

## АНАЛИЗ ЭКСПЛУАТАЦИИ МУЛЬТИКОПТЕРОВ С ПОЗИЦИИ НАДЕЖНОСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ

А. П. Адамов, А. А. Адамова, Н. В. Герасимов

### *Введение*

В последнее время все большее распространение для решения задач локального мониторинга окружающего пространства находят беспилотные летательные аппараты (БПЛА) [1, 2]. Одним из перспективных вариантов конструктивной реализации БПЛА являются мультикоптеры (англ. *Multirotor, multicopter* – многороторный вертолет, многолет) – это летательный аппарат, построенный по вертолетной схеме с тремя и более несущими винтами [3].

В основе самого обычного мультикоптера лежит корпус, от 4 до 12 электродвигателей с винтами, пульт дистанционного управления, приемопередатчик и элемент питания (батарея или аккумулятор) [3–5]. Такое устройство уже успело зарекомендовать себя во многих отраслях и сферах хозяйственной деятельности, начиная от съемок, заканчивая доставкой еды. Существуют режимы управления мультикоптерами, в том числе и большим их числом (стая), которое позволяет выполнить функцию наблюдения, например целого района за несколько минут. Но появляется большое количество проблем, как юридических, так и безопасности, которые возникают при использовании дронов.

В работах Е. Г. Ефимовой, В. С. Фетисова и А. Г. Гребеникова [4, 5] проанализирована классификация беспилотников и их характеристики. В работах К. А. Неусыпина [6, 7] идет анализ систем управления беспилотниками и предложены методы по улучшению таких составляющих, как навигация, наведение и управляемость. Следует отметить, что в ряде стран выпускают новые постановления и законы, которые касаются БПЛА, в список которых входят квадрокоптеры, чтобы обезопасить эксплуатацию, принять меры к защите от незаконных действий со стороны владельцев данных устройств. Незаконная слежка, проникновение на запрещенную для посещения территорию или просто вопрос о безопасности пользования данным устройством в общественных местах – все это проблемы, с которыми сталкиваются сегодня современные государства, что говорит об актуальности данной темы.

### ***1. Анализ и классификация летательных аппаратов, реализованных по схеме многовинтовых вертолетов***

#### *1.1. Классификация многовинтовых вертолетов*

Первым многовинтовым вертолетом признается квадрокоптер Георгия Ботезата, созданный в 1922 г. в авиационном центре в Дейтоне, Огайо. Аппарат имел вес 1600 кг (благодаря алюминиевой раме), двигатель мощностью 170 л.с. и был способен выдержать вес трех пассажиров, а также имел по тем временам достаточно высокую управляемость. Недостатком этого аппарата была сложная трансмиссия, передававшая вращение одного мотора на несколько винтов [4, 5].

К недостаткам таких летательных аппаратов можно отнести сложность синхронизации работы винтов, большой вес устройства, невозможность управлять вертолетом при выходе из строя хотя бы одного двигателя, невозможность посадить аппарат в режиме авторотации. В связи с этими проблемами производство многовинтовых вертолетов приостановилось вплоть до 1950-х гг., но дальше прототипов производство не продвинулось. Новый виток развития многовинтовых вертолетов приобрел уже в XXI в., когда был решен вопрос массы устройства за счет применения сверхлегких материалов, таких как карбон, а также решен вопрос синхронизации винтов за счет применения мощных вычислительных микросхем. Сегодня такие аппараты называют БПЛА – беспилотный летательный аппарат.

Под понятием беспилотного мобильного средства можно подразумевать искусственный мобильный объект без экипажа на борту, обладающий разной степенью автономности – от дистан-

ционного управления, осуществляемого оператором или диспетчерским центром, до полностью автономного (при помощи собственной управляющей программы).

Именно термин «беспилотное мобильное средство» представляется наиболее точным русскоязычным эквивалентом термина «unmanned vehicle» (UV). Его часто неудачно переводят как «беспилотное транспортное средство», тем самым сильно сужая смысл широкого понятия UV, так как спектр применений беспилотных мобильных средств далеко не ограничивается только транспортными функциями [2].

**Мультикоптер** в свою очередь представляет собой беспилотный летательный аппарат вертолетного типа, имеющий от трех до двенадцати электродвигателей с воздушными винтами [3].

При этом равновесие реактивных моментов достигается за счет попарно разнонаправленного вращения несущих винтов.

Также данный тип аппаратов относят к БПЛА с вращающимся крылом (англ. *rotary-wing UAV, rotorcraft UAV, helicopter UAV*).

Подъемная сила у аппаратов этого типа создается аэродинамически, но не за счет крыльев, а за счет вращающихся лопастей несущего винта (винтов). Крылья либо отсутствуют вовсе, либо играют вспомогательную роль. Очевидными преимуществами БПЛА вертолетного типа являются способность зависания в точке и высокая маневренность, поэтому их часто используют в качестве воздушных роботов.

Основываясь на данных терминах и определениях [4–8], можно перейти к составлению классификации мультикоптеров по тактико-техническим характеристикам.

Классификация мультикоптеров по назначению:

- любительские, предназначенные для пилотирования или фото/видеосъемки;
- реализация для бизнеса, например, В2В (продвижение различных услуг компании) или В2С (подразумевает доставку почты или различных товаров);
- применение для научных исследований, например, наблюдение за различными объектами или сбор статистической информации;
  - для силовых структур или военных, которые в свою очередь могут подразделяются:
    - на наблюдательные;
    - разведывательные;
    - ударные;
    - разведывательно-ударные;
    - бомбардировочные;
    - радиотрансляционные;
    - БПЛА РЭБ (для целей радиоэлектронной борьбы);
    - транспортные;
    - БПЛА-мишени;
    - БПЛА-имитаторы цели;
    - многоцелевые БПЛА;
  - мониторинг, дистанционный контроль и наблюдение, например:
    - видеонаблюдение с целью охраны различных объектов, таких как лесные массивы или посеы фермеров и предприятия сельского хозяйства;
    - патрулирование заданных зон полицией;
    - картографирование земной поверхности;
    - разведка и составление планов помещений с помощью малых БПЛА внутри разрушенных или опасных зданий;
      - мониторинг нефтегазовых объектов, особенно трубопроводов;
      - инспектирование строек;
      - видео-фотосъемка труднодоступных промышленных объектов (линий электропередач, опор мостов, дымовых труб, ветрогенераторов, антенн и т.д.);
      - радиационная и химическая разведка на опасных территориях;
      - экологический мониторинг атмосферы и поверхности водоемов;
      - мониторинг опасных природных явлений (паводков, извержений вулканов, лавиноопасных горных районов и др.);

- оценка результатов стихийных бедствий и ликвидации их последствий;
- наблюдение за дикими животными в заповедниках.
  - наземные (в атмосфере) квадрокоптеры и для космоса, например, использование для метеорологических наблюдений;

Классификация мультикоптеров в зависимости от массы.

В этой классификации беспилотные аппараты колеблются в размерах от микрокоптеров менее 10 кг, которые находятся поблизости от оператора, до тяжелых, способных подниматься на 20 км и быть в воздухе 24 ч:

- микро- и мини-БПЛА имеют вес менее 5 кг и способны удаляться от оператора на расстояние до 40 км;
- легкие квадрокоптеры имеют вес до 100 кг и способны отлетать на расстояние до 120 км;
- средние БПЛА имеют вес до 300 кг и могут находиться на расстоянии до 1000 км от оператора;
- среднетяжелые квадрокоптеры имеют вес до 500 кг и способны отлетать на расстояние до 2000 км;
- тяжелые квадрокоптеры имеют вес от 500 кг и способны удаляться от оператора на расстояние до 3000 км, при этом они могут находиться в воздухе довольно продолжительное время.

Классификация мультикоптеров в зависимости от размера рамы:

- микро- и мини-класс, имеют длину рамы менее 250 мм и применяются в основном для любительских целей;
- от 250 до 350 мм, могут быть оборудованы фото- или видеокамерой и способны развивать достаточно большую скорость;
- от 350 до 450 мм, способны поднимать вес оборудования, достаточный для осуществления прямых видеотрансляций;
- от 450 до 550 мм, часто применяются для осуществления бизнес-деятельности и доставки различных товаров;
- от 550 до 750 мм, применяются в основном для осуществления научной деятельности, так как способны нести на борту достаточное количество исследовательского оборудования;
- свыше 750 мм, входят в раздел тяжелых коптеров и способны осуществлять военную деятельность.

Обобщенную классификацию многовинтовых вертолетных систем можно представить в виде ментальной карты (рис. 1) [9].

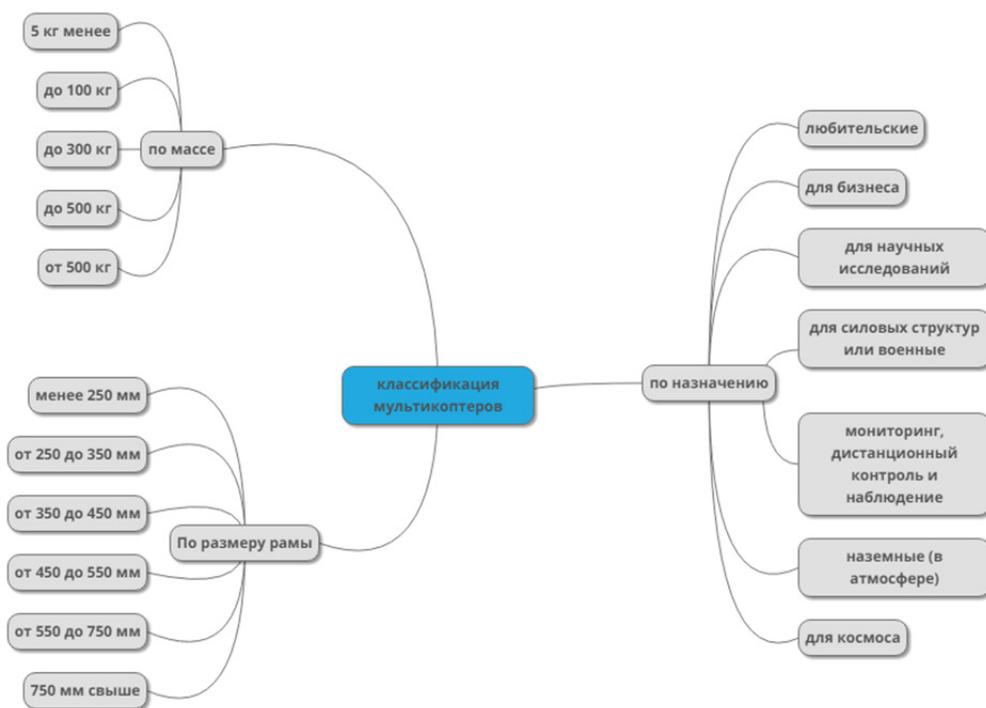


Рис. 1. Классификация многовинтовых вертолетов

Одной из популярных схем построения многовинтовых вертолетов является схема с симметрично расположенными винтами, такая схема получила название **квадрокоптер** – это устройство для полетов с четырьмя винтами, которые вращаются диагонально в противоположных направлениях [3]. Рассмотрим вопросы их эксплуатации с позиции надежности и безопасности более подробно.

*1.2. Методика анализа эксплуатации квадрокоптеров с позиции надежности и безопасности*

В основе анализа квадрокоптеров с позиции надежности и безопасности лежит учет характеристик их конструктивной реализации. Одним из базовых недостатков является применение в качестве источников питания бесколлекторных электродвигателей – литий-полимерные аккумуляторы, что сильно снижает время и дальность полета квадрокоптеров. Эти и многие другие особенности значительно снижают показатели надежности и безопасности квадрокоптеров (рис. 2).

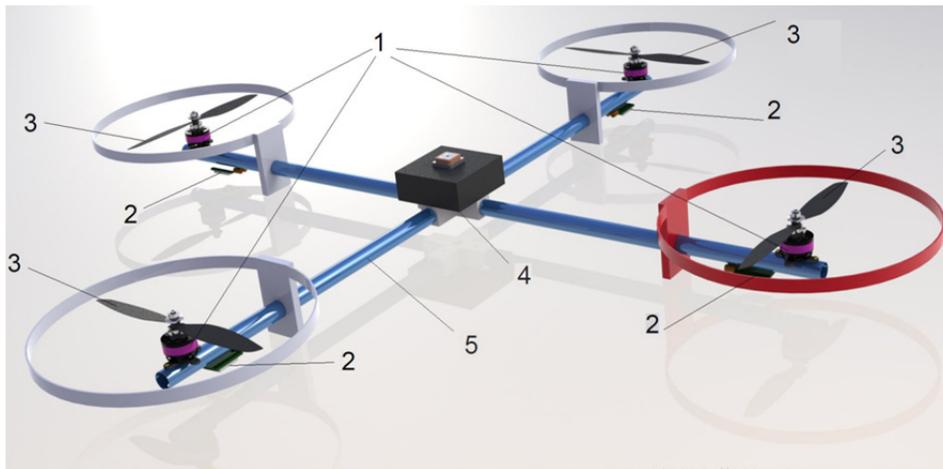


Рис. 2. Обобщенная схема квадрокоптера:  
1 – двигатель; 2 – гироскоп; 3 – винт; 4 – аккумулятор; 5 – рама

Авиация в последние годы становится все в большей степени беспилотной. Беспилотные летательные аппараты (БПЛА) постепенно становятся главной продукцией многих авиационных фирм [7–12]. Появляется большое количество разработчиков и производителей БПЛА, занимающихся исключительно беспилотными аппаратами и системами. Это происходит по ряду причин. Сами БПЛА, как правило, гораздо дешевле пилотируемых самолетов и вертолетов. Дешевле, чем подготовка летчика, обходится и подготовка оператора беспилотной системы. Отсутствие пилота позволяет исключить бортовые системы жизнеобеспечения, уменьшить массу и габариты БПЛА, а также увеличить диапазон допустимых перегрузок и влияющих факторов [8]. Применение сверхлегких материалов, позволяет аппарату за небольшой промежуток времени развивать свою максимальную скорость полета.



Рис. 3. Основные технические параметры квадрокоптеров

Основными техническими параметрами квадрокоптеров (рис. 3) являются:

- 1) **габариты**. Длина и высота изделия. Влияет в основном на размер двигателей и винтов, что в свою очередь влияет на максимальную скорость, скорость подъема и снижения аппарата;
- 2) **аккумулятор**. Измеряется емкость батареи в миллиамперах в час. Чем показатель выше, тем дольше квадрокоптер летает на одном заряде;
- 3) **радиус действия**. Диаметр, в пределах которого сможет летать квадрокоптер;
- 4) **частота передатчика/приемника**. Влияет на качество приема и передачи сигнала:
  - **900 Mhz**. Плюс этой частоты – сигнал с легкостью проходит сквозь деревья, сочетается с аппаратурой, работающей на 2,4 Ghz;
  - **1,2 Ghz**. Работающие на этой частоте дроны, преодолевают длинные дистанции. Сигнал легко проходит через твердые предметы;
  - **2,4 Ghz**. Сигнал хуже проходит через твердые предметы, но дрон улетает на этой частоте на дальние дистанции;
- 5) **вес**. Влияет на управляемость, т.е. способность сопротивляться ветру. Напрямую зависит от габаритов конструкции;
- 6) **разрешение камеры**. Влияет на детализацию картинки. При низком разрешении не получится ухватить много объектов и развернуть их на широкоформатном экране. Иногда качество съемки у камер, снимающих в низком разрешении, лучше. К базовым факторам, влияющим на качество видео, относят: оптику, оптическую стабилизацию, размер матрицы.

## *2. Анализ эксплуатации квадрокоптеров с позиции надежности*

Квадрокоптеры являются в своем роде визитной карточкой настоящего времени. В первую очередь квадрокоптеры видятся как помощники правоохранительных органов. Любой теракт, экстренный случай, который может повести за собой ущерб здоровью человека (пожар, выбросы химических отходов и т.д.) Но пока полиция не приняла на вооружение квадрокоптеры (хотя японская полиция уже ведет борьбу своими квадрокоптерами с квадрокоптерами Якудза, перевозящими запретные аппараты), в настоящий момент они используются в зонах, где не возникает вопрос об этике и личном пространстве – открытые территории. Основные задачи таких квадрокоптеров-патрульных – отслеживание и патрулирование границ, например на пересечении США и Мексики. Также всемирный фонд дикой природы получил гранд, на средства которого разрабатывает систему отслеживания браконьеров.

Возможности поднятия груза на любую высоту без громоздких конструкций и кранов – звучит воодушевленно для строителей. Несколько квадрокоптеров нужной мощности могут осилить подъем тяжелого груза на высоту. Многие компании уже выпускают программы, которые управляют стаей квадрокоптеров одновременно, что позволяет синхронизировать движения и создать единую систему контроля. Беспилотные роботы как замена строителям в опасных для жизни ситуациях выглядят очень перспективно и востребовано.

В Массачусетском технологическом институте был разработан и опробован квадрокоптер SkyCall – проводник по местности с большим потенциалом. Допустим, студенту нужно попасть в аудиторию, которая находится в отдаленном корпусе, неизвестно где. Студент может послать запрос со смартфона, и маленький дрон сам находит его, обрабатывает запрос и ведет в нужное место с помощью системы меток и GPS.

Нельзя не упомянуть полезные свойства квадрокоптеров в научных исследованиях. Например, тяжелейшие погодные условия, в которых снять показания обычному человеку или дорогостоящему устройству не предоставляется возможным. Похожие квадрокоптеры уже разрабатываются в университете Флориды, они имеют малые габариты и вес, что позволяет им влетать в нужные точки шторма и отключать двигатели для экономии топлива, при этом собирая информацию вокруг с помощью датчиков.

Сейчас компания Falkor Systems занимается разработкой искусственного интеллекта для квадрокоптеров, которые в перспективе смогут заменить системы «умный дом» или же стать ее частью. Одной из полезных функций будет отслеживание грабителей, фотография и отправление снимков полиции.

Многие пиццерии и кафе используют для доставки квадрокоптеров. Воздух не бывает в пробках, и это позволяет минимизировать время доставки, что положительно сказывается на сер-

висе и на работе всего заведения в целом. На музыкальном фестивале Оррікоррі популярностью пользовался так называемый пивной дрон. Находясь в палатке, посетитель фестиваля мог достать телефон и сделать заказ. Квадрокоптер доставлял пиво, руководствуясь GPS-навигатором. Возможно, в скором времени почта и услуги доставки компаний разного направления (начиная от заплатаей – заканчивая одеждой) начнут пользоваться квадрокоптерами-курьерами.

Широко применяются квадрокоптеры для локального мониторинга окружающего пространства. Квадрокоптеры начали переделываться разными компаниями для снятия вибраций со всей конструкции и итог – невероятно приятная и четкая видеосъемка. Киностудии не стесняются новинок индустрии и всю используют квадрокоптеров для различных кадров, что можно заметить уже во многих новинках кино. Рельсы с кранами, вертолеты и самолеты – все заменилось меньшими габаритами и удобством эксплуатации.

### ***3. Анализ эксплуатации квадрокоптеров с позиции безопасности***

#### ***3.1. Юридические аспекты эксплуатации малой беспилотной авиации***

Квадрокоптеры являются мобильным движущимся аппаратом, следовательно, главной проблемой является проблема столкновения двух устройств, а также с людьми и зданиями. Поэтому каждый владелец квадрокоптера должен иметь лицензию на него. На территории РФ дроны-беспилотники запрещены. Изначально данный вид ограничения распространялся только на военную технику. В настоящий момент распространяется и на физические лица. Вдобавок ко всему, данное устройство является воздушным судном, следовательно, на него необходимо разрешение. Для регистрации квадрокоптера необходим следующий перечень документов: удостоверение о летной годности, свидетельство о допуске к управлению воздушным средством, разрешение на использование воздушного пространства. Отсутствие какого-либо документа из этого перечня повлечет за собой наказание в виде штрафа. Размер штрафа зависит от вида лица (физическое, юридическое). Фактически лицензионные полеты для дронов в нашей стране невозможны.

В связи с этим следует обратиться к опыту зарубежных стран, где уже подготовлена нормативно-правовая база в области беспилотной авиации. В европейском законодательстве распространена практика получения лицензий на полеты за определенную сумму. Также установлены определенные правила полетов. Среди них можно выделить ограничения по массе дрона, ограничение по высоте полета, частоты радиуправления, а также не летать над густонаселенными местами. Также есть определенные нормы безопасности, которые касаются военных объектов. Квадрокоптер не может приближаться на расстояние менее, чем указано в правилах. На территории стран СНГ, как правило, полеты и вовсе разрешены без лицензии, однако это может привести к нарушению законодательства на территории этих стран. Стоит также отметить, что в некоторых странах, например в ЮАР, есть угроза даже уголовного преследования за нарушение правил полета.

Из всего вышесказанного, а также того, что в нашей стране квадрокоптеры приобретают популярность, возникает необходимость перенять зарубежные правила полета. Во многих странах данные правила являются общими, что предполагает в дальнейшем развитие общих международных норм регулирования полетов.

#### ***3.2. Анализ технических проблем эксплуатации квадрокоптеров***

Квадрокоптер можно назвать сложным техническим устройством, так как в его состав входит большое количество механических деталей, которые находятся под постоянной нагрузкой, что влечет за собой поломку самого дрона, рано или поздно. В настоящее время рынок не предоставляет широкий выбор деталей для замены, а по большей части производители не предусматривают ремонт своих же устройств вовсе.

В число самых распространенных проблем входят:

- отсутствие соединения между передатчиком и квадрокоптером;
- неправильная работа системы стабилизации;
- превышение нормы шума для устройства или вибрация;
- квадрокоптер не может оторваться от земли;
- отказ одного из двигателей, полетного контроля или регулятора скорости;
- неправильная калибровка, перевес;
- плохое качество видеосъемки (касается квадрокоптеров, предназначенных для съемок).

### **Выводы**

На основе вышесказанного можно сделать вывод, что в большинстве стран, в том числе и в России, несмотря на популярность мультикоптеров, им уделяется недостаточное внимание в вопросах законности и обслуживания. Увеличивающиеся случаи нанесения вреда человеку или нарушение чьих-либо прав говорят о том, что правительству стран, где еще нет законов или постановлений о лицензии, стоит уделить больше внимания упорядочиванию процесса эксплуатации квадрокоптера на своей территории. Производителям же стоит обратить внимание на самые распространенные технические проблемы и задуматься об их решении и выпуске дополнительных деталей на замену.

### **Библиографический список**

1. Фетисов, В. С. Беспилотная авиация: терминология, классификация, современное состояние / В. С. Фетисов, Л. М. Неугодникова, В. В. Адамовский и Р. А. Красноперов ; под ред. В. С. Фетисова. – Уфа, 2014. – 346 с.
2. Гребеников, А. Г. Общие виды и характеристики беспилотных летательных аппаратов : справ. пособие / А. Г. Гребеников, А. К. Мялица, В. В. Парфенюк. – Харьков : Изд-во Харьковского ин-та, 2008. – 377 с.
3. Корнилов, В. А. Система управления мультикоптером / В. А. Корнилов, Д. С. Молодяков, Ю. А. Сиянская. – М., 2012. – 512 с.
4. Ефимова, М. Г. Конструкция и основные функциональные системы летательных аппаратов : учеб. пособие / М. Г. Ефимова. – М. : МГТУГА, 2005. – 52 с.
5. Классификация вертолетов. – URL: <http://rc-dom.ru/stati/vertolety/klassifikacija-vertoletov.html>.
6. Адамова, А. А. Автоматизация формирования показателей для оценки технологичности изделий / А. А. Адамова, А. П. Адамов // Будущее машиностроения России : сб. Восьмой Всерос. конф. молодых ученых и специалистов. – М., 2015. – С. 362–366.
7. Адамова, А. А. Многоуровневая модель формирования технологичности электронных средств на этапах проектирования и производства / А. А. Адамова, А. П. Адамов // Инженерный журнал: наука и инновации. – 2013. – № 11 (23). – С. 12.
8. Гибридная система управления малыми беспилотными летательными аппаратами / А. И. Власов, Д. Е. Зотьева, В. С. Евдокимов, Г. Г. Ревзин, Д. В. Феоктистов // Автоматизация. Современные технологии. – 2015. – № 8. – С. 15–24.
9. Адамова, А. А. Применение инструментов когнитивной графики в преподавании конструкторско-технологических дисциплин / А. А. Адамова // Информационные технологии в проектировании и производстве. – 2016. – № 3 (163). – С. 79–85.
10. Антохин, А. И. Концепция системы стабилизации на базе МЭМС гироскопа / А. И. Антохин и др. // Наука и образование : электрон. науч.-техн. изд. – 2011. – № 10. – С. 51.
11. Неусыпин, К. А. Повышение степени управляемости летательного аппарата / К. А. Неусыпин, С. Ф. Фам // Автоматизация. Современные технологии. – 2007. – № 2. – С. 21–25.

#### **Адамов Александр Петрович**

доктор технических наук, профессор,  
кафедра микроэлектроники,  
Дагестанский государственный технический  
университет  
(367006, Россия, Республика Дагестан,  
г. Махачкала, ул. Пирамидальная, 49)  
E-mail: info@iu4.bmstu.ru

#### **Адамова Арина Александровна**

кандидат технических наук, доцент,  
кафедра проектирования и технологии производства  
электронной аппаратуры,  
Московский государственный  
технический университет им. Н. Э. Баумана  
(105005, Россия, г. Москва, 2-я Бауманская 5, стр. 1)  
E-mail: arina.adamova@rambler.ru

#### **Adamov Aleksandr Petrovich**

doctor of technical sciences, professor,  
sub-department of microelectronics,  
Dagestan State Technical University  
(367006, 49 Piramidal'naya street, Mahachkala,  
Dagestan, Russia)

#### **Adamova Arina Aleksandrovna**

candidate of technical sciences, associate professor,  
sub-department of design and production technology  
of electronic equipment,  
Bauman Moscow State Technical University  
(105005, page 1, apartment 5, 2-ya Baumanskaya street,  
Moscow, Russia)

**Герасимов Никита Вячеславович**

магистрант,  
Московский государственный  
технический университет им. Н. Э. Баумана  
(105005, Россия, г. Москва, 2-я Бауманская 5, стр. 1)  
E-mail: wocha96@mail.ru

**Аннотация.** Данная статья посвящена безопасности квадрокоптеров в современное время. Основное внимание уделено угрозе здоровью и безопасности человека. Кратко рассмотрены история и технические характеристики квадрокоптеров. Проведен анализ существующих законов и ограничений, введенных в других странах. В результате исследования, что угроза существует, предложены методы ее урегулирования.

**Ключевые слова:** квадрокоптеры, классификация мультикоптеров, эксплуатация БПЛА, БПЛА, юридические аспекты, технические возможности.

**УДК 658.52**

**Адамов, А. П.**

**Анализ эксплуатации мультикоптеров с позиции надежности и безопасности / А. П. Адамов, А. А. Адамова, Н. В. Герасимов // Надежность и качество сложных систем. – 2017. – № 3 (19). – С. 86–93. DOI 10.21685/2307-4205-2017-3-13.**

**Gerasimov Nikita Vyacheslavovich**

master degree student,  
Bauman Moscow State Technical University  
(105005, page 1, apartment 5, 2-ya Baumanskaya street,  
Moscow, Russia)

**Abstract.** This article is devoted to the safety of quadcopters in modern times. The main attention is paid to the threat to human health and safety. The history and technical characteristics of quadcopters are briefly considered. The article analyzes the existing laws and restrictions introduced in other countries. As a result of the research, the threat exists and methods for its settlement are proposed.

**Key words:** quadcopter, classification of multi-copters, operation of UAV, UAV, legal aspects, technical capabilities.