanding. For some areas of life, the use of manned aircraft is unacceptable because of the high risks to the pilot. For example, UAVs have been used in high-risk operations to perform aggressive manoeuvres or to collect research data under hazardous conditions such as hurricanes. UAVs can also be smaller because they are not designed for human body weight. They are potentially cheap and suitable for use in small spaces, making them suitable for indoor use.

Thus, UAVs have become a universal class of aircraft for multiple uses, such as aerial reconnaissance, transport loading, inspection, etc.

Multi-copters, an important class of UAVs, have emerged in the last few years. With advances in technology, computer processing, inertial sensors and lithium-ion polymer (LiPo) batteries have improved. Since these devices have a very simple mechanical design without variable pitch propellers and can be designed to the appropriate size and number of rotors, they can be used as simple and versatile solutions for many applications. In the theoretical part, when the problem of achieving basic flight skills was solved, the researchers switched their attention to more complex tasks such as aggressive maneuvering, tracing trajectory, obstacle prevention, visual navigation, joint tasks and aerial manipulation. Research on UAVs is usually limited to the exchange of information without physical interaction, such as tracking, surveillance, mapping and visual inspection.

**The purpose of the thesis** is is to study the possibilities of control of an unmanned flying vehicle with a multi-hinged robotic manipulator when interacting with the surface of the plane and developing a scientific-scientifictheoretical and applied solutions to improve positioning accuracy and stabilisation. The possibility of piloting aircraft manipulators under conditions of fixed and force perturbation with the object is investigated.

**Research objectives:**

-Study of the current state of use of unmanned aerial vehicle with a manipulator.

-Development of a mathematical model of unmanned aerial vehicle with a manipulator. Development of a virtual model of UAV with a manipulator.

-Development of the control system of the unmanned aerial manipulator.

-Experimental studies based on computer simulation of unmanned robotic aircraft.

-Development of artificial vision system for positioning of BPLM and control of sequence of operations.

**The object of the study** is an unmanned aerial vehicle with a manipulator.

**Methods and subjects of research** - analytical studies, computer modeling, methods of analysis and synthesis of control systems.

**Scientific novelty**. 1. Conceptual approach to managing BPLM under unstable conditions through the use of artificial vision. 2. Method and algorithm of control of unmanned aircraft when interacting with the surface.

**Theoretical and practical relevance.**

- the developed method and algorithm for the analysis of the control of the unmanned aerial vehicle in interaction with the surface allows to provide accurate positioning and stabilization of the aircraft.

-the proposed scheme of the control system of the unmanned aerial manipulator makes it possible to integrate it into the already existing systems of diagnostics, monitoring and control of air manipulation, taking into account the disturbance and force interaction with the object fixed on the wall.

**Work Trial.** The main results of the dissertation work were reported and discussed at international and foreign scientific conferences, scientific seminars:

-International scientific and practical conference of JSC «Civil Aviation Academy», report on the topic: «Adaptive filter for systems with technical vision» (Almaty, 10.04.2020);

-International scientific and practical conference of JSC «Civil Aviation Academy», report on the topic: «Development of unmanned manipulator» (Almaty, 07.12.2020);

-International Conference «Innovations in Education, Science, Transport and Logistics and Telecommunication Industries» of the Academy of Logistics and Transport, Report on the topic: «Ұшқышсыз ұшу манипуляторларының жер бетіндегі объектілермен өзара физикалық іс-қимыл мәселелері» (Almaty, 26.11.2021);

-Scientific seminar of the Department of Aviation Engineering and Technology of JSC «Civil Aviation Academy». The results of the dissertation were published in 8 papers. Of these, 3 articles in journals recommended by the Committee for Control in the Sphere of Education and Science of the Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan, 1 article in the international scientific publication included in the Scopus database, 3 works in the materials of international conferences, 1 copyright on a useful model (Nur-Sultan, 21.03.2020 - 26.03.2021).

**The ground rules for protection.** Mathematical model of robotic aircraft in conditions of stabilized and force perturbation with object fixed on the wall. Methodology of system identification of robotic aircraft. System control solution for the stage of free flight.

**The personal contribution of the researcher**. The article conducts a review of the current state of development of flight manipulators, develops a mathematical model of the flight manipulator with consideration of jammed interference, conducts system identification for robotic aircraft.

**The structure and volume of the dissertation.** The total volume of the dissertation is 124 pages. The dissertation consists of an introduction, 4 chapters, a conclusion, a list of the literature used and annex A.

The thesis contains the results of research on the modelling and control of air manipulator. The research was carried out using modern laboratory equipment equipped with a three-link robot-manipulator and a force and torque sensor.

Chapter I provides an overview of the literature, which presents the current state of research on air manipulation and related operations: interference, multi-copter control, analysis of multicopters interacting with walls.

Chapter II presents a mathematical model of an air manipulator designed with due regard to the disturbance and force-interaction with an object mounted on a wall.

Chapter III presents a system identification methodology and experimental results for a six-rotor multipoter (hexacopter) equipped with a robotic arm.

Chapter IV proposes control of the solution for the free-flying phase, when the vehicle approaches the wall, and simulates the unmanned robotic aircraft.