

УДК 629.7  
ББК 39.52  
Ф19

Ф19 Пол Дж. Фалстром, Томас Глисон, Мохаммед Х. Седрэй

Беспилотные летательные аппараты. Устройство и применение / пер. с англ.  
А. В. Логуновым – М.: ДМК Пресс, 2026. – 634 с.: ил.

ISBN 978-5-93700-442-0

В последние годы беспилотные летательные аппараты (БПЛА) различного типа получили распространение в военной области и составляют серьезную конкуренцию традиционным видам вооружений, а иногда и превосходят их. Кроме того, БПЛА активно применяются в гражданской деятельности, существенно повышая эффективность многих работ. Данная книга глубоко и подробно раскрывает все ключевые темы, связанные с БПЛА – от теории полета до устройства дронов и программного обеспечения наземных станций планирования и управления.

Издание будет полезно широкому кругу специалистов, занятых разработкой, производством и эксплуатацией БПЛА, а также студентам и преподавателям соответствующих специальностей вузов.

УДК 629.7  
ББК 39.52

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise, except as permitted by law. This translation published under license with the original publisher John Wiley & Sons, Inc.

Все права защищены. Любая часть этой книги не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме и какими бы то ни было средствами без письменного разрешения владельцев авторских прав.

Материал, изложенный в данной книге, многократно проверен. Но, поскольку вероятность технических ошибок все равно существует, издательство не может гарантировать абсолютную точность и правильность приводимых сведений. В связи с этим издательство не несет ответственности за возможные ошибки, связанные с использованием книги.

ISBN 978-1-11980-261-7 (англ.)  
ISBN 978-5-93700-442-0 (рус.)

© 2022 John Wiley & Sons, Inc.  
© Оформление, перевод, издание,  
ДМК Пресс, 2026

# Оглавление

<b>Предисловие</b> .....	<b>15</b>
<b>Предисловие к книжной серии</b> .....	<b>19</b>
<b>Признательности</b> .....	<b>20</b>
<b>О сопутствующем веб-сайте</b> .....	<b>21</b>
<b>Перечень сокращений и описаний терминов</b> .....	<b>22</b>
<b>Часть I. Введение</b> .....	<b>35</b>
<b>Глава 1. История и общий обзор</b> .....	<b>36</b>
1.1 Общий обзор .....	36
1.2 История.....	37
1.2.1 Ранняя история .....	37
1.2.2 Война во Вьетнаме.....	38
1.2.3 Возрождение .....	39
1.2.4 Совместные операции.....	40
1.2.5 Операция «Буря в пустыне» .....	41
1.2.6 Босния .....	41
1.2.7 Афганистан и Ирак .....	42
1.2.8 Операции большой дальности и продолжительности полета.....	42
1.3 Обзор беспилотных летательных систем.....	43
1.3.1 Летательный аппарат .....	45
1.3.2 Станция планирования и управления полетными заданиями.....	46
1.3.3 Оборудование для запуска и возвращения .....	46
1.3.4 Полезные нагрузки.....	47
1.3.5 Каналы связи.....	48
1.3.6 Наземное вспомогательное оборудование.....	49
1.4 Aquila.....	50
1.4.1 Полетные задания и операционные требования .....	51
1.4.2 Летательный аппарат .....	51
1.4.3 Наземная станция управления.....	52
1.4.4 Запуск и возвращение .....	53
1.4.5 Полезная нагрузка .....	53
1.4.6 Другое оборудование.....	53
1.4.7 Краткий итог.....	53
1.5 Global Hawk.....	55
1.5.1 Операционные требования к полетным заданиям и разработка.....	55
1.5.3 Полезные нагрузки.....	58
1.5.4 Телекоммуникационная система .....	58
1.6 Семейство БПЛА Predator .....	60
1.6.1 Разработка .....	60
1.6.2 Reaper .....	61
1.6.3 Характеристики .....	62
1.7 Ведущие производители БПЛА.....	64

1.8 Этические проблемы БПЛА.....	64
Вопросы.....	66
<b>Глава 2. Классы и полетные задания БПЛА .....</b>	<b>71</b>
2.1 Обзор темы.....	71
2.2 Классы БПЛС.....	72
2.2.1 Критерии классификации.....	72
2.2.2 Классификация по дальности и продолжительности полета.....	73
2.2.3 Классификация по полетным заданиям.....	75
2.2.4 Система эшелонов.....	80
2.3 Примеры БПЛА по размерным группам.....	81
2.3.1 Микро-БПЛА.....	82
2.3.2 Мини-БПЛА.....	83
2.3.3 Сверхмалые БПЛА.....	84
2.3.4 Малые БПЛА.....	86
2.3.5 Средние БПЛА.....	88
2.3.6 Крупные БПЛА.....	93
2.4 Расходуемые БПЛА.....	95
Вопросы.....	97
<b>Часть II. Летательный аппарат .....</b>	<b>101</b>
<b>Глава 3. Аэродинамика .....</b>	<b>102</b>
3.1 Обзор темы.....	102
3.2 Аэродинамические силы.....	103
3.3 Число Маха.....	104
3.4 Профиль крыла.....	105
3.5 Распределение давления.....	109
3.6 Поляра сопротивления.....	112
3.7 Реальное крыло и самолет.....	114
3.8 Индуцированное сопротивление.....	115
3.9 Пограничный слой.....	116
3.10 Сопротивление трения.....	121
3.11 Полное сопротивление летательного аппарата.....	122
3.12 Машущие крылья.....	122
3.13 Аэродинамическая эффективность.....	125
Вопросы.....	127
<b>Глава 4. Летно-технические характеристики.....</b>	<b>131</b>
4.1 Обзор темы.....	131
4.2 Крейсерский полет.....	132
4.3 Дальность полета.....	135
4.3.1 Дальность полета неэлектромоторного винтового самолета.....	136
4.3.2 Дальность полета реактивного самолета.....	139
4.4 Продолжительность полета.....	140
4.4.1 Продолжительность полета неэлектромоторного винтового самолета.....	141
4.4.2 Продолжительность полета реактивного самолета.....	142
4.5 Полет в режиме набора высоты.....	143

4.6 Планирующий полет.....	147
4.7 Запуск .....	148
4.8 Возвращение .....	149
Вопросы.....	151
<b>Глава 5. Устойчивость и управляемость полета .....</b>	<b>155</b>
5.1 Обзор темы.....	155
5.2 Сбалансированность.....	156
5.2.1 Продольная сбалансированность .....	158
5.2.2 Путевая сбалансированность.....	161
5.2.3 Поперечная сбалансированность .....	161
5.2.4 Краткий итог .....	162
5.3 Устойчивость .....	162
5.3.1 Продольная статическая устойчивость.....	164
5.3.2 Путевая статическая устойчивость .....	167
5.3.3 Боковая статическая устойчивость .....	170
5.3.4 Динамическая устойчивость.....	172
5.4 Управляемость .....	173
5.4.1 Аэродинамическое управление.....	173
5.4.2 Продольное управление.....	175
5.4.3 Путевое управление .....	177
5.4.4 Поперечное управление.....	179
Вопросы.....	180
<b>Глава 6. Двигательные установки.....</b>	<b>185</b>
6.1 Обзор темы.....	185
6.2 Классификация двигательных установок .....	185
6.3 Выработка тяги.....	186
6.4 Активная подъемная сила .....	188
6.5 Источники мощности .....	193
6.5.1 Четырехтактный двигатель.....	193
6.5.2 Двухтактный двигатель.....	195
6.5.3 Роторный двигатель .....	197
6.5.4 Газотурбинные двигатели.....	199
6.5.5 Электромоторы .....	201
6.6 Источники электрической энергии .....	204
6.6.1 Аккумуляторные батареи.....	204
6.6.2 Солнечные ячейки .....	206
6.6.3 Топливные элементы .....	209
6.7 Мощность и тяга.....	212
6.7.1 Взаимосвязь между мощностью и тягой.....	212
6.7.2 Воздушный винт .....	213
6.7.3 Вариации мощности и тяги в зависимости от высоты.....	215
Вопросы.....	217
<b>Глава 7. Конструкции летательных аппаратов.....</b>	<b>221</b>
7.1 Обзор темы .....	221
7.2 Части конструкции.....	222
7.2.1 Обшивка .....	222

7.2.2 Части конструкции фюзеляжа.....	223
7.2.3 Части конструкции крыла и хвостового оперения.....	224
7.2.4 Другие части конструкции.....	225
7.3 Базовые полетные нагрузки.....	227
7.4 Динамические нагрузки.....	232
7.5 Конструкционные материалы.....	235
7.5.1 Общий обзор.....	235
7.5.2 Алюминий.....	236
7.6 Композиционные материалы.....	237
7.6.1 Сэндвич-конструкция.....	238
7.6.2 Обшивочные, или армирующие, материалы.....	239
7.6.3 Смоляные материалы.....	240
7.6.4 Материалы сердцевины.....	240
7.7 Технологии конструирования.....	240
7.8 Базовые прочностные расчеты.....	242
7.8.1 Нормальное напряжение и напряжение сдвига.....	243
7.8.2 Отклонение.....	246
7.8.3 Критическая нагрузка потери устойчивости.....	247
7.8.4 Коэффициент запаса прочности.....	248
7.8.5 Конструкционная усталость.....	249
Вопросы.....	250

### **Часть III. Планирование и контроль за выполнением полетного задания..... 255**

#### **Глава 8. Станция планирования и управления полетными заданиями..... 256**

8.1 Введение.....	256
8.2 Подсистемы станции.....	256
8.3 Физическая конфигурация станции.....	262
8.4 Интерфейсы станции.....	268
8.5 Архитектура станции.....	270
8.5.1 Основы.....	270
8.5.2 Локальные вычислительные сети.....	272
8.5.3 Уровни общения между устройствами.....	273
8.5.4 Мосты и шлюзы.....	274
8.6 Элементы ЛВС.....	275
8.6.1 Схема и логическая структура (топология).....	275
8.6.2 Коммуникационный носитель.....	277
8.6.3 Сетевая передача данных и доступ к ним.....	277
8.7 Стандарт OSI.....	277
8.7.1 Физический слой.....	277
8.7.2 Слой канала связи.....	278
8.7.3 Сетевой слой.....	278
8.7.4 Транспортный слой.....	278
8.7.5 Сеансовый слой.....	278
8.7.6 Слой представления.....	278
8.7.7 Прикладной слой.....	279
8.8 Планирование полетного задания.....	279

8.9 Пилот-командир .....	283
Вопросы.....	285
<b>Глава 9. Управление летательным аппаратом и полезной нагрузкой .....</b>	<b>289</b>
9.1 Обзор темы.....	289
9.2 Уровни управления.....	291
9.3 Дистанционное пилотирование летательного аппарата.....	293
9.3.1 Ручное дистанционное пилотирование.....	294
9.3.2 Управление с поддержкой автопилота .....	296
9.3.3 Полная автоматизация.....	297
9.3.4 Краткий итог .....	298
9.4 Автопилот.....	299
9.4.1 Основы .....	299
9.4.2 Категории автопилотов.....	301
9.4.3 Внутренние и внешние контуры .....	302
9.4.4 Общие режимы функционирования .....	303
9.4.5 Процесс управления .....	304
9.4.6 Оси управления .....	305
9.4.7 Контроллер.....	306
9.4.8 Актуатор .....	307
9.4.9 Коммерческие автопилоты с открытым исходным кодом.....	308
9.5 Пилотажные датчики, поддерживающие работу автопилота .....	308
9.5.1 Высотомер.....	309
9.5.2 Датчик воздушной скорости.....	309
9.5.3 Датчики пространственной ориентации.....	310
9.5.4 Система глобального позиционирования .....	312
9.5.5 Акселерометры .....	313
9.6 Навигация и определение местоположения цели.....	313
9.7 Управление полезными нагрузками .....	316
9.7.1 Полезные нагрузки для ретрансляции сигналов .....	318
9.7.2 Атмосферный, радиологический и экологический мониторинг.....	319
9.7.3 Изображающие и псевдоизображающие полезные нагрузки.....	319
9.8 Управление полетным заданием.....	321
9.9 Автономность.....	324
Вопросы.....	328
<b>Часть IV. Полезные нагрузки.....</b>	<b>333</b>
<b>Глава 10. Полезные нагрузки для ведения рекогносцировки и наблюдения .....</b>	<b>335</b>
10.1 Обзор темы.....	335
10.2 Изображающие сенсоры.....	337
10.3 Обнаружение, распознавание и идентификация целей .....	339
10.3.1 Разрешение сенсора .....	339
10.3.2 Контраст цели .....	343
10.3.3 Прохождение через атмосферу.....	346
10.3.4 Сигнатура цели .....	349
10.3.5 Характеристики дисплея.....	350

10.3.6 Процедура предсказания дальности .....	351
10.3.7 Несколько соображений .....	354
10.3.8 Ловушки .....	356
<b>10.4 Процесс поиска .....</b>	<b>358</b>
10.4.1 Типы поиска .....	358
10.4.2 Поле зрения .....	360
10.4.3 Схема поиска .....	362
10.4.4 Время поиска .....	364
<b>10.5 Другие соображения .....</b>	<b>367</b>
10.5.1 Расположение и установка .....	367
10.5.2 Стабилизация линии прямой видимости .....	368
10.5.3 Гироскоп и подвес .....	369
10.5.4 Конфигурация с гиростабилизированным подвесом .....	371
10.5.5 Тепловая конструкция .....	373
10.5.6 Влияние условий окружающей среды на стабилизацию .....	373
10.5.7 Юстировка линии прицела .....	374
10.5.8 Конструкция стабилизации .....	375
Вопросы .....	376
<b>Глава 1. Оружейные полезные нагрузки .....</b>	<b>382</b>
11.1 Обзор темы .....	382
11.2 История летальных беспилотных самолетов .....	385
11.3 Операционное требование к полетному заданию вооруженного многоцелевого БПЛА .....	389
11.4 Конструкционные вопросы относительно несения и доставки боеприпасов .....	391
11.4.1 Емкость полезной нагрузки .....	391
11.4.2 Конструкционные вопросы .....	393
11.4.3 Электрические интерфейсы .....	395
11.4.4 Электромагнитные помехи .....	397
11.4.5 Ограничения на пуск боеприпасов устаревших образцов .....	398
11.4.6 Безопасное отделение .....	399
11.4.7 Каналы связи .....	400
11.4.8 Расположение полезной нагрузки .....	400
11.5 Снижение сигнатуры .....	400
11.5.1 Акустические сигнатуры .....	401
11.5.2 Визуальные сигнатуры .....	408
11.5.3 Инфракрасные сигнатуры .....	408
11.5.4 Радиолокационные сигнатуры .....	410
11.5.5 Эмитированные сигналы .....	416
11.5.6 Активные меры по снижению восприимчивости .....	417
11.6 Автономность оружейных полезных нагрузок .....	418
11.6.1 Основополагающая концепция .....	418
11.6.2 Правила нанесения огневого поражения .....	421
Вопросы .....	423
<b>Глава 12. Другие полезные нагрузки .....</b>	<b>428</b>
12.1 Обзор темы .....	428
12.2 Радиолокатор .....	428
12.2.1 Общие соображения о радиолокаторах .....	428

12.2.2 Радиолокатор с синтезированной апертурой .....	432
12.3 Радиоэлектронная борьба.....	433
12.4 Обнаружение химических веществ .....	434
12.5 Радиологические сенсоры .....	436
12.6 Метеорологические и экологические сенсоры .....	437
12.7 Псевдоспутники .....	438
12.8 Роботизированный манипулятор .....	443
12.9 Упаковка и груз .....	443
12.10 Городская воздушная мобильность .....	445
Вопросы.....	446
<b>Часть V. Каналы связи.....</b>	<b>449</b>
<b>Глава 13. Функции и атрибуты канала связи .....</b>	<b>451</b>
13.1 Обзор темы .....	451
13.2 Общие сведения .....	452
13.3 Функции канала связи .....	454
13.4 Желаемые атрибуты канала связи .....	456
13.4.1 Доступность по всему миру .....	457
13.4.2 Устойчивость к непреднамеренным помехам.....	458
13.4.3 Малая вероятность перехвата .....	459
13.4.4 Защищенность .....	460
13.4.5 Устойчивость к обману .....	460
13.4.6 Противодействие ПРБ .....	461
13.4.7 Защищенность от глушения.....	461
13.4.8 Цифровые каналы связи .....	463
13.4.9 Уровень сигнала .....	464
13.5 Проблемы системного интерфейса .....	465
13.5.1 Механические и электрические.....	465
13.5.2 Ограничения на скорость передачи данных .....	466
13.5.3 Задержки в контуре управления .....	467
13.5.4 Операционная совместимость, взаимозаменяемость и общность.....	470
13.6 Антенны.....	473
13.6.1 Всенаправленная антенна.....	473
13.6.2 Параболические отражательные антенны.....	474
13.6.3 Антенные решетки / направленные антенны .....	474
13.6.4 Линзовые антенны .....	475
13.7 Частота канала связи .....	477
Вопросы.....	479
<b>Глава 14. Запас канала связи .....</b>	<b>484</b>
14.1 Обзор темы .....	484
14.2 Источники запаса канала связи .....	485
14.2.1 Мощность передатчика .....	485
14.2.2 Усиление антенны .....	485
14.2.3 Усиление за счет обработки .....	494
14.3 Запас противодействия глушению .....	500
14.3.1 Определение запаса противодействия глушению .....	501

14.3.2 Геометрия глушителя .....	502
14.3.3 Системные последствия защищенности от глушения .....	507
14.3.4 Восходящие линии с защитой от глушения .....	511
14.4 Распространение .....	512
14.4.1 Препятствие на пути распространения .....	512
14.4.2 Атмосферное поглощение .....	514
14.4.3 Потери из-за атмосферных осадков .....	515
14.5 Бюджет канала связи по соотношению сигнал/шум .....	515
Вопросы .....	519
<b>Глава 15. Снижение скорости передачи данных .....</b>	<b>524</b>
15.1 Обзор темы .....	524
15.2 Сжатие против усечения .....	525
15.3 Видеоданные .....	526
15.3.1 Шкала серого .....	526
15.3.2 Кодирование шкалы серого .....	527
15.3.3 Влияние сжатия ширины полосы на результативность оператора .....	528
15.3.4 Частота кадров .....	531
15.3.5 Режим контура управления .....	531
15.3.6 Формы усечения .....	535
15.3.7 Краткий итог .....	535
15.4 Невидеоданные .....	537
15.5 Расположение функции снижения скорости передачи данных .....	538
Вопросы .....	540
<b>Глава 16. Компромиссные варианты в отношении канала связи ...</b>	<b>544</b>
16.1 Обзор темы .....	544
16.2 Базовые компромиссные варианты .....	544
16.3 Ловушки, связанные с «откладыванием» проблем с каналом связи ..	548
16.4 Будущая технология .....	549
Вопросы .....	549
<b>Часть VI. Запуск и возвращение .....</b>	<b>551</b>
<b>Глава 17. Системы запуска .....</b>	<b>553</b>
17.1 Обзор темы .....	553
17.2 Традиционный взлет .....	554
17.3 Базовые соображения .....	554
17.4 Методы запуска летательных аппаратов самолетного типа .....	560
17.4.1 Общий обзор .....	560
17.4.2 Рельсовые пусковые установки .....	562
17.4.3 Пневматические пусковые установки .....	563
17.4.4 Пневмогидравлические пусковые установки .....	565
17.4.5 Запуск БПЛА с помощью ракетных пусковых установок с нулевой дистанцией разбега .....	567
17.4.6 Запуск из пусковой трубы .....	568
17.5 Взлет с использованием ракетного двигателя .....	568
17.5.1 Конфигурация ракетной пусковой установки .....	568
17.5.2 Системы зажигания в ракетных пусковых установках .....	569

17.5.3 Отделение отработавшего ракетного двигателя .....	569
17.5.4 Другое пусковое оборудование .....	570
17.5.5 Требуемая энергия (импульс) .....	570
17.5.6 Требуемый вес ракетного топлива .....	571
17.5.7 Тяга, время горения и ускорение .....	573
17.6 Вертикальный взлет .....	573
Вопросы .....	574
<b>Глава 18. Системы возвращения .....</b>	<b>577</b>
18.2 Традиционная посадка .....	577
18.3 Системы посадки в вертикальную сеть .....	579
18.4 Возвращение на парашюте .....	580
18.5 БПЛА вертикального взлета и посадки .....	583
18.6 Подхват в воздухе .....	585
18.7 Возвращение на палубу корабля .....	588
18.8 Посадка с распадением на части .....	590
18.9. Посадка на полозья и фюзеляж .....	591
18.10 Посадка посредством подвесного троса .....	592
Вопросы .....	594
<b>Глава 19. Компромиссные варианты в отношении запуска и возвращения .....</b>	<b>596</b>
19.1 Компромиссные варианты в отношении методов запуска БПЛА .....	596
19.2 Компромиссные варианты в отношении методов возвращения .....	600
19.3 Общие выводы .....	602
Вопросы .....	603
<b>Глава 20. БПЛА вертолетного типа и квадрокоптеры .....</b>	<b>605</b>
20.1 Обзор темы .....	605
20.2 Вертолетные конфигурации .....	606
20.2.1 Однороторная конфигурация .....	607
20.2.2 Соосная двоянно-роторная конфигурация .....	608
20.2.3 Тандемная двоянно-роторная конфигурация .....	609
20.2.4 Мультикоптерная конфигурация .....	610
20.3 БПЛА гибридного типа .....	610
20.3.1 Наклонно-роторная конфигурация .....	611
20.3.2 Наклоннокрылая конфигурация .....	611
20.3.3 Конфигурация с управляемым вектором тяги .....	612
20.3.4 Сочетание квадрокоптера и неподвижного крыла .....	613
20.4 Квадрокоптеры .....	615
20.4.1 Общий обзор .....	615
20.4.2 Аэродинамика .....	617
20.4.3 Управление .....	618
Вопросы .....	621
<b>Справочные материалы .....</b>	<b>624</b>
<b>Предметный указатель .....</b>	<b>628</b>

# Предисловие

Пятое издание книги «Введение в беспилотные летательные системы» было подготовлено с целью удовлетворить потребности как новичков в мире систем беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), так и опытных представителей сообщества разработчиков и пользователей БПЛА, которые нуждаются в обзорном материале и которые – несмотря на то что изложение их конкретной дисциплины может показаться элементарным – смогут получить знания о других смежных областях, формирующих беспилотную летательную систему. Материал изложен таким образом, чтобы он был легко понятен студентам-первокурсникам, а также техническим и нетехническим специалистам, работающим в сфере БПЛА. В основу легли стандартные инженерные учебники и наработки, созданные авторами в ходе их профессиональной деятельности в этой области. Большинство уравнений приведены без доказательств, и читателю рекомендуется обращаться к стандартным учебным пособиям по каждой дисциплине при переходе к практическому конструированию или анализу, так как данная книга не претендует на роль полноценного справочника по конструированию.

Эта книга также не претендует на роль основного учебного пособия с вводным курсом по аэродинамике, изображающим сенсорам или каналам связи. Скорее, ее цель – предоставить достаточный объем информации в каждой из этих и других областей, чтобы показать, как они взаимодействуют между собой при разработке комплексных беспилотных летательных систем, и дать читателю понять, как технологии во всех этих областях влияют на системные компромиссные решения, которые формируют общую конструкцию системы в целом. Таким образом, книгу можно использовать в качестве дополнительного пособия к любому из специализированных курсов для понимания общесистемного контекста для специализированного материала.

Мы надеемся, что у начинающего студента эта книга пробудит интерес к более глубокому изучению хотя бы одной из технологических областей и продемонстрирует возможности даже простейшего математического анализа этих предметов для понимания компромиссных решений, неизбежных в процессе разработки системы.

Мы надеемся, что пользователям и операторам БПЛА эта книга даст понимание того, как положенная в основу технология системы влияет на то, каким образом БПЛА выполняет свои целевые задачи, и на методы, которые оператор должен применять для их решения.

Мы надеемся, что узкопрофильному эксперту в любой из дисциплин, связанных с конструированием БПЛА, эта книга поможет лучше понять контекст, в котором должна применяться его специализация для обеспечения успеха системы в целом, а также объяснит, почему другие специалисты тратят много времени на вещи, которые кажутся такими несущественными.

Наконец, мы надеемся, что техническому руководителю эта книга поможет понять, как все части системы стыкуются друг с другом и насколько важно учитывать вопросы системной интеграции на ранних этапах конструирования – так, чтобы они принимались во внимание уже при базовом подборе конструкций подсистем. Мы также надеемся, что книга поможет понимать, о чем говорят специалисты, и, возможно, задавать правильные вопросы в критические моменты процесса разработки.

Первая часть посвящена изложению краткой истории и общему обзору БПЛА (глава 1), а также рассмотрению их классов и полетных заданий (глава 2).

Вторая часть посвящена конструкции летательного аппарата, включая основы аэродинамики, летно-технические характеристики, устойчивость и управляемость, двигательные установки и нагрузки, конструкции и материалы (главы 3–7).

В третьей части рассматривается функция планирования и управления полетными заданиями и автопилот (глава 8), а также операционное управление (глава 9).

Четвертая часть состоит из трех глав, посвященных полезной нагрузке. В главе 10 рассматриваются наиболее универсальные типы полезных грузов – сенсоры для ведения рекогносцировки и наблюдения. В главе 11 обсуждаются оружейные полезные нагрузки – класс полезных грузов, ставший особенно значимым за последние 10 лет. В главе 12 рассматриваются некоторые из множества других типов полезных грузов, которые могут использоваться на БПЛА.

Пятая часть посвящена каналам связи – телекоммуникационным подсистемам, которые используются для соединения летательного аппарата с наземными контроллерами и передачи данных, собранных бортовой полезной нагрузкой летательного аппарата. В главе 13 описываются и обсуждаются базовые функции и рабочие характеристики каналов связи. В главе 14 рассматриваются факторы, влияющие на рабочие характеристики канала связи, включая воздействие преднамеренных и непреднамеренных помех. Глава 15 посвящена влиянию различных подходов к снижению операционных требований по скорости передачи данных на работу оператора и рабочие характеристики системы в целом в условиях ограниченной ширины полосы пропускания. В главе 16 подытоживаются компромиссные варианты, связанные с разработкой канала связи, которые являются одним из ключевых элементов общесистемных компромиссных решений.

Шестая часть описывает подходы к запуску и возвращению БПЛА, включая обычные взлет и посадку, при этом затрагивая многие подходы, которые не используются в пилотируемой авиации. В главе 17 рассматриваются системы запуска, а в главе 18 – системы возвращения. Глава 19 подытоживает компромиссные варианты между различными подходами к запуску и возвращению. Глава 20 – новая глава в данном издании – посвящена основам, управлению и характеристикам БПЛА вертолетного типа и квадрокоптеров.

Книга «Введение в беспилотные летательные системы» была впервые опубликована в 1992 году. За 30 с лишним лет, прошедших с момента написания первого издания, в мире БПЛА многое произошло. В предисловии ко второму изданию (1998) мы отмечали наличие новых проблем в процессе разработки тактических БПЛА, однако упоминали и положительные моменты в виде использования БПЛА для поддержки миротворческих миссий в Боснии, а также тот факт, что в Военно-воздушных силах США впервые заговорили о возможности применения «необитаемых» боевых аппаратов, что свидетельствовало о появлении их интереса к БПЛА. В то время мы пришли к выводу, что, «несмотря на интерес и реальный прогресс в отдельных областях, по нашему мнению, вся эта сфера продолжает бороться за признание, и БПЛА пока не достигли зрелости и не заняли свое место в качестве проверенных и утвержденных инструментов».

За 30 с лишним лет, прошедших с тех пор, как мы сделали это заявление, ситуация кардинально изменилась. БПЛА получили широкое распространение в военном секторе, боевые беспилотные летательные аппараты были развернуты и использовались самым заметным образом, их часто показывали в вечерних новостях, и теперь беспилотные летательные системы выглядят серьезными соперниками следующему поколению истребителей и бомбардировщиков.

Хотя применение в гражданском секторе все еще отстает, сдерживаемое вполне реальными проблемами совместного использования общего воздушного пространства пилотируемой и беспилотной авиацией, успех военных применений стимулировал попытки решить эти вопросы и использовать БПЛА в невоенных целях.

Пятое издание было существенно переработано и реструктурировано. Мы надеемся, что внесенные правки сделали материал более четким и доступным для понимания. Также был добавлен ряд новых тем в областях, ставших наиболее значимыми в мире БПЛА за последние два десятилетия, таких как квадрокоптеры, системы автоматического управления полетами, новые виды полезных нагрузок и различные уровни автономности, которыми может обладать летательный аппарат. В нем также пересмотрен ряд деталей, которые явно утратили актуальность в ходе событий, и все главы были обновлены, чтобы познакомить с новыми терминами, концепциями и конкретными беспилотными летательными системами, появившимися за последние 12 лет. Однако с момента публикации первого издания основные подсистемы, составляющие БПЛА как «систему систем», существенно не изменились, и на том уровне, на котором они рассматриваются в этой книге, базовые проблемы и принципы конструирования остаются неизменными с момента выхода первого издания.

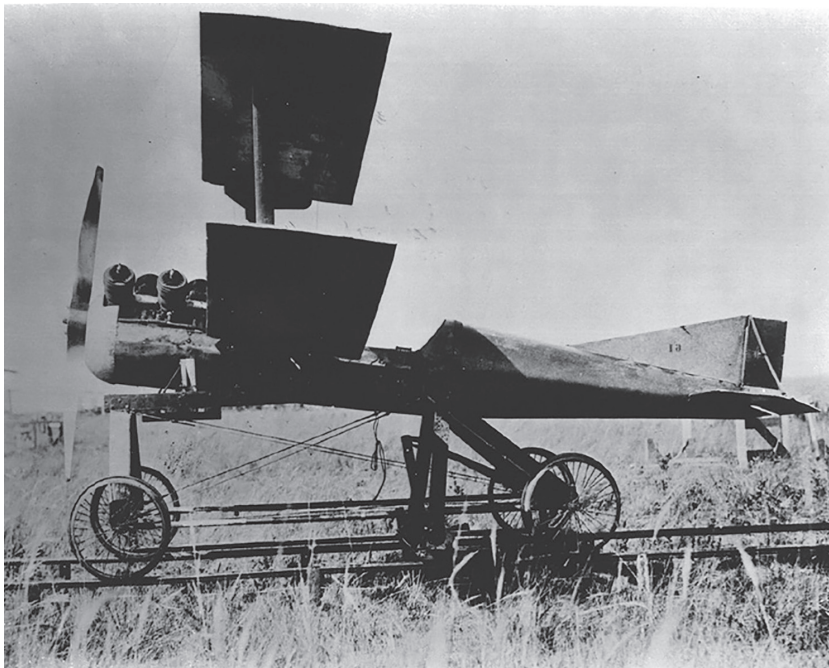
Первые два автора – к сожалению, ныне покойные – познакомились во время участия в работе группы экспертного анализа, которая пыталась диагностировать и решить серьезные проблемы в одной из ранних программ разработки БПЛА. Итоговый диагноз показал, что в процессе конструиро-

вания уделялось крайне мало внимания «системной инженерии», из-за чего различные подсистемы не работали сообща так, как это требовалось для успеха на системном уровне. Эта книга родилась из желания зафиксировать хотя бы часть «уроков», извлеченных в ходе того опыта, и сделать их доступными для тех, кто будет конструировать беспилотные летательные системы в будущем.

Дополнительные материалы, включая ответы на вопросы в конце глав, доступны для зарегистрированных преподавателей, использующих данную книгу в качестве основного учебного пособия для курса. Пожалуйста, посетите веб-сайт издательства Wiley по адресу [www.wiley.com/go/fahlstrom/uavsystems5e](http://www.wiley.com/go/fahlstrom/uavsystems5e) для получения информации и регистрации для доступа к этим ресурсам

Мы верим, что большинство извлеченных уроков достаточно универсальны, чтобы оставаться столь же применимыми сегодня, как и в те годы, когда они были получены. Мы надеемся, что эта книга поможет будущим разработчикам беспилотных летательных систем применять их на практике и избегать необходимости усваивать их снова «трудным путем».

*Мохаммад Хашем Садрей.  
Сентябрь 2021*



**«Жук» Кеттеринга.**

Данный летательный аппарат являлся экспериментальным БПЛА-снарядом, разработанным в США в конце Первой мировой войны, и считается одним из первых в мире прообразов современных крылатых ракет и БПЛА (фотография любезно предоставлена Норманом К. «Датчанином» Хейлманом)

# Часть I

## Введение

Первая часть содержит общие сведения, служащие введением в технологии беспилотных летательных аппаратов (БПЛА, от англ. *unmanned aerial vehicle*, аббр. UAV), также именуемых беспилотными летательными системами (БПЛС от англ. *unmanned aerial system*, аббр. UAS). Данная часть состоит из двух глав – 1-й и 2-й.

В главе 1 представлена краткая история БПЛА. Далее определяются и описываются функции главных элементов (подсистем), которые могут входить в состав обобщенной БПЛС. Наконец, приводится краткая история одной крупной программы разработки БПЛА, в рамках которой так и не удалось создать готовый к эксплуатации комплекс, несмотря на значительные успехи в создании многих отдельных подсистем. Этот пример дает полезные уроки о важности понимания взаимосвязей и взаимодействия подсистем БПЛС, а также о влиянии операционных требований к рабочим характеристикам на уровне всей системы в целом. Эта история приведена здесь для того, чтобы подчеркнуть значимость слова «система» в терминах «система БПЛА» и «БПЛС».

Глава 2 содержит обзор БПЛС, которые использовались ранее или эксплуатируются в настоящее время, а также рассматривает различные схемы классификации БПЛС по их размеру, продолжительности полета и/или полетным заданиям. Информация в этой главе может устареть, так как технологии многих подсистем БПЛС стремительно эволюционируют, становясь частью основного направления авиастроения после многих лет пребывания на периферии авиационной инженерии. Тем не менее понимание широкого разнообразия концепций и типов БПЛС необходимо для того, чтобы поместить последующее обсуждение вопросов конструирования и системной интеграции в соответствующий контекст. В настоящее время военные дроны используются примерно в 100 странах.

# Глава 1

## История и общий обзор

### 1.1 Общий обзор

В первой части главы рассматривается история беспилотных летательных систем (БПЛС) – от самых ранних и примитивных «летающих объектов» до событий последнего десятилетия, ставшего знаменательным периодом для БПЛС.

Вторая часть главы описывает подсистемы, входящие в состав полной конфигурации БПЛС, чтобы создать основу для последующего разбора отдельных технологий, формирующих полноценную БПЛС. Сам летательный аппарат представляет собой сложную систему, включающую конструкции, аэродинамические элементы (крылья и рулевые поверхности), силовые установки и системы управления. Кроме того, полная система включает в себя сенсоры и другие полезные нагрузки, телекоммуникационные комплекты, а также подсистемы запуска и возвращения.

Наконец, приводится поучительная история, призванная проиллюстрировать, почему так важно рассматривать БПЛС как единое целое, а не концентрироваться только на отдельных компонентах и подсистемах. Это история о БПЛС, разрабатывавшейся в период примерно с 1975 по 1985 год, которая, возможно, является самой амбициозной попыткой создания завершенного комплекса с системной точки зрения из всех, что предпринимались до настоящего времени.

Указанная БПЛС включала в себя все ключевые элементы БПЛС в полностью замкнутой форме; все подсистемы проектировались с нуля для совместной работы в качестве портативной системы, не требующей никакой локальной инфраструктуры, кроме относительно небольшого открытого поля, где можно было разместить пусковую катапультную установку и систему посадки в сеть. Эта система, получившая название «дистанционно пилотируемый аппарат (ДПА) Aquila», разрабатывалась и тестировалась в течение примерно десятилетия и обошлась почти в миллиард долларов. В конечном счете она смогла удовлетворить большинство своих операционных требований.

Система Aquila оказалась чрезвычайно дорогой и требовала для транспортировки целую автоколонну из пятитонных грузовиков. Что еще более важно, она не смогла в полной мере оправдать те нереалистичные ожида-

ния, которые сформировались за десятилетие ее разработки. Система так и не была запущена в серийное производство и не поступила на вооружение. Тем не менее она остается единственной известной авторам БПЛС, в которой была предпринята попытка создать полностью заверченный и самодостаточный комплекс. Стоит понять, что подразумевали под собой эти амбиции и как они привели к росту стоимости и сложности, из-за чего в конечном итоге от системы отказались в пользу менее совершенных, самодостаточных и способных БПЛС, которые стоили дешевле и требовали меньше наземного вспомогательного оборудования.

## 1.2 История

### 1.2.1 Ранняя история

На протяжении всей своей истории развитие БПЛС, как и многих других технологических областей, определялось военными применениями; гражданские применения, как правило, следовали за ним – после того как этапы разработки и испытаний завершались в военном секторе.

Можно сказать, что первым БПЛА был камень, брошенный пещерным человеком в доисторические времена, или, возможно, китайская ракета, запущенная в XIII веке. Эти «аппараты» практически не имели управления и, по сути, двигались по баллистической траектории. Если же ограничиться аппаратами, создающими аэродинамическую подъемную силу и/или обладающими хотя бы минимальным управлением, то определению первого беспилотного летательного аппарата (БПЛА), вероятно, соответствовал бы воздушный змей.

В 1883 году англичанин по имени Дуглас Арчибалд (Douglas Archibald) прикрепил анемометр к лееру воздушного змея и измерил скорость ветра на высотах до 1200 футов (около 365 м). В 1887 году мистер Арчибалд прикрепил к змеям камеры, создав один из первых в мире рекогносцировочных БПЛА. Уильям Эдди (William Eddy) сделал сотни фотографий с воздушных змеев во время испано-американской войны, что можно считать одним из первых случаев боевого применения БПЛА.

Однако БПЛА получили признание только после Первой мировой войны. Чарльз Кеттеринг (Charles Kettering), прославившийся в компании General Motors, разработал для корпуса связи Сухопутных войск США БПЛА-биплан. На разработку ушло около трех лет; аппарат получил название «Воздушная торпеда Кеттеринга», но более известен как «Жук Кеттеринга», или просто «Жук». «Жук» мог пролетать почти 40 миль (64 км) со скоростью 55 миль/ч (88 км/ч) и нести 180 фунтов (81 кг) мощной взрывчатки. Летательный аппарат направлялся к цели с помощью предварительно настроенных элементов управления и имел съемные крылья, которые сбрасывались над целью, позволяя фюзеляжу падать на землю подобно бомбе. Также в 1917 году Лоуренс Сперри (Lawrence Sperry) разработал БПЛА для Военно-морского флота США, похожий на беспилотник Кеттеринга, под

названием «Воздушная торпеда Сперри–Кертиса». Он совершил несколько успешных полетов с аэродрома Сперри на Лонг-Айленде, но в ходе войны так и не был задействован.

Мы часто слышим об авиаконструкторах-первопроходцах БПЛА, создавших первые летательные аппараты, однако и другие первопроходцы сыграли важную роль в изобретении или разработке важных компонентов системы. Одним из них был Арчибальд Монтгомери Лоу (Archibald Montgomery Low), разработавший каналы связи для передачи данных. Арчибальд Лоу родился в Англии в 1888 году и стал известен как «родоначальник систем радиуправления». Он разработал первый канал связи и решил проблему помех, создаваемыми двигателем БПЛА. Его первые БПЛА терпели крушение, но 3 сентября 1924 года он совершил первый в мире успешный радиоуправляемый полет. Профессор Лоу был плодовитым писателем и изобретателем; он скончался в 1956 году.

В 1933 году британцы запустили с корабля три восстановленных биплана Fairey Queen на дистанционном управлении. Два из них потерпели крушение, но третий выполнил успешный полет, благодаря чему Великобританию стала первой страной, полностью осознавшей ценность БПЛА, особенно после того, как они решили использовать один из них в качестве мишени и не смогли его сбить.

В 1937 году еще один англичанин, Реджинальд Ли Денни (Reginald Leigh Denny), совместно с двумя американцами, Уолтером Райтером (Walter Righter) и Кеннетом Кейсом (Kenneth Case), разработали серию БПЛА под названиями RP-1, RP-2, RP-3 и RP-4. В 1939 году они основали предприятие под названием Radioplane Company, которое позже вошло в состав подразделения Northrop-Ventura. В годы Второй мировой войны компания Radioplane построила тысячи дронов-мишеней. (Одной из их первых сборщиц была Норма Джин Догерти, позже ставшая знаменитой как Мэрилин Монро.) Разумеется, на более поздних этапах войны немцы использовали летальные БПЛА (V-1 и V-2), однако только в эпоху войны во Вьетнаме беспилотники начали успешно применяться для ведения рекогносцировки.

### 1.2.2 Война во Вьетнаме

Первое реальное использование БПЛА Соединенными Штатами в боевых условиях рекогносцировки началось во время войны во Вьетнаме. Беспилотники, такие как AQM-34 Firebee разработки компании Teledyne Ryan, использовались для выполнения широкого спектра полетных заданий, включая сбор разведывательных данных, создание ложных целей и разбрасывание агитационных листовок.

Во эпоху войны во Вьетнаме БПЛА широко использовались в боевых условиях, но исключительно в рекогносцировочных целях. Указанные летательные аппараты обычно запускались в воздухе с военно-транспортных самолетов C-130 «Геркулес» и возвращались на парашютах. Эти средства можно

было бы охарактеризовать как летательные аппараты глубокого проникновения, разработанные на основе существующих дронов-мишеней.

Импульсом к проведению операций БПЛА в Юго-Восточной Азии послужили события времен Кубинского ракетного кризиса: тогда для ведения рекогносцировки были разработаны БПЛА, которые, однако, не успели применить, поскольку кризис закончился до того, как они стали доступны. Одним из первых контрактов – между компанией Ryan и Военно-воздушными силами США – стал проект 147А по созданию аппаратов на базе дрона-мишени Ryan Firebee (удлиненные версии). Это произошло в 1962 году, и аппараты получили название Firefly. Хотя во время Карибского кризиса беспилотники Ryan Firefly так и не вошли в строй, они подготовили почву для проведения операций с использованием во Вьетнаме. Компания Northrop также совершенствовала свои ранние разработки – по сути, авиамодели, – доводя их до уровня реактивных дронов глубокого проникновения, однако в основном продолжала специализироваться на дронах-мишенях. В Юго-Восточной Азии основным типом применяемых аппаратов стал Ryan Firefly.

Всего было совершено 3435 вылетов, и большинство летательных аппаратов (2873, или почти 84 %) были успешно возвращены. Один из них, под названием ТОМСАТ, успешно выполнил 68 полетных заданий, прежде чем был потерян. Еще один аппарат завершил 97,3 % полетных заданий по маловысотной реально-временной аэрофотосъемке. К моменту окончания Вьетнамской войны в 1972 году успешность полетных заданий БПЛА достигала 90 % [1].

### 1.2.3 Возрождение

После окончания Вьетнамской войны общий интерес к БПЛА угас и не проявлялся до 1982 года, когда израильтяне нейтрализовали сирийскую систему ПВО в долине Бекаа, используя беспилотники для ведения рекогносцировки, глушения и в качестве ложных мишеней. В начале 1980-х годов Военно-воздушные силы Израиля стали первопроходцами в создании несколько типов БПЛА. В 1982 году американские наблюдатели отметили успех израильских беспилотников в Ливане и убедили командование военно-морских сил приобрести возможности этих БПЛА. Одним из первых БПЛА, закупленных флотом, стал RQ-2 Pioneer. Он был разработан совместно корпорацией AAI Corporation и компанией Israeli Aircraft Industries и стал крайне полезным средством сбора тактической разведывательной информации во время операции «Буря в пустыне».

На самом деле израильские БПЛА были не столь технически совершенны, как принято считать: большая часть их операционных успехов была достигнута за счет эффекта внезапности, а не за счет технической сложности. Летательный аппарат был в принципе ненадежен и не мог летать ночью, а канал связи создавал помехи для связи пилотируемого истребителя. Тем не менее они доказали, что БПЛА способны выполнять ценные боевые задачи в реальном времени в зоне ведения боевых действий.

Соединенные Штаты возобновили работу над БПЛА в августе 1971 года, когда Научный совет по вопросам обороны США рекомендовал использовать дистанционно пилотируемые мини-аппараты (мини-ДПА) для корректировки артиллерийского огня и лазерного целеуказания. В феврале 1974 года Командование материально-технического обеспечения Сухопутных войск создало подразделение по управлению разработками систем вооружения для ДПА, а к концу того же года (в декабре) контракт на «Демонстрацию системных технологий» был присужден компании Lockheed Aircraft Company. Субподряд на производство самого летательного аппарата получила компания Development Sciences Incorporated (позднее DSC, Lear Astronics, Онтарио, Калифорния). Пусковая установка была изготовлена компанией All American Engineering (позже ESCO-Datron), а система посадки в сеть – компанией Dornier из Западной Германии, в то время еще остававшейся разделенной на западную и восточную части. В тендере на участие в программе участвовало десять претендентов. Демонстрация прошла весьма успешно, доказав жизнеспособность концепции. Система эксплуатировалась личным составом Сухопутных войск США и налетала более 300 ч.

В сентябре 1978 года были утверждены операционные требования под названием «Система обнаружения целей/целеуказания и воздушной разведки» (TADARS), а примерно через год, в августе 1979 года, компании Lockheed был присужден контракт на полномасштабную инженерную разработку сроком на 43 месяца в качестве единственного поставщика. Система получила название Aquila («Аквила»); более подробно она рассматривается в конце этой главы. По ряду причин, послуживших важными уроками для разработчиков БПЛС, создание системы Aquila затянулось на долгие годы, и в итоге система так и не была принята на вооружение.

В 1984 году – отчасти из-за срочной необходимости, отчасти из-за желания командования создать конкуренцию системе Aquila – армия США запустила программу Grey Wolf. В рамках этой программы впервые для БПЛА были продемонстрированы сотни часов ночных полетов в условиях, которые можно было назвать «боевыми». Однако эта программа, часть сведений о которой до сих пор засекречена, была прекращена из-за недостаточного финансирования.

### 1.2.4 Совместные операции

Военно-морские силы и Корпус морской пехоты США вышли на арену БПЛА в 1985 году, закупив систему Pioneer совместной разработки компаний Mazlat/Israeli Aircraft Industries (IAI) и AAI. В процессе ее освоения возникли значительные трудности («болезни детского роста»), однако она до сих пор остается в строю. Тем временем Конгресс США проявил нетерпение и потребовал создания объединенного проектного управления (JPO), чтобы обеспечить максимальную общность и операционную совместимость между родами войск. Объединенное проектное управление было передано

под административный контроль Министерства Военно-морских сил. Это управление разработало генеральный план, который не только определяет задачи, но и описывает желаемые функции каждого типа систем, необходимых родам войск. Некоторые элементы этого плана будут рассмотрены в главе 2 в разделе «Классы БПЛС».

Военно-воздушные силы США изначально неохотно внедряли БПЛА, несмотря на свой богатый опыт работы с беспилотной авиацией в качестве дронов-мишеней. Однако в 1990-е годы это отношение существенно изменилось, и ВВС не только начали активно разрабатывать и использовать беспилотники для самых разных целей, но и стали проявлять наибольшую активность среди всех четырех родов войск США<sup>1</sup> в попытках взять под свой контроль все программы и ресурсы в области БПЛА в Вооруженных силах США.

### 1.2.5 Операция «Буря в пустыне»

Вторжение Ирака в Кувейт в 1990–1991 годах предоставило органам военного планирования возможность применить БПЛА в боевых условиях. Они пришли к выводу, что БПЛА являются крайне востребованным ресурсом, даже несмотря на то, что летно-технические характеристики доступных на тот момент систем во многом оставляли желать лучшего. В ходе операции использовались пять БПЛС: (1) Pioneer Вооруженных сил США, (2) Exdrone Вооруженных сил США, (3) Pointer Вооруженных сил США, (4) сверхмалый дистанционно пилотируемый самолет-разведчик MART Вооруженных сил Франции и (5) вертолетный беспилотник CL 89 Вооруженных сил Британии.

Несмотря на многочисленные невероятные истории и описания великих достижений, факты свидетельствуют о том, что БПЛА не сыграли решающей или ключевой роли в той войне. Например, согласно статье в журнале *Naval Proceedings*, опубликованной в ноябре 1991 года [2], во время наземного наступления морская пехота не обстреляла ни одной цели, обнаруженной с помощью БПЛА. Однако главным достижением стало то, что в сознании военного сообщества закрепилось понимание того, «что могло бы быть». Опыт операции «Буря в пустыне» показал, что БПЛА потенциально являются ключевой системой вооружения, и это обеспечило их дальнейшее развитие.

### 1.2.6 Босния

Операция БПЛА под эгидой НАТО в Боснии носила наблюдательный и рекогносцировочный характер. После авиаударов НАТО по военным объектам боснийских сербов в 1995 году была успешно проведе-

<sup>1</sup> В США исторически сложились четыре основных рода войск: это Сухопутные войска (US Army), Военно-морские силы (US Navy), Военно-воздушные силы (US Air Force) и Корпус морской пехоты (US Marine Corps) как отдельный род войск, организационно входящий в состав Министерства ВМС. Кроме того, в структуру Вооруженных сил США входят еще два рода войск: Космические силы (US Space Force) (с 2019 года) и Береговая охрана (US Coast Guard). – *Прим. перев.*

на оценка нанесенного ущерба. На аэрофотоснимках были четко видны сербские танки и поврежденные бомбами здания. Особое значение имела ночная разведка, так как именно под покровом темноты проводилось большинство скрытных операций. Основным БПЛА, использовавшимся в Боснии, был Predator, совершавший вылеты с авиабазы в Венгрии.

### 1.2.7 Афганистан и Ирак

Война в Ираке (длившаяся с 2003 по 2011 год) способствовала занятию беспилотными летательными аппаратами своего законного места, изменив их статус с потенциально ключевой системы вооружения, искавшей своих сторонников и полетные задания, в ключевые оружейные системы, выполняющие множество ролей, центральных для операций всех четырех родов войск. В начале войны БПЛА все еще находились в стадии разработки и их эффективность была под вопросом, однако многие опытные образцы были задействованы в операции «Иракская свобода».

В течение первого года эффективно использовался БПЛА Global Hawk, несмотря на раннюю стадию разработки. Также широко применялись беспилотники Pioneer, Shadow, Hunter и Pointer.

Во время битвы за Фаллуджу в 2004 году морская пехота выполнила сотни полетных заданий, используя БПЛА Pioneer для локализации и маркировки целей, а также отслеживания передвижений повстанцев. Они были особенно эффективны ночью и могут считаться одним из решающих видов оружия в той битве.

На полях сражений в Афганистане и Ираке прошли проверку вооруженная версия БПЛА Predator, мини-БПЛА (такие как Dragon Eye) и широкий спектр других БПЛС, доказав на деле военную ценность беспилотной авиации.

БПЛА Predator эксплуатировались в Боснии с 1995 года, а также в рамках операций «Несокрушимая свобода» в Афганистане и «Иракская свобода», налетав более 500 000 ч в ходе более чем 50 000 вылетов. Интересный факт: в 2002 году иракский истребитель-перехватчик МиГ-25 осуществил перехват БПЛА Predator, снаряженный ракетой класса «воздух–воздух». Оба летательных аппарата выпустили ракеты друг в друга; МиГ-25 уклонился, а Predator был сбит.

В ходе операции «Иракская свобода» с 18 марта по 23 апреля 2003 года Global Hawk совершил 15 вылетов, собрав более 4800 изображений.

### 1.2.8 Операции большой дальности и продолжительности полета

После террористической атаки на Всемирный торговый центр в Нью-Йорке 11 сентября 2001 года и во время войн в Ираке и Афганистане американские военные осознали высокую ценность БПЛА в ходе боевых действий и даже в операциях мирного времени. Впоследствии беспилотники нашли

множество применений по всему миру, включая войну против ИГИЛа и «Аль-Каиды»<sup>2</sup> (2013–2017), многие из которых представляли собой войны с применением средств большой дальности и продолжительности полета. Тремя лучшими БПЛА, которые использовались в ходе операций большой дальности и продолжительности полета по всему миру, были RQ-4 Global Hawk, RQ-1 Predator и MQ-9 Reaper. Именно Reaper, оснащенный ракетами, высокоточными сенсорами и обладающий относительно продолжительным полетом, стал тем беспилотником, который трансформировал облик современной войны.

В ходе операции «Несокрушимая свобода» (с ноября по сентябрь 2002 года в Афганистане) БПЛА Global Hawk передал более 17 000 изображений высокого разрешения в режиме времени, близком к реальному, для целей разведки, наблюдения и рекогносцировки, выполнив более 60 боевых полетных заданий и проведя более 1200 ч в боевых условиях. К 2015 году налет БПЛА Global Hawk превысил 140 000 ч (из них 100 000 – боевых), превзойдя плановые цели по рабочим характеристикам. Ниже приводится краткое описание трех недавних проектов БПЛА класса HALE (аппаратов большой высотности и большой продолжительности полета), выполнявших полетные задания псевдоспутников.

В 2020 году компания Swift Engineering [3] в партнерстве с агентством NASA разработала БПЛА Swift класса HALE, чтобы продемонстрировать, как успешный высотный полет большой продолжительности может расширить возможности научных исследований экономичным и оперативным образом. Этот БПЛА на солнечных ячейках имеет размах крыла 72 фута (около 22 м) и весит менее 180 фунтов (81 кг). Он способен нести полезные нагрузки весом 10–15 фунтов (4,5–6,8 кг) и предназначен для работы на высоте 70 000 футов (21 300 м) в течение 30 дней и более.

Кроме того, компания BAE Systems разрабатывает стратосферный БПЛА на солнечных ячейках, который может служить резервным вариантом при выходе из строя спутников связи. Phasa-35 сконструирован для работы на высотах до 70 000 футов (21 300 м). Этот БПЛА класса HALE с размахом крыла 115 футов (35 м) способен оставаться в воздухе до одного года без возвращения на землю.

Более того, была разработана и испытана беспилотная летательная система Airbus Zephyr, предназначенная для применения в качестве сверхлегкого высотного псевдоспутника. Однако в 2020 году этот БПЛА разрушился в воздухе, попав в нестабильные атмосферные условия, что привело к серии произвольных кренов и неуправляемому спиральному спуску.

## 1.3 Обзор беспилотных летательных систем

Основным элементом беспилотной летательной системы является сам летательный аппарат. В литературе для его обозначения используется

<sup>2</sup> Деятельность указанных организаций запрещена на территории Российской Федерации. – Прим. перев.

ряд названий, в том числе: (1) беспилотный летательный аппарат (также беспилотник), (2) дистанционно пилотируемый аппарат (ДПА, англ. RPV), (3) радиоуправляемый самолет, (4) авиамодель, (5) дистанционно пилотируемый самолет (ДПС, англ. RPA) и (6) дрон. Термин «ДПА» является самым старым и в настоящее время используется редко. Термины «радиоуправляемый самолет» и «авиамодель» в основном используются любителями, авиамоделистами и Академией модельной аэронавтики (крупнейшей в мире ассоциацией модельной авиации)<sup>3</sup>, а слово «дрон» преимущественно используется в средствах массовой информации.

Все они, конечно же, являются беспилотными, поэтому названия «беспилотный летательный аппарат», «беспилотник» или «БПЛА» можно рассматривать как обобщенные. Отдельно для приверженцев точности терминологии «дистанционно пилотируемый аппарат» – это аппарат, которым управляет или который направляет пилот, находящийся на удалении с дистанционно расположенного места, поэтому ДПА всегда является беспилотником, но беспилотник, который может выполнять автономные или предварительно запрограммированные полетные задания, не обязательно всегда является ДПА.

Раньше все подобные аппараты назывались дронами, что, согласно *словарю Вебстера*, означает «беспилотный самолет, управляемый по радио». Сегодня в сообществе разработчиков и пользователей БПЛА термин «дрон» не используется, за исключением обозначения аппаратов, которые не обладают достаточной гибкостью, чтобы выполнять сложные полетные задания, и летают в неизменно однообразном, монотонном и безучастном режиме (например, дроны-мишени). Это, однако, не помешало прессе и широкой общественности принять слово «дрон» в качестве удобного, хотя и технически неверного, общего термина для обозначения БПЛА. И поэтому даже самый совершенный летательный аппарат с развитыми функциями полуавтономного полета, скорее всего, попадет в заголовки утренних газет или вечерних новостей именно как «дрон».

Независимо от того, управляется ли БПЛА вручную или с помощью запрограммированной навигационной системы, его не обязательно рассматривать как объект, который требует «пилотирования», т. е. управления кем-то, обладающим умениями пилота. БПЛА, используемые в войсках, обычно оснащены автопилотами и навигационными системами, которые автоматически поддерживают пространственную ориентацию и высоту, а также наземную линию пути.

Ручное управление обычно означает управление положением БПЛА путем ручной регулировки курса, высоты, скорости и т. д. с помощью переключателей, джойстика или какого-либо указывающего устройства (мышь или трекбола), расположенного на наземной станции управления (НСУ), при этом автопилот придает аппарату устойчивость и берет управление на себя, когда заданный курс достигнут. Навигационные системы различных

<sup>3</sup> См. <https://www.modelaircraft.org>.

типов (система глобального позиционирования (GPS), радионавигация, инерциальные системы) позволяют выполнять заранее запрограммированные полетные задания, которые можно переопределять вручную.

Типичная БПЛС состоит как минимум из летательного аппарата, одной или нескольких наземных станций управления (НСУ) и/или станций планирования и управления (СПУ) полетными заданиями, полезной нагрузки и канала связи. В дополнение к этому многие системы включают в себя подсистемы запуска и возвращения, средства транспортировки летательных аппаратов и другое наземное оборудование для обслуживания и эксплуатации. Простейшая типовая БПЛС показана на рис. 1.1.

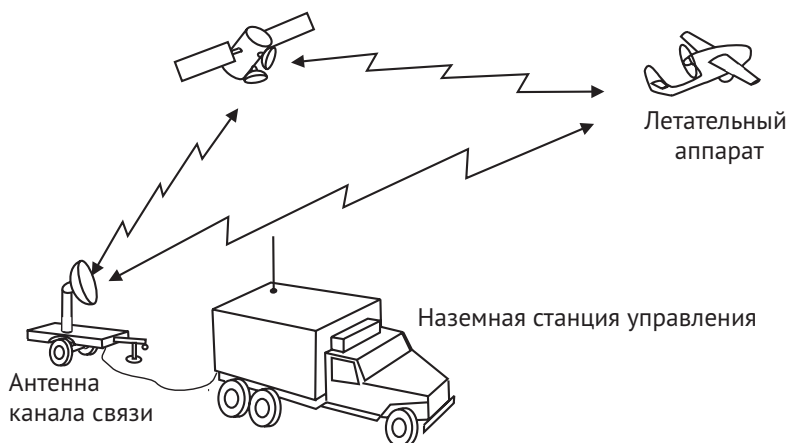


Рис. 1.1. Обобщенная БПЛС

### 1.3.1 Летательный аппарат

Летательный аппарат – это переносимая по воздуху часть беспилотной летательной системы, которая включает в себя планер, двигательную установку, органы управления полетом и систему электропитания. На борту летательного аппарата устанавливается бортовой терминал данных, который является воздушной частью канала связи. Полезная нагрузка также находится на борту летательного аппарата, но она считается независимой подсистемой, которая зачастую легко взаимозаменяема между другими аппаратами и разрабатывается специально для выполнения одного или нескольких разных полетных заданий. В качестве аппарата для передвижения по воздуху может выступать планер с неподвижным крылом, вращающееся/роторное крыло (одно или несколько) или канальный вентилятор (т. е. в кольцевом обтекателе). Аппараты легче воздуха также могут классифицироваться как БПЛА.

### 1.3.2 Станция планирования и управления полетными заданиями

Станция планирования и управления полетными заданиями (СПУ, также именуемая наземной станцией управления – НСУ) – это операционный центр управления БПЛС, где обрабатываются и отображаются видео, команды и телеметрические данные с борта летательного аппарата. Эти данные обычно передаются через наземный терминал, который является наземной частью канала связи. Внутри модуля СПУ размещаются средства планирования полетных заданий, пульта управления и индикации, видео- и телеметрическая аппаратура, группа вычислительной обработки данных и сигналов, наземный терминал данных, телекоммуникационное оборудование, а также системы жизнеобеспечения и защиты.

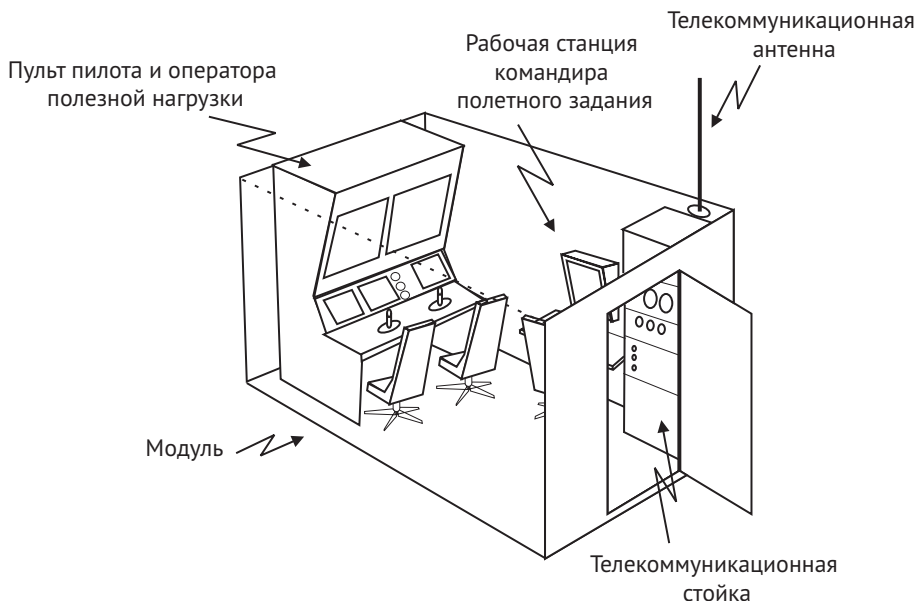
СПУ также может служить командным пунктом для лица, осуществляющего планирование полетных заданий, получающего боевые задачи от вышестоящего штаба и передающего полученные данные и информацию соответствующему подразделению, будь то службе управления огнем, разведке или органу командного управления и контроля (УиК), например командиру полетного задания. На станции обычно есть рабочие места как для оператора летательного аппарата, так и для оператора полезной нагрузки полетного задания, которые осуществляют мониторинг и исполнение полетного задания.

В некоторых малых БПЛС наземная станция управления размещается в футляре, который можно носить в рюкзаке и разворачивать прямо на земле. Она состоит лишь из пульта дистанционного управления и некоего дисплея, работа которых, как правило, обеспечивается встроенными микропроцессорами или защищенным ноутбуком.

На другом полюсе находятся наземные станции, расположенные в стационарных сооружениях за тысячи километров от места полета летательного аппарата; для поддержания связи с ним в этом случае используются спутниковые ретрансляторы. При такой схеме пульта операторов могут находиться во внутреннем помещении большого здания и быть подключены к спутниковым антеннам на крыше. Типовая полевая СПУ для БПЛА большой дальности показана в разрезе на рис. 1.2.

### 1.3.3 Оборудование для запуска и возвращения

Запуск и возвращение осуществляются самыми разными способами: от традиционного взлета/посадки на подготовленные площадки до вертикального набора высоты/спуска с использованием систем на основе роторных крыльев или вентиляторов в кольцевом обтекателе. Также популярными методами запуска летательных аппаратов являются катапульты, использующие либо пиротехнические (ракетные) средства, либо комбинированные пневматические и гидравлические средства. Некоторые малые БПЛА запускаются с руки – их, по сути, просто подбрасывают в воздух, как грушечный планер.



**Рис. 1.2.** Станция планирования и управления полетными заданиями для БПЛА большой дальности

Для захвата БПЛА самолетного типа<sup>4</sup> на ограниченном пространстве применяются сети и устройства принудительного торможения – аэрофинишеры. Для приземления на небольшие площадки и точечного возвращения аппаратов на базу используются парашюты и парафойлы (парашюты-крылья). Одним из преимуществ летательного аппарата вертолетного или вентиляторного типа является то, что для них обычно не требуется сложное пусковое и посадочное оборудование. Тем не менее для выполнения операций с палубы качающегося корабля даже вертолетным аппаратам потребуются удерживающие устройства, если только качка корабля не минимальна.

### 1.3.4 Полезные нагрузки

Несение полезной нагрузки – это главная причина существования любой беспилотной летательной системы, и иногда она является самой дорогой подсистемой БПЛА. Для выполнения полетных заданий по рекогносцировке и наблюдению полезная нагрузка часто включает в себя видеокамеры, работающие как в дневном, так и ночном режиме (усилители изображений или тепловые инфракрасные). В прошлом в БПЛС широко применялись пленочные фотоаппараты, но сегодня они практически полностью

<sup>4</sup> Здесь и далее по тексту летательный аппарат самолетного типа – это БПЛА с неподвижным крылом, а летательный аппарат вертолетного типа – это БПЛА с вертящимся или роторным крылом. – *Прим. перев.*

вытеснены электронными средствами сбора и хранения изображений, как это произошло во всех других сферах использования видеoinформации. В настоящее время видеокамеры являются самым востребованным типом полезных нагрузок БПЛА.

Если требуется целеуказание, к изображающему устройству добавляется лазер, что приводит к резкому увеличению стоимости. Важными типами полезных нагрузок БПЛА, выполняющих полетные задания по рекогносцировке, также являются радиолокационные сенсоры, в которых часто используются технологии селекции движущихся целей (СДЦ) и/или радиолокационного синтезирования апертуры (РСА). Еще одной крупной категорией полезных нагрузок являются системы радиоэлектронной борьбы (РЭБ). Они включают в себя полный спектр средств радиоэлектронной разведки (РЭР) и оборудования для организации глушения. В качестве полезных нагрузок БПЛА предлагались и другие сенсоры, такие как метеорологические и химические.

Вооруженные БПЛА несут оружие для ведения огня, сброса или запуска. Летальные БПЛА оснащаются взрывчаткой или боеголовками других типов и преднамеренно сбрасываются на цели. Как отмечается в других разделах этой книги, между БПЛА, крылатыми ракетами и другими типами ракет существует значительное пересечение. Принципы конструирования ракет как «однозарядных» систем, предназначенных для самоуничтожения в конце одного полета, отличаются от принципов создания многоразовых БПЛА. Данная книга ориентирована на многоразовые системы, хотя многое из сказанного применимо и к расходным (одноразовым) системам.

Еще одно применение БПЛА – использование их в качестве платформ для ретрансляции данных и связи. Это позволяет расширять зоны покрытия и дальности радиочастотных систем, работающих в пределах прямой видимости, включая каналы связи, которые используются для управления самими БПЛА и возврата данных пользователям БПЛА.

### 1.3.5 Каналы связи

Канал связи, или канал данных, является ключевой подсистемой любого БПЛА. В БПЛС канал связи обеспечивает двустороннюю связь (т. е. восходящую и нисходящую линии) либо по запросу, либо на постоянной основе. Восходящая линия канала связи со скоростью передачи данных в несколько килобит в секунду обеспечивает управление полетной траекторией летательного аппарата и подачу команд его полезной нагрузке. Нисходящая линия канала связи включает в себя как низкоскоростную линию для подтверждения команд и передачи телеметрии (данных о состоянии летательного аппарата), так и высокоскоростную линию (1–10 Мбит/с) для данных от сенсоров, таких как видеокамера и радиолокатор.

Канал связи также может использоваться для измерения координат летательного аппарата путем определения его азимута и дальности относительно антенны наземной станции. Эта информация применяется для со-

действия навигации и точного определения местоположения летательного аппарата (например, его высоты). Другие полетные параметры, такие как воздушная скорость, вертикальная скорость набора высоты и направление, обычно передаются по нисходящей линии канала связи на СПУ.

Для обеспечения эффективности в боевых условиях каналы связи должны обладать определенными возможностями по защите от глушения и дезинформации.

Наземный терминал данных (НТД) обычно представляет собой микроволновую электронную систему с антенной, обеспечивающую связь в пределах прямой видимости (иногда через спутник или другие ретрансляторы) между СПУ и самим летательным аппаратом. Он может располагаться рядом с модулем СПУ или дистанционно. В случае дистанционного размещения НТД обычно соединяется с СПУ проводной связью (нередко по волоконно-оптическим кабелям). НТД передает команды наведения и команды для полезной нагрузки и получает информацию о состоянии полета (высоте, скорости, направлении и т. д.) и данные с сенсоров полезной нагрузки полетного задания (видеоизображения, дальность до цели, пеленги и т. д.).

Бортовой терминал данных (БТД) является воздушной частью канала связи. Он включает в себя передатчик с антенной для передачи видео и полетных данных, а также приемник для получения команд с земли.

### **1.3.6 Наземное вспомогательное оборудование**

Наземное вспомогательное оборудование (НВО) становится все более важным, поскольку БПЛС представляют собой сложные электронные и механические системы. НВО для БПЛА большой дальности включает в себя: (1) оборудование для тестирования и технического обслуживания, (2) запасные части и других расходные материалы, (3) запас топлива и любое запасное оборудование для конкретного летательного аппарата, (4) оборудование для наземного перемещения аппаратов, если они не являются переносными или не предназначены для передвижения на шасси, и (5) генераторы для питания всего остального вспомогательного оборудования.

Если наземные станции БПЛС должны обладать мобильностью, а не быть неподвижными объектами в зданиях, то НВО должно включать транспортные средства для всего перечисленного ранее. Также необходим транспорт для перевозки запасных летательных аппаратов и личного состава, образующего наземный расчет, включая модуль для их проживания и работы, а также продовольствие, одежду и другое личное имущество.

Как можно заметить, полностью замкнутая мобильная БПЛС нуждается в большом количестве вспомогательного оборудования и грузовых автомобилей различных типов. Это относится даже к тем летательным аппаратам, которые рассчитаны на подъем и переноску силами трех или четырех человек.

## 1.4 Aquila

Американская беспилотная летательная система под названием Aquila («Аквила») стала уникальным примером ранней разработки полностью интегрированной системы. Это была одна из первых БПЛС, которая планировалась и конструировалась как комплекс с уникальными компонентами для запуска, возвращения и выполнения тактических операций. Aquila представляла собой систему, содержащую все составляющие обобщенной системы, описанной ранее. История этого проекта также наглядно иллюстрирует, почему важно учитывать сочетаемость всех частей БПЛС друг с другом и их способность работать сообща, что коллективно влияет на стоимость, сложность и расходы на техническое обслуживание системы. На протяжении всей книги мы будем использовать уроки, извлеченные дорогой ценой в ходе реализации программы Aquila, чтобы иллюстрировать проблемы, которые по-прежнему актуальны для тех, кто занимается формулированием операционных требований к БПЛС, а также конструированием и интеграцией систем, призванных этим требованиям соответствовать.

В 1971 году, более чем за десятилетие до израильского успеха в долине Бекаа, армия США успешно запустила демонстрационная программа разработки БПЛА и расширила ее, включив в состав высокотехнологичный сенсор и канал связи. Технология сенсоров и каналов связи в рамках этого проекта стали прорывными в области возможностей обнаружения, связи и управления. В 1978 году программа перешла в стадию официальной разработки с 43-месячным графиком на создание готовой к серийному производству системы. Срок реализации программы был продлен до 52 месяцев, так как сверхсложный канал связи (модульная интегрированная телекоммуникационная и навигационная система, или МИТНС) столкнулся с техническими трудностями и задержками. Затем по неизвестным промышленности причинам командование полностью закрыло программу. Впоследствии она была возобновлена Конгрессом США (примерно в 1982 году), но ценой продления срока разработки до 70 месяцев. С того момента дела пошли все хуже и хуже.

В 1985 году группа экспертного анализа (так называемая красная команда), сформированная для проверки системы, пришла к выводу, что система не только не достигла уровня зрелости, необходимого для запуска в производство, но и что при системной инженерии не были должным образом учтены недостатки интеграции канала связи, системы управления и полезной нагрузки, – и, вероятно, система все равно не была бы работоспособной. После еще двух лет интенсивных усилий правительства и подрядчика многие проблемы были устранены, однако в ходе операционных испытаний II система так и не смогла продемонстрировать все требуемые на тот момент способности и в серийное производство запущена не была.

Уроки, извлеченные из программы Aquila, по-прежнему важны для каждого, кто участвует в формировании операционных требований, констру-

ировании или интеграцией БПЛС. В главах этой книги, посвященных полезным нагрузкам для ведения рекогносцировки и наблюдения, а также каналам связи, мы будем неоднократно обращаться к ним, поскольку системные проблемы Aquila во многом заключались в непонимании принципов работы этих подсистем и их взаимодействия друг с другом, с внешней средой и с базовыми процессами, такими как контур управления, связывающий наземного оператора с летательным аппаратом и его бортовыми системами.

### 1.4.1 Полетные задания и операционные требования

Система Aquila была разработана для обнаружения целей и получения боевой информации в реальном времени за пределами прямой видимости поддерживаемых наземных подразделений. В ходе выполнения любого полетного задания БПЛС Aquila была способна осуществлять воздушное обнаружение и захват цели, осуществлять лазерное целеуказание для управляемых боеприпасов точного наведения, оценивать повреждения цели и вести рекогносцировку поля боя (днем или ночью). Это весьма обширное операционное требование.

Для его выполнения батарее Aquila требовалось 95 человек личного состава, 25 пятитонных грузовиков, 9 грузовиков меньшего размера, а также ряд прицепов и другого оборудования, что для переброски по воздуху требовало нескольких вылетов военно-транспортного самолета Lockheed C-5 Galaxy. Весь этот комплекс обеспечивал эксплуатацию и управление 13 летательными аппаратами. Операционная концепция предполагала использование центрального узла запуска и возвращения, где производился запуск, возвращение и техническое обслуживание. Летательный аппарат пилотировался к переднему краю своих войск, после чего управление им передавалось подразделению управления на переднем крае, состоящему в основном из наземной станции управления, с которой велись боевые операции.

Планировалось, что в конечном итоге наземная станция управления в составе подразделения управления на переднем крае будет уменьшена в размерах и сможет перевозиться на высококомобильной многоцелевой колесной автомашине HMMWV («Хамви»), чтобы обеспечить повышенную мобильность и уменьшить размер цели при работе вблизи передового края своих войск. Батарея системы Aquila придавалась корпусу сухопутных войск. Центральный узел запуска и возвращения прикреплялся к дивизионной артиллерии, поскольку батарея поддерживала дивизию. Подразделение управления на переднем крае придавалось маневренной бригаде.

### 1.4.2 Летательный аппарат

Летательный аппарат Aquila представлял собой бесхвостое летающее крыло с размещенной сзади 26-сильной двухтактной поршневой двига-

тельной установкой и толкающим винтом. На рис. 1.3 показан внешний вид летательного аппарата Aquila. Длина фюзеляжа составляла около 2 м, а размах крыла – 3,9 м. Планер был изготовлен из кевлар-эпоксидного материала, но имел металлизированное покрытие, чтобы радиолокационные волны не проникали под обшивку и не отражались от квадратных блоков электроники внутри. Максимальный взлетный вес составлял около 265 фунтов (120 кг), аппарат мог развивать полетную скорость от 90 до 180 км/ч на высоте около 12 000 футов (3650 м).

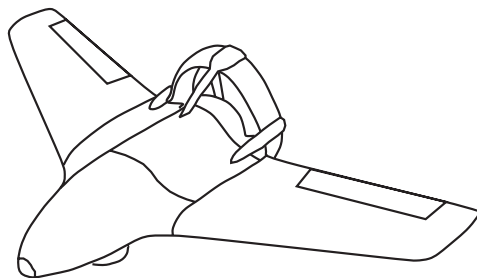


Рис. 1.3. Летательный аппарат Aquila

### 1.4.3 Наземная станция управления

Наземная станция управления (НСУ) системы Aquila включала в себя три пульта управления и индикации, контрольно-измерительную аппаратуру для видео и телеметрии, группу вычислительной техники и обработки сигналов, телекоммуникационное оборудование для внутренней и внешней связи, средства управления наземным терминалом данных (НТД) и средства жизнеобеспечения.

НСУ служила командным пунктом для командира полетного задания и была оснащена пультами управления и отображения данных для оператора аппарата, оператора полезной нагрузки и командира полетного задания. Электропитание НСУ обеспечивалось генератором мощностью 30 кВт, второй аналогичный генератор использовался в качестве резервного. К НСУ с помощью 750-метрового волоконно-оптического кабеля подключался выносной наземный терминал (ВНТ). ВНТ состоял из следящей параболической антенны, передатчика, приемника и другой электроники, смонтированных на прицепе как единый блок. Этот терминал получал данные по нисходящей линии канала связи от летательного аппарата: информацию о состоянии полета, данные от сенсоров полезной нагрузки и видео. ВНТ передавал на борт летательного аппарата команды управления и команды для полезной нагрузки полетного задания. Для работы терминал должен был поддерживать прямую видимость с летательным аппаратом. Он также должен был измерять дальность и азимут до летательного аппарата в навигационных целях, при этом общая точность системы зависела от устойчивости станины терминала.

### 1.4.4 Запуск и возвращение

Система запуска Aquila включала в себя блок инициализации, соединенный с ВНТ. Он управлял последовательностью процедуры запуска, включая инициализацию инерционной платформы. Катапульта представляла собой пневмогидравлическую систему, которая придавала летательному аппарату необходимую для взлета воздушную скорость.

Возвращение аппарата осуществлялось в сетевой барьер, установленный на пятитонном грузовике. Сеть поддерживалась гидравлическими складными рычагами, на которых также было размещено оборудование наведения для автоматического вывода летательного аппарата точно в сеть.

### 1.4.5 Полезная нагрузка

Полезная нагрузка системы Aquila представляла собой оптико-электронную (ОЭ) видеокамеру дневного видения с соосно установленным лазерным дальномером-целеуказателем для подсветки целей. После захвата – как движущейся, так и неподвижной – цели система практически не давала промахов. Лазерный дальномер-целеуказатель был оптически выровнен и автоматически приведен к единой оси с видеокамерой. Режимы сопровождения сцены и следования за объектом обеспечивали стабилизацию прямой видимости и автосопровождение для точной локализации и сопровождения движущихся и неподвижных целей. Также в стадии разработки находилась полезная нагрузка инфракрасного (ИК) ночного видения для использования с системой Aquila.

### 1.4.6 Другое оборудование

В состав наземного вспомогательного оборудования батареи входил грузовик для наземного обслуживания летательных аппаратов, который был оснащен подъемным краном. Подъемный кран был необходим не из-за чрезмерного веса самого аппарата, а из-за того, что транспортировочный контейнер имел свинцовую защиту для противодействия ядерному излучению. В дополнение к этому для проведения технического обслуживания на уровне подразделения использовался ремонтный модуль (то же на базе пятитонного грузовика), который также являлся частью материальной базы батареи.

### 1.4.7 Краткий итог

Система Aquila обладала всем, что только можно представить в составе «полноценной БПЛС»: пусковой установкой с «нулевой дистанцией разбега», системой автоматического возвращения в сеть с «нулевой дистанцией пробега», защищенным от глушения каналом связи, а также дневной и ночной полезными нагрузками с целеуказателем. Однако все это обошлось очень дорого – не только в долларах, но и с точки зрения численности личного состава, количества грузовиков и оборудования. В итоге комплекс стал

громоздким и неповоротливым, что и привело к его краху. Все это оборудование было необходимо для удовлетворения детальных операционных и конструкционных требований, предъявляемых армией к системе Aquila, включая требования по выживаемости при ядерном взрыве и радиационном воздействии (именно это внесло значительный вклад в увеличение габаритов и веса узлов управления и станины ВНТ). Со временем было установлено, что многие компоненты системы можно сделать меньше и легче, установив их на внедорожники «Хамви» вместо пятитонных грузовиков, но к тому времени вся система приобрела плохую репутацию из-за:

- нахождения в разработке более 10 лет;
- очень высокой стоимости;
- потребности в большой численности личного состава, большой автоколонны тяжелых грузовиков для обеспечения мобильности и обширного вспомогательного оборудования;
- широко распространенного мнения о низкой надежности (что было обусловлено сложностью канала связи, бортовых подсистем и системы возвращения с нулевой дистанцией пробега);
- неспособности соответствовать некоторым операционным ожиданиям, которые были нереалистичными, но которым позволили сформироваться в ходе программы разработки, поскольку создатели системы не понимали ее ограничений.

Главным среди операционных «разочарований» стало то, что система Aquila оказалась неспособной проводить поиск на больших площадях малых групп просачивающейся техники и тем более пехоты. Эта недоработка была вызвана ограничениями поля зрения и разрешения сенсоров, а также недочетами в системной реализации способности осуществлять поиск. Частично это было связано с непониманием того факта, что поиск объектов с помощью изображающего сенсора на БПЛА требует наличия специально обученного личного состава, владеющего методиками поиска и интерпретации получаемых изображений. Источники этих проблем и некоторые способы их минимизации за счет более качественной системной реализации процедур площадного поиска рассматриваются при изложении вопросов, связанных с изображающими сенсорами в четвертой части и каналами связи в пятой части книги.

Программа Aquila была прекращена как провальная, несмотря на то что ей удалось создать целый ряд подсистем и компонентов, которые по отдельности отвечали всем предъявляемым операционным требованиям. Группа экспертного анализа армии США пришла к выводу, что в фазах определения концепции и конструирования наблюдалось повсеместное отсутствие системного подхода. Этот провал затормозил усилия США по массовому оснащению армии тактическими БПЛС, но открыл дверь для серии мелкомасштабных «экспериментов» с использованием менее дорогих и менее сложных летательных аппаратов, разработанных и предложенных растущей сетью частных малых предприятий-производителей БПЛА.

Эти летательные аппараты обычно представляли собой либо увеличенные авиамодели традиционной компоновки, либо малые легкие самолеты. При базировании на суше они, как правило, взлетали и приземлялись на взлетно-посадочные полосы; в их конструкции не предпринималось попыток снизить радиолокационную сигнатуру (заметность), а меры по снижению инфракрасной или акустической сигнатуры были минимальными или отсутствовали вовсе. Кроме того, они редко оснащались лазерными целеуказателями или иными средствами активного участия в наведении оружия.

Они, как правило, не имели четко прописанной громоздкой структуры обеспечения. Хотя им требовалась почти такая же техническая поддержка, как и системе Aquila, зачастую они получали ее от персонала компании-подрядчика, который направлялся вместе с системами для решения конкретных задач по мере необходимости.

Операционные требования к БПЛА, появившиеся после проекта Aquila, учитывают высокую стоимость «полностью» автономных систем, поэтому ряд требований по самодостаточности, которые в свое время довели конструкцию Aquila до крайностей, были смягчены. В частности, многие БПЛА наземного базирования в настоящее время либо достаточно малы, чтобы запускаться с руки и возвращаться путем мягкой аварийной посадки, либо сконструированы под взлет и посадку на взлетно-посадочных полосах. Все или почти все они используют систему глобального позиционирования (GPS). Многие применяют спутниковую передачу данных, что позволяет размещать наземные станции на стационарных установках вдали от зоны ведения боевых действий и исключать канал связи из перечня подсистем, считающихся частью БПЛС.

Тем не менее проблемы лимитированного поля зрения и разрешения изображающих сенсоров, ограничения на скорость передачи данных по нисходящим линиям, а также задержки и запаздывания в контуре управления «земля–воздух», которые были ключевыми для проекта Aquila, сохраняются и сегодня. Более того, они могут усугубляться при использовании спутниковой передачи данных и контуров управления, опоясывающих весь земной шар. Одной из целей данного пособия является ознакомление руководителей программ, конструкторов, системных интеграторов и пользователей БПЛА с основами этих и других столь же универсальных вопросов конструирования и интеграции БПЛС.

## 1.5 Global Hawk

### 1.5.1 Операционные требования к полетным заданиям и разработка

Потребность в системе типа Global Hawk возникла по итогам операции «Буря в пустыне» (1991). БПЛА Global Hawk предназначался для дополнения или замены устаревающего парка самолетов-разведчиков U-2. Он

представляет собой усовершенствованную беспилотную летательную систему для ведения разведки, наблюдения и рекогносцировки (РНР). Стратегия программы разработки этого БПЛА включала четыре фазы, которые должны были быть завершены в период с 1994 по 1999 год.

Впервые аппарат поднялся в воздух на авиабазе Эдвардс ВВС США в Калифорнии в субботу, 28 февраля 1998 года. В апреле 2001 года Global Hawk стал первым БПЛА, пересекшим Тихий океан, совершив перелет из Соединенных Штатов в Австралию. Все полетное задание, включая взлет и посадку, было выполнено беспилотником в автономном режиме, как и планировалось.

В течение 16 месяцев на двух аппаратах был проведен в общей сложности 21 испытательный полет с суммарным налетом 158 ч. Система была принята на вооружение в 2001 году и вышла на стадию серийного производства в 2003 году. Аппараты Global Hawk, за которыми посменно следят пилоты на наземной станции управления в Калифорнии, выполняют 24-часовые полетные задания, при этом их эксплуатация обходится дешевле, чем пилотируемого самолета Lockheed U-2.



Рис. 1.4. БПЛА Global Hawk

(Источник: Бобби Цапка / «Викисклад» / общественное достояние)

## 1.5.2 Летательный аппарат

Беспилотная летательная система Global Hawk состоит из летательного аппарата, полезных грузов, каналов связи, наземных станций и логистического вспомогательного комплекта. Global Hawk является крупнейшим из ныне эксплуатируемых БПЛА с успешным опытом полетов, относящимся к классу аппаратов большой высоты и продолжительности полета (HALE). Global Hawk (рис. 1.4) оснащен одним турбовентиляторным двигателем AE 3007H, установленным вверху хвостовой части фюзеляжа и поставляемым компанией Rolls-Royce. Двигатель расположен на верхней

поверхности хвостовой секции фюзеляжа, а сопло двигателя расположено между V-образными плоскостями хвостового оперения.

Крыло и хвостовое оперение изготовлены из графитовых композиционных материалов. На крыле имеются точки подвески для внешнего подвесного оборудования. Алюминиевый фюзеляж содержит герметичные отсеки для полезных грузов и бортового радиоэлектронного оборудования. V-образная форма хвостового оперения обеспечивает пониженную радиолокационную и инфракрасную сигнатуру. Некоторые массогабаритные и летно-технические характеристики БПЛА Global Hawk приведены в табл. 1.1.

**Таблица 1.1.** Массогабаритные и летно-технические характеристики БПЛА RQ-4B Global Hawk

№	Параметр	Значение (единица измерения)
1	Размах крыла	39,9 м
2	Длина	14,5 м
3	Максимальный взлетный вес/масса	14 628 кг
4	Вес внешней полезной нагрузки	3 000 фунтов (прим. 1360 кг)
5	Вес внутренней полезной нагрузки	750 фунтов (прим. 320 кг)
6	Тяга турбовентиляторного двигателя	34 кН
7	Максимальная скорость	630 км/ч (340 узлов)
8	Дальность полета	22 779 км
9	Продолжительность полета	32 ч
10	Практический потолок полета	60 000 футов (прим. 18,3 км)

Главная система навигации и управления состоит из двух систем: инерциальной навигационной системы и системы глобального позиционирования (ИНС/GPS). Полет аппарата осуществляется путем ввода определенных путевых точек в полетное задание. Наземная станция управления (НСУ) состоит из двух элементов: модуля запуска и возвращения (МЗВ) и модуля управления полетным заданием. Первый располагается в базе летательного аппарата; он обеспечивает запуск и возвращение летательного аппарата, а также проверку работоспособности и состояния различных бортовых систем. Второй модуль используется для управления всем полетным заданием – с момента взлета до посадки.

В конструкцию Northrop Grumman RQ-4B Global Hawk, по сравнению с версией RQ-4A, было внесено множество изменений. Например, у RQ-4B Global Hawk на 50 % увеличена полезная нагрузка, увеличен размах крыла (39,9 м) и длина фюзеляжа (14,5 м), а также установлен новый генератор, обеспечивающий на 150 % больше электроэнергии. Хотя RQ-4B несет больше топлива, чем RQ-4A, он имеет немного меньшую дальность и продолжительность полета из-за возросшего максимального взлетного веса.

### 1.5.3 Полезные нагрузки

Изначально БПЛА RQ-4A был оснащен тремя сенсорами (в качестве полезной нагрузки): оптико-электронным/инфракрасным и двумя радиолокационными сенсорами с синтезированной апертурой (РСА). В версии RQ-4B эти датчики, расположенные под днищем фюзеляжа в составе интегрированного комплекса сенсоров, были усовершенствованы. Основной вектор модернизации летательного аппарата с течением времени был сосредоточен именно на сенсорах. Проведенная доработка позволила увеличить дальность как системы РСА, так и инфракрасной системы примерно на 50 %.

### 1.5.4 Телекоммуникационная система

Global Hawk оснащен широкополосным спутниковым каналом передачи данных и каналом связи в пределах прямой видимости. Передача данных осуществляется через: (1) спутниковую связь  $K_u$ -диапазона, (2) линии связи X-диапазона в пределах прямой видимости и (3) спутниковую и прямую связь в УВЧ-диапазоне. Радиолокатор с синтезированной апертурой и селектор движущихся наземных целей работают в X-диапазоне с шириной полосы частот 600 МГц.

Управление воздушным движением и командное управление и контроль (УиК) в отношении БПЛА Global Hawk агентства NASA из Центра летных исследований Драйдена осуществляется в двух разных зонах: (1) в пределах прямой видимости и (2) за пределами прямой видимости. Связь в прямой видимости обеспечивается через каналы УВЧ/ОВЧ. Основными каналами связи для работы за пределами прямой видимости являются две спутниковые линии связи Iridium. Кроме того, спутниковая линия Inmarsat обеспечивает резервную возможность передачи данных.

Архитектура связи для полезных нагрузок БПЛА Global Hawk агентства NASA не зависит от телекоммуникационных каналов, используемых для управления беспилотником. Для непрерывной узкополосной связи между наземной станцией и полезными нагрузками БПЛА используются четыре выделенных спутниковых линии Iridium. Кроме того, две дополнительные телекоммуникационные линии Iridium применяются для мониторинга энергопотребления отдельных узлов нагрузки и управления такими функциями, как лазеры и сбрасываемые зонды. Использование системы Iridium обеспечивает полное глобальное покрытие, включая полярные регионы.

### 1.5.5 Происшествия при разработке

В ходе программы летных испытаний и длительной эксплуатации Global Hawk произошел ряд происшествий [4], некоторые из них привели к потере летательных аппаратов, а одно – к повреждению комплекса датчиков другого аппарата.

Самым серьезным происшествием во время летных испытаний стало уничтожение второго летного экземпляра 29 марта 1999 года. Взлет с полосы авиабазы ВВС Эдвардс прошел в штатном режиме. Во время набора высоты аппарат неожиданно перевернулся, заглушил двигатель и заблокировал органы управления, войдя в смертельный штопор. Сработала команда на прекращение полета (самоликвидацию), и аппарат разбился. Причиной крушения стало отсутствие надлежащей координации частот между летно-испытательными полигонами авиабаз ВВС Неллис и Эдвардс.

В декабре 1999 года из-за ошибки в программном обеспечении другой Global Hawk разогнался до чрезмерной скорости руления после успешной полной остановки при посадке на основную полосу авиабазы Эдвардс. Ошибка в программном коде, отвечающем за координацию между системой планирования полетного задания и самолетом, дала аппарату команду выполнять руление на скорости 155 узлов (около 287 км/ч). Носовая стойка шасси подломилась, что привело к повреждению оптико-электронного и инфракрасного (ЕО/IR) сенсоров на сумму 5,3 млн долл. Главной причиной этого инцидента стало исполнение команды на движение по земле со скоростью 155 узлов, заложенной в плане полета на случай возникновения непредвиденных обстоятельств

В ходе этапа развертывания были потеряны два опытных образца летательных аппаратов. Первая потеря произошла 30 декабря 2001 года, когда Global Hawk возвращался после прерванного операционного полетного задания в поддержку операции «Несокрушимая свобода».

Для обеспечения снижения на высоте 54 000 футов (16 450 м) четыре спойлера были подняты на максимальный угол отклонения (45°), что вызвало флаттер, спровоцированный турбулентностью воздушного потока. Энергия возникшего флаттера была поглощена правым лонжероном V-образного хвостового оперения. Тяга привода правого внешнего руля-элевона<sup>5</sup> сломалась, в результате чего руль начал бесконтрольно отклоняться за пределы своего нормального диапазона. После этого аппарат потерял управление, вошел в правый штопор и разбился. Причиной потери было признано разрушение конструкции правого узла руля-элевона V-образного хвостового оперения (масштабное расслоение главного лонжерона).

Вторая потеря произошла 10 июля 2002 года во время выполнения аппаратом Global Hawk операционного полетного задания в рамках операции «Несокрушимая свобода». На борту произошел катастрофический отказ двигателя, после чего беспилотник планировал около получаса. Аппарат столкнулся с землей при попытке совершить аварийную посадку. Причиной аварии стал отказ топливной форсунки, заклинившей в положении максимальной подачи, что в конечном итоге привело к внутреннему разрушению двигателя.

Еще один случай произошел 20 июня 2019 года, когда Иран сбил Global Hawk ракетой класса «земля–воздух» над Ормузским проливом. Иранская

<sup>5</sup> То есть руля высоты и направления, или руддерватор. – Прим. перев.

сторона заявила, что БПЛА нарушил ее воздушное пространство, тогда как официальные лица США ответили, что аппарат находился в международном воздушном пространстве.

Эти реальные истории послужили ценными уроками и стали дорогостоящим опытом для молодых разработчиков БПЛА. Как и в любой программе разработки, в результате летных испытаний конструкция Global Hawk менялась по результатам летных испытаний.

## 1.6 Семейство БПЛА Predator

### 1.6.1 Разработка

БПЛА RQ-1 Predator – это беспилотная летательная систем средней высоты и большой продолжительности полета (класса MALE), предназначенная для ведения наблюдения, рекогносцировки и нанесения ударов, разработанная и выпускаемая компанией General Atomics Aeronautical Systems.

Цикл разработки Predator был нетрадиционным и восходил к проекту Абрахама Э. Карема (Abraham E. Karem). Он является первопроходцем в области инновационных БПЛА самолетного и вертолетного типа и считается одним из родоначальников технологии БПЛА. Первоначально к 1983 году для Агентства перспективных оборонных исследовательских проектов DARPA был разработан прототип небольшого тактического рекогносцировочного БПЛА большой продолжительности полета под названием Albatross. Затем к 1988 году дальнейшая разработка привела к созданию более совершенной конструкции – Amber, за которой последовал БПЛА GNAT 750. Компания Карема (Karem Aircraft, Inc.) и его наработки вскоре были приобретены корпорацией General Atomics.

ЦРУ использовало GNAT 750 в военных операциях над Боснией в 1993 и 1994 годах. Программа имела ряд недостатков, однако она выглядела достаточно перспективной, чтобы Министерство обороны США проявило интерес к более крупной и совершенной версии GNAT 750 для ведения средневысотной рекогносцировки, получившей обозначение RQ-1 Predator. К 1995 году он начал использоваться над Боснией. Параллельно с этим ВВС США увидели в Predator новый инструмент тактической рекогносцировки с дополнительным преимуществом в виде передачи данных в реальном времени через телекоммуникационный спутник.

В конце 1990-х годов способности БПЛА Predator были расширены за счет установки лазерного целеуказателя для подсветки целей и наведения боеприпасов, сбрасываемых с других самолетов. В 1999 году БПЛА прошел первое серьезное испытание во время операции «Союзная сила» в Косово. К 2000 году в связи с обеспокоенностью в отношении растущей угрозы со стороны «Аль-Каиды» было запланировано оснастить Predator ракетами класса «воздух–поверхность» Hellfire с лазерным наведением.

После терактов 11 сентября 2001 года вооруженный БПЛА Predator полностью вступил в строй и к январю 2003 года совершил 164 боевых вылета над Афганистаном. Вооруженный БПЛА Predator, способный выполнять как рекогносцировочные, так и ударные полетные задания, продолжил играть ключевую роль в боевых операциях. В 2002 году Военно-воздушные силы США приспособили один из аппаратов для несения зенитных управляемых ракет Stinger и предприняли попытку воздушного боя с иракским сверхзвуковым истребителем-перехватчиком МиГ-25, что, однако, привело к потере беспилотника.

БПЛА Predator эксплуатировались с 1995 года в поддержку операций НАТО, ООН и США, а также в рамках операций «Несокрушимая свобода» в Афганистане и «Иракская свобода», налетав в общей сложности более 500 000 ч. Производство БПЛА Predator для ВВС США завершилось в 2011 году, всего было изготовлено 268 самолетов. Сотни аппаратов Predator были проданы ряду стран, включая Италию, Испанию, Францию, Великобританию, Австралию, Нидерланды, Канаду и Германию.

Этот военный БПЛА использовался на Балканах, в Афганистане, Ираке и других точках мира. К 2011 году на балансе Вооруженных сил США находилось около 11 000 БПЛА, включая сотни беспилотников Predator. Predator был снят с вооружения в 2018 году. Семейство аппаратов серии Predator включает в себя MQ-1 Predator, MQ-1C Gray Eagle, MQ-9 Reaper (Predator B), MQ-9B SkyGuardian и Predator C Avenger.

## 1.6.2 Reaper

Спустя примерно 10 лет эксплуатации БПЛА Predator и выявления ряда его недостатков возникли новые вызовы в применении данной системы. Министерство обороны США приняло решение о создании новой версии Predator с улучшенными рабочими характеристиками и усовершенствованной конструкцией. Операционные требования включали такие показатели, как более высокая крейсерская скорость и большая высота полета, а также возможность несения более тяжелых и современных полезных нагрузок. Концептуальный проект и компоновка летательного аппарата остались практически без изменений. Единственным крупным изменением в конфигурации стал переход к классическому V-образному хвостовому оперению вместо перевернутого V-образного.

ВВС США впервые перебросили MQ-9 Reaper (разработанный компанией General Atomics и называвшийся на тот момент Predator B) в Афганистан в октябре 2007 года для нанесения высокоточных авиаударов, и он начал постепенно вытеснять Predator. Свое первое операционное полетное задание в Ираке General Atomics MQ-9 Reaper (рис. 1.5) совершил в июле 2008 года. Тем временем армия США приступила к разработке усовершенствованной модификации – MQ-1C Gray Eagle, которая поступила на вооружение в 2012 году. ВВС США сняли БПЛА Predator с вооружения в 2018 году, заменив его на Reaper.



**Рис. 1.5.** БПЛА General Atomics MQ-9 Reaper.

Слева: британский БПЛА MQ-9A Reaper над Афганистаном в 2009 году (Источник: Тэм Макдональд / «Викисклад» / OGL v1.0).

Справа: БПЛА Reaper Таможенно-пограничной службы США (Источник: Джеральд Л. Нино / «Викисклад» / общественное достояние)

Первая модификация – Predator A – имела поршневого двигателя, однако модернизированный Predator B (MQ-9 Reaper) был оснащен турбовинтовым двигателем большей мощности. Predator B стал крупнее, значительно тяжелее и обладает улучшенными летно-техническими характеристиками (например, более высокой крейсерской скоростью, большей дальностью полета и увеличенной продолжительностью полета), чем ранняя модификация – MQ-1 Predator.

Беспилотник может нести две группы полезных нагрузок: (1) изображающие сенсоры для ведения наблюдения, которые включают радиолокатор с синтезированной апертурой (РСА), оптико-электронную (ОЭ) видеокамеру и инфракрасную (ИК) камеру переднего обзора, (2) оружейные полезные нагрузки, включающие четыре противотанковые управляемые ракеты (ПТУР) AGM-114 класса «воздух–поверхность» Hellfire, две лазерно-наводимые корректируемые авиационные бомбы (КАБ) GBU-12 и 227-килограммовую управляемую авиабомбу JDAM<sup>6</sup>. Другие варианты полезных нагрузок включают лазерный целеуказатель и дальномер, средства радиоэлектронной поддержки и противодействия, селектор движущихся целей (СДЦ) и бортовую систему радиоразведки (РР) источников сигналов.

### 1.6.3 Характеристики

БПЛА Reaper оснащен одним турбовинтовым двигателем в хвостовой части фюзеляжа, неубирающимся трехопорным шасси, крылом большого относительного удлинения и V-образным хвостовым оперением. Для управления креном используются элероны, а для продольного и путевого управления – рули-элевоны. Аппарат оснащен радиорелейными линиями УВЧ- и ОВЧ-диапазонов, каналом связи в пределах прямой видимости

<sup>6</sup> Дословно «совместный боеприпас прямой атаки» (Joint Direct Attack Munition) представляет собой комплект оборудования, который превращает обычные, неуправляемые (свободнопадающие) авиационные бомбы в высокоточное «умное» оружие. – *Прим. перев.*

С-диапазона с дальностью 150 морских миль, а также спутниковыми каналами связи УВЧ и  $K_u$ -диапазонов.

Наземная станция управления (НСУ) размещена в одном 9-метровом прицепе, где находятся пульта пилота и оператора полезных нагрузок, три пульта обработки данных и планирования полетных заданий, два рабочих места для работы с радиолокатором с синтезированной апертурой (РСА) совместно с наземными терминалами спутниковой связи и связи в пределах прямой видимости. НСУ также включает систему распределения данных, оснащенную 5,5-метровой параболической антенной или наземным терминалом данных  $K_u$ -диапазона и 2,4-метровой параболической антенной для распространения данных. Управление полетом может осуществляться через каналы связи в пределах прямой видимости либо по спутниковым каналам связи  $K_u$ -диапазона для обеспечения непрерывной трансляции видео. Некоторые массогабаритные и летно-технические характеристики БПЛА Reaper приведены в табл. 1.2.

**Таблица 1.2.** Рабочие массогабаритные и летно-технические характеристики БПЛА Reaper

№	Параметр	Значение (единица измерения)
1	Размах крыла	20 м
2	Длина	11 м
3	Максимальный взлетный вес/масса	4760 кг
4	Вес внешней полезной нагрузки	1361 кг
5	Вес внутренней полезной нагрузки	363 кг
6	Мощность турбовинтового двигателя	900 л. с.
7	Максимальная скорость	482 км/ч (260 узлов)
8	Дальность полета	19,3 км (1200 миль)
9	Продолжительность полета – при полной загрузке	14 ч
10	Практический потолок полета	15,24 км

БПЛА Predator и Reaper по-прежнему имеют два серьезных недостатка: (1) неспособность действовать в оспариваемом воздушном пространстве, где действует эффективная противовоздушная оборона противника и (2) уязвимость перед радиоэлектронным глушением (подавлением). Эти проблемы подчеркивают необходимость дальнейших усовершенствований будущих модификаций БПЛА Reaper для сохранения его операционной значимости. В частности, глушение может представлять значительную угрозу каналам связи и навигации GPS, используемых на БПЛА Predator.

## 1.7 Ведущие производители БПЛА

На мировом рынке беспилотных летательных аппаратов наблюдается устойчивый ежегодный рост, который продолжился даже в 2020 году, когда COVID-19 превратился в глобальную пандемию. К январю 2019 года по меньшей мере в 60 странах использовалось или разрабатывалось более 1300 различных БПЛА. Ведущими на рынке беспилотных летательных аппаратов являются Northrop Grumman (США), General Atomics (США), AeroVironment (США), Lockheed Martin (США), Elbit Systems (Израиль), Israel Aerospace Industries (Израиль), BAE Systems (Великобритания), Parrot (Франция), Microdrones (Германия), SZ DJI Technology (Китай), Ehang (Китай), Yuneec International (Китай), Textron (США), Saab (Швеция) и Raytheon (США). Ожидается, что к 2027 году общий объем рынка достигнет 21,8 млрд долл.

Ряд европейских стран (Франция, Италия, Греция, Испания, Швейцария и Швеция) совместно разрабатывают боевые БПЛА следующего поколения (в первую очередь nEUROn) и беспилотный самолет средней высотности и большой продолжительности полета (класса MALE). Интересно отметить, что по состоянию на март 2020 года на долю компании SZ DJI Technology приходилось около 70 % мирового рынка потребительских БПЛА. Ведущими производителями БПЛА в США являются компании Boeing, Lockheed Martin, Aurora Flight Sciences, General Atomics, Northrop Grumman и AeroVironment.

## 1.8 Этические проблемы БПЛА

Вся инженерная продукция несет в себе определенные этические проблемы, но этические проблемы, связанные с применением БПЛА, отличаются новизной и еще не урегулированы. Как и любая другая инженерная продукция, БПЛА могут использоваться незаконно или неэтично (например, для контрабанды наркотиков). Применение БПЛА порождает две основные этические проблемы: (1) вторжение в частную жизнь и (2) убийство невинных людей (летальное применение). Например, в период с 2004 по 2010 год в результате американской программы использования дронов в Пакистане [3] случайно погибло несколько сотен мирных жителей.

В отношении этих двух главнейших областей остается много вопросов без ответа. Этических проблем, связанных с механическими роботами, гораздо меньше, чем с БПЛА. Когда беспилотник пролетает над жилыми домами и собирает данные, это становится поводом для этических опасений. Эти опасения связаны с тем, что, когда оператор БПЛА не чувствует гражданской ответственности, он может нарушить частную жизнь других граждан или стать причиной гибели людей.

Согласно отчету Счетной палаты правительства США при использовании БПЛА воздушного пространства по-прежнему связано четыре проблемных области: (1) неспособность распознавать другие летательные аппараты и уклоняться от столкновения с ними, (2) отсутствие операционных стан-

дартов, (3) уязвимости в системах командного управления и контроля, (4) отсутствие государственного регулирования, необходимого для ускоренного процесса интеграции БПЛА в национальную систему воздушного пространства. Более того, применение беспилотных летательных систем в военных целях в настоящее время является предметом острых споров и дискуссий.

Создание центра междисциплинарных исследований в области этики и внедрение этической грамотности во все учебные программы по подготовке специалистов в сфере БПЛА является важным шагом на пути к устранению этих проблем. Обнадеживает тот факт, что Американский институт аэронавтики и астронавтики (AIAA) разработал этический кодекс и рекомендует всем авиационным инженерам соблюдать его нормы при разработке и конструировании летательных аппаратов.

Существуют опасения относительно рисков использования военных БПЛА вне зон боевых действий. Поступают сообщения о том, что американские беспилотники неоднократно терпели крушение в гражданских аэропортах по всему миру. Среди причин, указанных в отчетах, значатся «ошибки пилотов, механические неисправности, программные сбои и плохая координация с гражданскими авиадиспетчерами». С момента первоначального сообщения о крушении в январе 2011 года на американской базе в Джибути произошло «как минимум еще шесть аварий Predator и Reaper» в окрестностях зарубежных гражданских аэропортов.

В 2021 году Федеральная авиационная администрация (FAA) представила [3] два финальных правила для беспилотных летательных аппаратов, которые предписывают обязательную дистанционную идентификацию (Remote ID) дронов и разрешают операторам малых дронов совершать полеты над людьми днем и в ночное время при определенных условиях. По состоянию на конец 2025 года эти правила полностью вступили в силу: с марта 2024 года соблюдение Remote ID стало обязательным для всех операторов, а несоблюдение карается штрафами до 27 500 долл. и аннулированием сертификатов пилота. Это важный шаг на пути к дальнейшей интеграции БПЛА в национальное воздушное пространство США.

Огромное количество аргументов ставит под сомнение этическую оправданность применения американскими военными дистанционных средств поражения (БПЛА). Один из вопросов звучит так: действительно ли важно, кто уничтожает врага – человек или машина (БПЛА), – если цель достигнута? Сегодня дискуссии об «этике БПЛА» стали еще сложнее из-за внедрения алгоритмов ИИ, которые могут принимать решения о жизни и смерти без непосредственного участия человека, что поднимает вопросы о потере человеческого достоинства и размывании цепочки ответственности. При всей сложности вопросов, затрагиваемых в дискуссиях на тему «Этика беспилотных летательных аппаратов», авторы не готовы дать однозначные ответы, но призывают ученых глубоко погрузиться в эту тему и помочь законодателям разработать нормы для решения этих проблем.

## Вопросы

1. Что означают сокращения БПЛА, ВДО, RPV, ДПС, RPA, GPS, БПЛС, СДЦ, РСА, СПУ, НСУ, НММВУ, ИИ, EO/IR, AIAA, FAA и РЭР?
2. Перечислите названия, которые используются в литературе для обозначения беспилотных летательных аппаратов.
3. Кратко изложите главу 1.
4. Когда Соединенные Штаты впервые применили БПЛА в боевой обстановке с целью рекогносцировки?
5. Какие БПЛА использовались в операциях во время кувейтско-иракской войны?
6. Какие БПЛА использовались в операции «Иракская свобода»?
7. Сколько претендентов боролось в тендере на участие в программе разработки БПЛА, объявленной Министерством обороны США в 1971 году?
8. Назовите четыре компании, которые работали над созданием БПЛА в начале 1970-х годов в ответ на запрос, инициированный Научным советом по вопросам обороны США.
9. Когда Военно-морские силы и Корпус морской пехоты США вышли на арену БПЛА? Что они приобрели в том году?
10. Какие беспилотные летательные системы – и какими странами – использовались в боевых операциях во время вторжения Ирака в Кувейт в 1990–1991 годах?
11. Какие полетные задания выполнялись беспилотниками под эгидой НАТО в Боснии в 1995 году?
12. Какой БПЛА использовался в основном в Боснии в 1995 году? Откуда этот БПЛА вылетал?
13. Какие БПЛА широко использовались во время войны в Ираке (с 2003 по 2011 год)?
14. Какой БПЛА использовался во время битвы за Фаллуджу в Ираке в 2004 году с полетным заданием по локализации и маркировки целей, а также по слежению за силами повстанцев?
15. Сколько полетных заданий совершил БПЛА Global Hawk во время операции «Свобода Ирака» в 2003 году?
16. Какой термин используется прессой и широкой общественностью для обозначения беспилотных летательных аппаратов?
17. Что обычно означает ручное управление БПЛА?
18. Из чего состоит типичная БПЛС?
19. Покажите на рисунке очень простую обобщенную БПЛС.
20. Что в себя включает бортовая часть БПЛС?

21. Какое другое название имеет станция планирования и управления (СПУ) полетными заданиями?
22. Кратко опишите функции СПУ.
23. Перечислите две крайние формы СПУ (с краткими характеристиками).
24. Опишите несколько популярных методов / оборудование для запуска и возвращения БПЛА.
25. Укажите одно преимущество БПЛА вертолетного или вентиляторного типа перед БПЛА самолетного типа при запуске и возвращении.
26. В чем главная причина использования беспилотной летательной системы?
27. Кратко сравните камеры (в качестве полезной нагрузки БПЛА), которые использовались в прошлом, с современными.
28. Какая полезная нагрузка БПЛА сегодня является самой популярной?
29. Назовите несколько типов полезных нагрузок БПЛА.
30. Что несет в качестве полезной нагрузки летальный БПЛА?
31. Кратко сравните летальный БПЛА с ракетой.
32. Какова функция БПЛА, используемого в качестве платформы для ретрансляции данных и коммуникаций?
33. Что обеспечивает нисходящая линия канала связи?
34. Какова типичная скорость передачи данных (1) по восходящей и (2) по нисходящей линиям канала связи?
35. Какие типичные полетные параметры передаются по нисходящей линии канала связи на СПУ?
36. Какие функции требуются каналу связи, чтобы обеспечивать его эффективность в боевых условиях?
37. Кратко опишите особенности наземного терминала данных (НТД) канала связи.
38. Что включает в себя бортовой терминал данных (БТД) в качестве воздушной части канала связи?
39. Что обычно включает в себя наземное вспомогательное оборудование БПЛА большой дальности?
40. Когда НСУ должна включать в свой состав транспортные средства?
41. Какая американская БПЛС стала уникальным примером ранней разработки полностью интегрированной системы?
42. В каком году программа Aquila перешла к официальной разработке?
43. Какова была начальная и окончательная продолжительность программы Aquila?
44. Каковы были полетные задания и операционные требования к системе Aquila?

45. Укажите численность личного состава, количество грузовых автомобилей, вылетов транспортной авиации и другого оборудования, используемого для обеспечения работы и управления батареями (из 13 летательных аппаратов) системы Aquila.
46. Кратко опишите конфигурацию аппарата Aquila.
47. Укажите длину фюзеляжа и размах крыла аппарата Aquila.
48. Укажите тип и мощность двигателя аппарата Aquila.
49. Из какого материала был изготовлен аппарат Aquila?
50. Укажите диапазон скоростей аппарата Aquila.
51. Укажите полетную высоту аппарата Aquila.
52. Кратко опишите оборудование, использовавшееся на наземной станции управления (НСУ) системы Aquila.
53. Как устанавливалось соединение между НСУ и выносным наземным терминалом (ВНТ) системы Aquila?
54. Какова была мощность генератора НСУ системы Aquila?
55. Должен ли был ВНТ поддерживать контакт в пределах прямой видимости с системой Aquila?
56. Кратко опишите системы запуска и возвращения системы Aquila.
57. Какова была полезная нагрузка у системы Aquila?
58. Почему контейнер, в котором перевозилась система Aquila, был тяжелым?
59. Был ли канал связи системы Aquila защищен от глушения?
60. Включала ли система Aquila средства обеспечения живучести при ядерной взрыве и радиационном воздействии?
61. Укажите причины, по которым вся система Aquila приобрела плохую репутацию.
62. В чем заключалось первое операционное «разочарование» в системе Aquila? Из-за чего произошел сбой?
63. Программа Aquila была прекращена как успешная или как провальная?
64. Некоторые операционные требования к БПЛА, которые появились после системы Aquila, были смягчены. Укажите как минимум три из них.
65. БПЛА Global Hawk был разработан в дополнение к пилотируемому самолету или вместо него. В чем его суть?
66. Когда и где состоялся первый полет БПЛА Global Hawk?
67. Когда БПЛА Global Hawk поступил на вооружение? Когда он достиг стадии серийного производства?
68. Какой БПЛА стал первым, который пересек Тихий океан?
69. Какой БПЛА является крупнейшим из действующих на сегодняшний день?

70. Кратко опишите конфигурацию системы Global Hawk.
71. Какая двигательная установка вырабатывает тягу для БПЛА Global Hawk?
72. Есть ли в БПЛА Global Hawk герметичные отсеки?
73. Из какого материала изготовлены крыло и хвост БПЛА Global Hawk?
74. Из какого материала изготовлен фюзеляж БПЛА Global Hawk?
75. Какие системы используются для навигации в БПЛА Global Hawk?
76. Назовите два элемента обобщенной системы навигации в БПЛА Global Hawk.
77. Укажите: (1) максимальную взлетную массу, (2) длину и (2) тягу двигателя БПЛА RQ-4B Global Hawk.
78. Укажите: (1) максимальную скорость, (2) дальность полета, (3) продолжительность полета и (4) практический потолок полета БПЛА RQ-4B Global Hawk.
79. Кратко сравните БПЛА RQ-4A Global Hawk с БПЛА RQ-4B Global Hawk.
80. Перечислите сенсоры БПЛА RQ-4A Global Hawk.
81. Какие частотные диапазоны используются в БПЛА Global Hawk?
82. Кратко опишите: (1) связь в пределах прямой видимости и (2) связь за пределами прямой видимости у БПЛА Global Hawk.
83. Кратко опишите главные проблемы, возникшие в ходе летных испытаний БПЛА Global Hawk.
84. Что послужило причиной аварии БПЛА Global Hawk во время полета в декабре 1999 года?
85. Почему два опытных образца БПЛА Global Hawk были потеряны в фазе развертывания в 2002 и 2003 годах? Объясните.
86. Почему БПЛА Global Hawk был потерян 20 июня 2019 года?
87. Кратко опишите нетрадиционный цикл разработки БПЛА Predator в 1980-х годах.
88. Усовершенствованная модификация какого летательного аппарата была обозначена как RQ-1 Predator в начале 1990-х годов?
89. Какой БПЛА пытался вступить в воздушный огневой контакт с иракским истребителем-перехватчиком МиГ-25 в 2002 году?
90. Когда БПЛА Predator был снят с вооружения?
91. Кратко сравните главные различия между БПЛА Predator и Reaper.
92. Сравните главные различия между конфигурациями БПЛА Predator и Reaper.
93. Когда состоялось первое операционное полетное задание БПЛА MQ-9 Reaper?
94. Каковы полезные нагрузки БПЛА MQ-9 Reaper?

95. Кратко опишите характеристики НСУ беспилотника MQ-9 Reaper.
96. Какой тип двигательной установки задействуется в БПЛА MQ-9 Reaper?
97. Укажите: (1) максимальную взлетную массу, (2) размах крыла и (3) мощность двигателя БПЛА MQ-9 Reaper.
98. Укажите: (1) максимальную скорость, (2) дальность полета, (3) продолжительность полета и (4) практический потолок полета БПЛА MQ-9 Reaper.
99. Перечислите ведущих производителей БПЛА в США.
100. Кратко изложите этические проблемы, связанные с БПЛА.
101. Каковы полетные задания БПЛА Swift класса HALE?
102. Назовите три недавних проекта БПЛА с псевдоспутниковым полетным заданием.