

Международный союз электросвязи

**МСЭ-R**  
Сектор радиосвязи МСЭ

**Отчет МСЭ-R SM.2486-0**  
(06/2021)

**Применение коммерческих дронов  
для выполнения задач МСЭ-R  
по контролю за использованием спектра**

**Серия SM**  
**Управление использованием спектра**



Международный  
союз  
электросвязи

## Предисловие

Роль Сектора радиосвязи заключается в обеспечении рационального, справедливого, эффективного и экономичного использования радиочастотного спектра всеми службами радиосвязи, включая спутниковые службы, и проведении в неограниченном частотном диапазоне исследований, на основании которых принимаются Рекомендации.

Всемирные и региональные конференции радиосвязи и ассамблеи радиосвязи при поддержке исследовательских комиссий выполняют регламентарную и политическую функции Сектора радиосвязи.

## Политика в области прав интеллектуальной собственности (ПИС)

Политика МСЭ-R в области ПИС излагается в общей патентной политике МСЭ-T/МСЭ-R/ИСО/МЭК, упоминаемой в Резолюции МСЭ-R 1. Формы, которые владельцам патентов следует использовать для представления патентных заявлений и деклараций о лицензировании, представлены по адресу: <http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/en>, где также содержатся Руководящие принципы по выполнению общей патентной политики МСЭ-T/МСЭ-R/ИСО/МЭК и база данных патентной информации МСЭ-R.

### Серии Отчетов МСЭ-R

(Представлены также в онлайн-форме по адресу: <http://www.itu.int/publ/R-REP/en>.)

Серия	Название
<b>VO</b>	Спутниковое радиовещание
<b>BR</b>	Запись для производства, архивирования и воспроизведения; пленки для телевидения
<b>BS</b>	Радиовещательная служба (звуковая)
<b>BT</b>	Радиовещательная служба (телевизионная)
<b>F</b>	Фиксированная служба
<b>M</b>	Подвижные службы, служба радиоопределения, любительская служба и относящиеся к ним спутниковые службы
<b>P</b>	Распространение радиоволн
<b>RA</b>	Радиоастрономия
<b>RS</b>	Системы дистанционного зондирования
<b>S</b>	Фиксированная спутниковая служба
<b>SA</b>	Космические применения и метеорология
<b>SF</b>	Совместное использование частот и координация между системами фиксированной спутниковой службы и фиксированной службы
<b>SM</b>	<b>Управление использованием спектра</b>

*Примечание.* – Настоящий Отчет МСЭ-R утвержден на английском языке Исследовательской комиссией в соответствии с процедурой, изложенной в Резолюции МСЭ-R 1.

Электронная публикация  
Женева, 2021 г.

© ITU 2021

Все права сохранены. Ни одна из частей данной публикации не может быть воспроизведена с помощью каких бы то ни было средств без предварительного письменного разрешения МСЭ.

## ОТЧЕТ МСЭ-R SM.2486-0

**Применение коммерческих дронов для выполнения задач МСЭ-R  
по контролю за использованием спектра**

(2021)

## СОДЕРЖАНИЕ

*Стр.*

1	Введение.....	2
2	Функциональные компоненты систем радиоконтроля на основе коммерческого дрона..	2
2.1	Система управления полетом дрона.....	3
2.2	Системы радиоконтроля и радиоизмерений.....	3
2.3	Управление полетом для радиоконтроля.....	4
2.4	Дистанционное управление полетом для радиоконтроля.....	4
3	Другие аспекты.....	4
3.1	Предварительные требования при работе с дронами.....	4
3.2	Причины погрешности измерений.....	5
3.3	Ограничения, связанные с использованием коммерческих дронов.....	7
4	Сценарии экспериментов и применения дронов.....	7
4.1	Измерение напряженности поля радиосигнала: радиовещательный сигнал ЦТВ.....	7
4.2	Определение местоположения передатчика спутникового сигнала VSAT на линии вверх.....	10
5	Акронимы.....	13

**Резюме**

Коммерческие дроны, аналогичные станциям радиоконтроля традиционного типа, устанавливаемым на борту воздушного судна, возможно использовать при проведении регламентарных процедур контроля за использованием спектра и измерений. Радиоконтроль с применением коммерческих дронов может быть целесообразен в сложных ситуациях, когда из-за крупных естественных препятствий невозможно использовать традиционные наземные методы измерения и передачи сигналов либо когда невозможно обеспечить безопасность при проведении работ. В настоящем Отчете подразумевается, что применение коммерческих дронов осуществляется в пределах прямой видимости для наземных операций, а также в пределах страны, в которой осуществляет свою деятельность организация, эксплуатирующая данный дрон.

В настоящем Отчете подробно описаны общие элементы, аспекты погрешности измерений, возможные сценарии полетов, а также примеры процедур контроля за использованием спектра и проведения измерений с применением коммерческих дронов.

## 1 Введение

Международная организация гражданской авиации (ИКАО) определяет беспилотную авиационную систему (БАС), чаще называемую беспилотным летательным аппаратом (БЛА), следующим образом: воздушное судно и связанные с ним элементы, которые эксплуатируются без пилота на борту. В эту общую категорию попадают и коммерческие дроны. По существу они способны преодолевать обусловливаемые географическими особенностями местности ограничения и позволяют снизить стоимость полетов в сравнении с пилотируемыми воздушными судами. Коммерческие дроны способны принимать и передавать сигналы в местах, не доступных для наземного оборудования, а также в нескольких точках в течение короткого промежутка времени аналогично станциям традиционного типа на борту пилотируемых воздушных судов. Традиционные стационарные или мобильные системы радиоконтроля выполняют измерения и осуществляют передачу сигналов на поверхности земли или на ограниченной высоте над поверхностью, поэтому точность измерений может снижаться из-за влияния условий окружающей местности, таких как городские здания, горы, антенны на большой высоте и прибрежные зоны.

Коммерческие дроны возможно применять для решения следующих задач, связанных с измерениями и передачей сигналов:

- измерение напряженности поля радиосигнала;
- измерение трехмерной диаграммы направленности антенны;
- измерение зоны радиопокрытия;
- инспекция станций радиоконтроля на месте;
- инспекция радиостанций на месте;
- техническое обслуживание и калибровка станций и оборудования радиоконтроля;
- исследование помех;
- радиопеленгация источника излучения;
- научно-технические исследования.

Основное преимущество применения дронов для контроля за использованием спектра – возможность наблюдать за спектром, а также измерять или регистрировать уровни конкретных сигналов на высоте, намного превышающей значения, доступные наземным системам контроля. Фактор дополнительной высоты может оказаться весьма полезным при решении любой из упомянутых выше задач. Кроме того, закупочная стоимость беспилотной платформы для целей контроля за использованием спектра намного ниже стоимости большинства мобильных платформ в базовой комплектации.

## 2 Функциональные компоненты систем радиоконтроля на основе коммерческого дрона

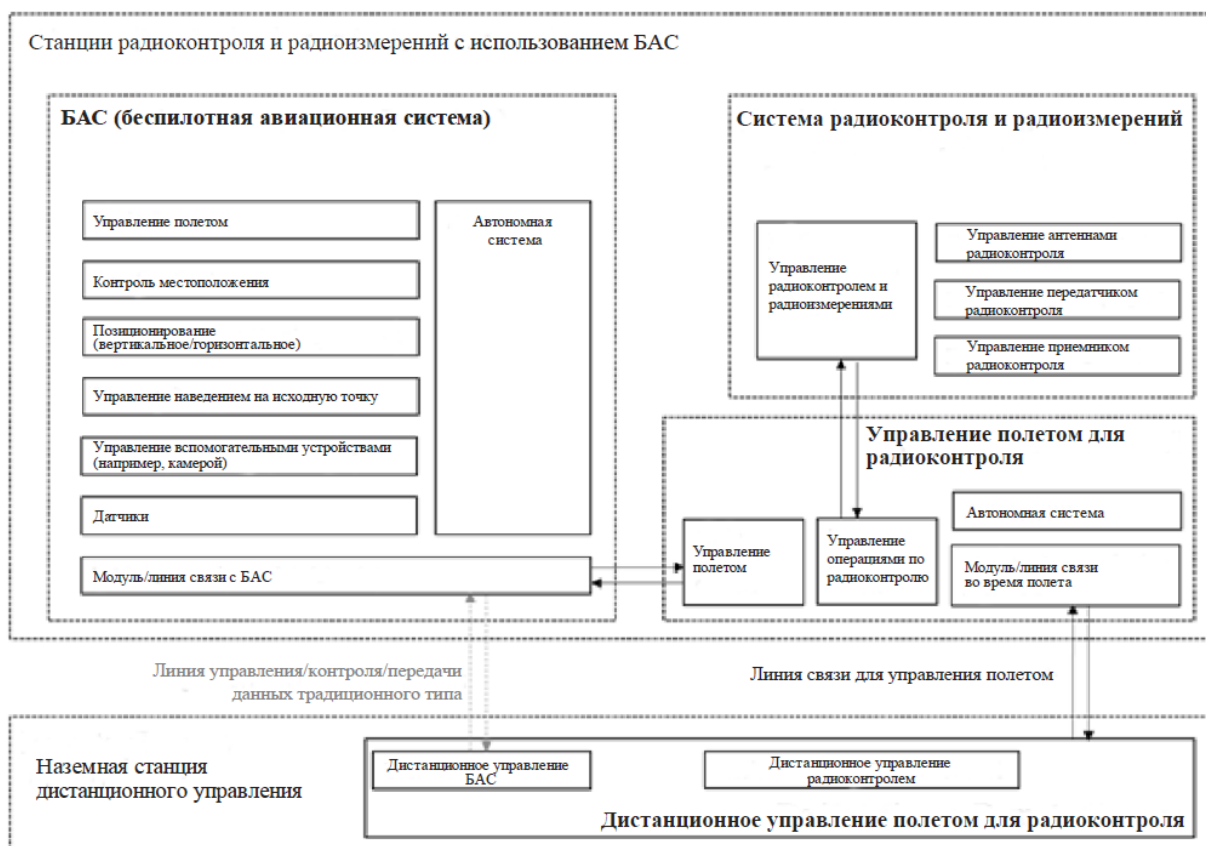
В состав системы измерений и радиоконтроля за использованием спектра, которая работает на основе коммерческих дронов, входит четыре функциональных компонента (см. рисунок 1):

- система управления полетом дрона;
- система радиоконтроля и радиоизмерений;
- управление полетом для радиоконтроля;
- дистанционное управление полетом для радиоконтроля.

На рисунке 2 показан пример станции радиоконтроля с использованием дрона.

РИСУНОК 1

## Функциональная архитектура станции радиоконтроля и радиоизмерений с использованием дрона



## 2.1 Система управления полетом дрона

Компоненты системы управления полетом коммерческих дронов аналогичны компонентам системы управления пилотируемого воздушного судна. Для осуществления радиоконтроля как в автономном, так и в ручном режимах необходимы следующие основные функции:

- система управления полетом с функцией предупреждения столкновений или без нее;
- контроль местоположения и высоты;
- вертикальное и горизонтальное позиционирование (зависание);
- управление наведением на исходную точку (к месту запуска).

Коммерческими дронами можно, как правило, дистанционно и полностью управлять из удаленного местоположения или заранее запрограммировать дрон на автономное выполнение полета без вмешательства оператора. Точность каждого метода управления зависит от летно-технических характеристик конкретного дрона.

## 2.2 Системы радиоконтроля и радиоизмерений

В состав системы радиоконтроля и радиоизмерений может входить как оборудование для приема и измерения радиоизлучения, так и устройства, способные передавать сигналы. По принципу действия эта система аналогична существующему оборудованию для радиоконтроля и испытаний, однако ее тип, размеры и масса ограничены возможностями дрона (такими как максимальная полезная грузоподъемность, энергопотребление, размеры и форма). Например, размер антенны или антенной решетки, который определяет частотный диапазон, зависит от размера дрона, а размер и масса приемника, генератора сигналов или усилителя мощности напрямую ограничены полезной грузоподъемностью дрона. Кроме того, характер возможных задач по радиоконтролю и радиоизмерениям зависит от точности системы позиционирования дрона. Например, если дрон используется для измерения трехмерной диаграммы направленности антенны в ближней зоне, необходимо обеспечить точное определение местоположения и прецизионное управление удержанием положения дрона.

### 2.3 Управление полетом для радиоконтроля

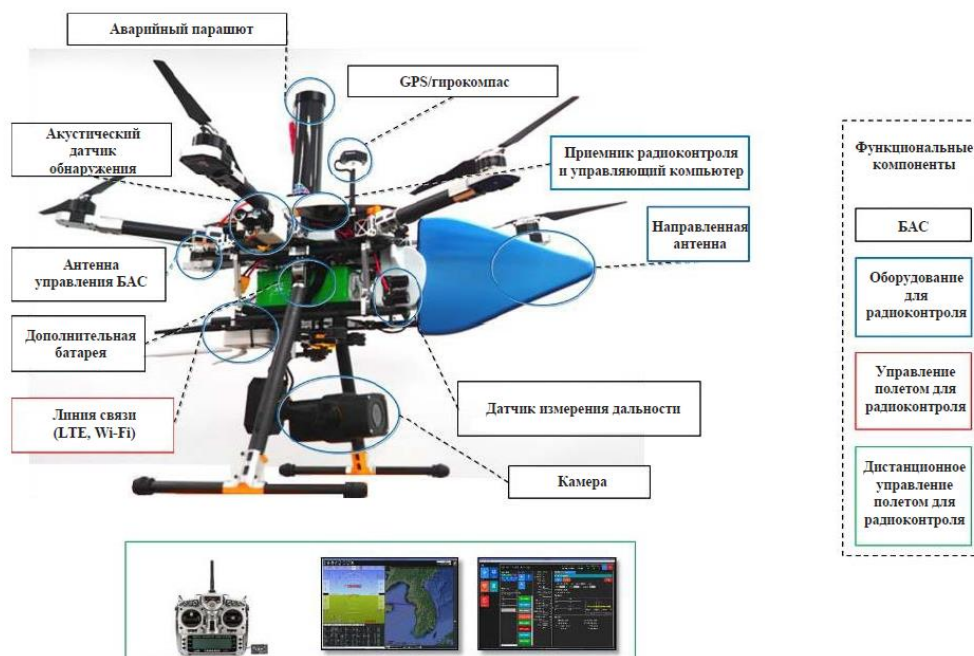
Функция управления полетом для радиоконтроля заключается в координации работы дрона и системы радиоконтроля и радиоизмерений в целях выполнения одной или нескольких задач. Управление полетом для радиоконтроля может перемещать дрон в точное местоположение, выполнять измерения или передачу радиосигналов, а также собирать и передавать результаты. Управление полетом для радиоконтроля включает в себя линию связи для передачи телеметрических и других данных на наземную станцию дистанционного управления, а также использует некоторые или все линии связи исходя из режима полета и задач измерения. В зависимости от конкретной ситуации дрон может использовать выделенные линии связи традиционного типа, а полеты, связанные с радиоконтролем, могут выполняться с применением линии связи для управления полетом.

### 2.4 Дистанционное управление полетом для радиоконтроля

В процессе радиоконтроля управление станциями радиоконтроля и радиоизмерений с применением коммерческого дрона может полностью осуществляться посредством дистанционного управления полетом для радиоконтроля. Дистанционное радиоуправление взаимодействует с управлением полетом для радиоконтроля по линии связи для управления полетом. Эта линия используется в зависимости от степени автоматизации процедур радиоконтроля и радиоизмерений, а также режима управления полетом дрона.

РИСУНОК 2

Пример системы радиоконтроля и радиоизмерений с использованием дрона



## 3 Другие аспекты

### 3.1 Предварительные требования при работе с дронами

#### 3.1.1 Влияние размера, массы и мощности на эксплуатационные характеристики

Пространство для размещения оборудования внутри корпуса небольшого дрона ограничено, поэтому при выборе компонентов необходимо учитывать их массу, размер и энергопотребление. Конфигурация компонентов должна обеспечивать оптимальное использование внутреннего пространства, а также осуществление функций, необходимых для полета и измерений. В отличие от традиционных систем радиоизмерений РЧ-компоненты, пригодные для установки на дрон (антенны,

приемники и передатчики), часто обладают недостаточно хорошими эксплуатационными характеристиками, узкой рабочей полосой пропускания или небольшой дальностью действия. Следовательно, при развертывании системы радиоконтроля на дроне рекомендуется измерять, калибровать и проверять общие эксплуатационные характеристики системы с полным комплектом установленного оборудования радиоконтроля.

### 3.1.2 Диаграммы направленности антенн

Для снижения массы в коммерческих дронах используется относительно небольшое количество металла, однако вокруг антенны достаточно много конструкций, которые могут создавать помехи приему сигнала. Посадочные опоры, пропеллеры, а также их рычаги и узлы крепления периферийного оборудования, например камер, могут мешать приему сигнала с определенных направлений. Диаграмма направленности антенны, установленной на БЛА, влияет на результаты измерений. Во время полета, когда БЛА находится в непрерывном движении, некоторые системы могут использовать лазерный отражатель для получения точных трехмерных данных о местоположении и ориентирования антенны в правильном направлении. В целях обеспечения точности диаграмма направленности антенны БЛА, как правило, измеряется в безэховой камере. Для получения точной диаграммы направленности во время измерений в камере на дроне должно быть установлено все необходимое для работы оборудование (например, лазерный отражатель).

### 3.1.3 Уровень собственных шумов

На борту коммерческого дрона устанавливается ряд радиочастотных устройств, выполняющих следующие функции:

- дистанционное управление и передача данных традиционного типа;
- линии связи для полета, выполняемого в целях радиоконтроля;
- компоненты, которые могут быть источниками электромагнитных помех, в частности электродвигатели и блоки питания.

Таким образом в определенных диапазонах частот уровни шума могут быть аномально высокими. Для обеспечения более точных результатов измерений некоторые из шумов приходится подавлять.

### 3.1.4 Безопасность и защитные устройства

Коммерческие дроны осуществляют полеты в воздушном пространстве, как и любые воздушные суда, поэтому оператор должен обеспечивать безопасность других пользователей воздушного пространства, а также безопасность людей и имущества на земле. Кроме того, дрон, оснащенный системой радиоконтроля, является для организации дорогостоящим устройством, которое может потерпеть крушение и потребовать серьезных затрат на последующий ремонт. Следовательно, может оказаться необходимой установка дополнительных устройств – акустического датчика для обнаружения и предупреждения столкновений во время полета, аварийного парашюта, резервной линии связи и резервной системы отслеживания местоположения.

### 3.1.5 Местные правила организации полетов

В каждой стране существуют государственные нормативы, определяющие границы зон полетов, время суток и средства управления полетами для каждого типа дронов, поэтому необходимо заранее обращаться в соответствующие национальные регуляторные органы.

## 3.2 Причины погрешности измерений

Дроны не имеют жесткой привязки к земле, поэтому они удерживаются на заданной позиции при помощи различных датчиков и алгоритмов. Следовательно, любая нестабильность или резкое движение во время приема сигнала могут привести к погрешности измерения и разбросу результатов. Например, если измерение выполняется в одном и том же месте, но в разное время, результаты измерения для однонаправленного сигнала могут отличаться. Система управления дронами предполагает сохранение ими фиксированного положения, однако можно предположить, что в реальной ситуации нестабильность рабочей окружающей среды будет влиять на измерения.

Ниже перечислены основные источники погрешностей, приводящие к нестабильности результатов измерений.

### 3.2.1 Управление полетом дрона одним оператором

Когда дроном дистанционно управляет оператор, полет в точку с заданными координатами и одновременное выполнение измерений или передачи данных является очень сложной задачей. При внезапном изменении положения дрона из-за погодных условий, ветра или неточных данных позиционирования один оператор практически не способен визуально уточнить и сохранить фиксированное положение аппарата.

### 3.2.2 Контроль местоположения с использованием глобальной навигационной спутниковой системы (ГНСС)

Как правило, для целей навигации дроны используют такие системы ГНСС, как GPS, ГЛОНАСС, Galileo, Beidou, а также инерционную навигационную систему (ИНС) для обеспечения кратковременной точности. Сигналы от этих систем также чувствительны к помехам или глушению и могут внезапно ослабевать или исчезать при определенных условиях во время полета дрона. Прием сигнала ГНСС может быть ослаблен из-за электромагнитных помех, источником которых являются дополнительные устройства на самом дроне, а также из-за погодных условий, например сильного ветра или плотных облаков. Это может вызвать нестабильность положения в режиме зависания, что отрицательно сказывается на точности измерения или передачи сигнала. Для улучшения характеристик приема навигационных сигналов, а следовательно, обеспечения стабильной работы платформы дрона возможно использовать несколько приемников ГНСС или многочастотных приемников, а также методы подавления электромагнитных помех.

В нормальных условиях погрешность системы GPS составляет несколько метров в горизонтальной плоскости, а погрешность в вертикальной плоскости в 1–2 раза больше, чем в горизонтальной. Для повышения точности позиционирования возможно применять метод кинематики реального времени (RTK) GPS, аналогичный технологии, используемой в топографической съемке. В результате, диапазон погрешности позиционирования может сократиться до нескольких сантиметров.

### 3.2.3 Горизонтальное и вертикальное позиционирование (зависание) и наведение на исходную точку

Дроны сохраняют заданное положение с высокой точностью, однако могут наклоняться и поворачиваться, что может привести к большим погрешностям при измерениях в ближней зоне.

### 3.2.4 Характеристики измерительной и передающей антенны

В зависимости от поставленных задач дроны оснащаются направленными и всенаправленными антеннами, а также антенными решетками. Даже в том случае, если установлена антенна с известной диаграммой направленности, необходимо проверить диаграмму направленности смонтированной антенны с учетом влияния корпуса дрона или периферийных устройств. Высота, положение и наклон дрона также могут изменяться во время измерения или передачи сигнала, поэтому может возникнуть необходимость в измерении трехмерной диаграммы направленности антенны в запланированной полосе частот. При использовании направленной антенны статус наведения на исходную точку и диаграмма направленности антенны сильно влияют на результаты измерений. В общем более важно знать диаграмму направленности антенны при измерениях в ближней зоне, где калибровка становится более важным фактором при реконструкции данных от источника с использованием результатов измерения в ближней зоне и преобразованием их в результаты измерения в дальней зоне.

### 3.2.5 Влияние ветра

Даже при обеспечении повышенной точности определения местоположения благодаря использованию RTK или другой подобной технологии, ветер может препятствовать быстрому смещению дрона со своей позиции. Большинство любительских дронов, доступных в свободной продаже, не гарантируют безопасную или стабильную работу в ветреную погоду. При тестировании беспроводного радиоконтроля с использованием дронов было зарегистрировано немало случаев аварий из-за ветра. Для успешного выполнения полета для радиоконтроля может потребоваться отслеживание и регистрация скорости ветра при каждом полете и каждом измерении. Это позволит обеспечить лучшее понимание результатов измерений.



### **3.3 Ограничения, связанные с использованием коммерческих дронов**

Дроны обладают рядом преимуществ, однако их использование связано с множеством ограничений, присущих традиционной авиации.

#### **3.3.1 Позиционирование, наведение на исходную точку**

Существуют ограничения для управления пространственным положением, связанные как с неточностью обнаружения, обеспечиваемого датчиками, так и с атмосферными потоками. Например, дрон может не зарегистрировать фактическое направление к точке запуска в тот момент, когда датчик движения дрона определяет направление на эту точку. Если при полете дрона не используется система дополнительной компенсации вращения и наклона, например лазерное устройство, то измеряемый угол может измениться на несколько градусов, что приведет к ошибке измерения.

#### **3.3.2 Зависимость от погодных условий**

Полеты планируются на основе прогнозов погоды, однако это фактор, который следует всегда уточнять на месте, так как он оказывает наибольшее влияние на операции дрона. Высокие или низкие температуры также могут негативно влиять на батареи, датчики, двигатели и оборудование для радиоконтроля. Эксплуатация дронов также затруднена в условиях высокой влажности, в туманные, дождливые или снежные дни. Кроме того, их использование может быть ограничено местными климатическими условиями в зоне измерения. Помимо этого, сильный ветер затрудняет полеты дронов и может отрицательно повлиять на результаты измерений.

#### **3.3.3 Короткое время работы**

В связи с ограниченной емкостью источников питания время полета дронов обычно не превышает несколько десятков минут, а для повторного использования необходимы запасные батареи и зарядные станции.

#### **3.3.4 Размер, масса и энергопотребление**

Коммерческие дроны, доступные в свободной продаже, имеют относительно небольшие размеры и массу. Это накладывает существенные ограничения на массу полезной нагрузки, включая элементы питания, устанавливаемое периферийное оборудование, антенны и приемники радиоконтроля.

#### **3.3.5 Риск аварии**

Работа систем дрона связана с множеством ограничений, и существуют определенные риски аварий. Во время полета всегда существует риск аварии, в том числе нанесения увечий людям, повреждения имущества и бортового оборудования.

#### **3.3.6 Экономические и регуляторные аспекты**

В связи с многочисленными ограничениями условий и способов выполнения полетов, а также риском аварий необходимо проводить оценку экономической эффективности контроля за использованием спектра с применением дронов для конкретных задач.

## **4 Сценарии экспериментов и применения дронов**

### **4.1 Измерение напряженности поля радиосигнала: радиовещательный сигнал ЦТВ**

В настоящем подразделе описано измерение радиосигналов наземного радиовещания с платформ БЛА, а результаты сравниваются с результатами измерения, выполненного традиционной фиксированной системой радиоконтроля.

На рисунке 3 изображена система дистанционного радиоконтроля с использованием БЛА.

РИСУНОК 3

## Система дистанционного радиоконтроля с использованием БЛА

Область действия радиоконтроля  
с использованием БЛАСистема радиоконтроля  
с использованием БЛА

## 4.1.1 Технические аспекты

Системы стабилизации с ручными трехосными подвесами дают оператору возможность свободно вести съемку с рук, предотвращая вибрацию или дрожание камеры, что позволяет устранить ошибки измерения, связанные с размыванием изображения во время полета.

Для правильного положения при приземлении следует рассмотреть возможность применения технологии визуального восприятия. Отклонение запрограммированной точки посадки БЛА может составлять три метра. Для того чтобы не допустить подобного смещения, необходимо визуально контролировать БЛА во время посадки.

При проведении измерений в диапазоне ВЧ следует измерять и регистрировать радиошум, который могут создавать двигатели БЛА.

Операторы должны учитывать размер, массу, полезную нагрузку и время работы БЛА с учетом того, что на его борту будет установлено измерительное оборудование.

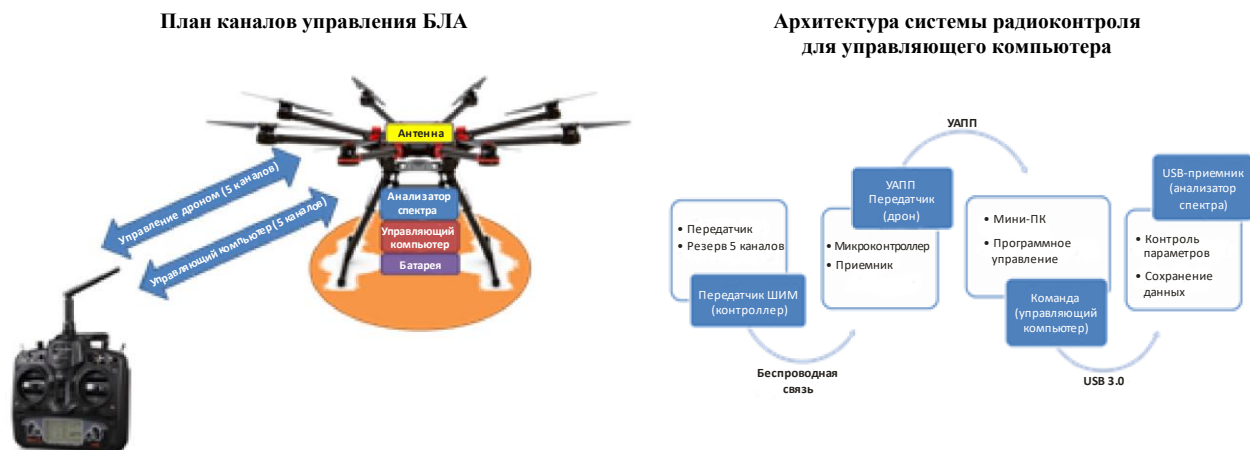
При выборе оборудования радиоконтроля для использования с БЛА необходимо в числе прочего учитывать размер, массу, энергообеспечение и эксплуатационные характеристики устройств.

Технические характеристики управляющего компьютера (ОС, ЦП, объем памяти и т. д.) должны соответствовать требованиям оборудования радиоконтроля.

Оборудование радиоконтроля управляется посредством десяти доступных каналов связи диспетчером дистанционного управления. Пять каналов используются для управления БЛА, а другие пять каналов предназначены для управления компьютерной программой и работой бортового оборудования.

РИСУНОК 4

Блок-схема системы радиоконтроля с использованием БЛА



4.1.2 Эксперимент по измерению сигнала наземного радиовещания ЦТВ с применением БЛА

В эксперименте сравниваются результаты измерения сигнала радиовещания ЦТВ фиксированной системой радиоконтроля и дистанционной системой радиоконтроля с применением дрона.

РИСУНОК 5

Радиоконтроль передающей станции ЦТВ



Высота антенны для измерения сигналов радиовещания ЦТВ составляет 9 метров над поверхностью земли. Существующий метод (фиксированный радиоконтроль) предусматривает установку антенной мачты на автомобиле и требует больше времени и финансовых средств для проведения измерений, вследствие чего количество точек измерения ограничено. Однако если при проведении радиоконтроля используется дрон, он может работать на высоте 9 метров в устойчивом положении и вести радиоконтроль из мест, труднодоступных для автомобилей.

Измерения проводились с применением обоих методов на пяти каналах ЦТВ, на которых передаются сигналы с горы Моак в городе Чонджу. Разница между результатами измерений двумя методами составляет от 1 до 2 дБ. Этой величиной можно пренебречь, поскольку она соответствует погрешности измерения, возникающей при использовании существующего метода. В левой части рисунка 6 показан спектр измерений уровней радиосигналов фиксированным методом с использованием антенной мачты, а в правой – спектр дистанционных измерений радиоизлучения с использованием дронов. В таблице 1 показаны результаты измерений радиовещательных сигналов на всех каналах, передаваемых с горы Моак. В настоящем Отчете демонстрируется возможность использования дрона в качестве дистанционной системы радиоконтроля, поскольку результат измерений при традиционном фиксированном радиоконтроле с использованием антенной мачты сравним с результатом измерений с использованием БЛА.

РИСУНОК 6

Результат контроля за использованием спектра для станции наземного радиовещания ЦТВ

Фиксированная система контроля за использованием спектра Система контроля за использованием спектра на основе дрона

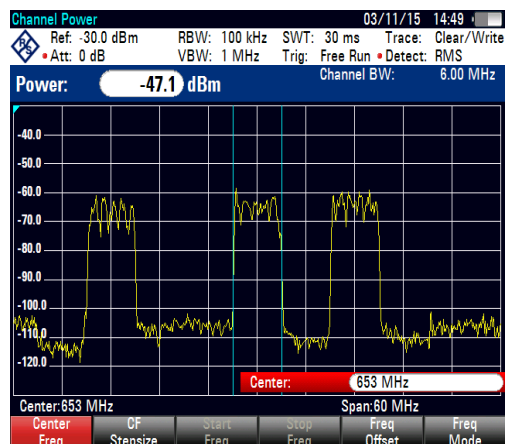
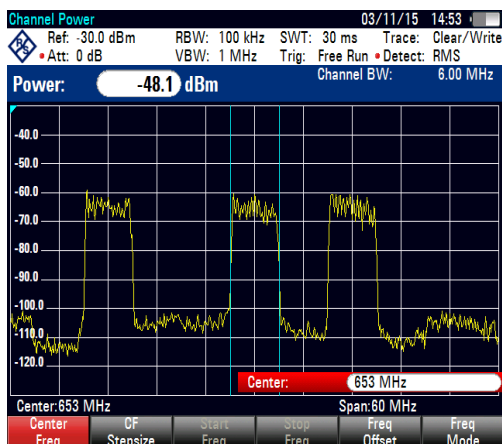


ТАБЛИЦА 1

Данные контроля за использованием спектра для станции наземного радиовещания ЦТВ

Канал ЦТВ (гора Моак)	Частота	Фиксированная станция	На основе дрона	Разность
27	551 МГц	-46 дБм	-48 дБм	2 дБ
33	587 МГц	-51 дБм	-49 дБм	2 дБ
41	635 МГц	-48 дБм	-49 дБм	1 дБ
44	653 МГц	-48 дБм	-47 дБм	1 дБ
46	665 МГц	-47 дБм	-46 дБм	1 дБ

## 4.2 Определение местоположения передатчика спутникового сигнала VSAT на линии вверх

### 4.2.1 Введение

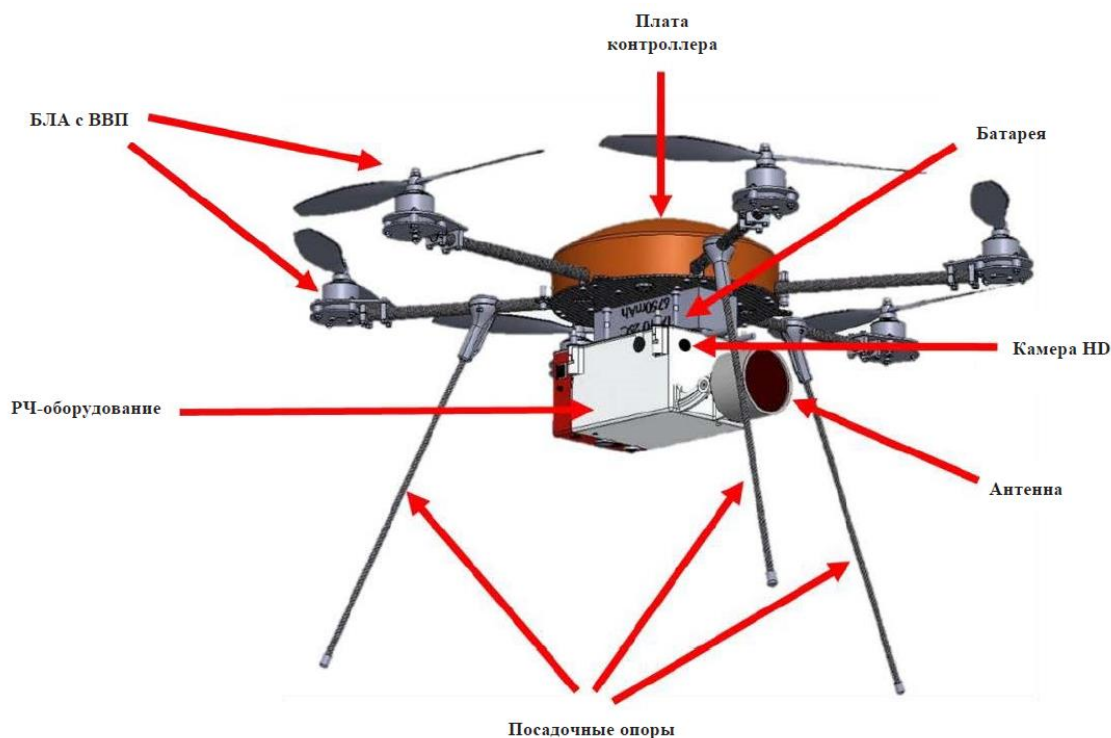
В настоящем разделе приведен пример использования платформы БЛА для обнаружения и определения местоположения передатчика спутникового сигнала VSAT на линии вверх.

### 4.2.2 Сведения о системе

#### 4.2.2.1 БЛА

Платформа БЛА снабжена шестью роторами и поддерживает режимы вертикального взлета и посадки (ВВП). Дрон оборудован камерой высокого разрешения (HD) и двумя бортовыми устройствами, работающими в диапазоне частот 2–40 ГГц. Компоненты БЛА показаны на рисунке 7.

РИСУНОК 7



В состав наземной станции БЛА входит джойстик, ноутбук, модуль телеметрии и анемометр.

#### 4.2.2.2 Система радиоконтроля (РЧ-оборудование)

Платформа БЛА может осуществлять контроль в диапазоне частот 2–40 ГГц с использованием описываемых ниже двух бортовых устройств.

Параметры	Бортовое устройство для диапазонов L, C, X, Ku	Бортовое устройство для диапазона Ka
Полоса частот	Приемная антенна 2–18 ГГц	Приемная антенна 18–40 ГГц
Поляризация	Левосторонняя и правосторонняя круговая	Левосторонняя и правосторонняя круговая

Связь между наземной станцией и БЛА осуществляется по беспроводной линии в диапазоне 2,4 ГГц.

#### 4.2.2.3 Управление и режимы работы

БЛА поддерживает два режима работы – ручной и автоматический. Аппарат может управляться оператором с помощью джойстика вручную и лететь в любом выбранном направлении. В другом режиме маршрут полета программируется заранее. План полета загружается в БЛА при помощи специального программного обеспечения. В целях безопасности БЛА оснащен функцией, позволяющей аппарату безопасно приземляться в исходную точку в случае разряда батареи.

#### 4.2.3 Измерения и результаты

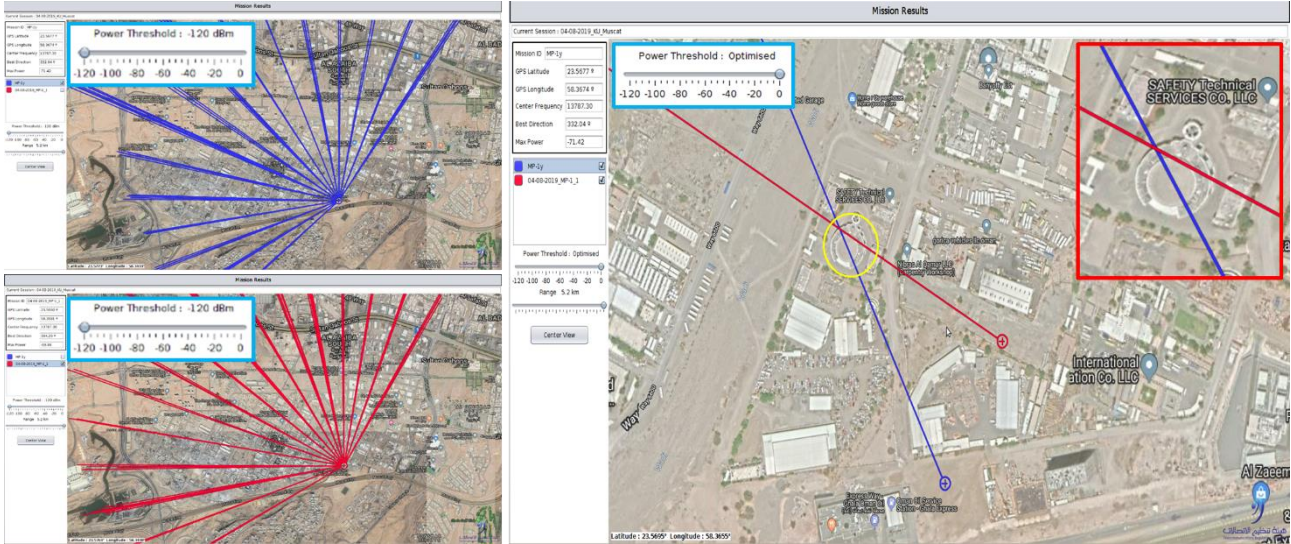
При проведении подобных измерений на заданной большой территории следует принять ряд предполетных мер, таких как определение точек измерений и полетных точек для определения местоположения целевой антенны, помимо направления на предполагаемое местоположение цели.

На рисунке 8 показаны результаты измерений, выполненных в ходе полета БЛА. Во время полета БЛА осуществлял измерения на целевой частоте в двух точках измерения и при разных заданных углах. Используя измеритель пороговой мощности, возможно отфильтровать результат измерений и получить на карте направление приема сигнала максимальной мощности (изображение слева).

Таким образом система БЛА позволяет оптимизировать результаты измерений и получить оптимальное направление измерения, рассчитанное на основе сигналов, принимаемых со всех направлений. Пересечение линий оптимизированных результатов измерений из двух полетных точек измерений, обведенное желтым кружком, показывает местоположение передатчика VSAT (изображение справа).

РИСУНОК 8

## Результаты и анализ измерения с использованием БЛА



На основе измерений, описанных выше, с помощью встроенной камеры БЛА можно определить любую антенну, расположенную на большой высоте. Фотосъемка производится с шагом в один градус, позволяя обнаружить антенну в направлении приема сигнала максимальной мощности. На рисунке 9 показан передатчик VSAT, сфотографированный камерой дрона.

РИСУНОК 9

## Фотоснимки с камеры БЛА



**5      Акронимы**

3D	Three-dimensional		Трёхмерный
DTV	Digital television	ЦТВ	Цифровое телевидение
EMI	Electromagnetic interference		Электромагнитная помеха
GNSS	Global navigation satellite system	ГНСС	Глобальная навигационная спутниковая система
GPS	Global Positioning System		Глобальная система определения местоположения
ICAO	International civil aviation organization	ИКАО	Международная организация гражданской авиации
INS	Inertial navigation system	ИНС	Инерционная навигационная система
RTK	Real-time kinematic		Кинематика в реальном времени
UAS	Unmanned aircraft system	БАС	Беспилотная авиационная система
UAV	Unmanned aerial vehicle	БЛА	Беспилотный летательный аппарат
VSAT	Very small aperture terminal		Терминал с очень малой апертурой

---