**6D071400 «Авиациялық техника және технологиялар»**

**мамандығы бойынша «философия докторы» (PhD) дәрежесіне іздену үшін ұсынылған диссертацияға**

**КЕРИБАЕВА ТАЛШЫН БАҚЫТЖАНҚЫЗЫ**

**АҢДАТПА**

**SMART - технологиясы негізінде ұшқышсыз ұшатын аппаратты басқару жүйесін әзірлеу**

**Жұмыстың жалпы сипаттамасы:** диссертациялық жұмыста күрделі көп параметрлік жүйелердегі басқару процестерін дамытуға және басқарушы агенттердің белгісіздігі мен бұлыңғыр деректер жағдайында шешім қабылдауға арналған, бұл осы саладағы ғылыми зерттеулерді жандандыру қажеттілігін көрсетеді.

Техникалық құралдардың сыртқы электромагниттік кедергілерге ұшыраған кезде басқару процесінің бұзылуына, сондай-ақ микроэлектрондық құралдардың физикалық бұзылуына қарсы тұру қабілеті қазіргі уақытта түпкілікті шешілмеген. Жүйеішілік кедергілерге және сыртқы қасақана электромагниттік әсерлерге төзімді ұшқышсыз ұшу аппараттарының ақпараттық қауіпсіздігін қамтамасыз ету үшін өте перспективалы болады.

**Түйінді сөздер:** SMART, жарықдиодты, фотодиодты, VLC технологиясы, сенімділік, қателер, метрология, математикалық қолдау, модельдеу модельдері.

**Зерттеудің өзектілігі.** «Цифрландыру» және көптеген мемлекеттерді цифрлық трансформациялау бағдарламаларында негізгі бағыттар: роботтандыру, SMART технологияларды, нейрондық технологияларды басқару жүйелеріне енгізу, ұшқышсыз ұшу аппараттары (ҰҰА) айқындалды.

Ұшқышсыз көліктерді дамыту үш негізгі бағытқа бөлінеді: тұтынушылық, өндірістік және әскери. ҰҰА басқаруда барлық бағдарламаланатын ұшу траекториясы бойынша ұшқышсыз ұшу аппаратының позициясын сыртқы бақылауды және ұшқышсыз ұшу аппаратының техникалық жағдайының сыртқы диагностикасын құру қажет болды. Дәстүрлі түрде ұшу траекториясында ұшқышсыз көліктермен байланыс радиоарна арқылы жүзеге асырылады, бұл қазіргі уақытта ұшқышсыз ұшу аппаратын басқару процесінде сыртқы бақыланбайтын қауіпті кедергілер тапсырмасын жеңілдетеді. Осы жағдайларда «кедергіге бейімділік» ұғымы пайда болды.

**Бұл зерттеудің негізгі идеясы** зерттеулер ақпараттық қауіпсіздікті басқару теориясын одан әрі дамыту және SMART технологиялары негізінде ұшқышсыз ұшу аппараттарын басқару процесінің сапасын арттыру болып табылады.

Ұшқышсыз ұшу аппараттары салыстырмалы түрде экономикалық қызметте кеңінен қолданылды. Жағдайдың мұндай дамуына түрткі болған тек радиоэлектроникадағы, есептеуіш техникадағы, робототехникадағы, жасанды интеллекттегі революциялық технологиялық жаңалықтар ғана емес, сонымен қатар дәстүрлі авиациямен және жаңа ғарышпен салыстырғанда шешуші рөл атқаратын мұндай ұшақтардың құнының айтарлықтай төмендеуі болды.

Ұшқышсыз ұшақ пен қолданыстағы авиация арасындағы ең маңызды айырмашылық - бұл құрылғының бортында адамның болмауы, бірақ сонымен бірге ұшақты басқару жүйесінде жаңа мәселелер пайда болады. Инновациялық технологияларды одан әрі дамыту мен енгізуде Қазақстан Республикасында әзірленген соңғы мемлекеттік бағдарламалар шешуші рөл атқаруы тиіс.

Жұмыста әлемдегі ең көп таралған және ең жақсы 10 ұшқышсыз ұшақтың техникалық және экономикалық талдауы сарапшы рейтингі берілген. Сараптамалық критерийлер ретінде мыналар пайдаланылды: қолданылатын материалдар мен бөлшектердің сапасы, аккумулятордың қуаты, ұшу ұзақтығы, аэродинамикалық өнімділік, пайдаланудағы тұрақтылық, зақымдануға төзімділік.

**Зерттеу жұмысының объектісі** ұшқышсыз ұшатын аппаратты басқару сапасын бақылау процесі болып табылады.

**Зерттеу жұмысының пәні -** ұшқышсыз ұшу аппаратын басқару сапасын бағалаудың ресми құралдары болып табылады.

**Зерттеудің мақсаты.** SMART технологиялары негізінде ұшқышсыз ұшу аппараттарын басқару процесінің сапасын арттыру.

**Зерттеу міндеттері.** Қойылған мақсатқа сәйкес зерттеудің келесі міндеттері қойылады және шешіледі:

- шешім қабылдау агенттерінің параметрлік белгісіздігі жағдайында ұшқышсыз ұшу аппаратының қозғалысын басқарудың математикалық моделі;

- ұшқышсыз ұшатын аппараттарды электромагниттік ұшыру жүйесіндегі фазалық ауыстырғыштың параметрлерін есептеу моделі;

- жүйелік параметрлік бұлыңғырлық жағдайында ұшқышсыз көліктерді өндіру мен пайдалануды ұйымдастыру сапасын кешенді бағалау үшін нейрондық Smart моделін әзірлеу;

- кері байланыс байланысының параметрлік және функционалдық белгісіздігін ескере отырып, ұшқышсыз объектіні басқару сапасын модельдеу;

- мультикоптерлерде пайдалану үшін ARDUINO тақтасы негізіндегі DHTxx температура мен ылғалдылық датчиктарын APM контроллеріне қосудың ғылыми-әдістемелік тәсілін әзірлеу;

- ұшқышсыз ұшу аппараттарына техникалық қызмет көрсету мен жөндеу сапасын оңтайландыру мен жақсартудың тұжырымдамалық моделін әзірлеу.

**Зерттеудің негізгі əдістері.** Зерттеудің әдіснамалық негізі жүйелік әдіс болып табылады. Жұмыста теориялық зерттеулер, эксперименттік және статистикалық зерттеулер, бақылау және басқару алгоритмдерін жасау, зерттеудің тиімділігін бағалау кезеңдері қарастырылған. Диссертациялық жұмыстың негізгі нәтижелері формальды тәсілдер арқылы алынды: сараптамалық бағалау, жүйелік талдау, математикалық статистика, имитациялық модельдеу, анық емес жиындар теориясы және агент негізіндегі тәсіл.

**Қорғауға шығарылатын ғылыми ережелер мен нәтижелер:**

- шешім қабылдау агенттерінің параметрлік белгісіздігі жағдайында ұшқышсыз ұшу аппаратының математикалық моделі мен басқару алгоритмі;

- ұшқышсыз ұшу аппараттарына арналған электромагниттік ұшыру жүйесіндегі фазалық ауыстырғыштың параметрлерін есептеу үлгісі;

- сарапшылық шешімдерді қабылдаумен жүйелік параметрлік бұлыңғырлық жағдайында ұшқышсыз көліктерді өндіру мен пайдалануды ұйымдастыру сапасын кешенді бағалаудың нейрондық SMART моделі;

- кері байланыс байланысының параметрлік және функционалдық белгісіздігін ескере отырып, ұшқышсыз объектіні басқару сапасының имитациялық моделі;

- ұшқышсыз ұшу аппараттарына техникалық қызмет көрсету мен жөндеу сапасын оңтайландыру мен жақсартудың тұжырымдамалық үлгісі.

**Диссертациялық зерттеудің ғылыми жаңалығы.**

- шешім қабылдау агенттерінің параметрлік белгісіздігі жағдайында ұшқышсыз ұшу аппаратының қозғалысын басқарудың математикалық моделі мен алгоритмі;

- ұшқышсыз ұшу аппараттарына арналған электромагниттік ұшыру жүйесіндегі фазалық ауыстырғыштың параметрлерін есептеу үлгісі;

- сарапшылық шешімдерді қабылдаумен жүйелік параметрлік бұлыңғырлық жағдайында ұшқышсыз көліктерді өндіру мен пайдалануды ұйымдастыру сапасын кешенді бағалаудың нейрондық SMART моделі;

- кері байланыс байланысының параметрлік және функционалдық белгісіздігін ескере отырып, имитациялық модель және пилотсыз объектіні басқару сапасын бағалау алгоритмі;

- ұшқышсыз ұшу аппараттарына техникалық қызмет көрсету мен жөндеу сапасын оңтайландыру мен жақсартудың тұжырымдамалық моделі

**Жұмыстың ғылыми жəне практикалық маңызы.**

Диссертациялық жұмыстың нәтижелері VLC технологиялары негізінде өндірістік және мәдени-бұқаралық объектілерде ақпараттық және техникалық қорғалған коммуникациялар жүйесінің тиімділігін арттыруға бағытталған. VLC арналарының функционалдығы көп параметрлі композициямен жүзеге асырылады: техникалық, математикалық, бағдарламалық және ақпараттық. Практикалық маңыздылығы іске асыру актілерімен расталады.

Мәселені белгілеу, зерттеу міндеттерін тұжырымдау, VLC жүйесінің математикалық жасақтамасын жасау, бағдарламалық жасақтаманы қалыптастыру, эксперименттік және компьютерлік эксперименттерді жоспарлау және іске асыру, диссертация авторының жеке өзі алған зерттеу нәтижелерін енгізу бойынша ұсыныстар әзірлеу.

Диссертацияның негізгі ережелері, оның жеке шешімдері мен нәтижелері КеАҚ «Д.Серікбаев атындағы ШҚТУ» Ақпараттық технологиялар және зияткерлік жүйелер мектебі мектебінің отырыстарында баяндалды.

**Жұмыс апробациясы.** Жұмыстың негізгі ережелері мен нәтижелері келесі халықаралық және ғылыми конференцияларда баяндалды және мақұлданды: «Жаһандану дәуіріндегі инновациялық менеджмент және технологиялар» VIII ХҒПК, 6-8 қаңтар 2021 ж. (Бирмингем, Ұлыбритания); «Авиация индустриясының заманауи жетістіктері» халықаралық конференциясы, 19 желтоқсан 2020ж. (Алматы, Қазақстан); «Жаһандану дәуіріндегі инновациялық менеджмент және технологиялар» VII ХҒПК, 8-10 қаңтар, 2020 ж. (Лондон, Ұлыбритания); V ХҒПК, «Сапа менеджменті: іздеу және шешімдер» 27-29 қараша 2019 ж. (Сан-Францискода, Калифорния, АҚШ); «ХХІ ғасырдағы Еуразия көлігі: Көлік-логистикалық қызмет нарығындағы заманауи цифрлық технологиялар» атты IX ХҒПК, 20-21 желтоқсан 2018 ж. (Алматы, Қазақстан).

**Жарияланымдар.** Диссертацияда алынған нәтижелері 15 мақала жарияланды, оның ішінде 3 мақала Scopus деректер базасында рецензияланған журналда (CiteScore пайыздық көрсеткіші 25%-ден жоғары), 3 мақала Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғарғы білім беру сапасын қамтамсыз ету комитеті ұсынған, ғылыми журналдарда 4 жұмыс, халықаралық конференциялар жинақтарында 5 жұмыс. Сондай-ақ 1 авторлық куәлік 03.01.2022 № 29174, іске асыру туралы акт және 1 монография бар.

**Диссертациялық жұмыстың құрылымы мен көлемі**.

Диссертация кіріспеден, 4 тараудан, қорытындыдан, компьютерлік мәтіннің 119 бетінде берілген 97 атаудан құралған әдебиеттер тізімінен тұрады, 58 сурет, 9 кесте және 2 қосымшадан тұрады.

*Кіріспе бөлімде* зерттеу тақырыбының өзектілігі, зерттеудің мақсаты, объектісі, пәні, міндеттері мен әдістері, ғылыми жаңашылдығы, ғылыми ережелері, практикалық маңыздылығы және жұмыс нәтижелерінің іске асырылуы негізделген, сонымен қатар жұмыстың жарияланымдары мен апробациялау туралы мәліметтер келтірілген.

*Бірінші бөлімде*басқару жүйелерінің сапасын арттыру теориясы мен практикасы зерттеледі, әсіресе ұшқышсыз ұшу аппараттарын басқару саласында проблемалық мәселелер мен Smart технологияларды дамытудың қазіргі деңгейінде оларды шешудің перспективалары, қолданыстағы шешімдерді қабылдау әдістері және олардың тиімділігін бағалау. Диссертацияның тиісті бөлімдерінде нақтырақ теориялық және әдістемелік мәселелер қарастырылады.

Бірінші бөлімдегі аналитикалық зерттеу нәтижелері екінші, үшінші және төртінші бөлімдерде ұсынылған диссертацияның ғылыми-практикалық бөлімінің мазмұны мен құрылымын анықтады. Оның үстіне қарастырылып отырған көп қырлы мәселеге қатысты мәселелердің жалпы шеңберінен теориялық зерттеуден кейін.

*Екінші бөлімде* мен төртінші бөлімде эмпирикалық түрде зерттелетін ең маңызды және маңызды мәселелер бөлінеді. Компьютерлік эксперименттің нәтижелері жазық және кеңістіктік үш өлшемді модельдермен суреттелген, бұл модельдеудің көрінуін арттырады.

*Үшінші бөлімде*эксперименттік және статистикалық зерттеулер ұсынылады, ұшқышсыз жүйелердегі VLC деректерді беру арнасының функционалдық құрылғыларының элементтік базасы қарастырылады.

*Төртінші бөлімде*ұшқышсыз ұшу аппараттарына техникалық қызмет көрсету жүйесінің ұйымдық моделі әзірленіп, ұшқышсыз ұшу аппараттарына техникалық қызмет көрсетудің эксплуатациялық көрсеткіштеріне тәжірибелік баға берілген. ҰАО техникалық қызмет көрсету жабдықтарына техникалық қызмет көрсету және жөндеу стратегиясын оңтайландыру моделі әзірленді.

*Қорытынды бөлімінде* диссертациялық жұмыс аясында атқарылған жұмыстардың қорытындысы көрсетілді.

Диссертацияның мазмұны пайдаланылған дереккөздер мен қосымшалардың тізімімен аяқталады.

**АННОТАЦИЯ**

**диссертации на соискание степени «доктор философии» (PhD) по**

**специальности 6D071400 – «Авиационная техника и технологии»**

**КЕРИБАЕВА ТАЛШЫН БАҚЫТЖАНҚЫЗЫ**

**«РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫМ ЛЕТАЛЬНЫМ АППАРАТОМ НА ОСНОВЕ SMART – ТЕХНОЛОГИЙ»**

**Общая характеристика работы:** диссертационная работа посвящена разработке процессов управления в сложных мультипараметрических системах и принятия решений в условиях неопределенности агентов управления и нечеткости данных, что предполагает необходимость активизации в этой области научных исследований.

Способность технических средств, при воздействии внешних электромагнитных помех, противостоять нарушению процесса управления, а также физическому разрушению микроэлектронных инструментов, в настоящее время окончательно не решена. Для обеспечения информационной безопасности БПЛА, устойчивых по отношению к внутрисистемным помехам и внешним преднамеренным электромагнитным воздействиям, становится крайне перспективной VLC технология.

**Ключевые слова:** SMART, светодиод, фотодиод, VLC технологии, достоверность, ошибки, метрология, математическое обеспечение, имитационные модели.

**Актуальность исследования.** В программах «цифровизации» и цифровой трансформации многих государств ключевыми направлениями определены: роботизация, внедрение в системы управления SMART технологий, нейронных технологий, беспилотные летательные аппараты (БПЛА). Развитие беспилотных средств, разделилось на три основных направления: потребительское, промышленное и военное. В управлении БПЛА возникла необходимость создания внешнего контроля позиционирования БПЛА на всей программируемой траектории полета и внешней диагностики технического состояния БПЛА. Традиционно связь с беспилотными средствами на траектории полета осуществляется по радиоканалу, что в настоящее время, облегчает задачу внешнего неконтролируемого опасного вмешательства в процесс управления БПЛА. В этих условиях появилось понятие «восприимчивость к помехам».

**Основная идея данного исследования**  заключается в развитии теории управления информационной защищенности и повышении качества процесса управления беспилотными летательными аппаратами на базе SMART технологий.

Беспилотные летательные аппараты, несмотря на сравнительно дальнюю историю, широко использоваться в хозяйственной деятельности начали сравнительно недавно. Толчком к такому развитию ситуации послужили не только революционные технологические открытия в радиоэлектронике, вычислительной технике, робототехнике, искусственном интеллекте, но и существенное снижение стоимости подобных летательных средств, что играет решающую роль при сравнении с традиционной авиацией и новыми космическими технологиями. Важнейшим отличием беспилотника от существующей авиации состоит в отсутствии человека на борту аппарата, но при этом, появляются новые проблемы в системе управления летательным объектом. Решающую роль в дальнейшем развитие и внедрения в практику инновационных технологий должны сыграть последние государственные программы, разработанные в Республике Казахстан.

В работе приводится технико-экономический анализ 10-ти наиболее распространенных и лучших в мире беспилотников с присвоением экспертного рейтинга. В качестве экспертных критериев использовались: качество используемых материалов и узлов, мощность аккумулятора, продолжительность полета, показатели аэродинамики, ремонтопригодность в эксплуатации, стойкость к повреждениям.

**Объектом исследования** является процесс контроля качества управления беспилотным летательным аппаратом.

**Предмет исследования -** являются формальные инструменты оценки качества управления беспилотным летательным аппаратом.

**Цель исследования** состоит в повышении качества процесса управления беспилотными летательными аппаратами на базе SMART технологий.

**Задачи исследования.** В соответствии с поставленной целью ставятся и решаются следующие задачи исследования:

-математическая модель управления движением беспилотного летательного аппарата в условиях параметрической неопределенности агентов принятия решений;

-модель расчета параметров фазовращателя в системе электромагнитного запуска беспилотных летательных аппаратов

- разработка нейронной SMART модели интегрированной оценки качества организации производства и эксплуатации беспилотной техники в условиях системной параметрической нечеткости;

- моделирование качества управления беспилотным объектом с учетом параметрической и функциональной неопределенности звена обратной связи;

- разработка научно-методологического подхода подключения датчиков температуры и влажности DHTxx к контроллеру АPM на базе платы АRDUINO для использования на мультикоптерах;

- разработка концептуальной модели оптимизации и повышения качества технического обслуживания и ремонта беспилотных летательных средств.

**Методы исследования.** Методологической базой исследования является системный подход. В работе предусматриваются этапы теоретических исследований, экспериментально-статистические исследования, разработка алгоритмов контроля и управления, оценка эффективности исследований. Основные результаты диссертационной работы получены с использованием формальных подходов: экспертных оценок, системного анализа, математической статистики, имитационного моделирования, теории нечетких множеств и агентного подхода.

**Научные положения и результаты, выносимые на защиту:**

- математическая модель и алгоритм управления беспилотного летательного аппарата в условиях параметрической неопределенности агентов принятия решений;

--модель расчета параметров фазовращателя в системе электромагнитного запуска беспилотных летательных аппаратов;

- нейронная SMART модель интегрированной оценки качества организации производства и эксплуатации беспилотной техники в условиях системной параметрической нечеткости с принятием экспертных решений;

- имитационная модель качества управления беспилотным объектом с учетом параметрической и функциональной неопределенности звена обратной связи;

- концептуальная модель оптимизации и повышения качества технического обслуживания и ремонта беспилотных летательных средств.

**Научная новизна диссертационного исследования:**

- математическая модель и алгоритм управления движением беспилотного летательного аппарата в условиях параметрической неопределенности агентов принятия решений;

-модель расчета параметров фазовращателя в системе электромагнитного запуска беспилотных летательных аппаратов;

- нейронная SMART модель интегрированной оценки качества организации производства и эксплуатации беспилотной техники в условиях системной параметрической нечеткости с принятием экспертных решений;

- имитационная модель и алгоритм оценки качества управления беспилотным объектом с учетом параметрической и функциональной неопределенности звена обратной связи;

- концептуальная модель оптимизации и повышения качества технического обслуживания и ремонта беспилотных летательных средств.

**Научная и практическая значимость работы.**

Результаты диссертационной работы направлены на повышение результативности управления в сфере управления беспилотными летательными аппаратами с использованием SMART технологий, с учетом параметрической и функциональной неопределенности. Практическая значимость подтверждается актами внедрения.

Постановка проблемы, формулирование задач исследования, разработка математического обеспечения SMART системы, разработка рекомендаций по внедрению результатов исследований полученных лично автором диссертации.

Основные положения диссертации, ее отдельные решения и результаты докладывались на заседаниях кафедры «Авиационная техника и технологии» АО «Академия гражданской авиации».

**Апробация работы.** Основные положения и результаты работы докладывались и получили одобрение на следующих международных научных конференциях: VIII-я МНПК «Инновационный менеджмент и технологии в эпоху глобализации» (Бирмингем, Великобритания), 6-8 января 2021 г.; МНПК «Современные достижения авиационной отрасли» (Алматы, Казахстан), 19 декабря 2020; VII-я Международная научно-практическая конференция «Инновационный менеджмент и технологии в эпоху глобализации» (Лондон, Великобритания) 8-10 января 2020 г.; V-я МНПК «Менеджмент качества: поиск и решения» в (Сан-Франциско, Калифорния, США), 27-29 ноября 2019г.; IХ-я МНПК «Транспорт Евразии XХI века: Современные цифровые технологии на рынке транспортных и логистических услуг», (Алматы, Казахстан), 20-21 декабря 2018г.

**Публикации.** Полученные в диссертации результаты опубликованы в 15 работах, в том числе 3 статьи в журналах, рецензируемых в базе данных Scopus (показатель процентиль по CiteScore более 25%), 3 статьи в изданиях, рекомендованных Комитетом по контролю качества в сфере науки и высшего образования МНВО РК, 4 статьи в научных журналах, 5 работ в сборниках международных конференций. Также имеются авторское свидетельство №29174 от 3.01.2022г, акт внедрения и 1 монография.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, 4-х разделов, заключения, списка использованных источников из 97 наименований, изложенных на 119 страницах компьютерного текста, включает 58 рисунков, 9 таблиц и 2 приложения.

*Во введении* обоснована актуальность темы исследования, цель, объект, предмет, задачи и методы исследования, научная новизна, научные положения, практическая ценность и реализация результатов работы, приведены сведения о публикациях и апробациях работы.

*В первом разделе* изучается, состояние использования беспилотных летательных аппаратов и приводятся примеры использования беспилотной техники в различных отраслях экономики. Изучена теория и практика повышения качества систем управления беспилотными летательными аппаратами, выявляются проблемные вопросы и перспективы их решения на современном уровне развития SMART технологий, существующие методы принятия решений и оценка их эффективности. Более частные теоретико - методологические вопросы рассматриваются в соответствующих разделах диссертации.

Результаты аналитических исследований в первом разделе определили содержание и структуру научно-практической части диссертации, представленной во втором, третьем и четвертом разделах.

*Во втором разделе* проведены теоретические многоаспектные исследования с привлечением многоподходной методологии опирающейся на математический аппарат. Разработан ряд математических и имитационных моделей. Проведен компьютерный эксперимент.

*В третьем разделе* предлагаются экспериментально-статистические исследования, рассматривается элементная база функциональных устройств VLC канала передачи данных в беспилотных системах.

*В четвертом разделе* представлены сбор статистических данных в процессе лабораторных испытаний и эксплуатационных исследований, первичная обработка экспериментальной информации. На материалах моделирования второго раздела и статистических данных лабораторных и эксплуатационных исследований, а также программного комплекса третьего раздела предусматривалось осуществить компьютерный эксперимент. Методика компьютерного эксперимента преследовала цель оценки адекватности теоретических предпосылок и результатов моделирования к реальным эксплуатационным данным.

*В заключении* подведены итоги по проделанной работе в рамках диссертационной работы.

Содержание диссертации завершается списком использованных источников и приложениями.

**ABSTRACT**

**Dissertation of Keribaev Talshyn Bakytzhankyzy on the topic: "Development of a control system for unmanned aerial vehicle based on smart - technologies", submitted for the degree of doctor in the specialty 6D071400 - "Aviation engineering and technology"**

**Characteristics of the work:** the dissertation work is devoted to the development of control processes in complex multi-parameter systems and decision-making under the conditions of uncertainty of control agents and fuzzy data, which suggests the need to intensify scientific research in this area.

The ability of technical means, under the influence of external electromagnetic interference, to withstand the violation of the control process, as well as the physical destruction of microelectronic tools, has not yet been finally resolved. To ensure the information security of UAVs that are resistant to intersystem interference and external intentional electromagnetic influences, VLC technology is becoming extremely promising.

**Keywords:** SMART, LED, photodiode, VLC technologies, reliability, errors, metrology, software, simulation models.

**The relevance of research.** In the programs of "digitization" and digital transformation of many states, the key areas are: robotization, the introduction of technologies into SMART control systems, neural technologies, unmanned aerial vehicles (UAVs). The development of unmanned vehicles is divided into three main areas: consumer, industrial and military. In the management of the UAV, it became necessary to create an external control of the positioning of the UAV along the entire programmable flight path and external diagnostics of the technical condition of the UAV. Traditionally, communication with unmanned vehicles on the flight path is carried out via a radio channel, which currently facilitates the task of external uncontrolled dangerous interference in the UAV control process. In these conditions, the concept of "susceptibility to interference" appeared.

**The main idea of ​​this study** is to further develop the theory of information security management and improve the quality of the process of controlling unmanned aerial vehicles based on SMART technologies.

Unmanned aerial vehicles, despite a relatively distant history, have been widely used in economic activity relatively recently. The impetus for this development of the situation was not only revolutionary technological discoveries in radio electronics, computing, robotics, artificial intelligence, but also a significant reduction in the cost of such aircraft, which plays a decisive role when compared with traditional aviation and new space technologies. The most important difference between a drone and existing aviation is the absence of a person on board the device, but at the same time, new problems appear in the control system of an aircraft. The decisive role in the further development and implementation of innovative technologies should be played by the latest state programs developed in the Republic of Kazakhstan.

The paper provides a technical and economic analysis of the 10 most common and best drones in the world with the assignment of an expert rating. As expert criteria, the following were used: the quality of the materials and components used, battery power, flight duration, aerodynamic performance, maintainability in operation, resistance to damage.

**The object of the study** is the process of quality control of the control of an unmanned aerial vehicle.

**The subject of the study** is the formal tools for assessing the quality of control of an unmanned aerial vehicle.

**The purpose of the study** is to improve the quality of the process of controlling unmanned aerial vehicles based on SMART technologies.

**Research objectives.** In accordance with the goal, the following research tasks are set and solved:

- a mathematical model for controlling the movement of an unmanned aerial vehicle under conditions of parametric uncertainty of decision-making agents;

-model for calculating the parameters of the phase shifter in the system of electromagnetic launch of unmanned aerial vehicles

- development of a neural SMART model for an integrated assessment of the quality of the organization of production and operation of unmanned vehicles in conditions of systemic parametric fuzziness;

- modeling the quality of control of an unmanned object, taking into account the parametric and functional uncertainty of the feedback link;

- development of a scientific and methodological approach for connecting temperature and humidity sensors DHTxx to the APM controller based on the ARDUINO board for use on multicopters;

- development of a conceptual model for optimizing and improving the quality of maintenance and repair of unmanned aerial vehicles.

**Research methods.** The methodological basis of the study is a systematic approach. The work provides for the stages of theoretical research, experimental and statistical research, development of control and management algorithms, evaluation of the effectiveness of research. The main results of the dissertation work were obtained using formal approaches: expert assessments, system analysis, mathematical statistics, simulation modeling, fuzzy set theory and agent-based approach.

**Scientific provisions and results submitted for defense:**

- mathematical model and control algorithm for an unmanned aerial vehicle under conditions of parametric uncertainty of decision-making agents;

--model for calculating the parameters of the phase shifter in the system of electromagnetic launch of unmanned aerial vehicles;

- neural SMART model of integrated assessment of the quality of organization of production and operation of unmanned vehicles in conditions of systemic parametric fuzziness with expert decision making;

- a simulation model of the quality of control of an unmanned object, taking into account the parametric and functional uncertainty of the feedback link;

- a conceptual model for optimizing and improving the quality of maintenance and repair of unmanned aerial vehicles.

**Scientific novelty of the dissertation research:**

- mathematical model and algorithm for controlling the movement of an unmanned aerial vehicle under conditions of parametric uncertainty of decision-making agents;

-model for calculating the parameters of the phase shifter in the system of electromagnetic launch of unmanned aerial vehicles;

- neural SMART model of integrated assessment of the quality of organization of production and operation of unmanned vehicles in conditions of systemic parametric fuzziness with expert decision making;

- a simulation model and an algorithm for assessing the quality of control of an unmanned object, taking into account the parametric and functional uncertainty of the feedback link;

- a conceptual model for optimizing and improving the quality of maintenance and repair of unmanned aerial vehicles.

**Scientific and practical significance of the work.**

The results of the dissertation work are aimed at improving the effectiveness of management in the field of controlling unmanned aerial vehicles using SMART technologies, taking into account parametric and functional uncertainty. Practical significance is confirmed by acts of implementation.

Statement of the problem, formulation of research objectives, development of software for the SMART system, development of recommendations for the implementation of research results obtained personally by the author of the dissertation.

The main provisions of the dissertation, its individual decisions and results were reported at the meetings of the Department of Aviation Equipment and Technologies of JSC Academy of Civil Aviation.

**Approbation of work.** The main provisions and results of the work were reported and approved at the following international and scientific conferences: VIII ISPC "Innovative Management and Technologies in the Age of Globalization", January 6-8, 2021 (Birmingham, UK); International conference "Modern achievements of the aviation industry" December 19, 2020 (Almaty, Kazakhstan); VII ISPC "Innovation Management and Technologies in the Age of Globalization", January 8-10, 2020, (London, UK); V ISPC "Quality Management: Search and Solutions", November 27-29, 2019 (San Francisco, California, USA); "IX ISPC "Transport of Eurasia of the XXI century: Modern digital technologies in the market of transport and logistics services" December 20-21, 2018 (Almaty, Kazakhstan).

**Publications**. The results obtained in the dissertation were published in 15 papers, including 3 articles in a journal peer-reviewed in the Scopus database (the CiteScore percentile score is more than 25%), 3 articles in publications recommended by the Committee for Quality Control in the Field of Science and Higher Education of the Ministry of Education and of the Republic of Kazakhstan, 4 works in scientific journals, 5 works in collections of international conferences. There are also 1 copyright certificate No. 29174 dated 01/03/2022, the Act of implementation and 1 monograph.

**The structure and scope of the dissertation.** The dissertation consists of an introduction, 4 chapters, a conclusion, a list of references from 97 titles presented on 119 pages of computer text, includes 58 figures, 9 tables and 2 appendices.

The introduction substantiates the relevance of the research topic, the purpose, object, subject, tasks and methods of research, scientific novelty, scientific provisions, practical value and implementation of the results of the work, provides information about publications and approbation of the work.

The first section examines the state of the use of unmanned aerial vehicles and provides examples of the use of unmanned vehicles in various sectors of the economy. The theory and practice of improving the quality of control systems for unmanned aerial vehicles has been studied, problematic issues and prospects for their solution at the current level of development of SMART technologies, existing decision-making methods and evaluation of their effectiveness are identified. More particular theoretical and methodological issues are considered in the relevant sections of the dissertation.

The results of analytical research in the first section determined the content and structure of the scientific and practical part of the dissertation presented in the second, third and fourth sections.

In the second section, theoretical multi-aspect studies are carried out with the involvement of a multi-methodology based on the mathematical apparatus. A number of mathematical and simulation models have been developed. A computer experiment has been carried out.

In the third section, experimental and statistical studies are proposed, the element base of the functional devices of the VLC data transmission channel in unmanned systems is considered.

The fourth section presents the collection of statistical data in the process of laboratory testing and operational research, the primary processing of experimental information. Based on the modeling materials of the second section and statistical data from laboratory and operational studies, as well as the software package of the third section, it was planned to carry out a computer experiment. The technique of the computer experiment pursued the goal of assessing the adequacy of the theoretical assumptions and simulation results to real operational data.

In conclusion, the results of the work done in the framework of the dissertation work are summed up.

The content of the dissertation ends with a list of references and applications.