

Автономная некоммерческая организация высшего образования
«Волгоградский институт бизнеса»

Рабочая программа учебной дисциплины

Технологии и средства связи беспилотных авиационных систем

(Наименование дисциплины)

**«25.03.01 Техническая эксплуатация летательных аппаратов и двигателей,
направленность (профиль) «Инженерно-техническое обеспечение устройств и
беспилотных авиационных систем»»**

(Направление подготовки / Профиль)

Бакалавр

(Квалификация)

Кафедра разработчик

Естественных наук и профессиональных коммуникаций

Год набора

2027

Вид учебной деятельности	Трудоемкость (объем) дисциплины
	Очная форма
	Д
Зачетные единицы	4
Общее количество часов	144
Аудиторные часы контактной работы обучающегося с преподавателями:	32
– Лекционные (Л)	16
– Практические (ПЗ)	16
– Лабораторные (ЛЗ)	
– Семинарские (СЗ)	
Самостоятельная работа обучающихся (СРО)	112
К (Р-Г) Р (П) (+;-)	
Тестирование (+;-)	
ДКР (+;-)	
Зачет (+;-)	+
Зачет с оценкой (+;- (Кол-во часов))	
Экзамен (+;- (Кол-во часов))	

Волгоград 2026

Содержание

Раздел 1. Организационно-методический раздел	3
Раздел 2. Тематический план.....	6
Раздел 3. Содержание дисциплины.....	7
Раздел 4. Организация самостоятельной работы обучающихся	9
Раздел 5. Фонд оценочных средств для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации обучающихся.....	11
Раздел 6. Оценочные средства промежуточной аттестации (с ключами).....	16
Раздел 7. Перечень учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины	20
Раздел 8. Материально-техническая база и информационные технологии.....	21
Раздел 9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины	23

Раздел 1. Организационно-методический раздел

1.1. Цели освоения дисциплины

Дисциплина «Технологии и средства связи беспилотных авиационных систем» входит в «Обязательную часть» подготовки обучающихся по направлению подготовки «25.03.01 Техническая эксплуатация летательных аппаратов и двигателей, направленность (профиль) «Инженерно-техническое обеспечение устройств и беспилотных авиационных систем»»

Целью дисциплины является формирование **компетенций** (в соответствии с ФГОС ВО и требованиями к результатам освоения основной профессиональной образовательной программы высшего образования (ОПОП ВО)):

ОПК-3. Способен применять теорию технической эксплуатации, основы конструкции и систем воздушных судов, электрических и электронных источников питания приборного оборудования и систем индикации воздушных судов, систем управления воздушным судном и бортовых систем навигационного и связного оборудования

Дескрипторы универсальной компетенции:

ОПК-3.1. Демонстрирует понимание теории технической эксплуатации, основ конструкции и систем воздушных судов, электрических и электронных источников питания приборного оборудования и систем индикации воздушных судов, систем управления воздушным судном и бортовых систем навигационного и связного оборудования.

ОПК-3.2. Применяет теорию технической эксплуатации, основы конструкции и систем воздушных судов, электрических и электронных источников питания приборного оборудования и систем индикации воздушных судов, систем управления воздушным судном и бортовых систем навигационного и связного оборудования при решении профессиональных задач.

Перечисленные компетенции формируются в процессе достижения индикаторов компетенций:

Обобщенная трудовая функция/ трудовая функция	Код и наименование дескриптора компетенций	Код и наименование индикатора достижения компетенций (из ПС)
	ОПК-3.1. Демонстрирует понимание теории технической эксплуатации, основ конструкции и систем воздушных судов, электрических и электронных источников питания приборного оборудования и систем индикации воздушных судов, систем управления воздушным судном и бортовых систем навигационного и связного оборудования. ОПК-3.2. Применяет теорию технической эксплуатации, основы конструкции и систем воздушных судов, электрических и электронных источников питания приборного	Знает: ИД 1 ОПК-3.1 Теорию технической эксплуатации, основы конструкции и систем воздушных судов, электрических и электронных источников питания приборного оборудования и систем индикации воздушных судов, систем управления воздушным судном и бортовых систем навигационного и связного оборудования (без привязки к профессиональному стандарту); ИД 2 ОПК-3.2 Порядок и принципы применения теории технической эксплуатации, основ конструкции и систем воздушных судов, электрических и электронных источников питания приборного оборудования и систем индикации воздушных судов, систем управления воздушным

	оборудования и систем индикации воздушных судов, систем управления воздушным судном и бортовых систем навигационного и связного оборудования при решении профессиональных задач.	судном и бортовых систем навигационного и связного оборудования при решении профессиональных задач (без привязки к профессиональному стандарту). Умеет: ИД 3 ОПК-3.1 Оценить техническое состояние и потребность в техническом обслуживании и ремонте конструкций и систем воздушных судов, электрических и электронных источников питания приборного оборудования и систем индикации воздушных судов, систем управления воздушным судном и бортовых систем навигационного и связного оборудования (без привязки к профессиональному стандарту); ИД 4 ОПК-3.2 Применять теорию технической эксплуатации, основы конструкции и систем воздушных судов, электрических и электронных источников питания приборного оборудования и систем индикации воздушных судов, систем управления воздушным судном и бортовых систем навигационного и связного оборудования при решении профессиональных задач (без привязки к профессиональному стандарту). Имеет навыки: ИД 5 ОПК-3.1 Оценки технического состояния и потребности в техническом обслуживании и ремонте конструкций и систем воздушных судов, электрических и электронных источников питания приборного оборудования и систем индикации воздушных судов, систем управления воздушным судном и бортовых систем навигационного и связного оборудования (без привязки к профессиональному стандарту); ИД 6 ОПК-3.2 Применения
--	---	---

		теории технической эксплуатации, основ конструкции и систем воздушных судов, электрических и электронных источников питания приборного оборудования и систем индикации воздушных судов, систем управления воздушным судном и бортовых систем навигационного и связного оборудования при решении профессиональных задач (без привязки к профессиональному стандарту).
--	--	--

1.2. Место дисциплины в структуре ОПОП ВО

направления подготовки «25.03.01 Техническая эксплуатация летательных аппаратов и двигателей, направленность (профиль) «Инженерно-техническое обеспечение устройств и беспилотных авиационных систем»»

№	Предшествующие дисциплины (дисциплины, изучаемые параллельно)	Последующие дисциплины
1	2	3
1	Основы инженерной деятельности	Основы беспилотных авиационных систем
2	Основы схемотехники	Системы и оборудование воздушных судов

1.3. Нормативная документация

Рабочая программа учебной дисциплины составлена на основе:

- Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки «25.03.01 Техническая эксплуатация летательных аппаратов и двигателей, направленность (профиль) «Инженерно-техническое обеспечение устройств и беспилотных авиационных систем»»;
- Учебного плана направления подготовки «25.03.01 Техническая эксплуатация летательных аппаратов и двигателей, направленность (профиль) «Инженерно-техническое обеспечение устройств и беспилотных авиационных систем»» 2027 года набора;
- Образца рабочей программы учебной дисциплины (приказ № 113-О от 01.09.2021 г.).

Раздел 2. Тематический план

Очная форма обучения (полный срок)

№	Тема дисциплины	Трудоемкость				
		Все го	Аудиторные занятия		СРО	Код индикатора и дескриптора достижения компетенций
			Л	ПЗ (ЛЗ, СЗ)		
1	2	3	4	5	6	7
1	Тема 1. Основы радиосвязи и антенно-фидерные устройства	16	2		14	ИД 1 ОПК-3.1 ИД 2 ОПК-3.2 ИД 3 ОПК-3.1 ИД 4 ОПК-3.2 ИД 5 ОПК-3.1 ИД 6 ОПК-3.2
2	Тема 2. Архитектура линий управления и контроля (C2 — Command and Control)	18	2	2	14	ИД 1 ОПК-3.1 ИД 2 ОПК-3.2 ИД 3 ОПК-3.1 ИД 4 ОПК-3.2 ИД 5 ОПК-3.1 ИД 6 ОПК-3.2
3	Тема 3. Технологии расширения спектра для помехоустойчивости	18	2	2	14	ИД 1 ОПК-3.1 ИД 2 ОПК-3.2 ИД 3 ОПК-3.1 ИД 4 ОПК-3.2 ИД 5 ОПК-3.1 ИД 6 ОПК-3.2
4	Тема 4. Цифровая связь и методы модуляции	20	2	4	14	ИД 1 ОПК-3.1 ИД 2 ОПК-3.2 ИД 3 ОПК-3.1 ИД 4 ОПК-3.2 ИД 5 ОПК-3.1 ИД 6 ОПК-3.2
5	Тема 5. Системы спутниковой связи (SATCOM) для БАС	18	2	2	14	ИД 1 ОПК-3.1 ИД 2 ОПК-3.2 ИД 3 ОПК-3.1 ИД 4 ОПК-3.2 ИД 5 ОПК-3.1 ИД 6 ОПК-3.2
6	Тема 6. Организация сетей связи группы БВС (Swarming / Mesh-сети)	16	2		14	ИД 1 ОПК-3.1 ИД 2 ОПК-3.2 ИД 3 ОПК-3.1 ИД 4 ОПК-3.2 ИД 5 ОПК-3.1 ИД 6 ОПК-3.2
7	Тема 7. Информационная безопасность каналов связи БАС	20	2	4	14	ИД 1 ОПК-3.1 ИД 2 ОПК-3.2 ИД 3 ОПК-3.1 ИД 4 ОПК-3.2 ИД 5 ОПК-3.1 ИД 6 ОПК-3.2
8	Тема 8. Интеграция в общее воздушное пространство и дистанционная идентификация	18	2	2	14	ИД 1 ОПК-3.1 ИД 2 ОПК-3.2 ИД 3 ОПК-3.1 ИД 4 ОПК-3.2 ИД 5 ОПК-3.1 ИД 6 ОПК-3.2
Вид промежуточной аттестации(Зачет)						
Итого		144	16	16	112	

Раздел 3. Содержание дисциплины

3.1. Содержание дисциплины

Тема 1. Основы радиосвязи и антенно-фидерные устройства

- **Содержание:** Физические принципы распространения радиоволн (отражение, дифракция, рассеяние). Диапазоны частот, используемые в гражданской авиации для БАС (ISM-диапазоны, L-диапазон, C-диапазон). Поляризация волн. Типы антенн для беспилотников: штыревые, направленные панельные, спиральные, фазированные антенные решетки (ФАР).

- **Ключевые понятия:** Длина волны, коэффициент усиления антенны, диаграмма направленности, KCB (коэффициент стоячей волны).

Тема 2. Архитектура линий управления и контроля (C2 — Command and Control)

- **Содержание:** Структура канала передачи данных между станцией внешнего пилота (СВП) и БВС. Прямая радиовидимость (LOS — Line of Sight). Передача команд управления (UpLink) и телеметрии/видеоданных (DownLink). Протоколы MAVLink как стандарт де-факто для обмена сообщениями.

- **Ключевые понятия:** Латентность (задержка), пропускная способность, джиттер, раздельные или совмещенные каналы приема/передачи.

Тема 3. Технологии расширения спектра для помехоустойчивости

- **Содержание:** Методы борьбы с узкополосными помехами и замираниями сигнала. FHSS (Frequency-Hopping Spread Spectrum — псевдослучайная перестройка рабочей частоты) и DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum — широкополосная модуляция с прямым расширением спектра). Применение в протоколах управления.

- **Ключевые понятия:** Обработка сигналов расширенного спектра, выигрыш при обработке, подавление помех.

Тема 4. Цифровая связь и методы модуляции

- **Содержание:** Аналоговая и цифровая передача данных. Виды цифровой модуляции, применяемые в БАС: ASK, FSK, PSK, QAM. Квадратурная амплитудная модуляция (QAM) в видеолинках высокой четкости. Помехоустойчивое кодирование (FEC — Forward Error Correction).

- **Ключевые понятия:** Битовая скорость, символьная скорость, созвездие сигнала, энергетический бюджет линии связи (Link Budget).

Тема 5. Системы спутниковой связи (SATCOM) для БАС

- **Содержание:** Использование негеостационарных орбитальных группировок (LEO/MEO, например, Starlink, OneWeb, Iridium) для полетов за пределами прямой радиовидимости (BVLOS — Beyond Visual Line of Sight). Особенности полярной маршрутизации и задержки спутникового сигнала. Интеграция терминалов SATCOM на борту малых БВС.

- **Ключевые понятия:** BVLOS-операции, геостационарная орбита (GEO), низколетящие спутники (LEO), апертурные антенны.

Тема 6. Организация сетей связи группы БВС (Swarming / Mesh-сети)

- **Содержание:** Принципы самоорганизующихся сетей (MANET). Топология типа «Mesh». Ретрансляция сигнала внутри роя дронов для увеличения дальности действия без использования мощных наземных передатчиков. Динамическая маршрутизация пакетов данных.

- **Ключевые понятия:** Ad-hoc сети, хоп (hop), ретранслятор, отказоустойчивость сети.

Тема 7. Информационная безопасность каналов связи БАС

- **Содержание:** Угрозы каналу связи: перехват управления (Hijacking), подмена координат (GPS Spoofing), постановка радиопомех (Jamming). Методы защиты: шифрование трафика (AES-256), аутентификация узлов, использование цифровых подписей полетного задания, режимы Fail-Safe и Return-to-Home при потере связи.

- **Ключевые понятия:** Целостность данных, конфиденциальность, криптографический ключ, белый список пультов управления.

Тема 8. Интеграция в общее воздушное пространство и дистанционная идентификация

- **Содержание:** Требования к БАС для совместного полета с пилотируемой авиацией. Технология ADS-B (Automatic Dependent Surveillance-Broadcast). Протоколы удаленной идентификации Remote ID (радиочастотный маяк). Связь «Воздух-Земля» (Air-to-Ground) через сотовые сети (4G/5G) для обеспечения покрытия над населенными пунктами.
- **Ключевые понятия:** U-space, сегрегированное воздушное пространство, транспондер, e-Identification.

3.2. Содержание практического блока дисциплины

Очная форма обучения (полный срок)

№	Тема практического (семинарского, лабораторного) занятия
1	2
ПЗ 1	Тема 1. Основы радиосвязи и антенно-фидерные устройства
ПЗ 2	Тема 2. Архитектура линий управления и контроля (C2 — Command and Control)
ПЗ 3, 4	Тема 3. Технологии расширения спектра для помехоустойчивости
ПЗ 5	Тема 4. Цифровая связь и методы модуляции
ПЗ 6, 7	Тема 5. Системы спутниковой связи (SATCOM) для БАС
ПЗ 8	Тема 6. Организация сетей связи группы БВС (Swarming / Mesh-сети)

3.3. Образовательные технологии

Очная форма обучения (полный срок)

№	Тема занятия	Вид учебного занятия	Форма / Методы интерактивного обучения	% учебного времени
1	2	3	4	5
1	Тема 1. Основы радиосвязи и антенно-фидерные устройства	ПЗ	Метод кейсов	75
2	Тема 2. Архитектура линий управления и контроля (C2 — Command and Control)	Л	Лекция-ситуация	25
3	Тема 3. Технологии расширения спектра для помехоустойчивости	ПЗ	Метод кейсов	75
4	Тема 4. Цифровая связь и методы модуляции	ПЗ	Мозговой штурм	25
5	Тема 5. Системы спутниковой связи (SATCOM) для БАС	Л	Мозговой штурм	50
6	Тема 6. Организация сетей связи группы БВС (Swarming / Mesh-сети)	ПЗ	Метод кейсов	75
7	Тема 7. Информационная безопасность каналов связи БАС	ПЗ	Метод кейсов	75
8	Тема 8. Интеграция в общее воздушное пространство и дистанционная идентификация	ПЗ	Деловая игра	75
Итого				29,68%

Раздел 4. Организация самостоятельной работы обучающихся

4.1. Организация самостоятельной работы обучающихся

№	Тема дисциплины	№ вопросов	№ рекомендуемой литературы
1	2	3	4
1	Тема 1. Основы радиосвязи и антенно-фидерные устройства	1, 2	1, 3, 5
2	Тема 2. Архитектура линий управления и контроля (C2 — Command and Control)	3, 4, 5, 6	1, 3, 5
3	Тема 3. Технологии расширения спектра для помехоустойчивости	7, 8, 9	3, 4, 5
4	Тема 4. Цифровая связь и методы модуляции	10, 11, 12, 13	2, 3, 4, 5
5	Тема 5. Системы спутниковой связи (SATCOM) для БАС	14, 15, 16	3, 4, 5
6	Тема 6. Организация сетей связи группы БВС (Swarming / Mesh-сети)	17, 18	2, 3, 5
7	Тема 7. Информационная безопасность каналов связи БАС	19-25	1, 3, 5
8	Тема 8. Интеграция в общее воздушное пространство и дистанционная идентификация	26, 27, 28	2, 3, 5, 6

Перечень вопросов, выносимых на самостоятельную работу обучающихся

1. Сравнительный анализ диапазонов частот ISM (2,4 ГГц, 5,8 ГГц) и выделенных авиационных диапазонов (L-band, C-band) для управления БВС Преимущества и недостатки каждого диапазона с точки зрения прохождения препятствий, дальности и загруженности эфира.

2. Энергетический бюджет радиолинии (Link Budget) в каналах управления БАС Расчет необходимой мощности передатчика с учетом усиления антенн, потерь в свободном пространстве и шумов приемника.

3. Протокол MAVLink: структура сообщений, типы пакетов и методы обеспечения помехоустойчивости Анализ наиболее распространенного открытого протокола обмена данными между наземной станцией и полетным контроллером.

4. Технологии расширения спектра: FHSS против DSSS в системах дистанционного пилотирования Физические принципы псевдослучайной перестройки частоты и прямой последовательности, их устойчивость к узкополосным помехам.

5. Методы цифровой модуляции в видеолинках БАС (QPSK, 16-QAM, 64-QAM) Влияние порядка квадратурной амплитудной модуляции на пропускную способность канала и требуемое отношение сигнал/шум.

6. Антенные системы станций внешнего пилота: секторные панели, фазированные антенные решетки (ФАР) и следящие парабола Механизмы автосопровождения дрона по азимуту и углу места при потере всенаправленного приема.

7. Использование низкоорбитальных спутниковых группировок (LEO-HTS, например, Starlink/OneWeb) для полетов BVLOS Особенности интеграции терминалов спутниковой связи на борту малых БВС и влияние задержки сигнала на управление.

8. Сотовые сети (4G/LTE и 5G) как транспортный уровень для трансляции телеметрии и полезной нагрузки Технология Cell-on-Wings (CoW) и передача команд через публичные мобильные сети вместо выделенных радиоканалов.

9. Mesh-сети роя дронов: алгоритмы динамической маршрутизации (OLSR, B.A.T.M.A.N.) Принципы построения самоорганизующихся сетей без центрального узла ретрансляции для увеличения зоны покрытия.

10. Проблема скрытого терминала (Hidden Node Problem) в сетях MANET группы БВС
Методы предотвращения коллизий сигналов при отсутствии прямого радиовидимости между всеми участниками сети.

11. Информационная безопасность каналов C2: угрозы Jamming (заглушение) и Spoofing (подмена) Методы радиоэлектронной борьбы с БАС и способы защиты навигационного и связного оборудования.

12. Криптографическая защита трафика БАС: стандарты шифрования AES-256 и механизмы аутентификации пультов Роль аппаратных модулей безопасности (HSM) в предотвращении угона беспилотника методом перехвата управления.

13. Технология удаленной идентификации Remote ID: архитектура широковещательных маяков Bluetooth 4/5 и Wi-Fi NAN Юридические требования FAA/EASA/Росавиации к трансляционным данным дрона и интеграция со смартфонами наблюдателей.

14. Интеграция ADS-B транспондеров в архитектуру БАС для совместного использования воздушного пространства Режимы работы Automatic Dependent Surveillance-Broadcast (In/Out) на беспилотниках и взаимодействие с системами УВД.

15. Организация защищенного VPN-туннеля поверх публичных IP-сетей для управления критически важной инфраструктурой Применение промышленных протоколов SCADA и MQTT в управлении тяжелыми грузовыми беспилотниками.

16. Особенности распространения радиоволн миллиметрового диапазона (mmWave, 60 ГГц+) для сверхскоростной передачи видео с БВС Проблема сильного затухания в осадках и необходимость применения методов формирования луча (Beamforming).

17. Концепция Beyond Visual Line of Sight (BVLOS): резервирование каналов связи и логика Fail-Safe режимов Алгоритмы поведения аппарата при потере основного канала C2 (Return-to-Home, Loiter, автономная посадка по рельефу).

18. Оптические каналы связи (Free Space Optics — FSO) как средство высокоскоростной связи «точка-точка» для БВС Использование лазерных лучей для передачи гигабайт данных, невосприимчивость к РЭБ и зависимость от погодных условий.

19. Стандарт RTCA DO-362 (C2 Terrestrial Systems): технические требования к наземным станциям управления БАС Международные нормы по электромагнитной совместимости, избирательности по соседнему каналу и надежности оборудования.

20. Телекоммуникационные технологии для Urban Air Mobility (UAM): связь летающих такси с диспетчерскими центрами города Специфика организации плотной сети базовых станций 5G для обеспечения бесшовного хендвера низколетящих аппаратов над мегаполисом.

4.2. Перечень учебно-методического обеспечения самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа обучающихся обеспечивается следующими учебно-методическими материалами:

1. Указаниями в рабочей программе по дисциплине (п.4.1.)
2. Лекционные материалы в составе УМК по дисциплине
3. Заданиями и методическими рекомендациями по организации самостоятельной работы обучающихся в составе УМК по дисциплине.
4. Глоссарием по дисциплине в составе УМК по дисциплине.

Раздел 5. Фонд оценочных средств для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации обучающихся

Фонд оценочных средств по дисциплине представляет собой совокупность контролирующих материалов, предназначенных для измерения уровня достижения обучающимися установленных результатов образовательной программы. ФОС по дисциплине используется при проведении оперативного контроля и промежуточной аттестации обучающихся. Требования к структуре и содержанию ФОС дисциплины регламентируются Положением о фонде оценочных материалов по программам высшего образования – программам бакалавриата, магистратуры.

5.1. Паспорт фонда оценочных средств Очная форма обучения (полный срок)

№	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Оценочные средства			
		Л	ПЗ (ЛЗ, СЗ)	СРО	Код индикатора и дескриптора достижения компетенций
1	2	3	4	5	6
1	Тема 1. Основы радиосвязи и антенно-фидерные устройства	УО		ПРВ	ИД 1 ОПК-3.1 ИД 2 ОПК-3.2 ИД 3 ОПК-3.1 ИД 4 ОПК-3.2 ИД 5 ОПК-3.1 ИД 6 ОПК-3.2
2	Тема 2. Архитектура линий управления и контроля (C2 — Command and Control)	УО	КМ	ПРВ	ИД 1 ОПК-3.1 ИД 2 ОПК-3.2 ИД 3 ОПК-3.1 ИД 4 ОПК-3.2 ИД 5 ОПК-3.1 ИД 6 ОПК-3.2
3	Тема 3. Технологии расширения спектра для помехоустойчивости	ЛС	МШ	ПРВ	ИД 1 ОПК-3.1 ИД 2 ОПК-3.2 ИД 3 ОПК-3.1 ИД 4 ОПК-3.2 ИД 5 ОПК-3.1 ИД 6 ОПК-3.2
4	Тема 4. Цифровая связь и методы модуляции	УО	КМ	ПРВ	ИД 1 ОПК-3.1 ИД 2 ОПК-3.2 ИД 3 ОПК-3.1 ИД 4 ОПК-3.2 ИД 5 ОПК-3.1 ИД 6 ОПК-3.2
5	Тема 5. Системы спутниковой связи (SATCOM) для БАС	УО	МШ	ПРВ	ИД 1 ОПК-3.1 ИД 2 ОПК-3.2 ИД 3 ОПК-3.1 ИД 4 ОПК-3.2 ИД 5 ОПК-3.1 ИД 6 ОПК-3.2
6	Тема 6. Организация сетей связи группы BBC (Swarming / Mesh-сети)	УО		ПРВ	ИД 1 ОПК-3.1 ИД 2 ОПК-3.2 ИД 3 ОПК-3.1 ИД 4 ОПК-3.2 ИД 5 ОПК-3.1 ИД 6 ОПК-3.2
7	Тема 7. Информационная безопасность каналов связи БАС	УО	КМ	ПРВ	ИД 1 ОПК-3.1 ИД 2 ОПК-3.2 ИД 3 ОПК-3.1 ИД 4 ОПК-3.2 ИД 5 ОПК-3.1 ИД 6 ОПК-3.2

8	Тема 8. Интеграция в общее воздушное пространство и дистанционная идентификация	УО	ДИ	ПРВ	ИД 1 ОПК-3.1 ИД 2 ОПК-3.2 ИД 3 ОПК-3.1 ИД 4 ОПК-3.2 ИД 5 ОПК-3.1 ИД 6 ОПК-3.2
---	---	----	----	-----	--

Условные обозначения оценочных средств (Столбцы 3, 4, 5):

УО – устный (фронтальный, индивидуальный, комбинированный) опрос;

ПРВ – проверка рефератов, отчетов, рецензий, аннотаций, конспектов, графического материала, эссе, переводов, решений заданий, выполненных заданий в электронном виде и т.д.;

МШ – Метод мозгового штурма;

КМ – Кейс-метод;

ДИ – Деловая игра;

ЛС – Лекция-ситуация.

5.2. Оценочные средства текущего контроля

Перечень практических (семинарских) заданий

Задачи

Базовый уровень (расчет радиоканалов и параметров)

Задание 1. Расчет энергетического бюджета линии (Link Budget) Дано: мощность передатчика пульты $P_{tx}=100P_{\{tx\}} = 100P_{tx}=100$ мВт, усиление антенны пульты $G_{tx}=3G_{\{tx\}} = 3G_{tx}=3$ дБи, усиление антенны дрона $G_{rx}=2G_{\{rx\}} = 2G_{rx}=2$ дБи, частота $f=2,4f = 2,4f=2,4$ ГГц, дальность $R=5000R = 5000R=5000$ м. Чувствительность приемника $P_{sens}=-95P_{\{sens\}} = -95P_{sens}=-95$ дБм. *Задача:* Рассчитать потери в свободном пространстве ($L_{fs}L_{\{fs\}}L_{fs}$) в дБ и определить запас энергии линии (Fade Margin). Сделать вывод о надежности связи. *Цель:* Отработка формулы передачи Фрииса и логарифмических единиц измерения.

Задание 2. Определение длины волны и размера антенны Частота канала управления БАС составляет 868868868 МГц (ISM-диапазон). *Задача:* Рассчитать длину волны (λ \lambda) и теоретическую физическую длину четвертьволнового штыревого излучателя. *Цель:* Понимание взаимосвязи частоты и геометрических размеров антенно-фидерного устройства.

Задание 3. Пропускная способность видеолинка Видеопоток с полезной нагрузкой сжимается кодеком H.265 до битрейта $R_b=8R_b = 8R_b=8$ Мбит/с. Используется модуляция 16-QAM. *Задача:* Определить минимально необходимую символьную скорость (Baud rate) передачи в канале. *Цель:* Связь информационной скорости и характеристик модуляции без учета избыточности помехоустойчивого кода.

Задание 4. Влияние препятствий (дифракция) БПЛА находится за зданием. Высота здания относительно линии прямой видимости составляет $h=2h = 2h=2$ метра. Частота сигнала 5,85,85,8 ГГц. *Задача:* Оценить параметр дифракции ν_{ν} . Если $|\nu|>1|\nu| > 1|\nu|>1$, связь считается практически невозможной без отражений. (Использовать упрощенную формулу Френеля для первого ножа). *Цель:* Демонстрация критичности зоны Френеля при планировании миссий в городской застройке.

Задание 5. Время задержки (Latency) спутникового канала БВС использует LEO-группировку Starlink (высота орбиты $H \approx 550H \approx 550H \approx 550$ км). Сигнал идет от пилота через спутник к дрону (двуххоповая задержка без учета обработки). *Задача:* Рассчитать минимальную теоретическую задержку прохождения сигнала туда и обратно (RTT — Round Trip Time), пренебрегая временем обработки на узлах. *Цель:* Сравнение физики распространения света в вакууме с требованиями реального времени ручного пилотирования.

Средний уровень (анализ протоколов и сетевых структур)

Задание 6. Анализ структуры пакета MAVLink Студенту представлен шестнадцатеричный дамп сырого кадра протокола MAVLink версии 2. *Задача:* Декодировать вручную поля STX, LEN, INC FLAGS, COMP ID и MSG ID. Определить тип сообщения (например, HEARTBEAT или

GPS_RAW_INT) по таблице определений XML. *Цель:* Навык работы с бинарными протоколами полевого уровня IoT/Embedded.

Задание 7. Выбор метода расширения спектра (FHSS vs DSSS) Условия эксплуатации: сильная загруженность диапазона 2,4 ГГц множеством Wi-Fi роутеров (узкополосные помехи). *Задача:* Обосновать выбор между псевдослучайной перестройкой частоты (FHSS) и прямой последовательностью (DSSS). Построить схематично распределение энергии сигнала в обоих случаях. *Цель:* Понимание методов повышения помехозащищенности (LPD/LPI).

Задание 8. Расчет емкости Mesh-сети роя В группе летит 10 БПЛА. Каждый узел работает как ретранслятор. Полезный трафик одного узла составляет $C_u = 100C_{\text{u}} = 100C_u = 100$ кбит/с. *Задача:* Оценить суммарную нагрузку на эфир, если используется алгоритм лавинной рассылки (Flooding) без оптимизации маршрутов. Как изменится нагрузка при использовании алгоритма OLSR? *Цель:* Анализ масштабируемости самоорганизующихся сетей Ad-hoc.

Задание 9. Настройка QoS (Quality of Service) По одному каналу C2 одновременно идут телеметрия (низкий объем, критична задержка) и потоковое видео Full HD (высокий объем, терпима к потерям пакетов). *Задача:* Распределить приоритеты очередей (Priority Queuing). Какой протокол транспортного уровня (UDP или TCP) выбрать для каждого типа трафика и почему? *Цель:* Практика настройки политик обслуживания трафика в условиях ограниченной полосы пропускания.

Задание 10. Дистанционная идентификация Remote ID Согласно требованиям FAA/EASA, сообщение Broadcast RID должно передаваться каждые 1 секунду. *Задача:* Рассчитать минимальный объем данных (в байтах), который должен выдавать трансмиттер Bluetooth 5 Legacy Advertising за час полета, учитывая структуру стандартного пакета Basic ID Message. *Цель:* Оценка энергопотребления маяков идентификации.

Продвинутый уровень (кейсы безопасности и интеграции)

Задание 11. Кейс: Противодействие глушению (Anti-Jamming) Во время полета над объектом внезапно упал RSSI (уровень сигнала) до -110 – -110 – -110 дБм, пакеты начали теряться. Ошибка проявляется только на частоте 5,8 ГГц, канал 2,4 ГГц стабилен. *Задача:* Предложить последовательность действий оператора и автоматики автопилота (Fail-safe сценарии). Как использовать пространственную селекцию (Beamforming) для подавления источника помех? *Цель:* Разработка алгоритмов устойчивости к средствам РЭБ.

Задание 12. Кейс: Подмена координат (GPS Spoofing) Наземная станция обнаруживает резкое расхождение между данными инерциальной навигации (Dead Reckoning) и входящим потоком GPS-данных. *Задача:* Описать логику голосования датчиков (Sensor Fusion sanity check). Какие команды C2 нужно отправить принудительно, чтобы спасти аппарат, не полагаясь на GNSS? *Цель:* Принятие решений при нарушении целостности навигационной информации.

Задание 13. Интеграция ADS-B Out на борту БВС Легкий БПЛА массой менее 250 г поднимается на высоту 100 метров в зоне аэропорта класса С. *Задача:* Проанализировать риск создания помех («засорение» экранов диспетчеров) массовыми полетами малых дронов с активными транспондерами ADS-B. Предложить решение через UTM (Unmanned Traffic Management). *Цель:* Баланс между видимостью для авиации общего назначения и перегрузкой каналов вторичной радиолокации.

Задание 14. Расчет скрытой маргинальности частотного плана Два соседних канала управления имеют полосу $BW = 5BW = 5BW = 5$ МГц каждый. Защитный интервал между ними отсутствует. *Задача:* Рассчитать коэффициент ослабления взаимных помех (ACI — Adjacent Channel Interference), если фильтры приемников имеют крутизну скатов 30 дБ/октава, а дрейф частоты генераторов составил ± 50 ppm 50 ± 50 кГц. *Цель:* Инженерный расчет электромагнитной совместимости (ЭМС) плотно упакованных устройств.

Задание 15. Проектирование отказоустойчивого канала BVLOS Требуется обеспечить управление тяжелым грузовым дроном на удалении 50 км. Прямая радиовидимость возможна только первые 15 км. *Задача:* Составить архитектуру гибридного канала связи. Выбрать основной канал (Cellular/SATCOM) и резервный (Mesh-ретрансляция через вспомогательные высотные платформы). Указать точки переключения (Handover points). *Цель:* Комплексное проектирование многослойной системы связи.

5.3. Тематика письменных работ обучающихся

1. Архитектура линий управления и контроля (C2 — Command and Control): стандарты RTCA DO-362 и ASTM F3411 Сравнительный анализ требований к наземным станциям и бортовому оборудованию, частотные диапазоны и временные ограничения на задержку сигнала.

2. Протокол MAVLink: структура сообщений, типы пакетов и методы обеспечения помехоустойчивости Анализ наиболее распространенного открытого протокола обмена данными между наземной станцией и полетным контроллером, механизмы подтверждения доставки.

3. Технологии расширения спектра: FHSS против DSSS в системах дистанционного пилотирования Физические принципы псевдослучайной перестройки частоты и прямой последовательности, их устойчивость к узкополосным помехам и средствам радиоэлектронной борьбы.

4. Методы цифровой модуляции в видеолинках БАС высокой четкости (QPSK, 16-QAM, 64-QAM) Влияние порядка квадратурной амплитудной модуляции на пропускную способность канала Downlink и требуемое отношение сигнал/шум при передаче 4K-видео.

5. Антенные системы станций внешнего пилота: фазированные антенные решетки (ФАР) и следящие параболы Механизмы автосопровождения дрона по азимуту и углу места, диаграммообразование и подавление боковых лепестков для повышения безопасности полетов BVLOS.

6. Использование низкоорбитальных спутниковых группировок (LEO-HTS, например, Starlink) для глобального мониторинга флота БВС Особенности интеграции терминалов спутниковой связи на борту малых аппаратов и влияние задержки сигнала на контур ручного управления.

7. Сотовые сети (4G/LTE и 5G) как транспортный уровень для трансляции телеметрии: концепция Cell-on-Wings (CoW) Преимущества использования публичных мобильных сетей вместо выделенных радиоканалов, вопросы роуминга и приоритизации трафика eMBB/uRLLC.

8. Mesh-сети роя дронов: алгоритмы динамической маршрутизации (OLSR, B.A.T.M.A.N.) и проблема скрытого терминала Принципы построения самоорганизующихся сетей Ad-hoc без центрального узла ретрансляции для увеличения зоны покрытия группы БВС.

9. Информационная безопасность каналов C2: угрозы Jamming (заглушение) и Spoofing (подмена навигации) Методы радиоэлектронной борьбы с БАС и способы защиты навигационного оборудования с помощью пространственной селекции сигналов.

10. Криптографическая защита трафика БАС: стандарты шифрования AES-256 и аппаратные модули безопасности (HSM) Роль защищенных элементов (Secure Element) в предотвращении угона беспилотника методом перехвата или подмены командного пакета.

11. Технология удаленной идентификации Remote ID: архитектура широкополосных маяков Bluetooth 5 Long Range и Wi-Fi Neighbor Awareness Networking Юридические требования Росавиации, EASA и FAA к трансляционным данным дрона и интеграция со смартфонами наблюдателей и системами правоохранительных органов.

12. Интеграция транспондеров ADS-B Out в архитектуру БАС для совместного использования воздушного пространства (UTM/U-space) Режимы работы Automatic Dependent Surveillance-Broadcast на беспилотниках и взаимодействие с системами управления воздушным движением класса C и G.

13. Оптические каналы связи (Free Space Optics — FSO) для высокоскоростной передачи данных «Борт-Земля» Использование лазерных лучей для передачи гигабайт полезной нагрузки, невосприимчивость к РЭБ и критическая зависимость от погодных условий и стабилизации платформы.

14. Организация отказоустойчивых каналов Beyond Visual Line of Sight (BVLOS): логика Fail-Safe режимов и переключения шлюзов Алгоритмы поведения аппарата при потере основного канала C2 (Return-to-Home, Loiter), использование резервных путей через спутниковую связь и автоматический Handover.

15. Телекоммуникационные технологии для Urban Air Mobility (UAM): организация плотной сети базовых станций 5G для летающих такси Специфика обеспечения бесшовного хендвера низколетящих аппаратов над мегаполисом, управление трехмерным трафиком и обеспечение электромагнитной совместимости.

5.4. Перечень вопросов промежуточной аттестации по дисциплине

Список вопросов для зачета

Блок 1. Теоретические вопросы

1. Архитектура линий управления и контроля (C2 — Command and Control). Разделение потоков данных: канал UpLink (команды пилота), DownLink (телеметрия и видеопоток). Требования к задержкам (latency) в контуре ручного управления.

2. Стандарт удаленной идентификации Remote ID. Архитектура передачи данных через Bluetooth 5 Long Range или Wi-Fi NAN. Состав транслируемых сообщений о местоположении и владельце БВС.

3. Протокол MAVLink версии 2. Структура пакета (заголовок, полезная нагрузка, контрольная сумма). Типы сообщений HEARTBEAT и STATUSTEXT. Использование протокола как транспорта для ROS (Robot Operating System).

4. Антенно-фидерные устройства станций внешнего пилота. Сравнение всенаправленных антенн и следящих фазированных антенных решеток (ФАР). Механизмы автосопровождения цели по углу места и азимуту.

5. Технологии расширения спектра: FHSS и DSSS. Физический принцип псевдослучайной перестройки рабочей частоты (Frequency Hopping) и прямой последовательности (Direct Sequence). Устойчивость к узкополосным помехам.

6. Методы цифровой модуляции в каналах связи БАС. Особенности применения QPSK, 16-QAM и 64-QAM в зависимости от требуемой пропускной способности и отношения сигнал/шум (SNR).

7. Энергетический бюджет радиолинии (Link Budget). Основные составляющие уравнения радиосвязи: мощность передатчика, коэффициенты усиления антенн, потери в свободном пространстве (FSPL), чувствительность приемника.

8. Спутниковые системы связи (SATCOM) для полетов BVLOS. Преимущества низкоорбитальных группировок (LEO, например, Starlink/Iridium) перед геостационарными спутниками (GEO) с точки зрения задержки сигнала.

9. Сотовые сети (4G/LTE и 5G) в управлении БВС. Концепция Cell-on-Wings (CoW). Приоритезация трафика дронов в публичных сетях (слайсинг сети, QoS profiles).

10. Mesh-сети группы БПЛА (Swarming). Принципы самоорганизующихся сетей Ad-hoc. Алгоритмы динамической маршрутизации OLSR и B.A.T.M.A.N. Проблема скрытого узла (Hidden Node Problem).

11. Информационная безопасность каналов C2. Угрозы Jamming (радиоподавление) и Spoofing (подмена GPS/данных). Режимы Fail-Safe и Return-to-Home при потере телеметрии.

12. Интеграция ADS-B транспондеров на борту БВС. Режимы работы Automatic Dependent Surveillance-Broadcast (In/Out). Взаимодействие малых БВС с пилотируемой авиацией в общем воздушном пространстве.

13. Системы организации воздушного движения беспилотников (UTM/U-space). Сервисы регистрации полетного плана, зонирования (Geozones) и стратегического расхождения аппаратов.

14. Оптические каналы связи (Free Space Optics — FSO). Использование лазерных лучей для высокоскоростной передачи данных «Борт-Земля». Преимущества невосприимчивости к РЭБ и недостатки влияния атмосферы.

15. Частотные диапазоны ISM (2,4 ГГц, 5,8 ГГц) против выделенных авиационных диапазонов (L-band, C-band). Проблема загруженности эфира бытовыми устройствами и приоритетность авиационной связи.

Блок 2. Практические и аналитические вопросы

16. Задача на расчет потерь в свободном пространстве (FSPL). Рассчитать потери в дБ для канала частотой 2,4 ГГц на дальности 3 км. Определить длину волны (λ) данного сигнала. *Ожидаемый ответ:* Применение формулы $L_{fs} = 20 \log_{10}(f_0) + 20 \log_{10}(d) + 20 \log_{10}(4\pi/c) = 20 \log_{10}(d) + 20 \log_{10}(f) + 20 \log_{10}(4\pi/c)$.

17. Анализ сценария подавления (Jamming). Во время полета над объектом уровень сигнала упал до -110 дБм только на частоте 5,8 ГГц, тогда как канал 2,4 ГГц стабилен. Опишите алгоритм действий автопилота и оператора согласно логике Fail-safe. *Ожидаемый ответ:* Переключение видео на нижний диапазон, инициация RTH, использование пространственной

селекции (Beamforming) для поиска нулей диаграммы направленности в сторону источника помехи.

18. Расчет времени задержки (Latency) спутникового канала LEO. Оцените минимальную двухстороннюю задержку (RTT) для спутника на высоте 550 км (туда-обратно без учета обработки), если скорость света $c \approx 300\,000\,000$ км/с. *Ожидаемый ответ:* Учет геометрической высоты орбиты и кривизны Земли для расчета пути сигнала.

19. Декодирование структуры сообщения MAVLink. Дан шестнадцатеричный дамп начала кадра FE 1F Что означают байты FE и 1F? Какой длины является полезная нагрузка этого пакета? *Ожидаемый ответ:* Идентификатор стартового байта v2 (0xFE0xFE0xFE) и поле длины полезной нагрузки (31 байт).

20. Проектирование отказоустойчивого канала BVLOS. Требуется обеспечить управление грузовым дроном на удалении 50 км (прямая видимость есть только на 15 км). Предложите архитектуру гибридного канала связи, используя ретрансляцию и смену технологий. *Ожидаемый ответ:* Комбинирование Direct RF (до 15 км) -> Наземный Mesh-ретранслятор или вышка -> SATCOM/Cellular (на оставшемся участке).*

Раздел 6. Оценочные средства промежуточной аттестации (с ключами)

Закрытого типа с одним верным вариантом ответа (5 вопросов)

Инструкция: Прочитайте текст и выберите один правильный ответ.

1. Какой диапазон частот в России преимущественно используется для каналов управления БАС некоммерческого назначения без получения отдельных разрешений на использование радиочастот?

- а) 900 МГц;
- б) 2,4 ГГц и 5,8 ГГц (ISM-диапазоны);
- в) 1,3 ГГц;
- г) 70 см (радиолюбительский).

Правильный ответ: б)

2. Как называется отношение мощности сигнала к мощности шума на входе приемника, определяющее качество цифровой связи?

- а) Коэффициент стоячей волны (КСВ);
- б) Отношение сигнал/шум (SNR);
- в) Чувствительность антенны;
- г) Девиация частоты.

Правильный ответ: б)

3. В протоколе MAVLink какой байт указывает на начало кадра версии 2.0?

- а) 0xFE;
- б) 0x55;
- в) 0xFD;
- г) 0xSTX.

Правильный ответ: а)

4. Что происходит с шириной диаграммы направленности антенны при увеличении ее коэффициента усиления (при неизменной частоте)?

- а) Ширина увеличивается;
- б) Ширина уменьшается (луч становится уже);
- в) Диаграмма становится круговой;
- б) Усиление не влияет на ширину луча.

Правильный ответ: б)

5. Какой метод модуляции наиболее устойчив к узкополосным помехам благодаря постоянной смене несущей частоты по заданному закону?

- а) QAM-64;
- б) FHSS (Псевдослучайная перестройка частоты);
- в) ASK;
- г) OFDM.

Правильный ответ: б)

Закрытого типа с двумя верными вариантами ответа (5 вопросов)

Инструкция: Выберите два правильных ответа.

6. Какие два основных компонента входят в аббревиатуру C2 (Command and Control) применительно к каналам связи БАС?

- а) Сжатие данных;
- б) Передача команд управления (UpLink);
- в) Трансляция видео;
- г) Передача телеметрии (DownLink).

Правильный ответ: б), г)

7. Какие две технологии беспроводной связи чаще всего используются для реализации удаленной идентификации Remote ID (Broadcast RID)?

- а) LoRaWAN;
- б) Bluetooth 4.x / 5.x Long Range;
- в) Zigbee;
- г) Wi-Fi Neighbor Awareness Networking (NAN).

Правильный ответ: б), г)

8. Какие факторы напрямую ограничивают дальность действия канала прямой радиовидимости (LOS) в диапазонах выше 1 ГГц?

- а) Кривизна Земли;
- б) Цвет корпуса дрона;
- в) Зона Френеля и препятствия;
- г) Вес аккумуляторной батареи.

Правильный ответ: а), в)

9. При использовании сотовых сетей (4G/5G) для управления БВС какие два профиля качества обслуживания (QoS) являются критически важными?

- а) eMBB (Enhanced Mobile Broadband — для видео);
- б) SMS-передача;
- в) uRLLC (Ultra-Reliable Low-Latency Communications — для C2);
- г) Fax over IP.

Правильный ответ: а), в)

10. Какие два режима работы автопилота обычно активируются при потере сигнала канала управления (Failsafe Link Loss)?

- а) Продолжение миссии как ни в чем не бывало;
- б) Режим Return-to-Home (Возврат домой);
- в) Принудительная посадка в текущей точке;
- г) Аварийное выключение моторов в воздухе.

Правильный ответ: б), в)

На установление последовательности (5 вопросов)

Инструкция: Укажите правильную последовательность действий или этапов.

11. Расположите этапы установления защищенного соединения между пультом и дроном в правильном порядке:

Шифрование полезной нагрузки AES;
Рукопожатие (Handshake) и обмен ключами;
Обнаружение пульта в эфире (Binding/Airlink search);
Передача зашифрованного потока телеметрии.
Правильный ответ: 3-2-1-4

12. Расположите уровни модели OSI, на которых работают данные компоненты связи БАС (от нижнего к верхнему):

Протокол MAVLink (Application/Data Link);
Радиомодуляция LoRa/SX1276 (Physical);
TCP/UDP транспортный уровень.
Правильный ответ: 2-3-1

13. Расположите события в канале BVLOS при пролете за препятствие (здание) в хронологическом порядке:

Полная потеря пакетов (Dropout);
Снижение RSSI из-за дифракции;
Переключение на резервный канал (Cellular/SATCOM);
Прямая видимость (Line of Sight).
Правильный ответ: 4-2-1-3

14. Расположите типы сообщений Remote ID в логическом порядке их важности для наблюдателя:

Местоположение GPS (Location Message);
Идентификатор дрота (Basic ID Message);
Скорость и направление движения (System Message).
Правильный ответ: 2-1-3

15. Расположите процессы обработки сигнала в приемнике от входа до выхода:

Демодуляция (выделение бит);
Усиление слабого ВЧ-сигнала (LNA);
Декодирование помехоустойчивого кода (FEC);
Перевод в цифровую форму (АЦП).
Правильный ответ: 2-4-1-3
На установление соответствия (4 вопроса)

Инструкция: Установите соответствие между термином и его определением/формулой.

16. Соответствие между типом сети и ее характеристикой:

А) Топология Point-to-Point	1) Каждый узел может быть ретранслятором для других
Б) Mesh-сеть	2) Прямое соединение одной станции с одним аппаратом
В) Broadcast (Широковещание)	3) Один передатчик — множество неопределенных приемников

Правильный ответ: А – 2, Б – 1, В – 3.

17. Соответствие между угрозой безопасности и методом защиты:

А) Jamming (Заглушение)	1) Использование динамических ключей аутентификации
Б) Spoofing (Подмена)	2) Пространственная селекция сигналов (Beamforming/Nullforming)
В) Hijacking (Перехват)	3) Криптографическая подпись полетного задания

Правильный ответ: А – 2, Б – 3, В – 1.

18. Соответствие между параметром антенны и физическим смыслом:

А) KCB (VSWR)	1) Способность концентрировать энергию в одном направлении
Б) Коэффициент усиления	2) Согласованность импеданса линии и излучателя
В) Поляризация	3) Ориентация вектора электрического поля волны

Правильный ответ: А – 2, Б – 1, В – 3.

19. Соответствие между технологией расширения спектра и принципом работы:

А) DSSS	1) Периодическое изменение центральной частоты несущей
Б) FHSS	2) Умножение информационного сигнала на широкополосную псевдошумовую последовательность
В) OFDM	3) Разделение одного широкого канала на множество ортогональных узких поднесущих

Правильный ответ: А – 2, Б – 1, В – 3.

Открытого типа (2 вопроса)

Инструкция: Запишите краткий ответ.

20. Как называется минимальная мощность сигнала на входе приемника, при которой обеспечивается требуемая вероятность ошибки в цифровых данных?

Правильный ответ: чувствительность (допустимо: порог чувствительности).

21. Как называется явление многолучевого распространения, при котором отраженный сигнал приходит позже прямого и искажает фазу символа в цифровых системах?

Правильный ответ: межсимвольная интерференция.

Раздел 7. Перечень учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

7.1. Основная литература

1. Чернопятав, А. М. Беспилотные авиационные системы : учебник / А. М. Чернопятав. – Москва : Директ-Медиа, 2024. – 188

7.2. Дополнительная литература

3. Приложение 6. Эксплуатация воздушных судов. Часть I. Международный коммерческий воздушный транспорт. Самолеты. — 12-е изд. — Монреаль : ИКАО, 2022. — URL: [AVAM-avia](#).

7.3. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

1. Электронно-библиотечная система -Цифровой образовательный ресурс IPR SMART – электронная библиотека по всем отраслям знаний [Электронный ресурс]. – URL:
2. <http://www.iprbookshop.ru>
3. Справочник математических формул <http://www.pm298.ru/>
4. Каталог ГОСТов - <https://snip.ruscable.ru/>
5. <http://www.consultant.ru/>— Консультант Плюс
6. <http://www.garant.ru/>— Гарант
7. Программное обеспечение для организации конференции.

Раздел 8. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине

8.1. Учебные аудитории для проведения лекционных и практических занятий (для проведения занятий лекционного и семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации обучающихся всех направлений подготовки).

Учебная аудитория оборудована:

- Стол для преподавателя
- Стул для преподавателя
- Столы для обучающихся
- Стулья для обучающихся
- Компьютер для преподавателя с выходом в интернет
- ЖК панель
- Компьютеры для обучающихся
- Симулятор БПЛА «AgroTechSim»
на 10 рабочих мест
- Симулятор БПЛА «DJI Simulator» на 20 рабочих мест
- Симулятор «FlightGear»
на 20 рабочих мест
- Симулятор «AirSim» на 20 рабочих мест
- Пульт дистанционного управления «RadioMaster TX12 MK2 ELRS» – 10 шт.
- Пульт дистанционного управления «DJI MR1SD25» – 10 шт.
- Пульт дистанционного управления «FLYSKY SM001» - 2 шт.
- Пульт дистанционного управления «BETA FPV» - 13 шт.
- Пульт дистанционного управления «DJI RC-N1 от DJI MAVIC MINI 2» - 1 шт.
- Пульт дистанционного управления «DJI FPV RC 2 от DJI AVATA» - 1 шт.
- Пульт дистанционного управления «DJI FPV RC 3 от DJI NEO» - 1 шт.
- Пульт дистанционного управления «DJI RC1B от DJI MAVIC 2 PRO» - 1 шт.
- Пульт дистанционного управления «DJI GL300L от DJI PHANTOM 4 MULTISPECTRAL» - 1 шт.
- VR FPV шлем «LS008D 5,8G» – 5 шт.
- VR FPV шлем «DMKR 008D PRO 5,8G» – 5 шт.
- Очки VR FPV DJI Googles N3 - 1 шт.
- Очки VR FPV DJI Googles 2 - 1 шт.
- Шлем VR BETA FPV - 10 шт.
- Видеоадаптер HDMI to AV, HDMI кабель (для подключения очков к симулятору) – 10 шт.
- Квадрокоптер DJI PHANTOM 4 MULTISPECTRAL (БВС вертолетного типа) – 1 шт
- Квадрокоптер DJI AVATA (БВС вертолетного типа) – 1 шт.
- Квадрокоптер DJI NEO MOTION (БВС вертолетного типа) – 1 шт.
- Квадрокоптер DJI MAVIC 2 MINI (БВС вертолетного типа) – 1 шт.
- Квадрокоптер DJI MAVIC 2 PRO (БВС вертолетного типа) – 1 шт.
- БПЛА смешанного типа «Titan Dynamics Cobra VTOL» (БВС смешанного типа) – 1 шт.
- БПЛА смешанного типа «Flightory SuperStingRay VTOL» (БВС смешанного типа) – 1 шт.
- БПЛА самолетного типа «Titan Dynamics Crane» (БВС самолетного типа) – 1 шт.
- БПЛА самолетного типа «SonicModel ArWingPro» (БВС самолетного типа) – 1 шт.
- Учебный Квадрокоптер ручного управления HappyModel Mobula 6 (БВС вертолетного типа) – 11 шт.
- Учебный Квадрокоптер ручного управления HappyModel Mobula 7 (БВС вертолетного типа) – 8 шт.
- Учебный Квадрокоптер ручного управления Happy Model Mobula 8 (БВС вертолетного типа) – 3 шт.
- Учебный Квадрокоптер BETA FPV CETUS LITE FPV KIT (БВС вертолетного типа) – 10 шт.
- Учебный Квадрокоптер BETA FPV CETUS LITE (WITHOUT FPV) KIT (БВС вертолетного типа) – 3 шт.

- Комплект для самостоятельной сборки FPV 7-дюймового квадрокоптера (БВС вертолетного типа) – 3 шт.:

1. Корпус (рама) из углеродного волокна (карбон) 7 дюймов «Mark4 7inch»
2. Видео-передатчик «VTX TS582000 5.8ГГц 2Вт»
3. Полетный контроллер «SpeedyBee F405V3 50A»
4. FPV камера «Caddx Ratel 2»
5. Радиоприемник «Bauck ELRS 2.4»
6. Складной пропеллер «DALPROP 7inch»

7. Комплект электромоторов (4шт.) «iFlight XING 2806.5 1800KV»

- Комплект для самостоятельной сборки FPV 7-дюймового квадрокоптера (БВС вертолетного типа) – 2 шт.:

1. Корпус (рама) из углеродного волокна (карбон) 7 дюймов «Mark4 7inch»;
2. Видео-передатчик «VTX TS582000 5.8ГГц 2Вт»;
3. Полетный контроллер «SpeedyBee F405V3 50A»;
4. FPV камера «Caddx Ratel 2»;
5. Радиоприемник «Bauck ELRS 2.4»;
6. Комплект Складных пропеллеров (4шт.) «DALPROP 7inch»;
7. Комплект электромоторов (4шт.) «Brotherhobby 2806.5 1920KV»

- Комплект средств и инструментов для технического обслуживания БАС - (10 шт.):

1. Термостойкий коврик для пайки и ремонта электроники
2. Паяльный набор инструментов (паяльник, набор наконечников, губка для чистки жала, проволока для пайки, пинцет, нож для снятия изоляции, припой, экстрактор припоя, подставка под паяльник, гель флюс, мультиметр, средство сухой очистки жала, средство влажной очистки жала, кусачки)
3. Набор инструментов для ремонта электроники (набор лопаток 8 шт., нож, набор магнитных отверток 8 шт., пинцет, присоска, медиатор 5 шт.)
4. Лампа настольная
5. Вентилятор настольный
6. Очки защитные

-Комплект запасных частей для - DJI PHANTOM

4 MULTISPECTRAL (БВС вертолетного типа) – 1 шт

-Комплект запасных частей для DJI AVATA (БВС вертолетного типа) – 1 шт.

-Комплект запасных частей для DJI NEO MOTION (БВС вертолетного типа) – 1 шт.

-Комплект запасных частей для DJI MAVIC 2 MINI (БВС вертолетного типа) – 1 шт.

-Комплект запасных частей для DJI MAVIC 2 PRO (БВС вертолетного типа) – 1 шт.

-Комплект запасных частей для HappyModel Mobula 6 (БВС вертолетного типа) – 11 шт.

-Комплект запасных частей для управления HappyModel Mobula 7 (БВС вертолетного типа) – 8 шт.

-Комплект запасных частей для HappyModel Mobula 8 (БВС вертолетного типа) – 3 шт.

-Комплект запасных частей для BETA FPV CETUS LITE FPV KIT (БВС вертолетного типа) – 10 шт.

-Комплект запасных частей для BETA FPV CETUS LITE (WITHOUT FPV) KIT (БВС вертолетного типа) – 3 шт.

- Комплект запасных частей для самосборного FPV 7-дюймового квадрокоптера – 5 шт.

- Комплект запасных частей для «Titan Dynamics Cobra VTOL» (БВС смешанного типа) – 1 шт.

- Комплект запасных частей для «Flightory SuperStingRay VTOL» (БВС смешанного типа) – 1 шт.

- Комплект запасных частей для «Titan Dynamics Crane» (БВС самолетного типа) – 1 шт.

- Комплект запасных частей для «SonicModel ArWingPro» (БВС самолетного типа) – 1 шт.

- Программное обеспечение для обработки полётной информации):

1. DJI FLY на 20 рабочих мест
2. DJI GO4 на 20 рабочих мест
3. DJI PILOT на 20 рабочих мест
4. DJI GS PRO на 20 рабочих мест
5. DJI TERRA на 20 рабочих мест
6. DJI LIGHTCUT

на 20 рабочих мест

- IMAGE COMPOSITE EDITOR на 20 рабочих мест
- WEB OPEN DRONE MAP на 20 рабочих мест
- ARDUPILOT MISSION PLANNER на 20 рабочих мест
- PIX4D CAPTURE на 20 рабочих мест
- PIX4DMATIC на 20 рабочих мест
- INAV на 20 рабочих мест
- BETAFLIGHT на 20 рабочих мест
- АВИАТОР+ на 20 рабочих мест
- СППИ на 20 рабочих мест
- НЕБОСВОД на 20 рабочих мест
- Набор круглых подвесных колец (ворот) (50см) «LDARC» для тренировок и соревнований на FPV квадрокоптерах - 10 шт.
- Аккумулятор GNB 1S LiPo 380 Mah - 30 шт.
- Аккумулятор GNB 2S LiPo 850 Mah - 5 шт.
- Аккумулятор GNB 2S LiPo 650 Mah - 2 шт.
- Аккумулятор Lipo 6S 6500Mah 60C XT60 «Youme» - 5 шт.
- Аккумулятор BETA FPV 1S LiPo 450 Mah - 12 шт.
- Аккумулятор GNB 1S LiHv 660 Mah - 10 шт.
- Зарядное устройство (67W, Type C - 2 выхода, USB-A- 2 выхода) - 10 шт.
- Зарядное устройство для 1S LiPo «ViFLY WHOOPSTAR v3» - 5 шт.
- Зарядное устройство для 2S-6S литиевых аккумуляторов «HTRC C240» - 1 шт.
- Полезная нагрузка (система сброса) для DJI MAVIC 2 PRO -1 шт.
- Смартфон SAMSUNG GALAXY A7 - 1 шт.
- Планшет IPAD MINI 7 - 1 шт.
- Монитор FPV MONITOR 5.8G - 1 шт.
- Взлётно-посадочная площадка – 2шт.

8.2. Помещение для самостоятельной работы обучающихся (помещение общего пользования с подключением к системам телекоммуникации и с обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду (доступ в сеть Интернет, Wi-Fi, глобальные поисковые системы, электронная почта и т.д.)

Специализированная мебель и технические средства обучения:

- Стол для преподавателя
- Стул для преподавателя
- Столы для обучающихся
- Стулья для обучающихся
- Компьютеры для преподавателя с выходом в интернет
- Компьютеры для обучающихся выходом в интернет
- ПО: MS Office, Яндекс браузер
- Цифровой образовательный ресурс IPR SMART
- доступ в ЭИОС.

Раздел 9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Освоение дисциплины **«Технологии и средства связи беспилотных авиационных систем»** можно построить в соответствии со списком вопросов для подготовки к экзамену. Для эффективного изучения курса Безопасности жизнедеятельности рекомендуется следующий порядок:

Сначала изучаются теоретические вопросы по соответствующей теме с проработкой как конспектов лекций, так и учебников. *Лекции* дают систематизированные основы научных знаний по соответствующей теме, концентрируют внимание на наиболее сложных узловых вопросах. Особое внимание следует обратить на *понимание смысла* основных понятий, определений. Затем

нужно самостоятельно **подробно разобрать типовые примеры**, выясняя в деталях **практическое значение выученного теоретического материала**.

Добросовестное изучение всего материала, заключённого в лекциях, практических занятиях и домашних заданиях, гарантирует каждому обучающемуся успешные результаты на экзаменах. Для подготовки к экзамену необходимо, прежде всего, по лекциям и учебникам повторить и систематизировать весь теоретический материал, изученный в семестре.

При ответе на теоретические вопросы на экзамене следует привести необходимые определения, формулировку и примеры. Решение задач (если они есть в билете) следует излагать подробно и аккуратно, объясняя и мотивируя все действия по ходу решения.

Во время экзамена требуется иметь калькулятор для выполнения расчетных заданий.

Не забудьте обратить внимание на применение рассматриваемых вопросов и задач в будущей профессиональной деятельности. Понимание необходимости и возможности такого применения оценивается на экзамене очень высоко.

Учебно-методическое издание

Рабочая программа учебной дисциплины

Технологии и средства связи беспилотных авиационных систем

*(Наименование дисциплины в соответствии с учебным
планом)*

Беликова Екатерина Владимировна

(Фамилия, Имя, Отчество составителя)