

Плященко М. Ю., Попов Н. З., Луцкий М. В.,  
Володин В. П., Никитина Е. Г. Грибова Л. А.

# Управление беспилотными летательными аппаратами: основы аэрофотосъемки и фотограмметрии

Учебно-методическое пособие



Москва  
2024

УДК 629.73.058:528.7 (075)  
ББК 39.52:26.113я7  
У67

Редактор **Н. А. Волков**

У67 Управление беспилотными летательными аппаратами:  
основы аэрофотосъемки и фотограмметрии: учебно-  
методическое пособие / Плященко М. Ю., Попов Н. З.,  
Луцкий М. В. и др. — М.: Советский спорт, 2024. — 408 с.

ISBN 978-5-00129-372-9

Данное методическое пособие предназначено для образовательных учреждений, авиамоделльных секций, кружков робототехники или для самостоятельного изучения. Пособие включает в себя 10 глав, которые раскрывают важные этапы истории развития беспилотной авиации, текущие и перспективные сферы применения БАС, базовые знания устройства и функционирования мультикоптеров, теоретическую и практическую часть основ пилотирования, выполняемую на учебно-методическом комплексе «Пионер».

УДК 629.73.058:528.7 (075)  
ББК 39.52:26.113я7

© Плященко М. Ю., Попов Н. З., Луцкий М. В.,  
Володин В. П., Никитина Е. Г. Грибова Л. А.,  
2023

© ООО «Торговый дом «Советский спорт», 2023

ISBN 978-5-00129-372-9

© ООО «Геоскан», 2023

# ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>Введение</b>	9
<b>Глава 1. История и сферы применения беспилотных летательных аппаратов.</b>	11
<b>1.1. История развития БАС.</b>	11
1.1.1. Первый в истории грузовой БАС . . .	12
1.1.2. Радиоуправляемая лодка Николы Теслы . . .	14
1.1.3. От самолета до винтокрылого аппарата, 1903–1908 гг.	15
1.1.4. Гирокомпас и умные летающие бомбы, 1917–1920 гг.	17
1.1.5. Первые пилотируемые вертолеты, 1922–1942 гг. . . .	19
1.1.6. Первый радиоуправляемый «дрон» – беспилотный самолет-мишень	21
1.1.7. Вторая мировая война и развитие систем телеуправления.	22
1.1.8. Послевойнные скоростные «внедорожники»-разведчики	24
1.1.9. Современные военные БВС	25
<b>1.2. Сферы применения БАС . . .</b>	29
1.2.1. Логистика . . .	29
1.2.2. Внутрипроизводственное применение . . .	37
1.2.3. Беспилотный транспорт и аэротакси . . .	42
1.2.4. Строительство . . .	51
1.2.5. Сельское хозяйство . . .	54
1.2.6. Электроэнергетика . . .	59
1.2.7. Нефтегазовый сектор . . . .	65
1.2.8. Экологический мониторинг . . .	70

---

1.2.9. Безопасность . . . . .	74
1.2.10. Кинематограф. . . . .	77
<i>Вопросы для самопроверки.</i> . . . . .	81
<i>Материал для самостоятельного изучения</i> . . . . .	82
<b>Глава 2. Систематизация и устройство БВС</b> . . . . .	<b>86</b>
<b>2.1. Классификация БВС по летным характеристикам</b> . . . . .	<b>86</b>
2.1.1. Классификация UVS International . . . . .	86
2.1.2. Российская универсальная классификация . . . . .	88
<b>2.2. Классификация БВС по конструкции</b> . . . . .	<b>89</b>
2.2.1. БВС самолетного типа . . . . .	89
2.2.2. Мультироторные (вертолетные) системы . . . . .	96
2.2.3. БВС аэростатического типа . . . . .	102
2.2.4. Конвертопланы и гибридные модели . . . . .	104
<i>Вопросы для самопроверки.</i> . . . . .	110
<i>Материал для самостоятельного изучения</i> . . . . .	110
<b>Глава 3. Устройство и принцип работы</b>	
<b>квадрокоптера</b> . . . . .	<b>111</b>
<b>3.1. Рамы и защитные конструкции</b> . . . . .	<b>111</b>
3.1.1. Конструкция рамы. . . . .	111
3.1.2. Форма рамы. . . . .	113
3.1.3. Классы рам . . . . .	116
3.1.4. Материал рамы. . . . .	117
3.1.5. Защитные конструкции. . . . .	120
<b>3.2. Аэродинамика. Винтомоторная группа</b> . . . . .	<b>124</b>
3.2.1. Аэродинамика . . . . .	125
3.2.2. Винтомоторная группа . . . . .	131
3.2.3. Пропеллеры . . . . .	135
3.2.4. Регуляторы оборотов . . . . .	140
<b>3.3. Полетный контроллер</b> . . . . .	<b>145</b>
3.3.1. Инерциальный измерительный блок . . . . .	147
3.3.2. Типы полетных контроллеров . . . . .	152
3.3.3. «Начинка» полетного контроллера . . . . .	154

3.4. <b>Аккумуляторы</b> . . . . .	160
3.4.1. <b>Виды аккумуляторов</b> . . . . .	161
3.4.2. <b>Выбор аккумулятора для квадрокоптера.</b> . . . . .	166
<i>Вопросы для самопроверки.</i> . . . . .	170
<i>Материал для самостоятельного изучения</i> . . . . .	172
<b>Глава 4. Основы радиосвязи</b> . . . . .	175
4.1. <b>Принцип работы приемника и передатчика</b> . . . . .	175
4.2. <b>Система управления коптером.</b> . . . . .	180
4.2.1. <b>Передатчик, или аппаратура управления.</b> . . . . .	180
4.2.2. <b>Приемник</b> . . . . .	182
4.3. <b>Устройство антенны</b> . . . . .	183
4.3.1. <b>Антенны с линейной поляризацией</b> . . . . .	184
4.3.2. <b>Антенны с круговой поляризацией</b> . . . . .	186
4.3.3. <b>Разъемы антенн</b> . . . . .	189
4.3.4. <b>Протоколы передачи данных</b> . . . . .	192
<i>Вопросы для самопроверки.</i> . . . . .	198
<i>Материал для самостоятельного изучения</i> . . . . .	198
<b>Глава 5. Виды полезной нагрузки</b> . . . . .	199
5.1. <b>Фото и видеокамеры с высоким разрешением</b> . . . . .	199
5.2. <b>Подвесы.</b> . . . . .	209
5.3. <b>Мультиспектральные камеры</b> . . . . .	215
5.4. <b>Тепловизионные камеры.</b> . . . . .	220
5.4.1. <b>Краткое научное объяснение теплового ИК-излучения</b> . . . . .	221
5.4.2. <b>Устройство и принцип работы тепловизора.</b> . . . . .	222
5.4.3. <b>Тепловизионные камеры для дронов.</b> . . . . .	225
5.5. <b>Лидары</b> . . . . .	229
5.6. <b>Газоанализаторы</b> . . . . .	233
<i>Вопросы для самопроверки.</i> . . . . .	237
<i>Материал для самостоятельного изучения</i> . . . . .	237

---

<b>Глава 6. Техника безопасности при сборке и пилотировании квадрокоптера</b> . . . . .	239
6.1. <b>Безопасность при работе с Li-Po-аккумуляторами</b> . . . . .	240
6.2. <b>Техника безопасности при подготовке к эксплуатации и при пилотировании БВС</b> . . . . .	242
6.3. <b>Правила регистрации БВС в России</b> . . . . .	247
<i>Вопросы для самопроверки.</i> . . . . .	250
<i>Материал для самостоятельного изучения</i> . . . . .	250
<b>Глава 7. Квадрокоптер Геоскан «Пионер»</b> . . . . .	251
7.1. <b>Сборка квадрокоптера Геоскан «Пионер»</b> . . . . .	253
7.2. <b>Настройка квадрокоптера и пульта ДУ</b> . . . . .	256
7.3. <b>Основы пилотирования БВС</b> . . . . .	260
7.3.1. Визуальное пилотирование . . . . .	260
7.3.2. Предполетная подготовка коптера в помещении . . . . .	263
7.3.3. Подготовка зоны полетов . . . . .	264
7.3.4. Теория FPV-пилотирования . . . . .	268
7.3.5. Безопасность при FPV-пилотировании . . . . .	271
7.3.6. Пилотирование в симуляторе. Практические упражнения . . . . .	273
7.4. <b>Дополнительные модули к Геоскан «Пионер»</b> . . . . .	284
7.4.1. Модуль захвата груза . . . . .	284
7.4.2. Камеры для фото-, видеосъемки и FPV-режима . . . . .	286
<i>Вопросы для самопроверки.</i> . . . . .	294
<i>Материал для самостоятельного изучения</i> . . . . .	296
<b>Глава 8. Аэрофотосъемка и фотограмметрия</b> . . . . .	297
8.1. <b>Аэрофотосъемка и ее история</b> . . . . .	297
8.1.1. Аэрофотографическая съемка . . . . .	301
8.1.2. Тепловая ИК-аэросъемка . . . . .	306
8.1.3. Радиолокационная съемка . . . . .	308
8.1.4. Многозональная аэрофотосъемка . . . . .	310

8.1.5. Оценка качества результатов аэрофотосъемки . . . . .	311
8.2. <b>Аэрокосмическая съемка</b> . . . . .	313
8.2.1. Виды съемок из космоса . . . . .	317
8.2.2. Космическая картография . . . . .	318
8.2.3. Контроль из космоса за окружающей средой . . . . .	323
8.3. <b>Планирование маршрута полета БВС</b> . . . . .	326
8.3.1. Съемка местности с перекрытием . . . . .	327
8.3.2. Требования к операторам БВС и руководителю полетов . . . . .	333
8.4. <b>Фотограмметрия как наука</b> . . . . .	334
8.4.1. История фотограмметрии и этапы ее развития . . . . .	335
8.4.2. Применение фотограмметрии . . . . .	340
<i>Вопросы для самопроверки</i> . . . . .	343
<i>Материал для самостоятельного изучения</i> . . . . .	344
<b>Глава 9. Программы Agisoft Metashape и Autodesk Meshmixe</b> . . . . .	345
9.1. <b>Agisoft Metashape</b> . . . . .	345
9.1.1. Оборудование . . . . .	348
9.1.2. Сценарии съемки . . . . .	349
9.1.3. Раскадровка видеоряда . . . . .	355
9.1.4. Выравнивание фотографий . . . . .	360
9.1.5. Построение плотного облака точек . . . . .	362
9.2. <b>Редактирование полученной модели в Autodesk MeshMixer</b> . . . . .	372
<i>Вопросы для самопроверки</i> . . . . .	378
<i>Материал для самостоятельного изучения</i> . . . . .	378
<b>Глава 10. Печать на 3D-принтере</b> . . . . .	379
10.1. <b>Подготовка модели к 3D-печати</b> . . . . .	379
10.1.1. Виды принтеров . . . . .	379
10.1.2. Виды материалов для печати . . . . .	386

---

10.2. Печать модели на 3D-принтере . . . . .	391
10.2.1. Программа Cura 3D . . . . .	391
10.2.2. Просмотр 3D-модели в Cura . . . . .	393
10.2.3. Настройки 3D-печати . . . . .	398
10.2.4. Шаблоны Cura. . . . .	401
<i>Вопросы для самопроверки</i> . . . . .	403
<b>Сокращения и специальные термины.</b> . . . . .	404
<b>Литература и Интернет-источники</b> . . . . .	405