

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

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. Послевойные 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>
2.1. <b>Классификация БВС по летным характеристикам . . . . .</b>	<b>86</b>
2.1.1. Классификация UVS International. . . . .	86
2.1.2. Российская универсальная классификация. . . . .	88
2.2. <b>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>
3.1. <b>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
3.2. <b>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
3.3. <b>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. Аккумуляторы	160
3.4.1. Виды аккумуляторов	161
3.4.2. Выбор аккумулятора для квадрокоптера.	166
Вопросы для самопроверки.	170
Материал для самостоятельного изучения	172
<b>Глава 4. Основы радиосвязи</b>	<b>175</b>
4.1. Принцип работы приемника и передатчика	175
4.2. Система управления коптером.	180
4.2.1. Передатчик, или аппаратура управления.	180
4.2.2. Приемник	182
4.3. Устройство антенны	183
4.3.1. Антенны с линейной поляризацией	184
4.3.2. Антенны с круговой поляризацией	186
4.3.3. Разъемы антенн	189
4.3.4. Протоколы передачи данных	192
Вопросы для самопроверки.	198
Материал для самостоятельного изучения	198
<b>Глава 5. Виды полезной нагрузки</b>	<b>199</b>
5.1. Фото и видеокамеры с высоким разрешением	199
5.2. Подвесы.	209
5.3. Мультиспектральные камеры	215
5.4. Тепловизионные камеры.	220
5.4.1. Краткое научное объяснение теплового ИК-излучения	221
5.4.2. Устройство и принцип работы тепловизора.	222
5.4.3. Тепловизионные камеры для дронов.	225
5.5. Лидары	229
5.6. Газоанализаторы	233
Вопросы для самопроверки.	237
Материал для самостоятельного изучения	237

<b>Глава 6. Техника безопасности при сборке и пилотировании квадрокоптера</b>	<b>239</b>
6.1. <b>Безопасность при работе с Li-Po-аккумуляторами</b>	<b>240</b>
6.2. <b>Техника безопасности при подготовке к эксплуатации и при пилотировании БВС</b>	<b>242</b>
6.3. <b>Правила регистрации БВС в России</b>	<b>247</b>
<i>Вопросы для самопроверки</i>	250
<i>Материал для самостоятельного изучения</i>	250
<b>Глава 7. Квадрокоптер Геоскан «Пионер»</b>	<b>251</b>
7.1. <b>Сборка квадрокоптера Геоскан «Пионер»</b>	<b>253</b>
7.2. <b>Настройка квадрокоптера и пульта ДУ</b>	<b>256</b>
7.3. <b>Основы пилотирования БВС</b>	<b>260</b>
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>	<b>284</b>
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>	<b>297</b>
8.1. <b>Аэрофотосъемка и ее история</b>	<b>297</b>
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
<b>8.2. Аэрокосмическая съемка . . . . .</b>	<b>313</b>
8.2.1. Виды съемок из космоса . . . . .	317
8.2.2. Космическая картография . . . . .	318
8.2.3. Контроль из космоса за окружающей средой . . . . .	323
<b>8.3. Планирование маршрута полета БВС . . . . .</b>	<b>326</b>
8.3.1. Съемка местности с перекрытием . . . . .	327
8.3.2. Требования к операторам БВС и руководителю полетов . . . . .	333
<b>8.4. Фотограмметрия как наука . . . . .</b>	<b>334</b>
8.4.1. История фотограмметрии и этапы ее развития . . . . .	335
8.4.2. Применение фотограмметрии . . . . .	340
<i>Вопросы для самопроверки . . . . .</i>	<i>343</i>
<i>Материал для самостоятельного изучения . . . . .</i>	<i>344</i>
<b>Глава 9. Программы Agisoft Metashape и Autodesk Meshmixe . . . . .</b>	<b>345</b>
<b>9.1. Agisoft Metashape . . . . .</b>	<b>345</b>
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
<b>9.2. Редактирование полученной модели в Autodesk MeshMixer . . . . .</b>	<b>372</b>
<i>Вопросы для самопроверки . . . . .</i>	<i>378</i>
<i>Материал для самостоятельного изучения . . . . .</i>	<i>378</i>
<b>Глава 10. Печать на 3D-принтере . . . . .</b>	<b>379</b>
<b>10.1. Подготовка модели к 3D-печати . . . . .</b>	<b>379</b>
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>	<i>403</i>
<b>Сокращения и специальные термины. . . . .</b>	<b>404</b>
<b>Литература и Интернет-источники . . . . .</b>	<b>405</b>