



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Филиал федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего образования
«Майкопский государственный технологический университет»
в поселке Яблоновском

Кафедра транспортных процессов и техносферной безопасности

Применение беспилотных авиационных систем в строительной сфере

**Методические рекомендации
по организации самостоятельной работы студента**

для направления подготовки
08.03.01 Строительство
(для всех форм обучения)



поселок Яблоновский, 2026

УДК 629.735-519
ББК 39.52
М-54

Печатается по решению кафедры транспортных процессов и техносферной безопасности (протокол № 4 от 02.12.2025 г.)

Составители: Ягубов Эмин Зафар оглы, заведующий кафедрой транспортных процессов и техносферной безопасности Филиала ФГБОУ ВО «Майкопский государственный технологический университет» в поселке Яблоновском, доктор технических наук, доцент

Темрюк Мариет Шамсудиновна, старший преподаватель кафедры транспортных процессов и техносферной безопасности Филиала ФГБОУ ВО «Майкопский государственный технологический университет» в поселке Яблоновском

Применение беспилотных авиационных систем в строительной сфере. Методические рекомендации по организации самостоятельной работы студента для направления подготовки 08.03.01 Строительство – пос. Яблоновский, 2026. – 12 с.

Методические рекомендации составлены в соответствии с требованиями ГОС ВО и раскрывают теоретико-методологические характеристики и способы организации самостоятельной работы студентов, позволяющие более эффективно работать с учебной и научной литературой, критически осмысливать прочитанный и изученный материал по дисциплине «Применение беспилотных авиационных систем в строительной сфере».

ВВЕДЕНИЕ

Настоящее методическое указание предназначено для инженеров, геодезистов, BIM-менеджеров и специалистов в области капитального строительства и производства строительных материалов. Документ регламентирует порядок применения беспилотных авиационных систем (БАС) для контроля качества строительства, геодезического сопровождения, расчета объемов запасов и проведения дефектоскопии. [1]

Тема.1. Основы устройства современных БЛА. Узлы и агрегаты БЛА

1.1. Принципы полета и аэродинамические схемы

В современном строительстве используются две основные конфигурации беспилотных летательных аппаратов (БЛА) [2]:

Мультироторная схема (коптеры): Полет осуществляется за счет изменения векторов тяги и скорости вращения несущих винтов. Обладают способностью к зависанию, вертикальному взлету и посадке (VTOL). Идеальны для площадных объектов, инспекций фасадов и работы в стесненных условиях [3]

Самолетная схема (фиксированное крыло): Полет базируется на создании подъемной силы крылом при горизонтальном движении. Отличаются высокой энергоэффективностью и скоростью. Применяются для линейных объектов (трубопроводы, дороги) и крупномасштабного картографирования карьеров [4].

1.2. Системы координат (СК) в БАС

Для корректного пилотирования и фотограмметрической обработки данных используются три базовые СК:

1. Связанная система координат (OXYZ): Начало координат совпадает с центром масс БЛА. Ось OX направлена по продольной оси вперед, OY — поперек (вправо), OZ — вертикально вниз. Используется автопилотом для стабилизации углового положения аппарата.

2. Стартовая (местная) система координат: Привязана к точке взлета. Используется для оперативного вычисления пройденного расстояния и возврата «домой» (Return to Home).

3. Геодезическая (глобальная) система координат: Общеземная СК (WGS-84) или государственная/местная СК (ГСК-2013, МСК-региона), определяющая положение БЛА в пространстве по сигналам ГНСС (широта, долгота, высота) [5].

1.3. Органы управления, узлы и агрегаты

Полетный контроллер (автопилот): Вычислительный центр БЛА (например, на базе архитектуры Pixhawk/Cube). Обработывает данные с ИМУ (инерциального измерительного модуля), включающего 3-осевые гироскопы, акселерометры и барометр.

Винтомоторная группа: Бесколлекторные электродвигатели, электронные регуляторы скорости (ESC), регулирующие подачу тока на фазы мотора, и воздушные винты (пропеллеры).

Бортовые системы позиционирования: Многочастотные ГНСС-приемники (GPS, ГЛОНАСС, Galileo) с поддержкой технологий RTK (Real-Time Kinematic) или PPK (Post-Processed Kinematic), обеспечивающие точность определения координат центров фотографирования до 1–3 см.

Полезная нагрузка: Цифровые оптические камеры высокого разрешения, мультиспектральные сенсоры, лазерные сканеры (Лидары), тепловизоры [3, 4].

ТЕМА 2. Нормативные акты, регулирующие использование БАС в воздушном пространстве (Российская Федерация)

Использование БАС жестко регламентировано Воздушным кодексом РФ и Федеральными правилами использования воздушного пространства (ФП ИВП).

2.1. Государственный учет и регистрация

Все БВС (беспилотные воздушные суда) взлетной массой от 150 грамм до 30 кг подлежат обязательной процедуре государственного учета в Федеральном агентстве воздушного транспорта (Росавиация).

БВС массой более 30 кг подлежат обязательной государственной регистрации с выдачей свидетельства.

2.2. Сертификация и допуск персонала

Для выполнения коммерческих строительно-монтажных и аэрофотосъемочных работ оператор (внешний пилот) должен пройти обучение и иметь квалификационное свидетельство (для БВС тяжелее 30 кг).

Для БВС до 30 кг требуется прохождение профильной подготовки и наличие внутренних приказов организации о допуске к полетам.

2.3. Порядок получения разрешений на ИВП

1. Подача заявления в органы местного самоуправления: Для полетов над населенными пунктами требуется письменное разрешение администрации города/поселения.

2. Подача представления в органы Единой системы организации воздушного движения (ЕС ОрВД): Не позднее чем за 3–5 суток до полета направляется представление на установление местного или временного режима использования воздушного пространства.

3. Подача полетного плана: Накануне вылета (до 18:00 местного времени) подается план полета по форме ФПЛ (FPL).

4. Уведомление в день вылета: за 2 часа и непосредственно перед взлетом диспетчеру зоны ЕС ОрВД сообщается о начале работ («открытие режима»), а по окончании полетов — закрытие.

Примечание: существуют зоны, свободные от необходимости подачи планов (полеты на высоте до 150 метров вне диспетчерских зон в светлое время суток в пределах прямой видимости), однако на строительные площадки в черте городов данное послабление обычно не распространяется из-за действия ограничений местных администраций.

ТЕМА 3. Системы планирования полетного задания

Планирование полетного задания осуществляется в специализированном программном обеспечении — Наземных станциях управления (НСУ).

3.1. Обзор актуального ПО

Mission Planner / QGroundControl: Универсальное ПО с открытым исходным кодом для полетных контроллеров на базе ArduPilot и PX4. Обладает мощным функционалом автоматического построения сеток аэрофотосъемки (АФС) и контроля телеметрии.

DJI Pilot 2 / DJI Terra: Проприетарное ПО для промышленных дронов линейки DJI Enterprise (Matrice 300/350 RTK, Mavic 3 Enterprise). Оптимизировано под строительный мониторинг и лазерное сканирование.

UgCS (Universal Ground Control Software): Профессиональное ПО для сложного планирования, поддерживающее 3D-карты рельефа, что критически важно при съемке глубоких карьеров нерудных материалов с сохранением постоянной высоты над землей [3, 5].

3.2. Интерфейс и возможности НСУ

Современные НСУ позволяют импортировать KML-файлы с границами строительной площадки, автоматически рассчитывать траекторию полета (галсы, «змейка»), задавать точки интереса (POI), программировать действия в путевых точках (изменение угла подвеса, старт записи) и отслеживать параметры БЛА в реальном времени (заряд АКБ, количество спутников, скорость ветра) [3].

ТЕМА 4. Алгоритм формирования полетного задания

Процесс создания миссии для строительной геодезии строится строго по математическим параметрам.

Шаг 1. Определение целевого пространственного разрешения (GSD)

GSD (Ground Sample Distance) — размер пикселя на местности. Для строительного мониторинга стандартное требование составляет 1–2 см/пиксель. Высота полета (\$H\$) рассчитывается по формуле:

$$H = \frac{GSD \cdot F \cdot S_w}{p \cdot I_w}$$

где F — фокусное расстояние объектива (мм), S_w — ширина матрицы (мм), p — размер пикселя на матрице, I_w — ширина изображения в пикселях.

Шаг 2. Задание параметров перекрытия снимков

Для качественной фотограмметрической сборки ортофотоплана и плотного облака точек выставляются следующие коэффициенты:

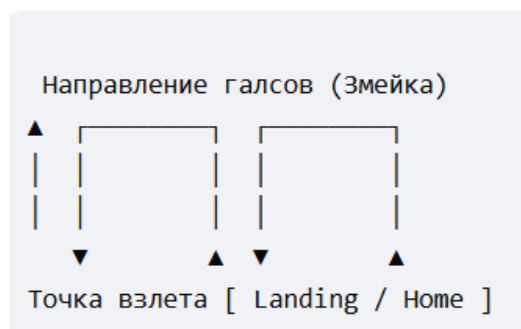
Продольное перекрытие (Forward Overlap): 70–80%.

Поперечное перекрытие (Side Overlap): 60–70%.

При съемке высотных объектов (зданий, эстакад) применяется двумерная сетка (Double Grid) с наклоном камеры под углом 45° – 60° (наклонная/аэликуарная съемка).

Шаг 3. Отрисовка полетного контура и генерация галсов

В НСУ выделяется полигон строительной площадки. Программа автоматически прокладывает траекторию («змейку»). Оператор корректирует направление галсов относительно направления ветра: взлет и движение по основным галсам предпочтительны против или по направлению ветра для экономии энергии батареи.



Шаг 4. Настройка параметров безопасности

Установка высоты возврата домой (RTH Altitude) — должна быть на 15–20 метров выше самого высокого объекта на площадке (башенные краны, ЛЭП, строящиеся корпуса).

Настройка скорости полета (обычно 5–12 м/с в зависимости от частоты срабатывания затвора камеры во избежание «смаза» изображения).

Шаг 5. Загрузка миссии в БЛА

Проверка контрольных сумм задания, передача полетного листа по радиоканалу на борт БЛА, финальный чек-лист систем перед запуском.

ТЕМА 5. Поведение при нештатной ситуации в процессе управления БЛА

Безопасность полетов обеспечивается как автоматическими алгоритмами автопилота (FailSafe), так и ручными действиями оператора [4].

Матрица действий при нештатных ситуациях

матрица деиствии при нештатных ситуациях

Нештатная ситуация	Автоматическая реакция БАС (при корректной настройке)	Действия внешнего пилота
Потеря связи с пультом (RC Loss)	Запуск таймера ожидания (2–5 сек), при отсутствии связи — активация режима Return to Home (RTH) .	Переключить тумблер режимов на пульте, попытаться восстановить связь, подняв антенны или переместившись на возвышенность.
Потеря сигналов ГНСС (GPS Loss)	Переход из автоматического режима в ручной режим удержания горизонта (ATTI / Altitude Hold). Дрон сносит ветром.	Немедленно взять управление в ручной режим. Ориентируясь по FPV-камере или визуально, вернуть дрон на базу, учитывая снос ветром.
Критический разряд АКБ	1 уровень (Low Battery): Предупреждение и автоматический RTH. 2 уровень (Critical Low):	При жестком встречном ветре отменить автовозврат, перевести БЛА в ручной режим и вести его к безопасной зоне посадки по

Появление препятствия (кран, птицы)	Остановка перед препятствием (при наличии оптических датчиков обхода систем).	Перехватить управление, набрать высоту (взмывание вверх — самый безопасный способ ухода от птиц и кранов).
Отказ одного двигателя (на гекса-/октокоптерах)	Стабилизация за счет повышенных оборотов оставшихся моторов, контролируемое снижение со спиральным вращением.	Вывести БЛА из зоны нахождения людей и техники, совершить аварийную посадку на грунт.

ТЕМА 6. Применение БАС в сфере производства и применения строительных материалов, изделий и конструкций

6.1. Карьеры нерудных материалов (песок, щебень, известняк)

Задача: Маркшейдерский учет, определение объемов выработки, мониторинг устойчивости бортов карьера.

Техуология: Аэрофотосъемка с последующим созданием цифровой модели рельефа (ЦМР). Программное обеспечение (Pix4D, Agisoft Metashape) вычисляет точный объем вынутой породы за период методом сравнения двух разновременных матриц высот.

6.2. Склады готовой продукции и инертных материалов

Задача: Инвентаризация запасов на заводах ЖБИ, цементных и асфальтобетонных заводах (АБЗ).

Технология: Съемка буртов (отвалов) песка, гравия, угля. На основе плотного облака точек вычисляется объем каждого бурта с погрешностью менее 1–2%, что заменяет многодневную работу геодезистов с тахеометрами на 15-минутный полет.

6.3. Строящиеся объекты: Контроль монтажа строительных конструкций

Задача: Выявление отклонений от проекта (BIM-модели).

Технология: Воздушное лазерное сканирование (ВЛС / Лидар). Лазерные импульсы прошивают растительность и строительные сетки, формируя точную геометрию монолитных конструкций, колонн, ферм.

Полученное облако точек совмещается с проектной IFC-моделью в ПО (например, Autodesk Navisworks) для поиска коллизий и дефектов геометрии.

6.4. Оценка состояния ограждающих конструкций и тепловых сетей

Задача: Тепловизионный контроль, поиск утечек тепла, дефектов утеплителя, трещин в железобетонных панелях.

Технология: Полет БЛА с тепловизионной камерой (в диапазоне 8–14 мкм) в зимний период или ночью. Позволяет оперативно картировать мостики холода на фасадах многоэтажных зданий и скрытые дефекты гидроизоляции кровли.

ТЕМА 7. Вопросы для самостоятельной проверки знаний

1. Каковы основные аэродинамические преимущества мультироторной схемы БЛА перед самолетной при инспекции фасадов строящихся зданий?

2. В чем разница между связанной и геодезической системами координат, и какая из них используется автопилотом для удержания горизонта?

3. Опишите процедуру и сроки подачи документов в органы ЕС ОрВД для получения разрешения на полеты над строительной площадкой в черте города.

4. Какая технология позиционирования (RTK или PPK) предпочтительнее при проведении АФС на объектах с плотным покрытием сотовой связи и почему?

5. Как изменится высота полета (\$H\$) при планировании задания, если требования к пространственному разрешению (GSD) ужесточились с 4 см/пикс до 1 см/пикс (при неизменных параметрах камеры)?

6. Каков алгоритм действий внешнего пилота при внезапном переходе БЛА в режим ATTI (GPS Loss) в условиях плотной застройки площадки башенными кранами?

7. Каким образом с помощью данных лазерного сканирования с БЛА можно автоматизировать проверку качества монтажа сборных железобетонных конструкций?

8. Расчетная задача: Рассчитайте необходимый процент продольного и поперечного перекрытия, а также примерное время полета для съемки прямоугольного склада инертных материалов размером 200x500 метров, если скорость БЛА составляет 5 м/с, а ширина захвата одного снимка на земле — 60 метров. [2, 4]

Список использованной литературы

I. Нормативно-правовые акты (к Теме 2)

1. Воздушный кодекс Российской Федерации от 19.03.1997 № 60-ФЗ (с изменениями и дополнениями на текущий период). Регламентирует правила учета БВС, сертификации и общие принципы использования воздушного пространства.

2. Федеральные правила использования воздушного пространства Российской Федерации, утвержденные Постановлением Правительства РФ от 11.03.2010 № 138. Определяют порядок установления временных/местных режимов и правила подачи планов полетов (FPL).

3. Постановление Правительства РФ от 25.05.2019 № 658 «Об утверждении Правил государственного учета беспилотных гражданских воздушных судов...». Устанавливает порядок учета БВС взлетной массой от 150 грамм до 30 кг в Росавиации.

II. Технические стандарты и руководства (к Темам 3, 4 и 6)

1. ГОСТ Р 59561-2021. Беспилотные авиационные системы. Беспилотные воздушные суда. Общие требования. — Москва: Российский институт стандартизации, 2021.

2. Руководство по фотограмметрической обработке данных дистанционного зондирования Земли. — М.: Федеральная служба государственной регистрации, кадастра и картографии (Росреестр), 2020.

Описывает стандарты точности, требования к перекрытию снимков (70–80%) и расчету GSD.

3. Инструкция по топографической съемке в масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 и 1:500. ГКИНП-02-033-82. — М.: Недра, 1982 (и актуализированные методические рекомендации Росреестра по применению БАС в геодезии).

III. Учебная литература и монографии (к Темам 1, 4 и 5)

1. Погорелов В. В. Основы устройства и конструирования беспилотных летательных аппаратов: Учебное пособие. — М.: ИНФРА-М, 2022. — 240 с. (Использовано для описания узлов, агрегатов, ИМУ-датчиков и работы регуляторов ESC в Теме 1).

2. Шаповалов Д. А., Ключин П. В. Применение беспилотных летательных аппаратов в геодезии и строительном мониторинге: Монография. — М.: ГУЗ, 2023. — 185 с. (Основа для алгоритмов лазерного сканирования, расчета объемов буртов и интеграции с BIM-моделями в Теме 6).

3. Михайлов А. П. Наземные станции управления и планирование полетных заданий БАС: Методическое пособие для внешних пилотов. — СПб.: Университет ГА, 2021. — 96 с. (База для настройки FailSafe-алгоритмов, режимов Return to Home и работы в ПО Mission Planner/UgCS в Темах 3, 4 и 5).