РОБОФИШКИ

Дж. Бейктал

КОНСТРУИРУЕМ РОБОТОВ

Дроны

Руководство для начинающих



РОБОТОТЕХНИКА

Инженерно-технические кадры инновационной России

Конструируем роботов. Дроны

Руководство для начинающих

BUILDING YOUR OWN DRONES

A BEGINNER'S GUIDE TO DRONES, UAVS AND ROVS

John Baichtal

800 East 96th Street,
Indianapolis, Indiana 46240 USA

Р • О • Б • О • Ф • И • Ш • К • И

Дж. Бейктал

КОНСТРУИРУЕМ РОБОТОВ

Дроны

Руководство для начинающих

Перевод с английского
Ф. Г. Хохлова

Электронное издание

Лаборатория знаний
Москва
2018

УДК 621.86/.87
ББК 32.816
Б41

Серия основана в 2016 г.

Бейктал Дж.

Б41 Конструируем роботов. Дроны. Руководство для начинающих [Электронный ресурс] / Дж. Бейктал ; пер. с англ. Ф. Г. Хохлова. — Эл. изд. — Электрон. текстовые дан. (1 файл pdf : 226 с.). — М. : Лаборатория знаний, 2018. — (РОБОФИШКИ). — Систем. требования: Adobe Reader XI ; экран 10".

ISBN 978-5-00101-569-7

Это практическое руководство для тех, кто делает первые шаги в моделестроении дронов, а Джон Бейктал — наиболее известный автор книг для начинающих моделистов. С его помощью, пользуясь пошаговыми инструкциями и многочисленными цветными иллюстрациями, вы построите с нуля роботов на базе квадрокоптера, ракеты, аэростата, корабля и вездехода с навигацией по RFID-меткам. Автор поможет вам укомплектовать набор инструментов и изучить основы электроники и программирования. Кроме того, в книге представлены лучшие образцы дронов-самоделок, наборы готовых деталей для самостоятельной сборки дронов и новейшие модели коммерческих дронов.

Для технического творчества в школе, дома и на занятиях в робототехнических кружках, а также для всех, кто увлекается робототехникой.

УДК 621.86/.87
ББК 32.816

Деривативное электронное издание на основе печатного аналога: Конструируем роботов. Дроны. Руководство для начинающих / Дж. Бейктал ; пер. с англ. Ф. Г. Хохлова. — М. : Лаборатория знаний, 2018. — 223 с. : ил. — (РОБОФИШКИ). — ISBN 978-5-00101-027-2.

В соответствии со ст. 1299 и 1301 ГК РФ при устранении ограничений, установленных техническими средствами защиты авторских прав, правообладатель вправе требовать от нарушителя возмещения убытков или выплаты компенсации

12+

Авторизованный перевод англоязычного издания, под заглавием Building Your Own Drones: a Beginners' Guide to Drones, UAVs and ROVs ISBN: 078975598X; автор JOHN BAICHTAL; опубликованного Pearson Education, Inc, осуществляющим издательскую деятельность под торговой маркой QUE Publishing.

Все права защищены. Воспроизведение или распространение какой-либо части/частей данной книги в какой-либо форме, какими-либо способами, электронными или механическими, включая фотокопирование, запись и любые поисковые системы хранения информации, без разрешения Pearson Education, Inc запрещены. Русскоязычная версия издана ООО «Лаборатория знаний».

Authorized translation from the English language edition, entitled Building Your Own Drones: a Beginners' Guide to Drones, UAVs and ROVs ISBN: 078975598X; by BAICHTAL, JOHN; published by Pearson Education, Inc, publishing as QUE Publishing.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying, recording or by any information retrieval system, without permission from Pearson Education, Inc. Russian language edition published by BKL Publishers

Copyright © 2016 by John Baichtal.
© Перевод на русский язык, оформление, Лаборатория знаний, 2018

ISBN 978-5-00101-569-7

Оглавление

Посвящение 8
Благодарности 8
Здравствуйте! 9

Введение 10
Для кого эта книга 10
Как организован материал 10

Глава 1. История дронов 13
Что такое дрон 14
Три стихии деятельности дронов 15
Анатомия дрона 17
Заключение 18

Глава 2. Примеры самодельных дронов 19
Квадрокоптер из обода велосипедного колеса 19
Миниатюрный квадрокоптер, изготовленный на 3D-принтере 20
Канатоходец 21
Плавучие роботы 21
Радиоуправляемый аэростат 22
Квадрокоптер, оснащенный курсовой камерой 23
Управляемый трехколесный велосипед 24
Складной квадрокоптер 25
Миниатюрный квадрокоптер 26
Лодка с дистанционным управлением, изготовленная на 3D-принтере 27
Трикоптер 28
Вездеход, оснащенный колесами Mecanum (шведскими колесами) . . 29
Заключение 30

Глава 3. Обзор продаваемых моделей и комплектов для сборки 31
Квадрокоптер Parallax ELEV-8 31
Квадрокоптер DJI Phantom 2 Vision+ 34
Подводный дрон OpenROV 36
Вездеход Nomad из модельного ряда Actobotics 37
Модель самолета Flack от фирмы Brooklyn Aerodrome 40
Заключение 42

Глава 4. Строим квадрокоптер, часть I: выбор рамы 43
Какую раму выбрать 44
Проект: рама из набора MakerBeam 49
Заключение 54

Глава 5. Строим ракету 55
Любительское ракетомоделирование 56
Экспресс-руководство по Arduino 59
Проект: ракета, осуществляющая сбор данных 63
Заключение 70

Глава 6. Строим квадрокоптер, часть II: двигатели и пропеллеры .. 71
Выбор двигателей 72
Выбор пропеллеров 75
Проект: установка двигателей и пропеллеров 77
Этапы установки двигателей и пропеллеров 78
Заключение 80

Глава 7. Строим управляемый аэростат 81
Радиоуправление 82
Проект: управляемый аэростат 84
Автономное управление при помощи Arduino 94
Заключение 98

Глава 8. Строим квадрокоптер, часть III: управление полетом 99
Подробнее об электронных регуляторах скорости 99
Приемник радиосигнала 105
Полетный контроллер 107
Установка управляющей электроники 110
Заключение 114

Глава 9. Рабочее место моделиста 115
Инструмент для проектирования 115
Крепежный инструмент 117
Измерительный инструмент 118
Режущий инструмент 119
Инструмент для работы с проводами 120
Крепеж 121

Станки с числовым программным управлением 122
Заключение 126

Глава 10. Строим квадрокоптер, часть IV: системы электропитания 127
Выбор аккумулятора 128
Установка штепсельных соединителей 130
Изготовление жгутов из проводов 135
Подключение полетного контроллера и приемника радиосигнала . . . 140
Заключение 142

Глава 11. Строим плавучий дрон 143
Реалии использования роботов на воде 144
Герметизация бортовой электроники 146
Организация ячеистой сети (Mesh-сети) XBee 149
Проект: лодка из пластиковых бутылок 150
Заключение 164

Глава 12. Строим квадрокоптер, часть V: дополнительное оборудование 165
Дополнительное оборудование 166
Проект: установка дополнительного оборудования 172
Заключение 178

Глава 13. Строим управляемый вездеход 179
Преимущества и недостатки вездеходов 180
Характеристики шасси 181
Навигация по RFID-меткам 186
Проект: вездеход, осуществляющий навигацию по RFID-меткам 188
Заключение 206

Глава 14. Строим квадрокоптер, часть VI: программное обеспечение 207
Программное обеспечение полетного контроллера 208
Конфигурирование полетного контроллера MultiWii 213
Проверка управляющего скетча MultiWii 214
Предполетный контрольный список 216
Заключение 217

Глоссарий 218

Посвящение

Моей бабушке Мэрион, которой остается два месяца до 98 лет. Несколько недель назад она лежала в больнице из-за проблем с сердцем, врачи посоветовали ей поменьше волноваться и отправили в хоспис. Бабушка не хотела расставаться с нами, но она почувствовала себя лучше, особенно благодаря уходу моей мамы и тети. Ее любовь к жизни и ее увлечение написанием книг воодушевляли меня.

Благодарности

Когда я думаю о своей семье, я разрываюсь между двумя неоспоримыми фактами:

1. Арден, Розмари и Джек — лучшие дети на свете!
2. Ничто не имеет значения по сравнению с моей женой Элис. Я люблю тебя!

Что касается работы над книгой, я благодарен Уинделу Х. Оскею, Джонджинеру, Мэтью Бекеру, Райли Харрисону, Дэвиду Лэнгу, Трэмелу Хадсону, Анне Марии Томас, Питу Продоеллу, Брюсу Шапиро, Алексу Олмонту, Джону Эдгару Парку, компании Dexter Industries, Мигелю Валенсуэлле, Питу МакКенну, Стиву Норрису, Стивену Андерсону, компании MakerBeam, Джуду Дорнишу, компании SparkFun Engineering, Бруклинскому аэродрому, Адаму Вулфу, Майклу Фрайерту, Софи Кравитц, Кристине Жанг, Леноре Эдман, Рику Кагену, Сину Майклу Рэгену, Джону Уилсону, Сьюзен Соларз, Акибе, Марку Фрауэнфелдеру, Крису Бергеру, Майклу Крампусу, Алексу Диба, Брайану Джепсону, Бекке Стефен, Дэйву Брайану, компании Actobotics, Майку Хорду, компании Makeblock, Пату Арнесону и Эрин Кеннеди за содействие и поддержку. Прошу прощения, если я кого-то забыл!

Барбара, моя мама, составила глоссарий, и я очень признателен ей за это, и не только.

Здравствуйте!

Издание, которое вы сейчас держите в руках, не просто книга. Это вход в огромный увлекательный мир беспилотных устройств — радиоуправляемых, автономных, с дистанционным управлением, способных передвигаться во всех средах: в воздухе, по воде и под водой, по земле и даже под землей.

Сегодня дроны — а именно так называют эти устройства — пожалуй, одно из самых актуальных направлений развития мировой конструкторской и инженерной мысли. Неспроста еще совсем недавно малознакомая профессия — оператор дрона — сейчас входит в пятерку самых востребованных на рынке труда всех технологически развитых стран. И это только начало...

Итак, если вы — внимательный, терпеливый и аккуратный исследователь, настойчивый и смелый экспериментатор, любитель создавать своими руками невероятные по красоте и пользе конструкции, эта книга для вас.

Вообще-то «дрон» в переводе с английского означает «трутень». Возможно, появление этого термина применительно к беспилотникам имеет своей причиной непрерывное монотонное жужжание их двигателей. В русском же языке это слово также имеет два значения: прямое биологическое и личностное (если это человек). В первом случае это член пчелиного сообщества, во втором — лентяй и бездельник. И если наша книга вас заинтересовала и вы готовы последовательно, шаг за шагом, осваивать удивительный и во многом неожиданный мир устройств, работающих без непосредственного участия человека, то второе определение точно не про вас.

Более того, любознательность и упорство, правильная организация своего времени и умение работать над ошибками, творческая мысль и твердая уверенность в успехе — эти и другие чрезвычайно нужные в повседневной жизни качества характера, вырабатываемые в процессе выполнения проектов, представленных в книге Дж. Бейктала «Дрон своими руками», останутся с вами навсегда, помогут самостоятельно создавать свое будущее и стать реально успешным человеком.

Удачи вам на этом пути!

Команда Программы «Робототехника:
инженерно-технические кадры инновационной России»
Фонда Олега Дерипаска «Вольное Дело»

Введение

Слово «дрон» постоянно на слуху. Еще бы, ведь дроны играют все большую роль в нашей жизни. Можно просто наблюдать за тенями миниатюрных вертолетов, а можно взять и побольше узнать об этих интереснейших устройствах. Я предлагаю вам именно второе: в книге вы найдете множество первоклассных технических решений, в которых интересно разобраться.

Для кого эта книга

Книга адресована начинающим моделистам, которые увлекаются постройкой дронов. В ней рассматривается множество направлений в этой области, причем можно почерпнуть сведения не только об электронике, но и о двигателях, инструментарии и технологии изготовления рамы.

Как организован материал

Через всю книгу красной нитью проходит основная тема — постройка квадрокоптера. Главы, посвященные этой теме, чередуются с главами, где описана постройка управляемой ракеты, которая занимается сбором информации, аэростата и лодки, сделанной из пластиковых бутылок. Это дает возможность узнать и о других направлениях моделирования, не ограничиваясь одними лишь квадрокоптерами.

- **Глава 1** «История дронов» рассказывает об истории создания дронов, их применении и технических возможностях. Здесь же читатель познакомится с основной терминологией.

- В **главе 2** «Примеры самодельных дронов» описываются различные классы дронов, таких, как БПЛА (беспилотные летательные аппараты), батискафы (подводные аппараты с дистанционным управлением) и управляемые транспортные средства (роверы), построенные как начинающими, так и опытными моделистами.
- **Глава 3** «Обзор продаваемых моделей и комплектов для сборки» дает представление о том, что в настоящее время можно приобрести. Рассматривается множество моделей — от квадрокоптера с видеокамерой до управляемых подводных аппаратов.
- **Глава 4** «Строим квадрокоптер, часть I: выбор рамы» — это первая глава, посвященная постройке квадрокоптера. Из нее вы узнаете о различных типах рам и шасси и соберете раму из готовых деталей.
- **Глава 5** «Строим ракету» переключит вас с постройки квадрокоптера на сборку модели ракеты с Arduino в качестве основной полезной нагрузки на борту.
- В **главе 6** «Строим квадрокоптер, часть II: двигатели и пропеллеры» обсуждаются два ключевых компонента квадрокоптера. В ней даются советы по приобретению, а также по монтажу двигателей и пропеллеров на раме.
- В **главе 7** «Строим управляемый аэростат» вы узнаете, как построить автономного радиоуправляемого робота, который поднимается в небо на воздушном шаре, наполненном гелием.
- **Глава 8** «Строим квадрокоптер, часть III: управление полетом» рассказывает об управлении моделью в воздухе, когда большую часть работы выполняют полетные контроллеры и электронные регуляторы скорости моторов (далее по книге часто просто контроллеры или регуляторы).
- **Глава 9** «Рабочее место моделиста» знакомит вас с инструментами, которыми я пользовался при работе над проектами, рассмотренными в данной книге.
- **Глава 10** «Строим квадрокоптер, часть IV: системы электропитания» освещает очень важную тему: как организовать электропитание и произвести разводку для подачи питания на двигатели.
- В **главе 11** «Строим плавучий дрон» рассказывается о том, как из пластиковых бутылок построить корабль с дистанционным управлением.
- В **главе 12** «Строим квадрокоптер, часть V: дополнительное оборудование» даются советы, какое дополнительное оборудование (например, крепление камеры) следует приобрести, а какое изготовить самостоятельно.

- В **главе 13** «Строим управляемый вездеход» рассказывается о роботе, который использует для навигации радиочастотные метки.
- В **главе 14** «Строим квадрокоптер, часть VI: программное обеспечение» рассматривается программное обеспечение для управления полетом и прошивки автопилота, подробно описывается программное обеспечение автопилота, который используется в нашем квадрокоптере. Когда вы завершите чтение этой книги, ваш квадрокоптер будет полностью построен.
- Ну и, наконец, в «**Глоссарии**» вы найдете основные термины, которые используются в этой книге.

Если у вас возникли вопросы либо появилось желание больше узнать о рассмотренных проектах или о других моих книгах, то советую зайти на мою страничку в Фейсбуке **www.facebook.com/baichtal**. Можно также написать мне на электронную почту **nerdyjb@gmail.com**. Следите за моим твиттером **feed@johnbaichtal**. Удачи!

1

История дронов

Представьте себе автомобиль без водителя или самолет без пилота, где человека заменяет компьютер. Это и есть дрон.

О дронах мы часто слышим в новостях, особенно это касается беспилотных летательных аппаратов (БПЛА); они расстреливают цели, находясь на огромном расстоянии от человека, который ими управляет. Тем не менее дроны используются и в мирных целях.

Сокращение бюджета НАСА привело к тому, что на дистанционно управляемые исследовательские зонды обратили внимание. В первую очередь при создании марсоходов. Дистанционно управляемые вездеходы **(рис. 1.1)** превзошли ожидания специалистов НАСА.

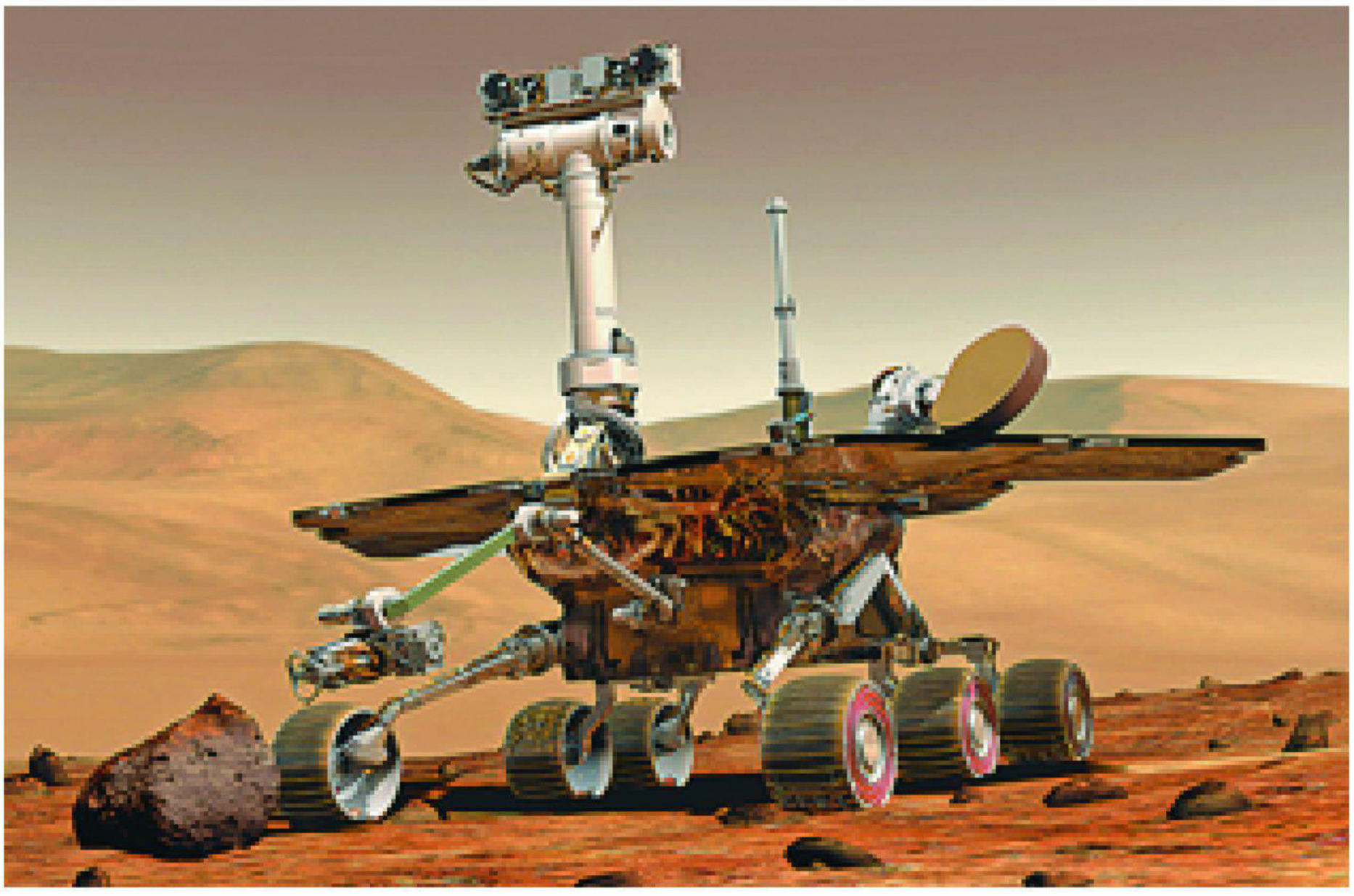


Рис. 1.1. Концепция марсохода в исполнении художника (предоставлено NASA/JPL/Cornel University)

Применение дронов на государственном уровне — это понятно, а пользуются ли ими обычные люди? Да. Энтузиасты и умельцы, владельцы малого бизнеса также успешно пользуются ими. Например, виноделы с помощью миниатюрных квадрокоптеров, оснащенных видеокамерами, осматривают листву виноградников, не выходя при этом из дома.

Применение квадрокоптеров обрушило бизнес, связанный с аэросъемкой, так как отпала необходимость в больших вертолетах. Amazon и другие компании при помощи дронов отслеживают доставку грузов.

Цель этой книги — дать представление о современном уровне развития квадрокоптеров, БПЛА, дистанционно управляемых транспортных средств и другой техники, использующей технологию дронов, будь то ракета с акселерометром на борту, плавсредство или аэростат из майларовой пленки.

Следуя моим советам, вы построите свой собственный квадрокоптер или улучшите существующие модели.

Что такое дрон

Следует сразу сказать, что название «дрон» не совсем корректно.

Это слово означает «трутень» и навеяно, видимо, сходством жужжания пчелы и беспилотника. Как пчела бездумно выполняет свои действия, будучи управляема маткой, находящейся на расстоянии, так и роботизированный самолет с устройством управления, запрограммированным как автопилот, но с применением специальной технологии, совершает свои маневры.

Дроны делятся на два класса. Первый класс — это роботы, работающие автономно, но допускающие вмешательство оператора в определенные моменты. В остальное время автопилот перехватывает управление, что позволяет оператору управлять несколькими устройствами. Однако при необходимости оператор может взять управление на себя и отключить автопилот.

Второй класс — это квадрокоптеры и другие «вертолетоподобные» летательные аппараты. Их тоже часто называют дронами, хотя фактически это всего лишь радиоуправляемые аппараты, не являющиеся автономными. Возможно, такое совмещение терминологии произошло потому, что на базе квадрокоптеров удобно создавать различные автономные летательные аппараты.

Любители управляют целым роем квадрокоптеров, изобретая новые игры, в которых дроны сражаются друг с другом. Дроны могут нести различное оборудование — от камер и датчиков давления до ультразвуковых дальномеров. На рынке появились развивающие игры, дети и подростки собирают роботов на базе конструкторских наборов LEGO Mindstorms и VEX.

Мы присутствуем при возникновении нового явления и можем участвовать в этом. Давайте построим вместе несколько дронов.

Три стихии деятельности дронов

Дроны делятся на три типа в зависимости от среды, в которой они действуют:

- беспилотные летательные аппараты (БПЛА);
- дистанционно управляемые транспортные средства;
- вездеходы (роверы).

Рассмотрим каждый из этих типов.

Беспилотные летательные аппараты

Термин «беспилотный летательный аппарат» (БПЛА) относится к летающим дронам, например к таким, как Predator (**рис. 1.2**), то есть, если дрон передвигается и действует в воздухе, мы называем его БПЛА. Среди любителей наиболее популярны квадрокоптеры, поэтому мы сосредоточимся на этом типе БПЛА.

БПЛА чаще всего бывают радиоуправляемыми, то есть управляются радиосигналом с ручного пульта управления. Можно также использовать Wi-Fi и сотовую связь. Многие БПЛА оснащены GPS-приемниками, поэтому их маршрут можно нанести на карту.



Рис. 1.2. На примере дрона Predator мы многое узнали о дронах и их работе (предоставлено ВВС США)

Аппараты с дистанционным управлением

Аппарат с дистанционным управлением (ROV) — это подводный дрон, соединенный с судном или подводной лодкой кабелем для передачи данных, поскольку вода препятствует распространению радиоволн. ROV используются исследователями уже на протяжении многих лет (**рис. 1.3**).



Рис. 1.3. OpenROV исследует судно, потерпевшее кораблекрушение (предоставлено OpenROV)

Автомобили с дистанционным управлением

Эти радиоуправляемые автомобили с расширенными возможностями передвигаются по поверхности земли, выявляя препятствия при помощи различных датчиков. Их визитной карточкой являются гусеницы или «внедорожные» шины (**рис. 1.4**), позволяющие преодолевать неровности поверхности. Поскольку такие аппараты передвигаются по земле, для навигации можно использовать все типы датчиков, включая ультразвуковые, радиочастотные, а также датчики препятствия. В **главе 13** «Строим управляемый вездеход» вы построите свой вездеход.



Рис. 1.4. Вездеход, оснащенный камерой, «щеголяет» во внедорожных шинах (предоставлено Geoffrey Irons)

Анатомия дрона

Все дроны, изготовленные в домашних условиях, отличаются друг от друга, но всем им присуще нечто общее. Ниже перечислены детали квадрокоптера и показано, где что на нем расположено (**рис. 1.5**).

1. **Пропеллеры (или винты).** Обычно имеется по два обычных и два толкающих пропеллера, вращающиеся в противоположных направлениях.

2. **Рама.** Это наиболее точное название для корпуса дрона. Рама включает в себя различные элементы, например консоли (или лучи) для крепления двигателей и платформу или отсек для аппаратуры.

3. **Курсовая камера.** Камера с низким разрешением, отсылающая по радиоканалу изображение на землю.

4. **Полетный контроллер.** Автоматизирует некоторые функции в режиме ручного управления. Например, во многие устройства управления встраивается датчик уровня для сохранения горизонтального положения аппарата. Часто дроны снабжены программой, которая выполняется в случае потери управления.

5. **Приемник радиосигнала.** Эта маленькая коробочка преобразует радиосигналы в инструкции для полетного контроллера.

6. **Передний индикатор.** Оператору нужно знать, где носовая сторона зависшего аппарата, которая отнюдь не очевидна. Существует мно-

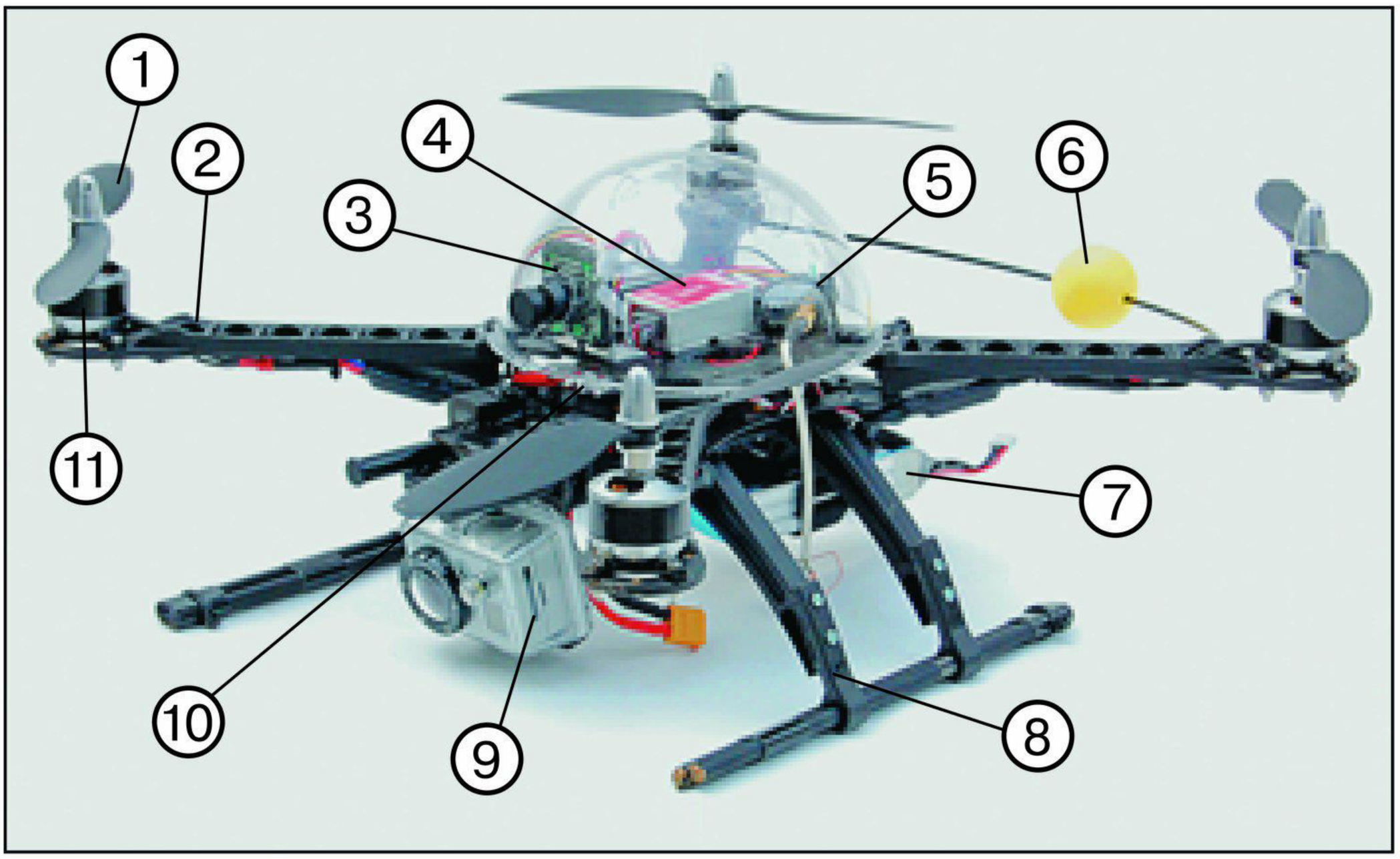


Рис. 1.5. Квадрокоптер — это комплекс деталей и оборудования (предоставлено Steve Lodefink)

жество решений: пропеллеры, покрашенные в разные цвета, светодиоды, светоотражающие материалы или, как на **рис. 1.5**, цветной шарик, которым отмечена хвостовая часть. Так что, решать вам.

7. **Источник питания.** Чаще всего это литиево-полимерный аккумулятор, который питает двигатели и бортовую электронику.

8. **Посадочные шасси.** Квадрокоптерам, к которым снизу подвешена камера или другое оборудование, нужны посадочные шасси, на которые они могут совершить посадку. Модели, не оснащенные штативом, не нуждаются в шасси и приземляются прямо на раму.

9. **Штатив.** Подвижная платформа для крепления камеры. Сервомоторы позволяют оператору вращать и наклонять камеру во время полета.

10. **Электронные регуляторы скорости** вращения пропеллеров (ESC). Преобразуют постоянный ток в переменный для бесщеточных двигателей, а также включают блоки питания двигателей. Ставят по одному на каждый двигатель. Программно-аппаратное обеспечение ESC можно менять, чтобы варьировать режимы работы двигателей. Например, контроллеры чаще всего запрограммированы так, чтобы снижать обороты двигателя перед остановкой.

11. **Двигатели.** Применяются двигатели, работающие как от постоянного, так и от переменного тока. Существует множество вариантов и ценовых категорий, в том числе и класса «премиум» для состоятельных моделистов. В **главе 6** «Строим квадрокоптер, часть II: двигатели и пропеллеры» подробно рассматриваются двигатели, подходящие для широкого круга любительских моделей.

Заключение

Из этой главы вы узнали о дронах, их общих характеристиках. В **главе 2** «Примеры самодельных дронов» вы узнаете, какое еще применение дронам нашли люди. Вы будете удивлены многообразию решений.

2

Примеры самодельных дронов

Итак, у вас появилась идея построить свой собственный дрон. Отлично. Предлагаю оценить, что в этом направлении уже сделано. 12 проектов, рассмотренных в данной главе, — это лишь небольшая подборка прекрасных самоделок из того, что существует в природе.

Квадрокоптер из обода велосипедного колеса

Этот проект наглядно демонстрирует, что раму квадрокоптера можно изготовить практически из чего угодно, лишь бы это было достаточно прочным и легким. Квадрокоптер, построенный Сэмом Леем (Sam Ley), имеет неплохие летные данные и пережил несколько аварий (**рис. 2.1**).

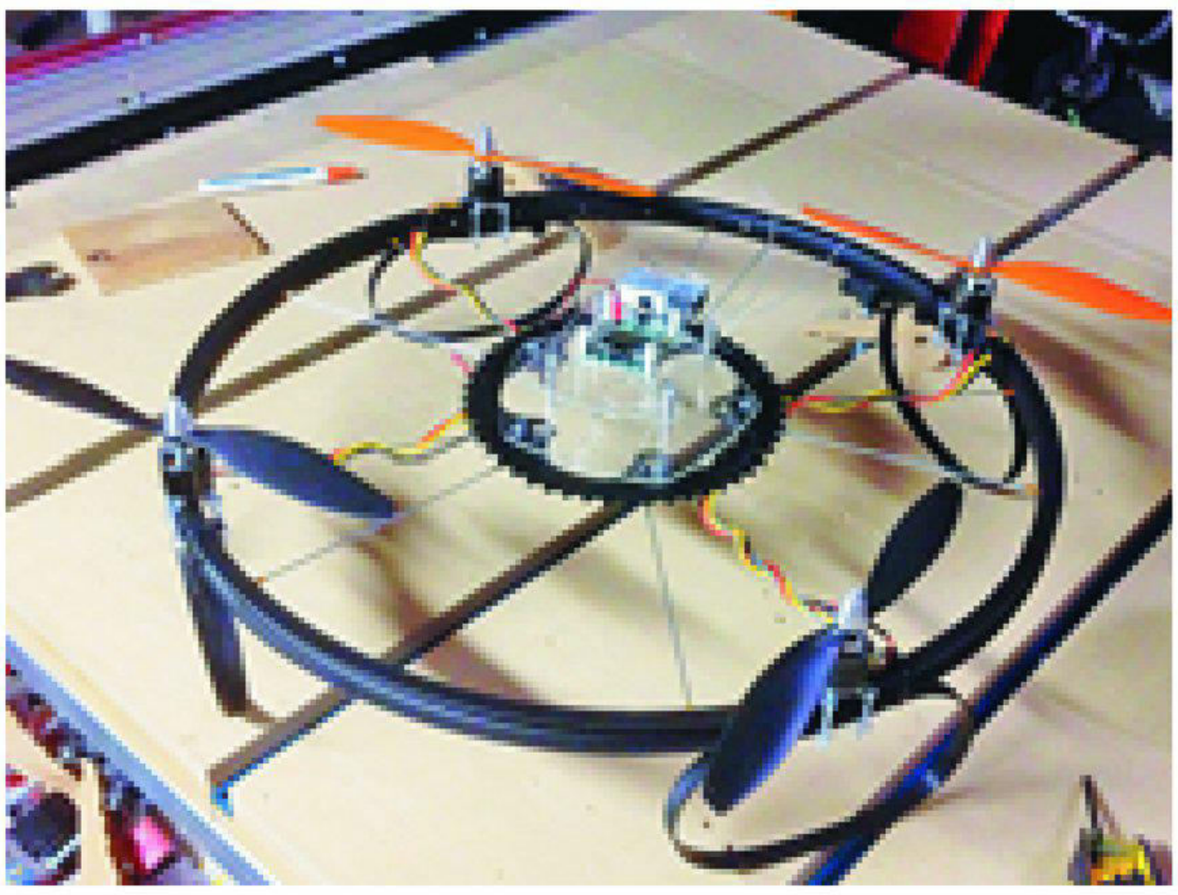


Рис. 2.1. Сэм Лей (Sam Ley) остроумно использовал подручные материалы для изготовления рамы (предоставлено Sam Ley [CC-A])

В **главе 4** «Строим квадрокоптер, часть I: выбор рамы» я расскажу, как приобрести или изготовить раму квадрокоптера. Прежде чем вы примете какое-то решение, еще раз посмотрите на этот оригинальный квадрокоптер и убедитесь, какое множество вариантов имеется у вас в запасе.

Миниатюрный квадрокоптер, изготовленный на 3D-принтере

Этот летательный аппарат, изготовленный пользователем Brendan22 (**thingiverse.com**), имеет множество конфигураций. Одна из них — четырехвинтовой мини-квадрокоптер (**рис. 2.2**). Этому же пользователю принадлежит модель T-6. Она имеет три луча, на каждом из которых смонтировано два мотора с пропеллерами. Ознакомиться с разработками этого пользователя можно по ссылке **http://www.thingiverse.com/Brendan22/**.

Еще один пример самодельной рамы, который вы можете рассмотреть и взять на вооружение, вы встретите, когда будете изучать **главу 4** и строить собственный дрон. Вы сэкономите уйму времени, если будете черпать идеи из доступных интернет-ресурсов, подобных Thingiverse, чтобы изготовить необходимые детали. Конечно, если у вас есть 3D-принтер.



Рис. 2.2. Есть идея конструкции рамы? Просто изготовьте ее на 3D-принтере (предоставлено Brendan22)

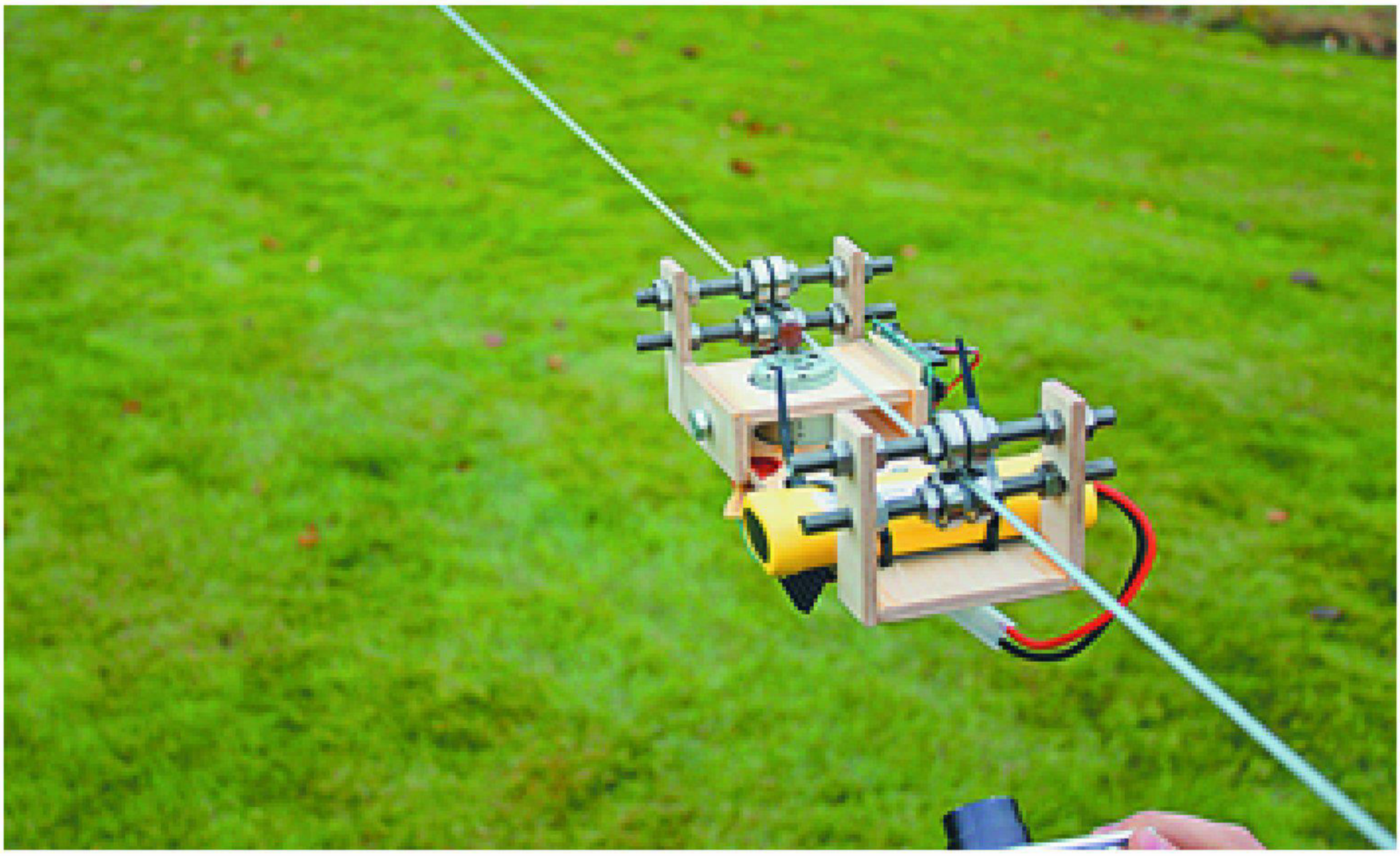


Рис. 2.3. Робот-канатоходец перемещается по веревке туда и обратно (предоставлено Pat Arneson)

Канатоходец

Робот-автомат, изготовленный Майком Хордом (Mike Hord), передвигается по бельевой веревке или кабелю до конца, а затем обратно (**рис. 2.3**). Это предельно простой дрон, и все же это дрон. У него простейшая система управления — ультразвуковой датчик, который сигнализирует контроллеру, что необходимо изменить направление вращения двигателя, — и все.

Этот робот является примером того, что дроны могут выглядеть как угодно. В четырех главах этой книги рассматриваются дроны, не относящиеся к квадрокоптерам: ракета, аэростат, лодка и вездеход.

Плавучие роботы

Это проект Стефана Келли, Софиан Одри и Самуэля Ст. Обина (Stephen Kelly, Sofian Audry, Samuel St Aubin). В его рамках создано множество плавучих роботов (**рис. 2.4**), которые перемещаются по водоему, поддерживая связь между собой посредством инфракрасных и звуковых сигналов. Интересно то, что они ведут себя как неизвестные доселе жи-

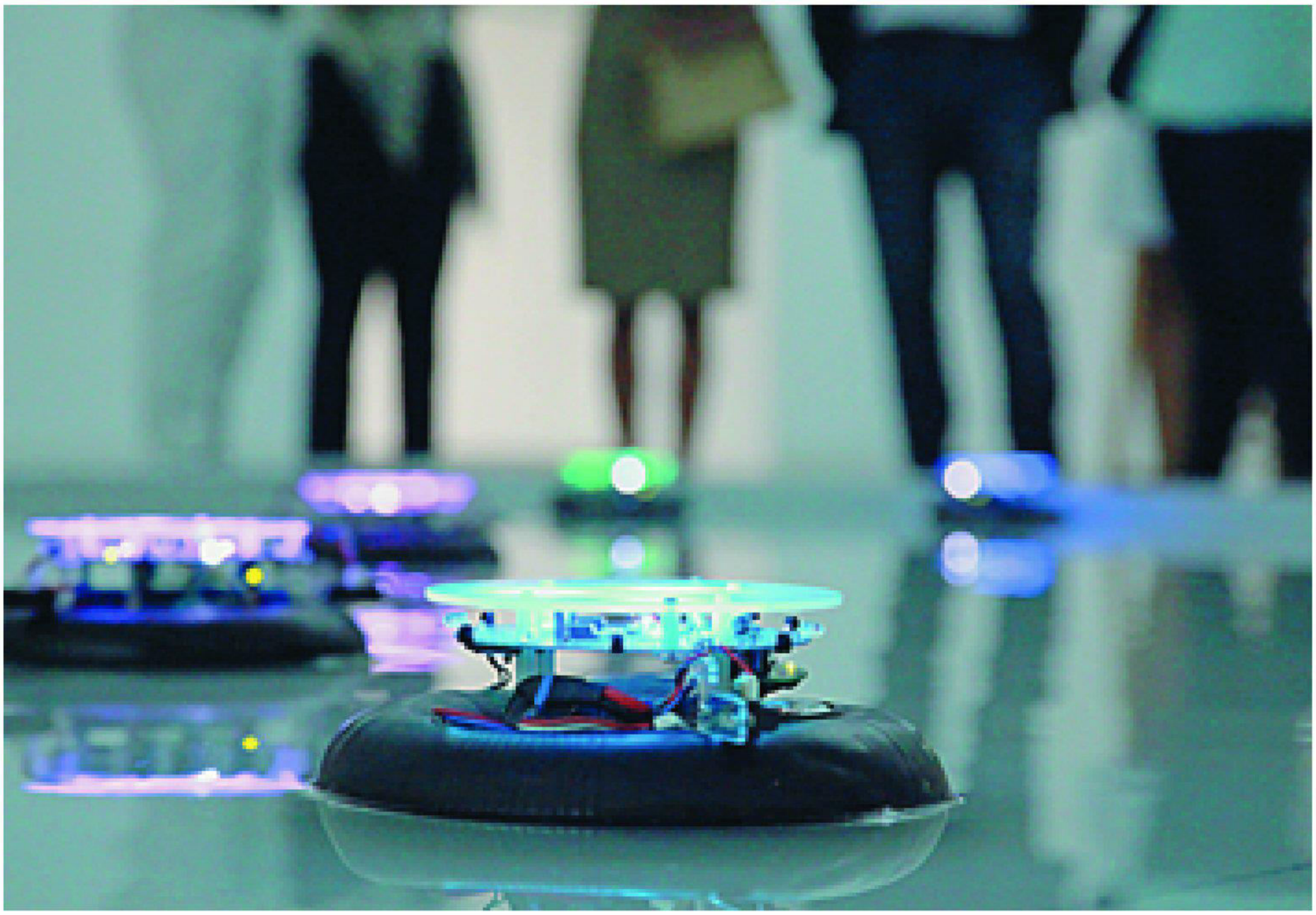


Рис. 2.4. Эти автономные роботы ведут себя, как живые существа (предоставлено Beatriz Orviz, LABoral, Испания)

вые существа. С этим проектом можно ознакомиться по ссылке **http://vessels/perte-de-signal.org/project/**.

В **главе 11** «Строим плавучий дрон» подробно рассматривается дрон, в котором для движения используется ... компьютерный вентилятор. Такие тихоходные лодочки вполне подходят для испытаний в домашних условиях.

Радиоуправляемый аэростат

Аэростат, построенный студентами и преподавателями факультета робототехники университета Айдахо (Idaho State University), имеет два двигателя постоянного тока для вращения пропеллеров. Каждый двигатель снабжен сервоприводом, что позволяет поворачивать двигатели независимо друг от друга (**рис. 2.5**). Управление осуществляется пультом дистанционного управления. На борту аэростата установлены платы XBee (на основе технологии Wi-Fi. — *Прим. пер.*), через связь с которыми осуществляется управление. Подробнее с этим проектом можно ознакомиться по ссылке **http://www.thingiverse.com/thing:98815**.

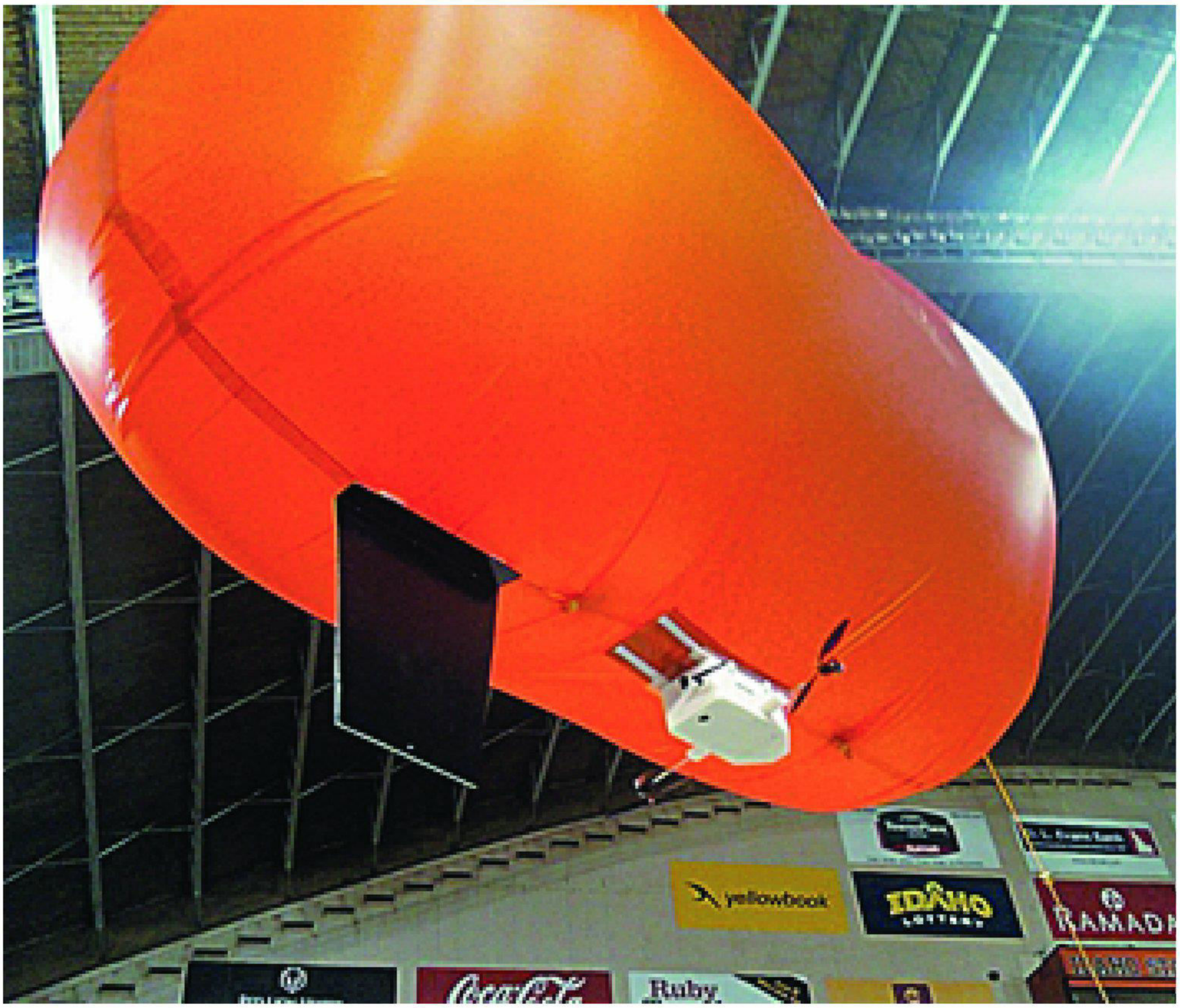


Рис. 2.5. Аэростат с гондолой, изготовленной на 3D-принтере (предоставлено Geran Call)

В **главе 7** «Строим управляемый аэростат» вы прочитаете, как построить двухмоторный аэростат с гондолой, которая вырезана лазерным резаком из дерева. Управление осуществляется бортовым приемником радиосигнала.

Квадрокоптер, оснащенный курсовой камерой

Квадрокоптер, построенный Стивом Лоудфинком (Steve Lodefink) (**рис. 2.6**), теперь уже не выглядит таким симпатичным — буквально после того как была сделана эта фотография, он упал с большой высоты и разбился. Он был оснащен двумя камерами: курсовой камерой низкого разрешения и камерой GoPro Hero2 для съемки в высоком разрешении.



Рис. 2.6. У этого симпатичного квадрокоптера вышла из строя система питания, и он рухнул на землю (предоставлено Steve Lodefink)

Глядя на фотографию, понимаешь, почему подобные модели так популярны. По мере чтения этой книги вы сможете шаг за шагом построить квадрокоптер, правда, поменьше и попроще, чем у Стива.

Управляемый трехколесный велосипед

Рама и колеса этого трехколесного велосипеда (**рис. 2.7**) изготовлены на 3D-принтере. У модели имеются управляемые передние колеса и заднее колесо, снабженное двигателем. Движение задается стандартным устройством дистанционного управления. Подробнее с этой моделью можно ознакомиться по ссылке **http://www.thingiverse.com/thing:499130**.

Дроны, которые перемещаются по поверхности, называются вездеходами или роверами. В **главе 13** «Строим управляемый вездеход» вы ознакомитесь с постройкой подобной модели. У вездеходов совершенно иные задачи и возможности по сравнению с летательными аппаратами, и создавать их очень увлекательно.

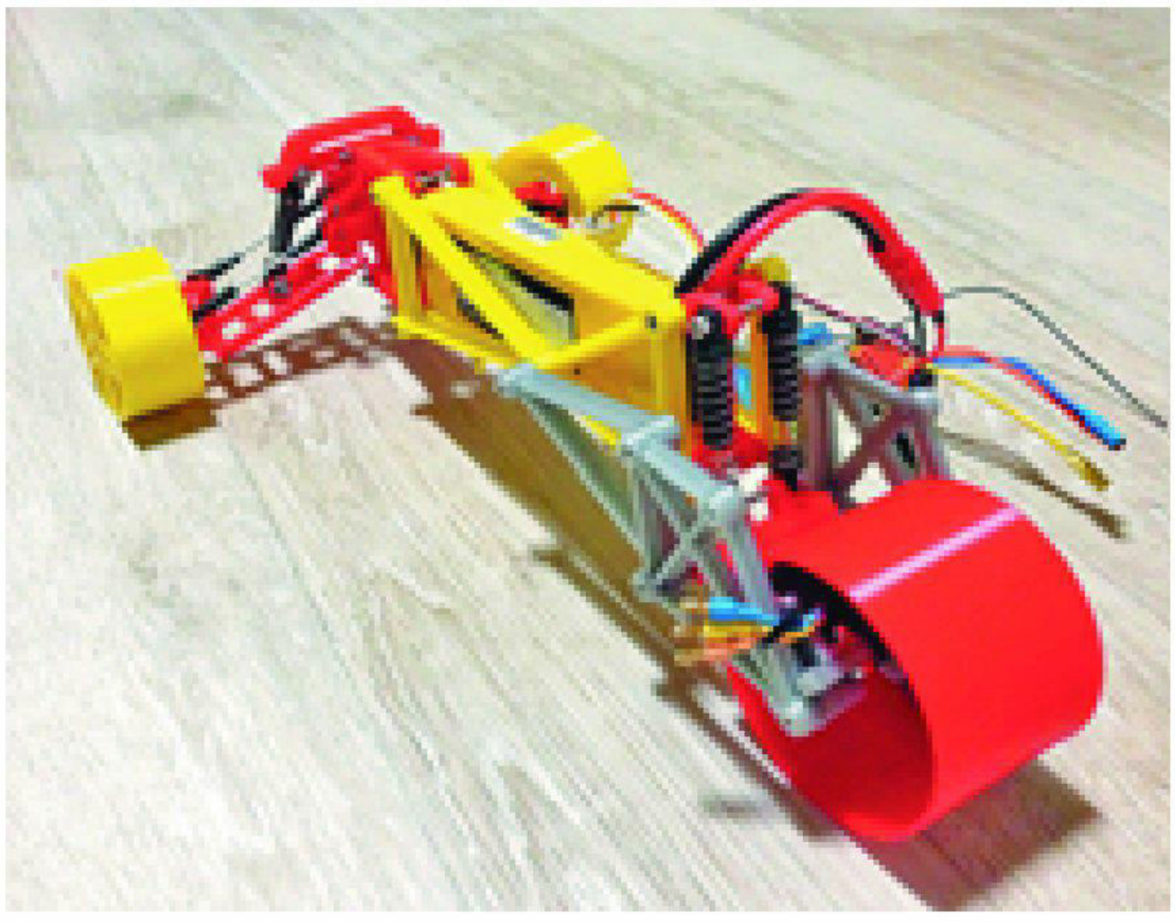


Рис. 2.7. Трехколесный велосипед, рама и колеса которого изготовлены на 3D-принтере (предоставлено cupidmoon)

Складной квадрокоптер

Роджер Мюллер (Roger Mueller) разработал и изготовил на 3D-принтере складную раму квадрокоптера, чтобы удобно было брать его с собой в путешествия. На **рисунке 2.8** изображен квадрокоптер, упавший с высоты 20 м; причем в результате падения у него сломалась лишь стойка шасси. Подробнее ознакомиться с этой моделью можно по ссылке **http://www.thingiverse.com/thing:71972**.

Занимаясь проектированием и постройкой своих дронов, вы всегда должны помнить, что они бьются! Любая построенная птица, поднимающаяся в небо, падает по крайней мере однажды. В **главе 12** «Строим квадрокоптер, часть V: дополнительное оборудование» рассказывается о защитных приспособлениях — парашюте и пластиковой гондоле, которые помогут защитить дрон от удара.



Рис. 2.8. Складной квадрокоптер Роджера Мюллера выжил при падении, сломались только стойки шасси (предоставлено Roger Mueller)

Миниатюрный квадрокоптер

Квадрокоптер «SK!TR», созданный Стивом Доллом (Steve Doll) (**рис. 2.9**), легко помещается на ладони, если не считать, конечно, лучи с двигателями. Модель оснащена стабилизатором полета (полетным контроллером) OpenPilotCopterControl (**openpilot.org**). У Стива есть собственный магазин (**hovership.com**), где продаются рамы, двигатели и комплекты для сборки моделей.

В **главе 8** «Строим квадрокоптер, часть III: управление полетом» мы подробно рассмотрим различные модификации автопилотов, или полетных контроллеров, и вы сможете оснастить свое детище подходящим контроллером.



Рис. 2.9. Квадрокоптер Стива Долла «SK!TR» легко поместится в коробку для завтрака (предоставлено Steve Doll)

Лодка с дистанционным управлением, изготовленная на 3D-принтере

Лодки, которые Майкл Кристоу (Michael Christou) изготавливает на 3D-принтере, передвигаются при помощи винтов, крыльчаток и других движителей. В прошлом инженер-изобретатель, а теперь на пенсии, он сосредоточился на создании оригинальных роботов, например лодок (**рис. 2.10**). Подробнее ознакомиться с этой моделью можно по ссылке **http://www.thingiverse.com/thing:272132**.

Я уже упоминал **главу 11**, когда говорил о плавучих роботах. В этой главе вы ознакомитесь с важным аспектом изготовления плавучих роботов, а именно с обеспечением водонепроницаемости.

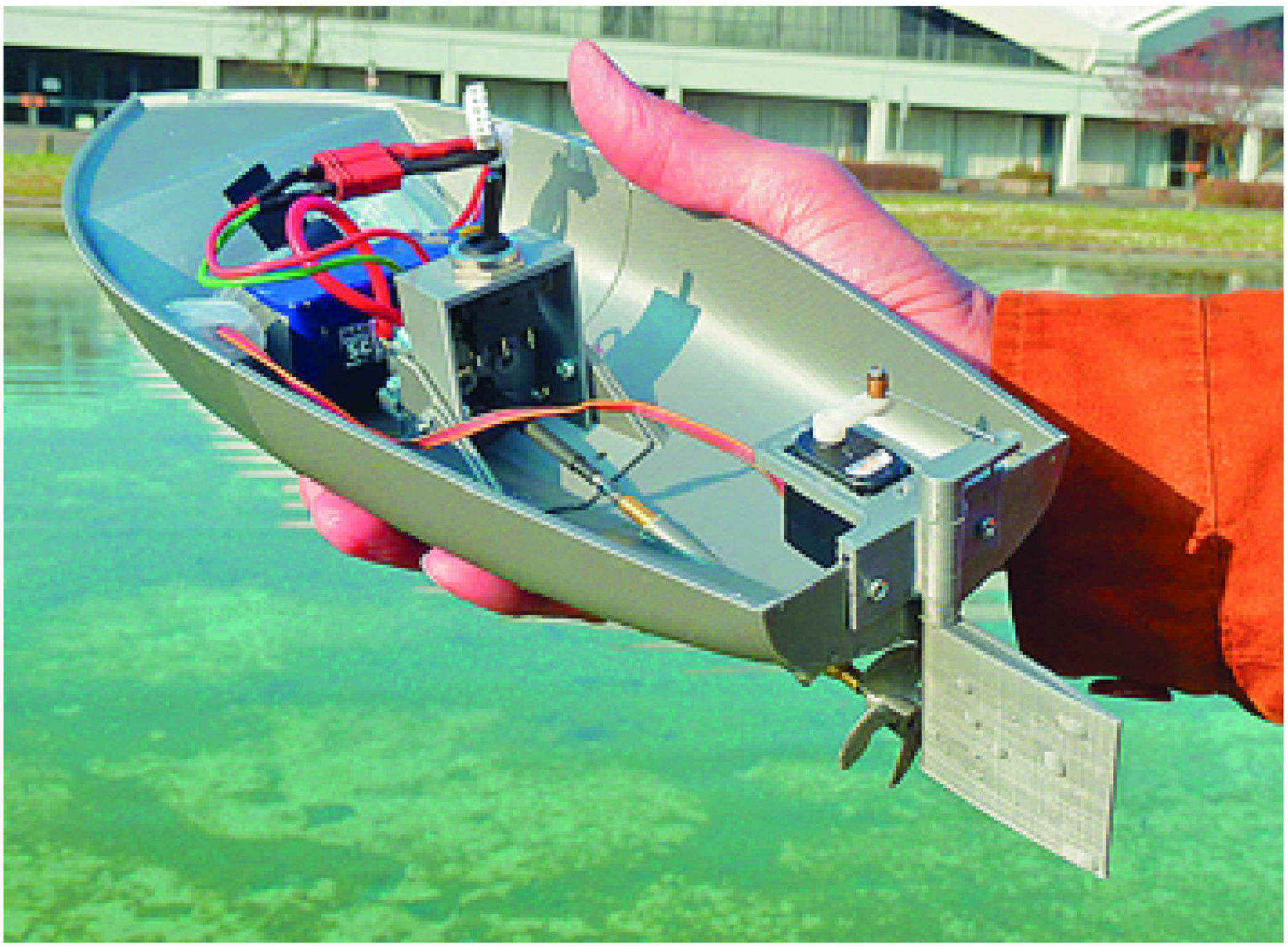


Рис 2.10. Лодку Майкла Кристоу можно изготовить на 3D-принтере, скачав данные из Интернета (предоставлено Michael Christou)

Трикоптер

Беспилотник, показанный на **рис. 2.11**, оснащен полетным контроллером MultiWii — достаточно дорогой платой с открытым исходным кодом. Принцип действия трикоптеров отличается от принципа действия квадрокоптеров, поскольку один из двигателей закреплен подвижно. Задний пропеллер модели поворачивается при помощи сервопривода, что позволяет совершать практически экстремальные маневры. К тому же модель оборудована видеокамерой GoPro, которая расположена в передней части. Более подробно можно ознакомиться по ссылке **http://theboredengineers.com/2013/07/the-tricopter/**.

Трикоптер наглядно демонстрирует разнообразие мультикоптеров: кроме старых добрых квадрокоптеров, существуют аппараты с шестью, восемью и, конечно же, с тремя пропеллерами.

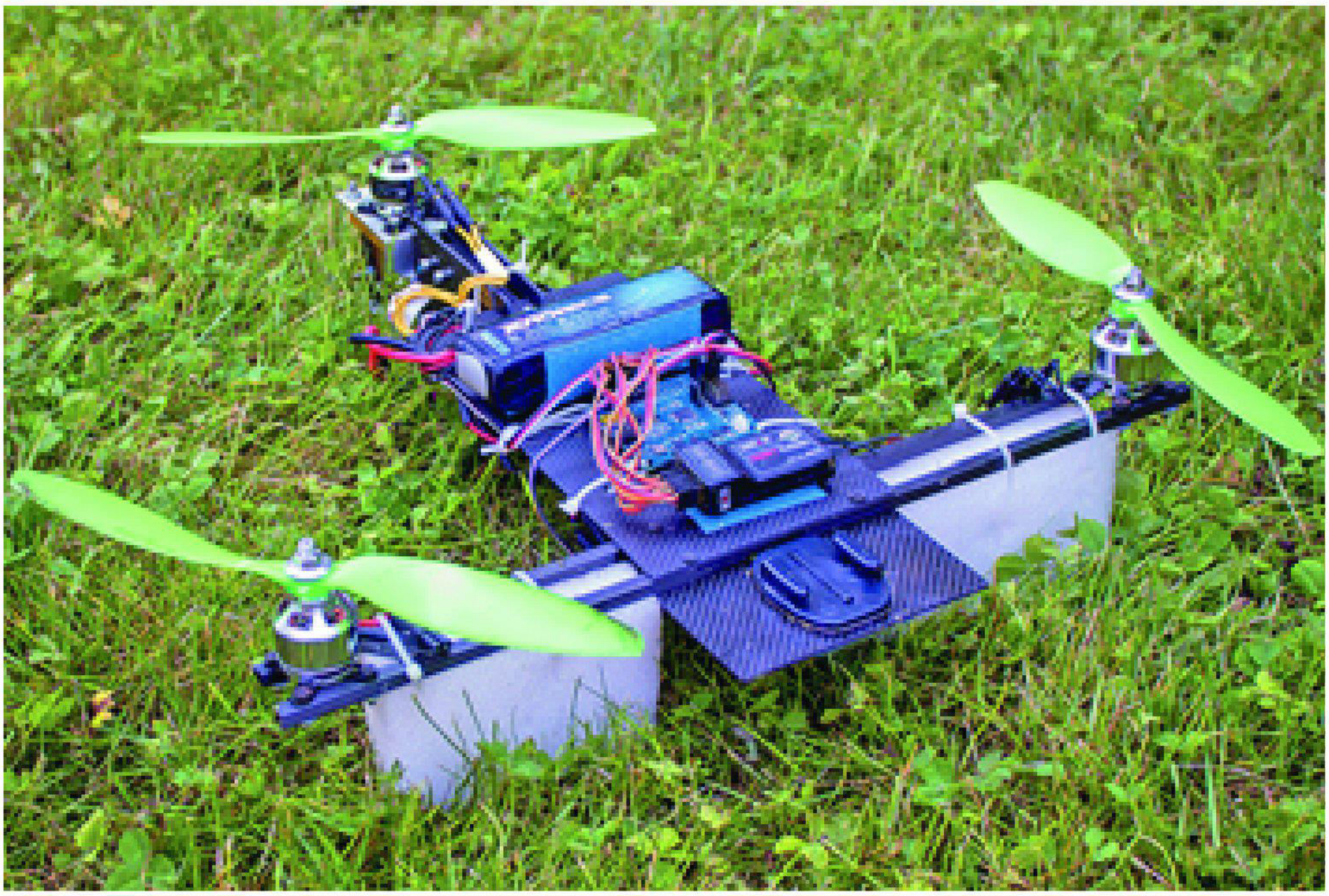


Рис. 2.11. Этот трикоптер обладает высокой маневренностью благодаря подвижности третьего двигателя

Вездеход, оснащенный колесами Mecanum[1] (шведскими колесами)

Колеса — важная деталь вездехода, поскольку именно благодаря им он перемещается. Изготовленный на 3D-принтере вездеход (**рис. 2.12**) оборудован несуразными на первый взгляд колесами Mecanum.

Конструкция представляет собой колесо, приводимое во вращение мотором. По всей окружности колеса смонтировано несколько бесприводных роликов меньшего диаметра. Оси вращения роликов составляют с осью колеса угол 45°.

Изменяя направление вращения роликов на отдельных колесах или задействуя все колеса сразу, можно заставить машину, оснащенную

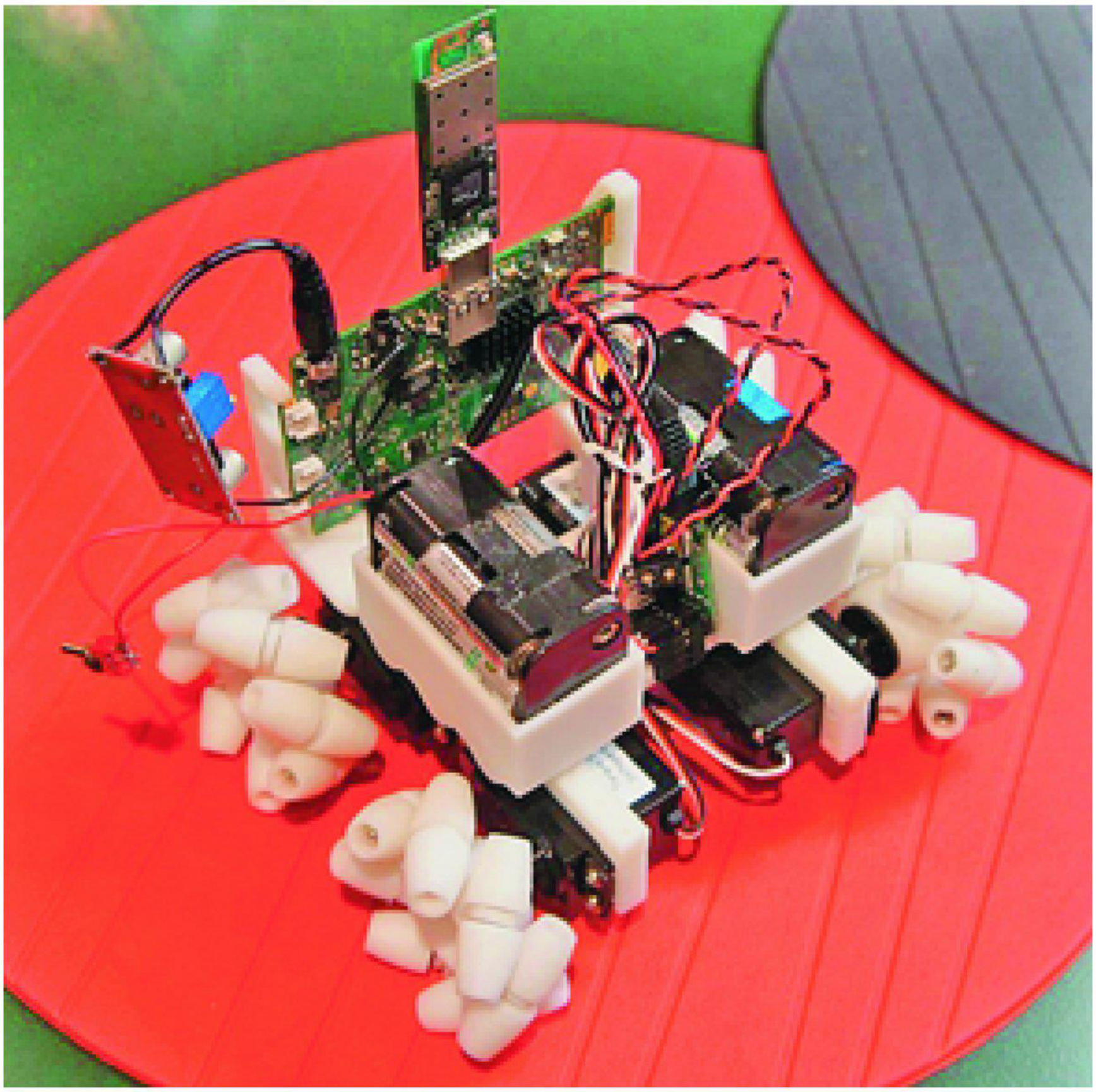


Рис. 2.12. Шведские колеса позволяют роботу передвигаться в любом направлении (предоставлено Madox)

---

[1] Mecanum AB — шведская фирма, где работал изобретатель Bengt Ilon, поэтому эти колеса иногда называют колесами Илона. — *Прим. пер.*

колесами Илона, двигаться в любом направлении — не только вправо-влево, вперед-назад, но и по диагонали.

Вездеход оснащен микроконтроллером Chumby One. Подробнее ознакомиться с этой моделью можно по ссылке **http://www.thingiverse.com/thing:5681**.

В **главе 13** вы сможете более подробно ознакомиться с разнообразием колес и механизмов. Тема колес так же важна для вездехода, как выбор пропеллеров для квадрокоптера. Следует отметить, что существует множество готовых решений, которые можно приобрести или реализовать своими силами.

Заключение

Надеюсь, что, прочитав эту главу, вы получили представление об общем положении дел в этой области. Вы рассмотрели все разнообразие дронов: квадрокоптеры, лодки, самолеты и автомобили. В **главе 3** «Обзор продаваемых моделей и комплектов для сборки» вы рассмотрите некоторые наборы и готовые изделия, подобные тем, что видели в этой главе, но только доведенные до совершенства.

3

Обзор продаваемых моделей и комплектов для сборки

Легче всего заполучить дрон в свое распоряжение — это купить его. В этом нет ничего зазорного, поскольку позволит вам быстрее приступить к полетам. Однако в этом случае вы вряд ли получите достаточные знания по электронике и робототехнике. А вот готовый комплект для сборки дает вам возможность самостоятельно произвести сборку из готовых деталей. В процессе сборки модели вы получаете представление об отдельных узлах и их взаимодействии. Это золотая середина между созданием всего с нуля и покупкой готового изделия.

Квадрокоптер Parallax ELEV-8

Модель ELEV-8 (арт. MKPX23) — вторая модель на рынке квадрокоптеров от фирмы Parallax. Эта фирма также выпускает микроконтроллеры, наиболее известным из которых является Propeller на базе чипа PBX32A. Как видите, то, что полетный контроллер модели ELEV-8 собран на базе этого же чипа, не является случайностью. Следовательно, данный квадрокоптер является чем-то вроде рекламы элементной базы, выпускаемой фирмой Parallax.

ELEV-8 отличается аккуратным и обтекаемым дизайном (**рис. 3.1**). В этой модели различные провода и крепежи, которые обычно раздражают, скрыты внутри полых лучей, а регуляторы скорости расположены между двумя монтажными площадками (**рис. 3.2**).



Рис. 3.1. Модель ELEV-8 имеет обтекаемую форму и отличается значительно меньшим количеством торчащих проводов, чем это обычно бывает (предоставлено Parallax)



Рис. 3.2. Квадрокоптер ELEV-8 — птица, своенравная в полете (предоставлено Parallax)

При покупке следует иметь в виду, что в комплект не входит аккумуляторная батарея, а также устройства приема и передачи радиосигнала. Их придется приобретать самостоятельно. Производитель предлагает специальный литий-полимерный (LiPo) аккумулятор и заверяет, что практически любой комплект приемник—передатчик совместим с данной моделью квадрокоптера.

В завершение следует сказать, что Parallax рекомендует ELEV-8 опытным операторам, поскольку управление им требует навыка.

Приведем основные характеристики ELEV-8. На **рисунке 3.3** вы легко найдете все описываемые детали, входящие в комплект поставки.



Рис. 3.3. Модель ELEV-8 радует глаз своей привлекательностью, но потребует усилий при сборке (предоставлено Parallax)

- **Рама**: алюминиевые трубки с пластиковыми площадками и соединителями.
- **Шасси**: пластик.
- **Двигатель**: 4 шт. на 1000 kV.
- **Регулятор скорости (ESC)**: GemFan 30A, 4 шт.
- **Полетный контроллер**: в комплект входит плата управления полетом Hoverly Open.
- **Источник питания**: в комплект не входит, но рекомендуется трехбаночный литий-полимерный (LiPo) аккумулятор емкостью 3300 мА · ч.
- **Цена**: $400–550.
- Ссылка на сайт производителя: **http://www.parallax.com/product/elev-8**.

Квадрокоптер DJI Phantom 2 Vision+

Это высококачественный квадрокоптер. Модель продается в предварительно собранном виде. В зависимости от комплектации цена колеблется от $580 до 1300. В топовой комплектации Vision+ **(рис. 3.4)** оснащен штативом с сервоприводом **(рис. 3.5)**, что позволяет поворачивать камеру как угодно.

Квадрокоптер Phantom обладает гораздо большими функциональными возможностями по сравнению с другими моделями. Модель Vision+ оснащена контроллером, работающим на частоте 5,8 ГГц. Этот контроллер имеет держатель для смартфона, поэтому есть возможность управлять квадрокоптером, используя приложение для смартфона. Можно также пользоваться джойстиками на пульте управления.

Подводя итог, можно сказать, что модель Vision+ очень привлекательна: у нее прекрасные обводы, на лучах наклеены полоски светодиодов **(рис. 3.6)**.



Рис. 3.4. DJI Phantom продается в готовом виде. Он отлично смотрится (предоставлено DJI)



Рис. 3.5. Модель Vision+ оснащена камерой на подвижном штативе, чем оправдывает свое название. Камера входит в комплект поставки (предоставлено DJI)

Основные характеристики модели DJI Phantom 2 Vision+:

- **Рама**: металл и пластик.
- **Двигатель**: бесщеточный MN2214 920 kV с внешним ротором, 4 шт.
- **Регулятор скорости**: специальный контроллер DGI, 4 шт.
- **Полетный контроллер**: DJI NAZA Autopilot.
- **Источник питания**: литий-полимерный аккумулятор емкостью 5200 мА · ч.
- **Цена**: $579–1229.
- Ссылка на сайт производителя: **http://www.firstpersonview.co.uk/quadcopters/dji-phantom-2-vision-plus**.



Рис. 3.6. Яркие светодиоды не только освещают квадрокоптер, но и показывают оператору, где носовая, а где хвостовая часть (предоставлено DJI)

Подводный дрон OpenROV

Ранее я упоминал такую категорию дронов, как роботы-батискафы (ROV). Наилучшим примером может служить самодельный подводный дрон OpenROV **(рис. 3.7)** — полупрофессиональный батискаф с дистанционным управлением, который можно купить и который проходил испытания в озерах и океанах по всему земному шару. Он использовался для исследования подводных пещер, мест кораблекрушений и антарктических ледников. Если говорить о более прозаическом применении этого аппарата, то с его помощью исследовали корпуса кораблей, чтобы не прибегать к услугам профессионального водолаза.

Батискаф оснащен тремя двигателями, вся управляющая электроника находится в герметичном корпусе, чтобы сберечь ее от намокания. Поскольку радиоволны плохо распространяются в толще воды, компьютер оператора соединен с батискафом длинным кабелем **(рис. 3.8)**.

Оператор следит за перемещением батискафа при помощи веб-камеры, управление движением осуществляется браузерным приложением. Следует также добавить, что в толще воды, как правило, темно, поэтому батискаф оснащен прожекторами — двумя светодиодными фонарями.

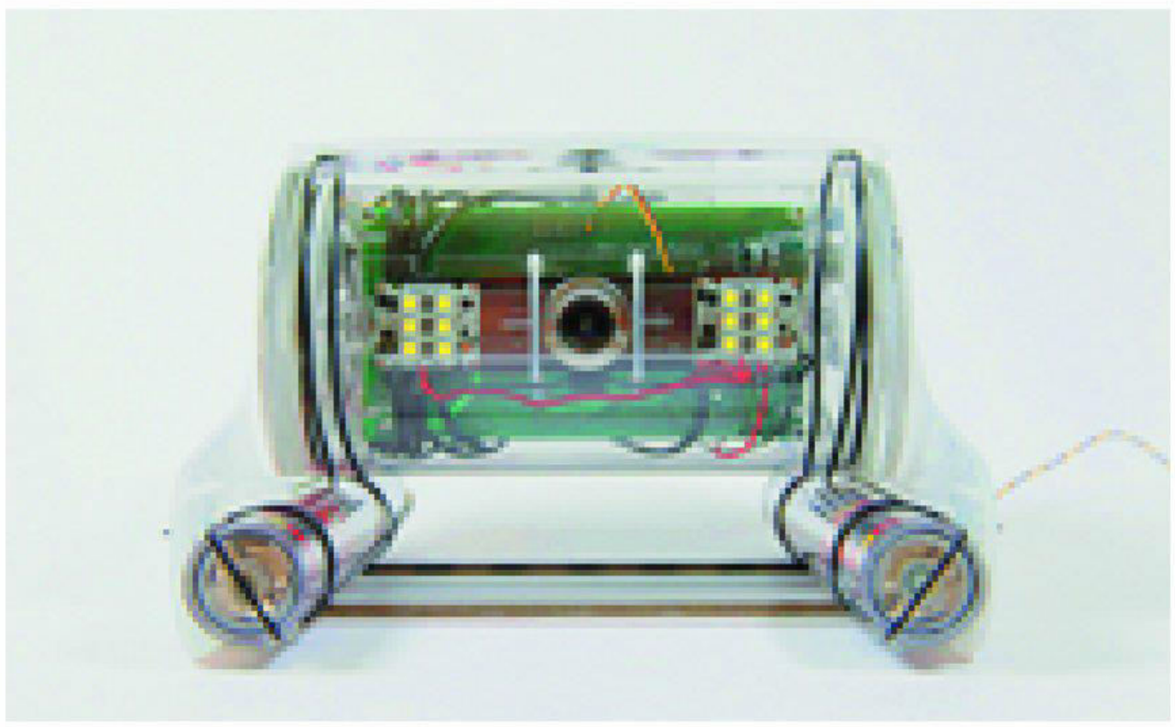


Рис. 3.7. OpenROV — это небольшой батискаф, который проводит подводные исследования, в то время как оператор находится на поверхности (предоставлено OpenROV)

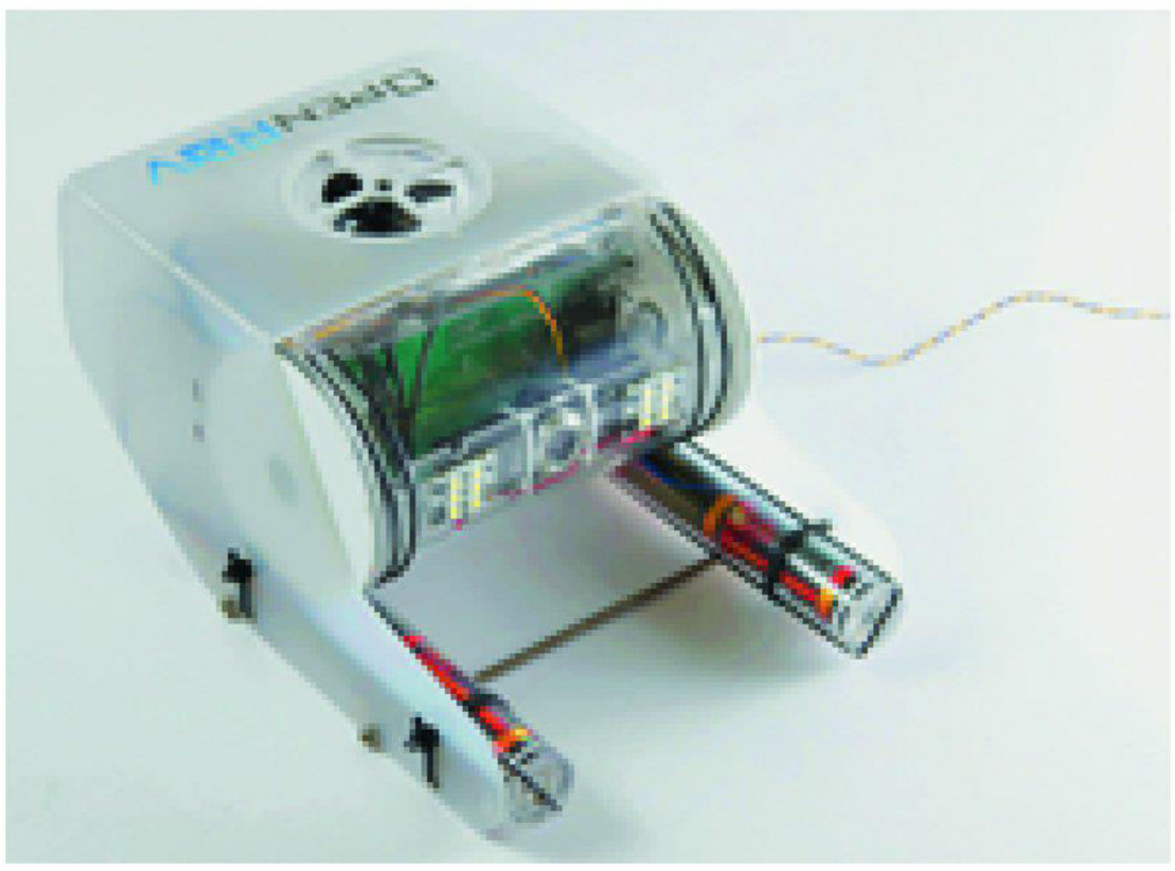


Рис. 3.8. Инструкции передаются на батискаф по кабелю (предоставлено OpenROV)



Рис. 3.9. Соедините эти детали, и получится батискаф (предоставлено OpenROV)

В комплект поставки входят (**рис. 3.9**):

- **Рама**: акриловая, изготовленная при помощи лазерного резака.
- **Двигатель**: бесщеточный двигатель постоянного тока, оснащенный высокопроизводительными гребными винтами Graupner, 3 шт.
- **Регулятор**: контроллер FalconSEKIDO для бесщеточных двигателей, 4 шт.
- **Управление**: плата BeagleBone Black, подключенная к Arduino Mega; связь с поверхностью осуществляется через Ethernet-контроллер.
- **Источник питания**: аккумуляторы в комплект не входят, но требуется 6 литиевых аккумуляторов типа «С».
- **Цена**: $899 — набор деталей, $1450 — готовое изделие.
- Ссылка на сайт производителя: **openrov.com**.

Вездеход Nomad из модельного ряда Actobotics

Отличительной чертой моделей Actobotics являются фирменные балки с множеством отверстий (**рис. 3.10**). Модель Nomad — это одно из последних решений. Все в этом роботе просто кричит о том, что ему не хва-

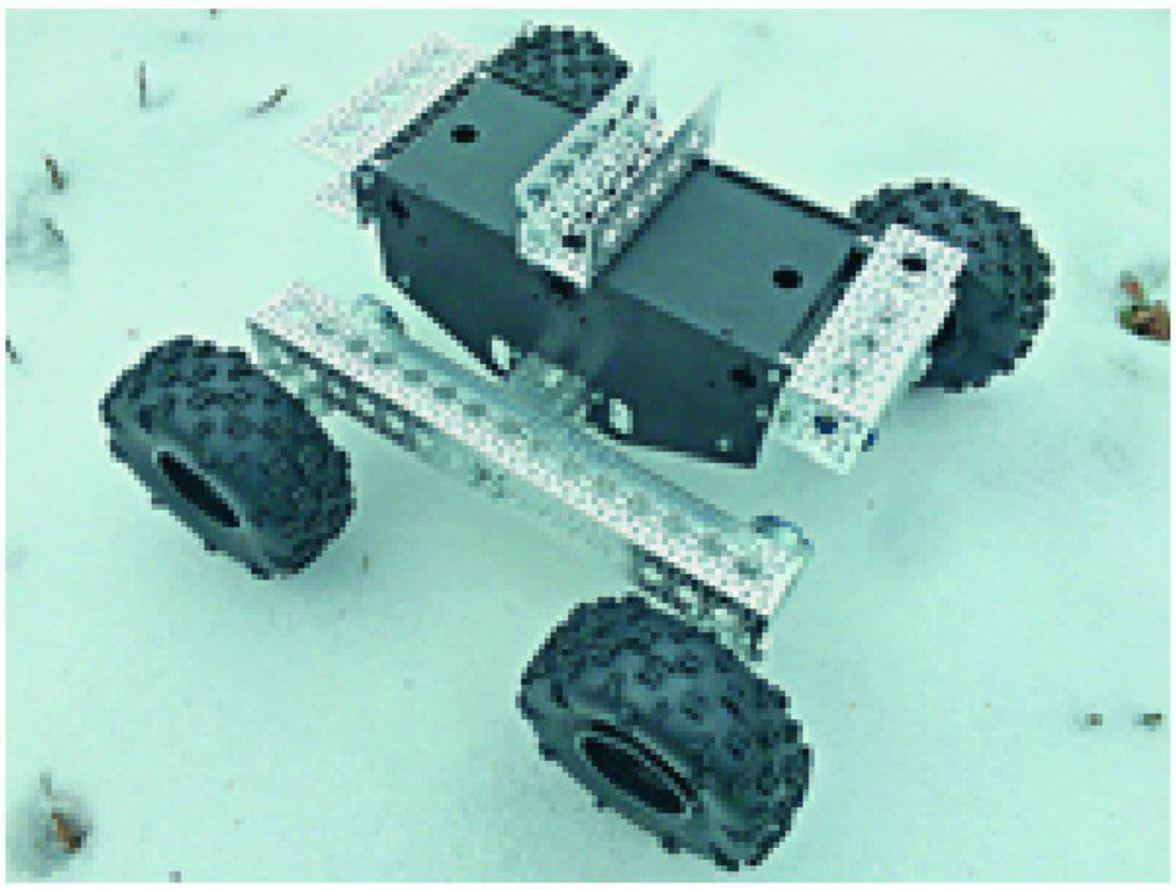


Рис. 3.10. Nomad — это только рама и двигатели, остается установить аккумулятор и микроконтроллер

тает только датчиков и систем управления. Я имею в виду, что в комплект не входят системы управления; их следует установить самостоятельно после того, как вы соберете раму и установите двигатели и колеса.

Колеса для такого маленького робота достаточно надежные. Самая большая деталь рамы имеет длину порядка 30 см. Колеса имеют диаметр 5 дюймов (≈12,7 см) и ширину около 2 дюймов (около 5 см) — есть что противопоставить различным препятствиям (**рис. 3.11**).



Рис. 3.11. Отличительная черта модели Nomad — внедорожные шины

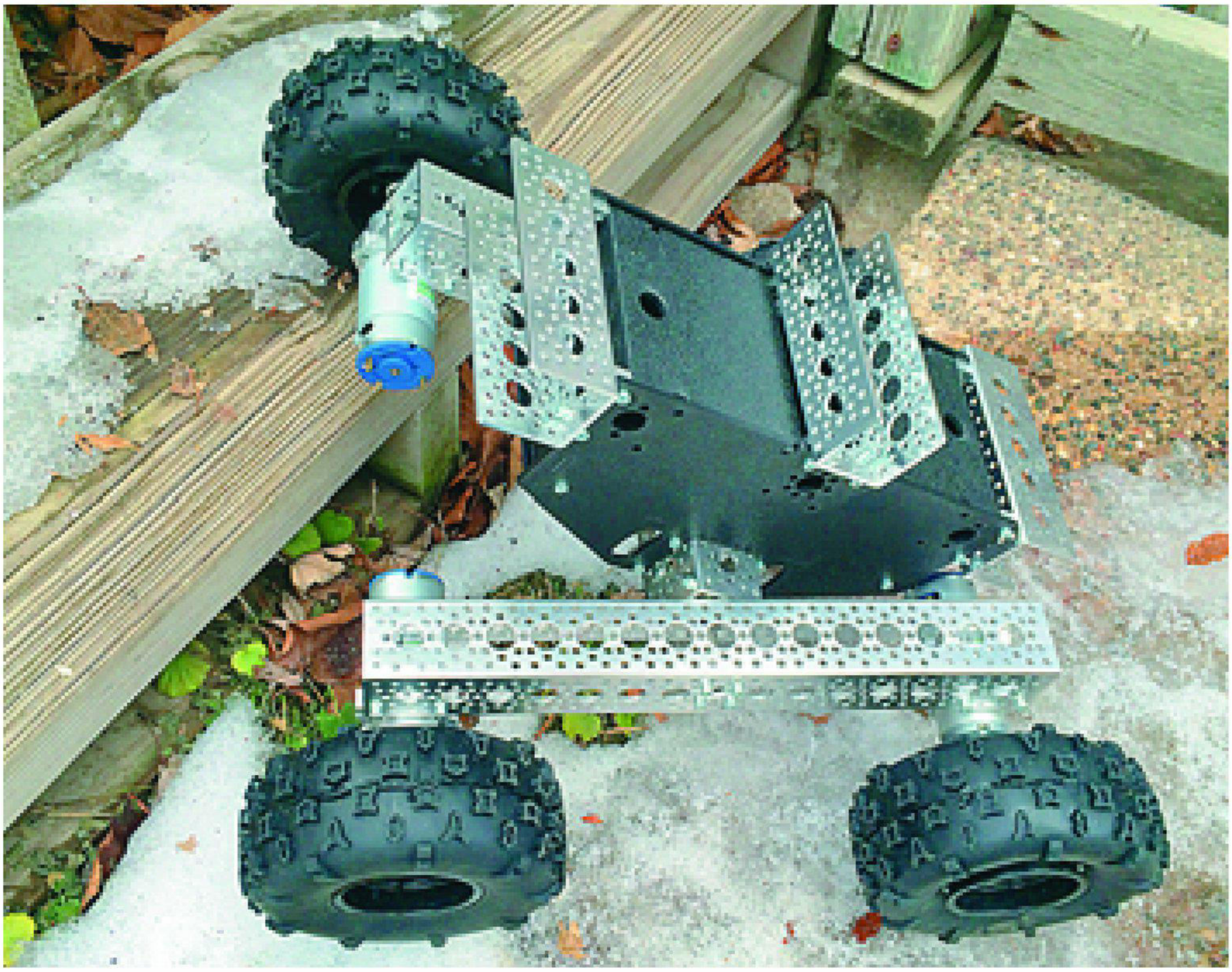


Рис. 3.12. Внедорожные шины необходимы при движении по неровной поверхности

Я уже говорил, что вам придется самостоятельно приобретать аккумулятор и микроконтроллер системы управления. Не покупайте Nomad, пока не запасетесь этими вещами. Данная модель может послужить неплохой практикой в построении вездехода. Его конструкция достаточно надежна, чтобы эксплуатировать его в любых условиях, которые может предложить ваш задний двор (**рис. 3.12**).

Основные характеристики Nomad:

- **Рама**: перфорированные экструдированные алюминиевые балки швеллерного профиля.
- **Двигатель**: двигатель постоянного тока, 12 В, 313 об/мин, 4 шт.
- **Колеса**: снабжены внедорожными шинами.
- **Регуляторы**: в комплект не входят.
- **Системы управления**: в комплект не входят.
- **Источник питания**: в комплект не входит.
- **Цена**: $280.
- Ссылка на сайт производителя: **https://www.sparkfun.com/actobotics** или **https://www.servocity.com/html/actoboticstm.html**.

Модель самолета Flack от фирмы Brooklyn Aerodrome

Brooklyn Aerodrome (**brooklynaero.com**) — компания в Нью-Йорке, которая занимается производством летательных аппаратов с дистанционным управлением. Эти модели сделаны из бытовых материалов и выглядят, как ярко раскрашенный кусок пенопласта (**рис. 3.13**). Однако, будучи оснащена электродвигателем для приведения в движение и сервоприводом для управления рулями, модель Flack (Flying Hack — дословно «летающая лопата») очень маневренна. Благодаря тому что самолет изготовлен из пенопласта, восстановить его в случае аварии ничего не стоит — если случилась авария и пластик поврежден, нужно просто переставить оборудование на новое крыло.

Модель начинала со стоимости $100 за комплект, но сейчас она вдвое дороже, так как теперь оснащена чуть лучшим оборудованием и поставляется вместе с большим руководством, содержащим подроб-

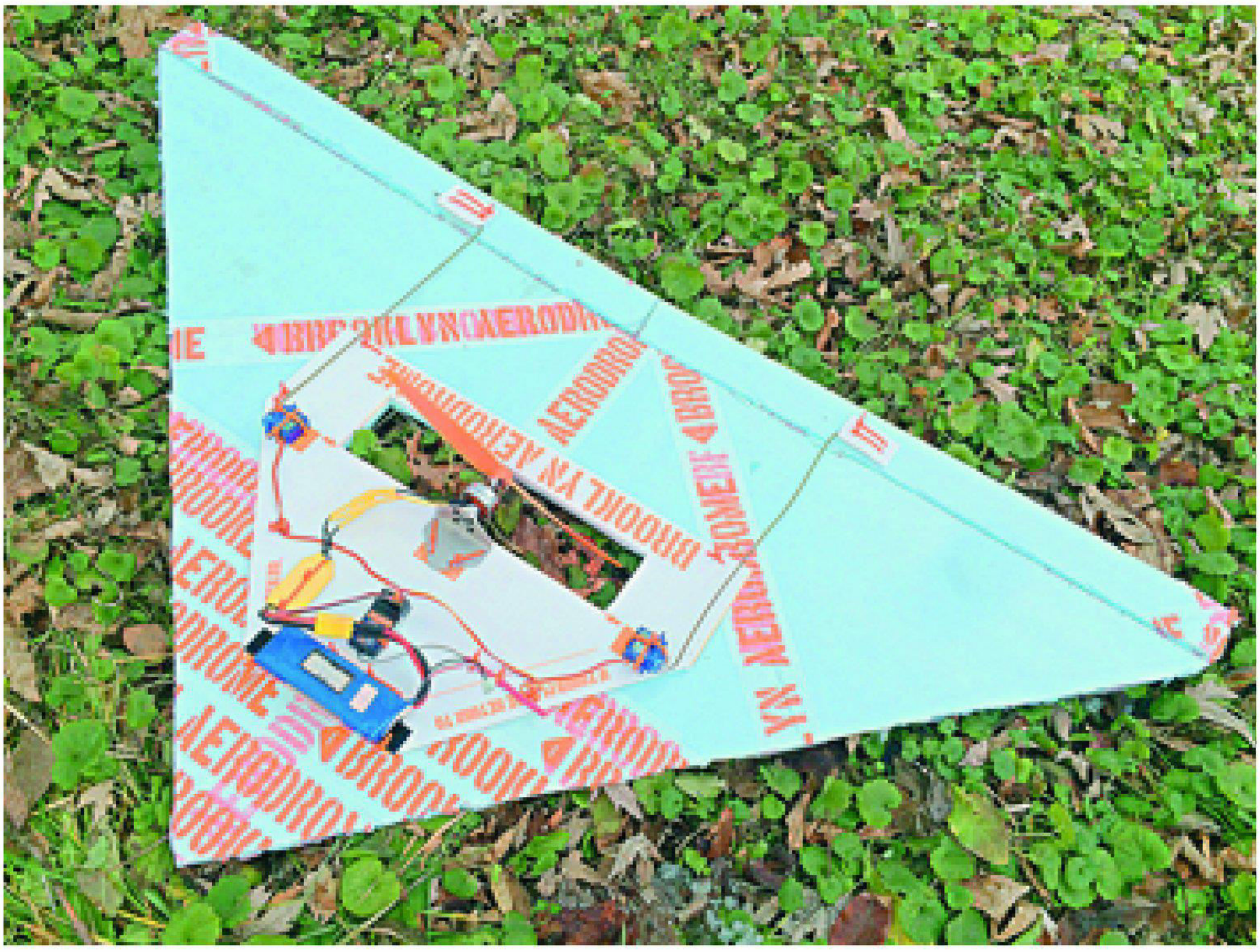


Рис. 3.13. Модель Flack от фирмы Brooklyn Aerodrome — недорогой самолет с дистанционным управлением, который может построить каждый

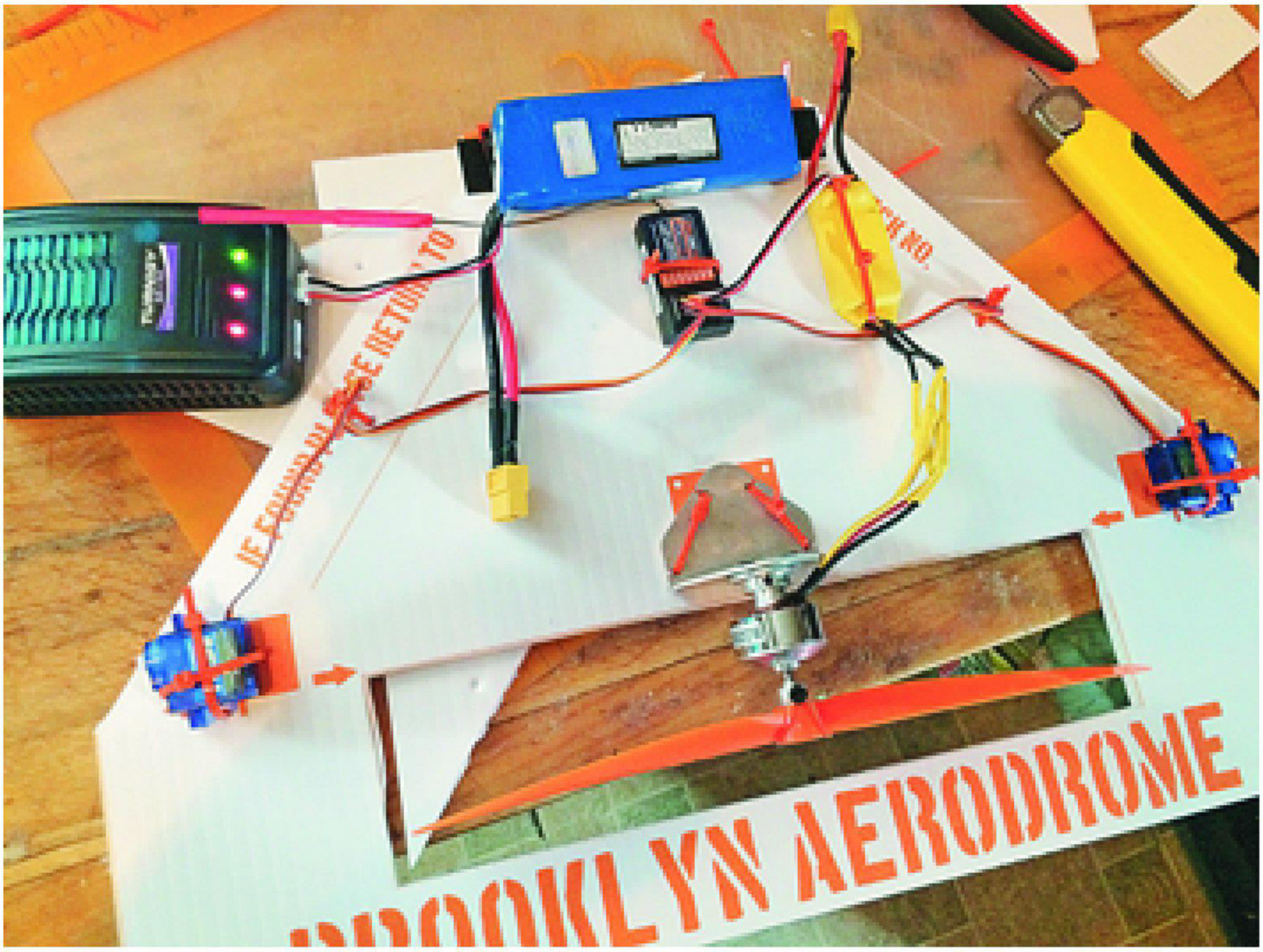


Рис. 3.14. Flack продается в виде комплекта деталей, собирать эту модель придется самостоятельно

ное описание. Если вы собираетесь долгое время заниматься построением бюджетных радиоуправляемых моделей, данное руководство еще не раз вам поможет.

В комплект для сборки (частично собранный Flack можно видеть на **рис. 3.14**) входит все необходимое: аккумулятор, контроллер для базовой модели, приемник сигнала, двигатели и немалое количество скотча для ремонта в случае аварии. Собирая данную модель, можно приобрести навыки использования легких подручных материалов, например пластиковых стяжек, которые тем не менее достаточно ударопрочны (**рис. 3.15**).

Основные характеристики:

- **Рама**: фюзеляж из сотового полипропилена и крылья из пенопласта. Запасные крылья есть в наборе, но их можно изготовить и самостоятельно.
- **Двигатель**: бесщеточный двигатель с внешним ротором HiModel 1800 kV, 1 шт.; микросервомотор TG9E, 2 шт.
- **ESC**: на 18 А, марка неизвестна, 1 шт.
- **Пропеллер**: низкооборотный пропеллер 9 × 9, 1 шт.



Рис. 3.15. Модель позволяет освоить использование таких легких материалов, как пластиковые стяжки и двухсторонний скотч

- **Полетный контроллер**: контроллер Hobby King HK-T6A и приемник сигнала.
- **Источник питания**: литий-полимерный аккумулятор Turnigy емкостью 1800 мА · ч.
- **Цена**: $199, если приобретать на **brooklynaero.com**, или $249 — на **makershed.com**.
- Ссылка на сайт производителя: **http://brooklynaerodrome.com/**.

Заключение

В этой главе мы подробно изучили пять отличных моделей дронов. Какие-то из них придется собирать самостоятельно, какие-то продаются в готовом виде, но в каждой из них есть своя изюминка, на каждой из них можно чему-то научиться. Теперь, когда вы огляделись, настало время создать что-то свое. В следующей главе мы займемся построением квадрокоптера и начнем с выбора рамы.

4

Строим квадрокоптер, часть I: выбор рамы

Основной моделью, которая рассматривается в этой книге, является четырехвинтовой вертолет. В мире дронов его называют квадролетом или квадрокоптером[1] (**рис. 4.1**). Вы начнете с выбора фюзеляжа — в мире авиамоделирования он называется *рамой*.

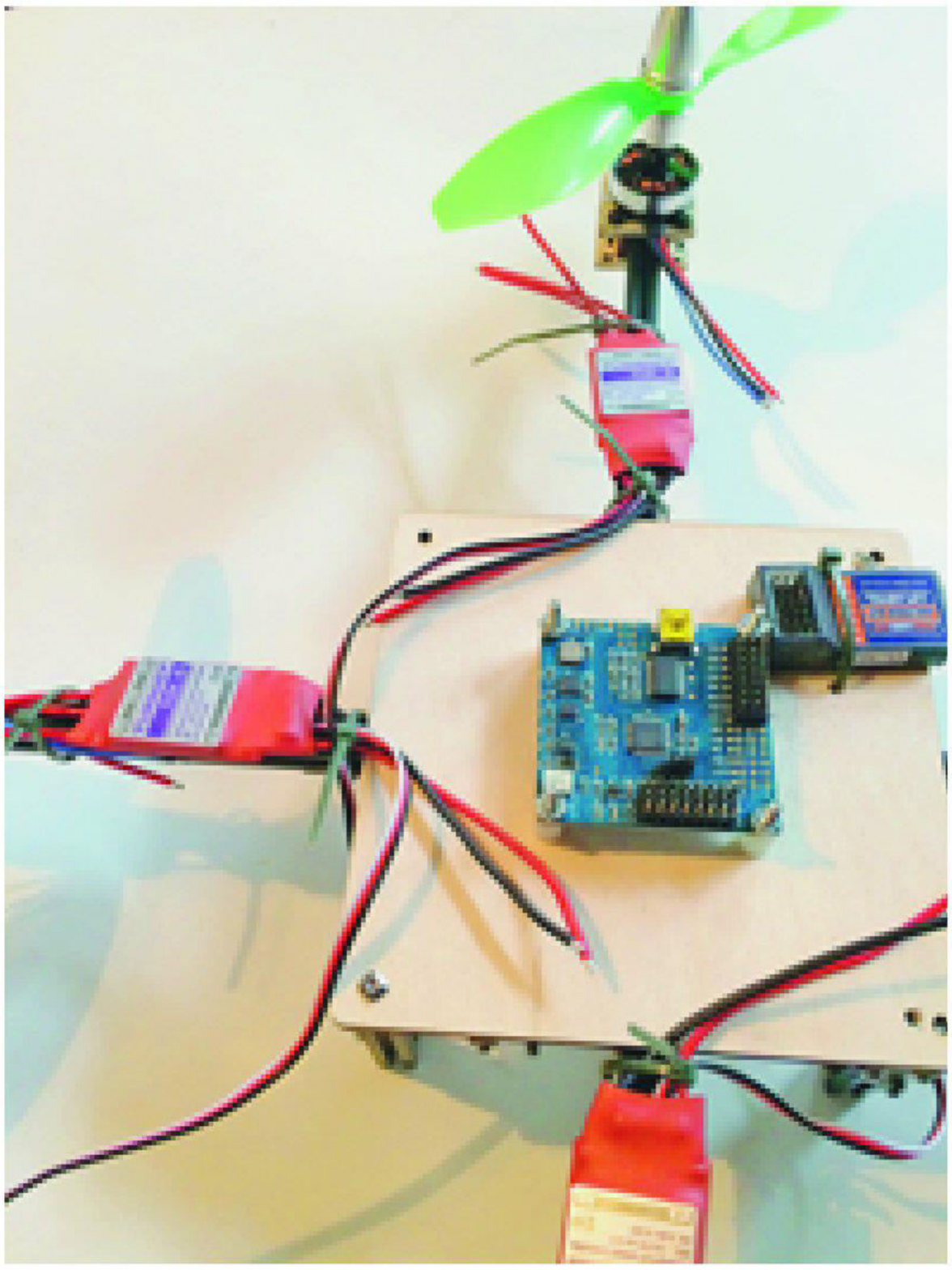


Рис. 4.1. Вы можете построить такой квадрокоптер самостоятельно

[1] Наши моделисты ласково называют его «квадрик». — *Прим. пер.*

Сначала вы познакомитесь с характеристиками рамы. Лично я в конце концов остановился на наборе алюминиевых балок MakerBeam, из которых свинтил отличную, достаточно легкую раму. На этой конструкции я укрепил кусок фанеры, который попался мне под руку, и разместил на нем аккумулятор, систему управления и прочую электронику.

Но, пожалуй, я рановато выдвигаю себя на первое место. Прежде чем рассматривать мой вариант на базе MakerBeam, давайте познакомимся с множеством других вариантов, которые можно купить или сделать самим. После того как мы все это рассмотрим, я подробно расскажу о сборке рамы из деталей MakerBeam.

Какую раму выбрать

Следует заметить, что рама дрона или любого робота — это основное место для размещения и соединения всех других деталей, поэтому ее материал должен быть как можно более прочным и легким. Порой она может выглядеть довольно забавно, когда в ее конструкции использованы неожиданные детали. Чтобы убедиться, достаточно просто вернуться к некоторым проектам из **главы 2** «Примеры самодельных дронов».

Рама может быть изготовлена из дерева, пластика или металла. По определению она должна быть прочной, легкой и способной «держать удар», так как, возможно, ей придется служить еще и посадочным шасси. Следует заметить, что от конструкции рамы многое зависит.

Например, рама, изображенная на **рис. 4.2** (модель квадрокоптера ELEV-8 фирмы Parallax), имеет лучи для крепления двигателей из алюминиевых трубок. Пластиковые площадки на этих трубках спроектированы так, что подходят для крепления двигателей и других деталей, входящих в комплект. Это так удобно, когда все компоненты, входящие в комплект, являются совместимыми!



Рис. 4.2. Характерной особенностью квадрокоптера ELEV-8 фирмы Parallax является рама из пластика и алюминия

Безусловная совместимость всех деталей и доведенный до определенного совершенства внешний вид — вот два основных довода в пользу приобретения готовой рамы. Ниже мы рассмотрим основные характеристики предлагаемых на рынке рам, которые следует учитывать при покупке.

Какую раму купить

Давайте определимся с критериями, которые следует принимать во внимание при покупке.

- **Внешний вид.** Некрасивую раму можно изготовить и самостоятельно. Если вы выкладываете деньги за раму, по ней должно быть видно, что она разработана и изготовлена профессионалами. Покупная рама должна выглядеть лучше, чем вы можете изготовить сами.
- **Конфигурация.** Сколько двигателей должно быть у вашей модели? Число лучей для крепления двигателей — это не единственное, о чем следует подумать. Вам захочется установить камеру? Тогда может понадобиться посадочное шасси. Самый подходящий выбор — это классический квадрокоптер, рама которого имеет четыре луча для крепления двигателей и центральную площадку для установки аккумулятора и систем управления.
- **Размеры.** Насколько большой квадрокоптер вы хотите получить в итоге? Мой квадрокоптер ELEV-8 фирмы Parallax имеет более двух футов (примерно 61 см) в поперечнике, и такие размеры считаются достаточно стандартными для квадрокоптера. Следует держать в голове все детали своего проекта, в том числе характеристики двигателей и пропеллеров. Не стесняйтесь начать с более миниатюрной модели — двигатели и другие компоненты обойдутся дешевле, так как их технические характеристики гораздо скромнее.
- **Материал.** Как уже говорилось, при изготовлении рамы предпочтительнее использовать легкие и прочные материалы. Наиболее популярна комбинация алюминий — пластик.
- **Монтаж оборудования.** Сложный вопрос. Какой прок от изящной рамы, если невозможно ничего на нее навесить? Если вам хочется, чтобы двигатели без проблем крепились на раму, то позаботьтесь о специальных площадках и крепеже, хотя это и необязательно. Многие квадрокоптеры собраны при помощи скотча и стяжек.
- **Цена.** Разброс цен огромен, но иной раз лишние траты не оправдывают себя. Есть категория моделей, которые прекрасно выглядят в проекте и обходятся втридорога, а в итоге ничего собой не представляют.

- **Прочность.** Не секрет, что квадрокоптеры падают — и частенько. Это случается при разрядке аккумулятора или других технических неполадках. Насколько прочной получится модель? Однако чем модель прочнее, тем она тяжелее. Какой прок от сверхпрочного квадрокоптера, который не может оторваться от земли? Переходим к следующему пункту.
- **Вес.** Это последний из критериев, который мы рассмотрим. Вес рамы можно компенсировать мощностью двигателей, и, если у вас имеются очень мощные двигатели и пропеллеры, вы можете позволить себе раму попрочнее.

Как изготовить раму самостоятельно

Приобретение готовой рамы можно рассматривать как один из вариантов, но, если вы располагаете временем, инструментами и материалами, лучше изготовить ее самостоятельно. В результате вы получите раму, которая соответствует вашим потребностям, и, кроме того, сможете гордиться, что сделали что-то своими руками.

Рассмотрим три основных пути изготовления рамы.

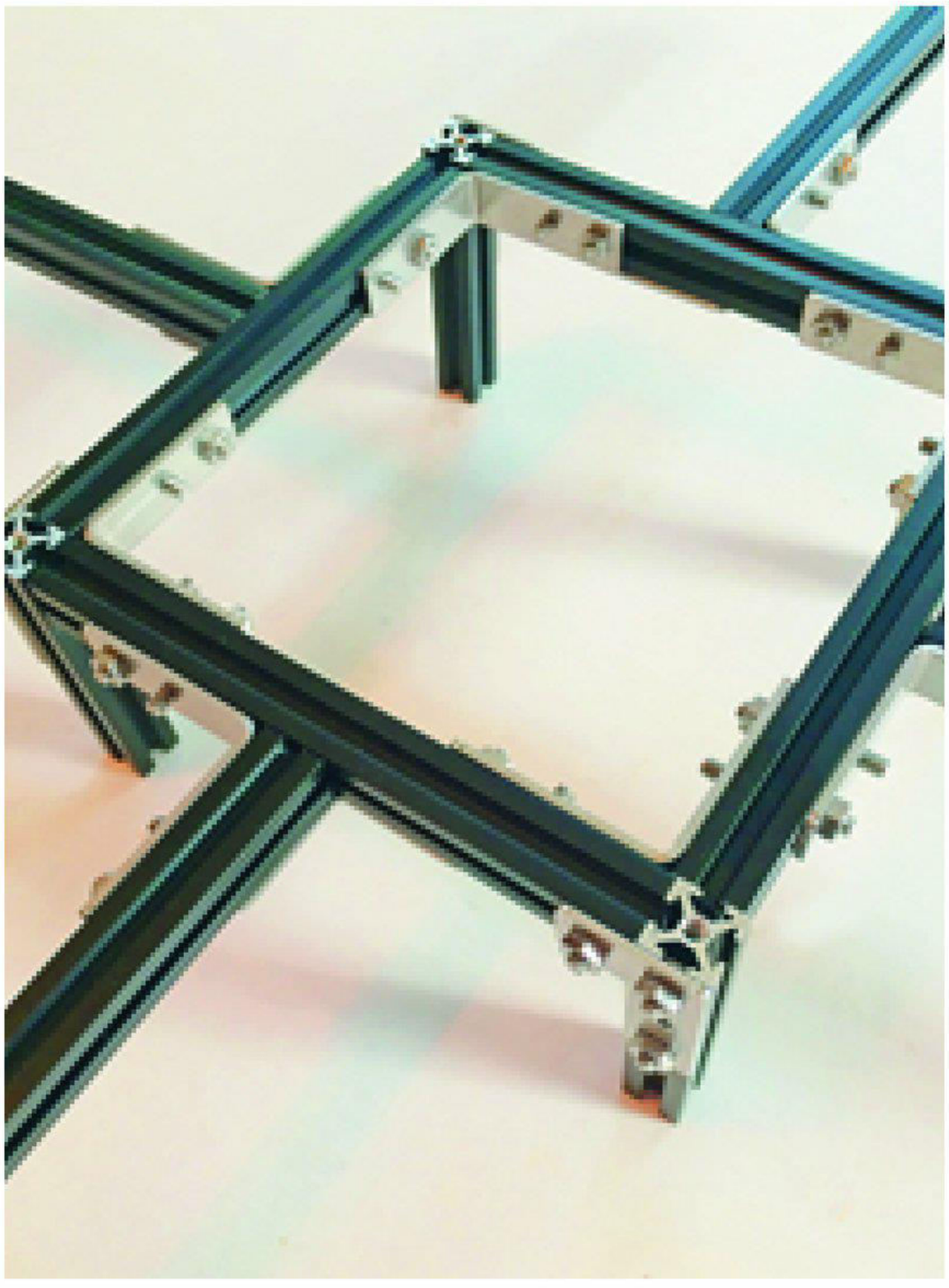


Рис. 4.3. В этой главе я пошагово расскажу, как собрать раму из балок набора MakerBeam

Набор готовых деталей

В этом случае вам не нужно ничего изобретать — вы просто собираете раму из готовых деталей из металла и пластика. Большинство наборов позволяет соединять детали как угодно — имеются в виду не основные детали, а дополнительные. Вы убедитесь, насколько легко собрать раму самостоятельно.

В этой главе я покажу вам, как использовать удобные и хорошо сделанные алюминиевые конструкции набора MakerBeam, чтобы собрать из него раму (**рис. 4.3**).

Изготовление на 3D-принтере

Еще один вариант — это изготовление рамы на 3D-принтере — устройстве, которое производит трехмерные детали из расплавленного пластика. Множество решений можно найти на сайте Thingiverse, откуда можно бесплатно скачать файлы для 3D-принтера. Возьмем, например, модель T-6 Quadcopter (**рис. 4.4**). Его создатель, пользователь Brendan22, разработал и изготовил на 3D-принтере лучи и площадку для крепления оборудования. Вы можете скачать его проекты по ссылке **http://www.thingiverse.com/Brendan22/designs**.



Рис. 4.4. У модели T-6 Quadcopter шесть двигателей и рама, изготовленная на 3D-принтере (предоставлено Brendan22)

Если вы не хотите пользоваться чужими решениями, можно воспользоваться программами 3D-дизайна, например SketchUp (**sketchup.com**) или Tinkercad (**tinkercad.com**), для разработки собственных решений, которые затем можно реализовать на 3D-принтере, имеющемся в вашем распоряжении. Это дороговато, но вариант. 3D-принтеры — новая отрасль, и цены здесь еще не достигли уровня, когда любой желающий может приобрести 3D-принтер. Не волнуйтесь — есть еще множество способов изготовить раму!

Изготовление рамы из дерева

Из дерева можно изготовить легкую и прочную раму, особенно для легких и миниатюрных моделей. Для моделей планеров часто используется пробковая древесина: ее легко обрабатывать и она очень легкая. Однако квадрокоптеры могут нести достаточно приличный вес, поэтому не очень хорошее соотношение прочность/вес, характерное для древесины, — это не самая большая проблема.

Еще один плюс деревянной рамы — это возможность вырезать детали из цельного куска при помощи лазерного резака и затем собирать их в единое целое, как пазлы. На **рисунке 4.5** показано одно из таких решений. Модель называется Flone (**http://www.thingiverse.com/thing:113497**); это рама для квадрокоптера, управляемого при помощи смартфона. Она неплохо выглядит, и ее легко изготовить — при наличии лазерного резака, разумеется.

И еще одно преимущество дерева — это возможность доработки «на коленке»: при необходимости всегда можно просверлить дополнительное отверстие. В отличие от рам, имеющихся в продаже, или самодельных, но изготовленных из металла и пластика, деревянные рамы очень легко обрабатывать. В случае неудачи можно легко изготовить новую.



Рис. 4.5. Раму для модели Flone легко изготовить из цельного куска древесины при помощи лазерного резака (предоставлено Lot Amoros)

Проект: рама из набора MakerBeam

Изготовить раму для своего квадрокоптера я решил из алюминиевых балок, которые попались под руку. Балки (**рис. 4.6**) надежно соединяются между собой винтами и крепежными уголками, так что ни одна деталь не отвалится в полете.

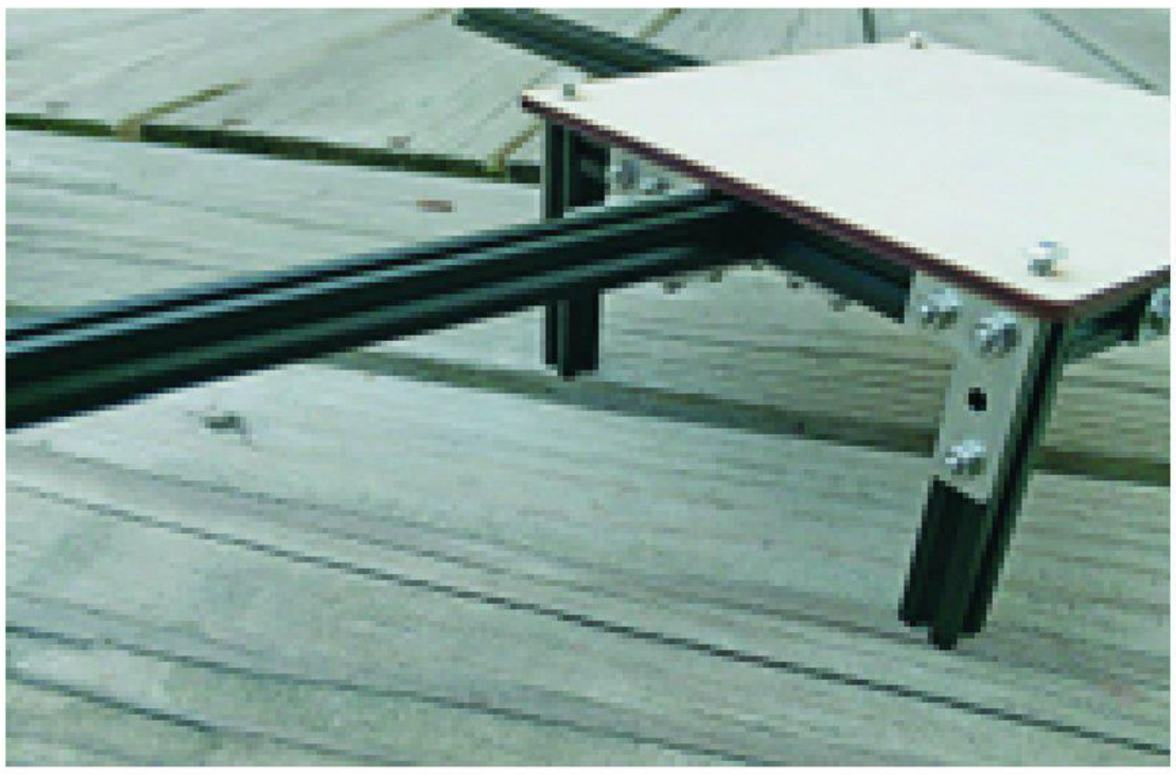


Рис. 4.6. Рама, изготовленная из набора MakerBeam, послужит легкой и прочной основой для монтажа вашего квадрокоптера

Набор MakerBeam

Входящие в набор MakerBeam алюминиевые балки имеют аккуратный вид. Они скрепляются друг с другом винтами M2,5. Надо сказать, что метод крепления не совсем обычен: плоские квадратные головки винтов вдвигаются в пазы, проточенные в балках; на их концы, выглядывающие из пазов, накладываются крепежные уголки и навинчиваются гайки с шайбами, которые потом затягиваются шестигранным ключом (**рис. 4.7**).

Рис. 4.7. Наличие пазов и концевых резьбовых отверстий позволяет использовать балки MakerBeam для сборки рамы

В основу проекта легли оригинальные идеи. В 2012 г. благодаря проведению кампании краудфандинга был запущен проект OpenBeam, стартовый капитал которого составил $100 000. Идея заключалась в создании набора алюминиевых деталей, которые могли бы использоваться для сборки различных конструкций.

MakerBeam — это одно из направлений того проекта. Здесь применяются другие соединительные детали, несколько изменены сами балки, но все равно просматриваются особенности первоначального проекта. В США набор MakerBeam можно купить на **Amazon.com** (искать следует ASIN B00G3J6GDM).

Можно также приобрести оригинальный OpenBeam (**openbeamusa.com**) компании Adafruit. В нем используются те же принципы, но в пазах утоплены гайки, а не головки винтов. Кроме того, некоторые решения можно скачать из сети, что позволит изготовить необходимые детали на 3D-принтере.

ПЕРЕЧЕНЬ КОМПОНЕНТОВ

Следует отметить, что все необходимые детали входят в комплект MakerBeam Starter Kit (P/N 01MBTBKITREG). Для изготовления рамы понадобятся следующие детали (**рис. 4.8**):

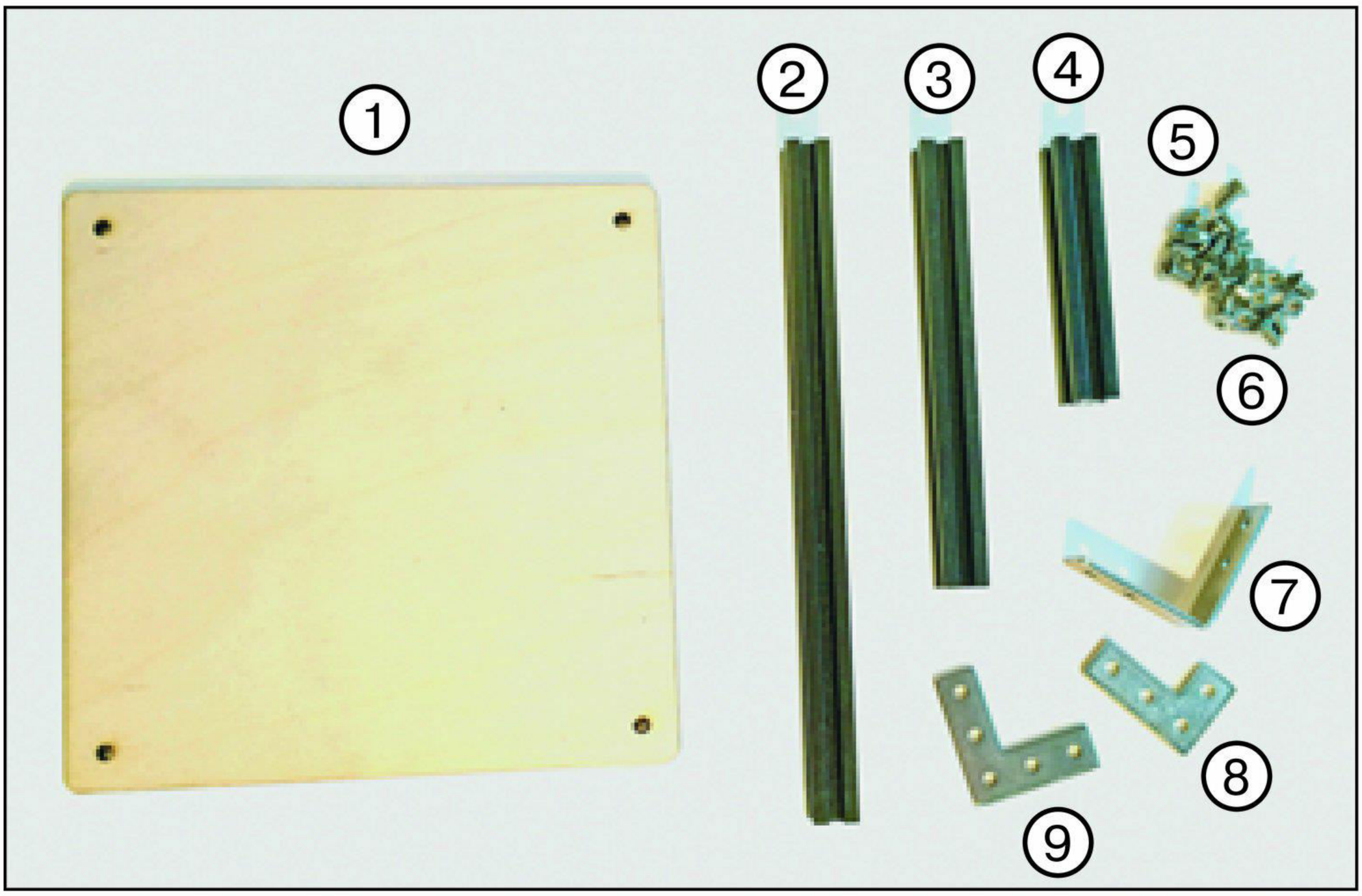


Рис. 4.8. Детали, необходимые для сборки рамы из набора MakerBeam

1. Кусок дерева. Площадку для оборудования я сделал из куска балтийской березы размером 13×13 см и толщиной 3 мм, в котором просверлил отверстия на расстоянии 11 см друг от друга.
2. Балка длиной 150 мм (P/N 100089), 4 шт.
3. Балка длиной 100 мм (P/N 100078), 4 шт.
4. Балка длиной 60 мм (P/N 100067), 4 шт.
5. Винты M3 × 6 мм (P/N 100359), поскольку в набор входят слишком длинные винты.
6. Гайки M3 (P/N 100416). Производитель также предлагает самоконтрящиеся гайки (P/N 100405).
7. Уголок гнутый (P/N 100315), 8 шт.
8. Уголок плоский L-образный (P/N 100304), 4 шт.
9. Уголок плоский равносторонний (P/N 100315), 4 шт.

Этапы сборки

Итак, вы подобрали необходимые детали. Теперь следуйте данной пошаговой инструкции:

1. Соберите четыре одинаковые конструкции, каждая из которых состоит из луча для крепления двигателя и секции центральной площадки. Я перечислю промежуточные шаги:
   1) Вдвиньте головки двух винтов в паз 150-мм балки. Закрепите на них равносторонний уголок при помощи гаек и шестигранного ключа (**рис. 4.9**). (Следует заметить, что я только «наживил» винты, чтобы можно было оперативнее вносить изменения. Потом, когда достигнутые результаты меня устроят, я затяну гайки.)
   2) Вдвиньте головки двух винтов в паз 100-мм балки. Соедините ее с 150-мм балкой уголком, который вы подготовили (**рис. 4.10**). Затяните гайки.



Рис. 4.9. Вдвиньте головки двух винтов M3 в паз 150-мм балки

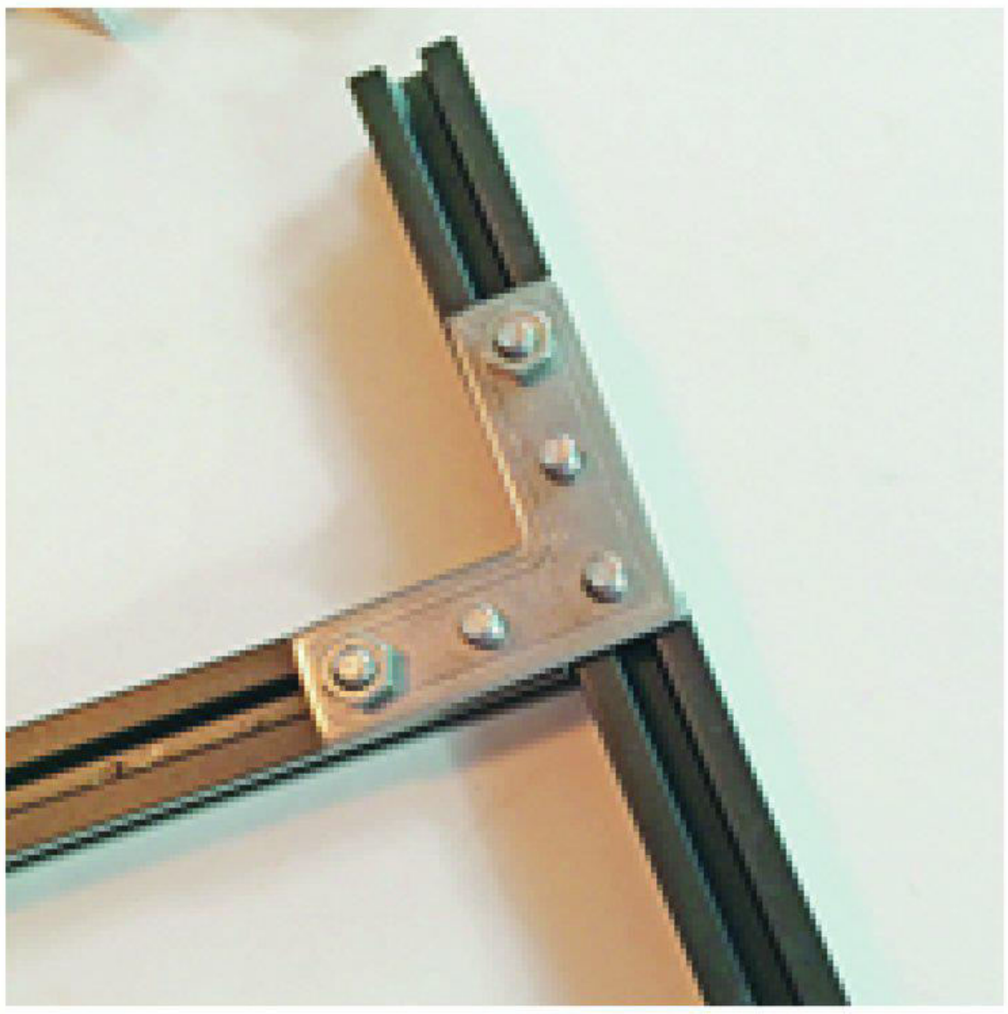


Рис. 4.10. Состыкуйте обе балки Т-образно и закрепите соединение уголком

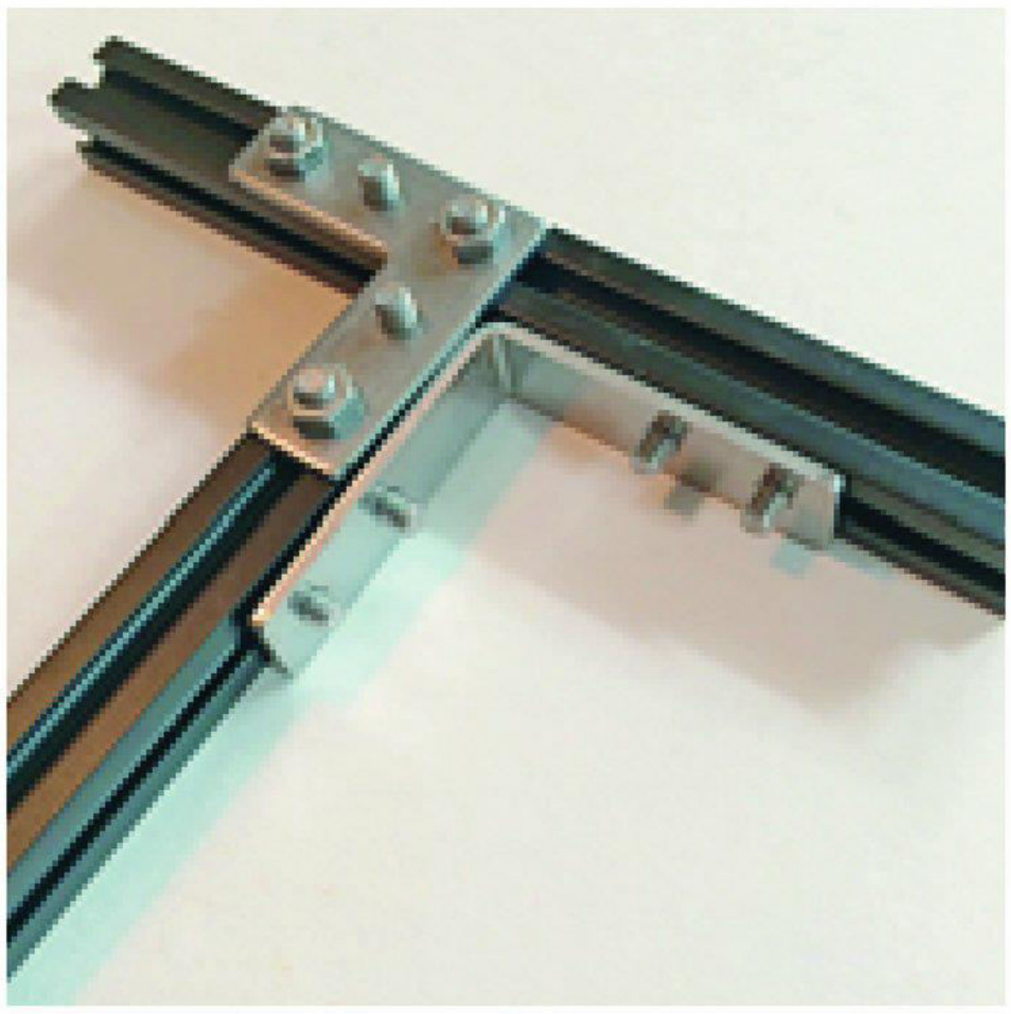


Рис. 4.11. Усильте Т-образное соединение еще одним уголком

3) Добавьте гнутый уголок, чтобы усилить соединение. Закрепите его **(рис. 4.11)**.

4) Закрепите еще один гнутый уголок на конце 100-мм балки **(рис. 4.12)**.

2. Когда вы соберете все четыре сегмента, соедините их в одно целое **(рис. 4.13)**.

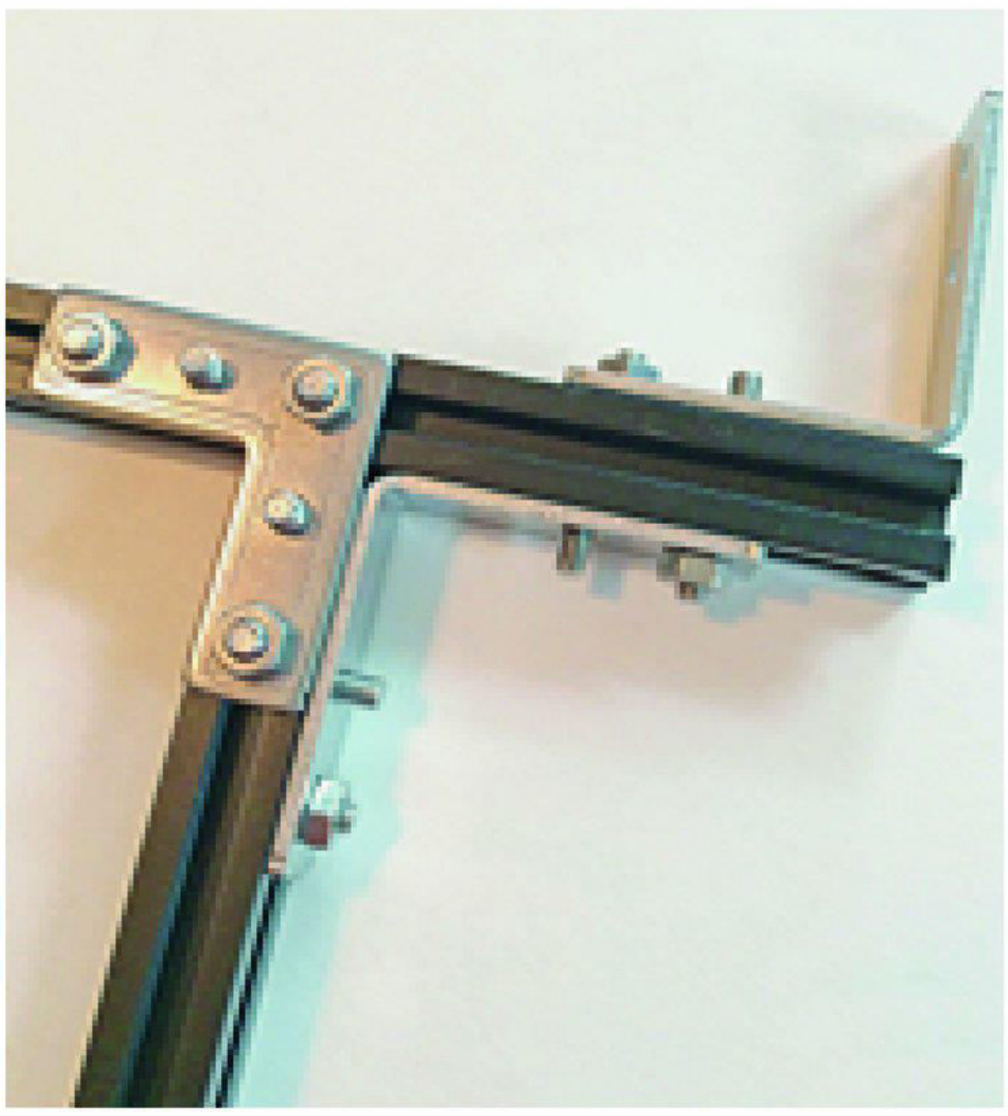


Рис. 4.12. Добавьте еще один гнутый уголок

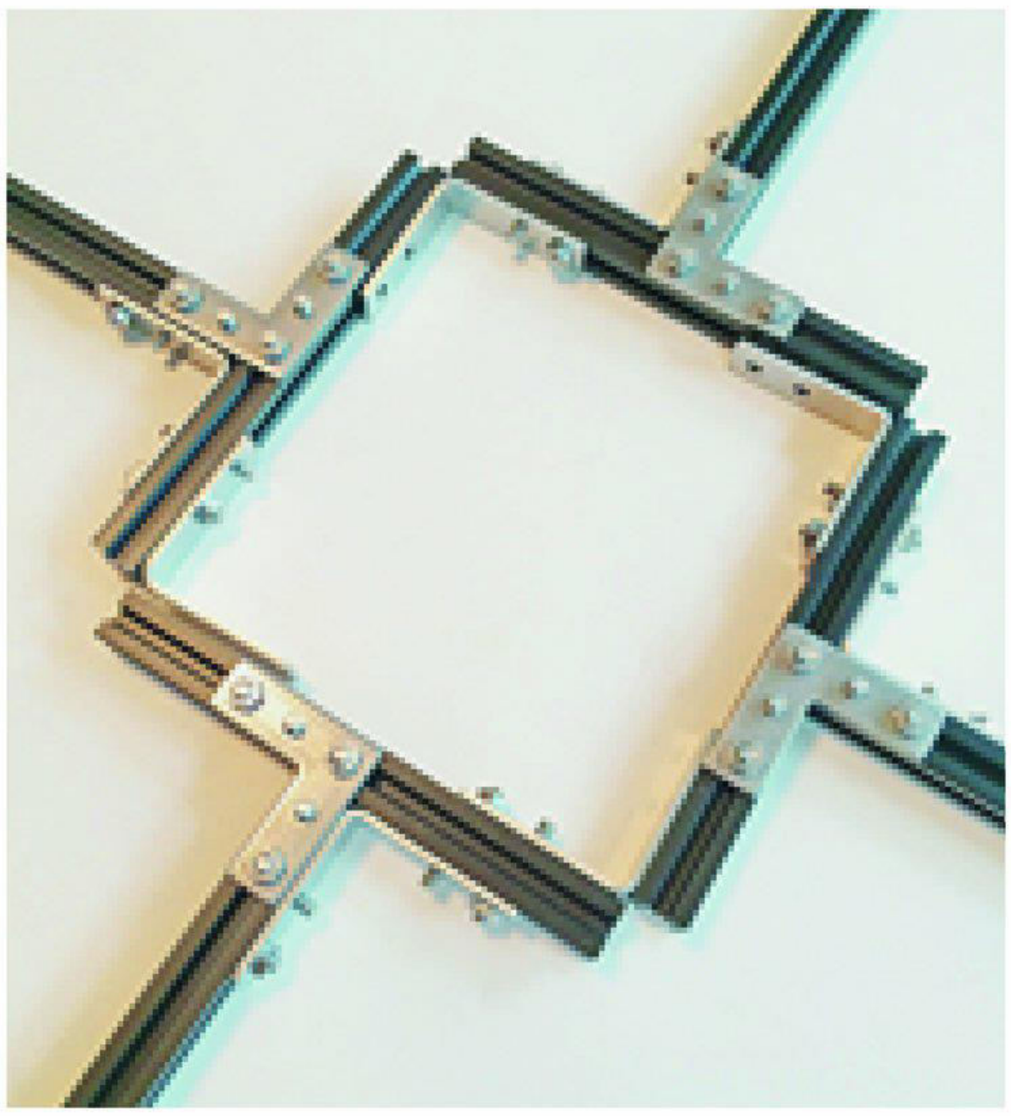


Рис. 4.13. Соедините собранные сегменты, рама обретет свои очертания

3. Переверните раму, чтобы плоские уголки оказались с нижней стороны. Закрепите 60-мм балки L-образными уголками (**рис. 4.14**). Получатся ножки.

4. Теперь можно привинтить фанерную площадку (**рис. 4.15**). Для точного изготовления я использовал лазерый резак, но вы можете взять какую-нибудь старую тонкую дощечку, а отверстия просверлить ручной дрелью. Но не переусердствуйте с толщиной — для фанеры из балтийской березы толщина должна быть не менее 3 мм. Прикрепите площадку винтами М3 к вершинам ножек, ввернув их в торцевые резьбовые отверстия в ножках, и затяните винты шестигранным ключом.

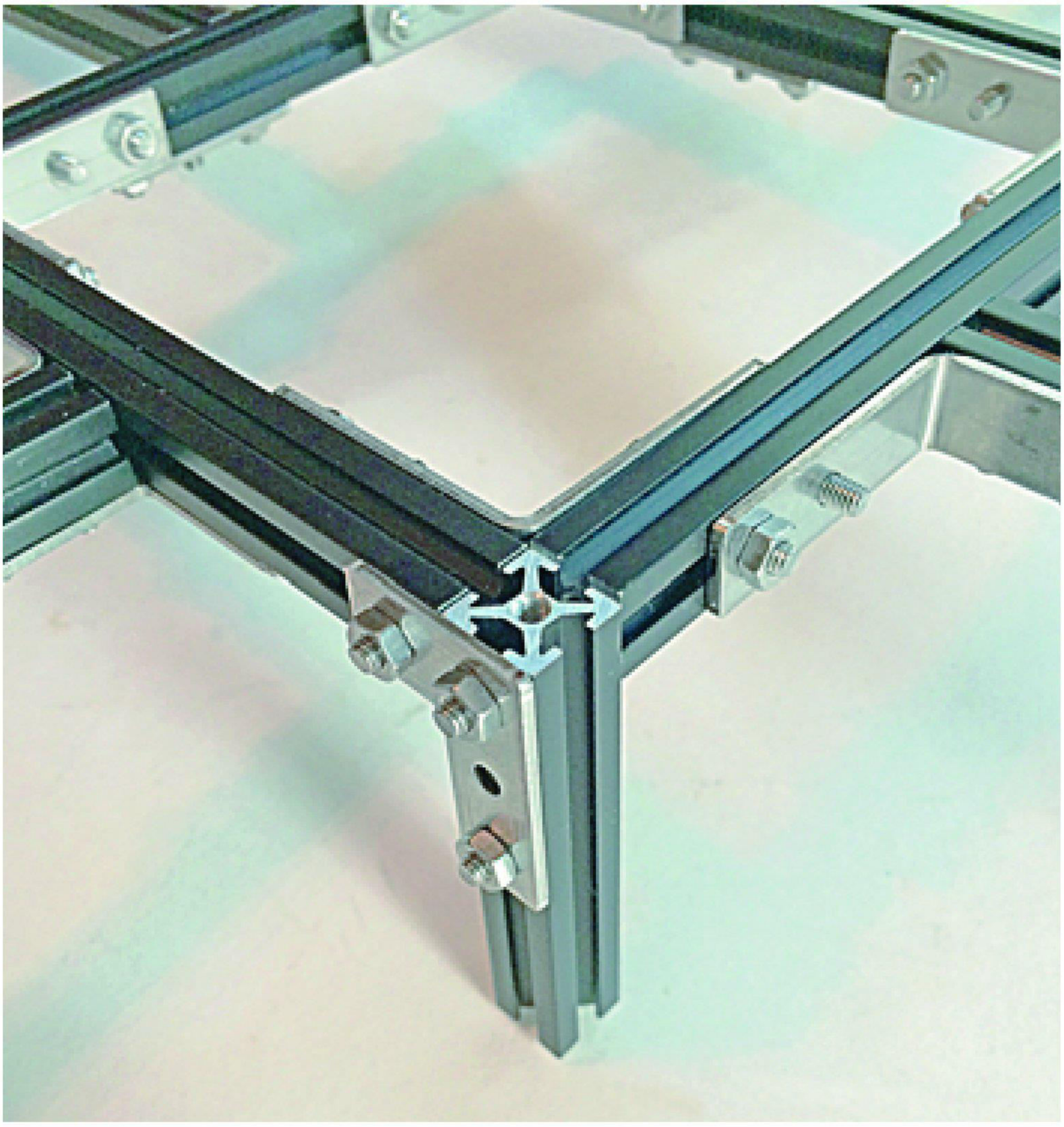


Рис. 4.14. Добавьте ножки



Рис. 4.15. Привинтите центральную площадку к торцам ножек

Квадрокоптер все еще мало похож на себя, не так ли? Естественно, ведь еще нет ни двигателей, ни пропеллеров, ни управляющей электроники. Терпение! В следующих главах вы завершите свое детище.

Заключение

Итак, вы на пути к созданию собственного квадрокоптера — рама из алюминиевых балок уже готова. В следующих главах вы добавите двигатели и пропеллеры, аккумулятор и системы управления. Но давайте нарушим порядок изложения! В **главе 5** «Строим ракету» вы соберете электронное устройство для регистрации перегрузок, которые будет испытывать модель ракеты в полете.

5

Строим ракету

Итак, нарушим порядок повествования и рассмотрим еще один класс дронов. Я имею в виду ракеты, которые могут быть вполне автономными дронами. В этой главе вы познакомитесь с историей любительского ракетомоделирования и поэтапно построите ракету, занимающуюся сбором данных (**рис. 5.1**). В нашем случае она будет регистрировать высоту собственного полета, как вы узнаете в дальнейшем.



Рис. 5.1. В этой главе вы построите ракету, занимающуюся сбором данных

Любительское ракетомоделирование

Люди экспериментировали с ракетами со времени их изобретения, много веков назад. В наше время в США выпуском моделей в основном занимается компания Estes Rockets (Пенроуз, штат Колорадо), которая изготавливает модели из пластика и пробкового дерева. В продаже имеются твердотопливные двигатели и наборы готовых деталей (**рис. 5.2**), а также пусковые установки.

В 1959 г. Верн Эстес (Vern Estes) разработал автомат для заправки твердотопливных двигателей, которыми и стали оснащать предлагаемые модели. Дешевые и довольно оригинальные ракеты компании Estes приобрели мировую известность. Двигатели работают на твердом топливе,



Рис. 5.2. Набор модели ракеты компании Estes Rockets. Остается склеить и раскрасить

помещенном в картонную трубку. Предусмотрен еще дополнительный заряд, который выталкивает парашют, когда догорает основной заряд. Компания также продает пусковые установки, состоящие из пульта дистанционного управления и стартовой площадки с металлическим стержнем, который играет роль направляющей.

Модели могут быть как миниатюрными, так и довольно большими. Простейшей моделью является Mosquito — миниатюрная ракета, столь легкая, что может безболезненно приземляться без парашюта. Ее противоположность — Leviathan — имеет мощный двигатель, способный поднять ракету на высоту 1500 футов (450 м). Дизайн моделей разнообразен, и вы вольны выбрать корпус и головной обтекатель на свой вкус.

ПЕРЕЧЕНЬ КОМПОНЕНТОВ

Посмотрим, что входит в состав типичной модели ракеты (**рис. 5.3**).

1. Головной обтекатель. Обычно сделан из пластика. От его формы зависят аэродинамические характеристики ракеты. Должен быть достаточно прочным, чтобы выдержать удар при жесткой посадке.
2. Амортизирующий шнур. Обычный шнур (в нашем случае резиновый), связывающий между собой ленту (парашют), обтекатель и корпус ракеты.
3. Двигатель. Estes-двигатель состоит из картонной трубки, заполненной твердым ракетным топливом и вспомогательным зарядом.
4. Пробка. Предотвращает выпадение запала до старта.
5. Запал. Шнур, который воспламеняется при прохождении через него электрического тока и поджигает топливо.
6. Лента или парашют. После выгорания топлива основного двигателя срабатывает вспомогательный заряд, который выталкивает парашют (в нашем случае ленту). Ракеты небольших размеров не нуждаются в парашюте и вполне могут обойтись обычной лентой. Ее тормозящего эффекта достаточно, чтобы модель не разбилась при приземлении.
7. Стартовое ушко. Скользит по направляющему стержню при старте. Тяжелая участь трубочки для коктейля.
8. Стабилизаторы (хвостовое оперение). Обеспечивают стабилизацию в полете; у моделей компании Estes обычно изготовлены из пробкового дерева при помощи лазерного резака. Подразумевается, что вы самостоятельно их отшлифуете, покрасите и приклеите. В первый раз сделать это довольно сложно.
9. Корпус. Обычно это картонная трубка, которая формирует центральное тело ракеты.
10. Предохранительный пыж. Изготовлен из негорючего материала и служит для того, чтобы парашют не пострадал при срабатывании вспомогательного заряда (на **рис. 5.3** не показан).

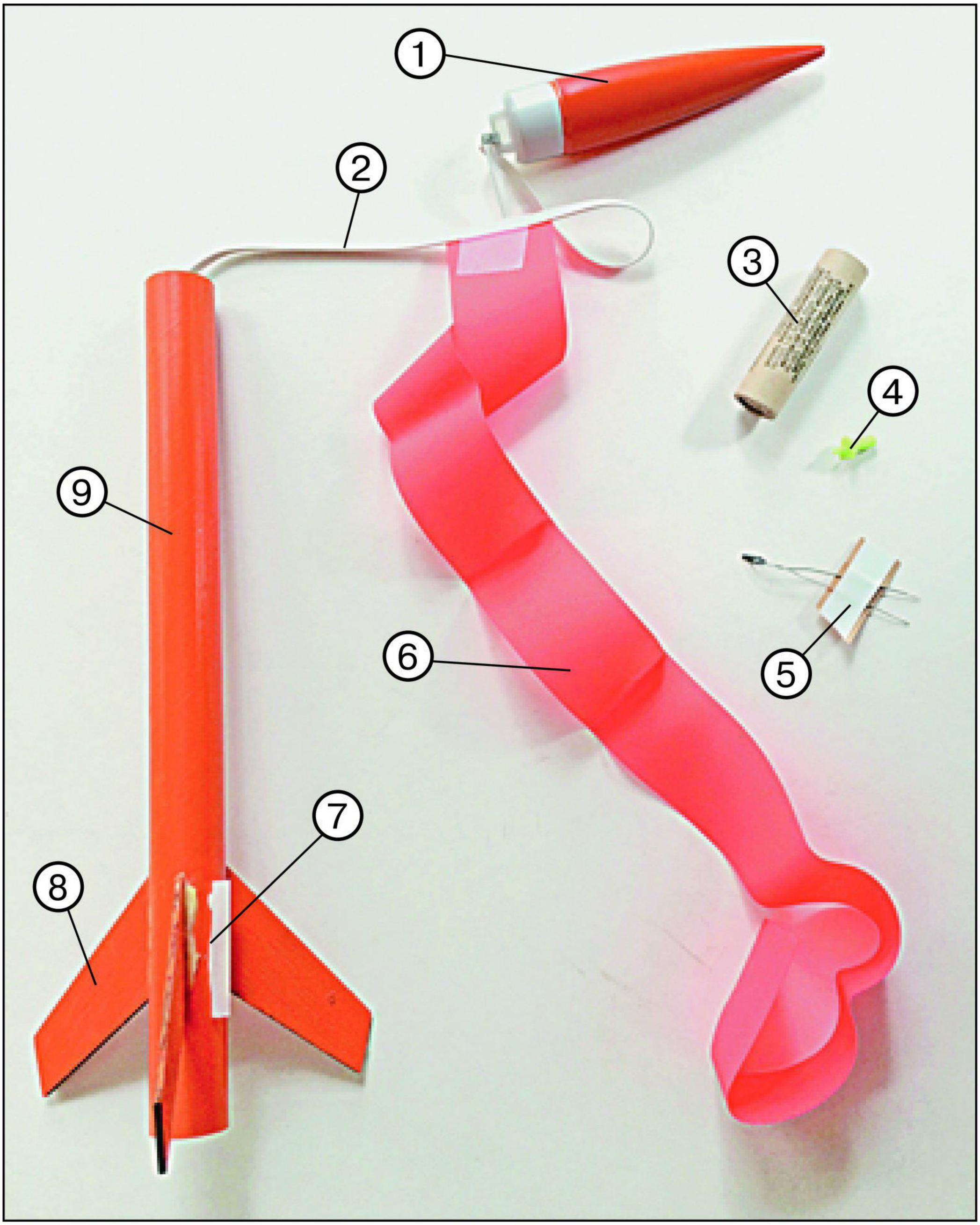


Рис. 5.3. Хотя модель и имеет небольшие размеры, но она состоит из множества деталей

Экспресс-руководство по Arduino

Итак, теперь вы готовы заняться ракетостроением, но прежде нужно разобраться еще с одной вещью — собрать микроконтроллер на основе Arduino.

Модель, рассматриваемая в этой главе, включает в себя простой и удобный в использовании бортовой микроконтроллер на основе Arduino, который будет заниматься сбором данных во время полета. Здесь я расскажу, как прошить программу (в мире Arduino она называется *скетчем*) в бортовой микроконтроллер.

В нашей модели используется плата Arduino Micro (**рис. 5.4**), достаточно миниатюрная, чтобы поместиться в корпусе ракеты. Тем не менее эта миниатюрная версия Arduino обладает не меньшим функционалом, чем полноразмерная плата, что делает ее идеальной для наших задач.

Нам также понадобится USB-кабель. Его тип зависит от конкретной модели Arduino. В модели Micro используется кабель microUSB (Sparkfun P/N 10215), а вот в Arduino UNO — стандартный кабель USB A-B (P/N 512). Подробнее о кабелях можно прочитать на **Arduino.cc**. Ну и, конечно, вам не обойтись без компьютера или ноутбука — PC, Mac или Linux. Вооружившись подобным образом, выполните следующие действия:

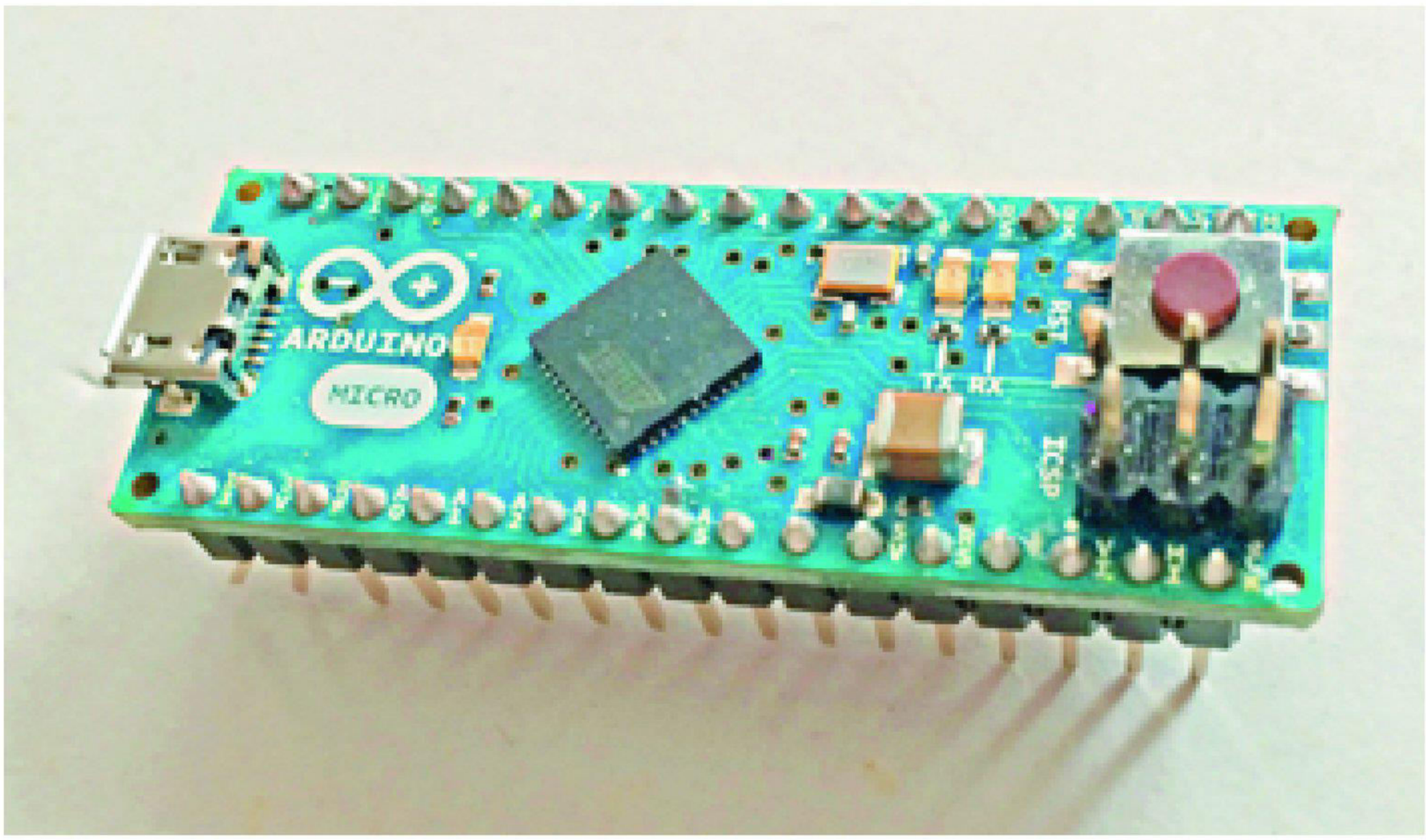


Рис. 5.4. Arduino Micro — компактная плата Arduino, которая идеально подходит для миниатюрных моделей

1. Скачайте и установите программное обеспечение Arduino. Скачать его и ознакомиться с подробными инструкциями можно на сайте **Arduino.cc**. Скриншот сайта показан на **рис. 5.5**.

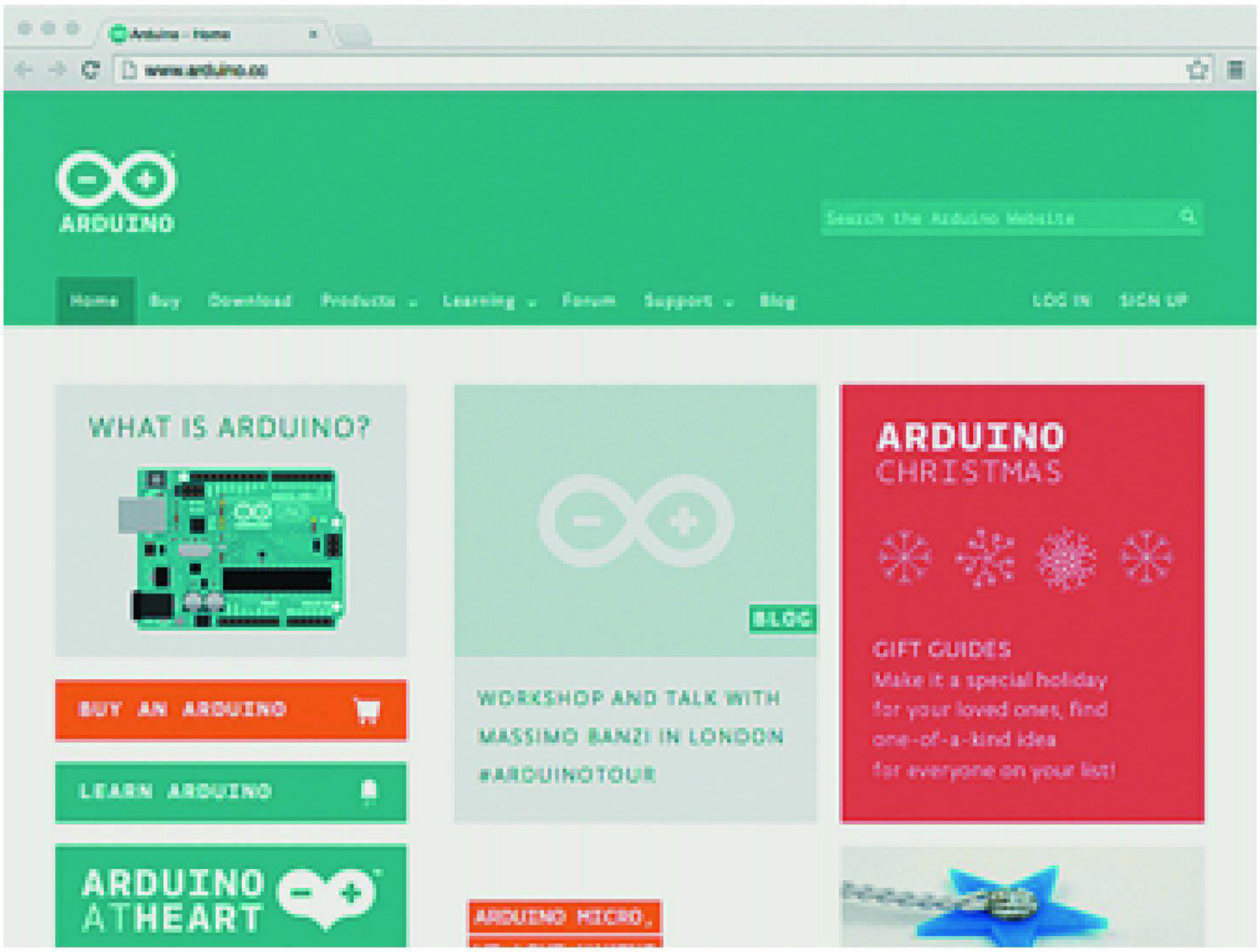


Рис. 5.5. Сайт **Arduino.cc** станет вашим основным источником сведений об Arduino

2. Запустите программу Arduino и подключите плату Arduino к компьютеру с помощью USB-кабеля (**рис. 5.6**).

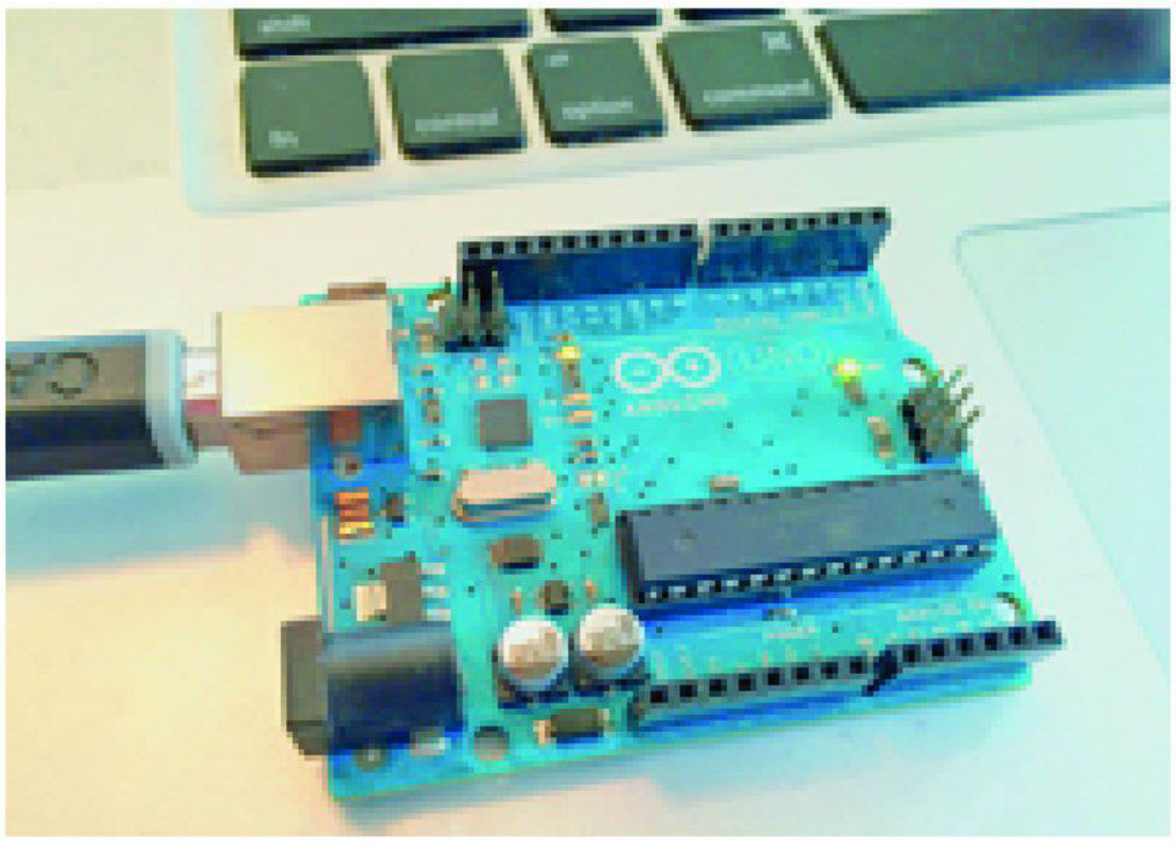


Рис. 5.6. Подключение платы Arduino к компьютеру

3. Зайдите на вкладку **Tools**, выберите **Boards** (**Инструменты → Платы**) и поставьте галочку в списке около вашей модели (**рис. 5.7**).

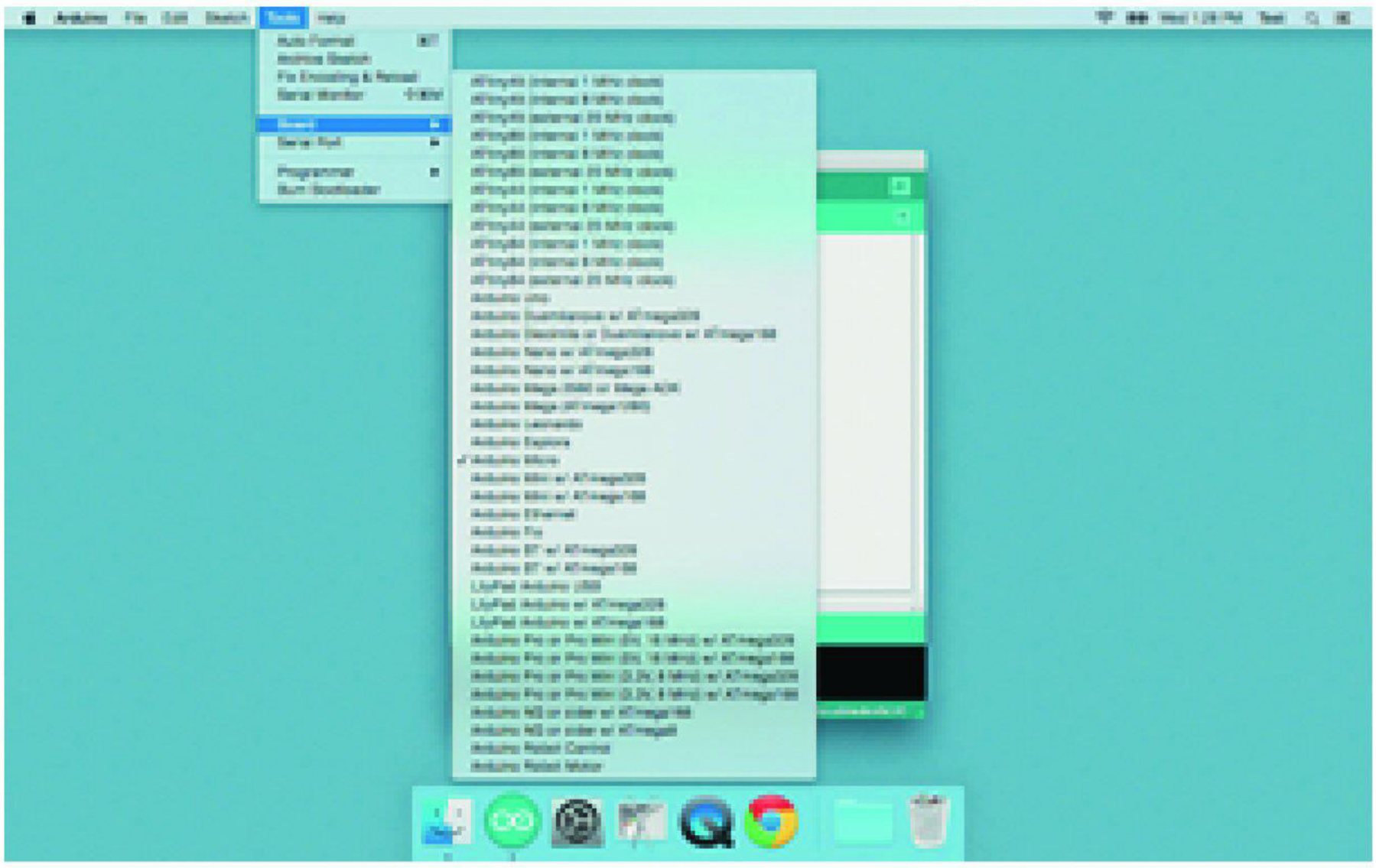


Рис. 5.7. Выберите свою модель Arduino из списка

4. Теперь нужно выбрать порт. Это можно сделать на вкладке **Tools** (**рис. 5.8**). Придется перебрать несколько портов, чтобы найти тот, который работает.

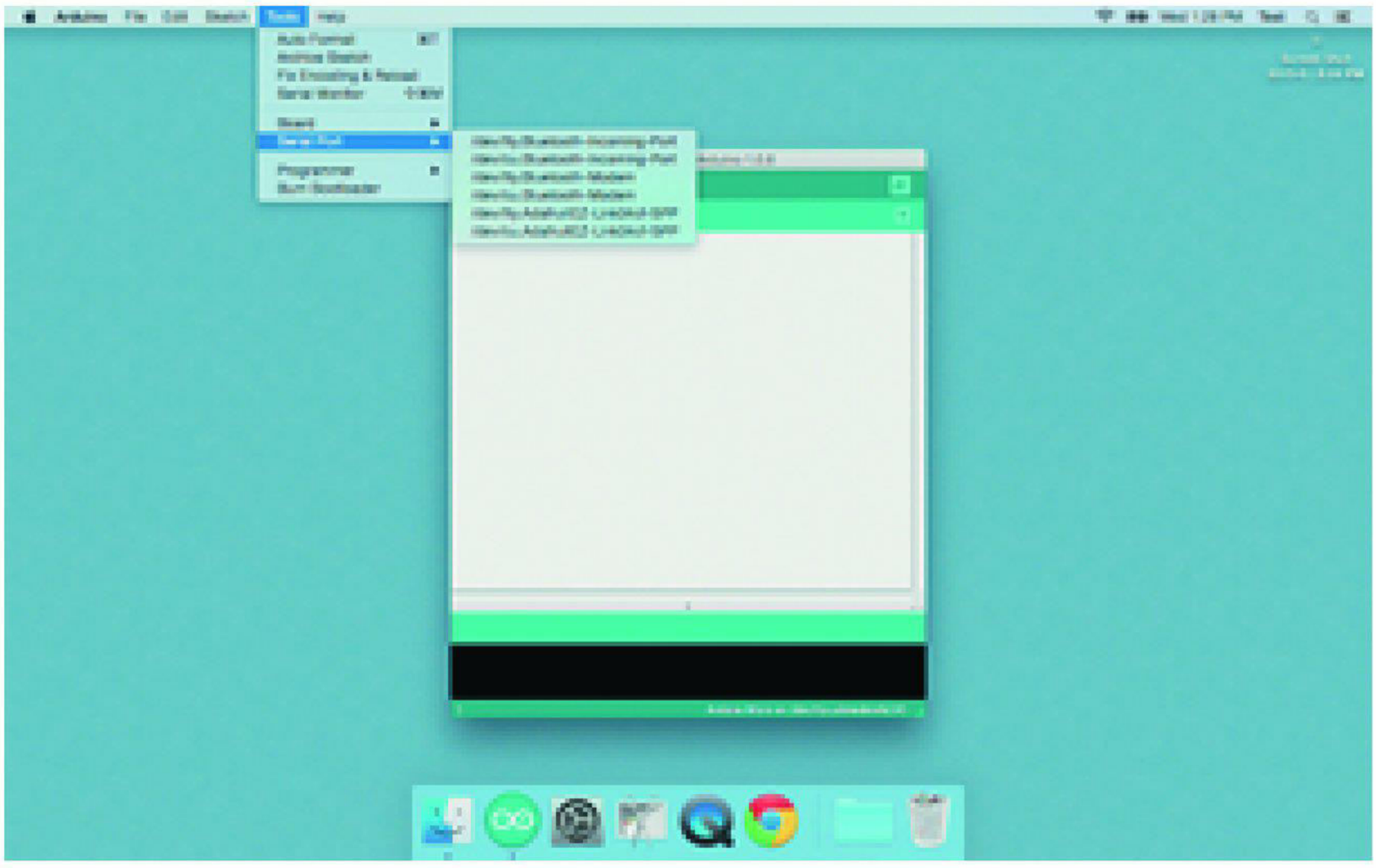


Рис. 5.8. Выберите порт, который работает

5. Выберите **File** → **Open**, чтобы открыть ваш скетч (так называют программы в терминологии Arduino). Также можно скачать из Интернета готовую программу или использовать шаблон **Blink (File** → **Examples** → **Basics** → **Blink) (рис. 5.9)**. Blink — это что-то вроде приветствия в мире компьютерного железа. Это первая вещь, которой вы научились!

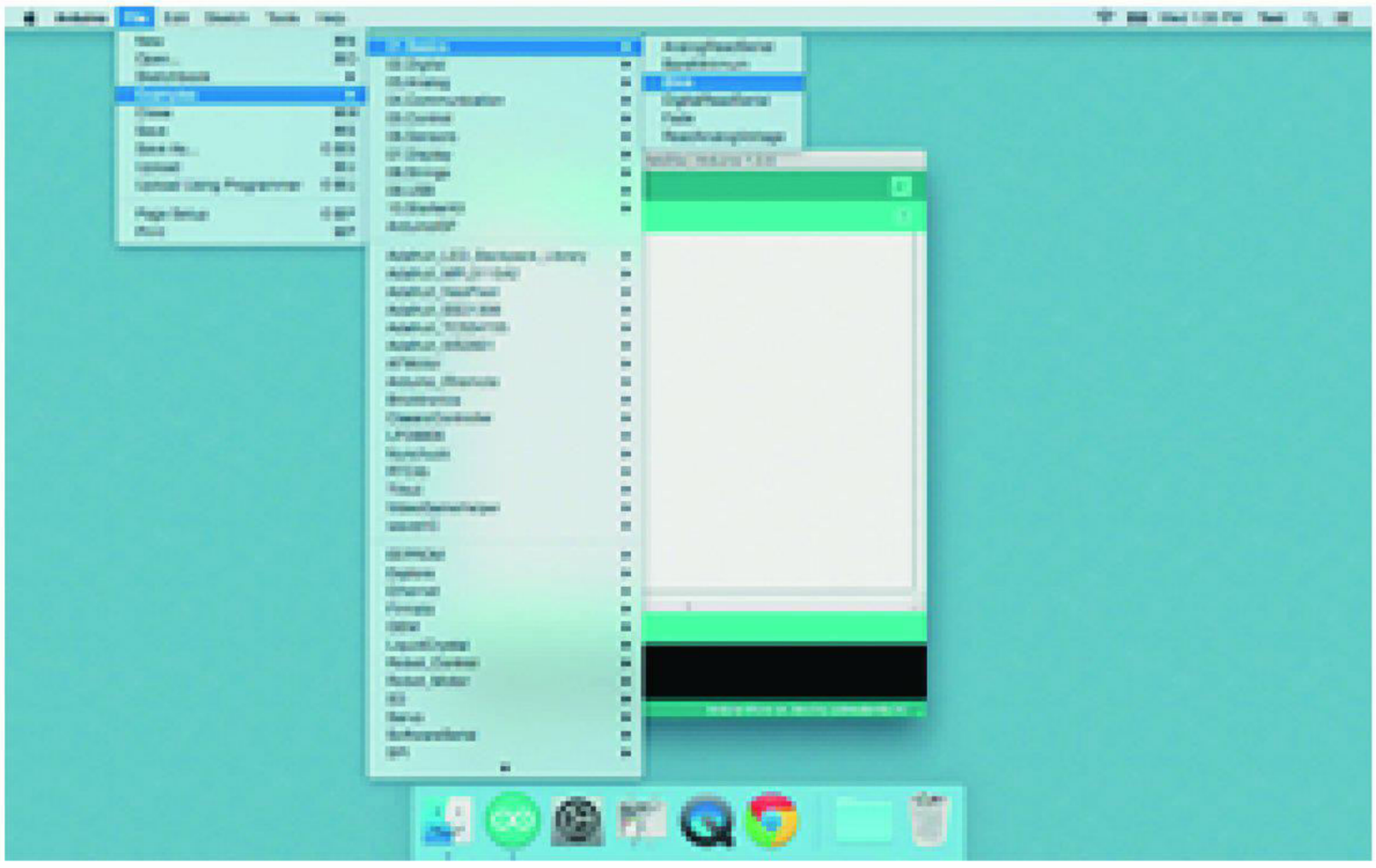


Рис. 5.9. Выберите скетч Blink

6. Нажмите кнопку **Upload** и отправьте программу на плату (**рис. 5.10**). Дело сделано! Программа прошита на плату и запустится, как только вы подадите питание. Пора приступить к постройке ракеты!



Рис. 5.10. Прошейте скетч на плату

Если выдается сообщение об ошибке, внимательно проверьте установки и попробуйте выбрать другой порт. Если ничего не выходит, обратитесь к форумам или разделу FAQ на **Arduino.cc**.

СОВЕТ

ARDUINO ДЛЯ НАЧИНАЮЩИХ

Если вы хотите больше узнать об Arduino, обратитесь к книге Дж. Бейктала «Конструируем роботов на Arduino. Первые шаги», выпущенной в издательстве «Лаборатория знаний» в 2016 г., где вы сможете ознакомиться с проектами, программным обеспечением и получить советы по использованию различных инструментов (**рис. 5.11**). Вы узнаете много интересного о «железе» и программном обеспечении, что обогатит ваши знания об Arduino.



Рис. 5.11. Если вы новичок в Arduino, советую приобрести эту книгу!

Проект: ракета, осуществляющая сбор данных

Теперь, когда вы получили представление об Arduino, можно приступить к постройке ракеты, осуществляющей сбор данных (**рис. 5.12**). Ракета будет оснащена альтиметром и устройством для записи данных, которые вы сможете изучить позднее. Воспользуемся моделью ракеты Estes V2. Она имеет достаточные размеры, чтобы вместить макетную плату и аккумулятор, Я объясню, как сделать проводку и запрограммировать плату Arduino, которая будет «мозговым центром» нашей ракеты.

ПЕРЕЧЕНЬ КОМПОНЕНТОВ

- Модель ракеты Estes V2 в масштабе 1:2. Можно приобрести практически в любом магазине, специализирующемся на моделизме, или на сайте **Estesrockets.com** (P/N 003228).

- Пусковая установка Estes Porta-Pad II. По сути, это батарея на 9 В для запуска двигателя (**Estesrockets.com**; P/N 002215).
- Плата Arduino Micro. Можно приобрести на **Adafruit.com** (P/N 1086) или в любом другом подобном интернет-магазине.
- Альтиметр. Существует огромный выбор плат альтиметров и акселерометров, но я остановился на модели MPL3115A2 (**Adafruit.com**; P/N 1893). Изменение высоты определяется путем замера барометрического давления.
- Регистратор (даталоггер) данных OpenLog. Продается на **Sparkfun** (P/N 9530).
- Макетная плата половинного формата. Макетная плата из пластика — не самый легкий путь к успеху.
- Соединительные провода, или просто провода. Неплохой комплект можно приобрести на **Adafruit.com** (P/N 153).



Рис. 5.12. Ракета записывает телеметрические данные, которые могут быть изучены позднее

Этапы сборки

Когда вы приобрели все необходимое, можно приступить к сборке. Просто следуйте данной пошаговой инструкции:

1. Соберите ракету. Следуя инструкции, прилагаемой к изделию, осуществите сборку и покраску. Этапы сборки ракеты показаны на **рис. 5.13**.
2. Закрепите плату Arduino на макетной плате (**рис. 5.14**).



Рис. 5.13. Соберите ракету и покрасьте ее

3. Закрепите модуль регистратора данных OpenLog и подключите его, как показано на **рис. 5.15**. Пины VCC модуля соедините с пином 5V Arduino, а пин BLK — с «землей» (ground) платы Micro. (Замечу, что регистратор имеет как пин BLK, так и пин GND, который в данном случае не задействуется). Соедините пин RXI платы OpenLog с пином TX платы Arduino.

4. Подключите альтиметр (**рис. 5.16**). Пин SDA платы OpenLog соедините с пином 2 платы Micro (желтый провод), а пин SCL (зеленый провод) — с пином 3. «Земля» и питание подключаются, как показано на рисунке.

5. Добавьте аккумулятор. Подсоедините полюсы к пинам VI Micro (voltage in) и к «земле», как показано на **рис. 5.17**.

6. Скачайте скетч на вкладке **Examples** (Примеры) и прошейте на плату Arduino (**рис. 5.18**). Более подробно этот процесс будет описан в следующем разделе «Программирование полезной нагрузки ракеты».

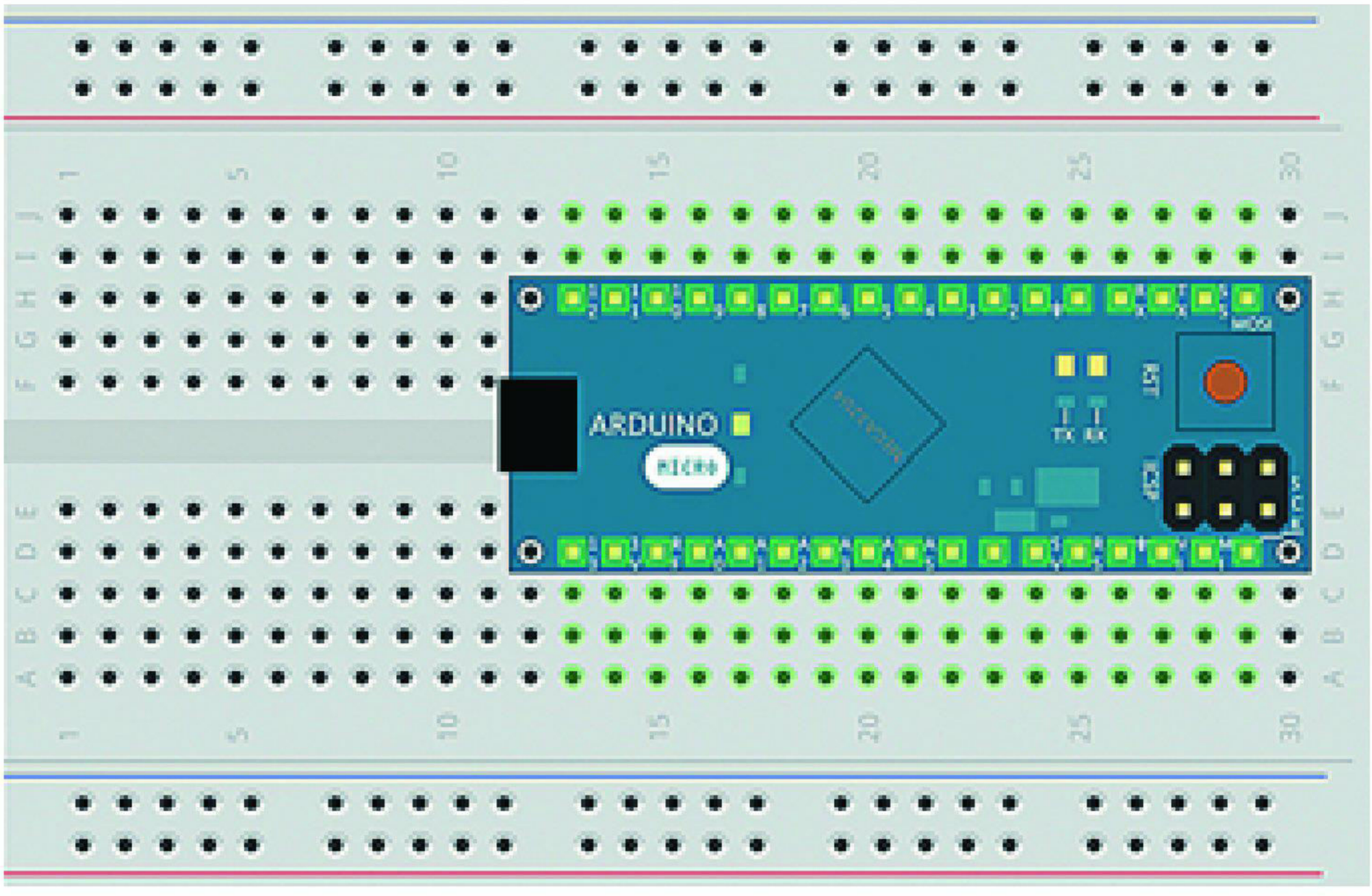


Рис. 5.14. Вставьте пины платы Arduino Micro в отверстия макетной платы

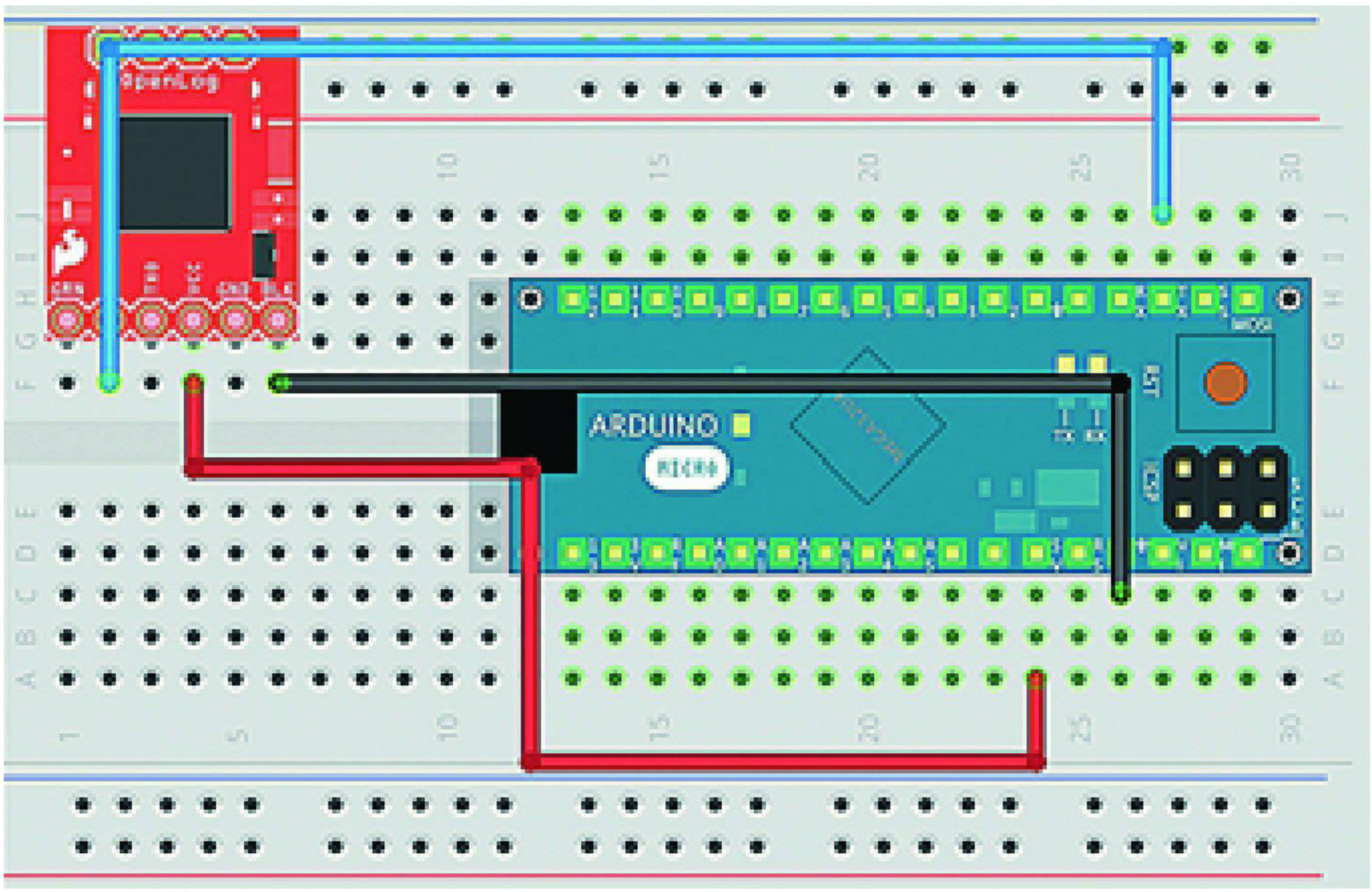


Рис. 5.15. Установите модуль регистратора записи данных и подключите его

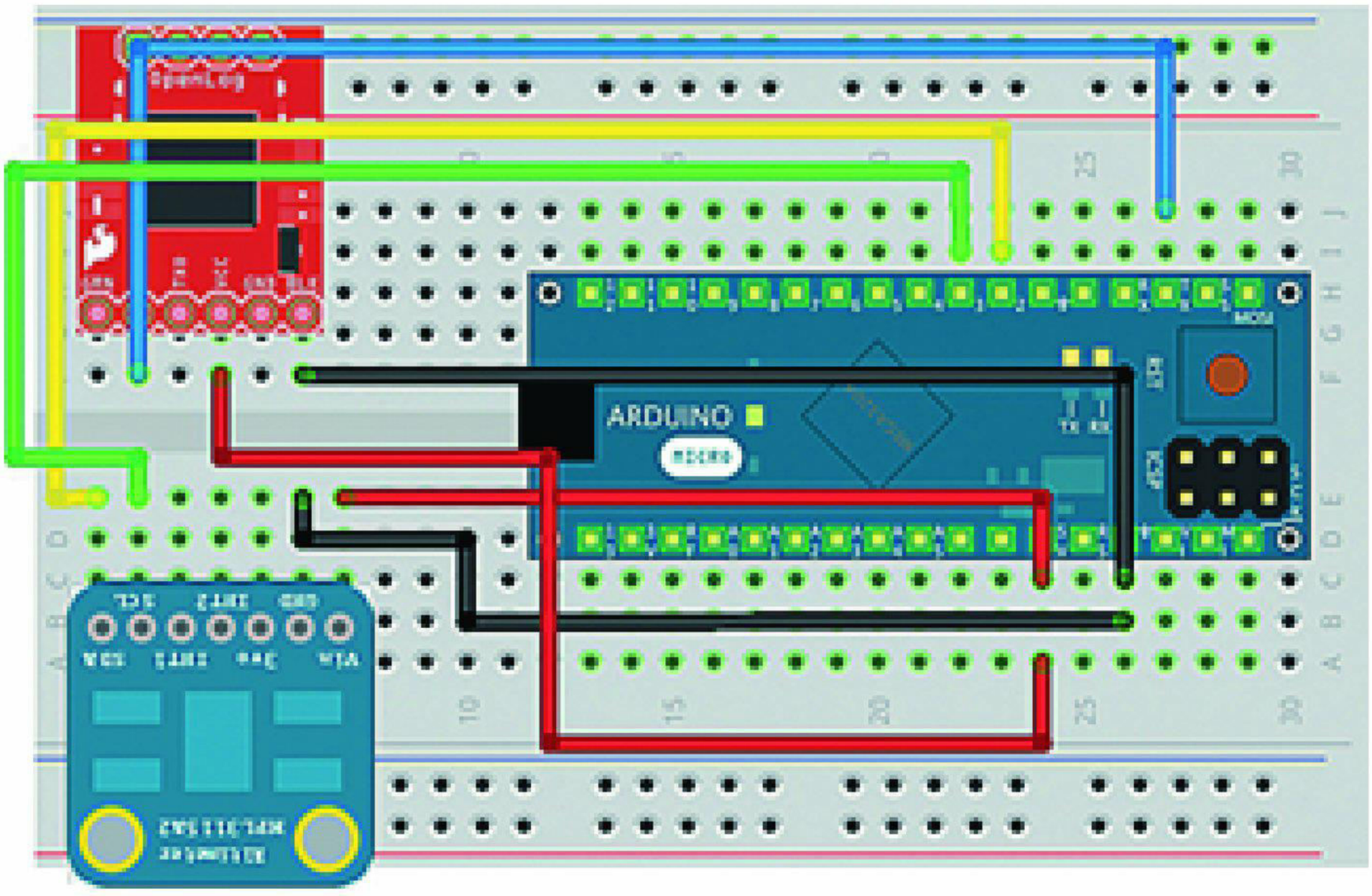


Рис. 5.16. Теперь установите и подключите альтиметр

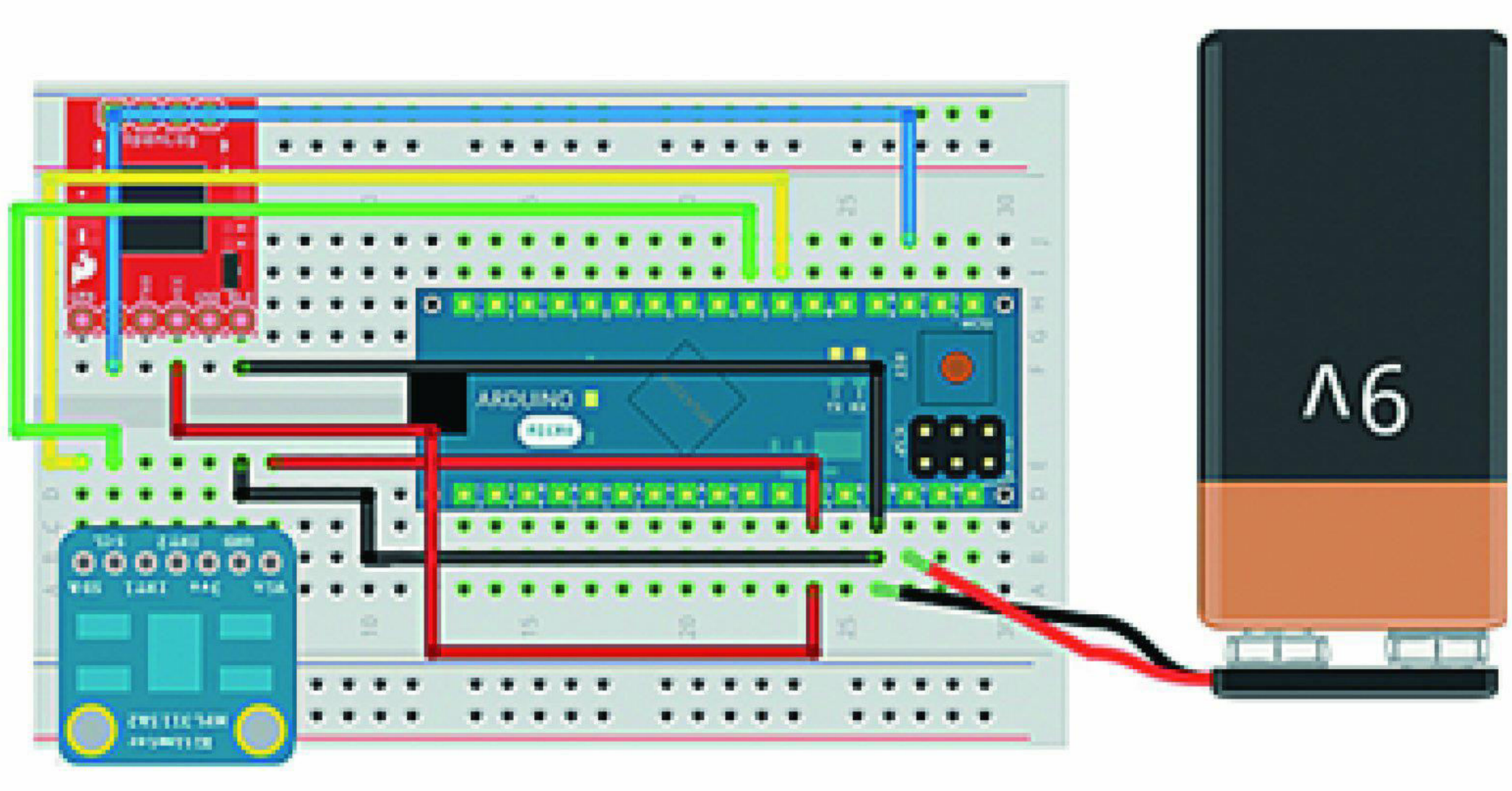


Рис. 5.17. Подключите аккумулятор для обеспечения питания вашего проекта

7. Установите полезную нагрузку в ракету таким образом, чтобы не нарушилось ее равновесие (**рис. 5.19**). Я поступил так: разместил все в головном обтекателе и закрепил плату термоклеем по месту.

8. Когда все готово к запуску, подайте питание на Arduino (**рис. 5.20**). Arduino начинает снимать данные с альтиметра и записывать их



Рис. 5.18. Прошейте скетч на плату Arduino



Рис. 5.19. Разместите полезную нагрузку в ракете

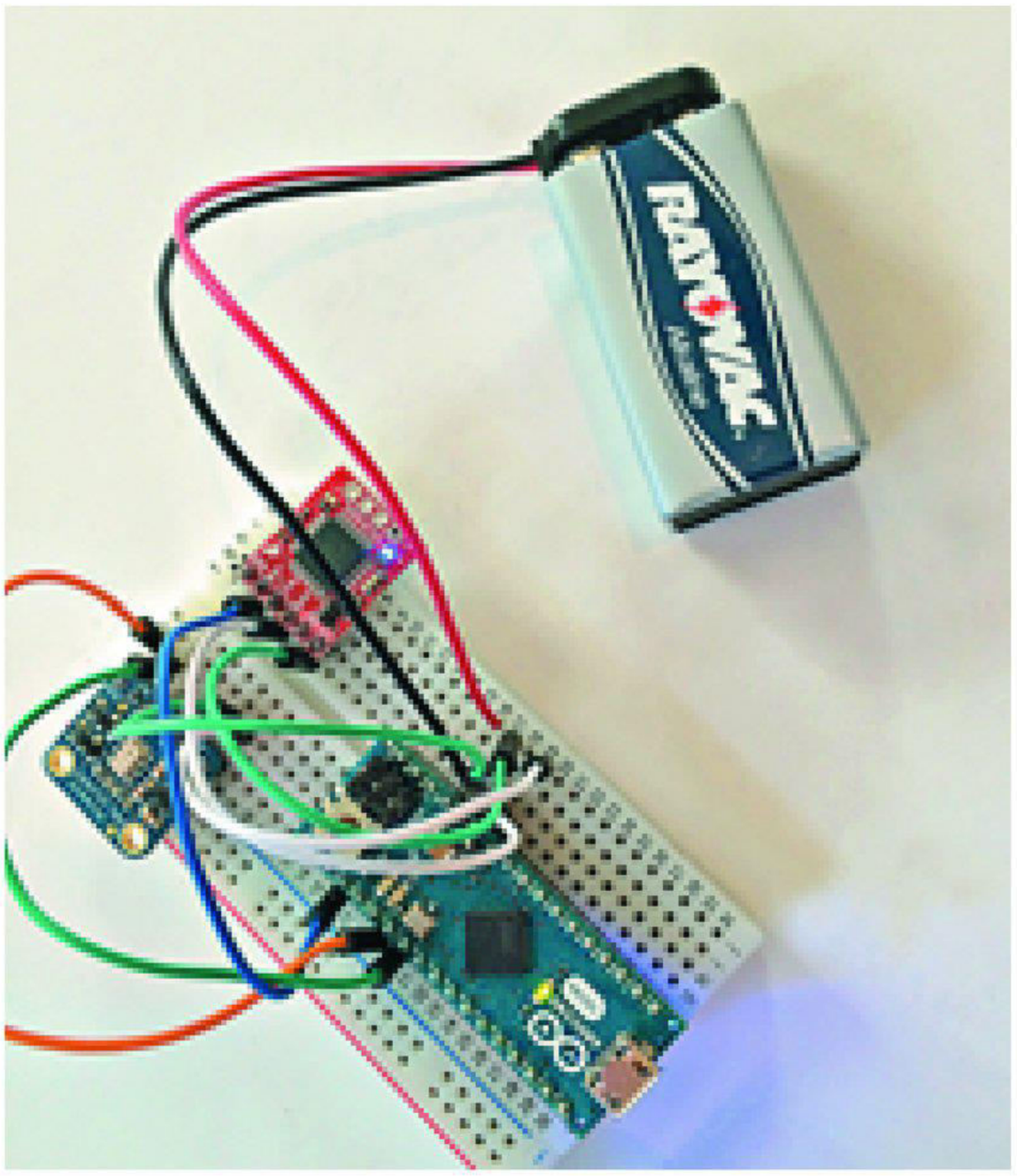


Рис. 5.20. Подайте питание на Arduino, чтобы началось считывание данных

в регистратор записи данных. Процесс будет продолжаться, пока аккумулятор не разрядится или вы не отключите питание.

9. После завершения полета извлеките из регистратора носитель информации и выключите питание Arduino. Вставьте носитель информации (карту памяти) в устройство чтения, чтобы просмотреть файлы.

Программирование полезной нагрузки ракеты

Примите на веру мои слова, что программный код сам по себе так же прост, насколько легко его получить. Программный код, который вам нужен и который приводится в качестве примера, — это скетч для акселерометра MPL3115A2 компании Adafruit. Устройство записи данных нормально с ним работает, и вам не надо ничего менять. Вы же должны сделать следующее:

1. Скачайте библиотеку программ для MPL3115A2 по адресу **https://github.com/adafruit/Adafruit_MPL3115A2_Library**. Библиотека — это добавочный код, который хранится в отдельном файле, что позволяет записывать основной код скетча в максимально компактном виде. Нажмите кнопку Download ZIP (Скачать ZIP-файл) в правом углу экрана.

2. Для установки библиотеки следуйте инструкциям, размещенным по адресу **http://arduino.cc/en/Reference/Libraries**. Все очень просто: найдите на компьютере папку Libraries в папке Arduino. Распакуйте библиотеку Adafruit (в зависимости от вашей операционной системы может понадобиться переименовать папку) и поместите эту папку в папку Arduino/Libraries.

3. Перезапустите программное обеспечение Arduino и найдите скетч под названием testmpl3115a2 (**File → Examples**). Тем не менее, чтобы быть в курсе дела, давайте просмотрим программный код.

```
//Эти библиотеки нужны для запуска скетча. Wire.h
поставляется вместе с Arduino, об этом не беспокойтесь
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_MPL3115A2.h>

Adafruit_MPL3115A2 baro = Adafruit_MPL3115A2 ();

void setup() {
//В следующих двух строках устанавливается последовательное
соединение, о чем выдается соответствующее сообщение
  Serial.begin(9600);
  Serial.println("Adafruit_MPL3115A2 test!");
}
```

```
void loop() {
//Этот цикл работает независимо, пока на Arduino подано
питание

  if (! baro.begin()) {
     Serial.println("Couldnt find sensor");
     return;
  }

//Альтиметр измеряет давление
  float pascals = baro.getPressure();
  /Serial.print(pascals/3377); Serial.println("Inches
(Hg)");

//Альтиметр определяет высоту
  float altm = baro.getAltitude();
  Serial.print(altm); Serial.println("meters");

//Альтиметр снабжен маленьким датчиком температуры,
почему бы и нет?
  float tempC = baro.getTemperature();
  Serial.print(tempC); Serial.println("*C");

  delay(250);
}
```

Заключение

В этой увлекательной главе вы построили ракету, которая во время полета регистрирует высоту и ускорение. В **главе 6** «Строим квадрокоптер, часть II: двигатели и пропеллеры» вы продолжите построение квадрокоптера и установите на раму, которую уже изготовили, двигатели и пропеллеры.

6

Строим квадрокоптер, часть II: двигатели и пропеллеры

Следующим шагом в создании нашего квадрокоптера является установка двигателей и пропеллеров (**рис. 6.1**). Я помогу вам выбрать и то, и другое, а затем поделюсь своими решениями. В **главе 4** «Строим квадрокоптер, часть I: выбор рамы» я показал, как собрать раму из набора MakerBeam. Дополнив ее двигателями и пропеллерами, а также установив остальное оборудование, мы наконец получим действующий летательный аппарат.

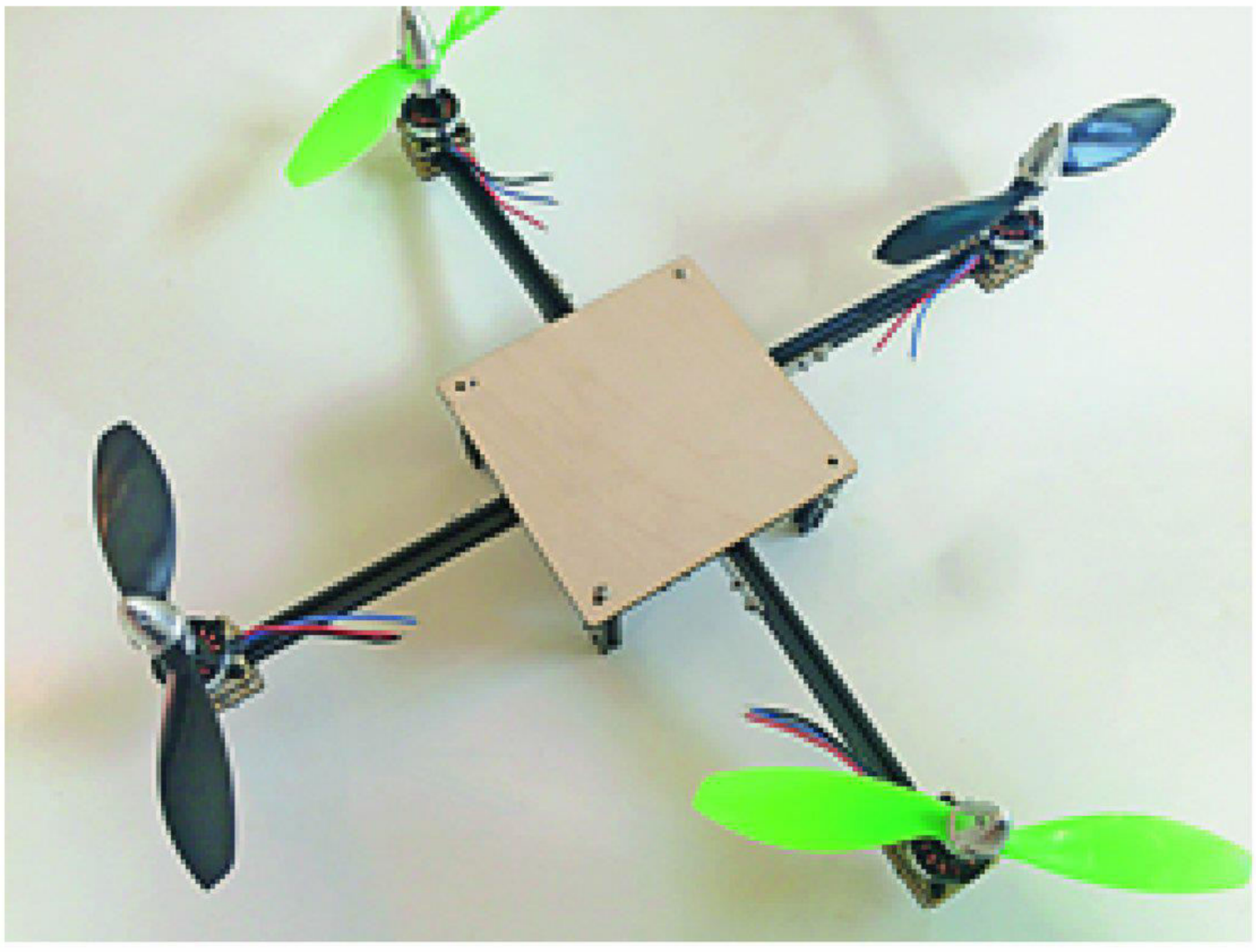


Рис. 6.1. В этой главе вы оснастите ваш квадрокоптер двигателями и пропеллерами

Выбор двигателей

Когда вы собираетесь купить двигатели для своей модели, будьте готовы, что выбирать придется из десятков, если не сотен вариантов. Все электродвигатели постоянного тока можно разделить по определенным характеристикам на классы. Рассмотрим основные характеристики.

Наружный ротор или внутренний?

В мире радиоуправляемых моделей мы часто слышим эти термины. Они имеют отношение к конструкции двигателя. У двигателя с *наружным* ротором (**рис. 6.2**) вращается практически вся конструкция, у него нет ротора в привычном смысле этого слова. Неподвижный статор находится внутри, и питание на него подается через полую ось. Пропеллер закреплен как бы непосредственно на корпусе. Двигатели такого типа часто применяются на квадрокоптерах, так как они с легкостью крутят пропеллеры большого размера. Но такие двигатели почти никогда не оснащаются коробкой передач. Это не позволяет управлять скоростью вращения и крутящим моментом, что иногда очень важно.

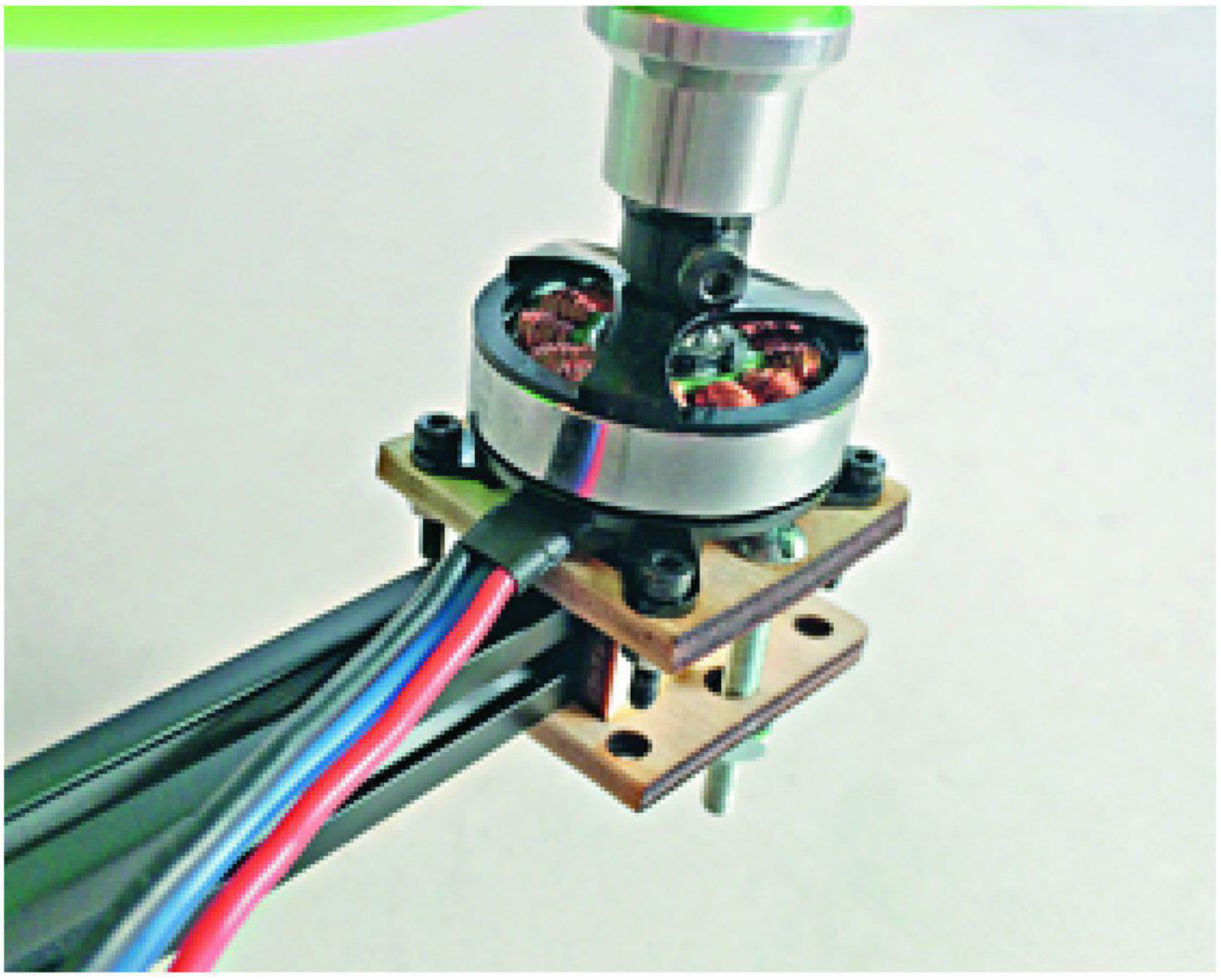


Рис. 6.2. Двигатель с фиксированной осью, вокруг которой вращается наружный ротор

Двигатель с *внутренним* ротором — это тот самый тип электродвигателя, который мы себе представляем, когда вообще слышим слово «двигатель». В кольце электромагнитов статора вращается стальной вал с магнитами. Часто двигатели этого типа оснащены редуктором, благодаря чему вы сможете изменять частоту вращения и крутящий момент пропеллера.

Двигатель со щетками или бесщеточный?

Эти особенности также необходимо учитывать при покупке двигателя. В данном случае мы говорим о подаче питания на внутренние электромагниты. В щеточном двигателе питание на магниты ротора (детали, которая вращается) подается через небольшие металлические щетки. В бесщеточном двигателе магниты неподвижны, поэтому щетки не нужны.

Каждый тип двигателя имеет свои преимущества. Бесщеточные двигатели имеют лучшую теплоотдачу, поэтому они более компактны. Но их нельзя просто взять и подключить к источнику питания — они нуждаются в относительно сложных системах управления. Напротив, старый добрый двигатель, имеющий щетки (**рис. 6.3**), можно просто подключить к батарейке без каких-либо контроллеров. Но щетки имеют свойство изнашиваться.



Рис. 6.3. Двигатель со щетками легко узнать всего по двум выводам

Постоянный или переменный ток?

Вам известна разница между постоянным и переменным током, не так ли? Переменный ток чаще всего применяется в быту, хотя некоторые любители электроники его также используют. При создании дронов в основном выбирают двигатели переменного тока. Аккумуляторы же выдают постоянный ток, да и бóльшая часть датчиков и другой электроники работает на постоянном токе.

Ваша основная задача — чтобы у вас электронные регуляторы скорости (ESC) были совместимы с вашим двигателем. Если у вас двигатель переменного тока, то и регулятор должен работать на переменном токе (**рис. 6.4**). Вы ничего не знаете об электронных регуляторах скорости? Не волнуйтесь, в **главе 8** «Строим квадрокоптер, часть III: управление полетом» я все о них расскажу.

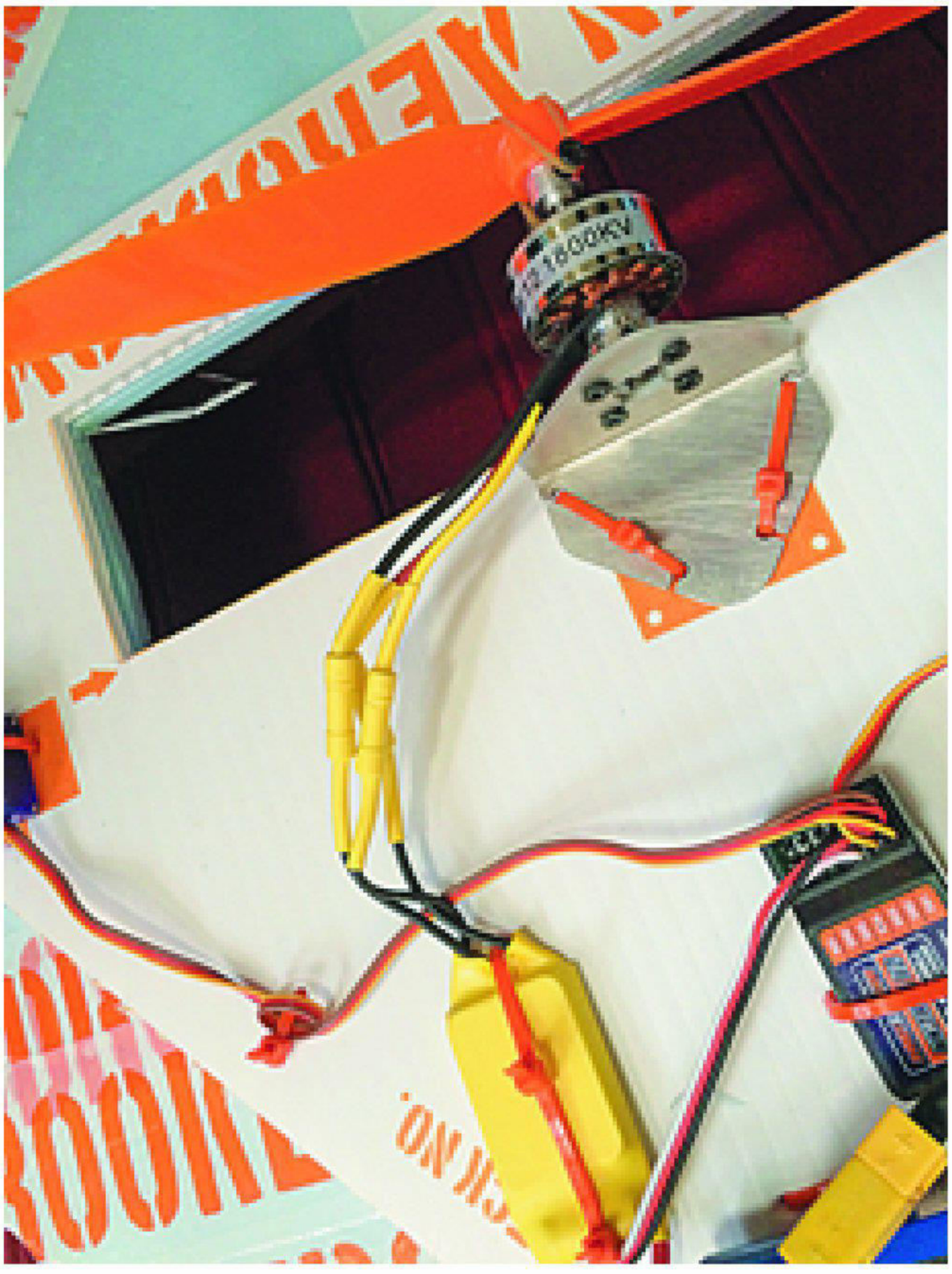


Рис. 6.4. Двигатель переменного тока с подходящим электронным регулятором скорости

Вы недоумеваете, как источник постоянного тока может питать двигатель переменного тока? Ответ прост: регуляторы имеют преобразователи, которые преобразуют подаваемое с аккумулятора постоянное напряжение в трехфазный сигнал, отвечающий за частоту вращения двигателя.

Выбор пропеллеров

Пропеллеры стоят недорого, но частенько ломаются, поэтому у вас будет возможность испытать на практике разные типы.

СОВЕТ

Вот несколько советов, как правильно выбрать пропеллер:

- Основные характеристики пропеллера — диаметр и шаг. Шаг — это угол наклона лопасти. В этой книге я использовал пропеллеры 7 × 3,8.
- Вам постоянно придется иметь дело с пропеллерами двух типов, которые продаются в комплекте: обычными и толкающими (**рис. 6.5**). Толкающие пропеллеры рассчитаны на вращение против часовой стрелки, а обычные — по часовой. Вращение в противоположных направлениях служит для стабилизации квадрокоптера.
- При покупке обязательно уточните, что вам нужны именно низкоскоростные пропеллеры для низкоскоростных моделей, какими являются квадрокоптеры. Меньшие по размерам высокоскоростные пропеллеры применяются для самолетов.
- Вам, конечно, захочется раскрасить пропеллеры в разные цвета, чтобы визуально определять носовую и хвостовую части при управлении квадрокоптером, но, к сожалению, толкающие винты окрашены, как правило, в другой цвет, что весьма неудобно, так как они крепятся по диагонали по отношению друг к другу.



Рис. 6.5. Обычный и толкающий пропеллеры вращаются в противоположных направлениях

Адаптеры для крепления пропеллеров (пропадаптеры)

Еще один момент, который необходимо учитывать при покупке пропеллеров, — как вы будете их крепить? Пропеллеры продаются к комплекте с адаптерами, но все это должно быть конструктивно совместимо с вашим двигателем.

Так что, прежде чем хватать первое, что подвернется, имейте в виду, что существуют два решения: цанговое крепление и адаптер безопасного крепления (пропсейвер).

- **Цанговый патрон** — это металлический фиксатор, имеющий вид конуса (один из его вариантов вы видите на **рис. 6.6**). Такие адаптеры весьма надежны, и вы можете быть уверены, что пропеллер не свалится с оси двигателя. Как ни странно, это не всегда полезно. Именно из-за этого пропеллеры постоянно ломаются. Представьте: пропеллеры сделаны из тонкого пластика и вращаются с большой скоростью. При столкновении со стеной или любым другим препятствием пропеллер неизбежно ломается. Сколько раз приходилось прекращать полеты из-за потери пропеллеров! В этой книге мы будем рассматривать именно такое крепление.
- **Адаптер безопасного крепления (пропсейвер)** — это еще одно решение. Название говорит само за себя — данное крепление призвано предотвратить поломку пропеллера при аварии. Принцип действия состоит в том, что пропеллер держится на резиновом кольце за счет трения. При аварии пропеллер просто слетает с крепления, и его можно установить заново. Если вы выберете такой способ крепления, вам придется иметь при себе достаточное количество запасной резиновой ленты, которая навивается на ось, и проверять крепление перед каждым полетом.



Рис. 6.6. Пропеллер крепится к мотору при помощи адаптера

Проект: установка двигателей и пропеллеров

Следующим шагом в постройке квадрокоптера будет установка двигателей и пропеллеров (**рис. 6.7**). На каждый луч вы установите двигатель, пропеллер и их крепеж. Итак, начнем без промедления!

ПЕРЕЧЕНЬ КОМПОНЕНТОВ

На данном этапе вам понадобится следующее:

- Двигатель, 4 шт. Я использовал бесщеточные двигатели Hobby King 1400 kV (P/N 2205C-1400).
- Пропеллер, 4 шт. Я поставил низкоскоростные пропеллеры 7×3,8 для электродвигателей Turnigy (**Hobbyking.com**; P/N 9329000203-0). Если хотите, поставьте два толкающих винта типа P/N 9329000206-0.
- Адаптер, 4 шт. Советую использовать цанговые адаптеры Hobby King для роторов 3 мм (**Hobbyking.com**; P/N GON-D3T6).
- Площадка для установки двигателей, 8 шт. Можете вырезать лазером то, что разработал я (**http://thingiverse.com/jwb/designs**), или изготовить на 3D-принтере нечто подобное (**http://thingiverse.com/thing:198878**). Площадки вырезаются лазером из фанеры толщиной $^1/_8$ дюйма (3 мм). Понадобятся также 4 винта № 4 (0,75 дюйма ≈19 мм) и гайки, чтобы их закрепить.



Рис. 6.7. На каждый луч устанавливаем двигатели, пропеллеры и их крепеж

Этапы установки двигателей и пропеллеров

Установка двигателей и пропеллеров на раму выполняется в четыре этапа.

1. Вырежите лазером или изготовьте на 3D-принтере площадки для установки двигателей. На тот момент 3D-принтер у меня не работал, поэтому я решил вырезать их лазерным резаком. Результат можно видеть на **рис. 6.8**. Если у вас нет доступа к лазерному инструменту, можно изготовить эти детали из фанеры толщиной $^1/_8$ дюйма (3 мм), воспользовавшись обычными инструментами. В конце концов, площадки можно и купить, убедитесь только, что они подходят к балкам толщиной 10 мм.
2. Закрепите площадки на концах лучей (**рис. 6.9**). Я свинчивал деревянные детали винтами № 4. Для увеличения трения можно проложить кусок двустороннего скотча между деревом и металлом.
3. Приверните двигатели к площадкам винтами М2 и гайками (**рис. 6.10**). Если у вас нет контргаек, воспользуйтесь жидким фиксатором резьбы для большей надежности.
4. Присоедините пропеллеры к двигателям с помощью адаптеров (**рис. 6.11**). Все, что требуется, — это закрепить пропеллер на адаптере

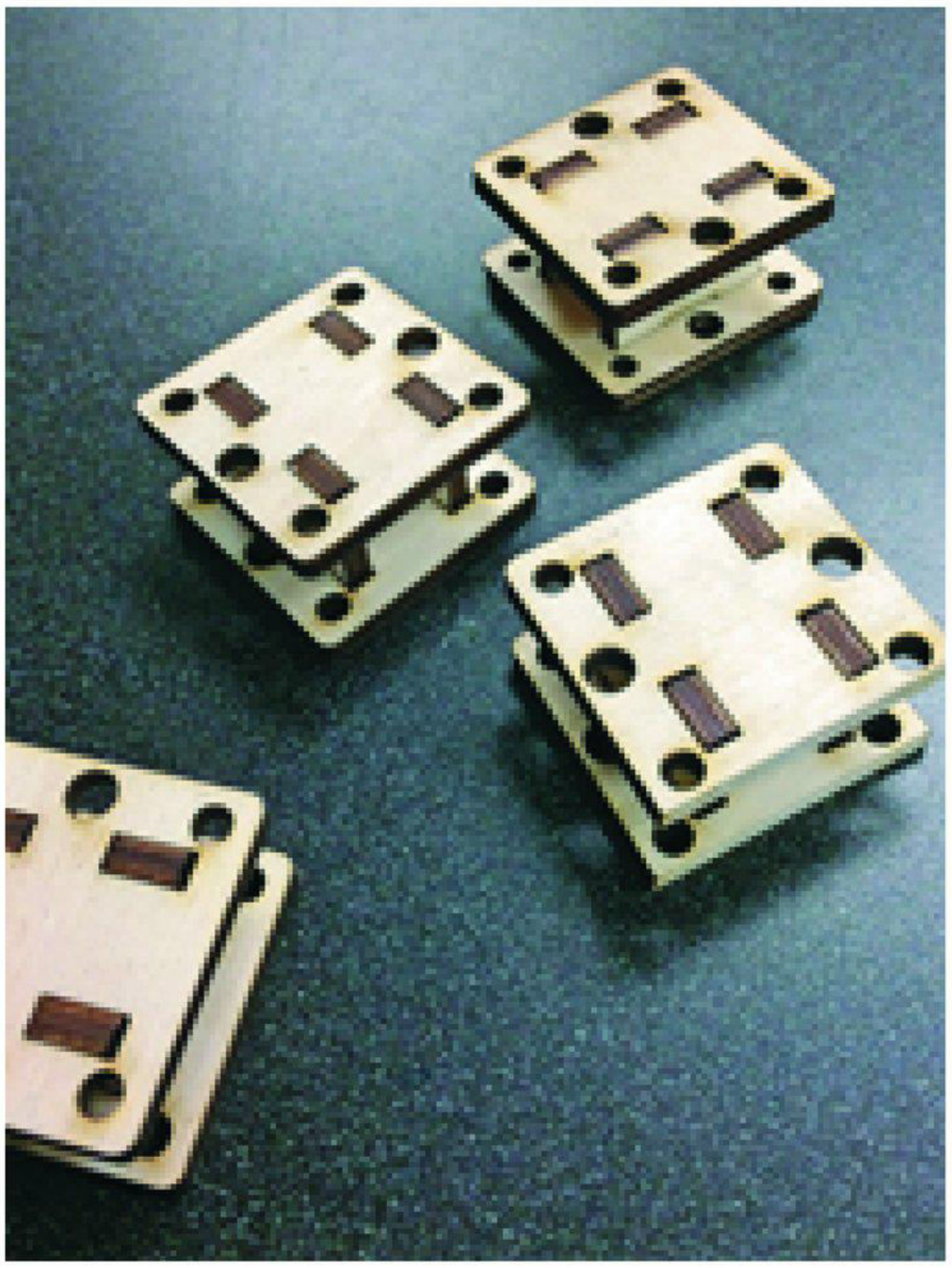


Рис. 6.8. Вырежите площадку для двигателя при помощи лазерного резака



Рис. 6.9. Установите на концах лучей площадки для двигателей, свинтив их винтами № 4

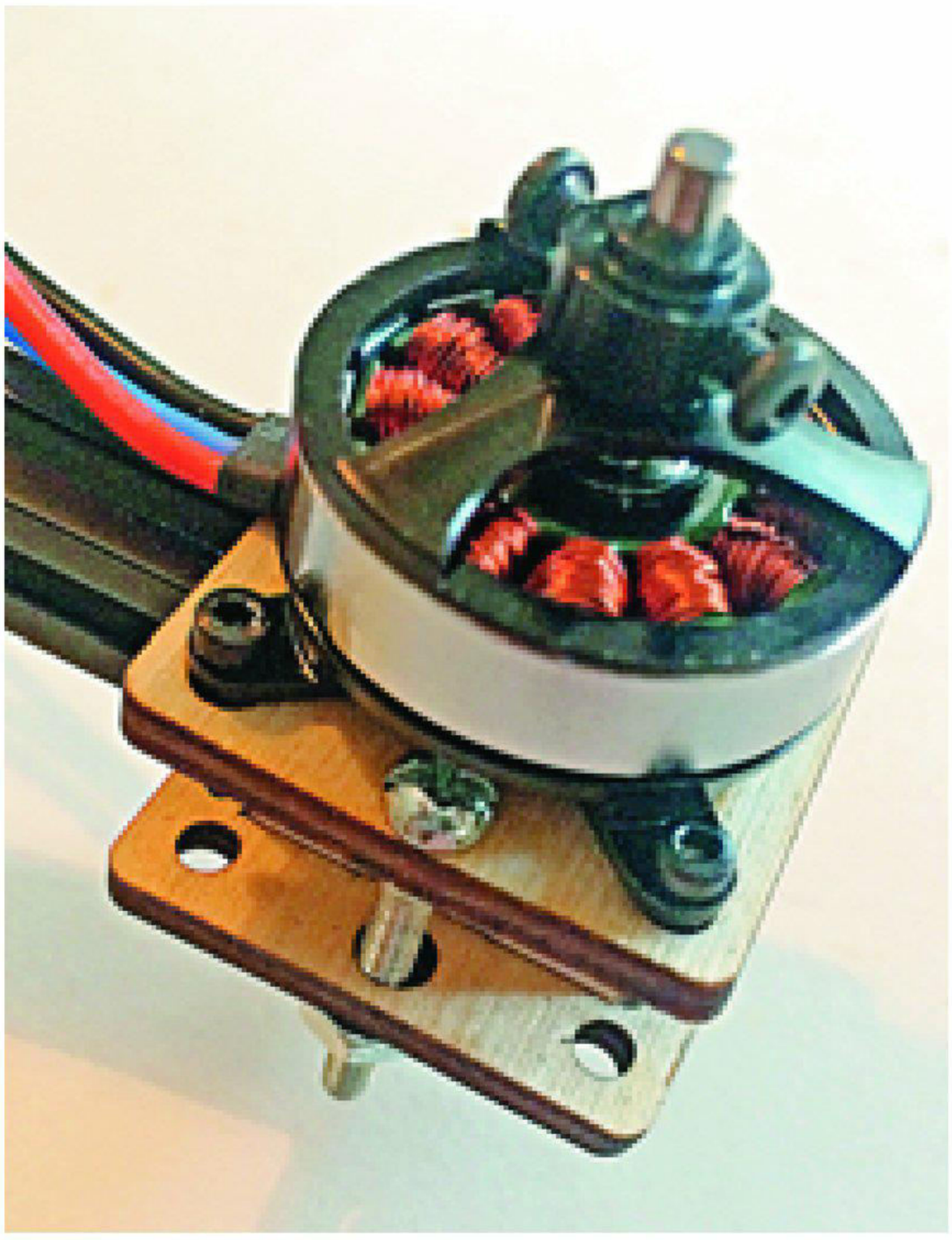


Рис. 6.10. Приверните двигатели к площадкам на концах лучей

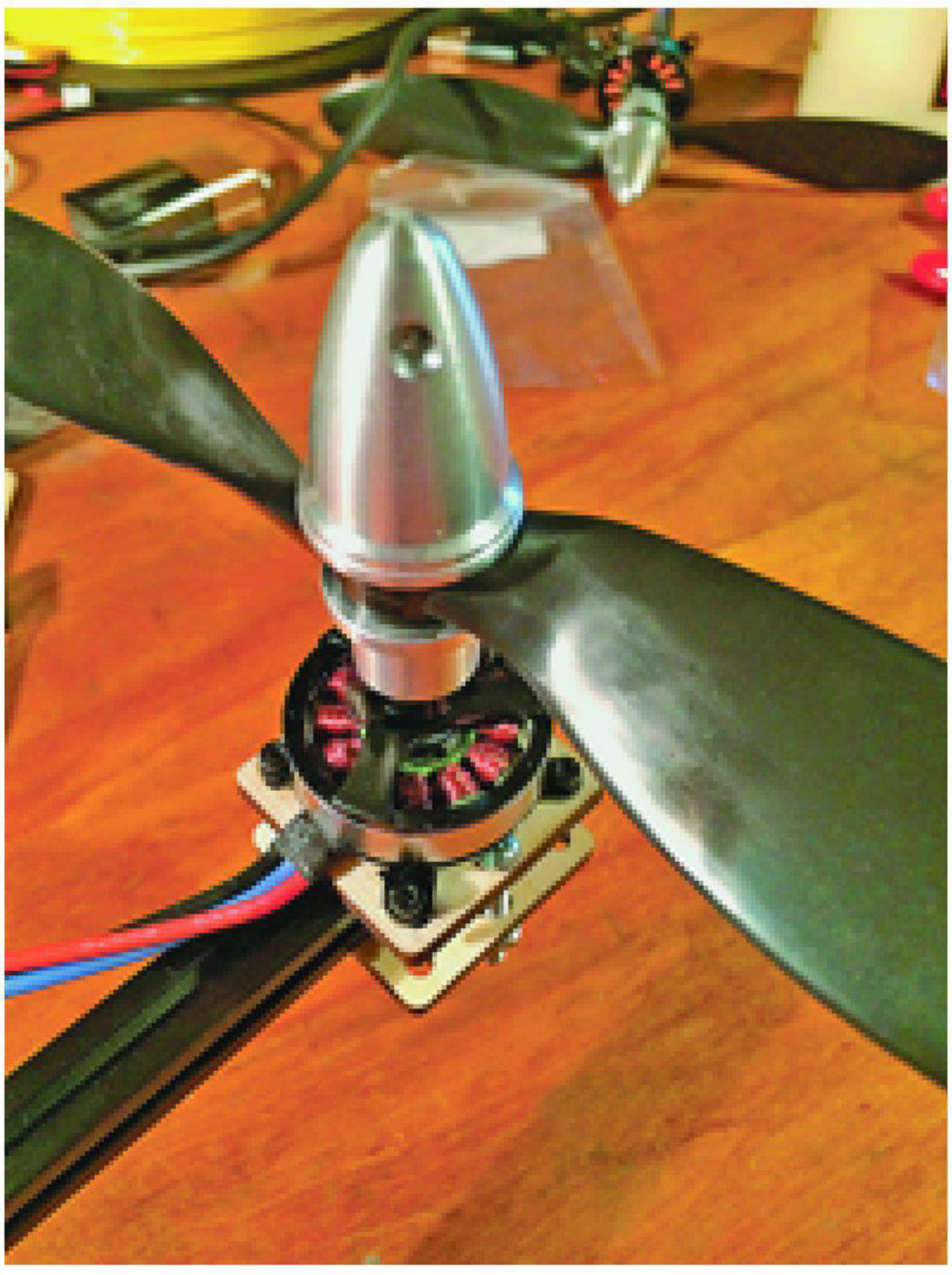


Рис. 6.11. Установите пропеллеры на двигатели, закрепив их адаптерами

и закрепить другой конец (с отверстием) адаптера на валу двигателя. Затяните соединение, но так, чтобы можно было без проблем снять пропеллер в случае поломки. Убедитесь в правильном расположении пропеллеров: два тянущих и два толкающих пропеллера должны располагаться по диагонали друг напротив друга.

Заключение

Вы существенно продвинулись в постройке квадрокоптера, ознакомившись с характеристиками двигателей и пропеллеров и установив их на раму. В **главе 7** «Строим управляемый аэростат» полученные знания пригодятся вам при постройке управляемого аэростата из воздушных шариков, двух двигателей и сервопривода. Здесь вы примените на практике два различных способа управления.

7

Строим управляемый аэростат

В этой главе вы ознакомитесь с технологией радиоуправления моделями на расстоянии с помощью ручного пульта дистанционного управления. Затем вы построите аэростат, полетом которого будете управлять посредством радиосигнала (**рис. 7.1**). В самом конце я расскажу, как сделать аэростат автономным, используя Arduino в качестве мозгов.



Рис. 7.1. В этой главе вы построите управляемый аэростат

Радиоуправление

Типичными компонентами системы радиоуправления являются три устройства: передатчик, приемник и электронный регулятор скорости (ESC) для каждого двигателя. Давайте рассмотрим каждое из устройств.

Передатчики

Ручной пульт дистанционного управления (**рис. 7.2**) включает в себя передатчик, посылающий сигналы на борт модели, а также различные элементы управления — джойстики и переключатели. С помощью радиопередатчика осуществляется управление моделью: можно изменять ее скорость, положение закрылков, включать сервоприводы и т. д.

Не все передатчики одинаковы. Те, кто не стеснен в средствах, спят и видят устройства стоимостью более тысячи долларов, которые на самом деле не хуже и не лучше остальных, зато потрясающе выглядят.

Конечно, более качественные передатчики обладают лучшими характеристиками (бóльшим числом каналов, например), что позволяет



Рис. 7.2. Недорогой передатчик Hobby King — отличное средство для освоения технологии радиоуправления

управлять бóльшим числом двигателей и другого активного оборудования, а также такими «наворотами», как ЖК-экраны и мощные антенны.

Однако в большинстве случаев вам не придется тратить кучу денег на устройства управления. Стоимость обычного комплекта приемник—передатчик не превышает 25 долл.

Приемники радиосигнала

Модель должна быть оснащена приемником радиосигнала, который принимает и расшифровывает сигнал. Простейший приемник показан на **рис. 7.3**. Он имеет набор контактов для управления двигателями, разъем для подключения питания и антенну того или иного вида для приема сигнала.

Как уже упоминалось, приемник и передатчик чаще всего продаются в паре. Причина очевидна: таким образом вы можете убедиться, что никакого обмана, пара будет работать идеально.

Приемники характеризуются частотой принимаемого сигнала (например, 2,4 ГГц), числом каналов и типом антенны. Естественно, его характеристики должны совпадать с характеристиками передатчика.

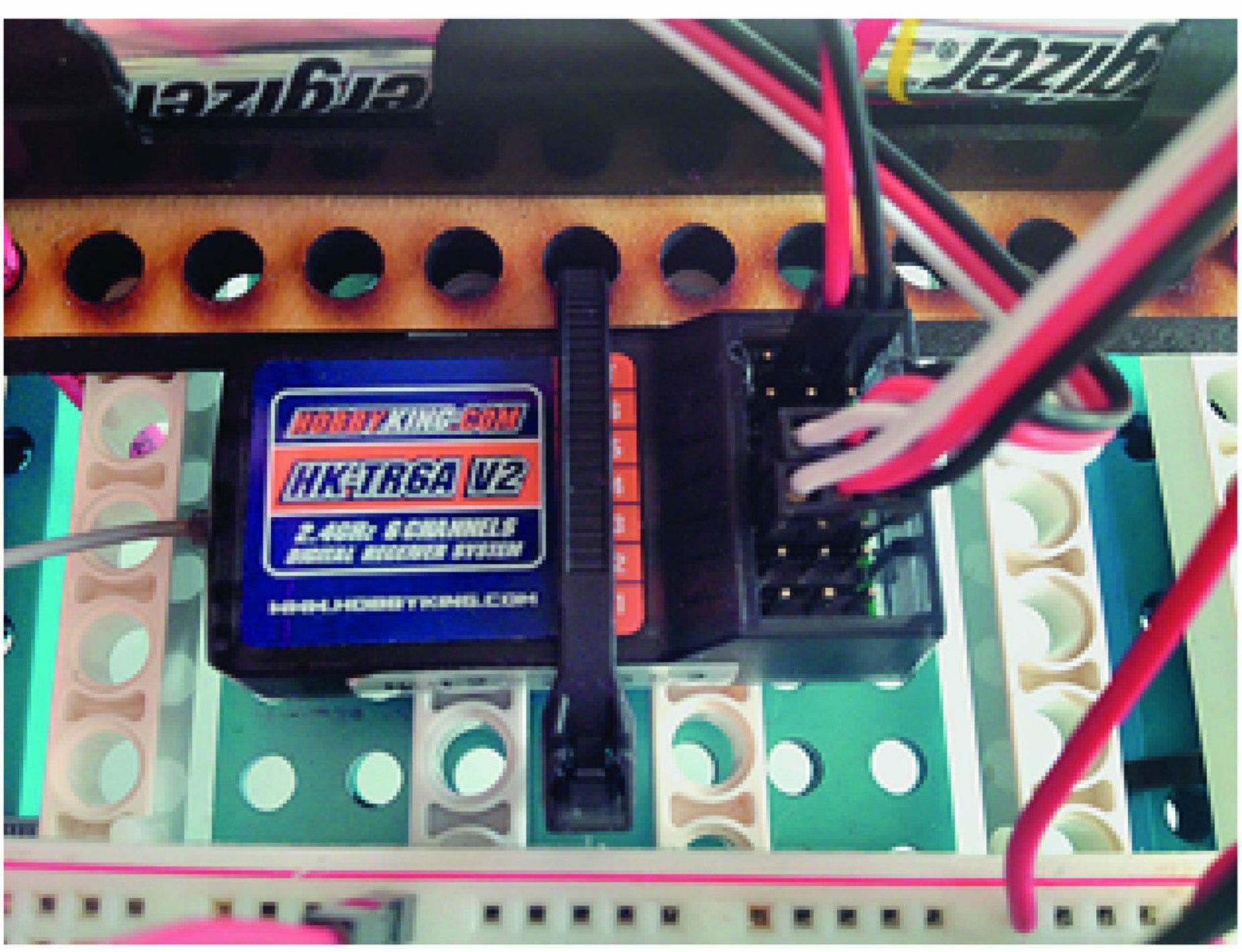


Рис. 7.3. Приемник Hobby King расшифровывает сигналы, поступающие от передатчика

Электронные регуляторы скорости (ESC)

Мощности выходного сигнала приемника недостаточно для управления двигателем, поэтому он только включает электронный регулятор скорости (**рис. 7.4**), с которого уже подается на двигатель полное напряжение аккумулятора. К тому же регулятор чаще всего имеет чип, запрограммированный определенным образом. Примерами таких программ могут служить программы управления торможением, ускорением, а также плавным запуском, когда квадрокоптер не уносится в пространство в тот же миг, как подано напряжение на двигатели.

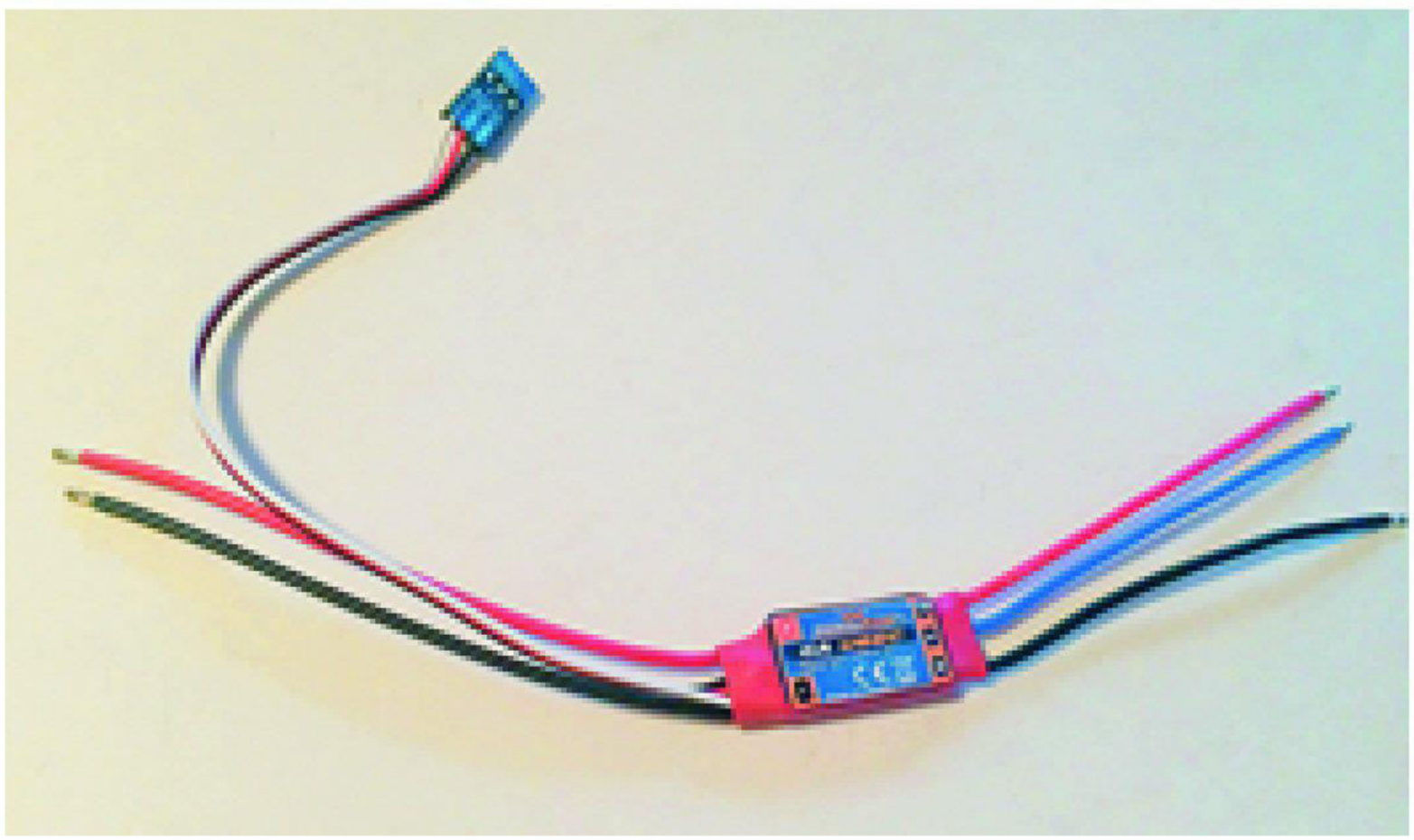


Рис. 7.4. Электронные регуляторы скорости управляют двигателями, получая команды от приемника

При покупке ESC следует руководствоваться величиной силы тока, потребляемого двигателями. Ток на выходе регулятора должен немного превышать максимальный входной ток двигателя. Регулятор должен соответствовать типу двигателя (постоянный или переменный ток, наличие или отсутствие щеток).

Проект: управляемый аэростат

В этой главе вы построите аэростат, который поднимает в воздух деревянную гондолу при помощи шаров из майларовой пленки. На гондоле закреплены два пропеллера, наклон которых можно менять сервоприводом (см. **рис. 7.1**). Управление можно осуществлять как по радиоканалу, так и при помощи Arduino.

ПЕРЕЧЕНЬ КОМПОНЕНТОВ

Для постройки аэростата вам понадобятся следующие компоненты. (Замечу, что двигатели, пропеллеры и бортовая аппаратура те же самые, что и в **главе 6**):

- Двигатель, 2 шт. Я выбрал бесщеточный двигатель Hobby King 1400 kV (P/N 2205C-1400).
- Адаптер пропеллера, 2 шт. Советую взять цанговые адаптеры Hobby King для роторов с диаметром 3 мм (**Hobbyking.com**; P/N GON-D3T6).
- Пропеллер, 2 шт. Я установил низкоскоростные пропеллеры 7×3,8 для электродвигателей Turnigy, один тянущий и один толкающий (**Hobbyking.com**; P/N 9329000203-0, P/N 9329000206-0).
- Винты M×10 с шестигранной головкой для крепления двигателей, 2 шт. (**Hobbyking.com**; P/N HA0506). Вам также понадобятся шестигранные гайки (P/N OR017-01001-M2).
- Сервопривод. Я установил сервопривод Hitec HS322HD (**Jameco.com**; P/N 395760).
- Рычаг сервопривода. Я использовал одностороннюю консоль Acrobatics (P/N 525116).
- Крепежные втулки для сервопривода. Понадобятся однодюймовые втулки с резьбовыми отверстиями № 6 (**Allelectronics.com**; P/N SP-263). Также потребуются винты № 6–32 для их крепления.
- Зубчатый ремень. Можно купить на сайте **Adafruit.com** (P/N 1184).
- Стяжки (какие окажутся под рукой).
- Гондола, вырезанная лазерным резаком. Можете скачать и использовать мой вариант (**http://thingiverse.com/jwb**). Лучше взять акрил или березу толщиной $^{1}/_{8}$ дюйма (3 мм) либо любой другой легкий материал.
- Ось (диаметр 0,25 дюйма, или 6 мм). Понадобится ось длиной примерно 18 дюймов (45,7 мм).
- Воздушные шары, наполненные гелием. Я выбрал 24-дюймовые (≈61 см) из-за их большого объема.
- Комплект приемник—передатчик радиосигнала. Выберите на сайте **Hobbyking.com** (P/N HK-T6A-M2).
- Электронный регулятор скорости, 2 шт. Подойдет модель Hobby King на 6 A (**Hobbyking.com**; P/N 261000001).
- Аккумулятор. Поставьте литий-полимерный аккумулятор Turnigy Nano-Tech емкостью 460 мА · ч (**Hobbyking.com**; P/N N460.3S.25).

Комплектующие Arduino

Если вы планируете осуществлять управление при помощи Arduino, то вместо приемника и передатчика вам понадобятся:

- **Arduino UNO** или **Arduino Micro.** В **главе 5** «Строим ракету» я использовал Arduino Micro, но в данном случае Arduino UNO предпочтительнее. Ниже я расскажу, как использовать и то, и другое.
- **Ультразвуковой датчик**, 2 шт. Я взял совместимые с PING (**Jameco.com**; P/N 2206168).
- **Провода.** Я купил провода на **Sparkfun.com** (P/N 11026).

Этапы сборки

1. Соберите гондолу (**рис. 7.5**). Я вырезал ее детали из березовой фанеры толщиной $^{1}/_{8}$ дюйма (3 мм) лазерным резаком, склеил и закрепил стяжками. Вам необязательно следовать моему примеру, подойдет любая легкая коробка.

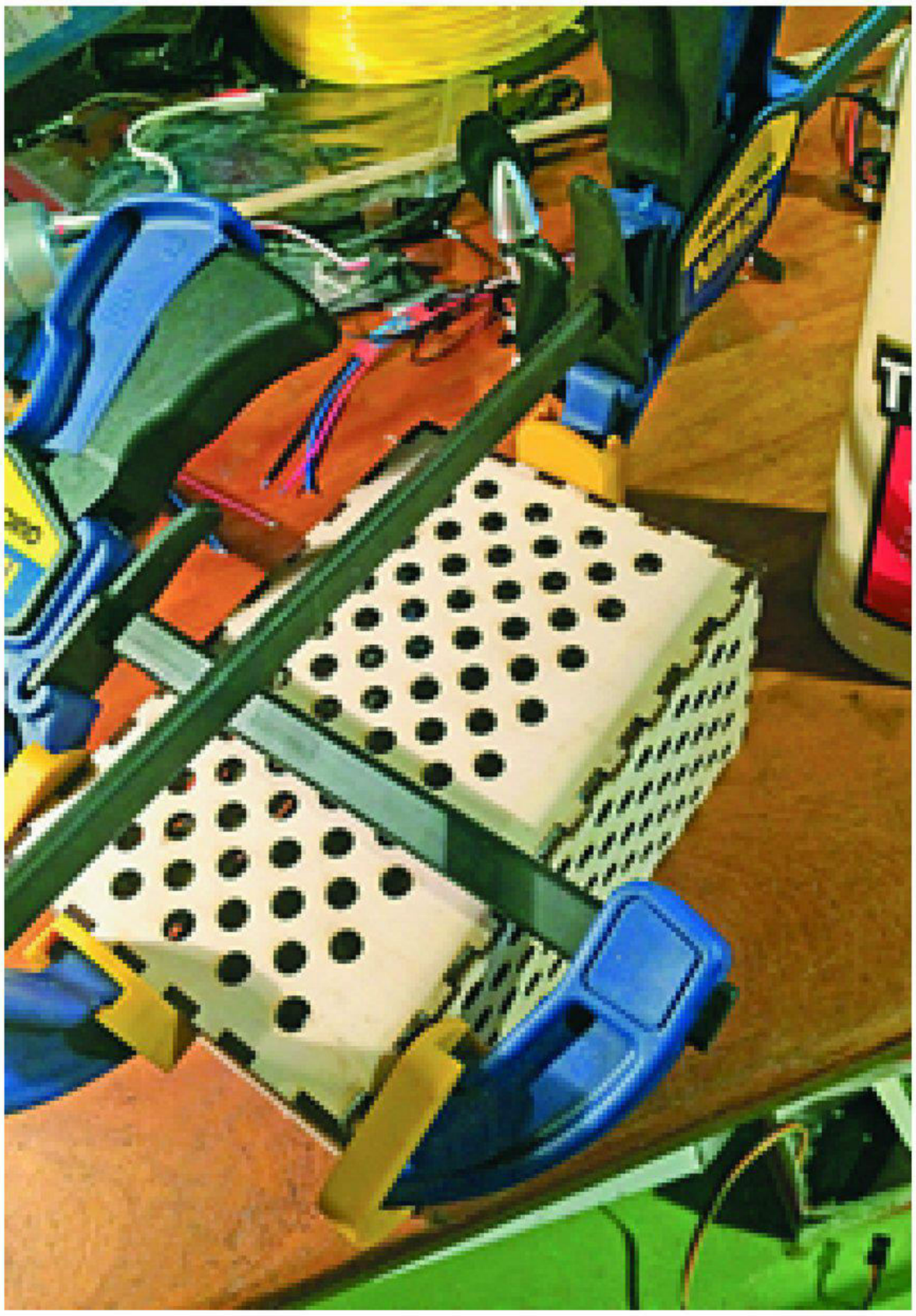


Рис. 7.5. Соберите гондолу, склейте ее и закрепите стяжками на шасси

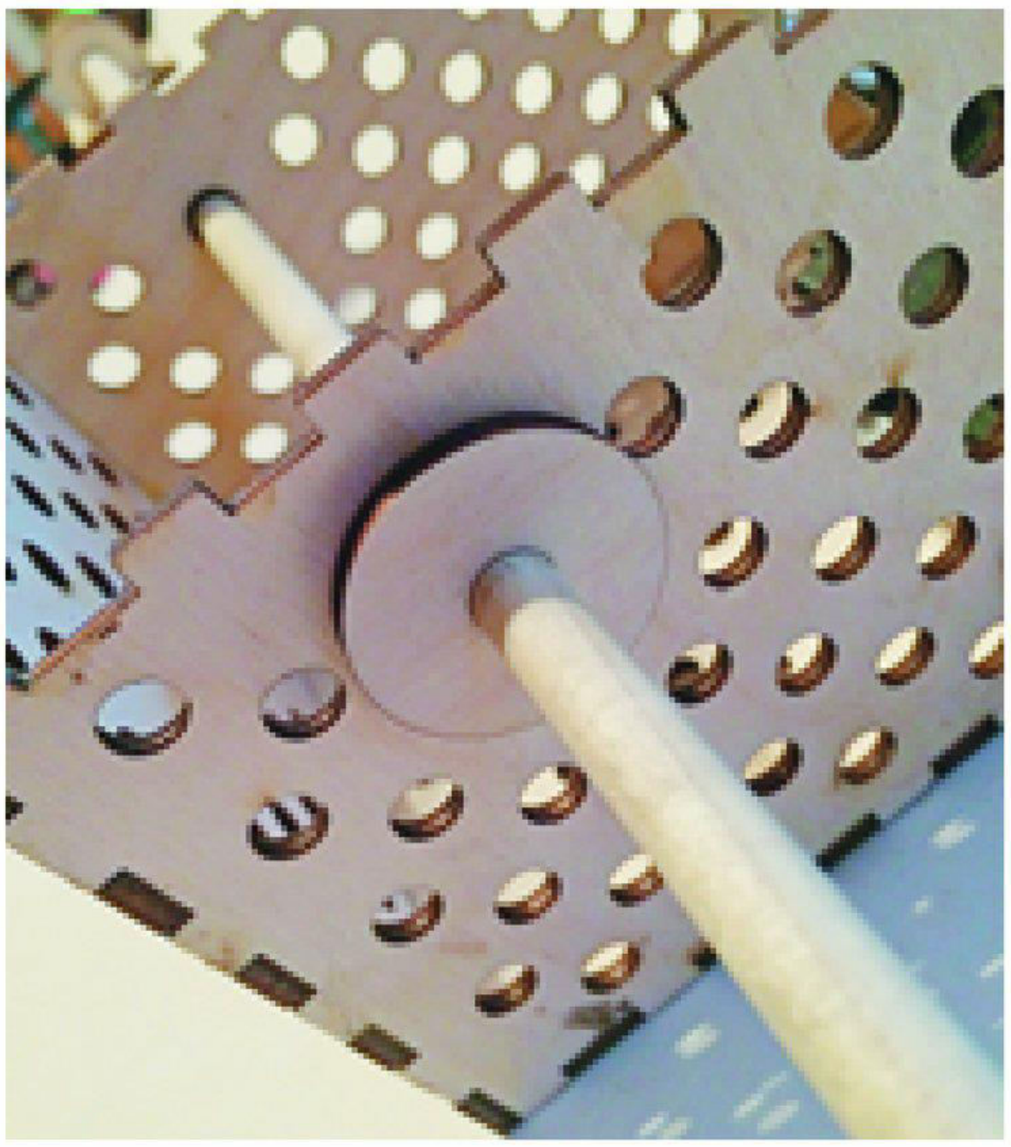


Рис. 7.6. Закрепите ось деревянными шайбами



Рис. 7.7. Соберите и склейте консоли крепления двигателей

2. Пропустите ось в отверстия гондолы, чтобы ее концы выступали примерно на 6 дюймов (15 см) с каждой стороны. Клеем для дерева приклейте к оси деревянные шайбы, тоже вырезанные лазером (**рис. 7.6**).

3. Пока сохнет клей на шайбах, соберите и склейте консоли крепления двигателей. Вам понадобятся две штуки — по одной на каждый двигатель (**рис. 7.7**).

4. Когда клей высохнет, насадите эти консоли на ось и приклейте их к оси (**рис. 7.8**). Разумеется, консоли должны смотреть в одну сторону.

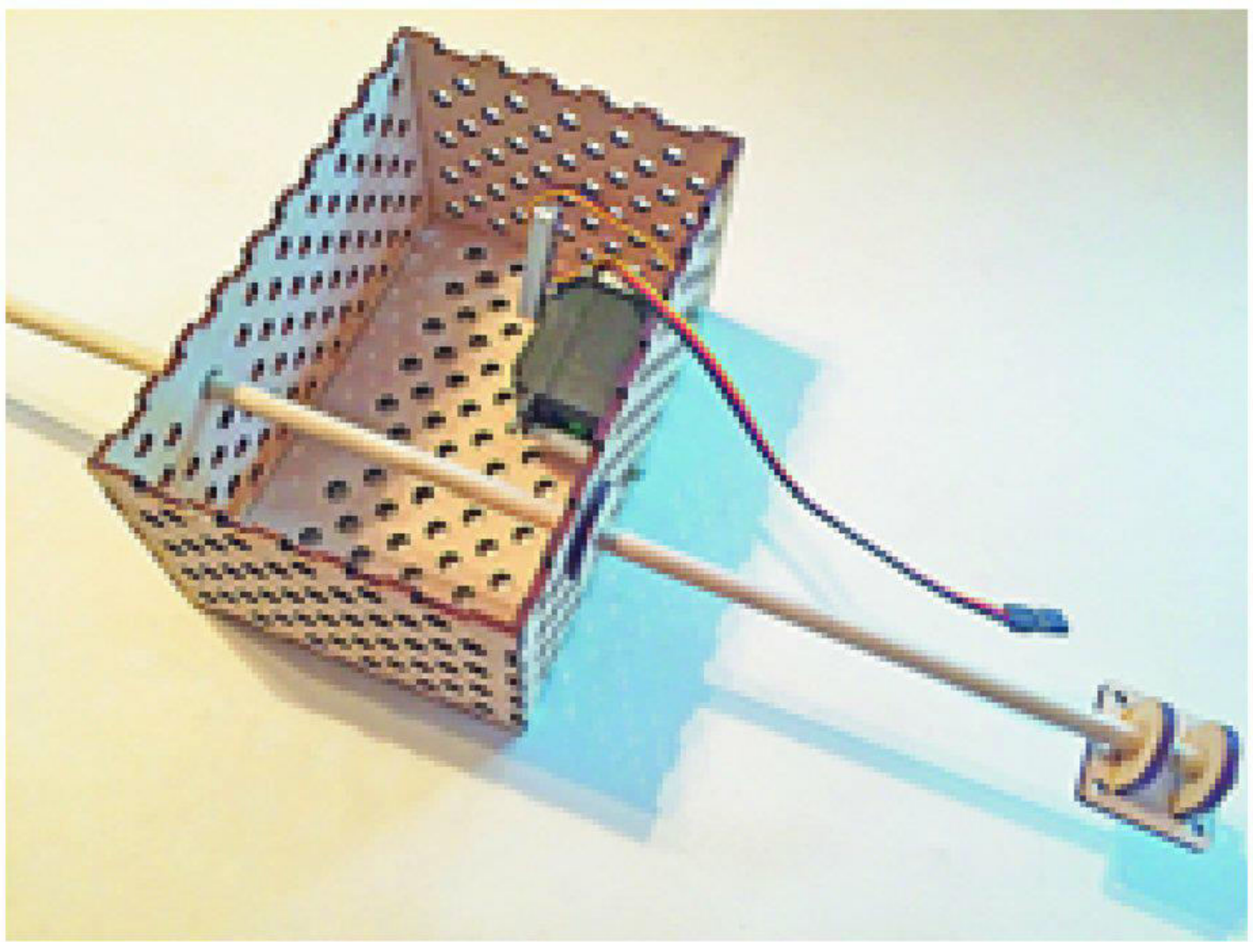


Рис. 7.8. Приклейте консоли для двигателей на место (на концы оси)

5. Пока сохнет клей на консолях, установите сервопривод, используя крепежные втулки № 6 и другой крепеж. Затем установите рычаг сервопривода, используя крепеж, имеющийся в комплекте сервопривода (**рис. 7.9**).

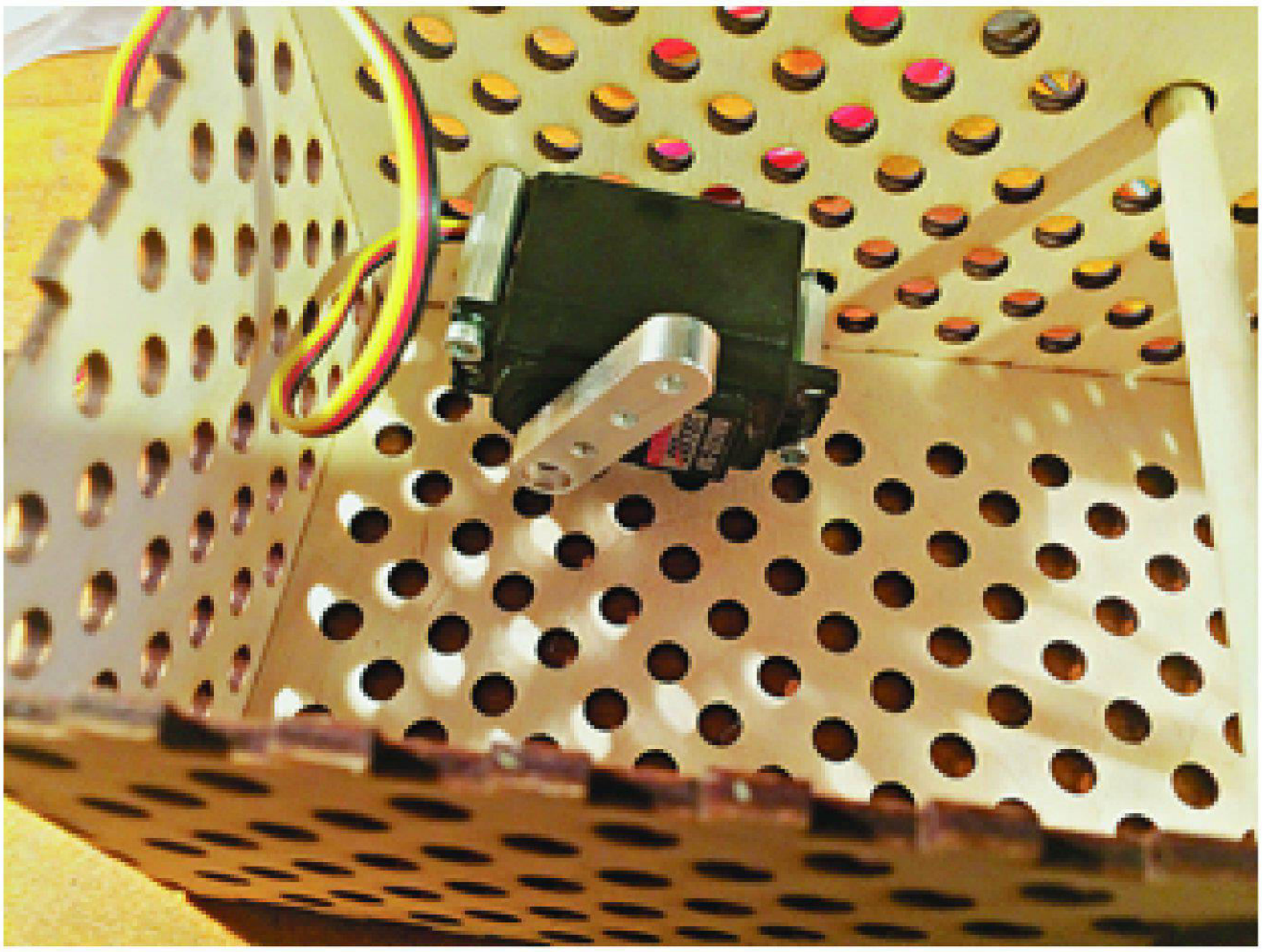


Рис. 7.9. Установите сервопривод и рычаг сервопривода

6. Приверните к площадкам на консолях двигатели при помощи винтов М2 и гаек. Для большей надежности можно дополнительно использовать контргайки или жидкий фиксатор резьбы. После установки двигатели должны самостоятельно повернуться вниз вместе с осью под действием силы тяжести (**рис. 7.10**).

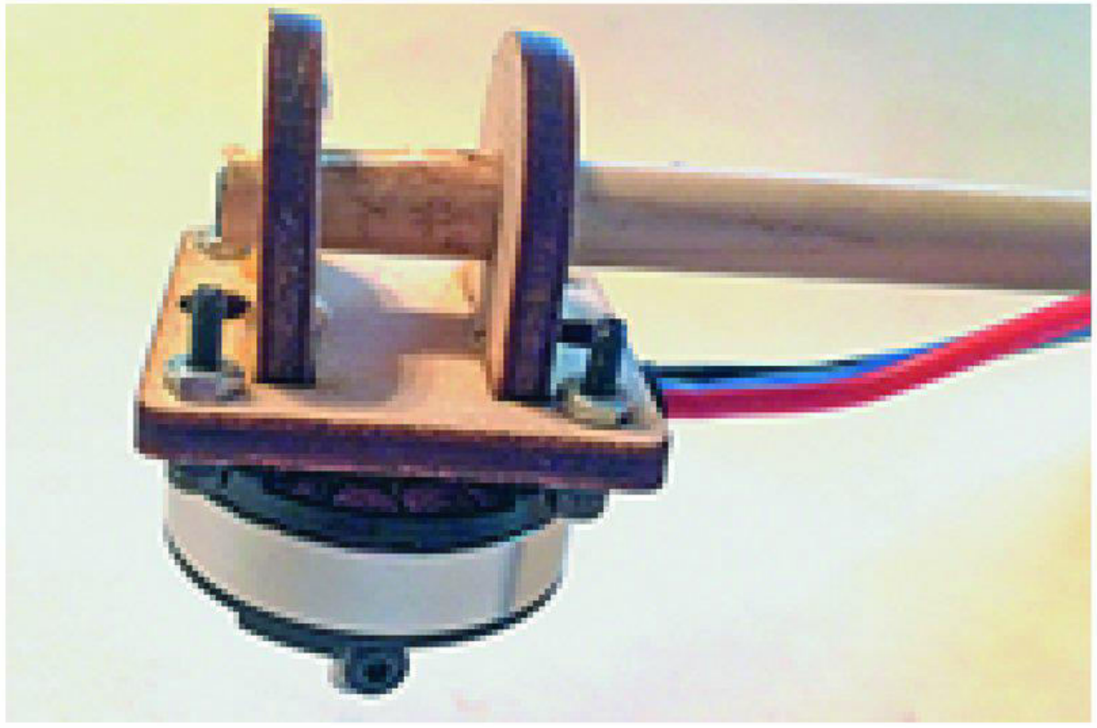


Рис. 7.10. Приверните двигатели

7. Закрепите пропеллеры на двигателях с помощью адаптеров, как это было сделано в **главе 6**. После выполнения всех этих операций ваше детище должно выглядеть так, как показано на **рис. 7.11**.

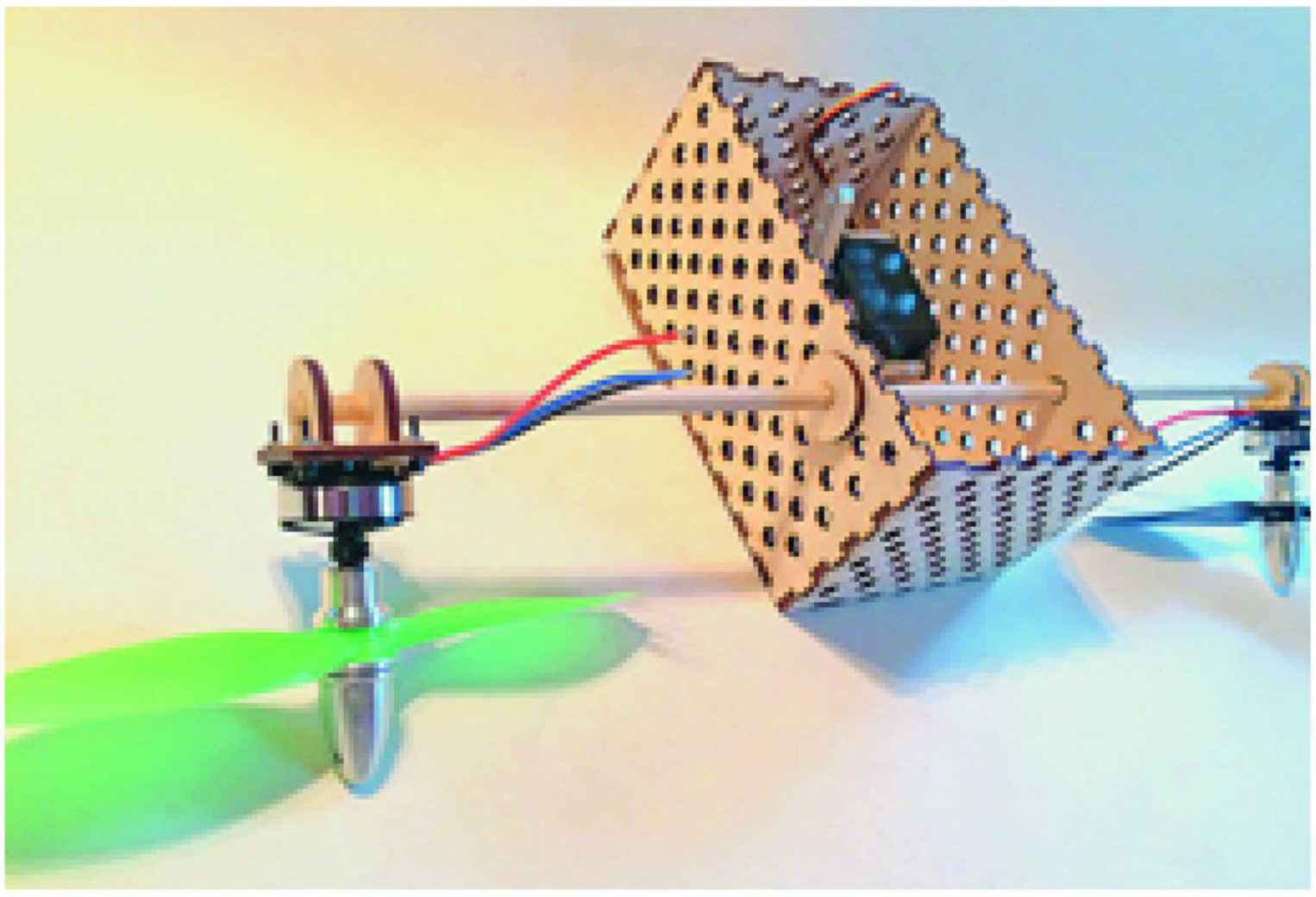


Рис. 7.11. Теперь пришла очередь пропеллеров и адаптеров

8. Установите регуляторы, закрепив их на оси стяжками (**рис. 7.12**) так, чтобы пара проводов — черный и красный — смотрели в сторону гондолы, а тройка — черный, синий и красный — в сторону двигателей.

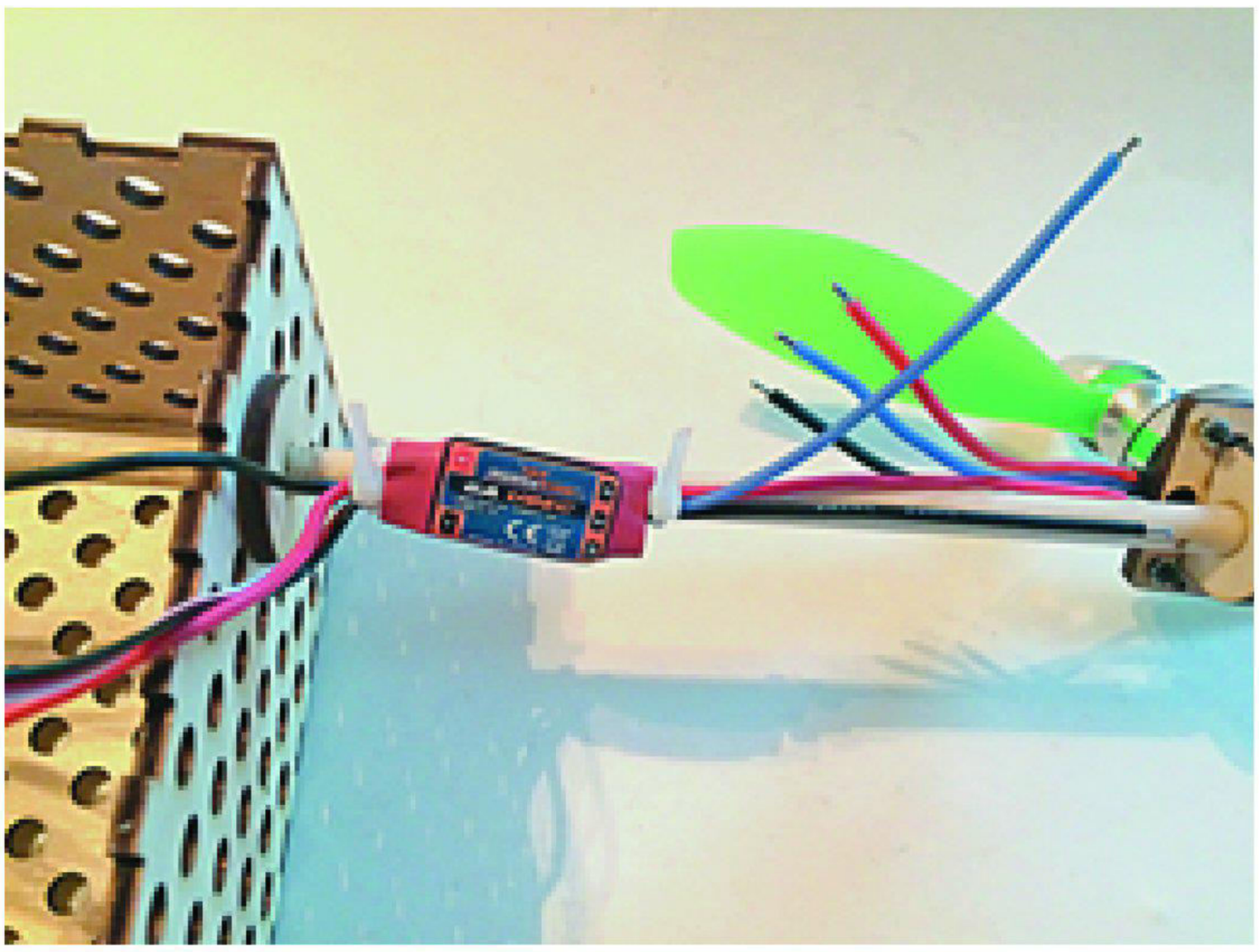


Рис. 7.12. Закрепите стяжками регуляторы скорости на оси

9. Закрепите стяжками аккумулятор внутри гондолы (**рис. 7.13**).

10. Внутри гондолы в ее передней части поближе к регуляторам установите приемник радиосигнала (**рис. 7.14**).

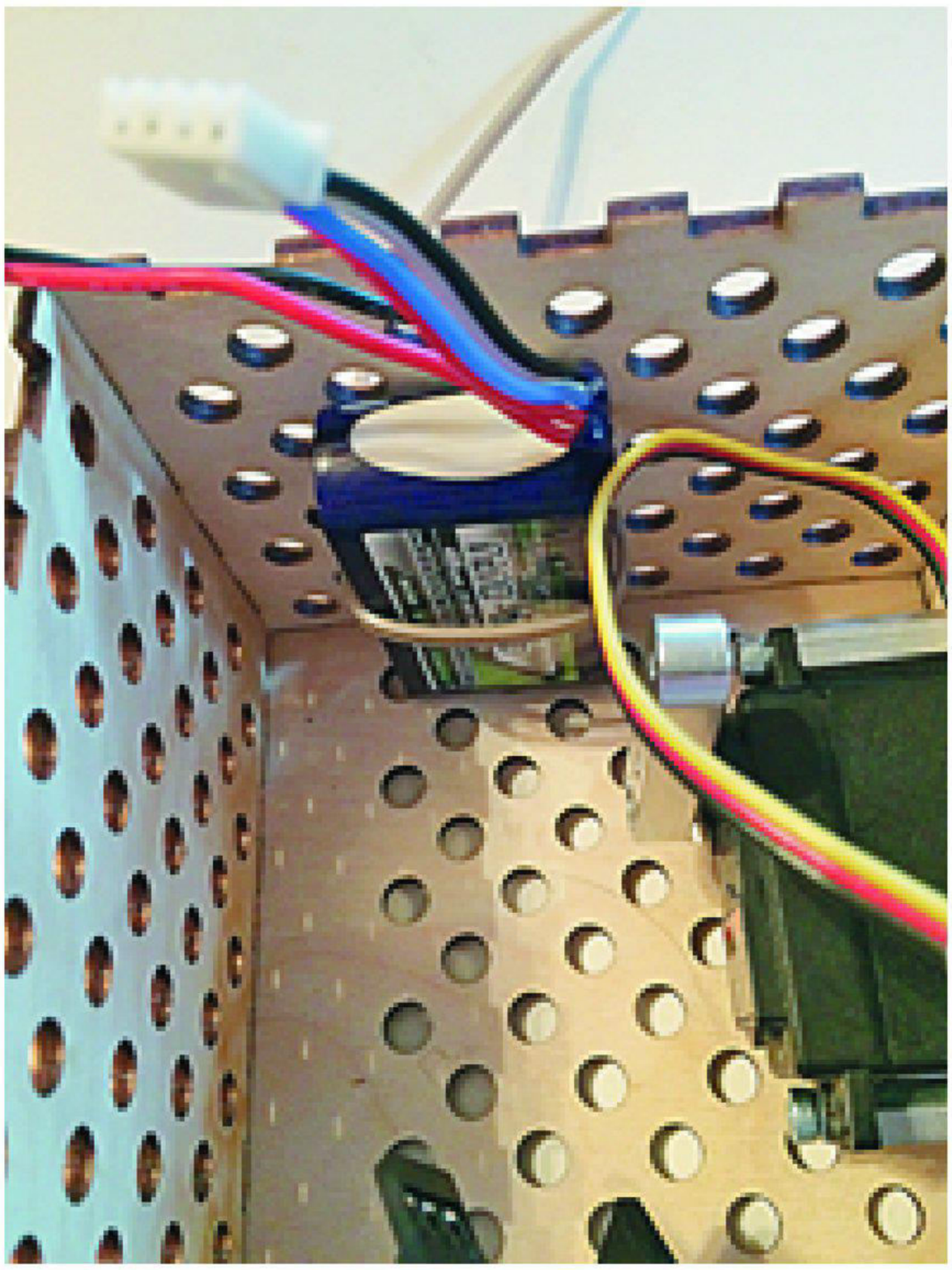


Рис. 7.13. Закрепите стяжками аккумулятор

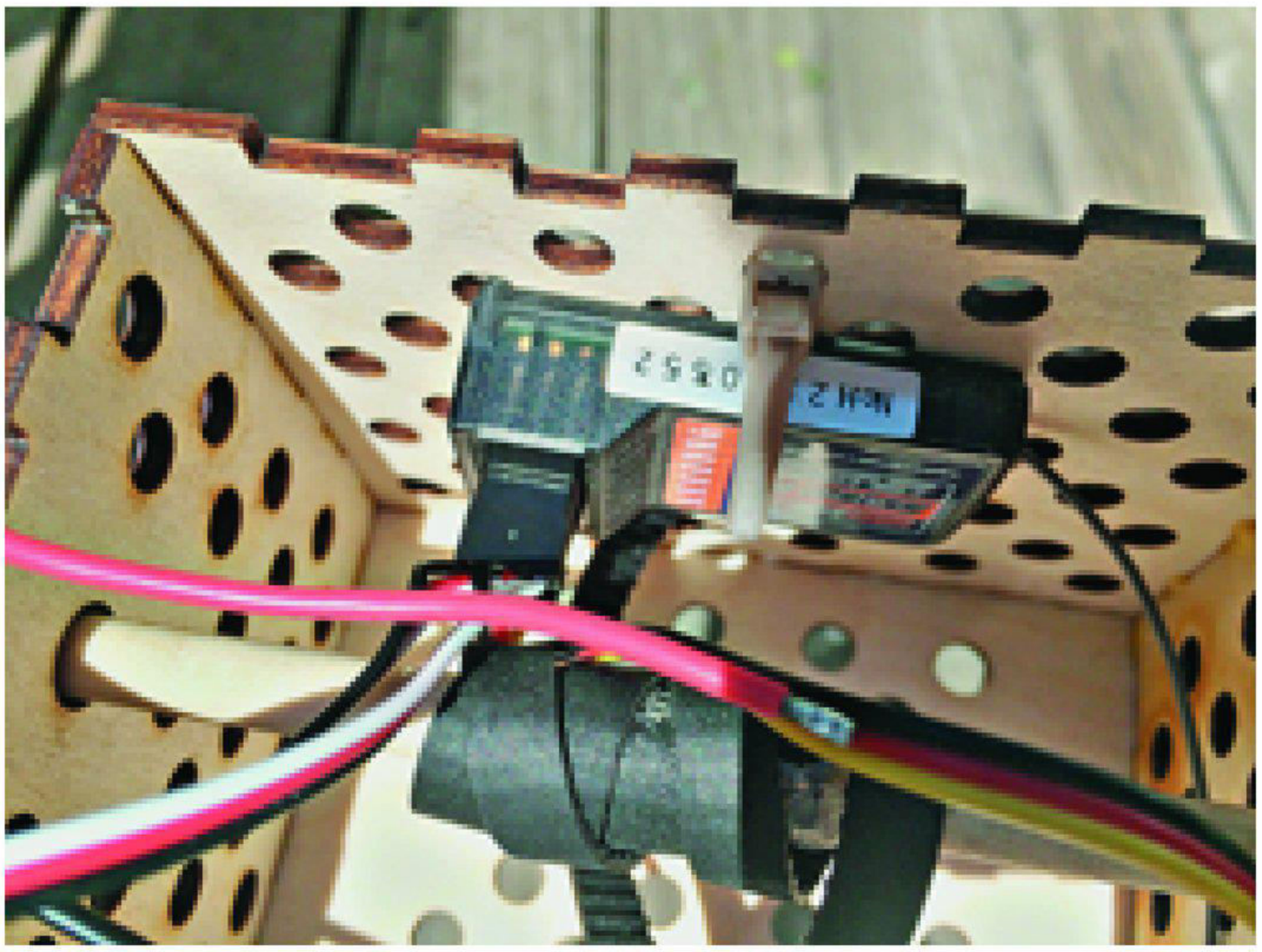


Рис. 7.14. Установите приемник радиосигнала внутри гондолы

11. Теперь нужно изготовить соединение, посредством которого серводвигатель будет приводить в движение ось. На **рисунке 7.15** показано, как я сделал это.

12. Когда ремень будет закреплен, проверните ось, чтобы пропеллеры были направлены точно вниз. Правда, под действием силы тяжести они и так будут направлены вниз. Поверните рычаг сервопривода, чтобы он был направлен вперед по диагонали (**рис. 7.16**).

13. Оберните свободный конец зубчатого ремня вокруг винта № 4 (1 дюйм) на рычаге серводвигателя, чтобы зубцы ремня вошли в резьбу винта, и сформируйте стяжкой петлю (см. **рис. 7.16**). Таким образом, когда рычаг перемещается назад, двигатели будут наклоняться вперед, то есть вы сможете перемещать аэростат в двух направлениях: вперед и вверх.



Рис. 7.15. Прикрепите степлером конец ремня к оси, а потом приклейте его. Когда клей высохнет, оберните ремень вокруг оси несколько раз для увеличения трения

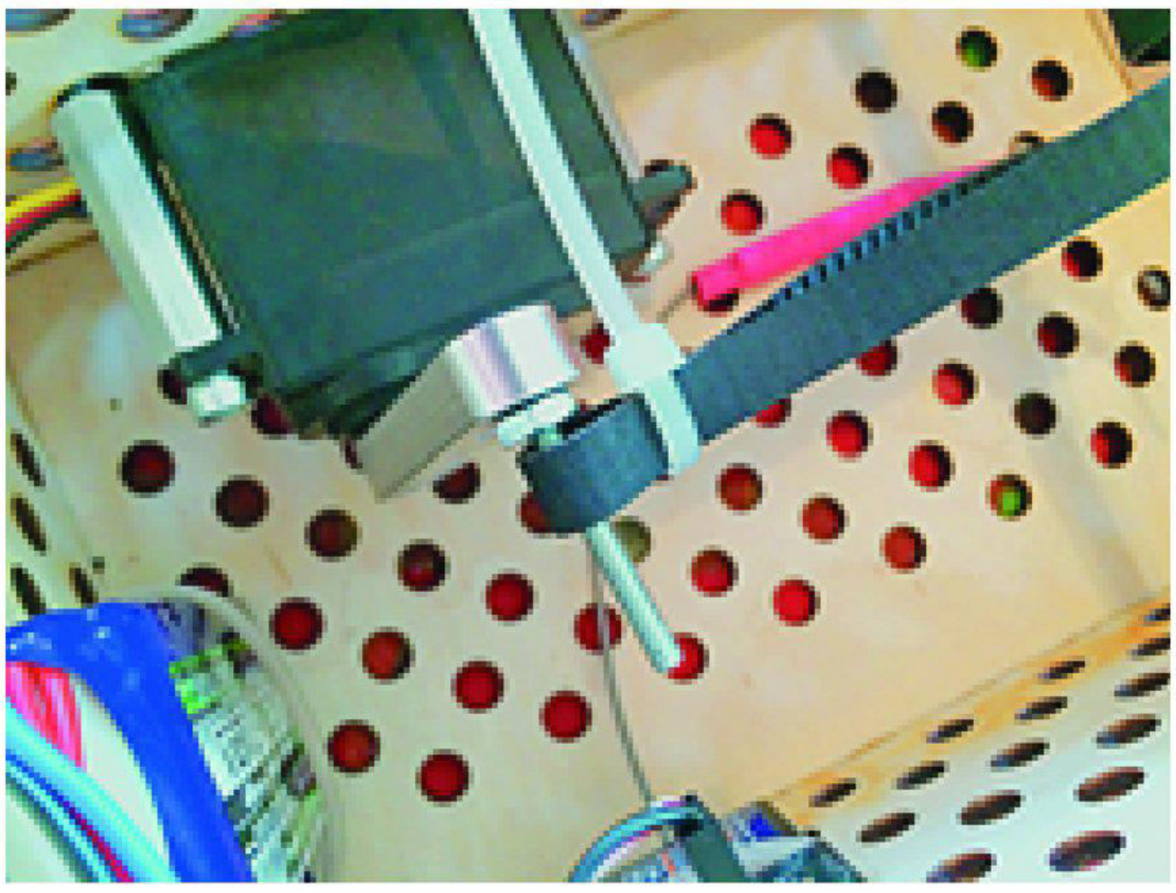


Рис. 7.16. Присоедините другой конец зубчатого ремня к винту, который находится на конце рычага сервомотора

14. Теперь соедините все проводами!
    1) Скрутите вместе красный, синий и черный провода двигателей с соответствующими проводами регуляторов. На **рисунке 7.17** это показано на примере красного провода.

    Если вы предпочитаете более технологичное соединение проводов, то в **главе 10** «Строим квадрокоптер, часть IV: системы электропитания» описано, как использовать штепсельные соединители. Такие соединители идеально подходят для временного соединения проводов.

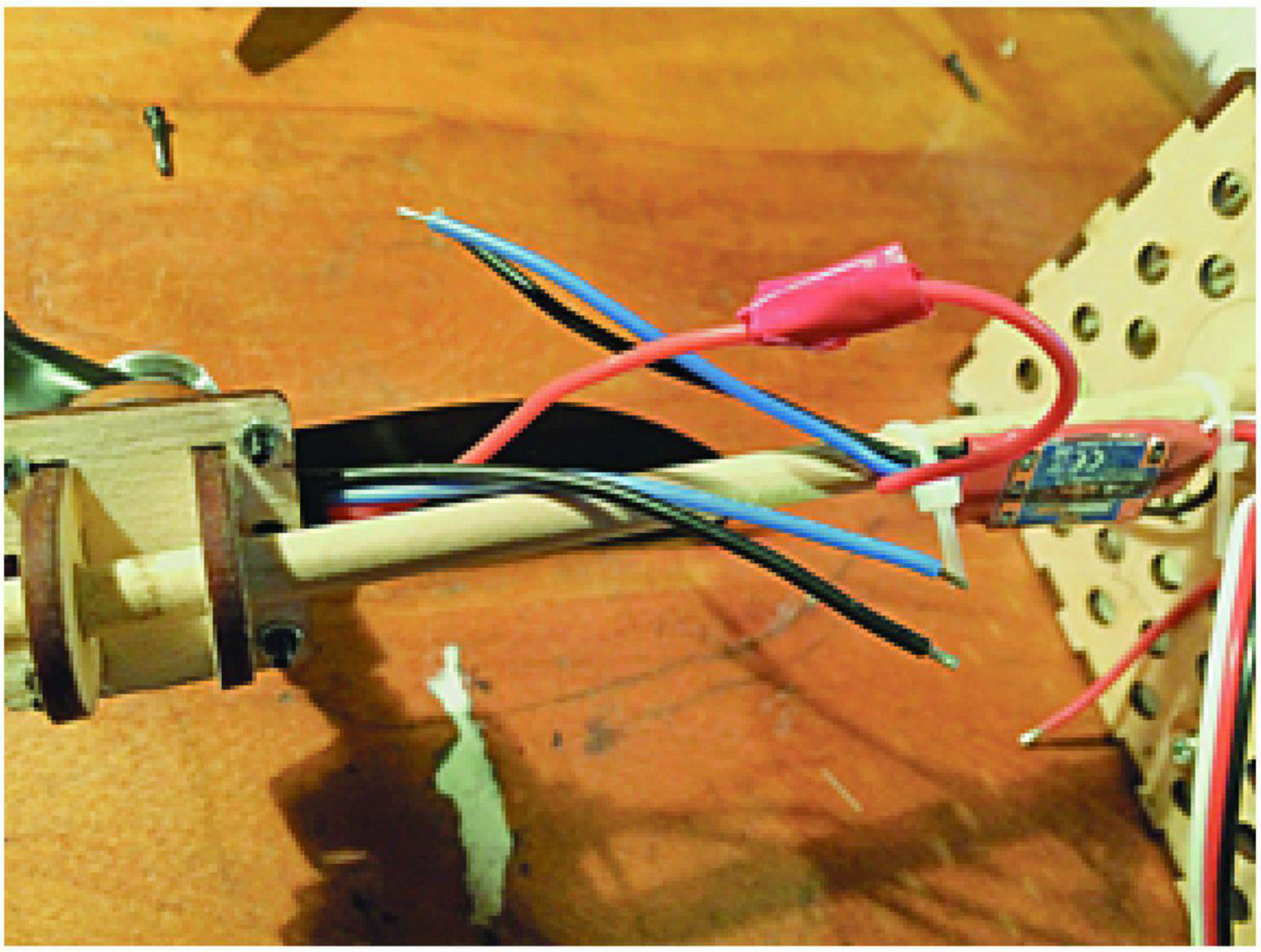


Рис. 7.17. Три провода двигателя соедините с соответствующими проводами регулятора

2) На других концах регуляторов имеются трехконтактный разъем и два одиночных провода: красный и черный. Красные провода регуляторов подключаются к «плюсу» аккумулятора, черные — к «земле». Вам придется соединить соответствующие провода скруткой, как показано на **рис. 7.18**. Заизолируйте оголенные провода изолентой.

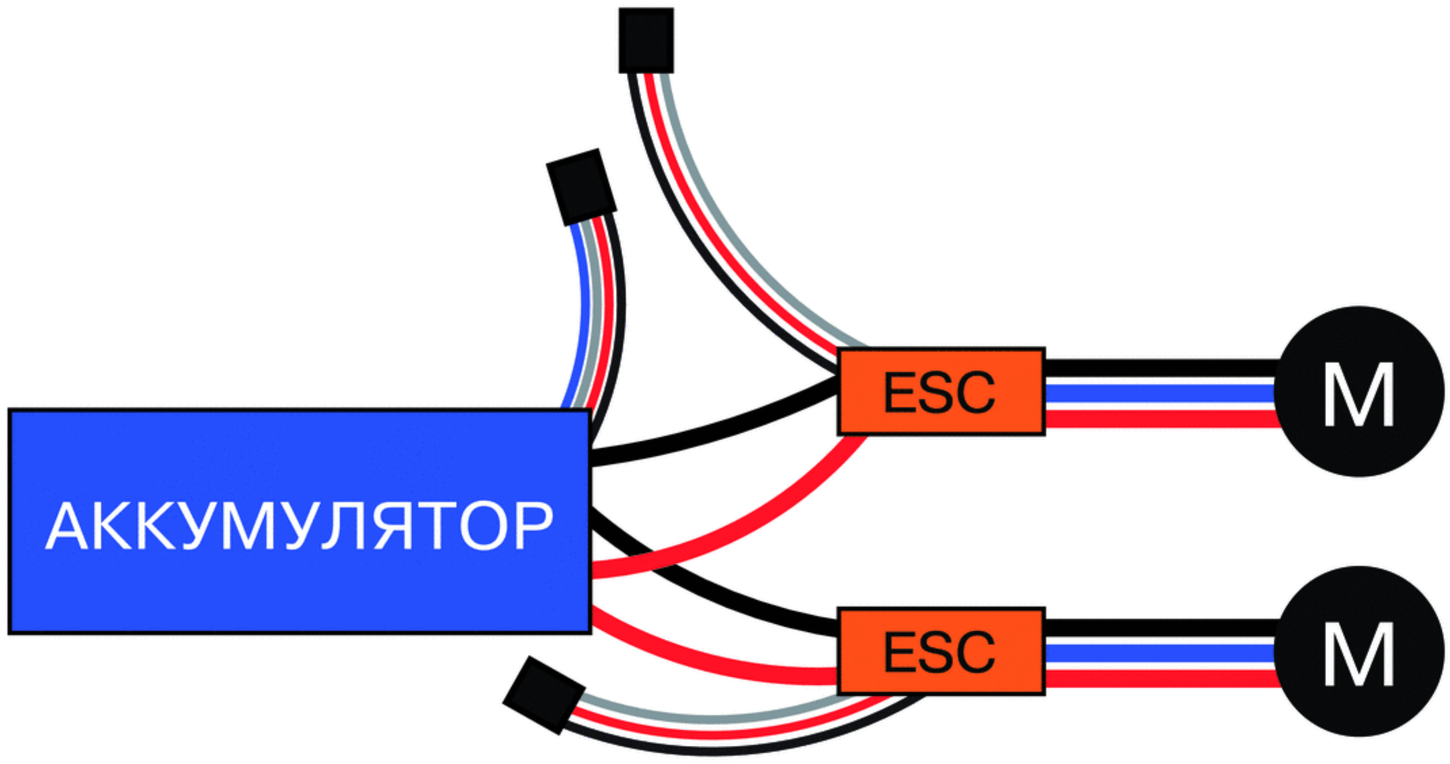


Рис. 7.18. Подключите выводы регуляторов к соответствующим полюсам аккумулятора

Аккумулятор, который я установил в данной модели, имеет четырехконтактный разъем для зарядки и более толстые провода «плюс» и «земля».

Как и в предыдущем шаге, здесь тоже лучше поступить так, как описано в **главе 10**. Там используется специальный жгут проводов, который применяется в квадрокоптерах для подачи питания на несколько двигателей от одного аккумулятора.

3) Подключите трехконтактные разъемы регуляторов к приемнику радиосигнала. Черный провод подключается к ряду пинов напротив антенны (**рис. 7.19**). Разъемы подключаются к каналам 2 и 3. Заодно подключите и разъем сервопривода к каналу 6.

СОВЕТ

Скрутка — не лучший способ соединения проводов. В **главе 8** «Строим квадрокоптер, часть III: управление полетом» я расскажу о стандартных штепсельных разъемах, которые используются повсеместно.

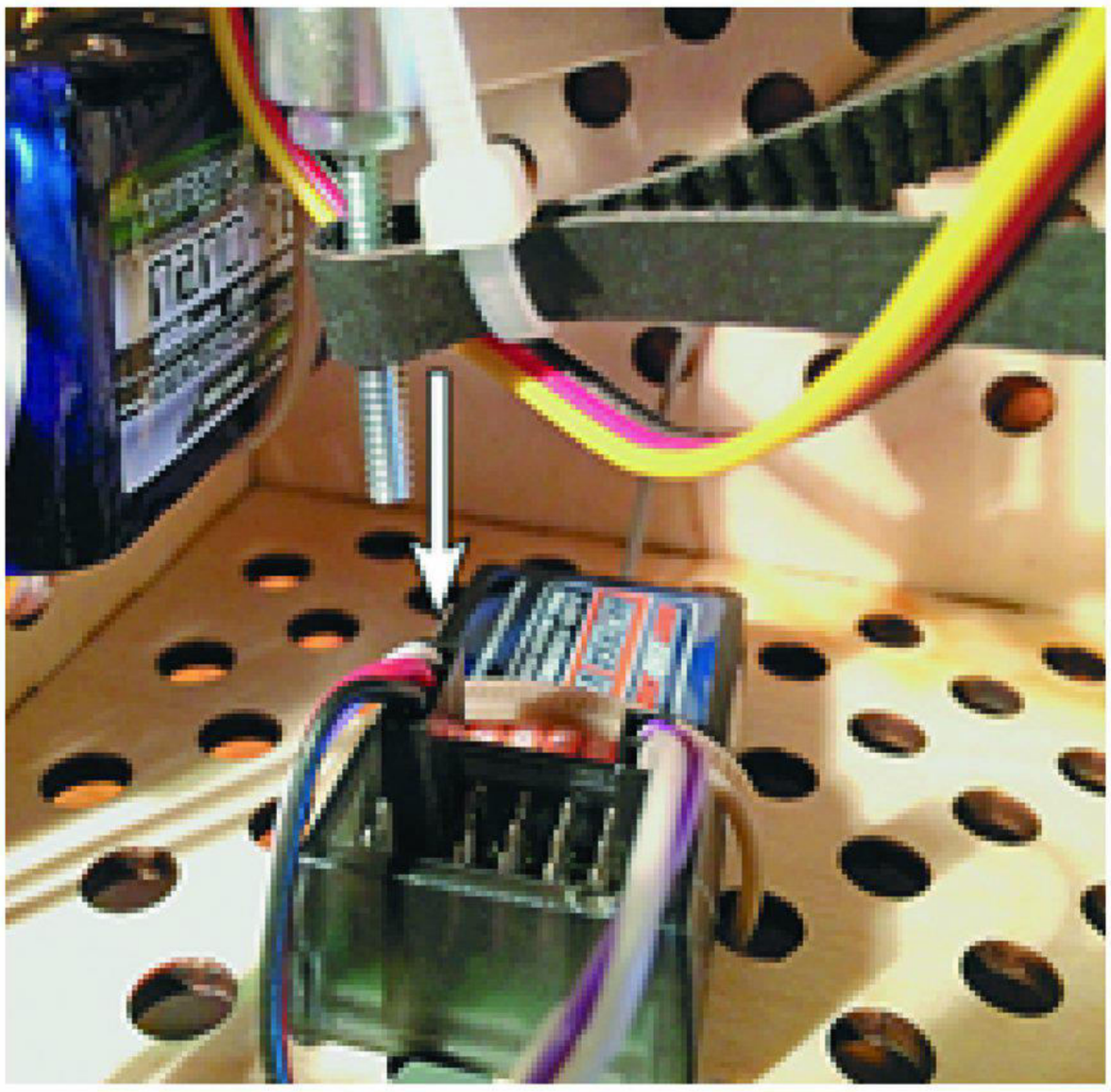


Рис. 7.19. Подключите регуляторы скорости и сервопривод к приемнику

Автономное управление при помощи Arduino

Вместо приемника радиосигнала установим в гондолу плату Arduino (**рис. 7.20**), а также пару ультразвуковых датчиков. Эта бортовая электроника поможет Arduino автономно управлять аэростатом.

Чтобы перейти на управление с помощью Arduino, нужно немного переоборудовать гондолу. Разъемы регуляторов подключаются к цифровому разъему Arduino, который играет роль приемника радиосигнала. Вместо радиосигнала будут инструкции, которые поступают от бортового программного обеспечения. Естественно, вам придется сначала запрограммировать регуляторы. Для их программирования следуйте инструкциям или обратитесь к **главе 8**, в которой я продолжаю раскрывать секреты электронных регуляторов скорости (ESC).

Теперь поговорим об ультразвуковых датчиках. Поскольку вы не можете реагировать на препятствия, возникающие перед аэростатом, ему нужны собственные глаза. Для этого установим два ультразвуковых датчика, поддерживающие функцию проверки возвращенного сигнала (PING): один направим вперед для обнаружения препятствий, возникающих перед моделью, другой — вниз для определения высоты полета. Ниже перечислены этапы сборки.

1. Закрепите датчики в гондоле стяжками (один из них виден на **рис. 7.20**). Один датчик направьте вниз, другой — вперед.

2. Извлеките приемник радиосигнала и замените его платой Arduino, подключив ее, как показано на **рис. 7.21**:

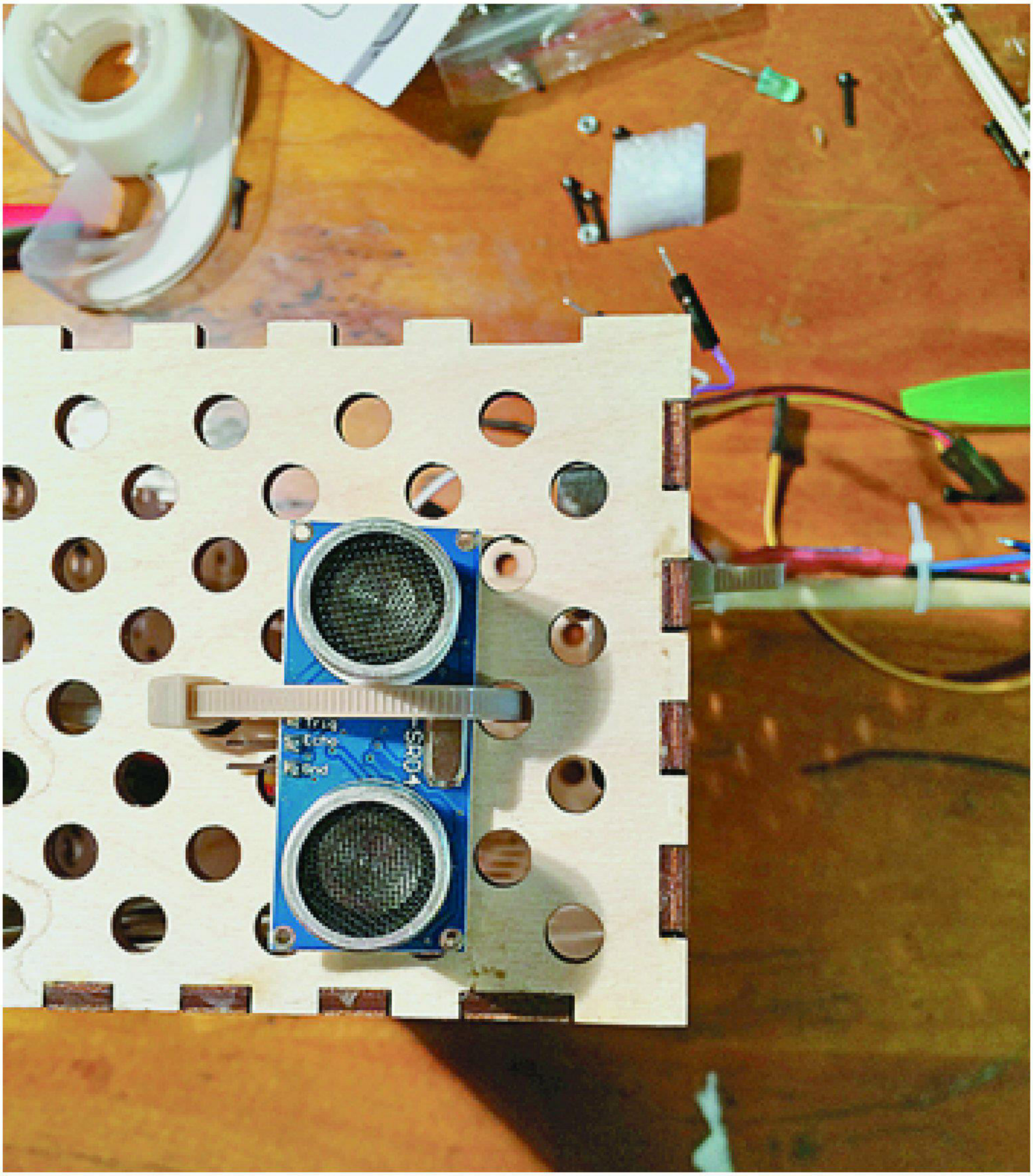


Рис. 7.20. Ультразвуковые датчики — это глаза нашей модели

1) Сигнальные пины ультразвуковых датчиков подключите к пинам 7 и 8 Arduino, «землю» — к пину GND, а пины VCC — к источнику 5 В на Arduino.
2) Подключите управляющие выводы регуляторов к цифровым пинам 10 и 11 (оранжевый и розовый провода на схеме подключения).
3) Подключите управляющий вывод сервопривода к цифровому пину 9, его провод питания к пину 5 V на Arduino, «землю» к пину GND.

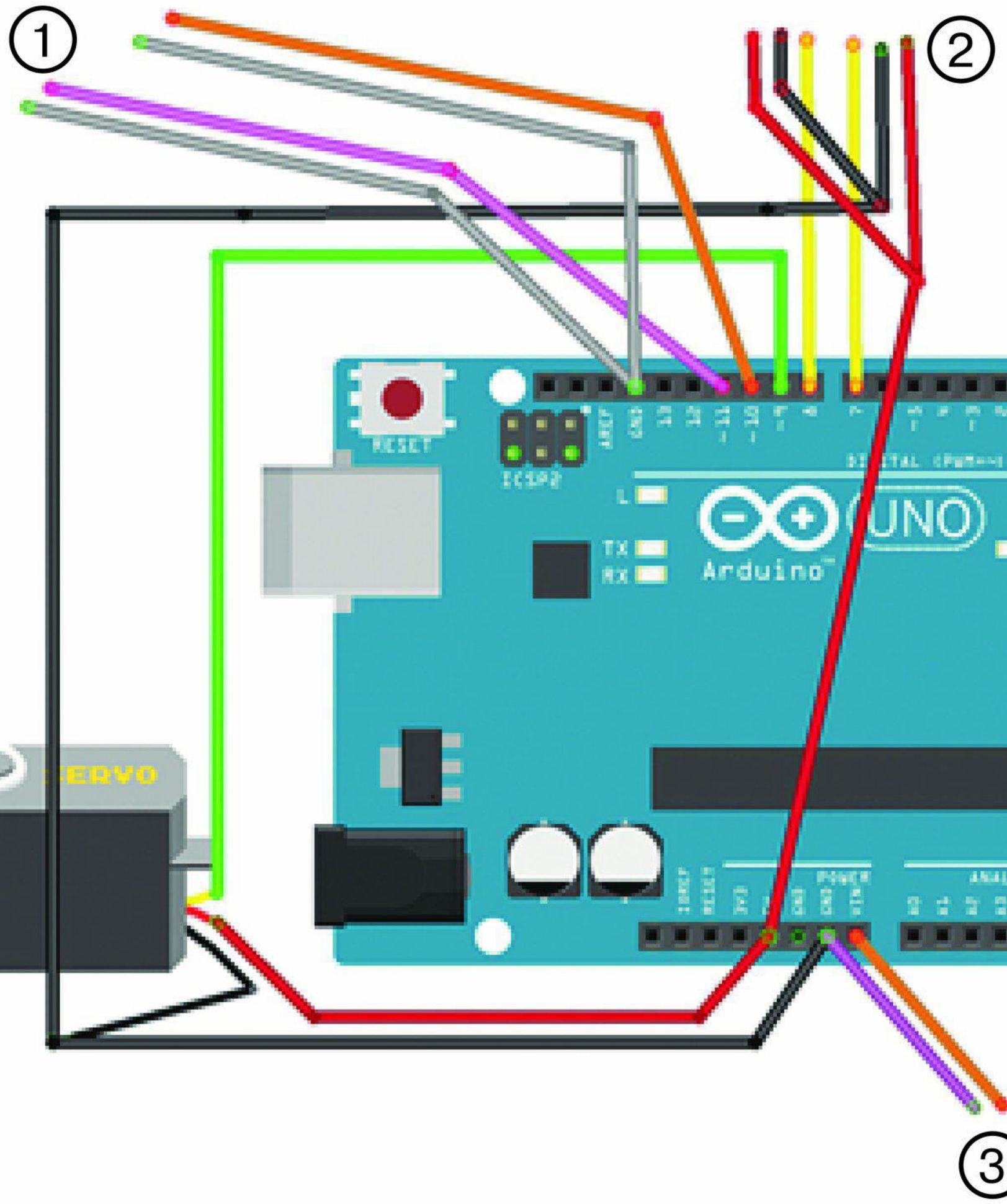


Рис. 7.21. Поместите плату Arduino на место приемника радиосигнала: *1* — к регуляторам скорости; *2* — к ультразвуковым датчикам; *3* — на блок питания

Программный код

Прошейте Arduino приведенным ниже программным кодом для обеспечения автономности полета. Замечу, что код несложен.

```
//Этот программный код написан на основе скетча
Дэвида А. Меллиса (David A. Mellis) для ультразвукового
датчика PING

#include <Servo.h>
Servo leftESC, rightESC, axleServo;
```

```
const int usPin1 = 7; //Нижний ультразвуковой датчик
const int usPin2 = 8; //Передний ультразвуковой датчик
long duration1, inches1, cm1;
long duration2, inches2, cm2;
void setup() {
  axleServo.attach(9);
  leftESC.attach(10);
  rightESC.attach(11);
  Serial.begin(9600);
}
void loop()
{
  //Описываем переменные и считываем значения
  pinMode(usPin1, OUTPUT);
  digitalWrite(usPin1, LOW);
  delayMicroseconds(2);
  digitalWrite(usPin1, HIGH);
  delayMicroseconds(5);
  digitalWrite(usPin1, LOW);
  pinMode(pingPin1, INPUT);
  duration1 = pulseIn(usPin1, HIGH);
  cm1 = microsecondsToCentimeters(duration1);

  if (cm1 < 2000) //Включается, когда гондола опускается
ниже двух метров над землей
  {

    axleServo.write(100); //Поворачивает пропеллеры вниз;
задается необходимое число оборотов
    delay(15);
    leftESC.write(100); //При необходимости установите свои
значения для обоих регуляторов скорости (калибровка)
    rightESC.write(100);
    delay(30);
    axleServo.write(100); //Поворачивает пропеллеры так,
чтобы они снова были направлены вверх. При необходимости
установите свои значения
    delay(1000);
  }
  //То же самое для другого датчика
  pinMode(usPin2, OUTPUT);
  digitalWrite(usPin2, LOW);
  delayMicroseconds(2);
  digitalWrite(usPin2, HIGH);
  delayMicroseconds(5);
```

```
  digitalWrite(usPin2, LOW);
  pinMode(usPin2, INPUT);
  duration2 = pulseIn(usPin2, HIGH);
  cm2 = microsecondsToCentimeters(duration2);
  if (cm2 < 3000) // Включается, когда гондола приближается
к стене на три метра
  {
    rightESC.write(100); // Задается необходимое число
    delay(100);
  }
}
long microsecondsToCentimeters(long microseconds)
{
  return microseconds / 29 / 2;
}
```

Заключение

В этой главе вы погрузились в две области, интересные для создателей дронов, — аэростаты и радиоуправляемые модели. В **главе 8** вы узнаете больше о системах дистанционного управления, включая полетные контроллеры и автопилоты. Затем вы построите свой вариант.

8

Строим квадрокоптер, часть III: управление полетом

Системы управления полетом жизненно важны для успешной эксплуатации квадрокоптера. Вам будет трудновато вручную управлять каждым из четырех (или более!) двигателей, даже если не принимать во внимание функции, необходимые как в штатных, так и в критических ситуациях: управление энергопотреблением двигателей, автоматическое обеспечение горизонтальности полета, навигация по GPS, переключение с ручного управления на автопилот и обратно.

В этой главе описывается, как при дистанционном управлении полетом работает связка трех устройств: электронных регуляторов скорости (ESC), полетных контроллеров (FC) и приемников радиосигнала. Когда вы ознакомитесь с базовыми понятиями, мы построим автопилот на основе Arduino — MultiWii (**рис. 8.1**).

Подробнее об электронных регуляторах скорости

Как уже говорилось ранее, подачей питания на двигатели занимаются регуляторы скорости, поэтому приемник радиосигнала или полетный контроллер к этому делу не причастны (**рис. 8.2**). Регуляторы, как правило, имеют вход питания, два или три вывода, идущие к двигателю, и кабель передачи данных, который подключается к приемнику радиосигнала или полетному контроллеру. Некоторые регуляторы также преобразуют постоянный ток аккумулятора в трехфазный переменный ток, который и питает двигатели квадрокоптера. Благодаря этому

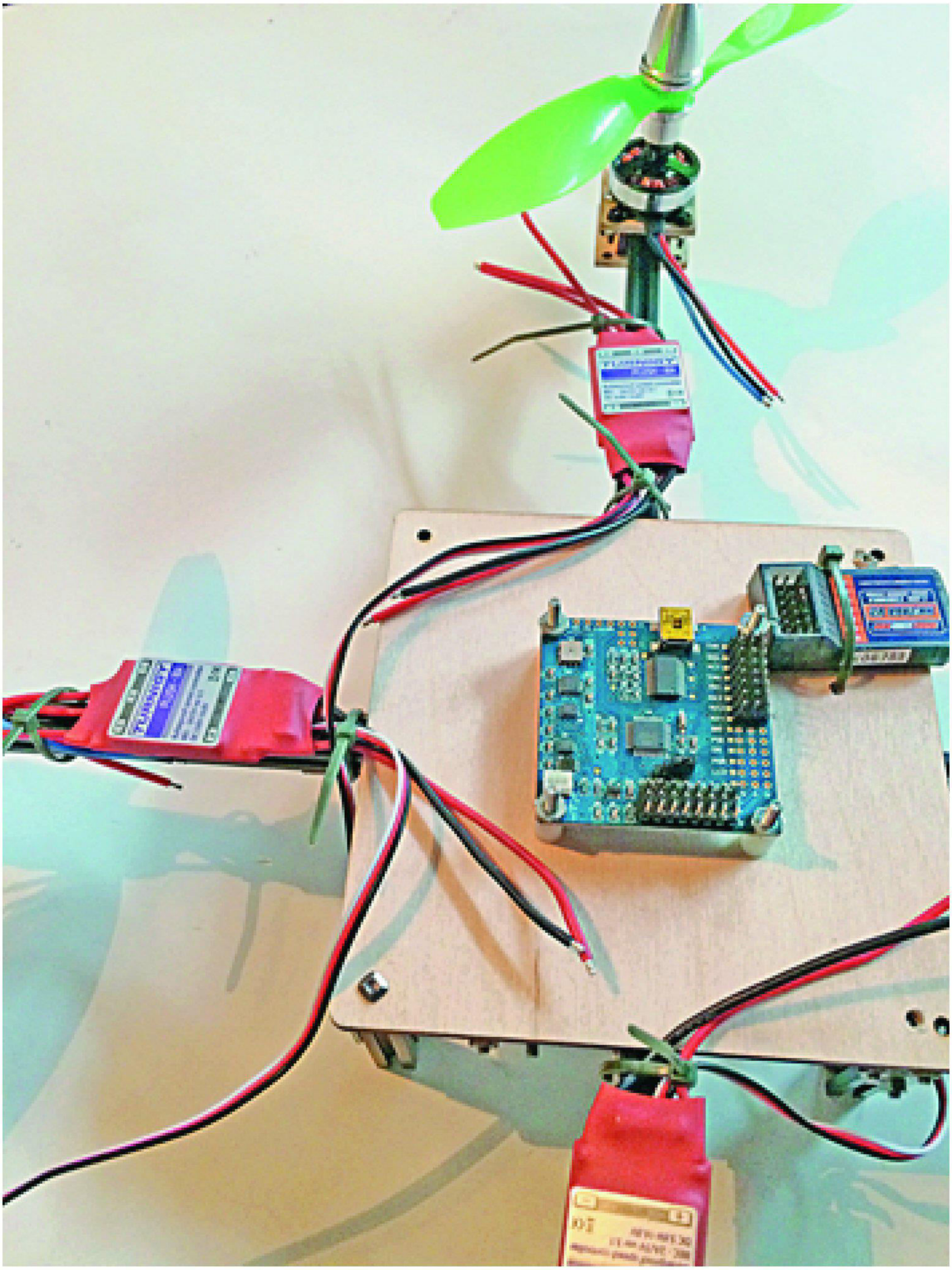


Рис. 8.1. В этой главе мы установим полетный контроллер MultiWii

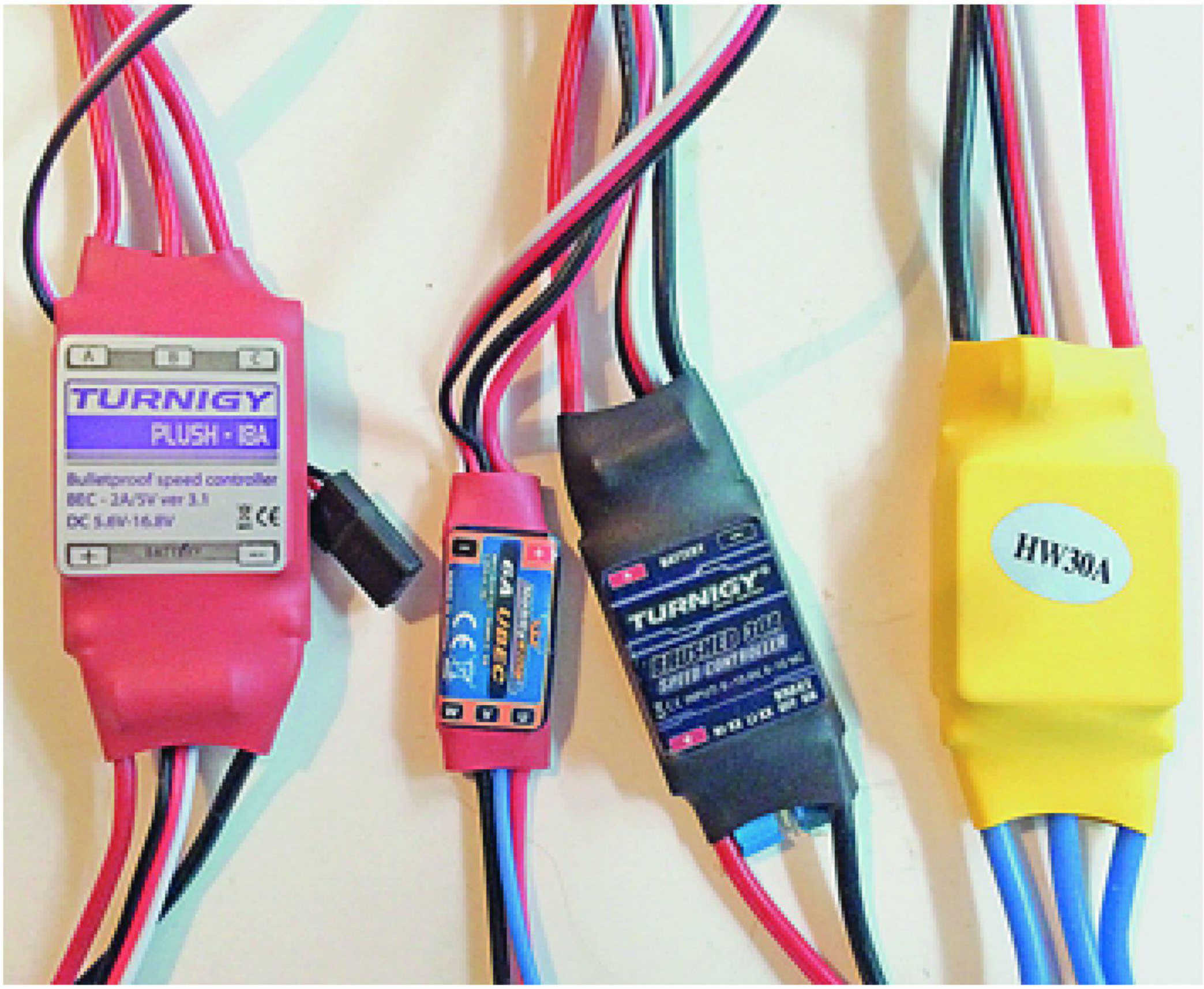


Рис. 8.2. Выберите подходящий регулятор для вашей модели

двигатели переменного тока могут работать в паре с аккумулятором постоянного тока.

Регуляторы обычно заранее запрограммированы для определенного класса дронов, но их можно запрограммировать и вручную. Например, беспилотник, имеющий вид самолета, обычно имеет один или два двигателя, ответственные непосредственно за движение, и сервопривод для управления элеронами и рулем направления. Некоторые регуляторы заранее запрограммированы отключать питание двигателей при резком падении напряжения аккумулятора, чтобы сохранить оставшийся заряд батареи для приемника радиосигнала и для управления рулевыми поверхностями.

На рынке ESC огромный выбор различных модификаций, многие из которых имеют сходные характеристики. Поэтому, прежде чем на что-то потратиться, неплохо бы посмотреть, что приобретают другие моделисты, работающие с теми же классами техники. К счастью, более-менее простые регуляторы стоят довольно недорого.

Простые электронные регуляторы скорости

Три регулятора, описанные ниже, не обладают какими-либо выдающимися особенностями, но отличаются высоким качеством.

- **XXD HW30A.** У этой модели рабочее значение силы тока 30 А, а пиковое — 40 А в течение 10 с (**рис. 8.3**). Имеет функцию плавного запуска, то есть при подаче питания не происходит моментального взлета на максимальных оборотах. Вы можете задать тип аккумулятора и параметры остановки при помощи передатчика. Далее в этой главе я расскажу, как это сделать.
- **Turnigy Brushed 30A ESC.** Этот регулятор имеет только два провода вместо трех, идущих к двигателю, так как он предназначен для управления старым добрым щеточным двигателем постоянного тока, а не привычным нам двигателем переменного тока с внешним ротором (**рис. 8.4**). Этот регулятор не конфигурируется при помощи радиопередатчика. Для его настройки используются джамперы — маленькие соединительные контакты из пластика и метал-



Рис. 8.3. XXD HW30A — неплохой полнофункциональный регулятор на рабочий ток 30 А



Рис. 8.4. Это 30-амперный регулятор Turnigy для щеточных двигателей постоянного тока

ла. Таким образом настраиваются два параметра — тип аккумулятора и воздушный тормоз. Это недорогие модели, их стоимость на **HobbyKing.com** колеблется в пределах 8 долл.

- **HobbyKing 6A UBEC.** Это изящное устройство (**рис. 8.5**) также весьма дешево — не более 7 долл. Его можно подключить и к двум, и к трем банкам литий-полимерных аккумуляторов, но оно не рассчитано на большую силу тока. Название UBEC (universal battery elimination circuit) переводится как универсальная схема отключения батареи. Этот регулятор запрограммирован на отключение питания, если сила тока падает ниже 0,5 А.



Рис. 8.5. Этот миниатюрный регулятор HobbyKing подходит для использования в моделях с низкими значениями силы тока

Программирование электронных регуляторов скорости

Программируемые регуляторы имеют микрочипы, которые способны хранить определенные настройки, например тип аккумулятора, класс летательного аппарата (самолет или квадрокоптер), алгоритмы торможения, допустимые значения ускорения и многое другое. Чем дороже устройство, тем большим числом функций оно располагает.

Для программирования простых устройств используются джамперы (перемычки — съемные металлические проводники с пластмассовой изоляцией), при помощи которых можно быстро изменить несколько настроек — алгоритм торможения или тип аккумулятора. Более сложные и дорогие модели можно программировать через передатчик, а определенные звуковые сигналы помогают ориентироваться в меню.

Теперь я расскажу о программировании регулятора Turnigy Brushed 30A ESC, который мы будем использовать в нашем квадрокоптере. Не все устройства имеют одинаковые характеристики, поэтому следует ознакомиться с техническими данными, прежде чем совершить покупку.

Следует также помнить, что, если вы используете регулятор без остального оборудования для дистанционного управления, например без подключения его к Arduino, вам придется сначала запрограммировать его с помощью радиопередатчика, как описано ниже.

Включите передатчик, переведите рычажок регулировки тяги в нижнее положение, как показано на **рис. 8.6**, а затем подключите аккумулятор к ESC.

Регулятор должен издать характерный звуковой сигнал, а спустя 5 с другой. Это говорит о том, что вы вошли в режим программирования.

Затем регулятор циклически проходит по всем восьми пунктам меню, каждому из которых соответствует свой сигнал (например, одиночный короткий), который и помогает распознать, с какой настройкой вы в данный момент работаете. Когда вы дойдете до нужной вам настройки, сдвиньте рычажок вниз для выбора настройки.

- **Режим торможения** (один короткий сигнал) — позволяет включить (два коротких сигнала) или отключить (один короткий сигнал) режим торможения.
- **Тип аккумулятора** (два коротких сигнала) — одиночный сигнал соответствует установке литий-ионного (Li-ion) или литий-полимерного (Li-Poly) аккумулятора. Два коротких сигнала указывают на никель-металлогидридный (NiMH) или никель-кадмиевый аккумулятор (NiCd).



Рис. 8.6. Используйте радиопередатчик для программирования регулятора

- **Действия при падении напряжения** (три коротких сигнала) — эта настройка регламентирует действия регулятора при резком падении напряжения. Одиночный сигнал означает снизить обороты двигателя для обеспечения мягкой посадки, два сигнала — отключить аккумулятор из-за его разрядки.
- **Пороговая величина отключения напряжения** (четыре коротких сигнала) — три критерия перехода в режим энергосбережения. Один сигнал — малое значение оставшегося заряда, два — среднее, три — большое.
- **Режим запуска** (один длинный сигнал) — регламентирует, насколько быстро происходит запуск модели. Одиночный сигнал — обычный запуск, когда двигатели сразу запускаются на максимальные обороты; этот режим рекомендуется для моделей с неподвижным крылом. Плавный запуск (два сигнала) позволяет запустить двигатели более плавно. Очень плавный (три сигнала) — самое плавное увеличение оборотов. Два последних режима рекомендуется устанавливать на квадрокоптерах.
- **Синхронизация** (один длинный и один короткий сигнал) — по умолчанию выставлена «низкая» (один сигнал); этот режим рекомендуется для большинства двигателей. Для многополюсных двигателей и двигателей с высоким КПД используются настройки «средняя» (два сигнала) и «высокая» (три сигнала).
- **Возврат всех настроек** к настройкам по умолчанию (один длинный и два коротких сигнала) — сбрасывает все выставленные настройки к значениям по умолчанию.
- **Выход из меню программы** (два длинных сигнала) — после выхода устройство готово к полету.

Если вам удобнее ориентироваться в меню визуально, а не на слух, то можно приобрести недорогой программатор, имеющий светодиодные индикаторы, по которым вы можете видеть настройки вашего регулятора. В этом случае вы не только не нуждаетесь в передатчике, чтобы запрограммировать регулятор скорости, но и можете сделать это значительно быстрее, чем джостиком.

Приемник радиосигнала

Приемник радиосигнала — второе устройство из комплекта электроники, которая отвечает за полет. Как говорилось в предыдущих главах, приемник — это не самое интересное. Он имеет всего четыре характеристики: число каналов, тип антенны, частота и тип модуляции. Тем не менее именно при покупке приемника приходится решать, сколько каналов потребуется для той или иной модели.

Каждый канал — это отдельный поток данных. Как правило, число каналов — это число устройств, которыми необходимо управлять посредством радиопередатчика. Например, посадочное шасси самолета управляется одним каналом, рули — другим. Число каналов варьируется от трех до восьми или около того, если речь идет о несложных любительских моделях. Число каналов профессионального оборудования значительно больше дюжины.

Мультикоптеры достаточно сложны в управлении, поскольку число их двигателей зачастую превышает число каналов многих приемников. Полетный контроллер управляет отдельными двигателями, и приемник радиосигнала подключается к нему. Однако вместо непосредственного управления отдельными двигателями передатчик оперирует такими полетными характеристиками, как крен, рыскание и тангаж, а также управляет тягой двигателей. *Крен* — это вращение вокруг оси *Y* (представьте себе вращение стрелы в полете); *рыскание* — вращение вокруг оси *Z*, то есть поворот носовой части; *тангаж* — вращение вокруг оси *X*, «кувыркание». Оператор управляет этими величинами, регулируя высоту полета углом тангажа.

При таком упрощенном взгляде на управление многомоторными моделями вам понадобится всего лишь четыре канала даже для управления восьмимоторной моделью. Так что брать 16-канальный приемник стоимостью более 100 долл. для управления квадрокоптером — это перебор.

Принцип работы приемника радиосигнала прост — дождаться определенного сигнала на определенной частоте и подать команду полетному контроллеру или регуляторам. Вот передатчик — вещь гораздо более увлекательная.

Для вас программа-минимум — купить приемник, который совместим с вашим передатчиком. Если у вас нет передатчика, купите комплект приемник—передатчик. Чаще всего упоминается комплект HobbyKing HK-T6A, который я тоже рекомендую. Этот приемопередатчик работает на частоте 2,4 ГГц и имеет шесть каналов. Стоит он около 25 долл. **(рис. 8.7)** — это самый дешевый комплект, что делает его наиболее подходящим для любительского моделирования.



Рис. 8.7. Приемник HobbyKing, рассмотренный в этой книге, — это типичный шестиканальный приемник

Полетный контроллер

Полетный контроллер (Flight controller, FC) — это мозг квадрокоптера. Обычно он состоит из самого контроллера и различных датчиков для расширения функций, например акселерометра, барометра, магнитометра и др., которые необходимы для автономного полета.

Даже самый простой полетный контроллер оказывает существенную помощь при ручном управлении. Он следит за горизонтальностью, позволяя оператору сосредоточиться на управлении, а не на удержании аппарата в небе.

Многие функции автономны. Например, никаких усилий со стороны оператора не требуется, чтобы автоматически поддерживать горизонтальность полета, — контроль осуществляется в фоновом режиме, а вы можете наслаждаться полетом.

Полетный контроллер также можно запрограммировать на определенные действия в случае возникновения сбоев. Например, если аппарат падает, контроллер может раскрыть парашют. (Поломки квадрокоптеров при авариях — это печальная реальность.)

Примеры полетных контроллеров

В следующих разделах обсуждаются три полетных контроллера, которые являются типичными представителями продукции, имеющейся на рынке.

HoverflyOPEN

Полетный контроллер Hoverfly (**рис. 8.8**) — это один из семейства однотипных контроллеров — от базового HoverflyOPEN до профессионального HoverflyPRO, который имеет встроенный GPS-приемник и стоит 900 долл.

Контроллер HoverflyOPEN можно запрограммировать для управления квадрокоптером, а также коптерами, имеющими шесть и восемь двигателей. Он совместим с любым пятиканальным комплектом приемопередатчика.

Этот контроллер приспособлен даже для управления подвесом камеры, которой многие любители оснащают свои модели.

Более подробно ознакомиться с продукцией Hoverfly можно по ссылке: **http://www.hoverflytech.com/controllers/**.

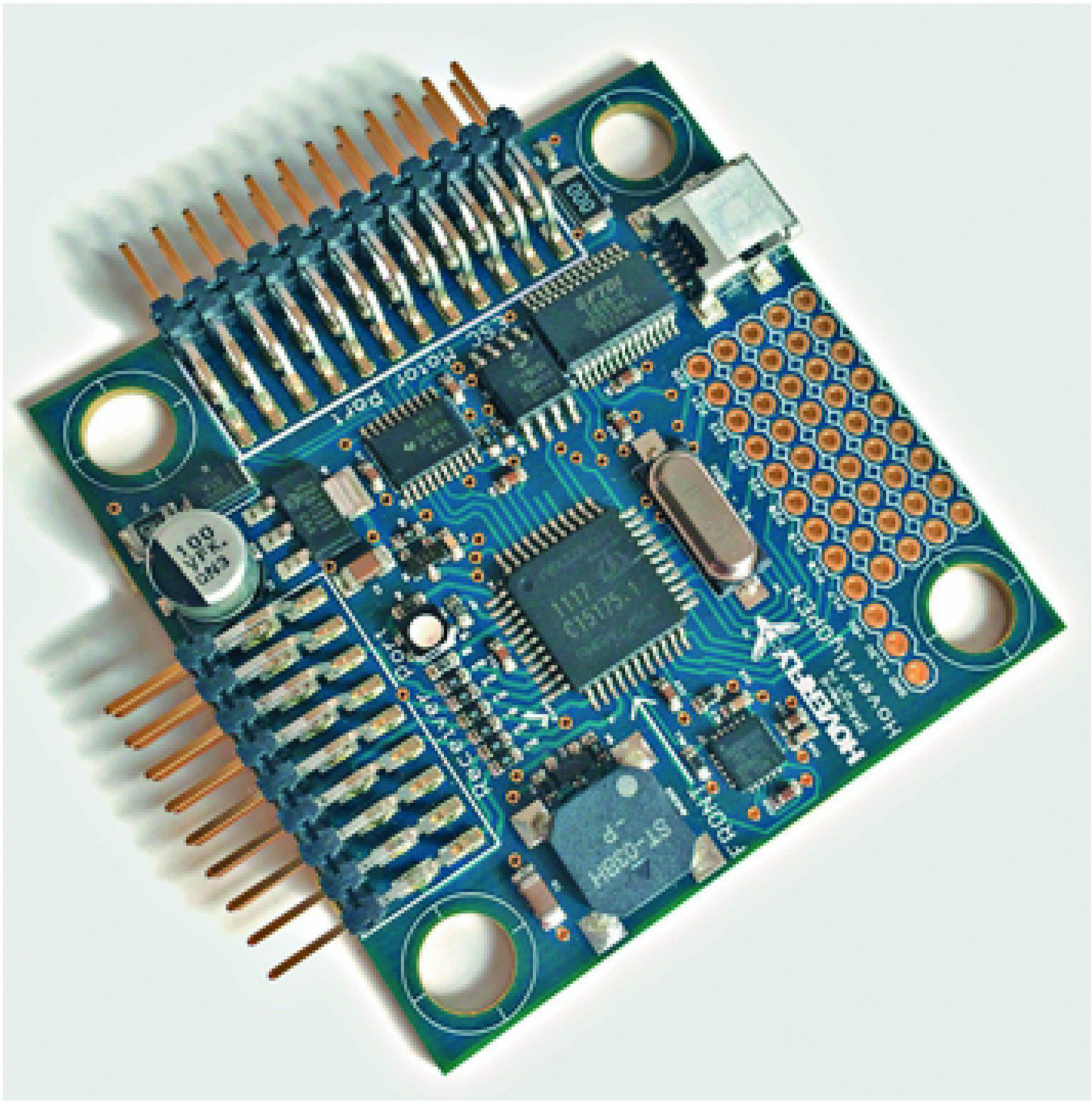


Рис. 8.8. Полетный контроллер HoverflyOPEN подключается к регулятору скорости и приемнику радиосигнала

Ardupilot

Это еще один пример полетного контроллера. Управление осуществляется автопилотом при помощи платы Arduino — как можно догадаться по названию (**рис. 8.9**). Контроллер разработан в 2007 г. содружеством DIYDrones, интернет-сообществом любителей моделирования «Do-It-Youself» (сделай это сам).

Ранние версии собирались из плат расширения Arduino — так называемых шилдов, предназначенных для подключения серводвигателей и регуляторов скорости и оснащенных различными датчиками, например

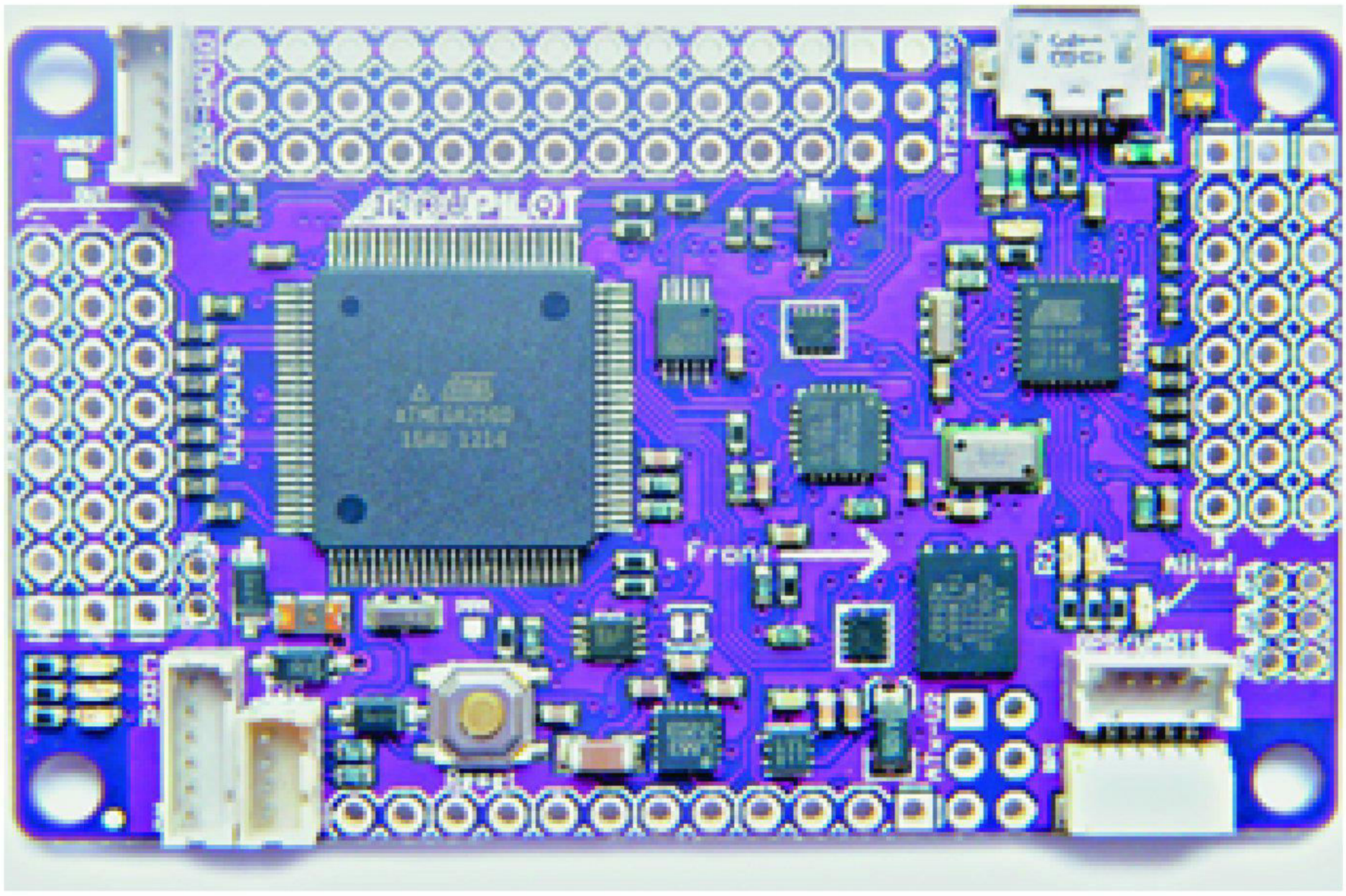


Рис. 8.9. Ardupilot сочетает в себе аппаратные средства с открытой архитектурой и потрясающие возможности робота (предоставлено Explore Labs (Creative Commons))

акселерометрами и магнитометрами. Позднее чип Arduino был помещен на одну плату с остальными устройствами, что позволило сэкономить размеры и вес.

Еще один важный аспект — это концепция открытой архитектуры, когда каждый может внести свои изменения. В результате было создано несколько специализированных вариантов, таких, как ArduRover, ArduPlane и ArduCopter, для различных типов дронов. Подробнее об этом можно ознакомиться на **Ardupilot.com**.

MultiWii

Этот простой и изящный полетный контроллер изначально разработан для того, чтобы помочь операторам управлять дронами при помощи контроллеров Wii nunchuks и Motion Plus (**рис. 8.10**). На деле этому контроллеру приходится взаимодействовать с другими распространенными моделями приемников и передатчиков, его программное обеспечение это позволяет.

Полетный контроллер MultiWii собран на базе чипа микроконтроллера ATmega 328P, этот же чип используется и в Arduino UNO. Он имеет до восьми выходов для подключения двигателей и два выхода сервопривода для подключения акселерометра и гироскопа.

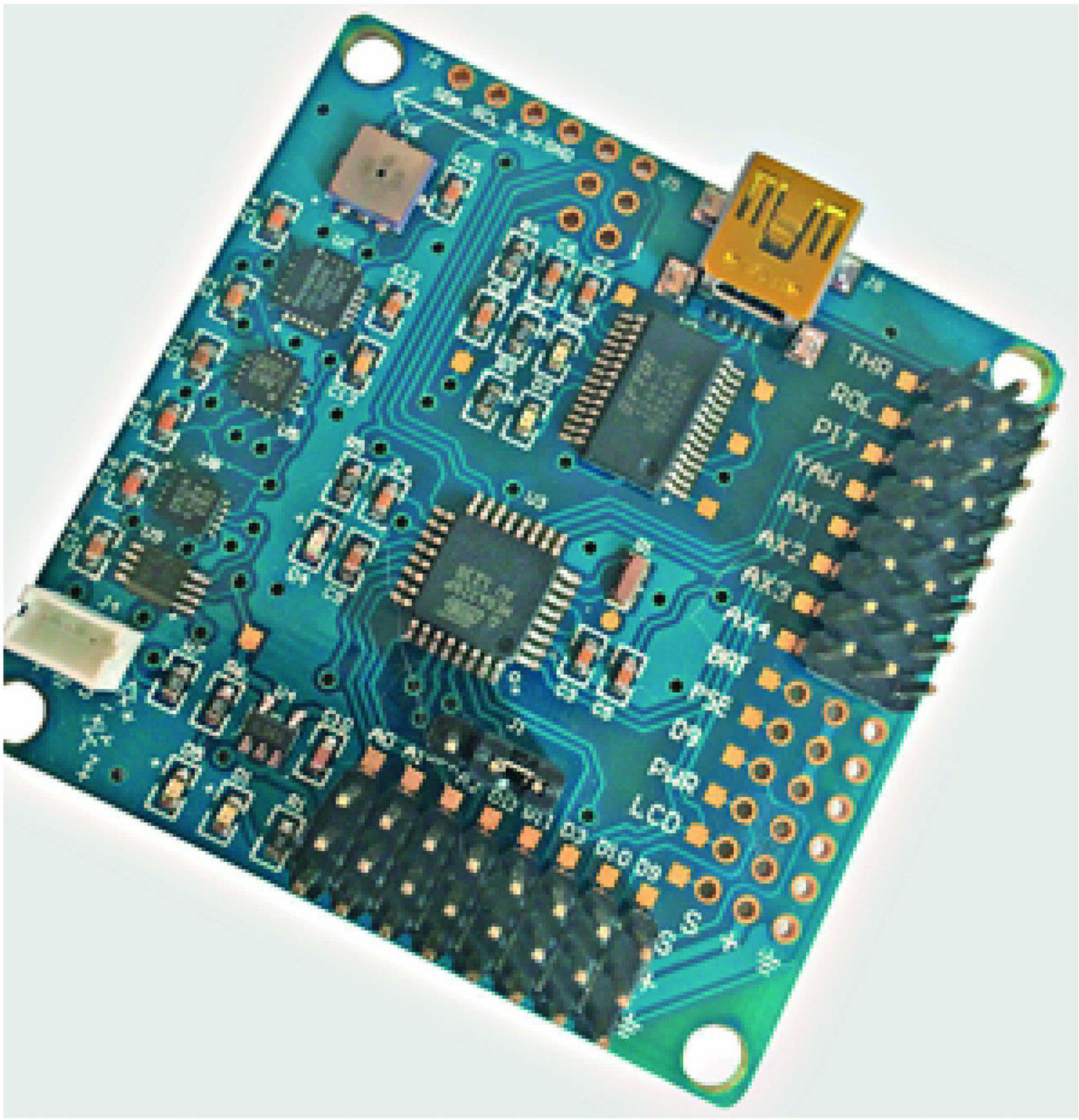


Рис. 8.10. На своем квадрокоптере я использовал полетный контроллер MultiWii

В магазинах продается множество различных моделей MultiWii; поскольку изделие имеет открытую архитектуру, каждый желающий может внести в нее свои изменения. Подробнее об этом можно прочитать на **MultiWii.com**. Вы можете приобрести такой же контроллер, что и я. На **Hobbyking.com** он стоит около 30 долл.

Установка управляющей электроники

Продолжим сборку нашего квадрокоптера, установив на него описанное выше оборудование: регуляторы скорости, приемник радиосигнала и полетный контроллер. В свое время мы займемся их подключением, но это произойдет не ранее **главы 10** «Строим квадрокоптер, часть IV: системы электропитания», в которой вы подключите всю систему.

ПЕРЕЧЕНЬ КОМПОНЕНТОВ

Для установки управляющей электроники вам понадобятся перечисленные здесь предметы. Все можно найти в магазинах запчастей, торговых центрах или в больших универмагах за исключением последнего пункта.

- Дрель и режущий инструмент.
- Липучки.
- Стяжки.
- Двусторонний скотч.
- Дюймовый винт № 4 с шайбой и гайкой, 4 шт.
- Крепежная втулка № 4 на $^{3}/_{8}$ дюйма (≈ 9,5 мм) (Sparkfun P/N 10461), 4 шт.

Установка регуляторов скорости

Закрепите регуляторы на лучах с помощью липучки или стяжек, но сильно не затягивайте, чтобы иметь возможность перестановки (**рис. 8.11**). В **главе 10** вы снабдите каждый провод специальным разъемом. После установки разъемов крепление можно затянуть.

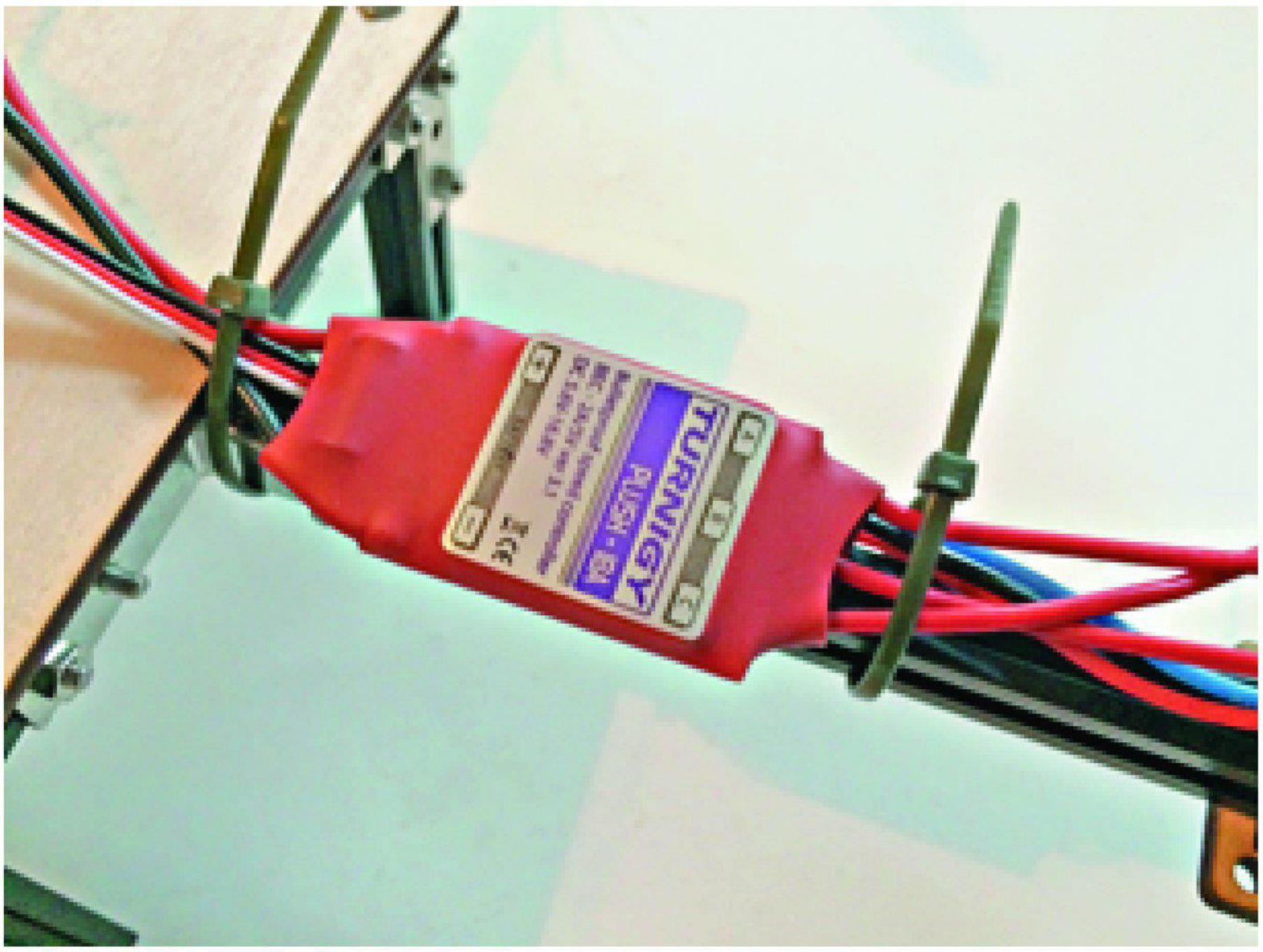


Рис. 8.11. Не затягивайте стяжки

Естественно, регуляторы следует ориентировать так, чтобы три провода для подключения двигателей были ближе к двигателям, а провода питания и сигнальные провода были направлены к центру квадрокоптера. Регуляторы лучше закрепить с нижней стороны лучей. В этом случае при взгляде сверху модель выглядит аккуратнее, а провода питания оказываются ближе к аккумулятору, который мы установим с нижней стороны центральной площадки рамы.

Установка полетного контроллера

Печатная плата контроллера имеет четыре отверстия для крепления. Через эти отверстия сделайте метки на фанере и просверлите отверстия так, чтобы они совпадали с отверстиями на плате. Проденьте снизу через фанеру четыре винта № 4 с шайбами и наденьте на их концы нейлоновые втулки-ножки. И наконец, проденьте концы винтов в отверстия по углам платы и закрепите их гайками (**рис. 8.12**).

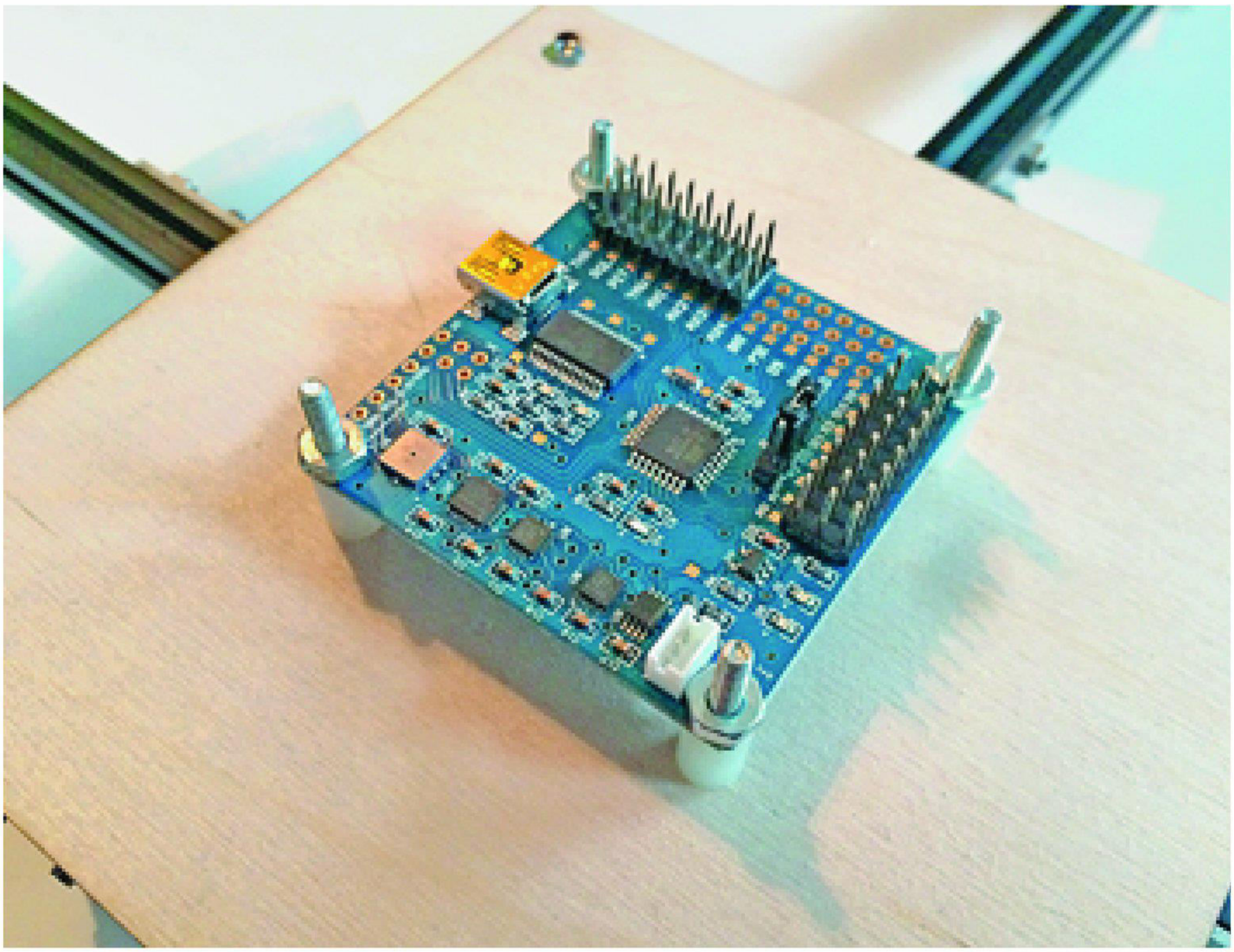


Рис. 8.12. Просверлите отверстия и закрепите плату контроллера винтами и крепежными втулками

Установка приемника радиосигнала

Приемник, который мы собираемся установить, можно закрепить только стяжками или даже двусторонним скотчем. Просверлите отверстия в фанерной площадке и проденьте в них стяжку, как показано на **рис. 8.13**.

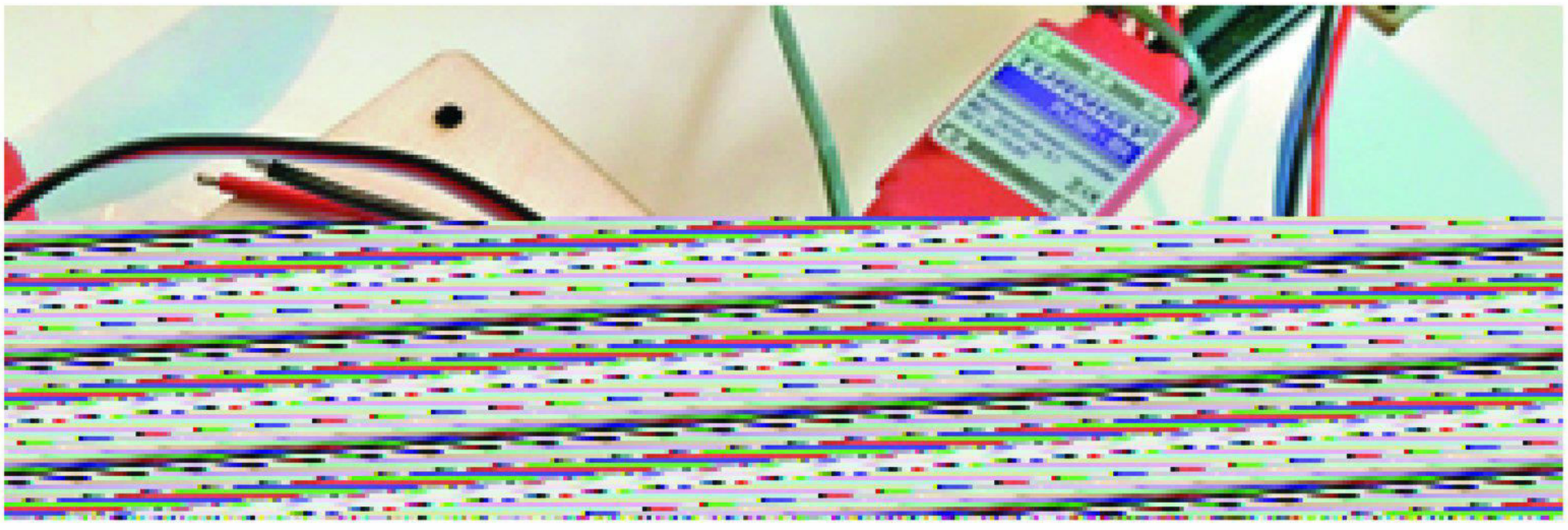


Рис. 8.13. Пропустите стяжку через отверстия и закрепите приемник

Заключение

В этой главе описана установка управляющей электроники на центральной фанерной площадке рамы: регуляторов скорости, приемника радиосигнала и полетного контроллера. Вы также узнали, как настроить полетный контроллер для работы именно с вашей моделью. В **главе 9** «Рабочее место моделиста» я расскажу, какие инструменты вам понадобятся.

9

Рабочее место моделиста

В этой книге упоминается множество инструментов, больших и малых. Здесь я подробнее расскажу, какие инструменты вам понадобятся. Я разделил их на несколько категорий.

- **Разработка дизайна** — инструмент для разработки концепции модели и создания проекта.
- **Крепежный инструмент** — описываются различные отвертки и другой инструмент для закручивания болтов и гаек.
- **Измерительный инструмент** — чем можно замерить длину, диаметр и т. д.
- **Режущий инструмент** — инструмент для того, чтобы что-либо отрезать или просверлить отверстие.
- **Инструмент для подключения** — инструмент, который используется при подключении электроники.
- **Крепеж** — клей, скотч и пр., что можно использовать для скрепления деталей между собой.
- **Инструмент с числовым программным управлением** — лазерные резаки, 3D-принтеры, фрезерные станки и др.

Инструмент для проектирования

Первая стадия нашего проекта — разработка дизайна. Сначала делается эскиз на бумаге, затем для детальной разработки материал переносится в компьютер. По крайней мере, так делаю я. На этом этапе вам тоже понадобится определенный набор средств и инструментов.

- **Ручки и карандаши** — даже если вы имеете обыкновение хранить все свои записи на компьютере, вам не помешает обзавестись определенными письменными принадлежностями (**рис. 9.1**), чтобы, например, поставить метку в месте предполагаемого отреза.



Рис. 9.1. Есть вероятность, что для следующего проекта вам понадобятся карандаш и лист бумаги

- **Блокнот и миллиметровая бумага** — на чем надо писать теми самыми ручками и карандашами. Я использую как блокнот для рисования, так и бумагу в клетку (ту же миллиметровку).
- **Программное обеспечение Fritzing** — я люблю эту программу. Она находится в открытом доступе, и ее можно скачать на **Fritzing.org**. С ее помощью я проектирую схемы подключения (что видно на протяжении всей книги), а также печатные платы.
- **Программа Inkscape (Inkscape.org)** — это аналог Adobe Illustrator или CorelDraw для тех, кто не хочет или не может себе позволить потратить много денег. Все три программы — это векторные программы рисования. Все, что создано с помощью этих программ, может быть представлено в виде комбинации линий, кривых и стандартных фигур. Противоположностью является, например, Photoshop — растровая программа, которая хранит изображение как фото. Я использую Inkscape преимущественно для создания проектов для лазерного резака.
- **Программа SketchUp** — еще одна популярная среди создателей роботов программа для 3D-моделирования, имеющая большую библиотеку форм. Хотите создать небоскреб в натуральную величину или спроектировать чулан для веников — эта программа для вас. Существуют как бесплатные, так и платные версии, среди которых версия Pro имеет наибольшие возможности.

Крепежный инструмент

Хватит с нас дизайна — пора обратиться непосредственно к «настоящему» инструменту. Этот раздел посвящен отверткам и ключам, которыми мы закручиваем всякие гайки и болты. Ориентируйтесь по надписям на **рис. 9.2**.

1. **Часовые отвертки**[1] — многие детали дрона довольно миниатюрны, так что вам понадобятся мелкие отвертки. У меня отвертки Tekton (P/N 2987), которые вполне справляются со своей работой. В набор входят как шлицевые, так и крестообразные отвертки, а также шестигранники для гаек и болтов.

2. **Набор головок** — удобен набор SK (P/N 91848). Вам необязательно понадобятся все головки, но, если вы решите заняться более крупными моделями, вы не пожалеете об этом приобретении.

3. **Мультитул** — любой моделист, а также любой уважающий себя поклонник технического творчества должны иметь его в своем распоряжении. Я приобрел SOG Tools No. B61. В нем имеется 22 предмета, которые заключены в прочный (кто-то скажет «тяжелый») корпус.

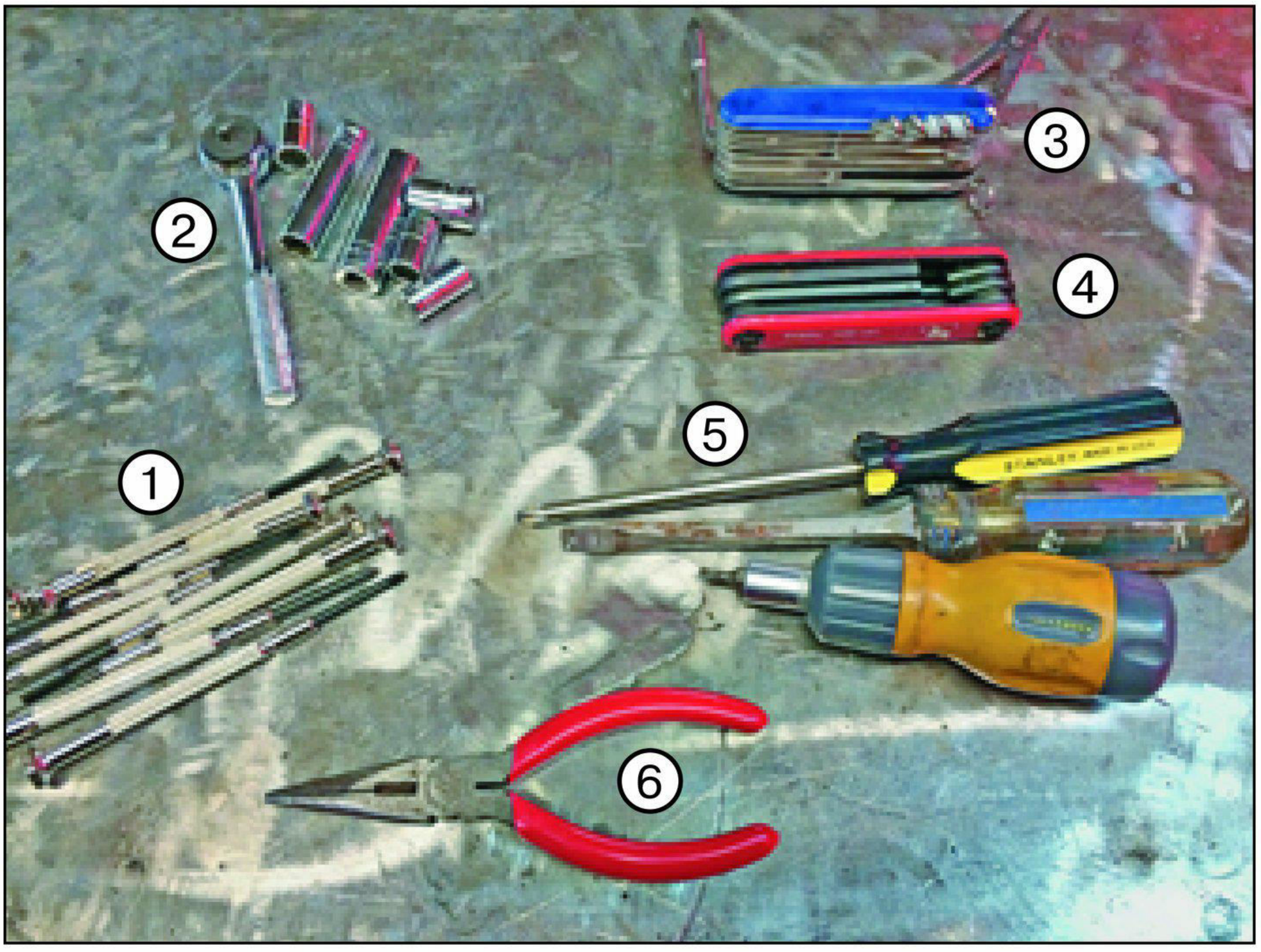


Рис. 9.2. Крепежный инструмент — это наше все

[1] У нас их часто называют «компьютерные отвертки». — *Прим. ред.*

4. **Набор шестигранных ключей** — болты всех размеров с головками под шестигранники используются при сборке моделей. Вам понадобится довольно широкий диапазон шестигранников (или «ключей Аллена»). У меня их множество, и все равно постоянно какого-то не хватает. Так что лучше потратиться на большой набор стандартных и метрических ключей. Приобрести набор из 30 ключей можно менее чем за 20 долл.

5. **Отвертки** — я всегда использую старые добрые обычные отвертки. Наверняка у вас уже есть несколько штук, но вам понадобятся и шлицевые, и крестообразные, причем разных размеров.

6. **Острогубцы** — удобны для того, чтобы брать мелкие предметы или копаться в модели.

Измерительный инструмент

Когда вы имеете дело с готовыми деталями, вам не приходится ничего измерять, так как это уже сделали за вас. Когда же вы будете изготовлять своего робота, вам периодически придется производить разные точные замеры. На **рисунке 9.3** изображено, чем я пользуюсь.

1. **Линейка** — короткая линейка будет нужна вам постоянно. Я купил линейку на Adafruit (P/N 1554). Она удобна для тех, кто увлекается элек-

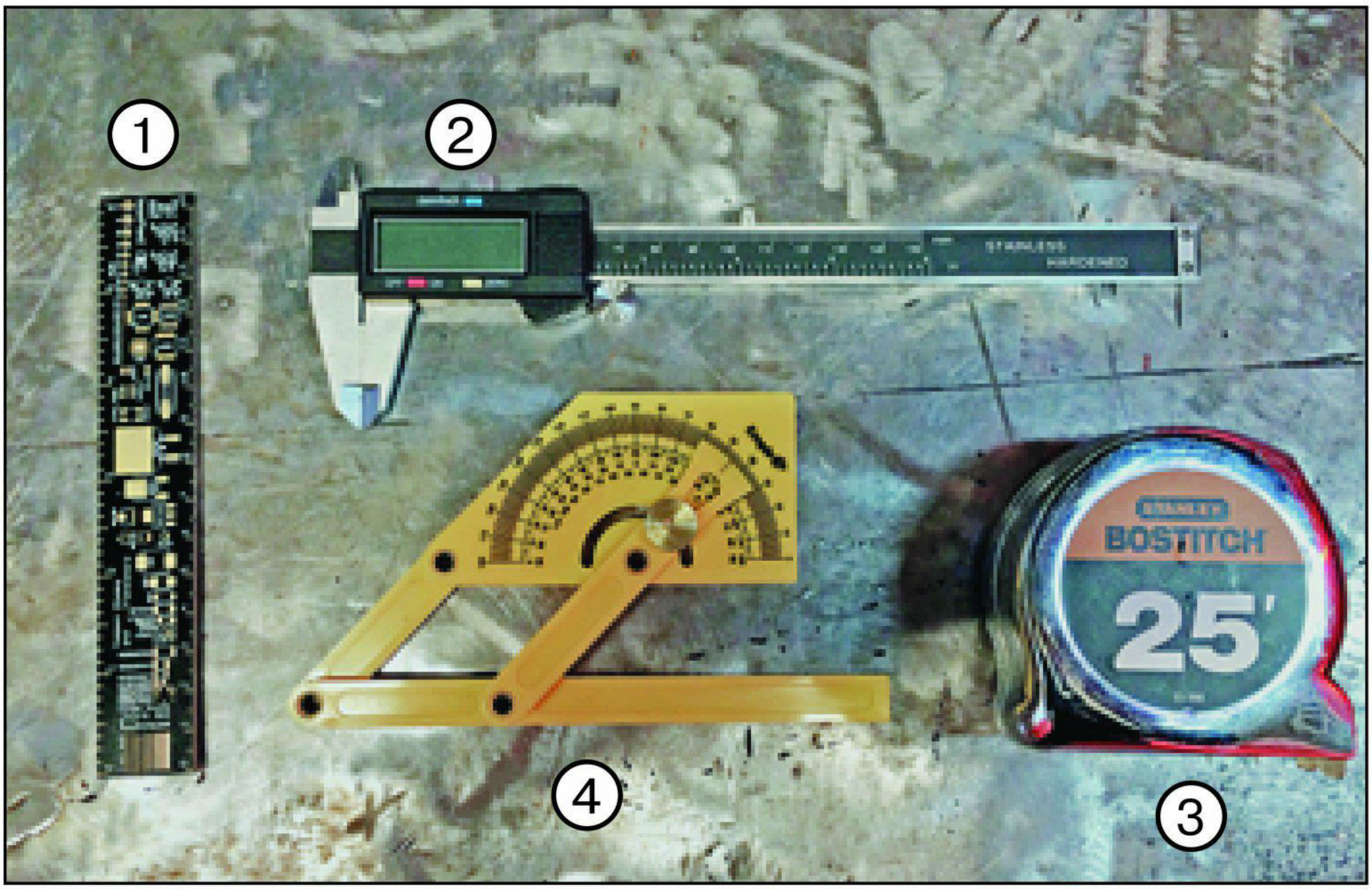


Рис. 9.3. Вам понадобятся различные измерительные инструменты

троникой, — на ней нанесены стандартные размеры деталей схем, такие, как диаметр, ширина дорожек разводки, подложек — словом все, что относится к технологии поверхностного монтажа электронных устройств.

2. **Штангенциркуль** — используется для измерения диаметров и других размеров деталей. Как правило, стоит недорого. Своим я пользуюсь постоянно.

3. **Рулетка** — одна из самых необходимых вещей. Она необязательно должна быть большой, если вы, конечно, не имеете дело с моделями размером два метра. Вполне достаточно небольшой рулетки за 5 долл.

4. **Транспортир** — используется для измерения углов. Простейший транспортир можно купить в магазине школьных принадлежностей, более удобные — в хозяйственных магазинах.

Режущий инструмент

Даже если вы имеете дело с готовыми наборами, вам периодически придется что-нибудь подрезать. Поэтому вам понадобятся следующие инструменты (**рис. 9.4**):

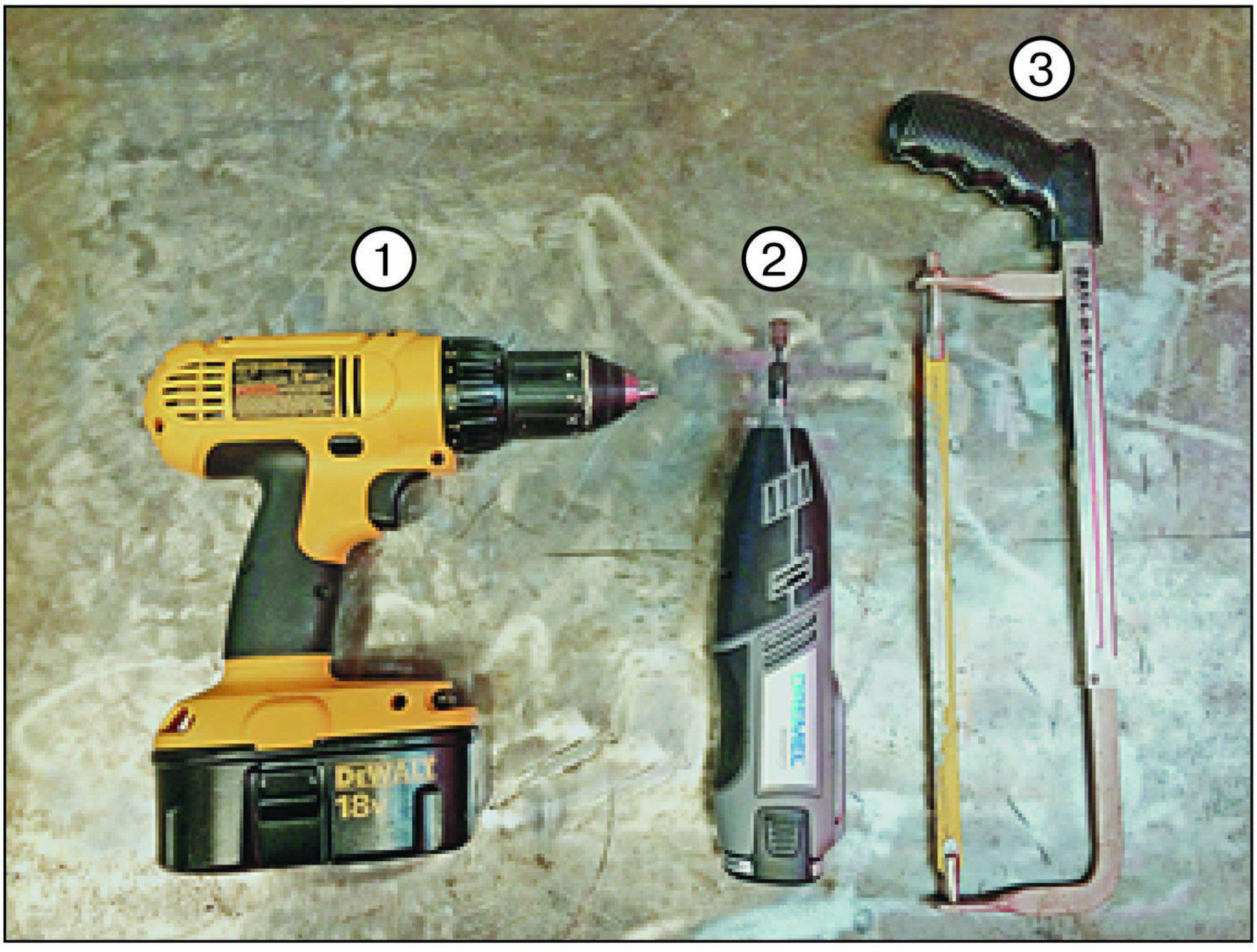


Рис. 9.4. Вам понадобится инструмент для обработки дерева, пластика и металла

1. **Дрель.** Моя дрель DeWalt — инструмент № 1 в моем домашнем хозяйстве, да и при постройке моделей тоже. Я не только сверлю ею мелкие отверстия, но и закручиваю саморезы — не очень-то хочется крутить их отверткой.

2. **Многофункциональный роторный инструмент марки Dremel** — это тоже один из любимых инструментов моделистов. На рисунке показан аккумуляторный вариант (P/N 8220), который удобно использовать для резки, шлифовки, сверления и т. д.

3. **Ножовка** — когда вы работаете с металлом, без ножовки не обойтись.

Следует также упомянуть ножи X-Acto (на рисунке их нет). Их острые лезвия удобны для тонкой работы — отрезания хрупких пластиковых разъемов или отделения пробковой детали, вырезанной лазером.

Инструмент для работы с проводами

Для работы с электроникой вам также понадобятся определенные инструменты (**рис. 9.5**). Поскольку в **главе 7** «Строим управляемый аэростат» я уже рассказывал о соединении проводов, здесь я буду краток.

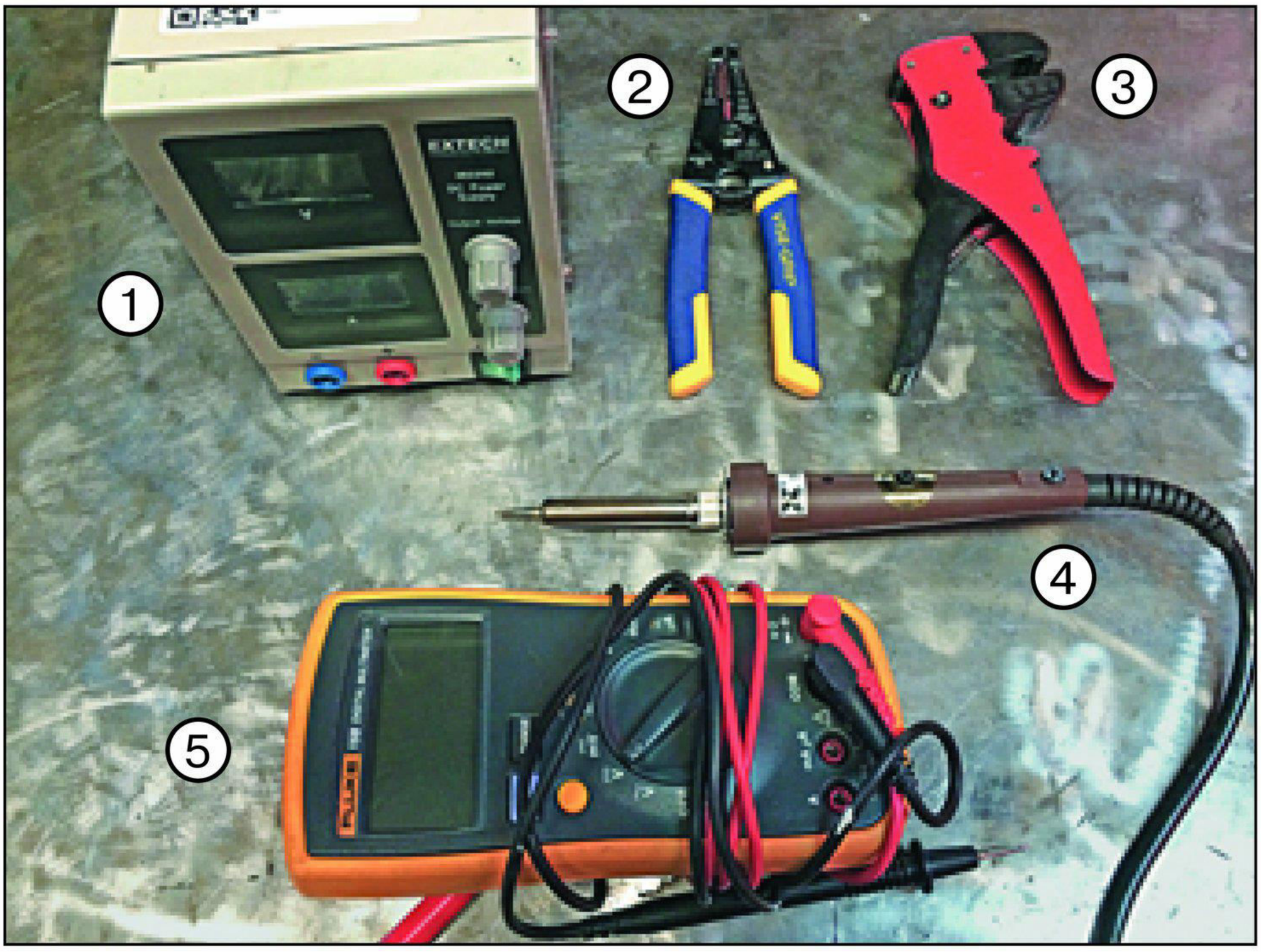


Рис. 9.5. При работе с электроникой вам понадобятся эти инструменты

1. **Источник питания** — при пробном включении прототипа есть соблазн воспользоваться аккумулятором, который будет впоследствии установлен в модель. Однако аккумулятор имеет свойство разряжаться, и при отладке это создает определенные проблемы. Стационарный источник питания способен непрерывно обеспечивать вас постоянным током, к тому же вы сможете выставлять необходимые значения напряжения и силы тока. Конечно, приобретать такую вещь начинающему необязательно, но работать с источником питания значительно удобнее. Я пользуюсь блоком питания Extech 382202, который можно купить примерно за 100 долл.

2. **Кусачки** — при работе с проводами полезно иметь кусачки Vice Grip (P/N 2078309), которые используются также и для зачистки.

3. **Автоматический инструмент для зачистки проводов** — мне нравится этот мой инструмент, даже не знаю, какого производителя. Достаточно вставить провод в захват и сжать рукоятки, и изоляция автоматически удалится.

4. **Инструмент для соединения проводов** — все, что я уже рассказывал о пайке в **главе 7**, относится и к этому паяльнику.

5. **Мультиметр** — этот переносной прибор позволяет измерять напряжение, сопротивление, проводимость и другие электрические величины. Я рекомендую BenchPro BP-1562, выпускаемый компанией Jameco Electronics. Этот прибор вы можете купить за 10 долл. Мультиметр Fluke, изображенный на **рис. 9.5**, лучше, но стоит он уже около 80 долл.

Крепеж

К сожалению, винты и гайки не всегда позволяют выйти из положения. Иногда для крепления приходится использовать термоклей, двусторонний скотч или стяжки. На **рисунке 9.6** показаны средства, которые часто выручают.

1. **Двусторонний скотч** — я очень часто его применяю. Я предпочитаю скотч из пенопласта (лента марки Scotch шириной 1 дюйм), а не обычную ленту с клеем с двух сторон. Лента из пенопласта снабжена подложкой и не слипается.

2. **Суперклей** — я предпочитаю одноразовые тюбики, поскольку не стоит надеяться откупорить уже открытый тюбик во второй раз. Велика вероятность, что либо клей в уже открытом тюбике высохнет, либо сам тюбик будет намертво закупорен.

3. **Термоклей** — клеевой пистолет следует иметь в хозяйстве.

4. **Стяжки** — хорошая штука для крепления всего подряд. В любом хозяйственном магазине можно купить большую упаковку.



Рис. 9.6. Хотите скрепить что-то без винтов? Воспользуйтесь одним из этих средств

5. **Липучки** — ими удобно связывать провода в жгут. Можно использовать стяжки, но липучки иногда удобнее.

Станки с числовым программным управлением

И наконец, хочу поделиться мнением неспециалиста о сложном и дорогостоящем оборудовании, которое оказывается очень полезным при создании различных моделей. Большинство этих станков довольно дороги — более 10 тыс. долл. Однако существуют и их бюджетные аналоги. Кроме того, необязательно иметь собственные станки. В последнем случае я говорю о библиотеках инструментов, пунктах проката, колледжах сообществ[1] и хакспейсах[2] (где предпочитают сдавать в аренду, а не продавать). Здесь я перечислю основные категории таких станков.

---

[1] В России аналогами колледжей сообществ являются Fablab, кванториумы, станции юных техников, ЦМИТы и т. д. — *Прим. ред.*

[2] Хакспейсы — места встречи людей со схожими интересами. — *Википедия.*

- **Лазерный резак.** На этом станке (**рис. 9.7**) можно вырезать какое-либо изделие из пластика или дерева. Станок работает по рисунку, созданному в векторной программе рисования, например Inkscape. Очень удобен, поскольку позволяет использовать чужие разработки. Хотите изготовить шасси? В Интернете можно найти и скачать множество готовых решений.

Лазерный луч режет точно и чисто. Можно вырезать детали сложной формы, вместо того чтобы склеивать или еще как-либо соединять более простые детали в сложную.

- **3D-принтер** — это устройство (**рис. 9.8**) накладывает расплавленный пластик слой за слоем. В результате получаются трехмерные

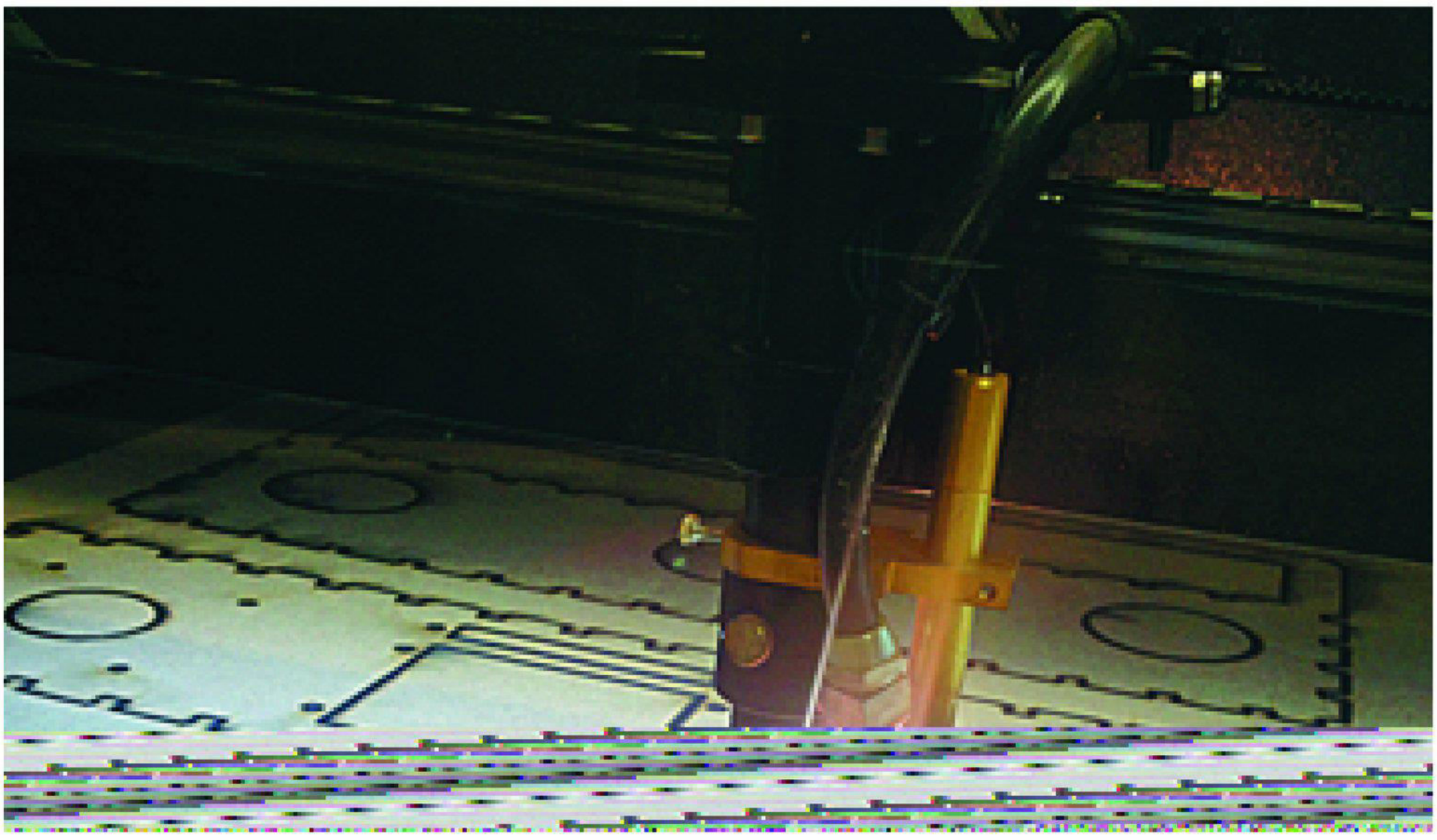


Рис. 9.7. Дерево лучше резать световым лучом

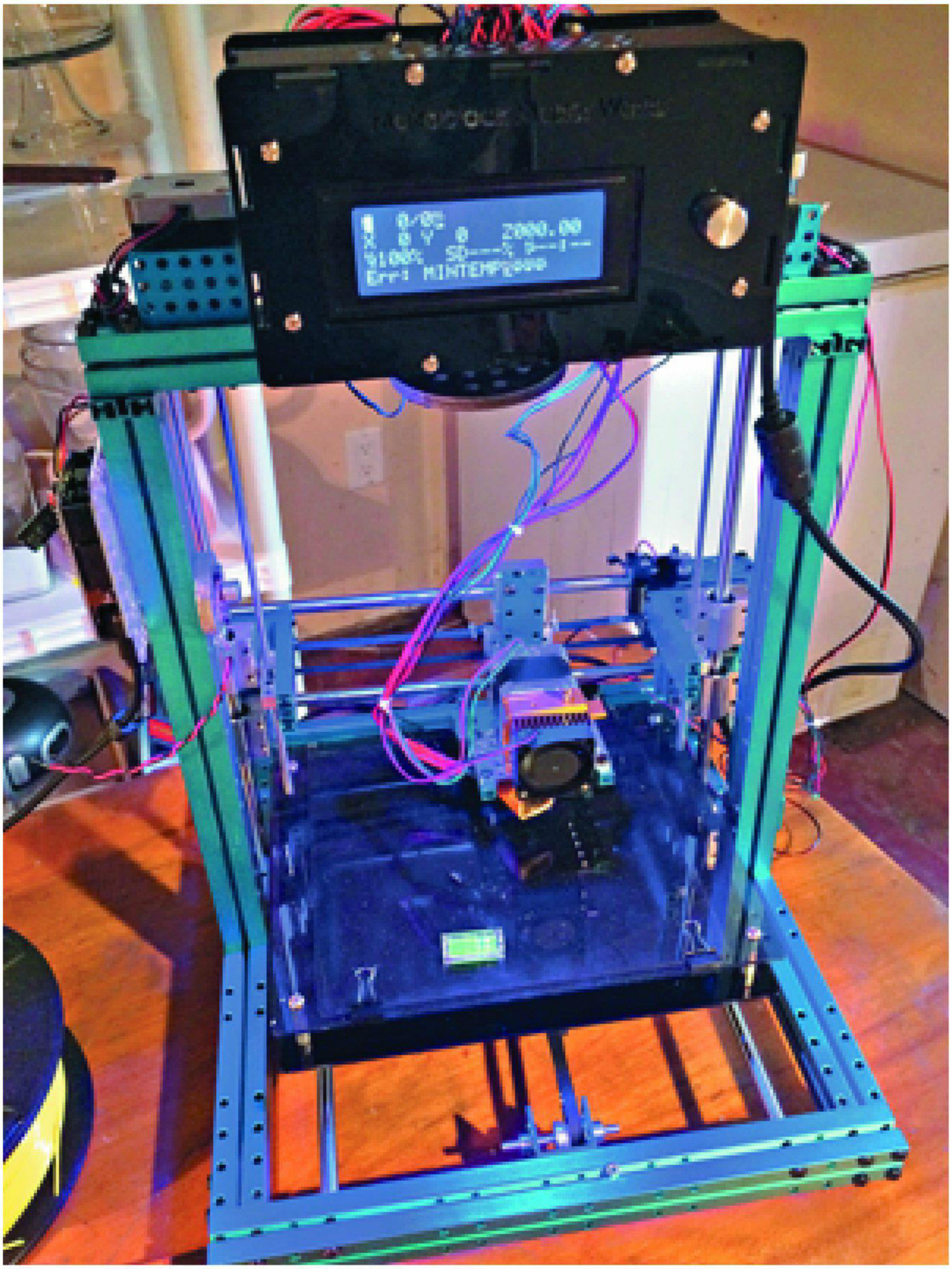


Рис. 9.8. 3D-принтер позволяет создавать трехмерные изделия из пластика

объекты. Так же как и лазерный резак, 3D-принтер позволяет реализовывать решения других людей, которые можно скачать в Интернете. Такой подход помогает быстрее осваивать новое и значительно ускоряет создание модели по сравнению с изготовлением деталей вручную. Очень удобно изготавливать на 3D-принтере различные соединители, чтобы сращивать нестыкуемые детали. Пример подобных изделий я приведу в **главе 12** «Строим квадрокоптер, часть V: дополнительное оборудование», где будут изготовлены штатив для камеры и опоры шасси.

- **Фрезерный станок с ЧПУ** — это общее название для управляемого компьютером фрезерного станка и для роторного инструмента, с помощью которого вы можете вырезать фасонное изделие из дерева, металла или пластика. Это еще один необходимый инструмент в моделестроении, который может влететь вам в копеечку.

Фрезерный станок с ЧПУ — это станок типа Dremel или какой-либо другой, у которого подача управляется компьютером (**рис. 9.9**). В отличие от лазерного резака, где резка производится световым лучом, в таком станке используются различные режущие насадки, которые имеют свойство изнашиваться.



Рис. 9.9. Фрезерный станок с ЧПУ удобен, но стоит дорого

Заключение

В этой главе рассмотрено множество инструментов, которые пригодятся моделисту в процессе творчества. В **главе 10** «Строим квадрокоптер, часть IV: системы электропитания» вы установите на квадрокоптер аккумулятор и произведете разводку проводов.

10

Строим квадрокоптер, часть IV: системы электропитания

После **главы 8** «Строим квадрокоптер, часть III: управление полетом» квадрокоптер начинает превращаться в единое целое. В этой главе вы познакомитесь с различными типами аккумуляторов, а также с тем, как лучше установить бортовой аккумулятор.

Здесь же я познакомлю вас со штепсельным соединителем. В мире дронов это излюбленный способ электрического соединения компонентов друг с другом. Вы также изготовите и проложите различные жгуты из проводов (**рис. 10.1**).

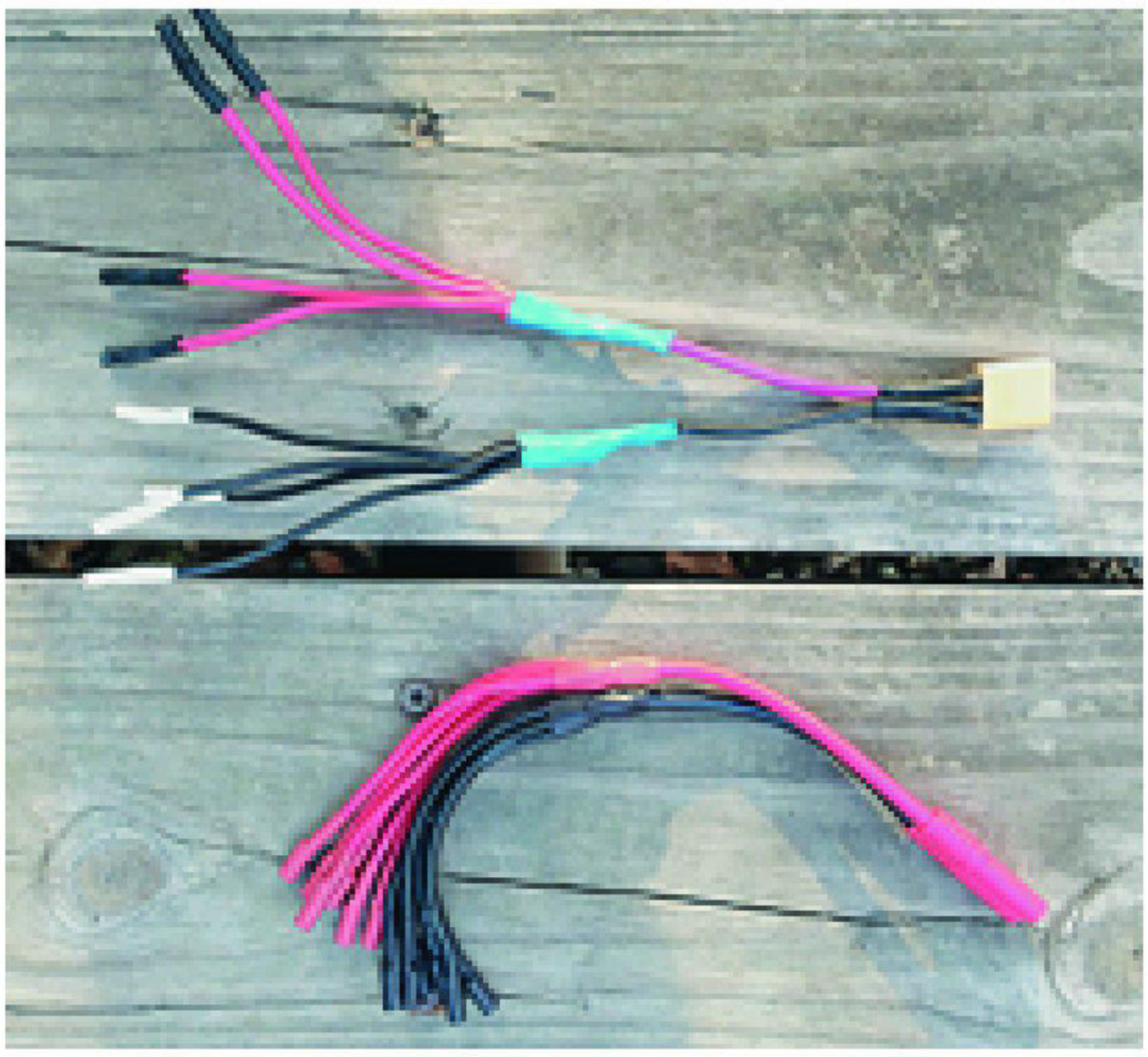


Рис. 10.1. В этой главе вы займетесь изготовлением жгутов из проводов

Выбор аккумулятора

Как же выбрать аккумулятор? Чтобы сделать правильный выбор, необходимо знать некоторые его характеристики. Ниже я приведу четыре критерия, которыми следует руководствоваться.

- **Напряжение.** В отличие от привычных нам пальчиковых батареек типа AA, заряжаемые литиевые и никелевые аккумуляторы имеют различные номинальные выходные напряжения. Перед покупкой вам необходимо уточнить нужное вам напряжение, чтобы впоследствии оно не оказалось слишком большим или недостаточным.
- **Емкость.** Это фактически полная энергия аккумулятора. Чем больше емкость, тем дольше живет аккумулятор.
- **C-рейтинг** — характеризует безопасную скорость разряда аккумулятора. Это число, умноженное на емкость, дает безопасное максимальное значение разрядного тока. Например, аккумулятор емкостью 460 мА · ч, имеющий C-рейтинг 25–40, характеризуется током разряда от 11,5 до 18,4 А. Эту характеристику важно знать, поскольку от нее зависит мощность, подаваемая на двигатели. Замечу, что меньшее число соответствует длительному разряду, большее — самому быстрому.
- **Плотность энергии** — соотношение емкости и размера аккумулятора. Это неформальная характеристика, которую, тем не менее, приходится учитывать. По сути, это отношение массы, которую вы добавляете на борт, к выгоде, которую вы получаете.

Типы аккумуляторов

Фактически в области моделестроения дронов используют два типа аккумуляторов — никелевые и литиевые. Рассмотрим их особенности.

Никелевые аккумуляторы

Никель-металлогидридные аккумуляторы (NiMH) — это заряжаемые батареи, которые вытеснили старые никель-кадмиевые (NiCad) (**рис. 10.2**). Их преимущество — доступность, их можно купить практически в любом магазине.

Недостатком является их AA-формфактор (так называемые пальчиковые батарейки). Для них требуется специальное посадочное место, что означает дополнительный вес на борту. Их труднее перезаряжать, и по плотности запасаемой энергии они значительно уступают литиевым. Плотность энергии — 60–120 Вт · ч/кг.



Рис. 10.2. Никель-металлогидридные аккумуляторы — популярный выбор для дронов

Литиевые аккумуляторы

Этот тип используется при построении дронов чаще всего, причем как литий-полимерные (LiPo), так и литий-ионные (Li-ion) аккумуляторы (**рис. 10.3**). Они обладают лучшими характеристиками по сравнению с никелевыми аккумуляторами; например, их выходное напряжение составляет 3,7 В против 1,2 В у никель-металлогидридных.

Форма литиевых аккумуляторов также более выгодна: они упакованы в пластиковый контейнер и не требуют специального посадочного места. Кроме того, у них есть отдельный провод для зарядки, поэтому их можно заряжать не демонтируя.

При всех своих преимуществах литий-полимерные аккумуляторы могут быть опасны, однако соблюдение следующих несложных правил поможет избежать неприятностей:

- Не допускайте короткого замыкания и не погружайте аккумуляторы в жидкость. Возможно возгорание.



Рис. 10.3. Литий-полимерные аккумуляторы — более удачное решение

- Не протыкайте аккумуляторы. Возможно возгорание.
- Если аккумулятор загорелся, используйте для тушения песок. При контакте с водой литий выделяет кислород, что способствует поддержанию горения.
- Если аккумулятор вздулся, выбросьте его.
- Не применяйте самодельные зарядные устройства. Я рекомендую зарядное устройство Turnigy C3: оно стоит недорого и может заряжать практически все двух- и трехбаночные литий-полимерные аккумуляторы.
- Не допускайте совместного использования аккумуляторов разных типов, устанавливайте аккумуляторы одинакового химического состава.

Установка штепсельных соединителей

После того как вы определились с выбором аккумулятора, займемся проводкой. В первую очередь следует ознакомиться со штепсельными соединителями (**рис. 10.4**), которые повсеместно используются в электронике и моделестроении.



Рис. 10.4. Штепсельные соединители — наиболее популярный вид соединения в мире устройств с дистанционным управлением

Почему именно штепсельные соединители?

Каким образом лучше соединить различные устройства квадрокоптера? Вряд ли стоит намертво припаивать, например, регуляторы скорости к двигателям. А вдруг понадобится что-то заменить из этого? В этом случае штепсельные соединители являются наилучшим решением. Они обеспечивают достаточно прочное соединение, а их разъединение не влечет за собой поломки схемы, но вам надо периодически проверять соединения. Соединители отличаются друг от друга лишь размерами, и выбор при покупке зависит только от толщины провода. В своем квадрокоптере я использовал соединители на 2 и 3,5 мм. Требуется равное количество разъемов типа «вилка» и «розетка»; также следует иметь в виду, что разъемы разных размеров нельзя соединить между собой.

ПЕРЕЧЕНЬ КОМПОНЕНТОВ

- Принадлежности для пайки — в главе 7 «Строим управляемый аэростат» я рассказывал о пайке, в этой главе я расскажу, что еще вам понадобится.
- Штепсельные соединители — их можно купить в любом магазине радиоэлектроники.
- Термоусаживаемый кембрик — специальные термоусаживаемые трубки из токонепроводящего материала, которыми обжимаются соединения. Это более удобный аналог изоленты. На сайте Adafruit можно купить целый набор (P/N 344). Можно также приобрести в любом хозяйственном магазине или магазине радиоэлектроники.

Этапы установки штепсельных соединителей

Штепсельные соединители состоят из двух металлических половинок-разъемов — вилки (штырька) и розетки (гнезда), которые припаиваются на концы проводов (**рис. 10.5**). Будучи припаянными, они обеспечивают в паре прочное соединение. Ниже описан следующий пошаговый процесс установки соединителей:

1. **Распланируйте установку вилок и розеток**, чтобы не столкнуться с неприятным сюрпризом. Проще всего начать с двигателей и припаять к ним вилки. Естественно, концы регуляторов скорости, которые идут к двигателям, должны иметь розетки. Провода питания на другой стороне регуляторов, которые идут к источнику питания, оснащаются вилками.



Рис. 10.5. Разъемы «вилка» (слева) и «розетка» (справа)

2. **Зачистите провода.** Срежьте небольшой участок изоляции на концах проводов (**рис. 10.6**). На рисунке показана одновременная установка разъемов на провода четырех регуляторов скорости. Концы проводов продеты в отверстия куска фанеры, которые высверлены лазерным резаком. Нередко регуляторы и другие устройства имеют уже зачищенные концы проводов.

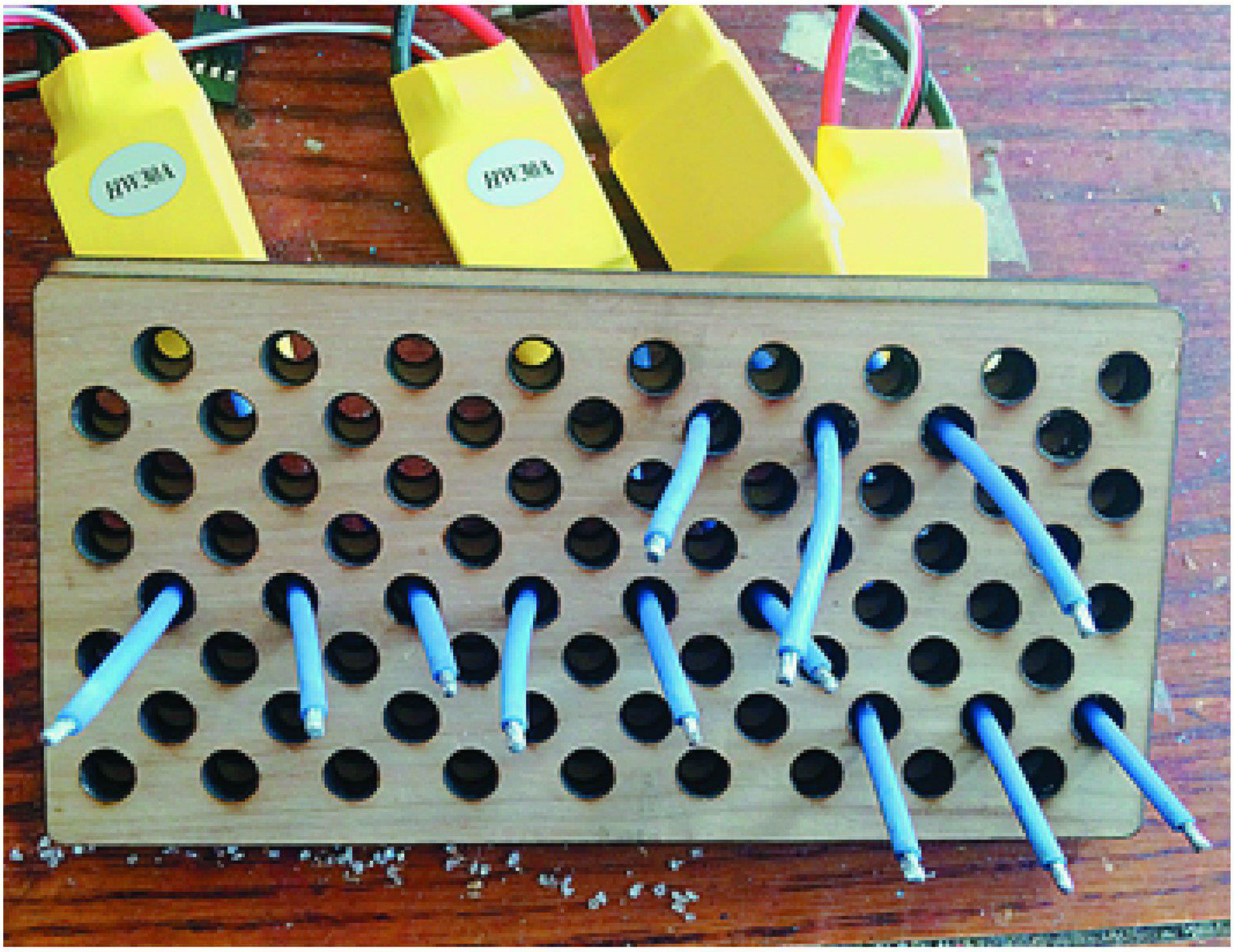


Рис. 10.6. Срежьте небольшой участок изоляции на концах проводов

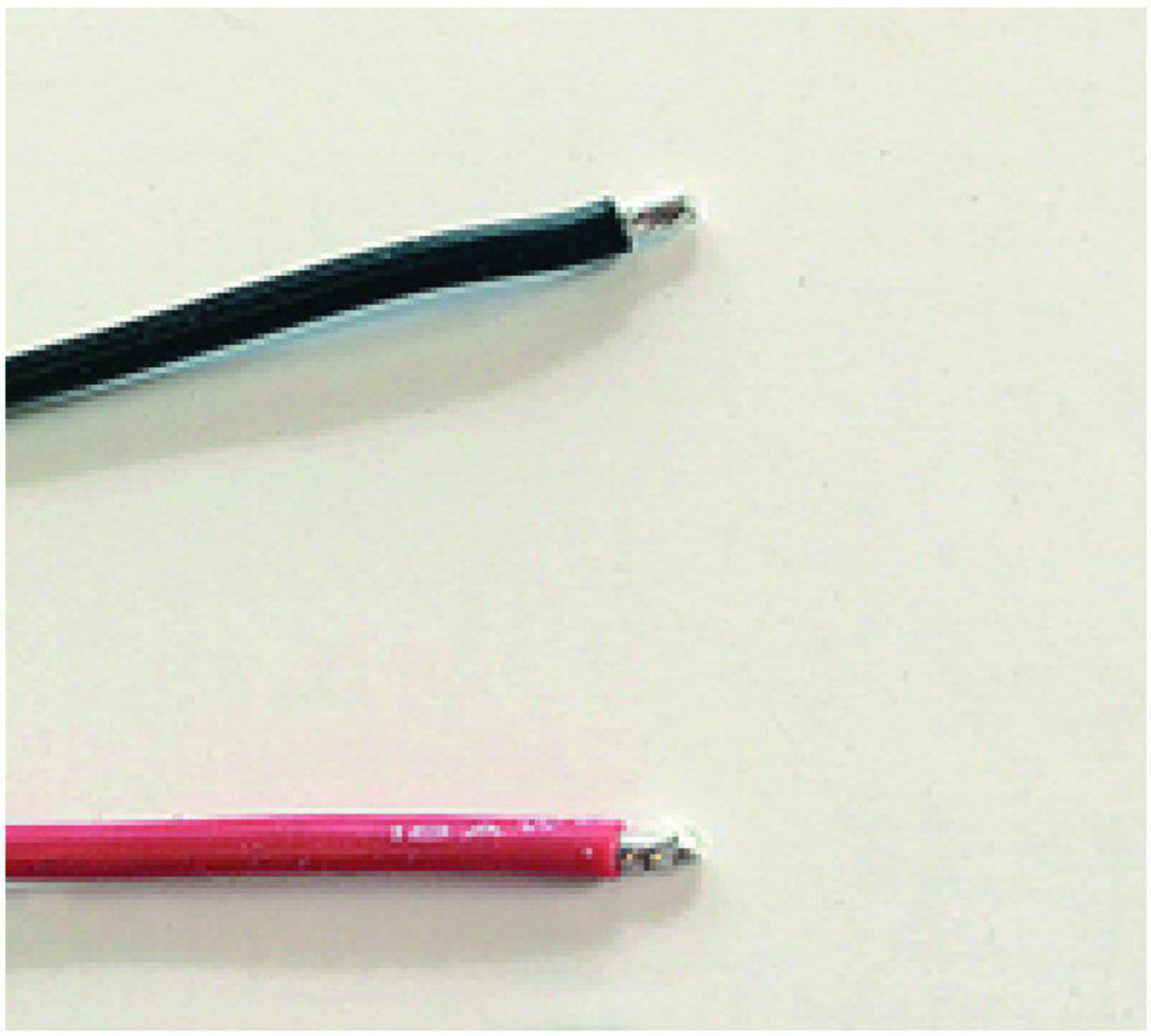


Рис. 10.7. Облудите концы проводов, на которые планируете установить соединители

3. **Облудите концы проводов**, то есть покройте их припоем. Луженые детали легче припаять друг к другу. Сначала скрутите жилы провода (если есть) и нагрейте их паяльником, затем покройте припоем (**рис. 10.7**). Проделайте эту операцию с каждым проводом, на который планируете установить разъем. Замечу, что провода некоторых устройств, например регуляторов Turing Plush, которые я установил, имеют уже облуженные концы.

4. **Заполните припоем концы разъемов.** Это также можно назвать лужением (**рис. 10.8**). На конце разъема есть отверстие, его-то и нужно заполнить припоем.

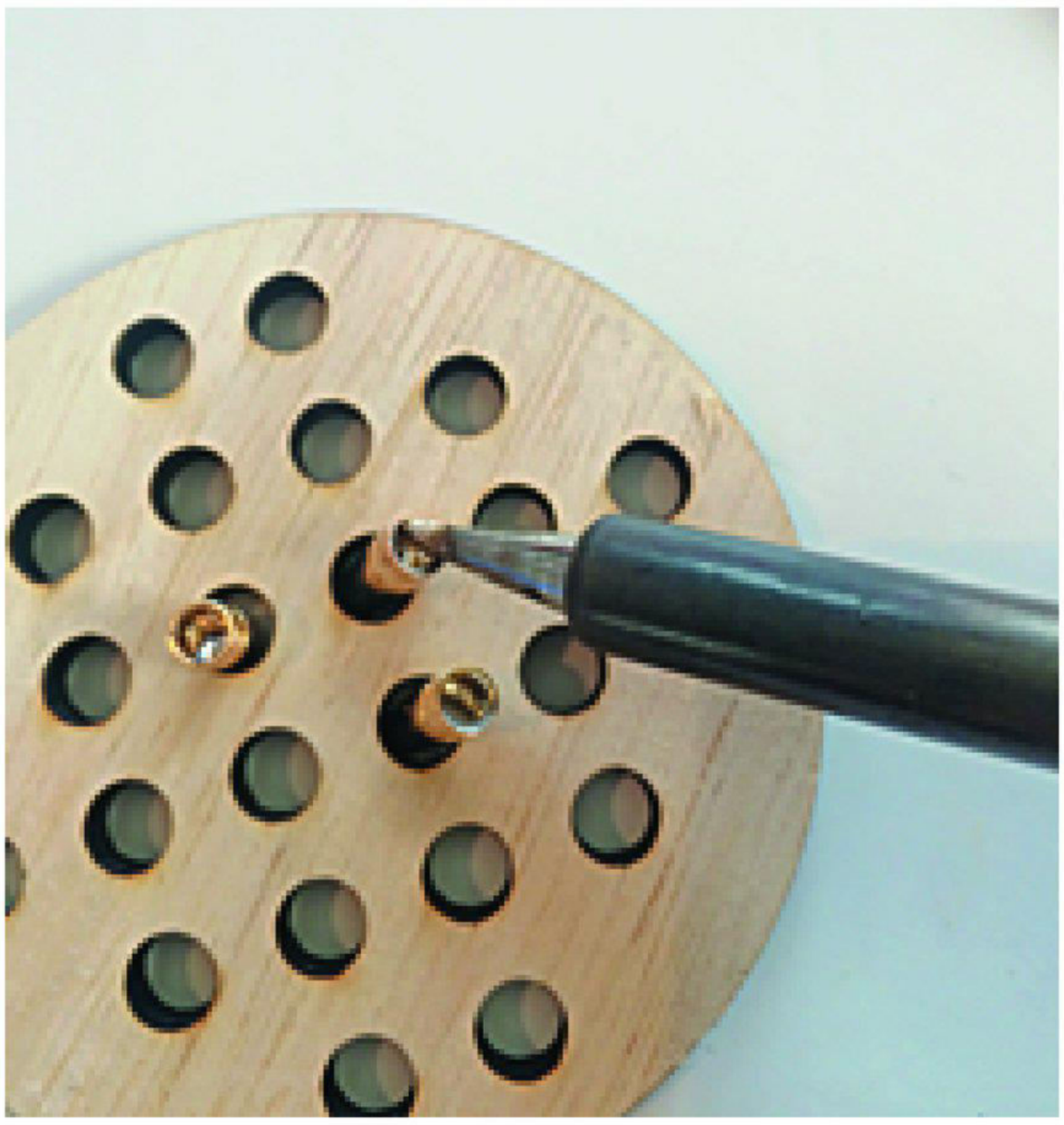


Рис. 10.8. Заполните припоем отверстия разъемов

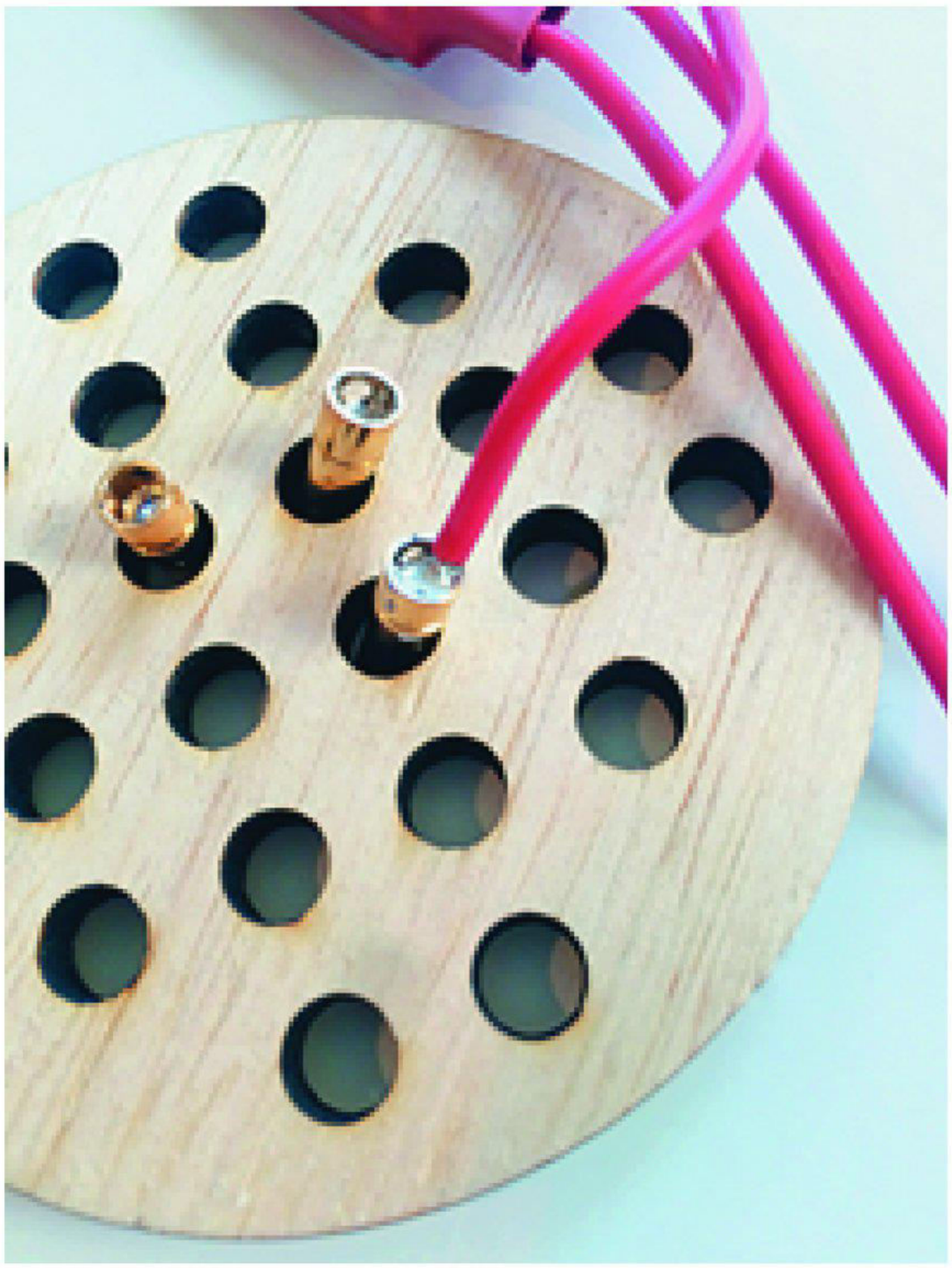


Рис. 10.9. Припаяйте разъем к проводу

5. **Припаяйте разъемы.** Вставьте луженый конец провода в отверстие разъема. Подведите туда же жало паяльника и расплавьте припой. Если количество припоя кажется вам недостаточным, добавьте его. На **рисунке 10.9** показано, как все должно выглядеть в результате.

6. **Наденьте термоусаживаемый кембрик** на каждый провод, оставив головку разъема «вилка» открытой. Разогрейте кембрик паяльником, чтобы он обжал и часть разъема, и прилегающий участок провода (**рис. 10.10**).

Рис. 10.10. Наденьте кембрик и нагрейте его для обжимки соединения

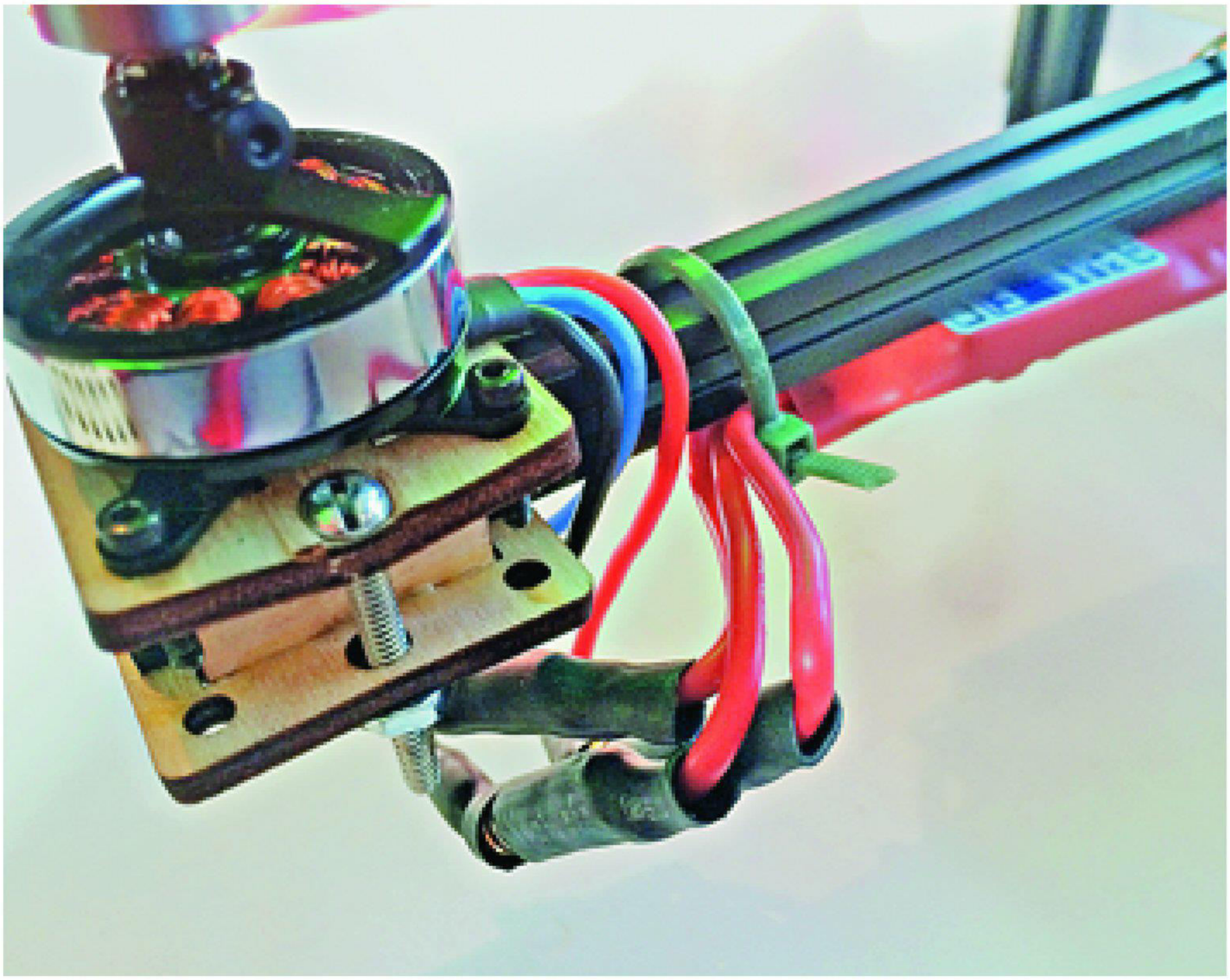


Рис. 10.11. Подключите регуляторы скорости к двигателям

7. **Соедините разъемы.** Соедините вилки двигателей и розетки регуляторов (**рис. 10.11**). В следующем разделе вы займетесь подключением аккумулятора. Попутно можно закрепить регуляторы стяжками.

Изготовление жгутов из проводов

Подключение аккумулятора может показаться сложным, если не пугающим, так как придется подключать провода питания и «землю» четырех регуляторов к одному аккумулятору.

Существует два пути решения. Первый — это приобрести или сделать самому плату разводки питания. На подобных платах можно объединить четыре (или более) провода питания и четыре «земли», что очень удобно. Такие платы продаются в специализированных магазинах и стоят от 5 до 10 долл.

Многие моделисты выбирают второй путь — изготовление жгутов из проводов. Четыре «земли» (или более) скручиваются и припаиваются

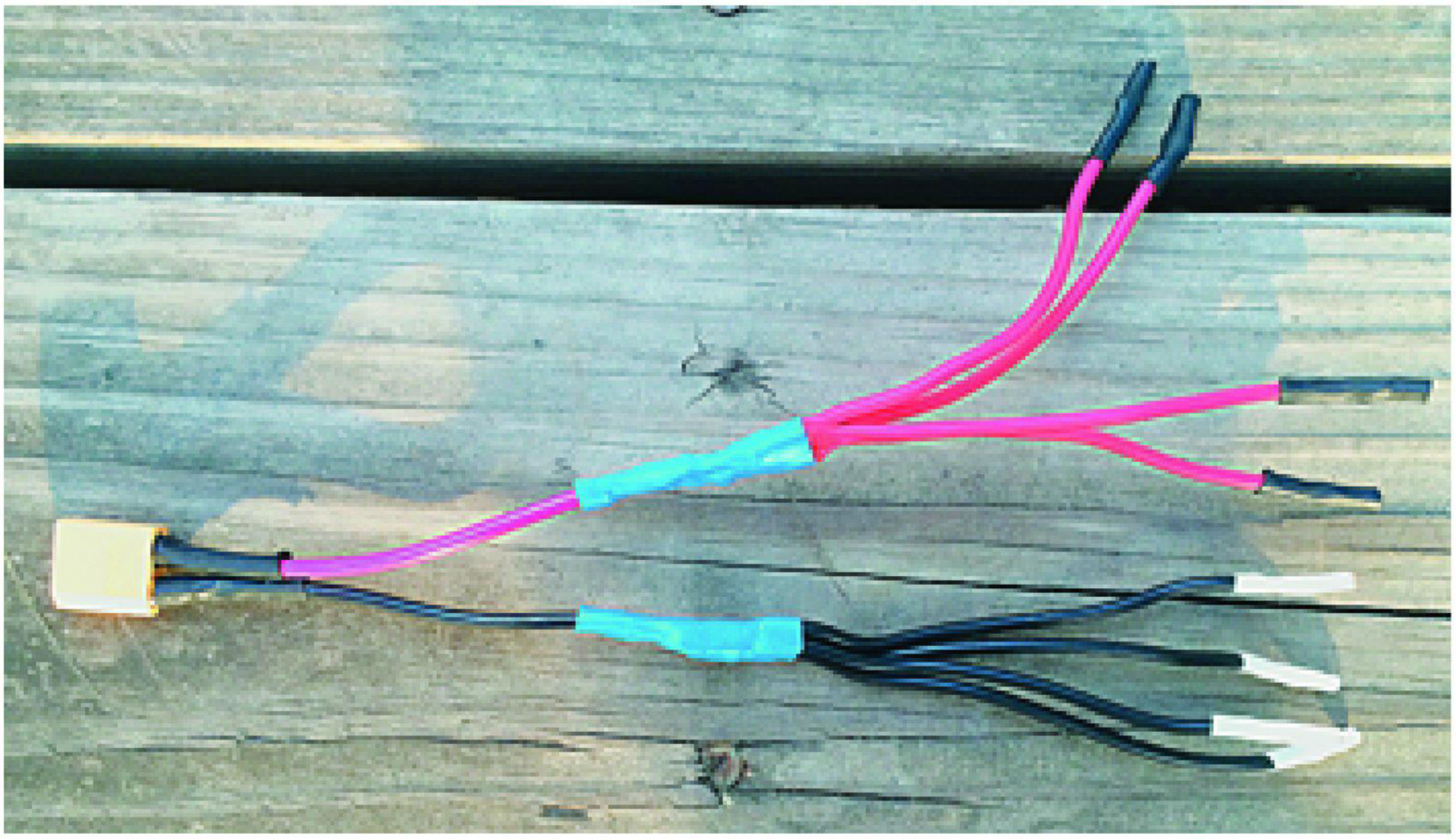


Рис. 10.12. Такой жгут позволяет развести питание на несколько устройств

к одному разъему, а затем изготавливается соответствующее количество подводящих проводов. На **рисунке 10.12** показан пример такого жгута. Мы пойдем этим путем.

ПЕРЕЧЕНЬ КОМПОНЕНТОВ

- **Принадлежности для пайки**.
- **Провода**: черные 12-жильные и красные 16-жильные.
- **Термоусаживаемый кембрик.** Неплохой выбор есть на Sparkfun (P/N 09353).
- **Разъем XT60.** Очень удобный разъем, о нем поговорим позже.
- **Штепсельные соединители.** Есть разные размеры, я использовал 3,5 мм.

Этапы изготовления жгутов

Приступим к изготовлению жгутов. Вот пошаговая инструкция:

1. **Отрежьте примерно 13 см 16-жильного провода.** Для разводки питания различных устройств понадобятся черные и красные провода — по одному на каждый двигатель. Зачистите изоляцию на полдюйма (13 мм) с одного конца каждого провода и на четверть дюйма (6 мм) с другого (**рис. 10.13**).

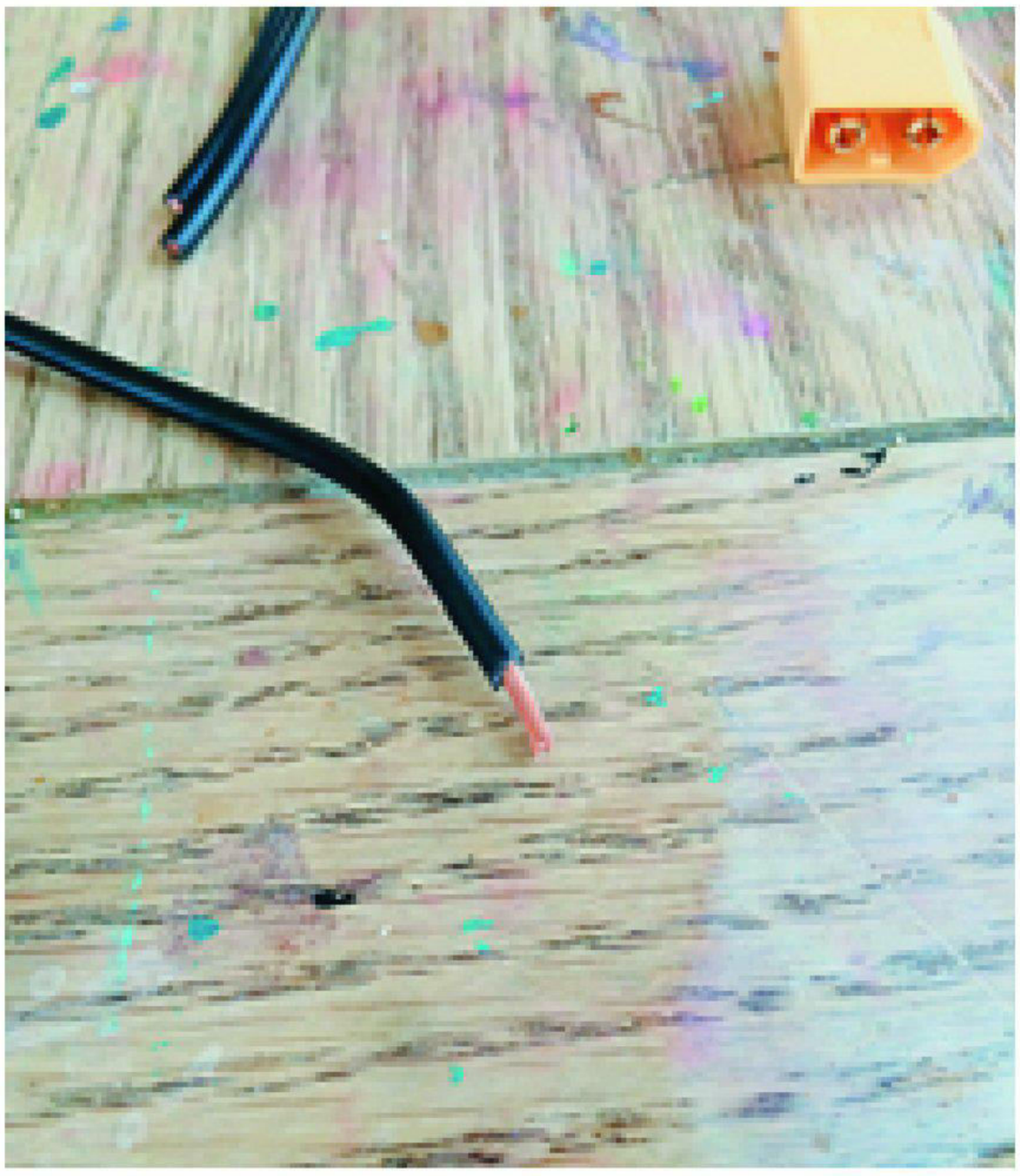


Рис. 10.13. Для каждого устройства нужен черный и красный провода

2. **Облудите штепсельные соединители.** Припаяйте разъемы «розетка» на концы проводов, зачищенных на четверть дюйма. Наденьте кембрик (**рис. 10.14**). Эти разъемы будут подключаться к проводам питания регуляторов скорости, которые снабжены разъемами «вилка».



Рис. 10.14. Припаяйте штепсельные соединители

3. **Отрежьте два куска по 5 дюймов (13 см) 12-жильного провода из более толстого провода.** Зачистите изоляцию на полдюйма с одного конца каждого провода и на четверть дюйма с другого (**рис. 10.15**).



Рис. 10.15. Вам понадобятся толстые провода для «земли» и питания

4. **Спаяйте жилы проводов вместе.** Облудите концы 12- и 16-жильных жгутов (зачищенные на полдюйма). Положите жгуты рядом и спаяйте друг с другом (**рис. 10.16**) Наденьте кембрик.

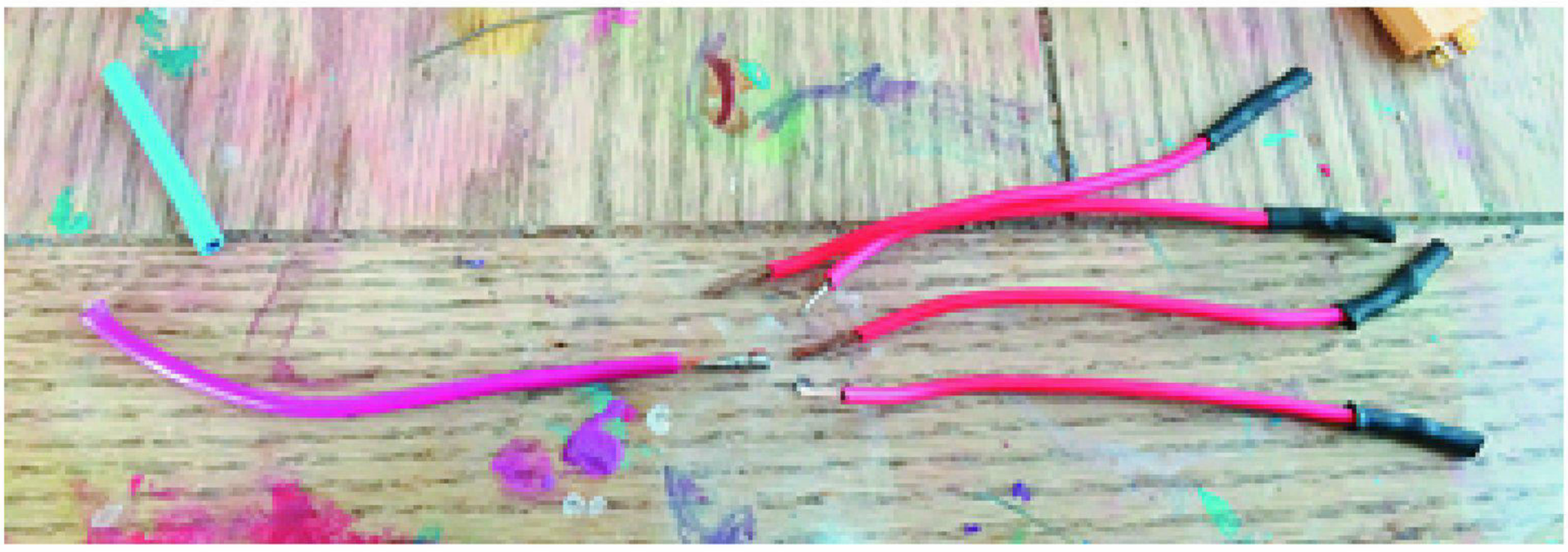


Рис. 10.16. Спаяйте жилы проводов друг с другом

5. Подсоедините разъем XT60. Это разъем из двух штепсельных соединителей в прочном корпусе, который не только закрывает оголенные металлические участки и предотвращает короткое замыкание, но и не позволяет перепутать полярность, что привело бы к выходу из строя бортовой электроники. На выводы аккумулятора припаиваются разъемы типа «розетка», а на 12-жильные жгуты — разъемы типа «вилка». Облудите разъемы и не забывайте про термоусаживаемый кембрик (**рис. 10.17**).



Рис. 10.17. Припаяйте разъемы XT60 к выводам аккумулятора и 12-жильным жгутам

6. **Закрепите все устройства.** Закрепите аккумулятор на платформе при помощи стяжек. Не соединяйте разъемы XT60 — мы еще не готовы к полету. Возьмите связки двигатель—регулятор (**рис. 10.18**) и подключите 16-жильные концы жгутов к регуляторам скорости, используя штепсельные соединители.

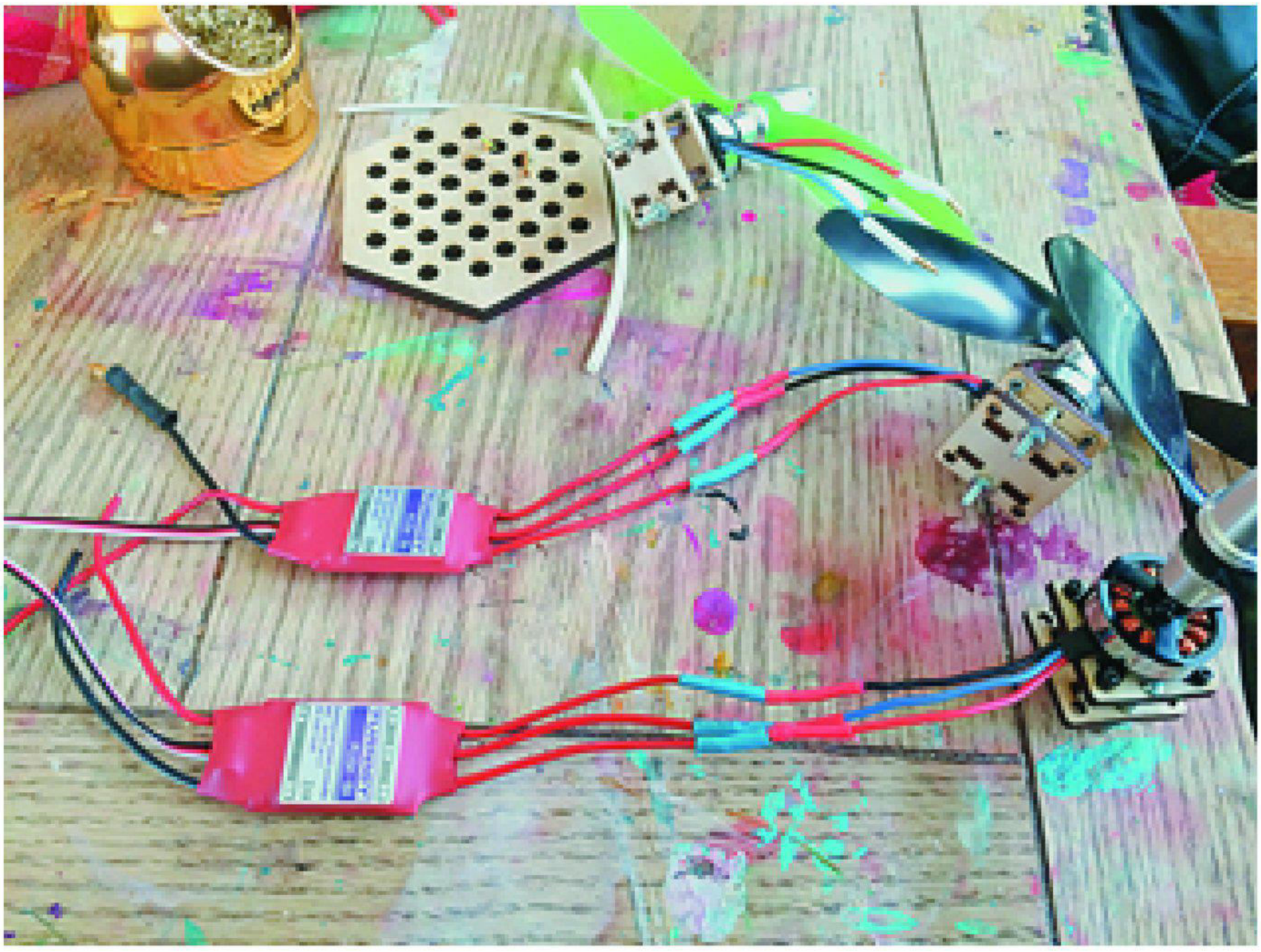


Рис. 10.18. Соедините штепсельные разъемы, чтобы подключить двигатели и регуляторы скорости к жгутам

Подключение полетного контроллера и приемника радиосигнала

Заключительный этап — это подключение управляющих проводов регуляторов скорости и приемника радиосигнала к полетному контроллеру.

1. Используйте переходники розетка—розетка (например, Sparkfun P/N 8738) для соединения полетного контроллера и приемника радиосигнала.

- Подключите пины с маркировкой THR («газ») к каналу 1 (Channel 1) приемника радиосигнала. Убедитесь в правильности подключения: «земля» должна быть со стороны приемника и MultiWii (**рис. 10.19**).
- Подключите пины с маркировкой ROL (крен) к каналу 2 (Channel 2).
- Подключите пины с маркировкой PIT (тангаж) к каналу 3 (Channel 3) приемника радиосигнала.
- Подключите пины с маркировкой YAW (да, рыскание) к каналу 4 (Channel 4).

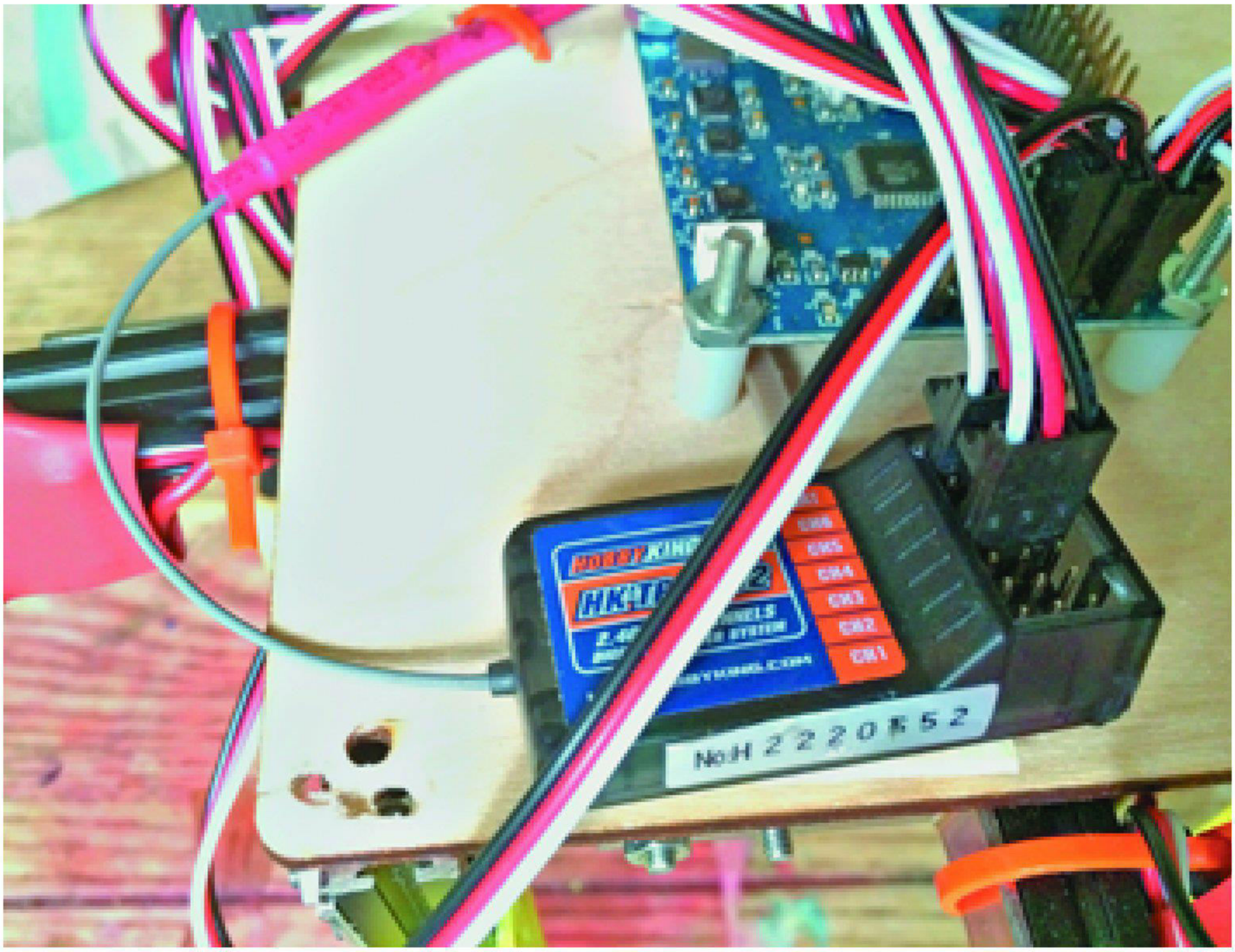


Рис. 10.19. Подключение полетного контроллера к приемнику радиосигнала

2. Подключите тройные провода регуляторов скорости к полетному контроллеру. Подключите провода к пинам D9, D10, D3 и D11 платы MultiWii, следя за тем, чтобы черный провод был со стороны платы полетного контроллера (**рис. 10.20**).

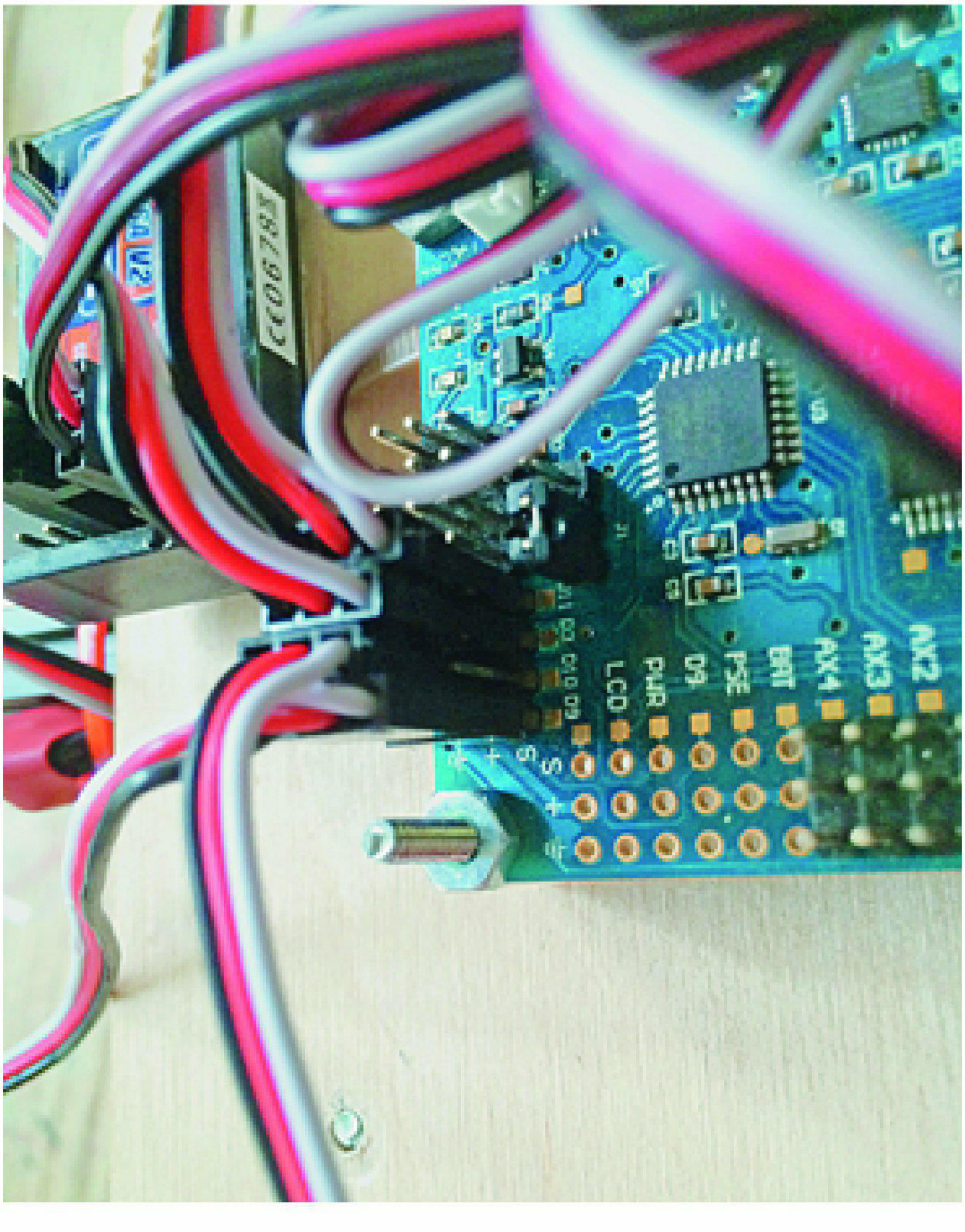


Рис. 10.20. Подключение регуляторов скорости к полетному контроллеру

Заключение

В этой главе вы познакомились с основными типами аккумуляторов, которые используются в моделестроении. Затем вы изготовили жгуты из проводов и подключили их. И наконец, вы подключили приемник радиосигнала и полетный контроллер. В **главе 11** «Строим плавучий дрон» мы построим дрон-корабль и будем бороздить просторы пруда или детского бассейна.

11

Строим плавучий дрон

Читая эту книгу, вы получили представление, как может показаться, о всех классах дронов, но есть еще много интересного. В этой главе вы займетесь постройкой плавучего робота, который держится на воде при помощи пластиковых бутылок из-под содовой (**рис. 11.1**). Прежде чем приступить, сначала следует разобраться в сильных и слабых сторонах плавучих моделей. В этой главе вы получите представление еще о двух вещах: как герметизировать бортовую электронику и как настроить ячеистую (сотовую) сеть XBee для управления роботом. Используя эти ноу-хау, вы построите плавучего робота с дистанционным управлением, а пульт управления соберете своими руками.

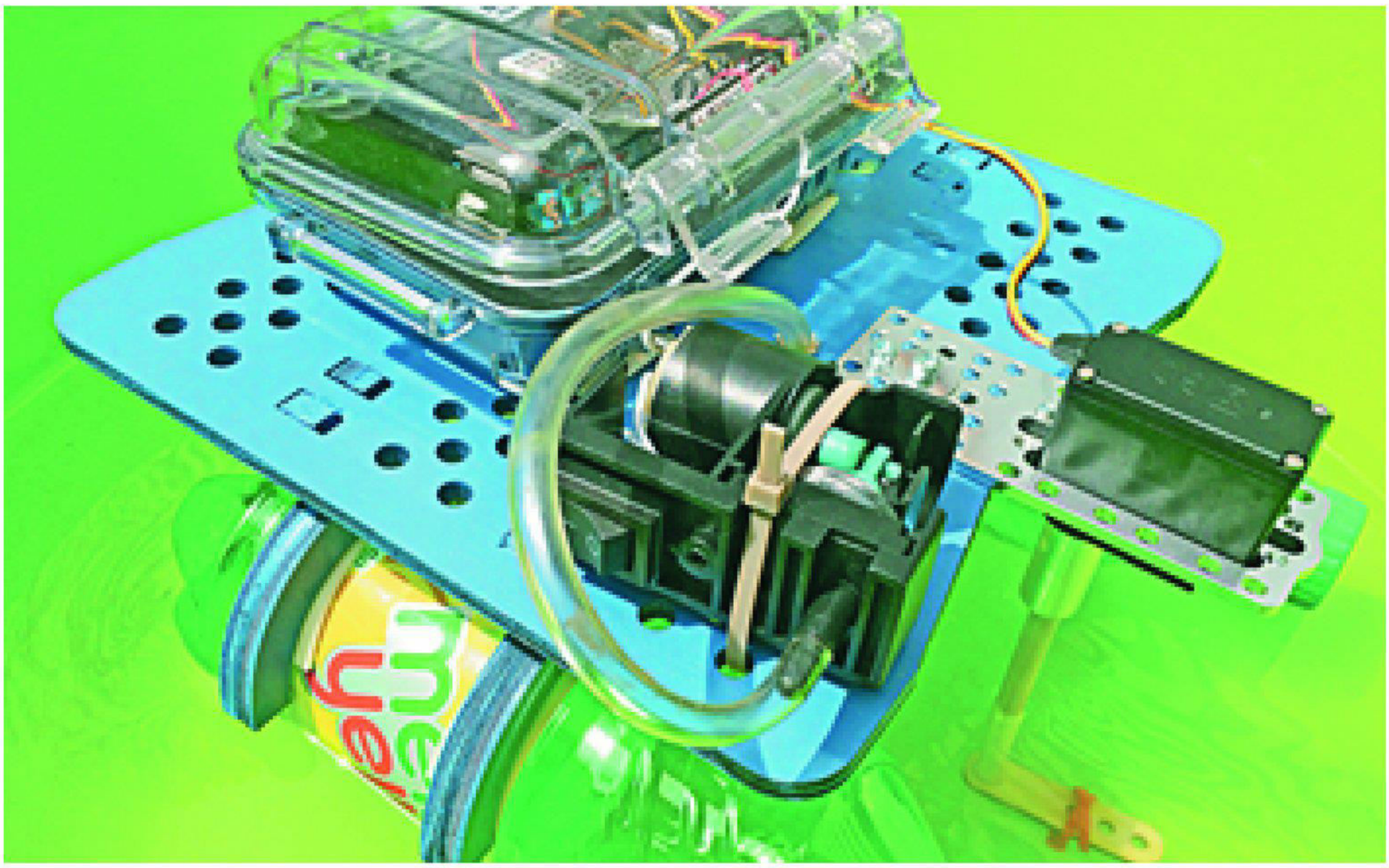


Рис. 11.1. Этот корабль из бутылок из-под содовой может передвигаться по воде

Реалии использования роботов на воде

Всем известно, что, если уронить мобильный телефон в ванну, он придет в негодность и вряд ли снова будет нормально работать. Вода и электроника не уживаются друг с другом. Но при постройке плавучего робота следует позаботиться не только о герметизации.

Трудности

Рассмотрим, с какими трудностями нам придется столкнуться.

- **Вода повреждает электронику.** Arduino и другая электроника выйдет из строя при попадании воды, и ваш робот останется неуправляемым. Однако не все устройства выходят из строя при погружении в воду. Например, простые щеточные двигатели постоянного тока нормально функционируют в воде, если потом дать им высохнуть. Только не погружайте их в соленую воду — это приводит к коррозии частей двигателя.
- **Требуется определенное водоизмещение.** Электроника, вышедшая из строя, и заржавевшие двигатели — список неприятностей на этом не заканчивается. Ваш корабль должен оставаться на плаву, следовательно, понадобится что-нибудь вроде лодки или пон-



Рис. 11.2. Можно построить лодку из чего угодно, например из вафельницы

тона. Первая держится на воде, пока не перевернется. Существует множество вариантов. На **рисунке 11.2** показана лодка, сделанная из вафельницы.

- **Необходим водоем.** В отличие от квадрокоптеров или вездеходов, корабль не запустишь где угодно на заднем дворе, необходим достаточно большой водоем. Ближайший парк — это выход, если там не окажется детей. Забавно, что если в вашем распоряжении есть нечто большее, чем озеро, но волнение может оказаться опасным для небольшого судна.
- **Ваша модель может сломаться или бесследно исчезнуть.** Вполне реальная возможность, если вы имеете дело с достаточно большим водоемом. Если ваш корабль утонул в реке и зарылся в ил, то вы вряд ли достанете его, если, конечно, он не снабжен крепким кабелем. Вот квадрокоптер, даже если он улетел в неведомые дали, в конце концов можно найти, правда, иногда разбитым на мелкие кусочки.

Преимущества водных роботов

Да, трудности есть, и немало, но не отчаивайтесь, есть много и положительных моментов!

- **Меньшее трение.** Плавучим роботам требуются двигатели меньшей мощности по сравнению с другими классами техники, поскольку трение на воде значительно меньше, чем, например, на грунте (в случае роботов, передвигающихся по поверхности). Это хорошо видно на примере парусных судов — даже самый слабый бриз приводит парусник в движение. Данный факт работает на вас, и вы можете использовать самые невероятные вещи для приведения вашей модели в движение. В этой главе вы воспользуетесь воздушным насосом.
- **Более простая конструкция.** Все плавучие модели достаточно просты, обычно требуется всего два двигателя — для перемещения и для управления. Для сравнения: квадрокоптер имеет четыре двигателя, но есть модели с шестью и восемью двигателями — и это обычное явление. Даже вездеход, который вы построите в **главе 13** «Строим управляемый вездеход», имеет четыре двигателя.
- **Большое разнообразие конструкций.** Можно заняться постройкой подводных моделей, можно сосредоточиться на судах на воздушной подушке или обычных лодках. Необязательно зацикливаться на чем-то одном, подходите к делу творчески!

Герметизация бортовой электроники

Основная неприятность, как известно, это попадание воды в бортовую электронику, что приводит к короткому замыканию и выходу устройств из строя. Лучший способ защитить электронику от влаги — это поместить ее в водонепроницаемый контейнер. Ниже рассмотрены три пути герметизации электроники. Есть еще и четвертый — химическая обработка, но он радикально отличается от первых трех.

Пищевой контейнер

Если у вас трудности с деньгами, ищите варианты подешевле. Rubbermaid из набора из семи предметов (**рис. 11.3**) — дешевое и доступное решение. У него уже имеется отверстие, через которое можно пропустить провода, и он не представляет собой настолько большую ценность, чтобы бояться его переделывать.

Другое преимущество данного решения — большой выбор размеров: от контейнеров меньше ладони до контейнеров, способных вместить обед в День благодарения. Я упомянул контейнер для сэндвичей, так как он хорошо подходит по размеру для размещения в нем Arduino и аккумулятора.



Рис. 11.3. Пищевой контейнер — отличное недорогое решение

Следует заметить, что дороговизна контейнера не означает лучшей герметичности. Можно приобрести контейнер за доллар такой же хороший, как контейнеры марки Tupperware.

Контейнеры из серии Pelican-1000

Эти прочные контейнеры предназначены для мобильных телефонов и прочей подобной электроники. Они предохраняют содержимое от чего угодно, включая погружение в воду (на глубину до 1 м на 30 мин), падения и удары. Эти контейнеры имеют толстую резиновую прокладку, которая защищает содержимое от влаги и предохраняет от ударов.

Выбор этих контейнеров может показаться слишком радикальным решением, но цены довольно приемлемые (**рис. 11.4**): Model 1010 (слева) и Model 1020 (справа) стоят 9 и 15 долл. соответственно в зависимости от того, где покупать. Если вас не устраивают такие размеры, производитель может предложить любые размеры вплоть до контейнера, который

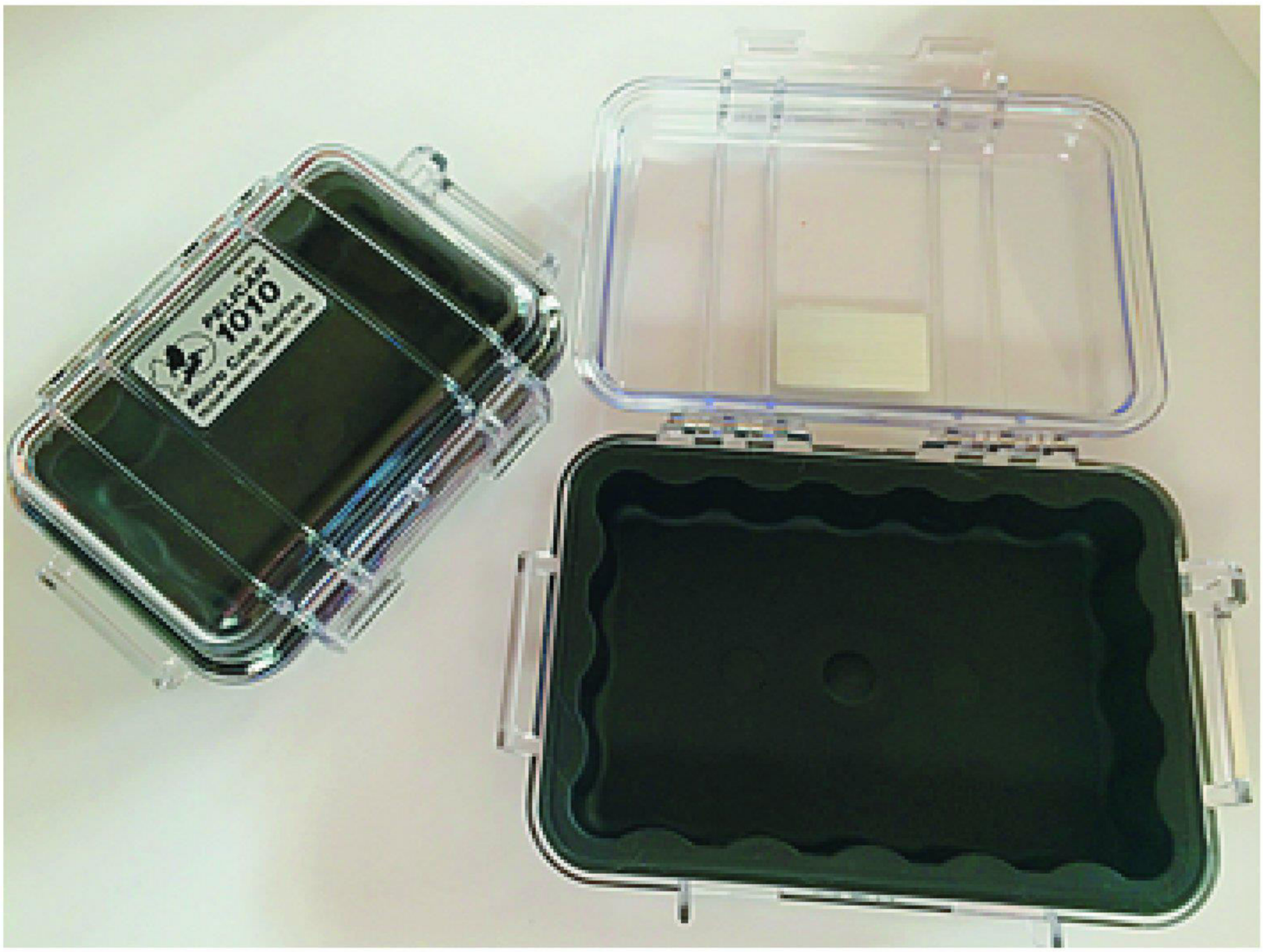


Рис. 11.4. Контейнеры Pelican-1000 достаточно миниатюрны, но прочны и герметичны

придется нести вдвоем. Как и в случае пищевых контейнеров, вам придется производить некоторую доработку, чтобы можно было пропустить провода. Я купил контейнеры Pelican на Amazon, но можно воспользоваться и другими ресурсами.

Упаковка в герметичную трубку

Еще одно решение при создании подводного робота OpenROV вы можете реализовать сами: аккумуляторы помещены в пластиковые трубки, для герметизации используются заглушки (**рис. 11.5**).

В других плавучих моделях используются трубки из ПВХ. Эти трубки можно приобрести в хозяйственном магазине, они находят применение в сантехнике. Есть множество герметичных деталей — разветвлений и изгибов. Многие умельцы используют детали из ПВХ для изготовления различных вещей, но мало кто обращает внимание на герметичность. В привычном смысле такие детали способны не только не выпускать воду наружу, но и не впускать ее вовнутрь.

СОВЕТ

Можно также герметизировать оборудование, покрыв его водоотталкивающим средством, например CorrosionX (**CorrosionX.com**), которое после высыхания предохраняет от влаги. Не ждите чуда: ваше детище не сможет работать под водой, но проблема небольшого дождя или чего-либо в этом роде будет решена.

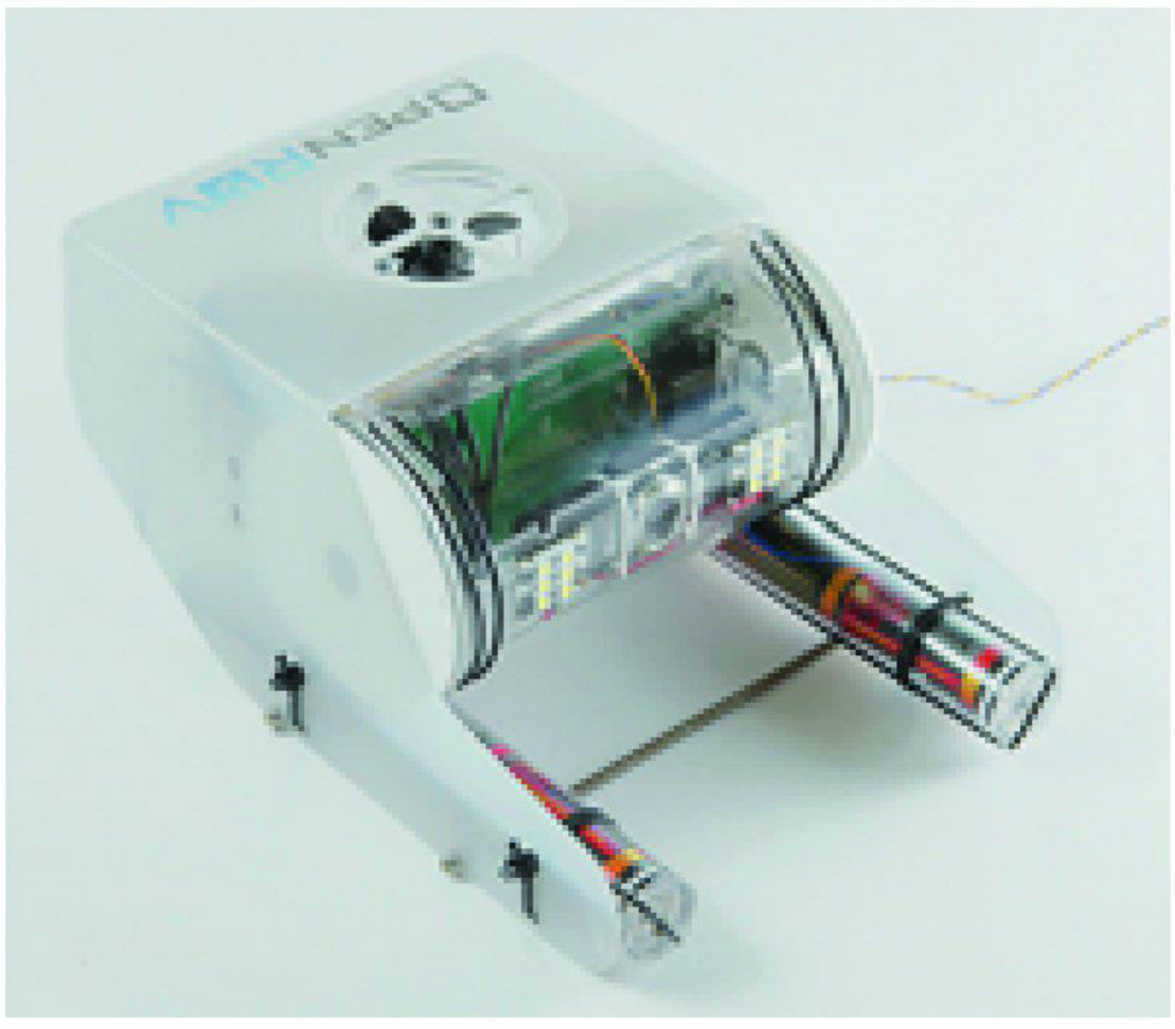


Рис. 11.5. У подводного робота OpenROV аккумуляторы помещены в герметичные трубки

Организация ячеистой сети (Mesh-сети) XBee

Давайте немного сменим тему и поговорим еще об одном способе управления, в частности управления плавучим роботом.

Ячеистая сеть, использующая беспроводные модули XBee (**рис. 11.6**), позволяет связать между собой несколько Arduino. В проекте, который рассматривается в данной главе, мы имеем два узла — это сам робот и пульт управления. Однако данная технология позволяет объединить гораздо больше узлов — 256 и более в зависимости от модели передатчика.

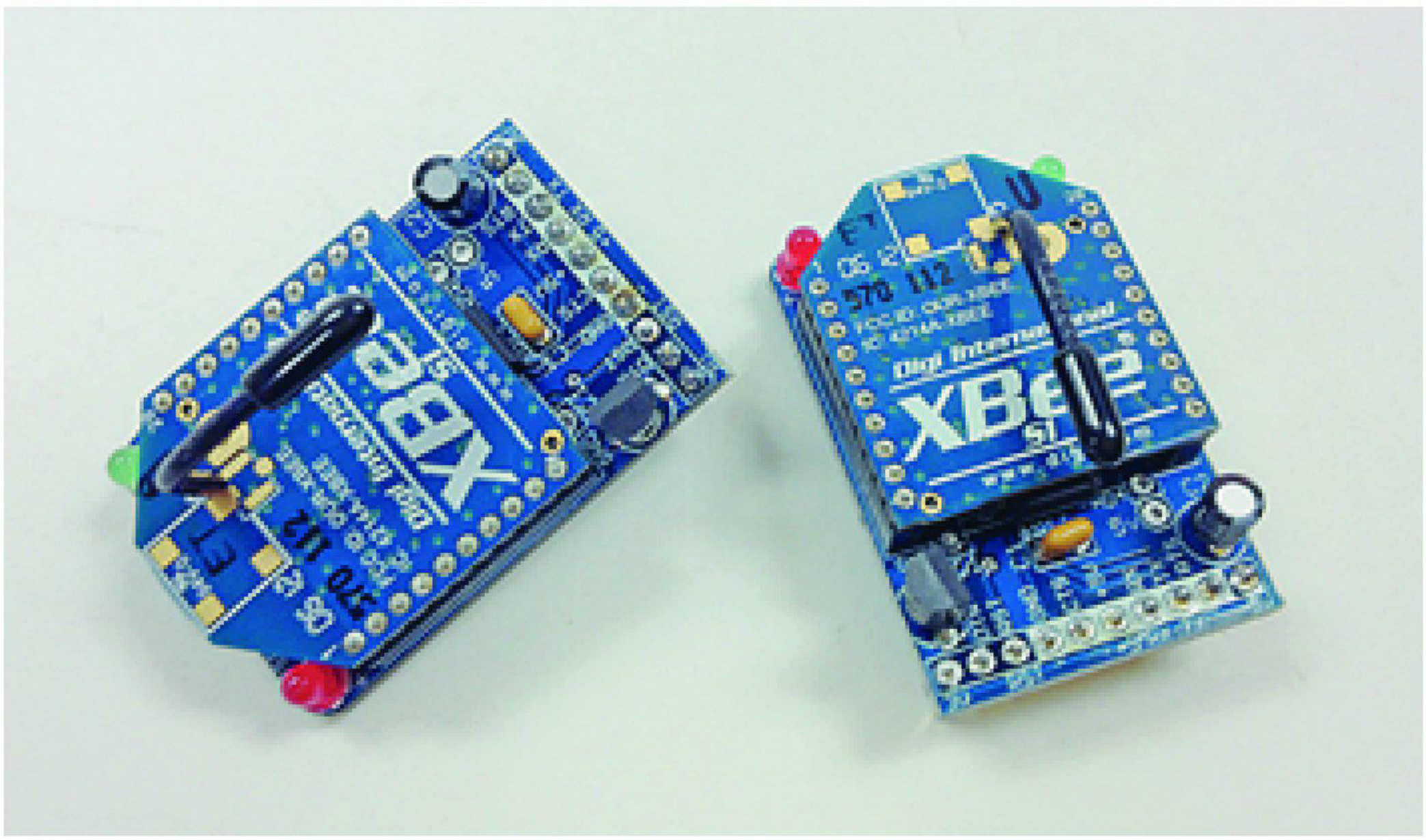


Рис. 11.6. Радиомодули XBee представляют собой готовое решение для дистанционного управления

Ячеистая сеть отличается от сетей с иерархией тем, что все узлы равноправны. Когда вы посылаете команду, ее слышат все приемники. Чтобы адресовать команду определенному радиомодулю, необходимо произвести программную настройку. Возможности довольно широки: модули XBee имеют множество конфигураций, что дает возможность организовать различные типы сетей.

Радиомодули XBee используют стандартный протокол беспроводной связи ZigBee, у которого есть множество настроек и дополнительных возможностей. Мощность сигнала составляет 1 мВт, дальность связи —

80 футов (24 м) в помещении и 300 футов (91 м) на улице. Более дорогая версия «Pro» обладает уже значительно лучшими характеристиками: 140 футов (43 м) и 4000 футов (1219 м) соответственно. Конечно версия «Pro» весьма привлекательна, но на небольших расстояниях можно обойтись и базовым вариантом.

Более подробно об организации своей сети на основе модулей XBee можно прочитать в руководстве Bildr`s XBee (**http://bildr.org/?s=xbee**) и на **Adafruit.com** (**https://learn.adafruit.com/xbeeradios/overview**).

Проект: лодка из пластиковых бутылок

Теперь, когда вы разобрались с герметизацией и организацией сети, можно непосредственно приступить к проекту этой главы — плавучему роботу, состоящему из пары пластиковых бутылок и фанерной палубы (**рис. 11.7**). Он приводится в движение воздушным насосом и управляется при помощи беспроводной технологии, оборудование для которой вы соберете самостоятельно. Начнем!

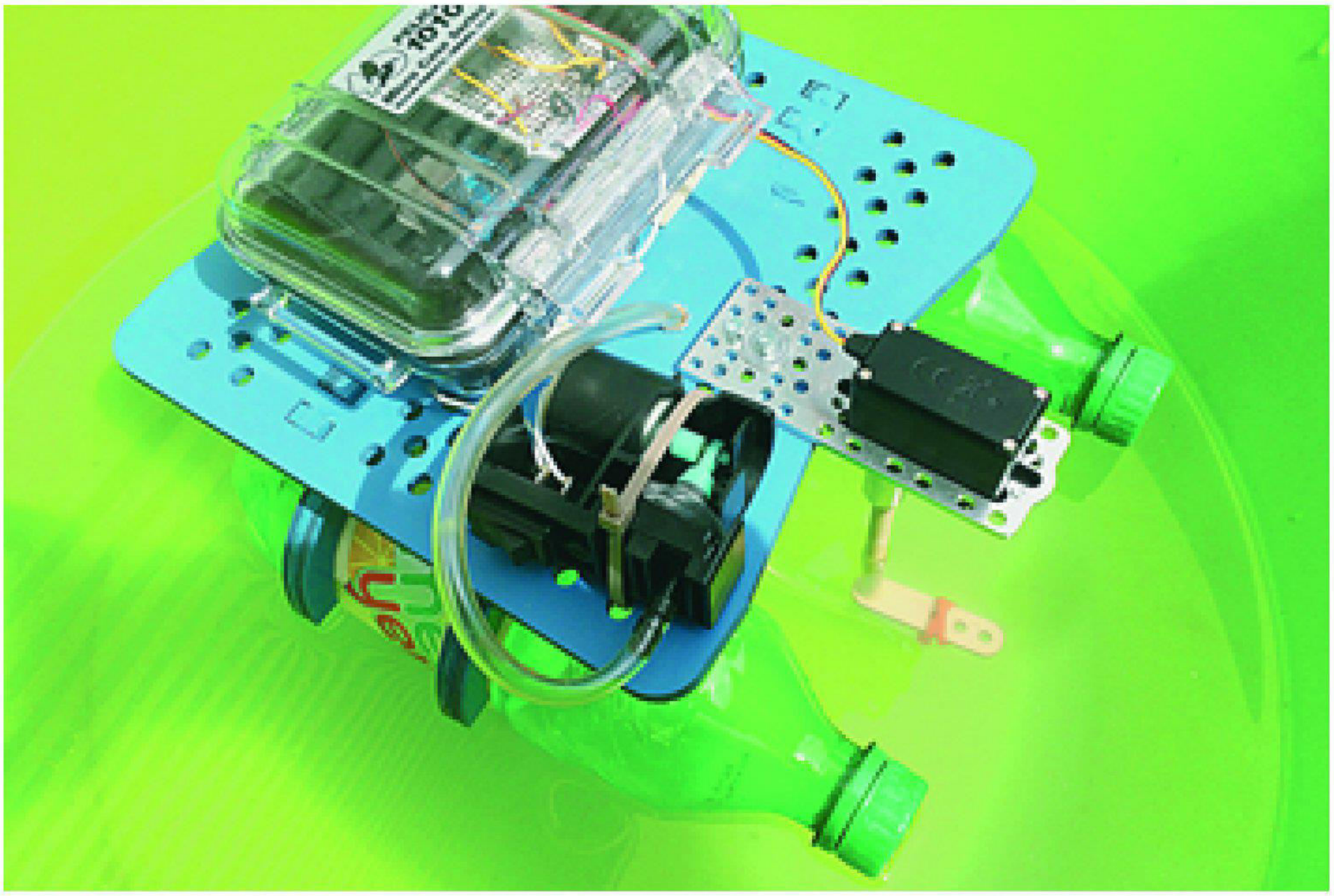


Рис. 11.7. Лодка из пластиковых бутылок приводится в движение воздушным насосом и управляется при помощи беспроводной технологии

ПЕРЕЧЕНЬ КОМПОНЕНТОВ

Для постройки лодки из пластиковых бутылок вам понадобится следующее:

- Палуба для оборудования, изготовленная при помощи лазера (образец можно скачать на **http://thingiverse.com/jwb**). Используйте фанеру толщиной $^{1}/_{8}$ дюйма (3 мм).
- Пластиковая бутылка из-под содовой, 2 шт. Я взял стандартные бутылки емкостью 20 oz (0,6 л) и диаметром 2,7 дюйма (7 см) под этикеткой, немного расширяющиеся за этикеткой и имеющие горлышко диаметром 1 дюйм (≈ 2,54 см). Если у вас другие, вам придется соответственно изменить конфигурацию палубы для оборудования.
- Контейнер Pelican (P/N 1010).
- Arduino UNO.
- Радиомодуль XBee, 2 шт. Советую приобрести Series 1 на **SparkFun.com** (P/N 8665). Вам понадобятся два модуля!
- Переходная плата для радиомодулей (SparkFun P/N 11373), 2 шт.
- Воздушный насос, питающийся от аккумулятора. Чем легче, тем лучше! Вы найдете эту безделушку в зоомагазине. Я приобрел его на сайте компании Marina (P/N 11134).
- Трубки. Я взял трубки для напитков Tygon B-44-3, но вам необязательно искать предназначенные для пищевых продуктов. Подойдут любые трубки, имеющие внешний диаметр $^{1}/_{4}$ дюйма (≈6 мм) и внутренний $^{3}/_{16}$ дюйма (5 мм). Я купил их на **Amazon**.
- Сервопривод. Водонепроницаемый двигатель вроде Hitec P/N 35646S неплох, но это в нашем случае перебор. Подойдет любой миниатюрный двигатель. Я остановил свой выбор на Hitec HS422. Этот и другие сервоприводы можно приобрести на **ServoCity.com**
- Площадка для крепления сервопривода. Я использовал Actobotics P/N 575144.
- Адаптер для сервопривода (Actobotics P/N HSA250). Предохраняет конец рычага при креплении на ось серводвигателя.
- Рычаг диаметром 0,25 дюйма (6,35 мм) и длиной 3–4 дюйма (7,6–10 см).
- Кнопочный выключатель, который отключается при отпускании, 3 шт. Подойдет SparkFun P/N 9190.
- Макетная плата, 2 шт. Я советую перфорированные феонитовые макетные платы (Jameco P/N 616690 или Sparkfun Protoshield P/N 7914).
- Штыревые пины (Sparkfun P/N 12693).
- Транзистор TIP 120 Дарлингтон (Adafruit P/N 976) — электронный выключатель, включающий насос при поступлении сигнала от Arduino.
- Светодиод, 2 шт. Понадобятся лишь две штуки, поэтому подойдут любые из ваших запасов.
- Резистор на 220 Ом, 2 шт. На **SparkFun.com** продается набор (P/N 10969), в котором его можно найти.

- Диод 1N40001 (Adafruit P/N 755).
- Двусторонний скотч.
- Провода.
- Стяжки.

Постройка дрона

Когда вы приобрели все необходимое, можно заняться сборкой. Сначала вы соберете лодку, а затем займетесь управляющей электроникой.

1. Изготовьте палубу при помощи лазера. Готовые ножки показаны на **рис. 11.8**. Честно говоря, эти ножки можно изготовить также при помощи клейкой ленты и картона, они необязательно должны соответствовать тому, что изображено на рисунке. Если ножки держатся на бутылках, а все оборудование находится на расстоянии от воды, то все в порядке.

2. Соберите палубу, склеив все детали (**рис. 11.9**). Когда клей высохнет, покройте палубу двумя слоями аэрозольной краски для защиты от влаги.



Рис. 11.8. Палуба будет стоять на ножках, которые будут опираться на бутылки

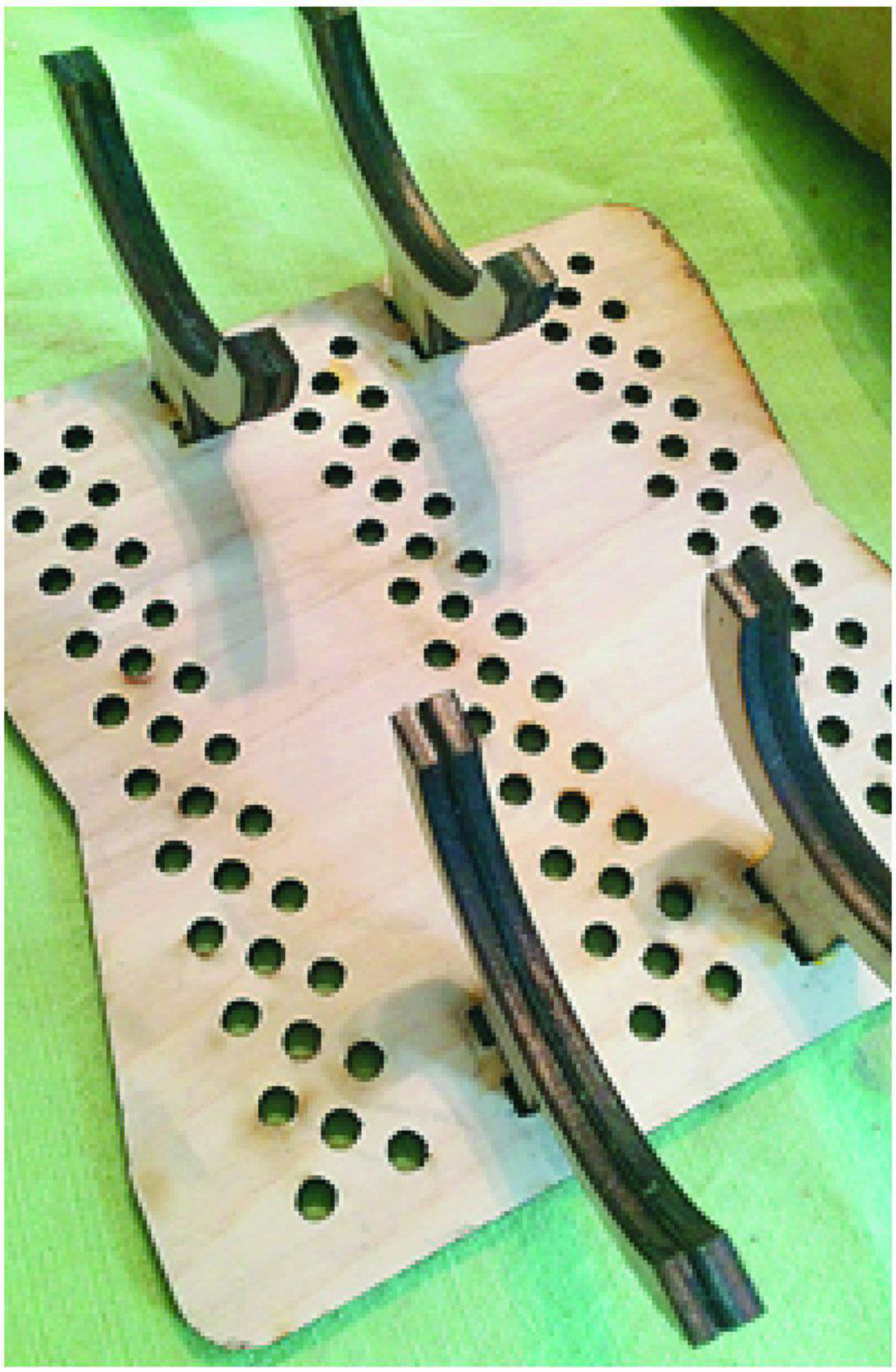


Рис. 11.9. Соберите палубу

3. Закрепите контейнер Pelican на палубе (**рис. 11.10**) двусторонним скотчем или стяжками. А можно просверлить отверстия в площадке и прикрепить ножки шурупами, но это повлияет на их влагостойкость. На рисунке палуба установлена на бутылки, но еще не закреплена на них.



Рис. 11.10. Закрепите контейнер Pelican на палубе

4. Присоедините переходную плату, следуя пошаговой инструкции:
   1) Установите штырьковые пины на переходную плату (**рис. 11.11**), они должна соответствовать пинам Arduino. Можно воспользоваться Arduino, чтобы установить контакты правильно.

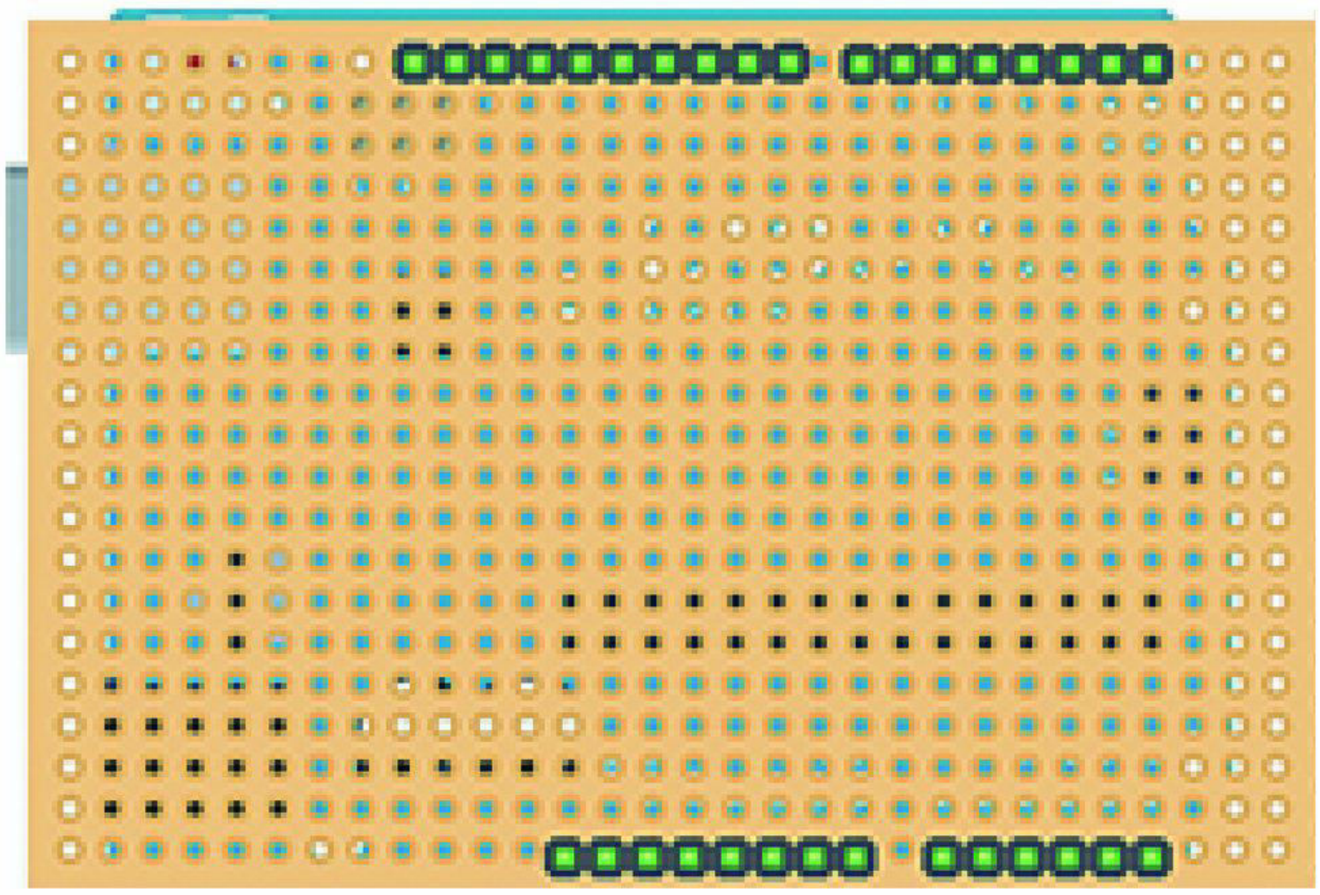


Рис. 11.11. Установите штырьковые пины на переходную плату

   2) Установите модуль XBee Explorer на макетную плату и соедините проводами его пины с соответствующими пинами Arduino. Контакт Data out (выход данных, розовый провод на **рис. 11.12**) соединяется с пином 3 Arduino, а контакт Data In (вход данных, синий провод) — с пином 2. Power (питание, красный провод) и Ground («земля», коричневый провод) соединяются с соответствующими пинами Arduino.

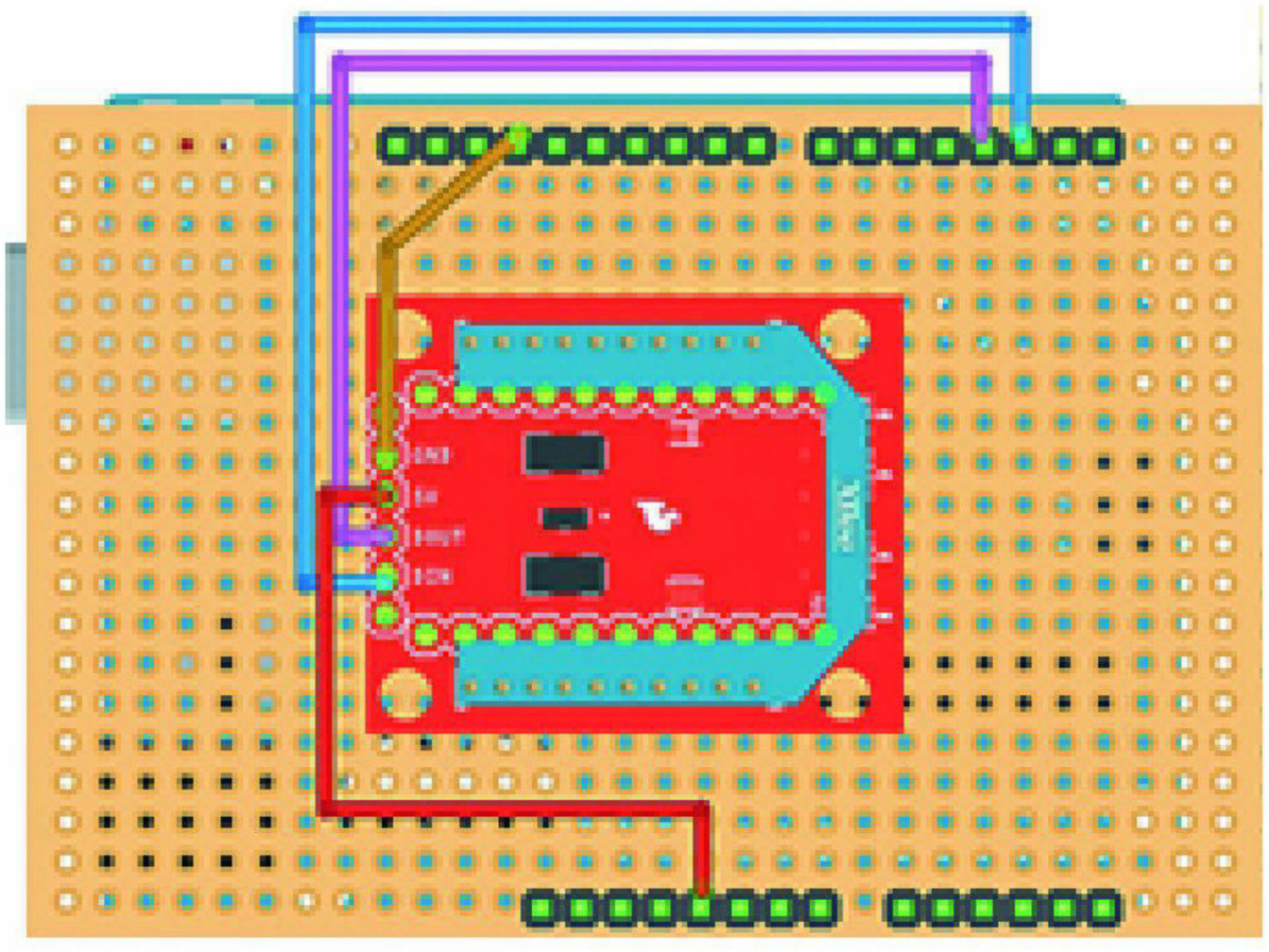


Рис. 11.12. Установите модуль XBee Explorer

3) Установите сигнальный светодиод, который загорается при включении питания Arduino. Подключите анод (длинная ножка) светодиода к пину 5V через резистор 220 Ом (оранжевый провод на **рис. 11.13**). Подключите катод (короткая ножка) светодиода к «земле» (черный провод).

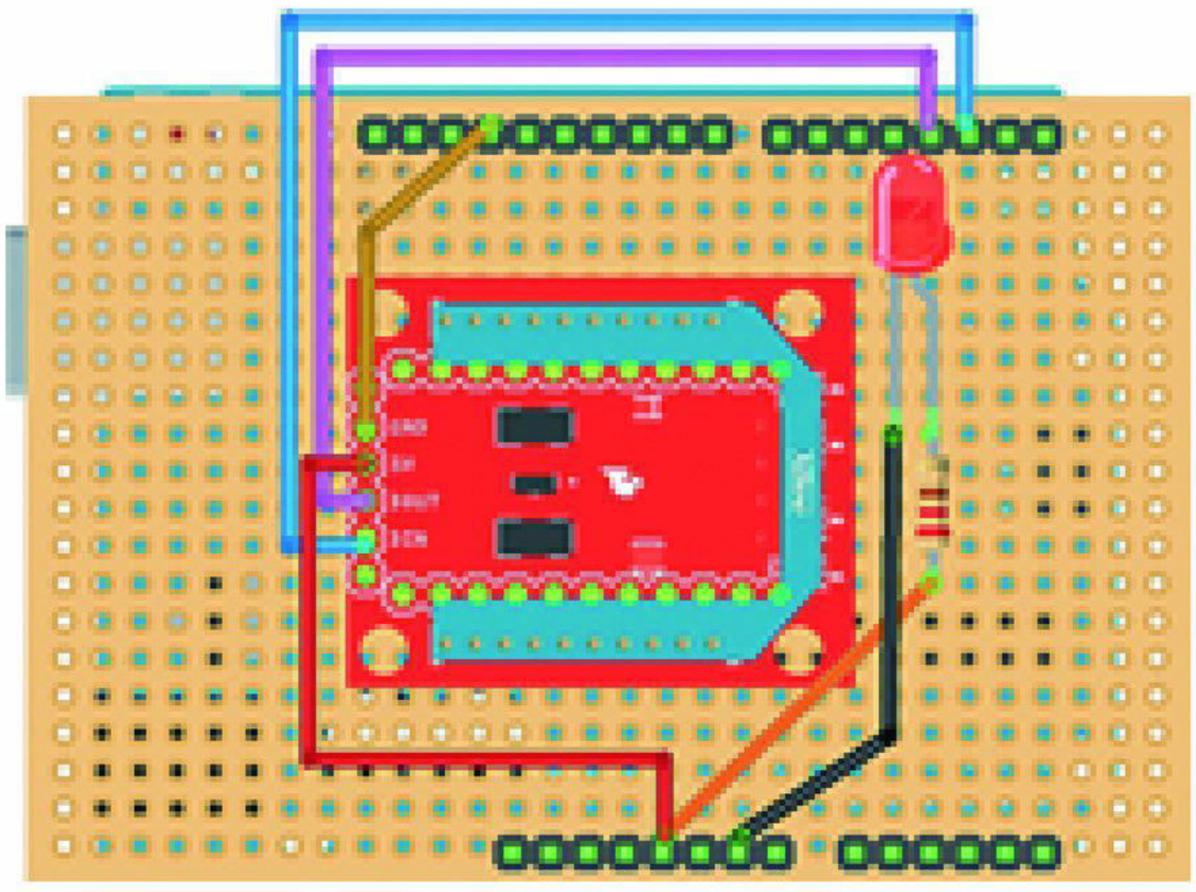


Рис. 11.13. Подключите светодиод через резистор к пину 5V

4) Установите на плате модуля XBee транзистор TIP120; самый левый его контакт (база) подключите к пину 11 Arduino через резистор 2,2 кОм (на **рис. 11.14** это подключение отмечено фиолетовым проводом). Самый правый контакт (эмиттер) подключите к «земле» Arduino (оранжевый провод на рисунке).

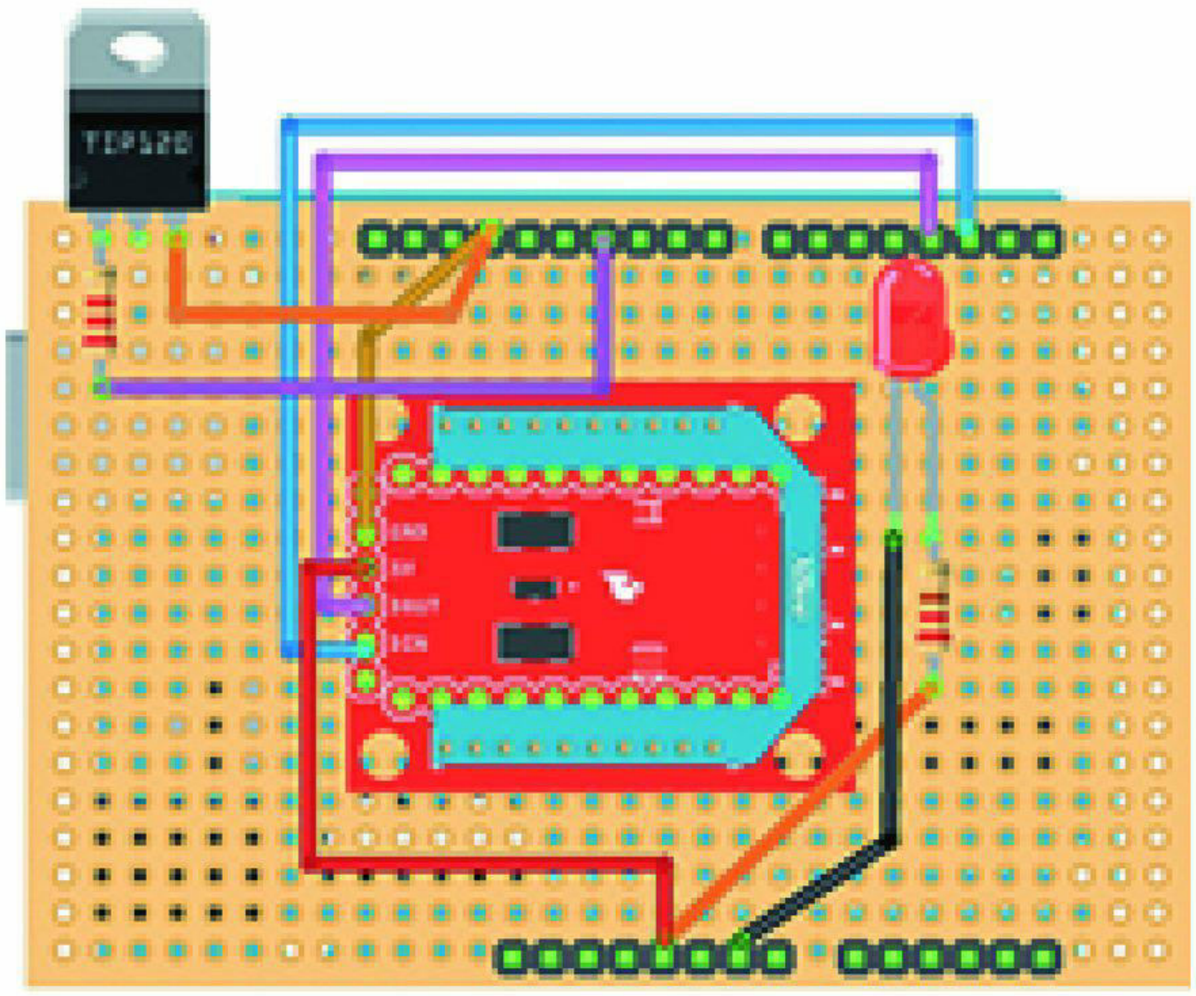


Рис. 11.14. Установите транзистор TIP120 на плату модуля XBee

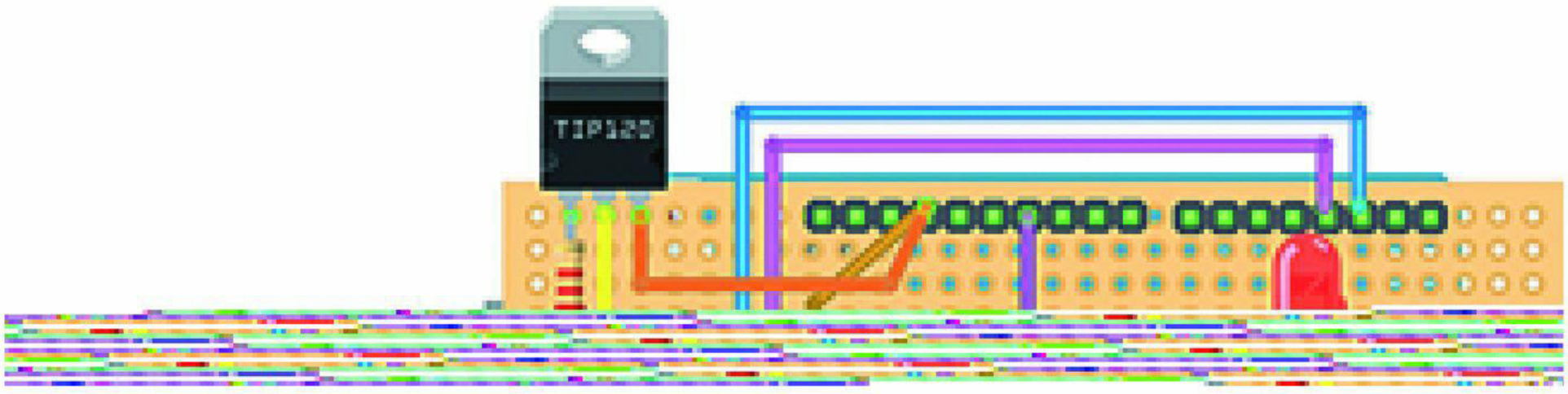


Рис. 11.15. Подключите насос и диод

5) Подключите насос и диод. Диод предохраняет двигатель от произвольного обратного вращения. Вообще весьма полезно всегда подключать таким образом двигатель постоянного тока (которым, по сути, и является насос). Один вывод двигателя (зеленый провод на **рис. 11.15**) подключается к разъему 3.3V Arduino, а другой (желтый провод) — к центральному выводу транзистора, который называется коллектором.

6) Добавьте серводвигатель. Желтый провод с белыми полосками (**рис. 11.16**) является управляющим и подключается к цифровому

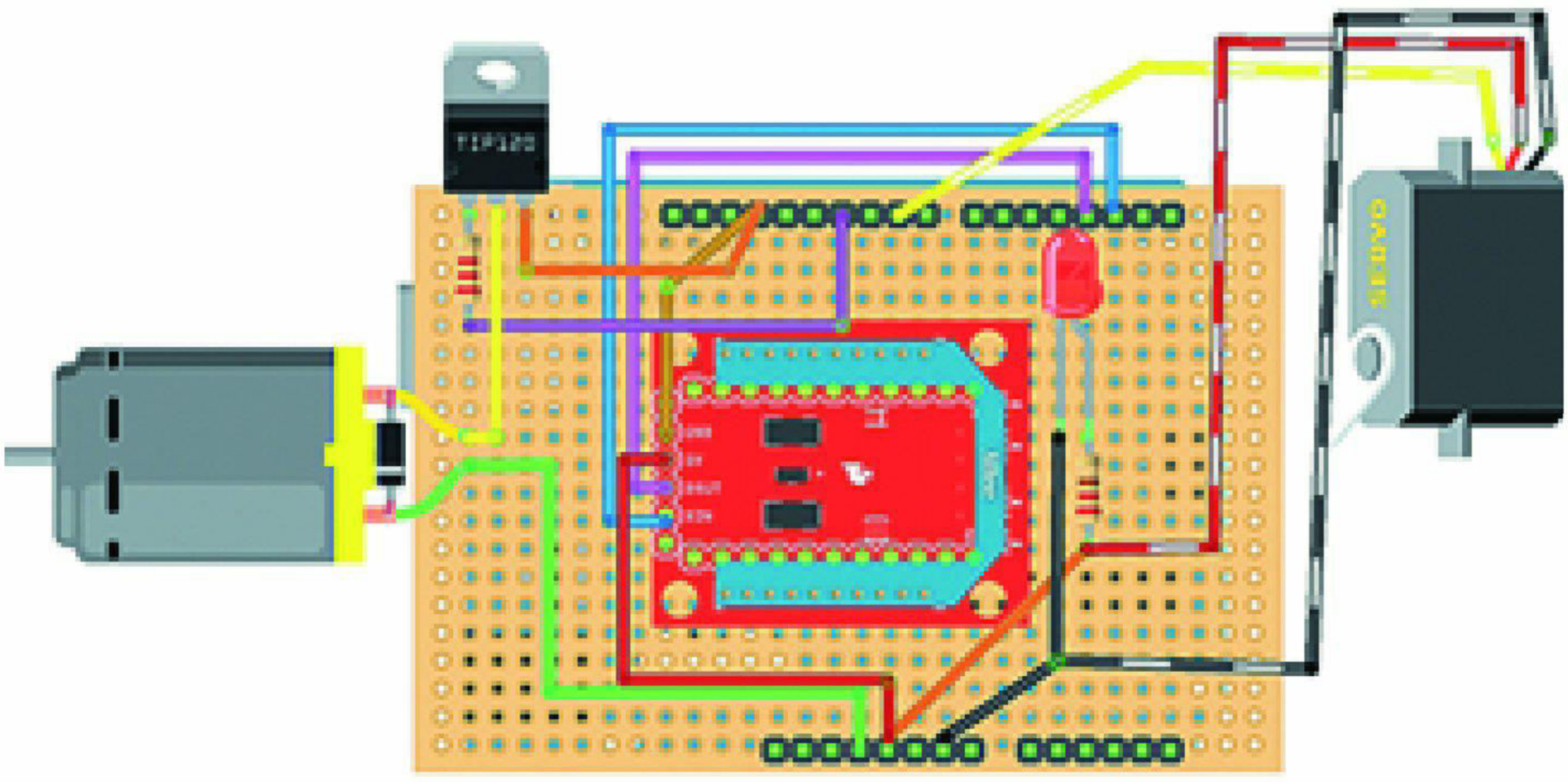


Рис. 11.16. Установите серводвигатель

пину 9 Arduino. Остальные два провода, красный и черный (оба тоже с белыми полосками) подключаются соответственно к пину 5V и «земле». Вы постоянно будете сталкиваться с тем, что концы проводов серводвигателя снабжены клеммами. В этом случае можно припаять разъем типа «вилка» и подключить двигатель.

7) Когда вы собираетесь подключить питание к дрону, вставьте батарейку 9 В в держатель и подключите ее к разъему питания Arduino.

5. Закрепите воздушный насос на палубе при помощи стяжки (**рис. 11.17**). Выходное отверстие можно направить в любую сторону, поскольку направление потока зависит от того, куда направлен конец пластиковой трубки.

6. Прикрепите серводвигатель к палубе на специальной площадке (**рис. 11.18**).

7. Прикрепите рычаг к серводвигателю с помощью соединительного валика (**рис. 11.19**). Просто продвиньте его по шлицам ступицы и закрепите винтом, который идет в комплекте с двигателем. Сдвиньте рычаг на 5 мм к концу валика и закрепите прилагающимся винтом. Затем приклейте держатель для трубки на конец рычага — вы изготовите его из остатков материала палубы.

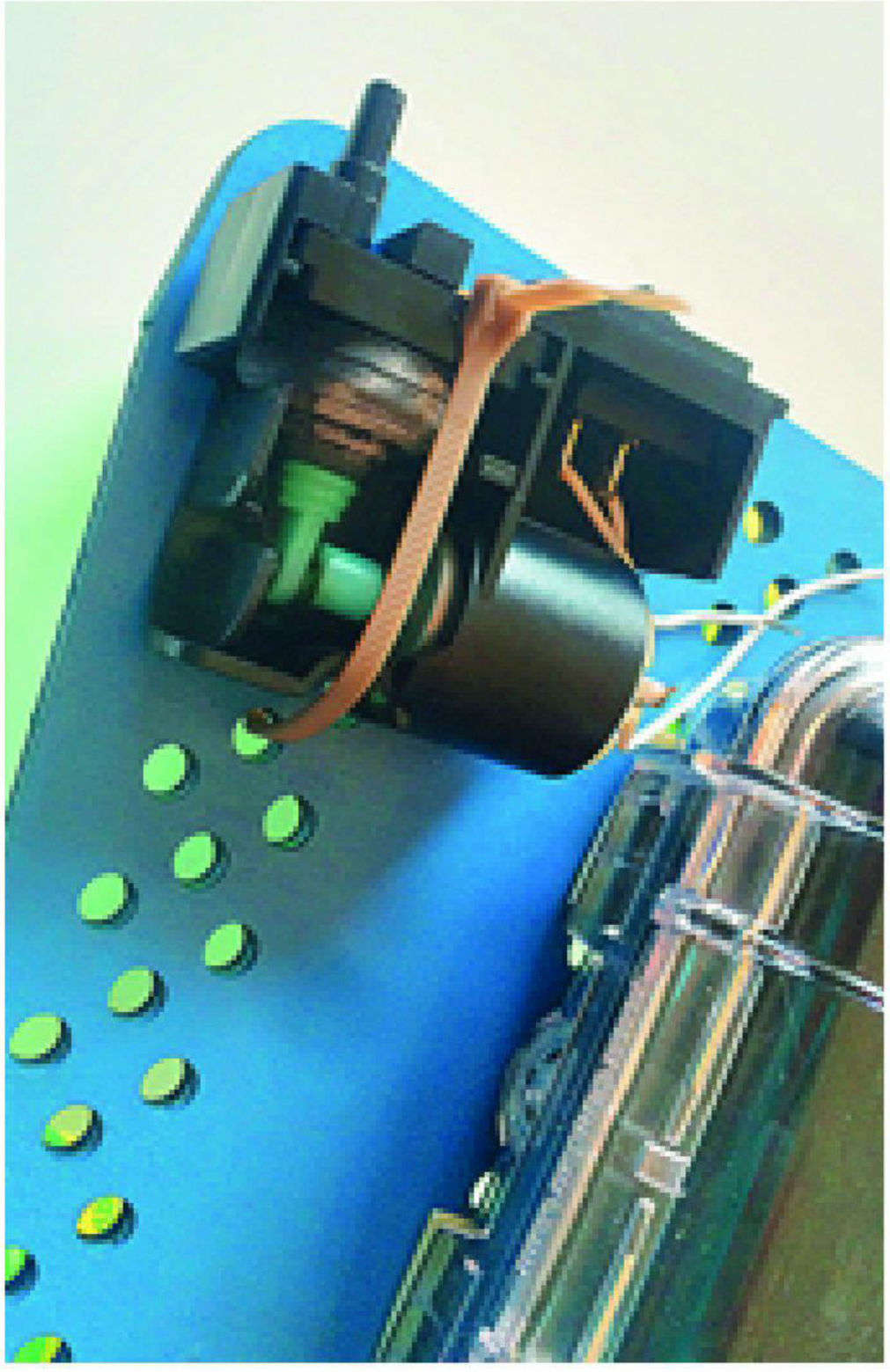


Рис. 11.17. Закрепите насос стяжкой

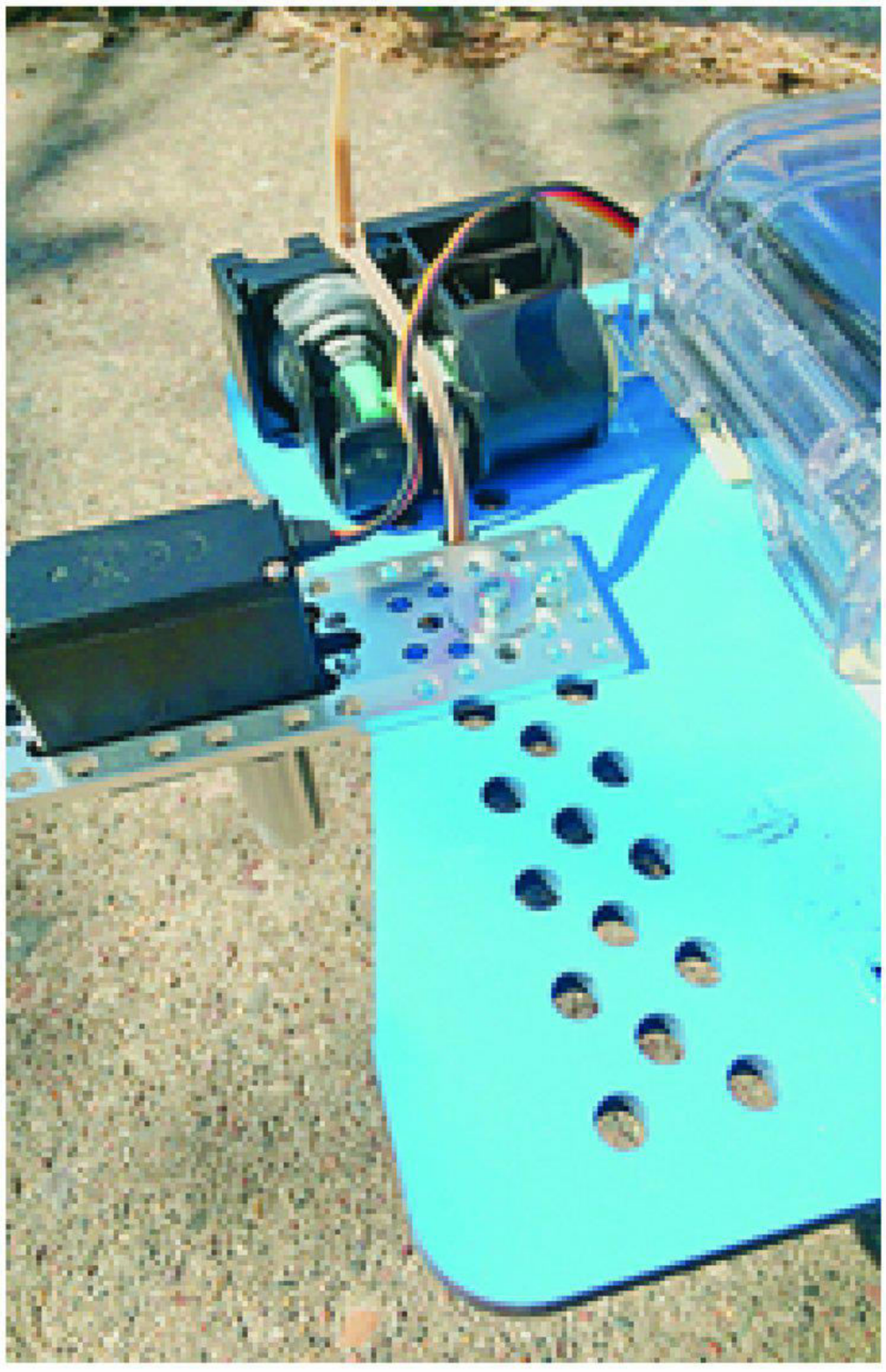


Рис. 11.18. Прикрепите серводвигатель

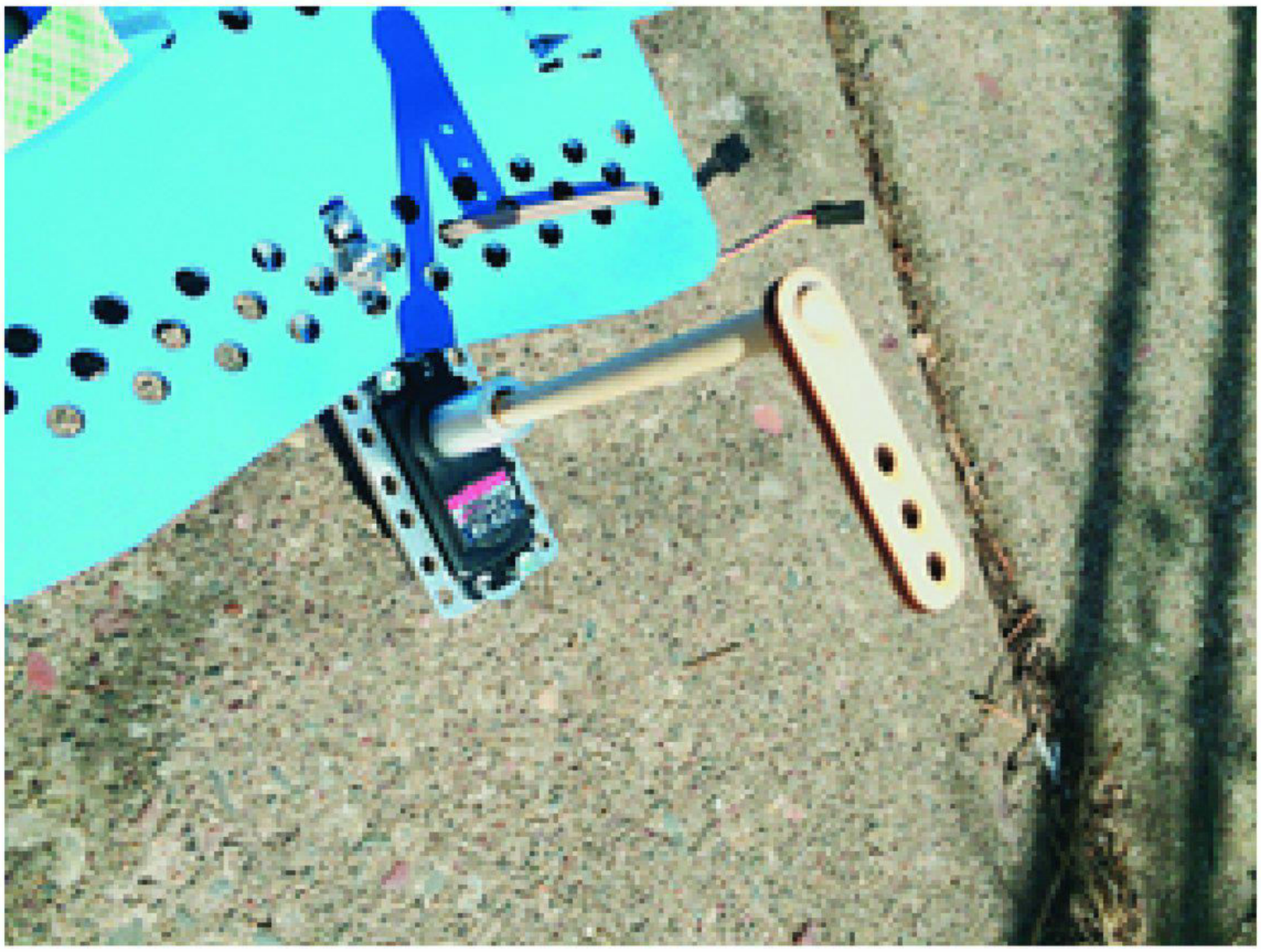


Рис. 11.19. Закрепите рычаг на серводвигателе

8. Поместите бортовую электронику в контейнер Pelican, убедившись, что длина проводов достаточна для установки насоса и серводвигателя на свои места (**рис. 11.20**). Вам придется доработать контейнер, чтобы вывести провода наружу. Это ухудшит водонепроницаемость, но без такой жертвы не обойтись!

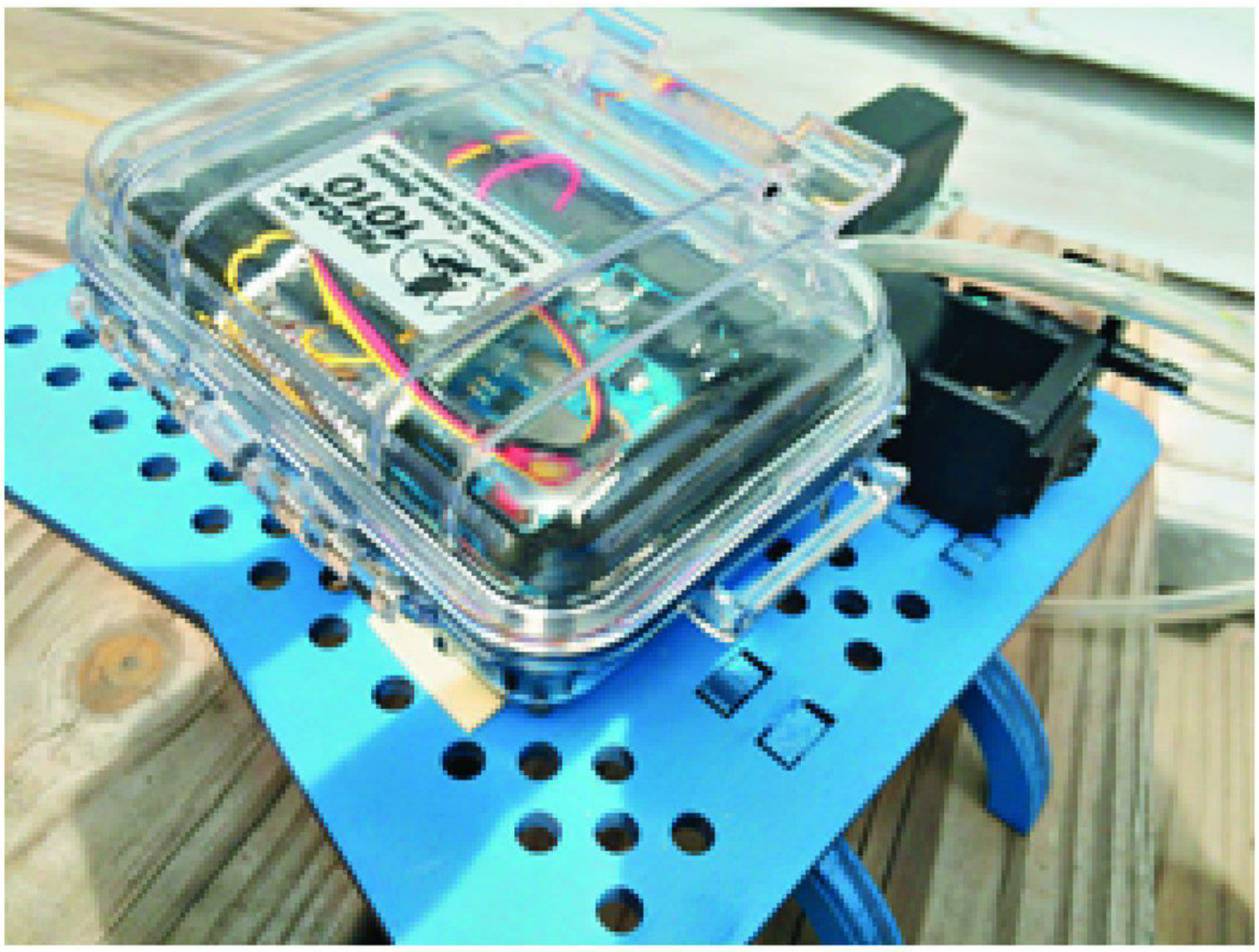


Рис. 11.20. Поместите бортовую электронику в контейнер Pelican

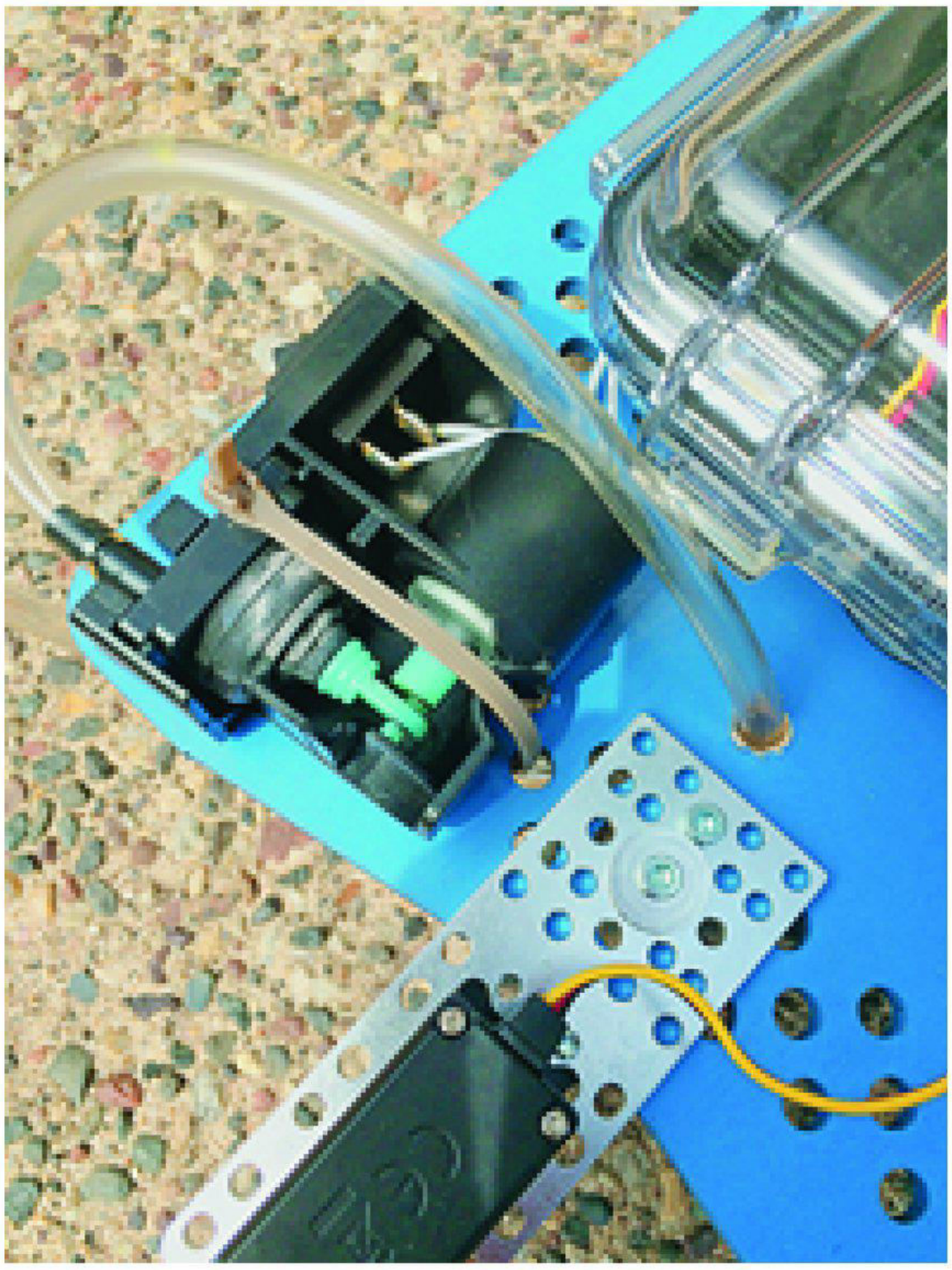


Рис. 11.21. Пропустите трубку в отверстие шасси

9. Подсоедините трубку к насосу и пропустите ее в отверстие палубы — просверлите его в случае необходимости (**рис. 11.21**).

10. Закрепите стяжкой трубку на рычаге (**рис. 11.22**).



Рис. 11.22. Направьте трубку по ходу вашей модели

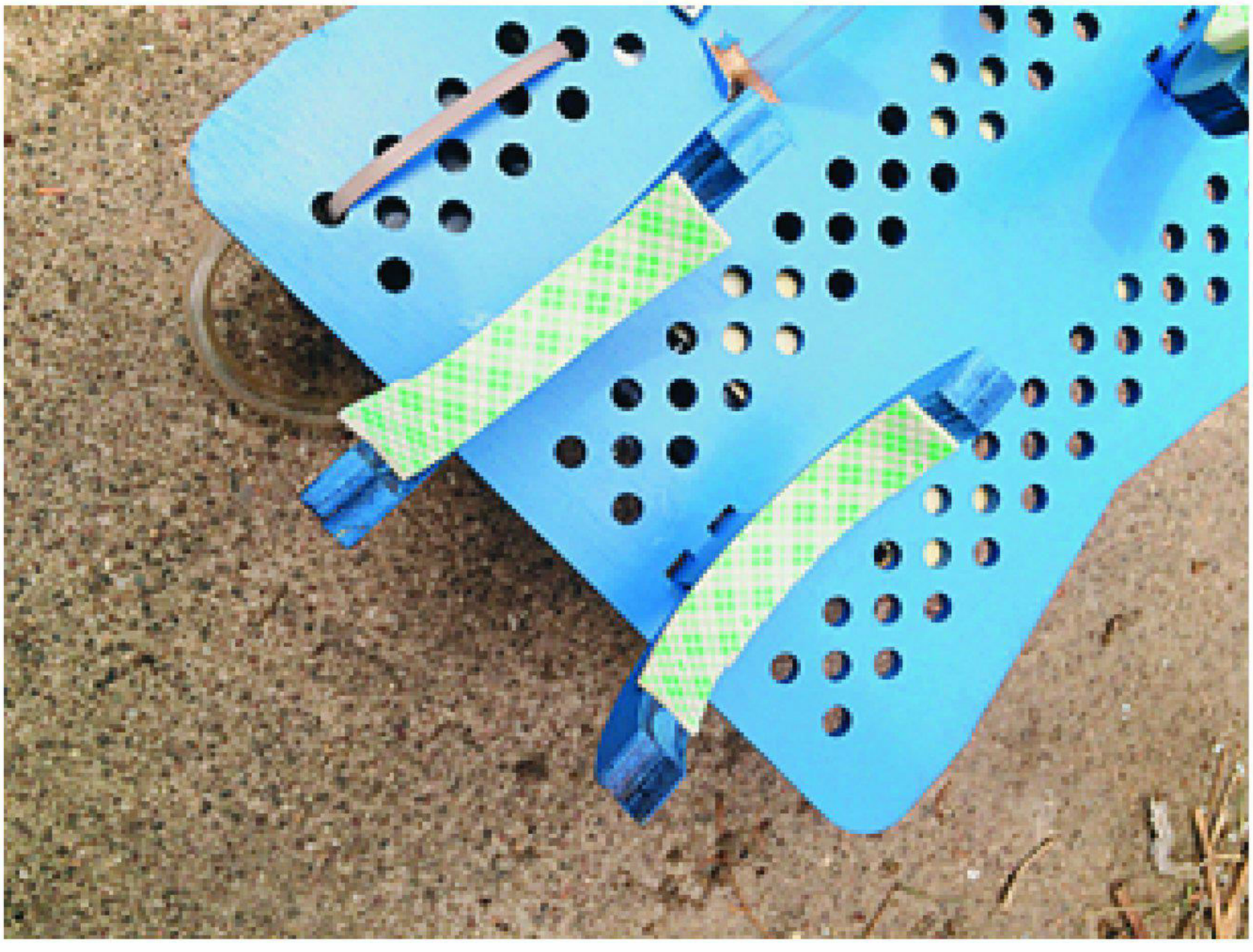


Рис. 11.23. Наклейте двусторонний скотч на места крепления бутылок

11. И, наконец, прикрепите бутылки к палубе двусторонним скотчем (**рис. 11.23**). Просто протяните скотч вдоль участков соприкосновения бутылок и палубы.

Сборка пульта управления

Пульт управления похож на бортовую электронику — та же плата XBee, тот же Arduino, но имеется еще пара кнопок для управления двигателями. Следуйте следующей пошаговой инструкции:

1. Соберите управляющую электронику. Вот этапы сборки:

1) Установите на плату штырьковые пины (**рис. 11.24**) так же, как вы сделали это при сборке бортовой электроники.

2) Установите модуль XBee Explorer на макетную плату и соедините проводами штырьковые соединители с соответствующими пинами Arduino, как и раньше в п. 4 при построении дрона. Я взял провода тех же цветов: Data out соединяется с цифровым пином 3 Arduino (розовый провод на **рис. 11.25**), Data In (голубой провод) — с разъемом 2. Power (красный) и ground (коричневый) соединяются с соответствующими пинами Arduino.

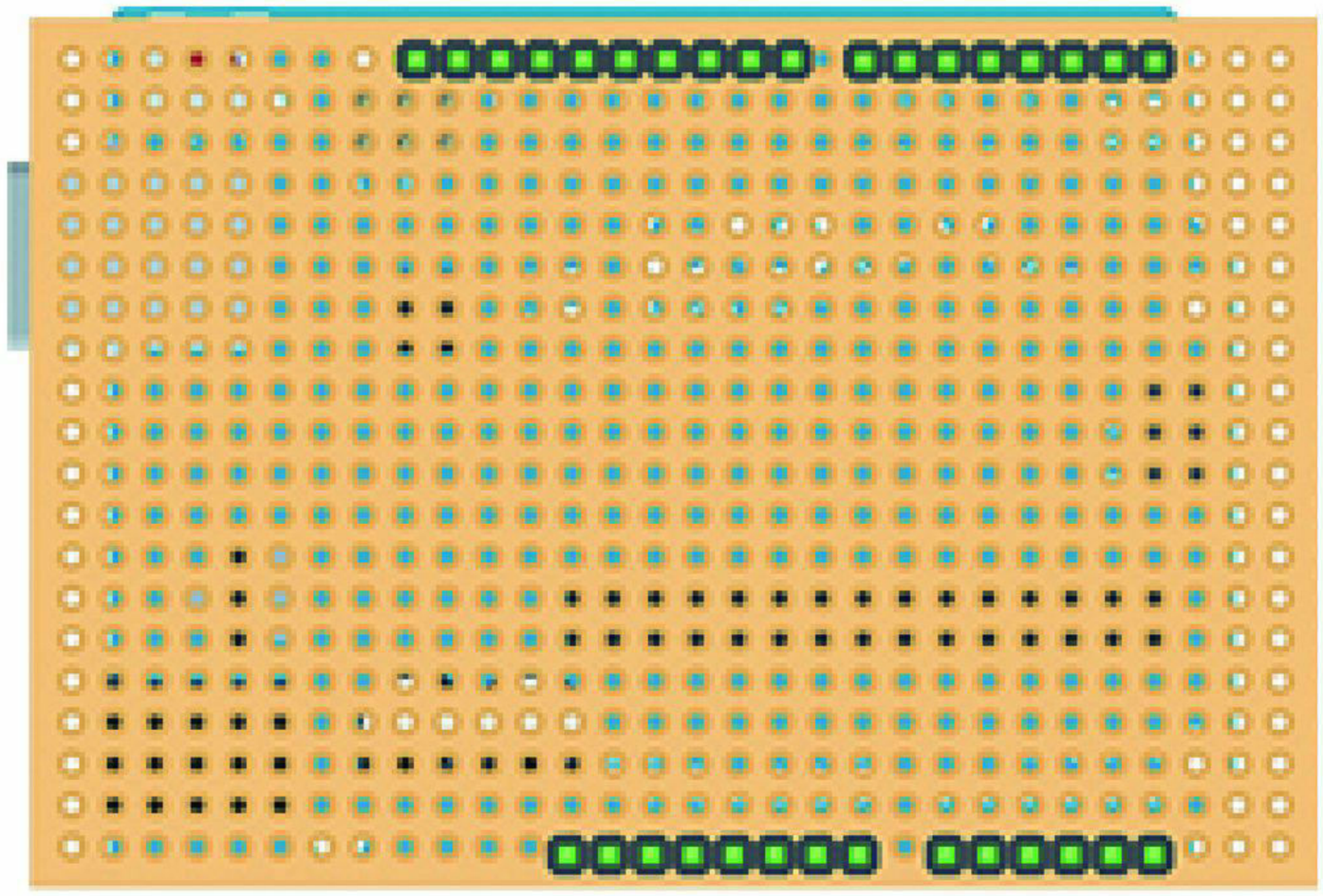


Рис. 11.24. Установите на плату контактные группы пинов

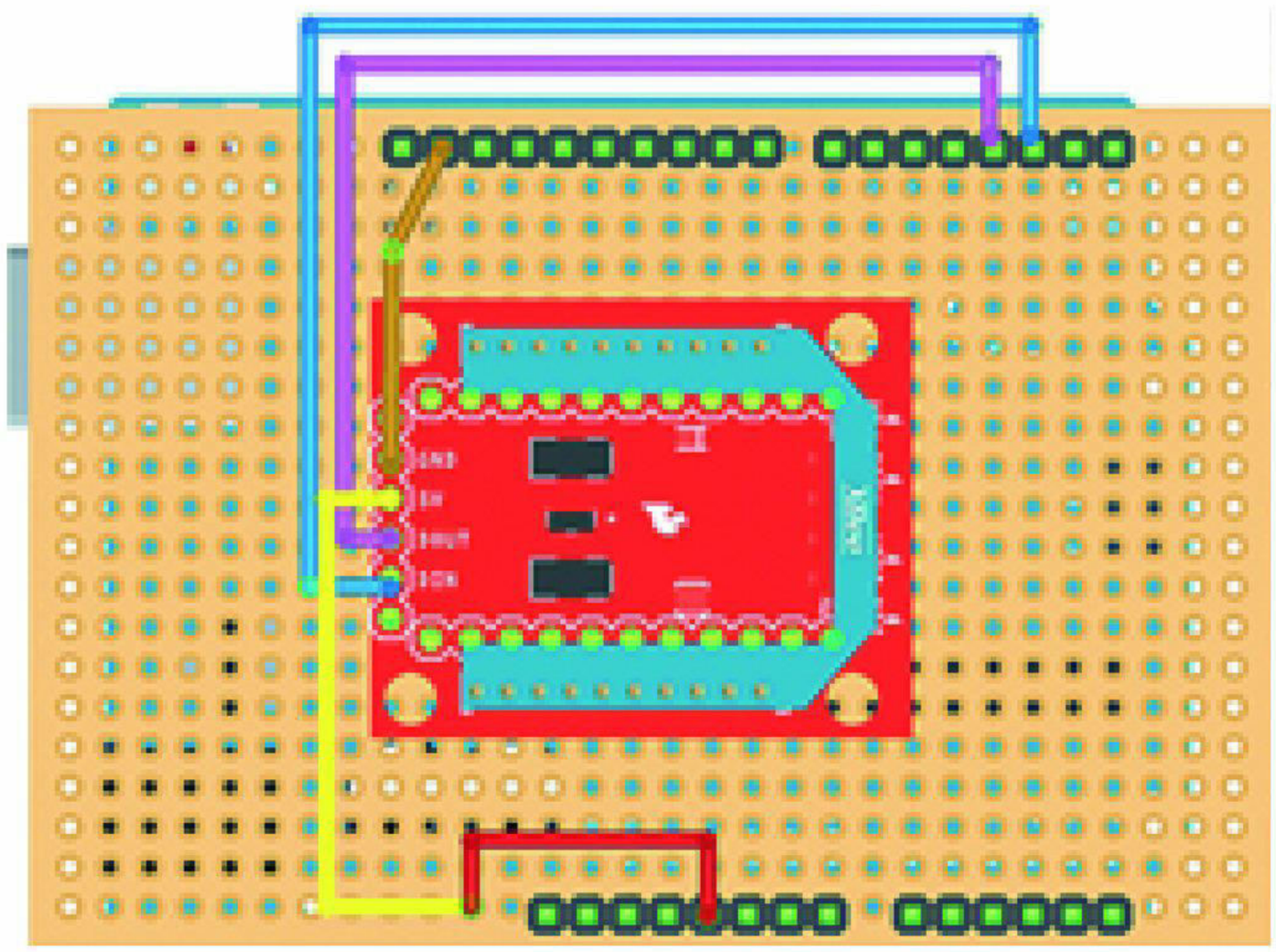


Рис. 11.25. Установите модуль XBee Explorer на плату

3) Припаяйте сигнальный светодиод, как вы уже делали ранее: соедините пин 5V с анодом светодиода через резистор 220 Ом (оранжевый провод на **рис. 11.26**), а катод соедините с «землей» (на рисунке это серый провод).
4) Установите две кнопки. От каждой из них идет провод на пин 5V (розовые провода на **рис. 11.27**); минусовой контакт соединяется с цифровым пином Arduino — пин 6 (оранжевый провод) и 7 (зеленый) для каждой из кнопок. Наконец соедините минусовой контакт с «землей» через резистор 2 кОм (черный провод на рисунке). Пульт управления готов!

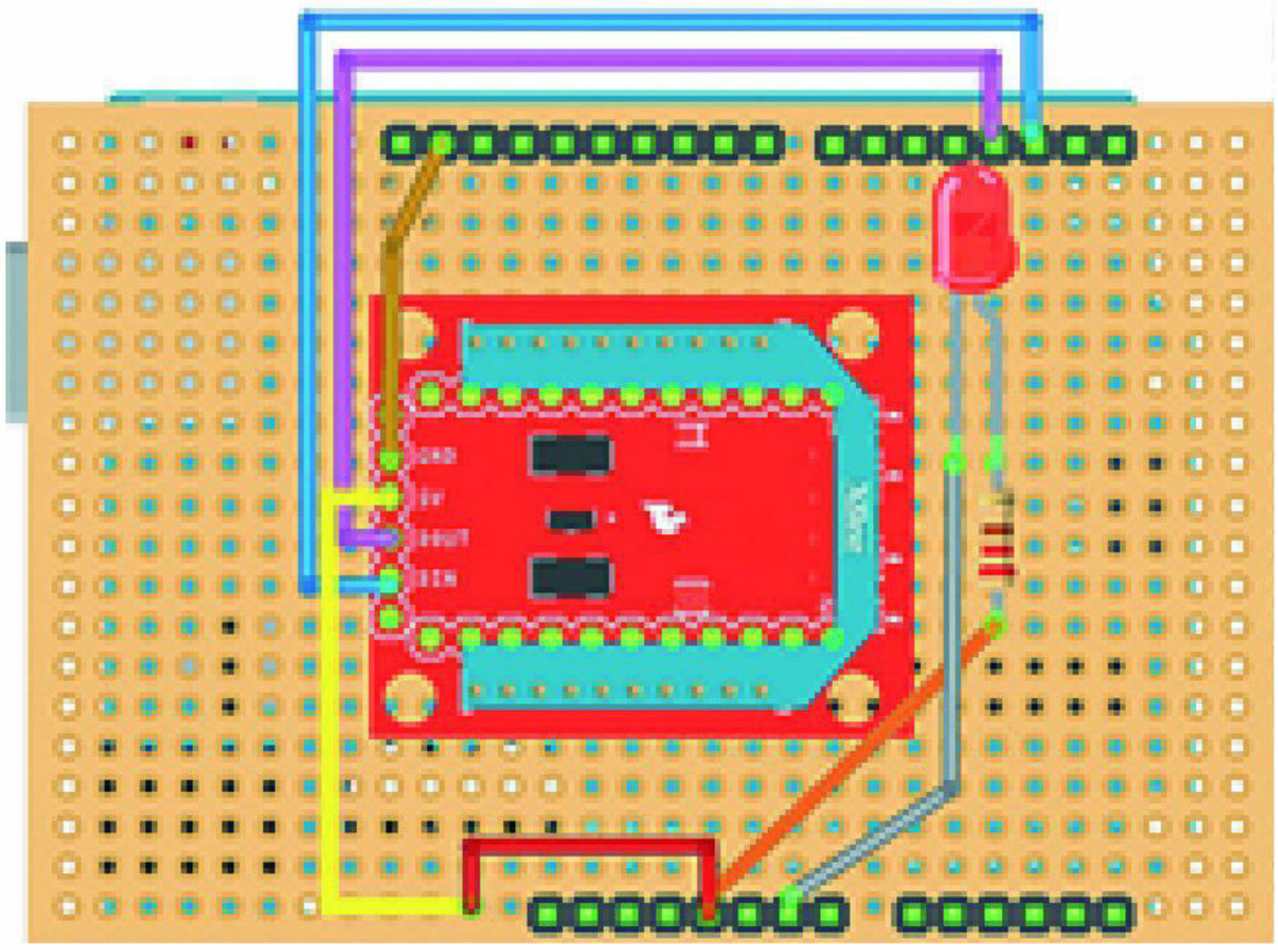


Рис. 11.26. Установите сигнальный светодиод и резистор

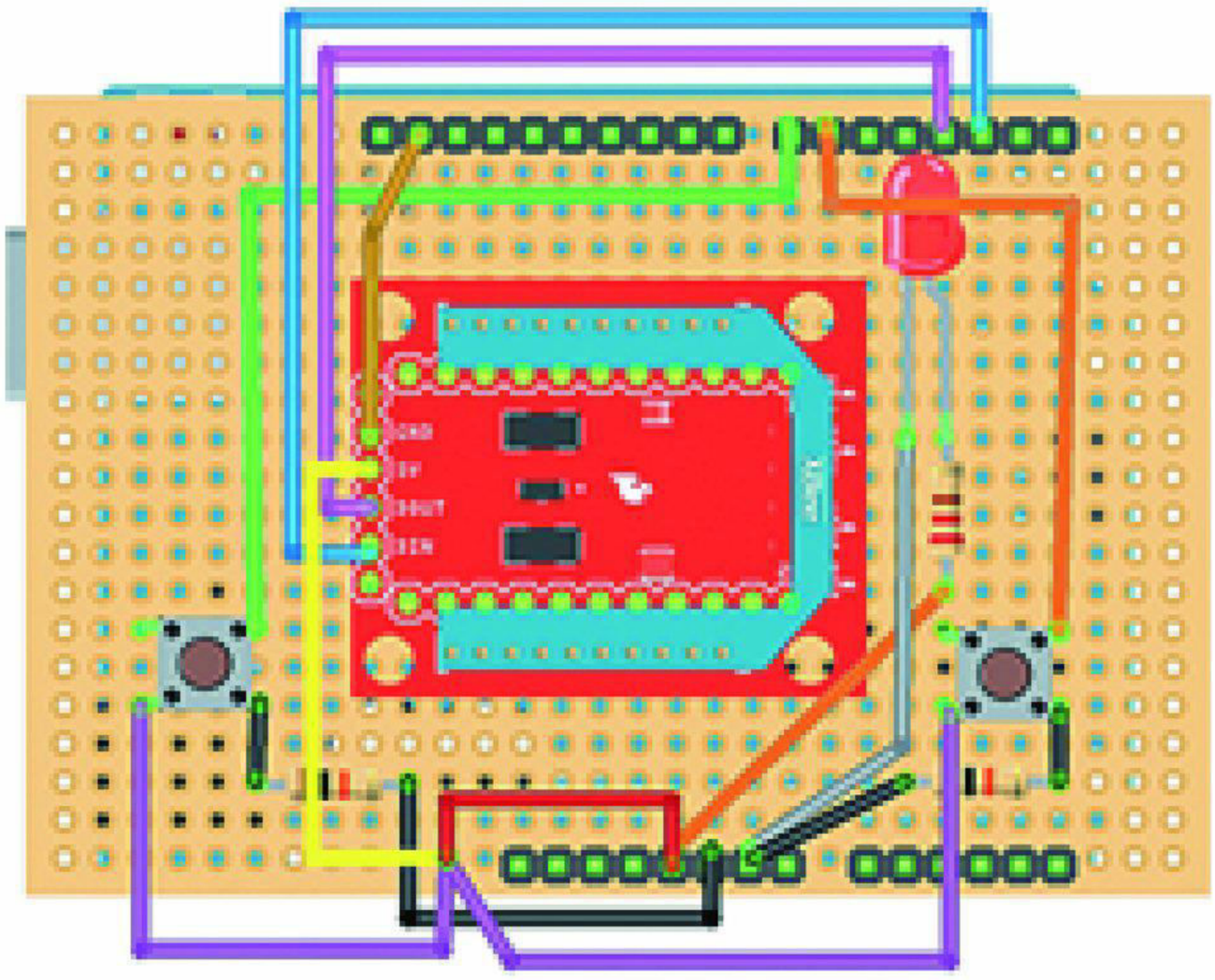


Рис. 11.27. Кнопки управляют направлением движения

Программирование модели

Что может привести в восторг, по крайней мере меня, так это свойства сети на XBee: в ней пульт управления и лодка обладают равными правами, то есть, теоретически робот может посылать команды на пульт управления. Поэтому вы действительно можете запустить один и тот же программный код на обоих устройствах. Так мы и поступим. Загрузите на Arduino приведенный ниже программный код.

```
#include <Wire.h>
#include <Servo.h>
//Зададим некоторые переменные и константы
Servo myservo;
const int pumpPin = 11;
const int button1Pin = 6;
const int button1Pin = 7;
int button1State = 0;
int button2State = 0;
void setup()
{
  myservo.attach(9); //Привязываем пин 9 серводвигателя
к переменной «сервопривод»
  pinMode(11, OUTPUT);
  pinMode(6, INPUT);
  pinMode(7, INPUT);
  pinMode(button1Pin, INPUT_PULLUP);
  pinMode(button2Pin, INPUT_PULLUP);
}
void process_incoming_command(char cmd)
{
  switch(cmd) {
  case '1': //left
    myservo.write(30); //Поворачиваем серводвигатель
на 30 градусов
    delay(15);
    digitalWrite(pumpPin, HIGH);
    delay(1000); //Включаем насос на одну секунду
    digitalWrite(pumpPin, LOW);
    break;
  case '2': //right
    myservo.write(150); //Поворачиваем серводвигатель
на 150 градусов
    delay(15);
    digitalWrite(pumpPin, HIGH);
    delay(1000);
    digitalWrite(pumpPin, LOW);
    break;
  case '3': //Вперед
    myservo.write(90); //Поворачиваем серводвигатель
на 90 градусов
    delay(15);
    digitalWrite(pumpPin, HIGH);
    delay(1000);
    digitalWrite(pumpPin, LOW);
```

```
      break;
    default: //При отсутствии команд насос выключается
      delay(1000);
      break;
    }
}
void loop()
{
  if (Serial. available() >= 2)
  {
    char start = Serial.read();
    if (start! = '*')
    {
      return;
    }
    char cmd = Serial.read();
    process_incoming_command(cmd);
    }
//Расшифровка нажатий кнопок
button1State = digitalRead(button1Pin);
button2State = digitalRead(button2Pin);
if (button1State == HIGH) && if (button2State == LOW) {
    Serial.write('*');
    Serial.write(1);
}
if (button1State == LOW) && if (button2State == HIGH) {
    Serial.write('*');
    Serial.write(1);
}
if (button1State == LOW) && if (button2State == HIGH) {
    Serial.write('*');
    Serial.write(2);
}
if (button1State == HIGH) && if (button2State == HIGH) {
    Serial.write('*');
    Serial.write(3);
    }
}
```

Заключение

В этой главе вы познакомились с плавучими роботами и даже построили один из них. В **главе 12** «Строим квадрокоптер, часть V: дополнительное оборудование» мы закончим с оборудованием нашего квадрокоптера, установив штатив для камеры, который изготовлен на 3D-принтере.

12

Строим квадрокоптер, часть V: дополнительное оборудование

Постепенно углубляясь в тему постройки квадрокоптера, мы уже рассмотрели такие важные вещи, как управление полетом, двигатели и аккумуляторы. Теперь перейдем к более приятному — к дополнительному оборудованию. Оказывается, есть множество всяких вещей, которые можно купить или сделать самим и которыми можно оборудовать нашу птицу. В этой главе вы узнаете характеристики некоторых из них. Затем вы установите защитную площадку и штатив для камеры — и квадрокоптер готов (**рис. 12.1**).

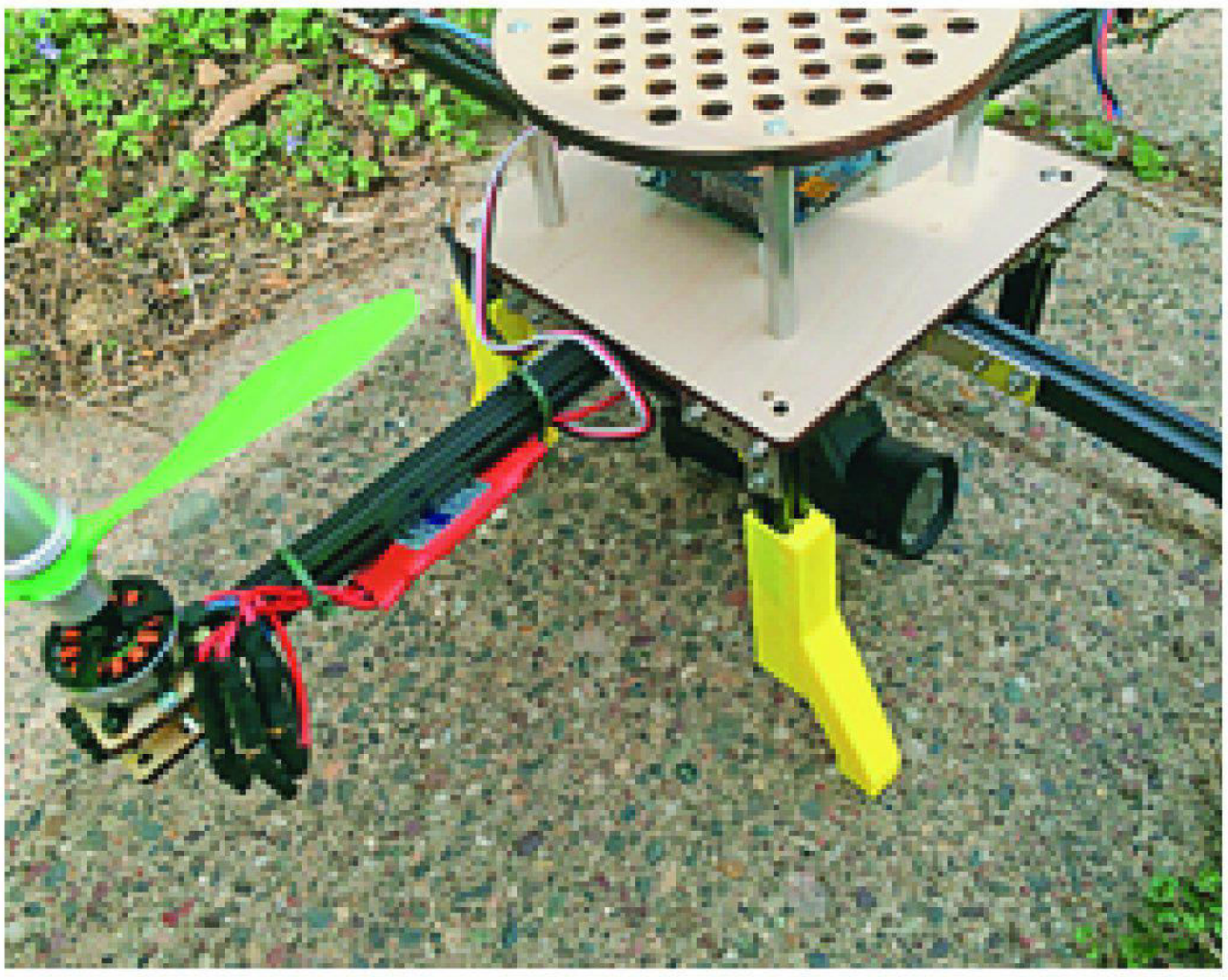


Рис. 12.1. В этой главе вы завершите оборудование квадрокоптера

Дополнительное оборудование

Ну, собрали мы квадрокоптер, а что теперь? Многие владельцы также оборудуют свои детища видеокамерами, курсовыми камерами и защитными площадками. Вариантов масса, рассмотрим некоторые из них.

Камера

Первое, что приходит в голову, — установить на квадрокоптер камеру. Такая камера позволяет делать снимки с таких точек, которые недоступны простым смертным. Собственно, видеокамера — это самое популярное оборудование, которое устанавливается на квадрокоптер. Кто-то даже зарабатывает деньги, продавая материал, отснятый в полете, хотя некоторые недавно принятые законы несколько осложнили им жизнь.

Одна из разновидностей крепления камеры — штатив, снабженный серводвигателем. Такие штативы позволяют не только включать и выключать камеру, но и регулировать ее наклон. В основном они применяются на квадрокоптерах, но не только на них. Модели с неподвижным крылом и вездеходы также выигрывают от использования таких штативов.

Многие из тех, кто увлекается аэрофотосъемкой, предпочитают камеру GoPro Hero (**GoPro.com**), которая предоставляет возможности для длительной высокоскоростной съемки, а также является водонепроницаемой (до 40 м). Можно найти множество любительских разработок, сделанных поклонниками камеры GoPro: это и держатели, изготовленные на 3D-принтере, и множество других интересных вещей. Другой популярной моделью является Contour ROAM (**рис. 12.2**). Ее функциональные возможности скромнее, но зато она дешевле. Ниже мы рассмотрим установку подобной камеры на квадрокоптер.



Рис. 12.2. Камера Contour ROAM — неплохой выбор для аэрофотосъемки

Курсовая камера (FPV)

Теоретически хорошая камера вроде GoPro неплохо справляется со своими обязанностями, но сложность состоит в том, что некому смотреть в видоискатель. Естественно, вам захочется видеть, что же снимает ваша камера, и тут мы подходим к вопросу об установке курсовой камеры. Курсовая камера — это камера с низким разрешением, оборудованная антенной и передатчиком. Передаваемое изображение принимается специальным приемником, у которого имеется маленький монитор, так что вы сможете смотреть на мир глазами вашего квадрокоптера. Некоторые курсовые камеры снабжены защитными стеклами[1].

Еще одно применение курсовые камеры находят в спортивных состязаниях дронов. Я имею в виду гонки, когда летательные аппараты следуют определенным маршрутом, а операторы корректируют курс, ориентируясь по данным с курсовой камеры. Одна компания, Game of Drones (**gameofdrones.com**), даже организует воздушные бои, где побеждает тот, кто последним остался в воздухе. Эта компания даже реализует комплекты деталей рамы «Hiro» для всех желающих, в том числе и тех, кто хочет участвовать в этих соревнованиях или хочет построить что-либо.

На **рисунке 12.3** показан крупный план квадрокоптера, построенного Стивом Лоудфинком (Steve Lodefink). На переднем плане хорошо видна курсовая камера. Обратите внимание на защитный купол, которым накрыта бортовая электроника.

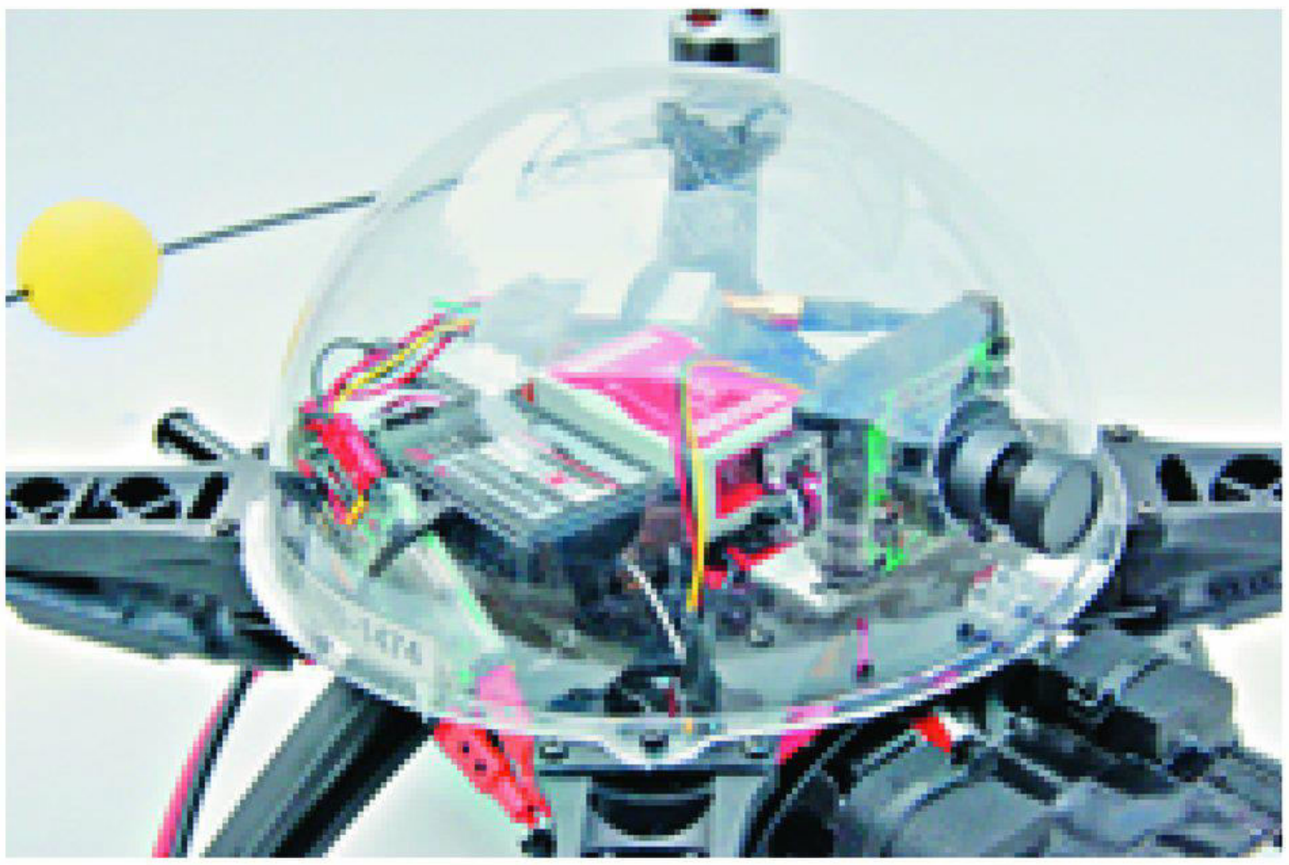


Рис. 12.3. Объектив курсовой камеры выступает за пределы защитного купола (предоставлено Steve Lodefink)

---

[1] В ближайшее время (май 2017 г.) в продажу поступит FPV-шлем компании DGI Goggles, который позволяет не только наблюдать за полетом дрона от первого лица, но и управлять камерой наклонами головы из стороны в сторону. — *Прим. пер.*

Посадочное шасси

Опоры шасси не только отделяют квадрокоптер от грунта, но и обеспечивают пространство для камеры, которая крепится с нижней стороны, и предохраняют ее от ударов. Можно приобрести прочный и большой комплект для сборки шасси (**рис. 12.4**). В комплект входит площадка для крепления камеры с нижней стороны квадрокоптера, а ее защиту обеспечивают опоры шасси. Существует множество разновидностей шасси, в основном ориентированных на конкретные модели. Тем не менее во многих случаях шасси можно приспособить и на другую модель. Шасси, изображенное на рисунке, — это изделие неизвестного производителя для квадрокоптера DJI F450. Его можно использовать и на других моделях такого же размера, имеющих центральное крепление площадки.

Естественно, я всегда советую моделистам обращаться к Thingiverse или другим сайтам, предлагающим различные разработки для 3D-принтера. Есть огромное количество моделей опор, изготавливаемых на 3D-принтере (и продаваемых), которые рассчитаны на конкретные модели. Собственно говоря, детали квадрокоптера, о котором я рассказываю в этой книге, можно найти на моей странице Thingiverse (**http://www. thingiverse.com/jwb**).

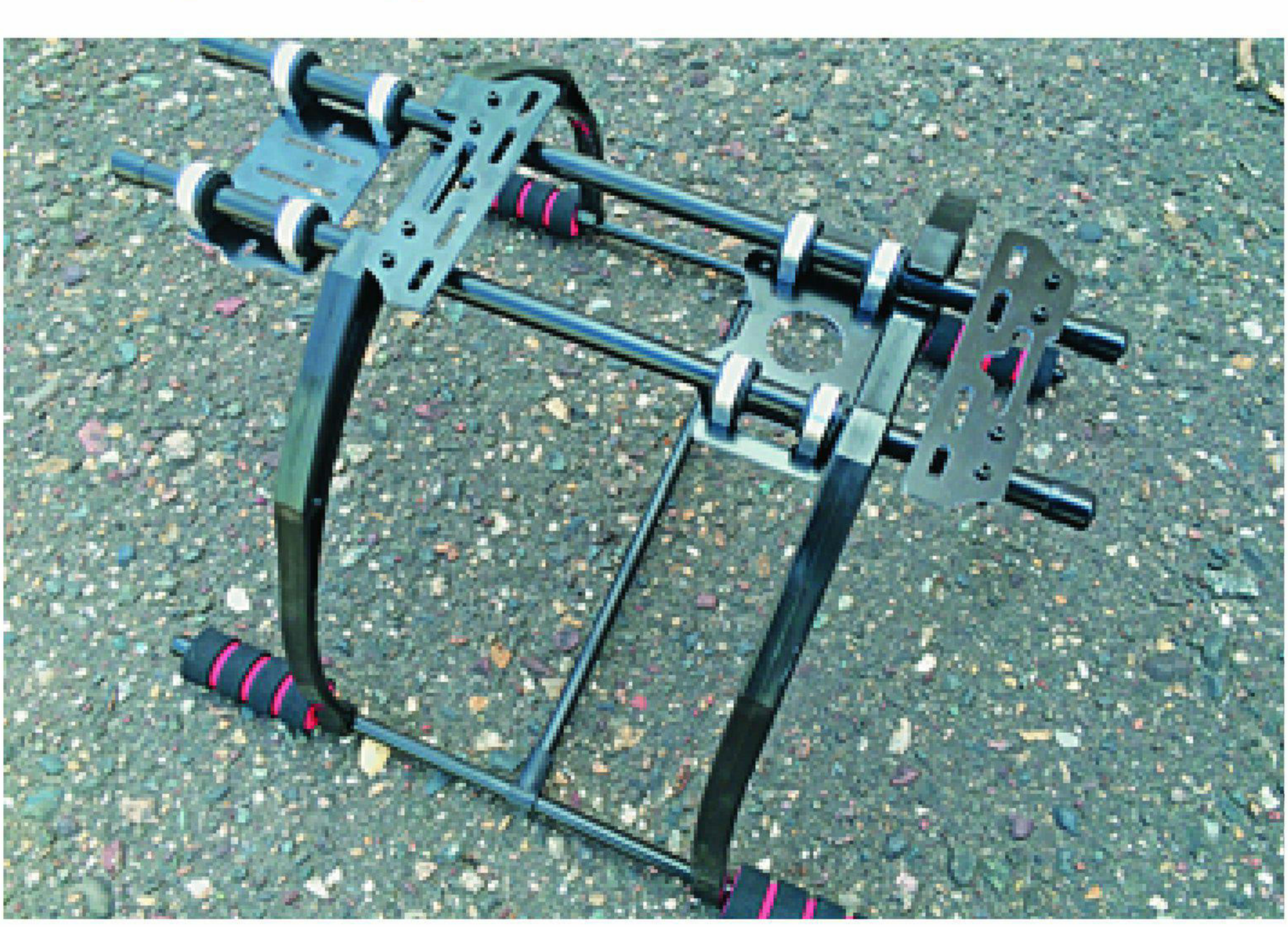


Рис. 12.4. Владельцы квадрокоптеров время от времени меняют шасси

Парашют

Кошмаром для любого владельца квадрокоптера является зрелище падения его детища с большой высоты с последующим разбиванием на мелкие кусочки. Гравитация иногда дорого обходится! Один из выходов — оборудовать вашу модель парашютом, который раскрывается автоматически при сбое электропитания.

Квадрокоптеры не так уж часто оборудуются парашютами, но некоторые коммерческие модели могут этим похвастаться. Система Skycat Recovery Launchers (**Skycat.pro**) стоит 600 долл. Эта сумма может показаться чрезмерной, но если принять во внимание, что у вас дорогая модель, оснащенная еще более дорогой камерой, то подобные затраты покажутся оправданными. Система спасения Skycat показана на **рис. 12.5**.

Использование парашютов может стать обязательным, так как с ростом числа квадрокоптеров растет и число пострадавших, которым квадрокоптер свалился на голову.

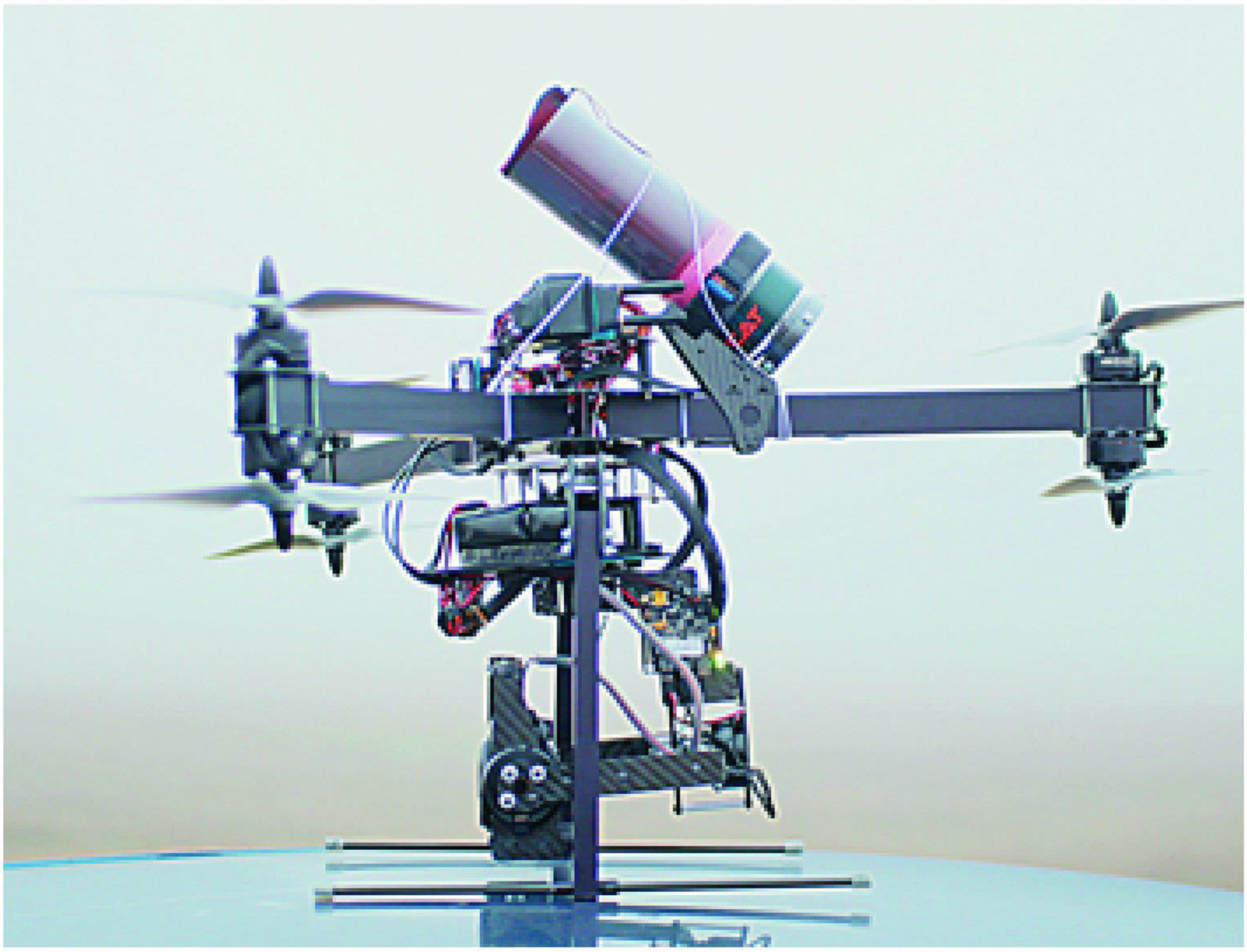


Рис. 12.5. Система спасения Skycat раскрывает парашют при сбое питания (предоставлено Skycat)

Защитная площадка или купол

Иногда можно видеть квадрокоптеры, оборудованные защитными площадками или куполами, защищающими бортовую электронику. К сожалению, квадрокоптеры склонны терпеть аварии, и вас вряд ли обрадует тот факт, что микроконтроллер разбился вдребезги. Одно дело — поломка пропеллера и совсем другое — когда управляющая электроника стоимостью 200 долл. ударяется о грунт.

Конечно, если ваш квадрокоптер налетит на скалу или бетонную плиту, никакая защитная площадка не поможет. Да и более мелкие аварии тоже могут повредить его.

При постройке квадрокоптера вам, возможно, захочется самостоятельно изготовить защитную площадку, но ее также можно и приобрести. Часто такие детали идут в комплекте с рамой, но их можно приобрести и отдельно, подобрав под конкретную модель.

Можно приспособить защиту от старой камеры. Я говорю о полукруглых колпаках, защищающих объектив от влаги и прикосновения пальцев. Тот, что изображен на **рис. 12.6**, маловат для наших целей, но его можно использовать для защиты курсовой камеры.



Рис. 12.6. Защитный купол защитит бортовую электронику от повреждений

Защита пропеллера

Защита пропеллера предохраняет его от поломки, однако пропеллеры все равно остаются самым уязвимым местом квадрокоптера. Чаще всего защита представляет собой обычное пластиковое кольцо вокруг пропеллера, но бывают и более сложные конструкции, напоминающие клетку вокруг пропеллера. В других решениях пропеллеры встраиваются внутрь шасси. Так как поломка пропеллера — распространенное явление, существует множество разновидностей его защиты. Защиту пропеллера можно купить в специализированных магазинах и на сайтах, а также можно скачать проект на Thingiverse и изготовить на 3D-принтере. Защита, показанная на **рис. 12.7** (**http://www.thingiverse.com/thing:652455**), разработана для DJI Phantom 2 Vision.

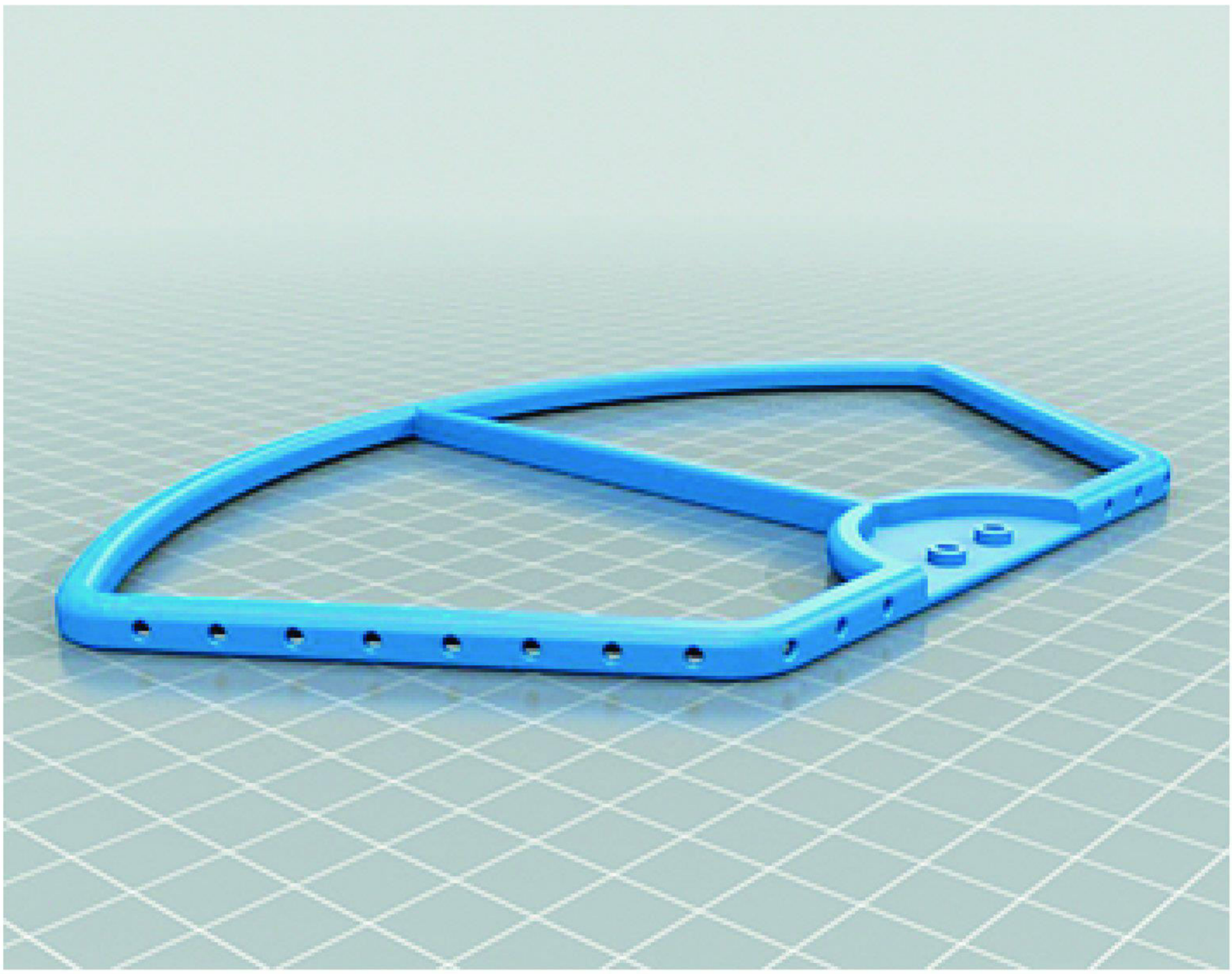


Рис. 12.7. Полученное изображение защиты пропеллера для изготовления на 3D-принтере (представлено yuppchukno, Creative Commons)

Проект: установка дополнительного оборудования

На заключительном этапе постройки квадрокоптера вы установите защитную площадку, шасси и крепление камеры. С этими усовершенствованиями ваша модель будет более функциональна. На **рисунке 12.8** показан квадрокоптер с уже установленным дополнительным оборудованием.



Рис. 12.8. Квадрокоптер с установленным дополнительным оборудованием

Установка штатива для камеры

Необходимо скачать два файла Thingiverse для изготовления штатива: крепление ContourHD с адаптером для GoPro (Thing #423077) от пользователя renelm и GoPro Arca Mount V2 (Thing #234654) от пользователя ark19. Прелесть Thingiverse и других подобных ресурсов состоит в том, что вы можете воспользоваться идеями других людей совершенно бесплатно. Вам остается только изготовить нужные детали на 3D-принтере и установить их на свое изделие. Данные детали показаны на **рис. 12.9**.

Если у вас нет доступа к 3D-принтеру, необходимые детали можно купить. Я советую воспользоваться ресурсом HitCase (**hitcase.com**), который специализируется на влагозащищенных и ударопрочных контейнерах для телефонов и надежных средствах крепления.

1. Изготовьте на 3D-принтере упоминавшиеся выше детали: крепление ContourHD с переходником для GoPro (**http://www.thingiverse.com/thing:423077**) и GoPro Arca Mount (**http://www.thingiverse.com/thing:234654**). Один из этих принтов изображен на **рис. 12.10**.
2. Соедините эти детали и закрепите соединение дюймовым винтом № 4 **(рис. 12.11)**.



Рис. 12.9. Камера Contour ROAM и только что изготовленное для нее крепление

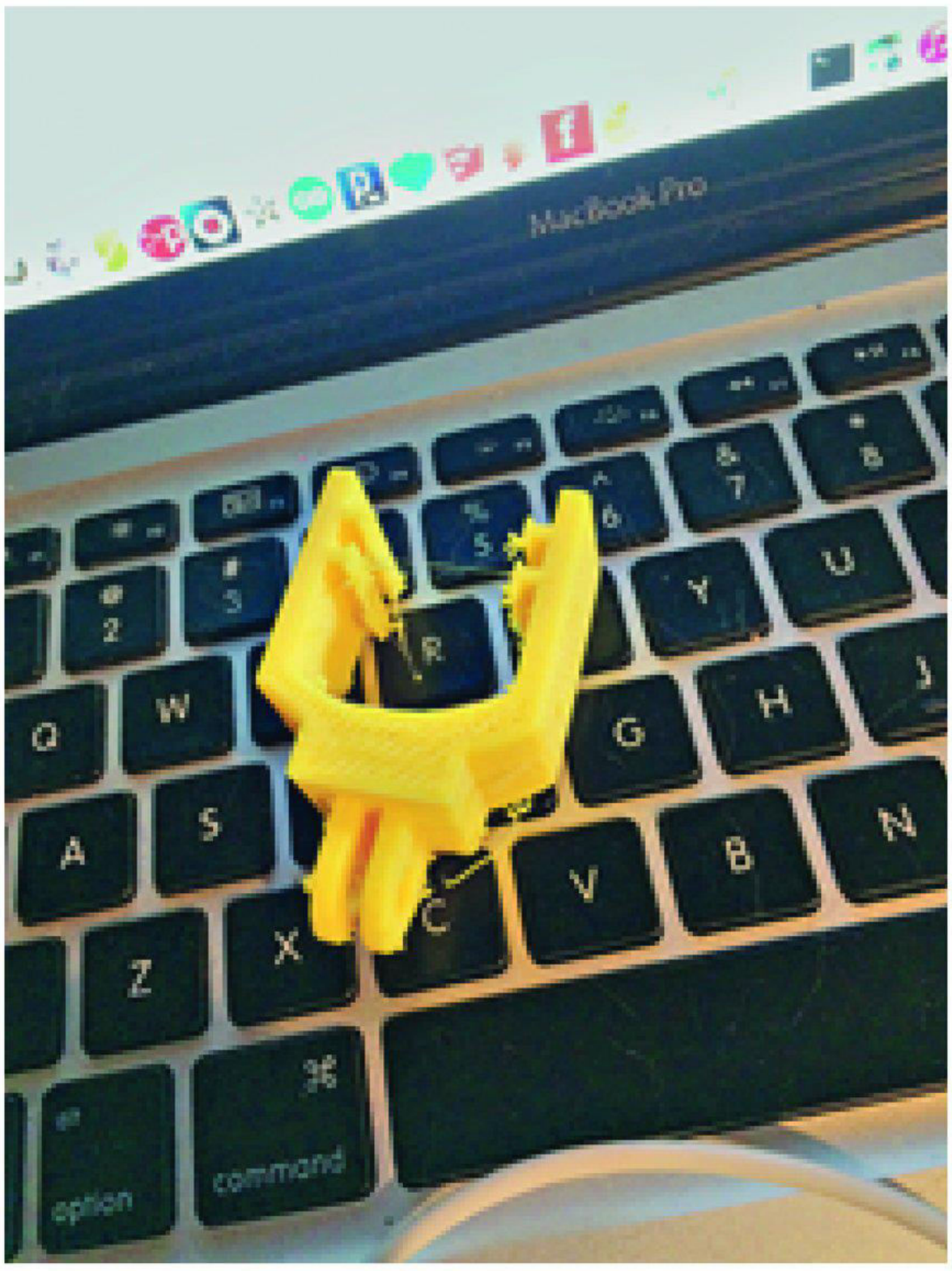


Рис. 12.10. Крепление камеры, изготовленное на 3D-принтере



Рис. 12.11. Соедините детали штатива винтом

3. Переверните квадрокоптер и установите штатив с нижней стороны фанерной платформы, при необходимости просверлите отверстия (**рис. 12.12**). Для крепления используйте винты № 4 на $^{3}/_{4}$ дюйма (≈19 мм).

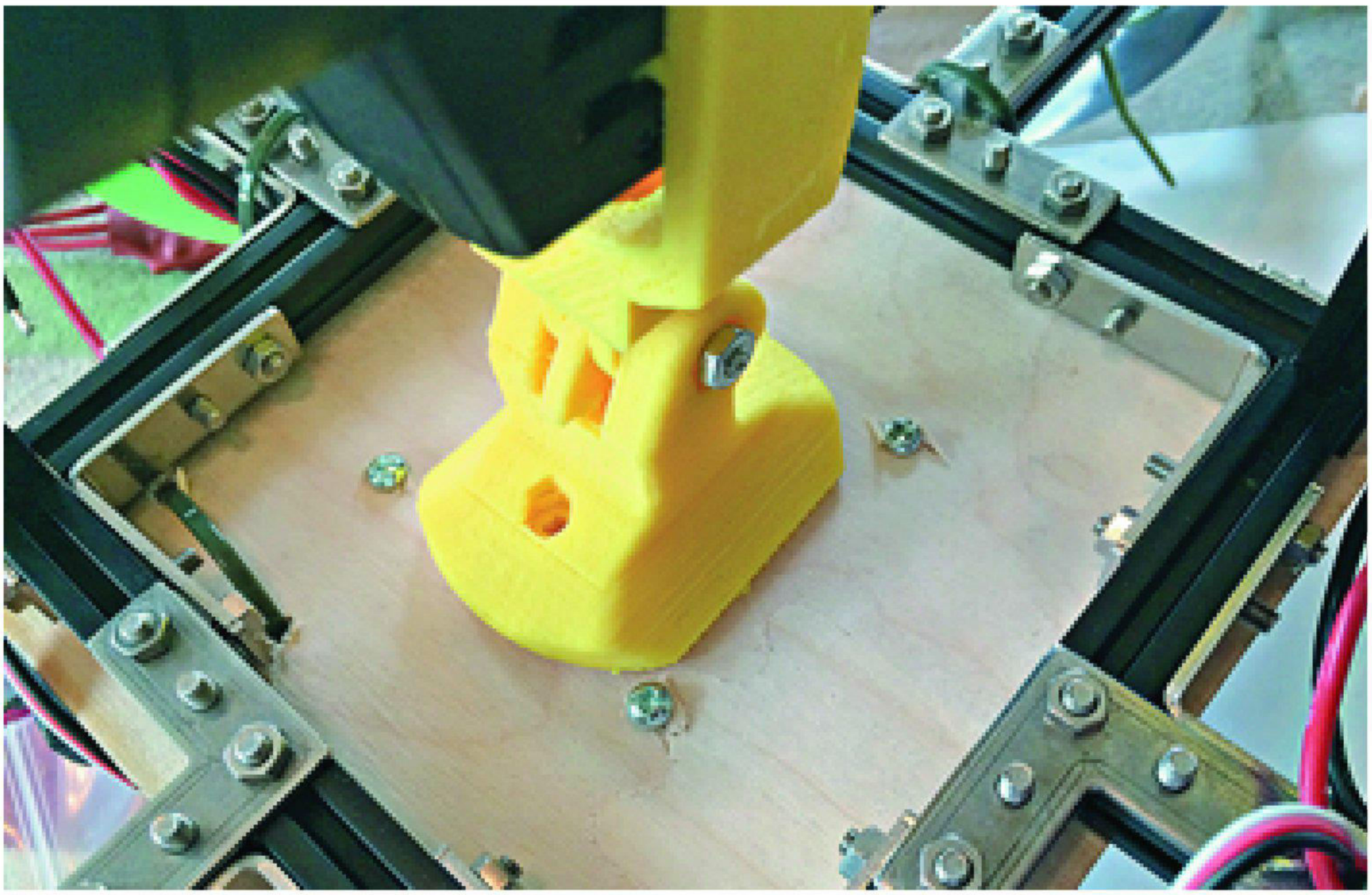


Рис. 12.12. Привинтите штатив к нижней стороне платформы

Изготовление и установка опор шасси

Теперь нужно изготовить и установить на квадрокоптер опоры шасси. Я разрабатывал проект в программе SketchUp. Возможно, то, что у меня получилось, не очень красиво, но эти опоры справляются со своими обязанностями. Опоры имеют полость, соответствующую форме балок MakerBeam (**рис. 12.13**).

1. Изготовьте опоры на 3D-принтере. Соответствующий файл можно скачать по адресу **http://www.thingiverse.com/jwb**. На **рисунке 12.14** изображена одна из изготовленных опор.

2. После того как вы очистите опоры от заусенцев (внутреннюю поверхность, возможно, придется обработать напильником), можно надеть их на ножки рамы (**рис. 12.15**). У меня все размеры точно подошли, и я оставил все как есть. Но если вы сочтете соединение неплотным, воспользуйтесь термоклеем, чтобы опоры не отваливались. Теперь у вас появилось достаточное пространство для камеры.

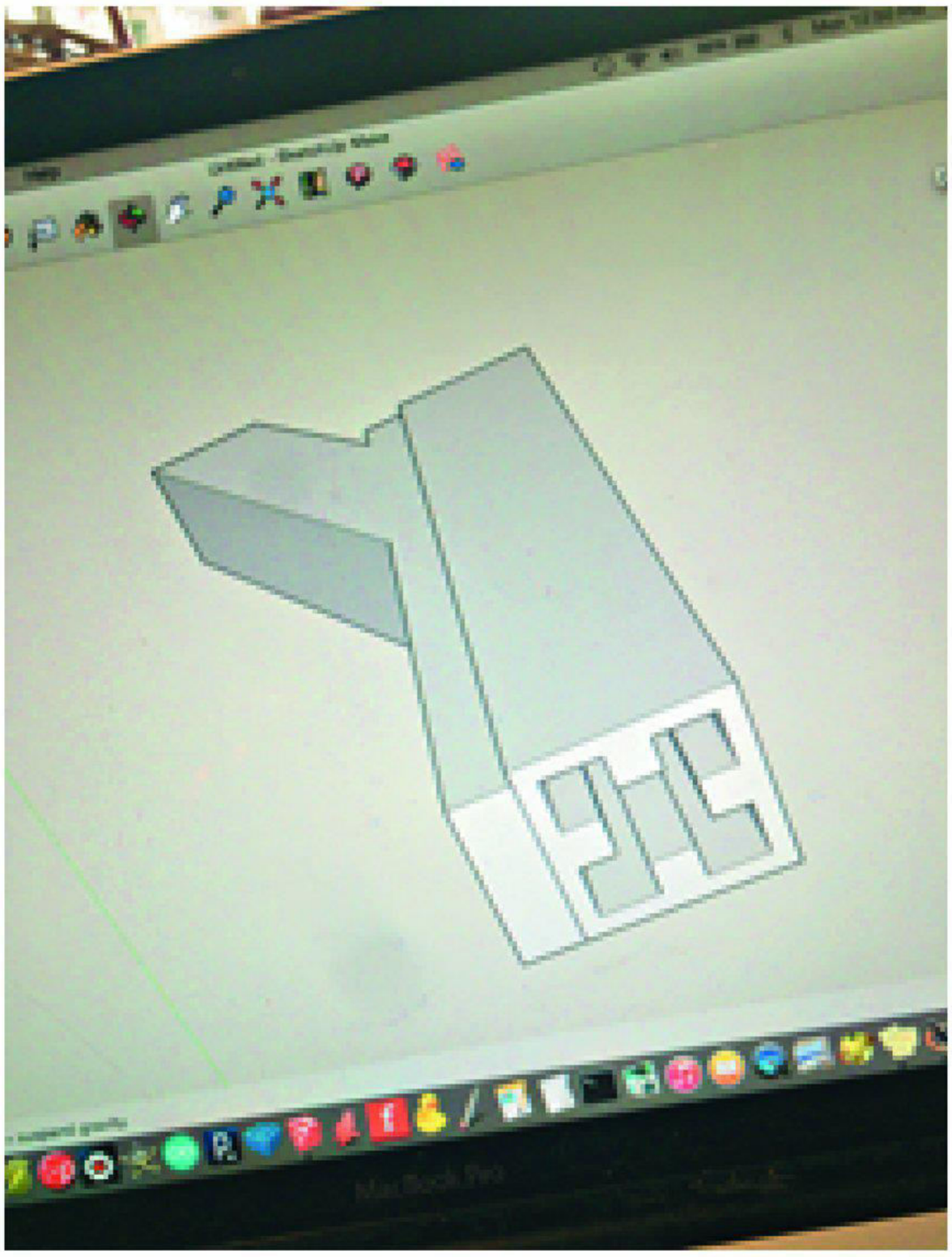


Рис. 12.13. Разработка опоры в программе SketchUp

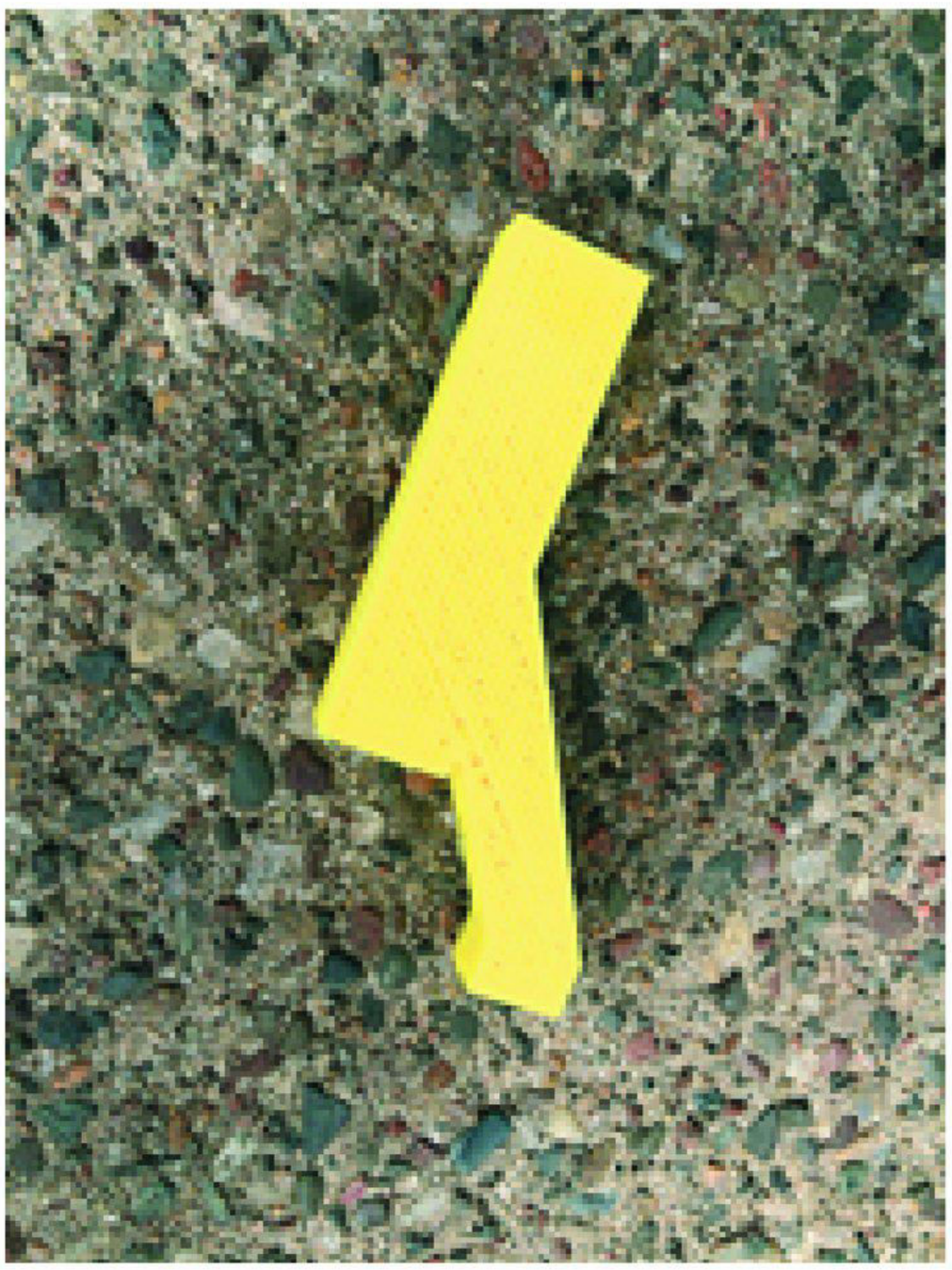


Рис. 12.14. Посадочное шасси имеет четыре такие опоры

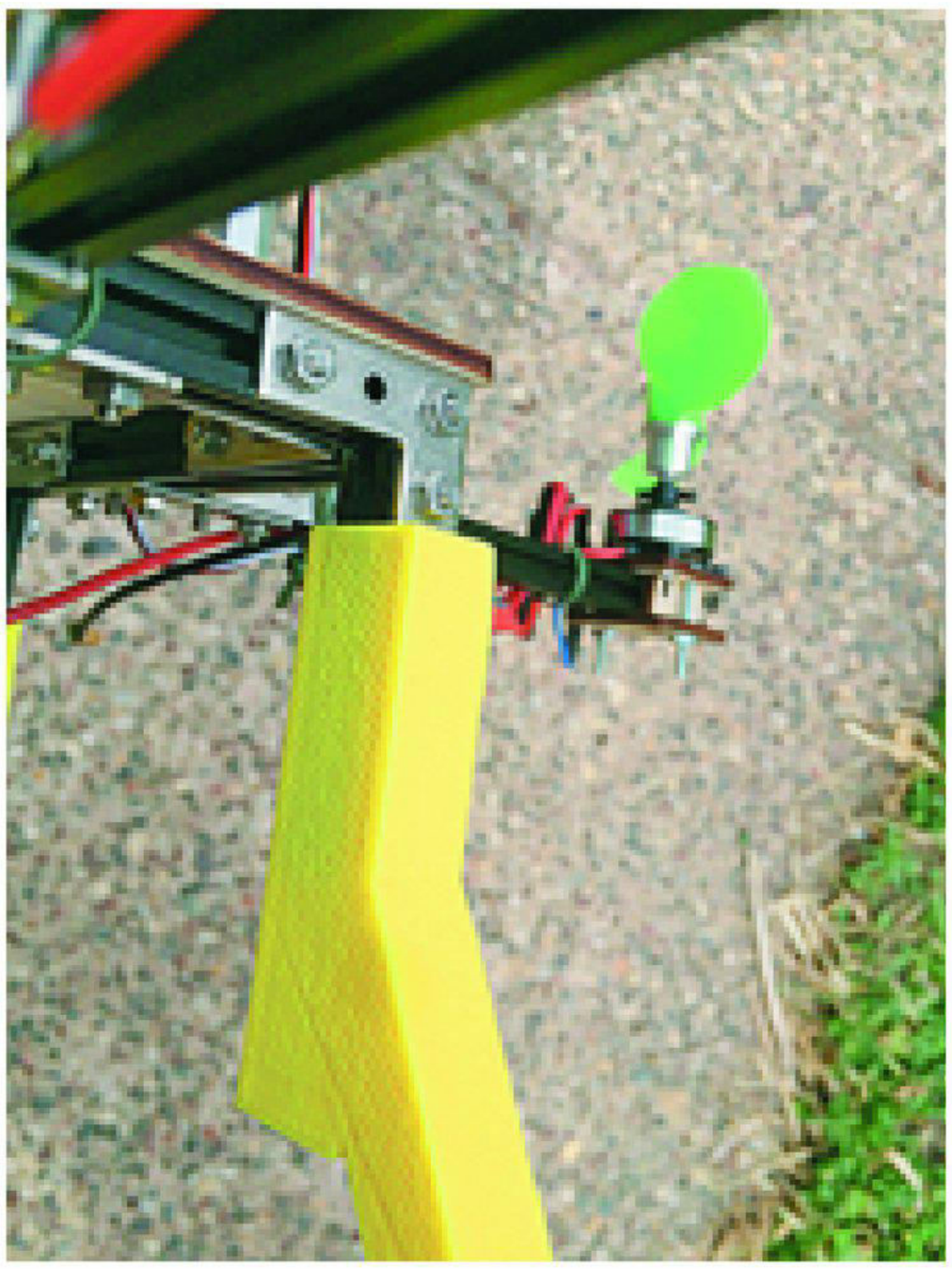


Рис. 12.15. Установка опор, изготовленных на 3D-принтере

Установка верхней площадки

Эта площадка состоит из куска фанеры с отверстиями, сделанными лазерным резаком, и четырех алюминиевых ножек для обеспечения свободного пространства для бортовой электроники. На **рисунке 12.16** показан вид сверху, на котором видна площадка.

1. Изготовьте площадку на лазерном резаке, файл можно скачать с моей странички на Thingiverse. Я взял березовую фанеру — мой любимый материал для обработки лазером. На **рисунке 12.17** показана готовая площадка.

2. Установите площадку на четырех алюминиевых ножках с внутренней резьбой под винты № 4 или что-то подобное. Детали можно приобрести в любом крупном магазине скобяных изделий или в хозяйственном магазине. На **рисунке 12.18** изображен квадрокоптер, на котором установлено все дополнительное оборудование.

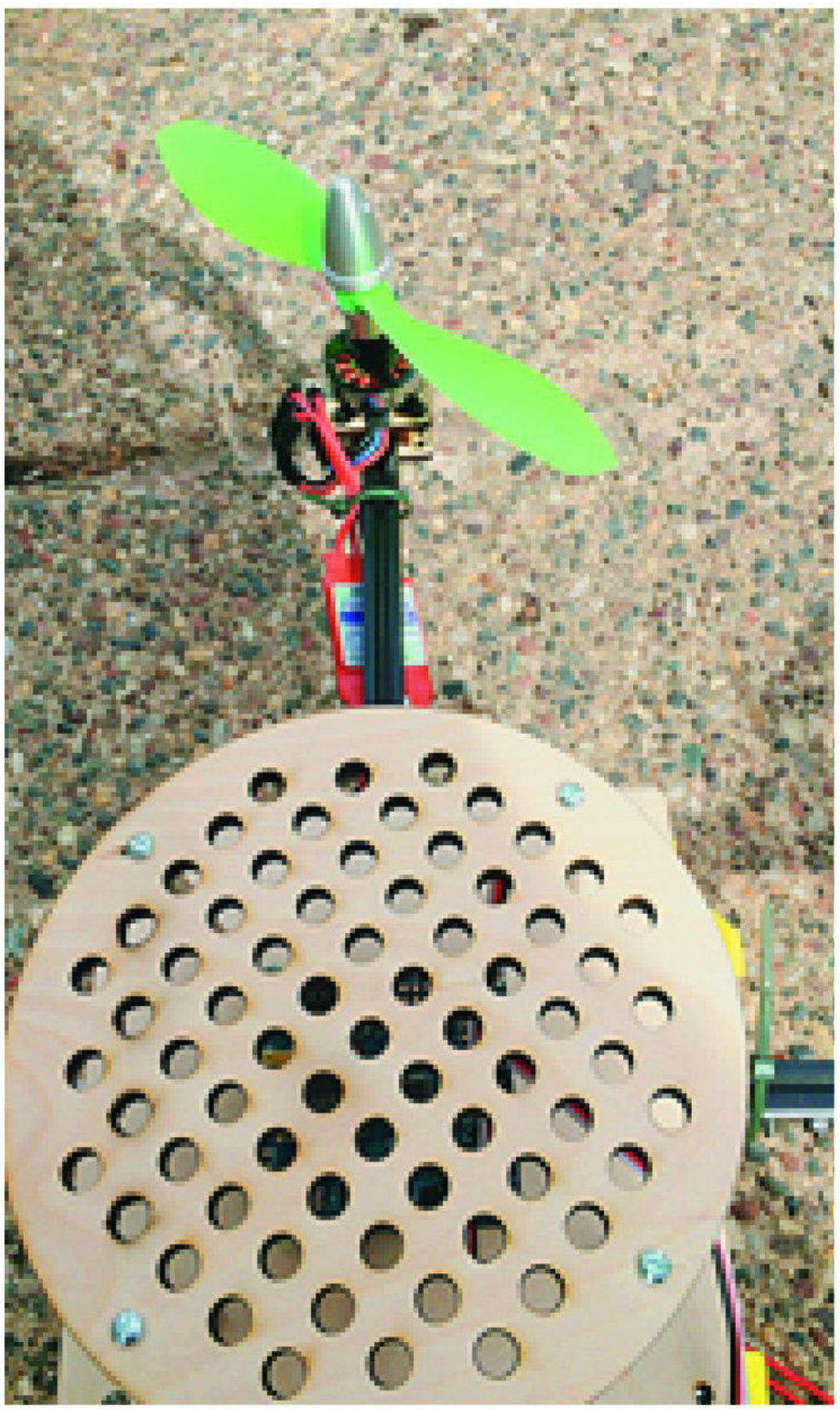


Рис. 12.16. Верхняя площадка — последняя деталь квадрокоптера, которую мы установим



Рис. 12.17. Эта площадка, изготовленная на лазерном резаке, защищает квадрокоптер сверху



Рис. 12.18. Сборка вашего квадрокоптера завершена

Заключение

В этой главе вы установили штатив для камеры, изготовленный на 3D-принтере, и этим завершили техническую часть проекта построения квадрокоптера. Кроме того, вы получили представление о различном дополнительном оборудовании. Осталось отладить программное обеспечение. Однако сначала мы займемся постройкой еще одного робота. В **главе 13** «Строим управляемый вездеход» мы модифицируем продаваемую модель, установив на нее считыватель радиочастотных меток, или RFID-меток.

13

Строим управляемый вездеход

Последним классом роботов, с которым вы познакомитесь в этой книге, является вездеход (ровер). Это дрон-автомобиль, который передвигается по поверхности земли с целью исследования или просто для того, чтобы пугать ваших домашних питомцев. Модель RFID-Navigating Nomad **(рис. 13.1)** имеет прочное алюминиевое шасси, на котором установлены двигатели, большие внедорожные шины и пластиковая кабина для аппаратуры. Еще на нем установлены ультразвуковой датчик и датчик радиочастотной идентификации RFID (radio frequency identification).

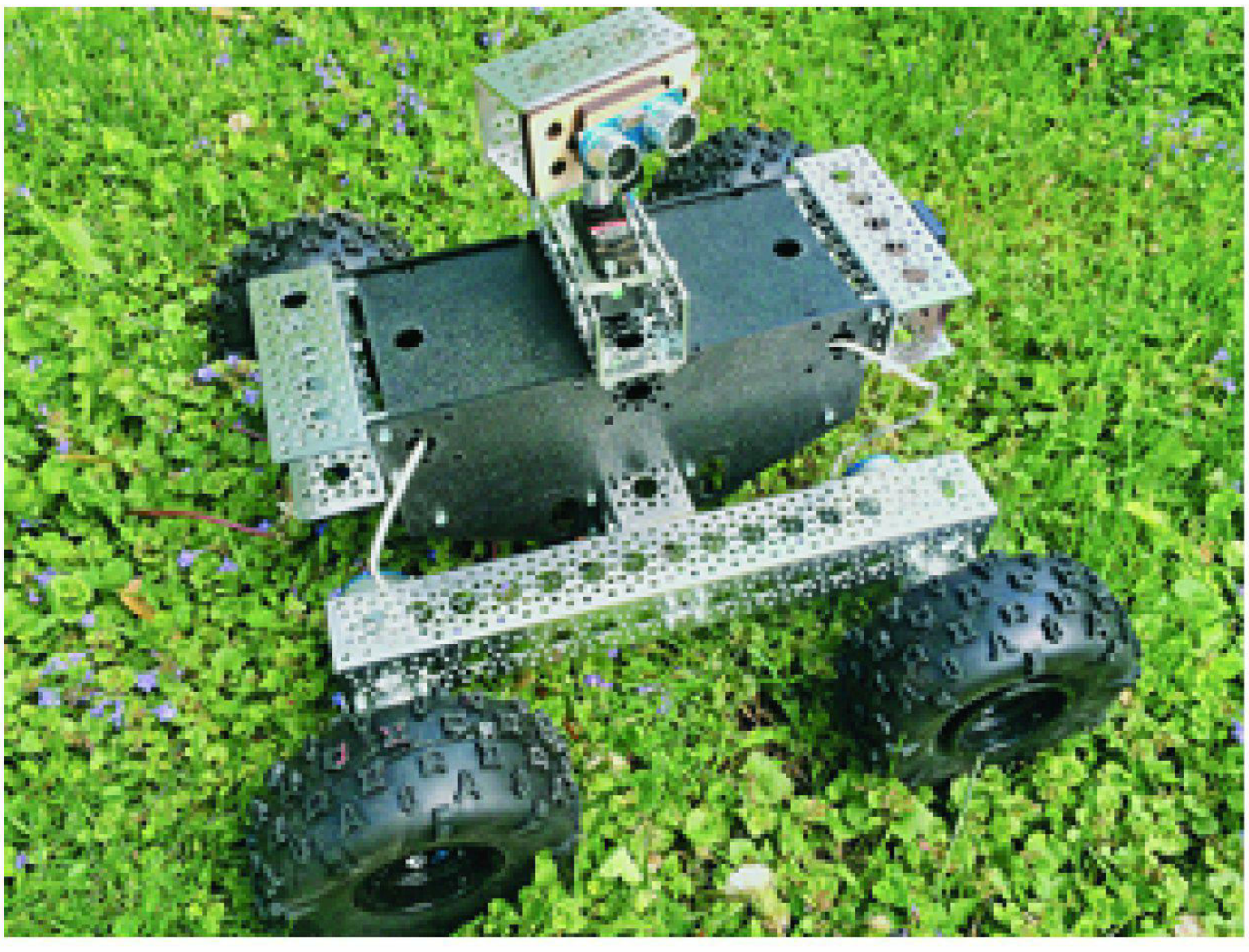


Рис. 13.1. RFID-Navigating Nomad осуществляет навигацию по RFID-меткам

Прежде чем сосредоточиться на модели, давайте как бы вернемся в школу. Сначала вам нужно разобраться, в чем особенности дрона, передвигающегося по земле. Затем вы рассмотрите различные типы шасси для постройки базовой модели. И напоследок узнаете, как осуществляется навигация по RFID-меткам. Будет интересно!

Преимущества и недостатки вездеходов

Как и другие классы дронов, вездеходы имеют свои преимущества и недостатки. Вы должны их знать, чтобы учесть при планировании проекта.

Преимущества

Перечислим некоторые преимущества.

- Они не могут потеряться. Те, кому приходилось наблюдать, как тонет их корабль или как квадрокоптер исчезает из зоны досягаемости, могут по достоинству оценить неспособность ровера отрываться от поверхности.
- Поскольку принцип действия наземных дронов опирается на трение и гравитацию, им не требуется большого запаса энергии. В зависимости от емкости аккумулятора энергии может хватать на несколько дней, а при наличии солнечных батарей — и того более. Какой еще класс дронов может этим похвастаться?
- Из первых двух пунктов вытекает третий: наземный дрон более приспособлен к длительной автономной работе. Представьте себе робот-метеозонд, продирающийся через кусты и собирающий показания датчиков. Теоретически его можно оставить наедине с самим собой на несколько дней, в то время как квадрокоптер держится в воздухе лишь несколько минут.

Недостатки

Даже в свете преимуществ этого класса дронов не получается забыть об их «приземленности» во всех смыслах этого слова. Перечислим их недостатки.

- Они несколько скучноваты. Когда вы строите корабль или квадрокоптер, то представляете себе исследование чего-то неизведанного. Мы сами не можем летать, как птицы, но можем запустить в небо вертолет. Способность передвигаться по поверхности земли с этим не сравнится.
- Как и в случае плавучих моделей, есть проблема, где заняться испытаниями. Если у вас нет своего заднего двора, вам придется искать подходящее место, где ваше детище, копошащееся в зарослях, не будет смущать прохожих. Представляете, что будет, если вы кого-то испугаете? Но если у вас есть свой собственный двор, то все в порядке.

Характеристики шасси

Любую прочную конструкцию можно превратить в шасси. Поскольку вы не ограничены в весе, как в случае с квадрокоптером, можете использовать металл, дерево, пластик и вообще что угодно. Главный критерий — возможность установки оборудования. Поэтому есть три решения при постройке шасси:

- собрать из готовых деталей;
- воспользоваться 3D-принтером или другим станком с ЧПУ;
- купить готовое изделие.

Рассмотрим каждое из решений.

Изготовление шасси на 3D-принтере

На Thingiverse и других подобных ресурсах есть множество решений по изготовлению шасси на 3D-принтере (**рис. 13.2**). Это проект марсохода, разработанный пользователем SSG1712. Подробности можно найти по адресу **http://www.thingiverse.com/thing:835053**.

Большинство шасси, изготавливаемых на 3D-принтере, имеют площадку с многочисленными монтажными отверстиями, приспособленными для оборудования, которое использовали сами авторы. Обычно каждая деталь сопровождается чертежом, который сэкономит вам уйму времени. Звучит идеально, но следует иметь в виду некоторые неудобства. Во-первых, изготовление на 3D-принтере занимает много времени, например изготовление шасси может потребовать несколько часов. Во вторых, считается, что сделанные на 3D-принтере детали менее надежны по сравнению с теми, которые были изготовлены фрезеровкой или лазером.

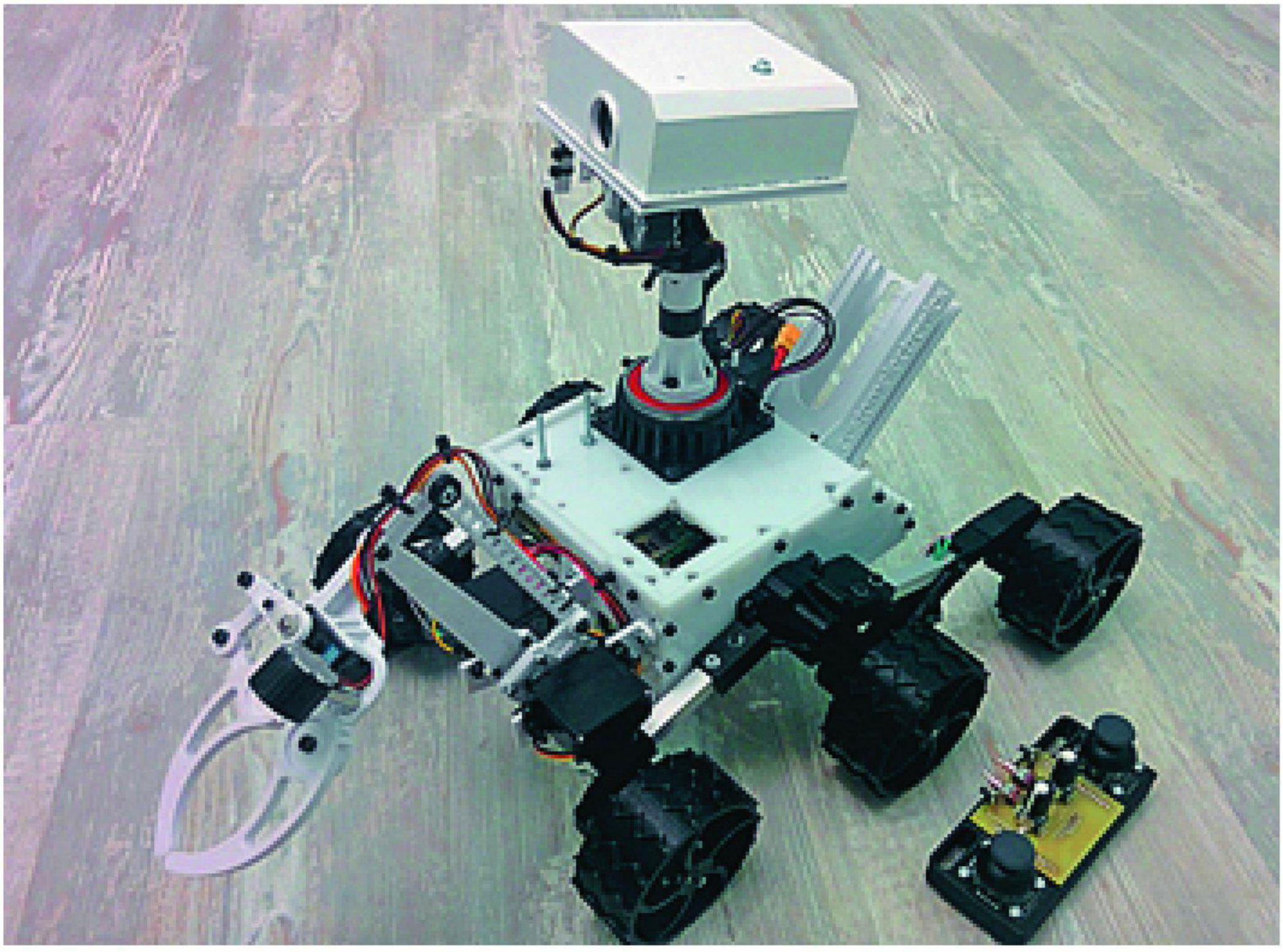


Рис. 13.2. Нравится это шасси? Изготовьте его на 3D-принтере самостоятельно (предоставлено SSG1712)

Tamiya

Компания Tamiya, занимающаяся выпуском моделей, производит достаточно сложные коробки передач и приводы из дерева, металла, резины и пластика. Модель, показанная на **рис. 13.3**, имеет два двигателя постоянного тока, что позволяет микроконтроллеру задавать вращение гусениц в противоположных направлениях. Многие изделия продаются в виде отдельных узлов, например шасси, так что вы можете собрать своего робота на базе их коробки передач. Хорошая идея, если вам не нравится возиться с механикой.

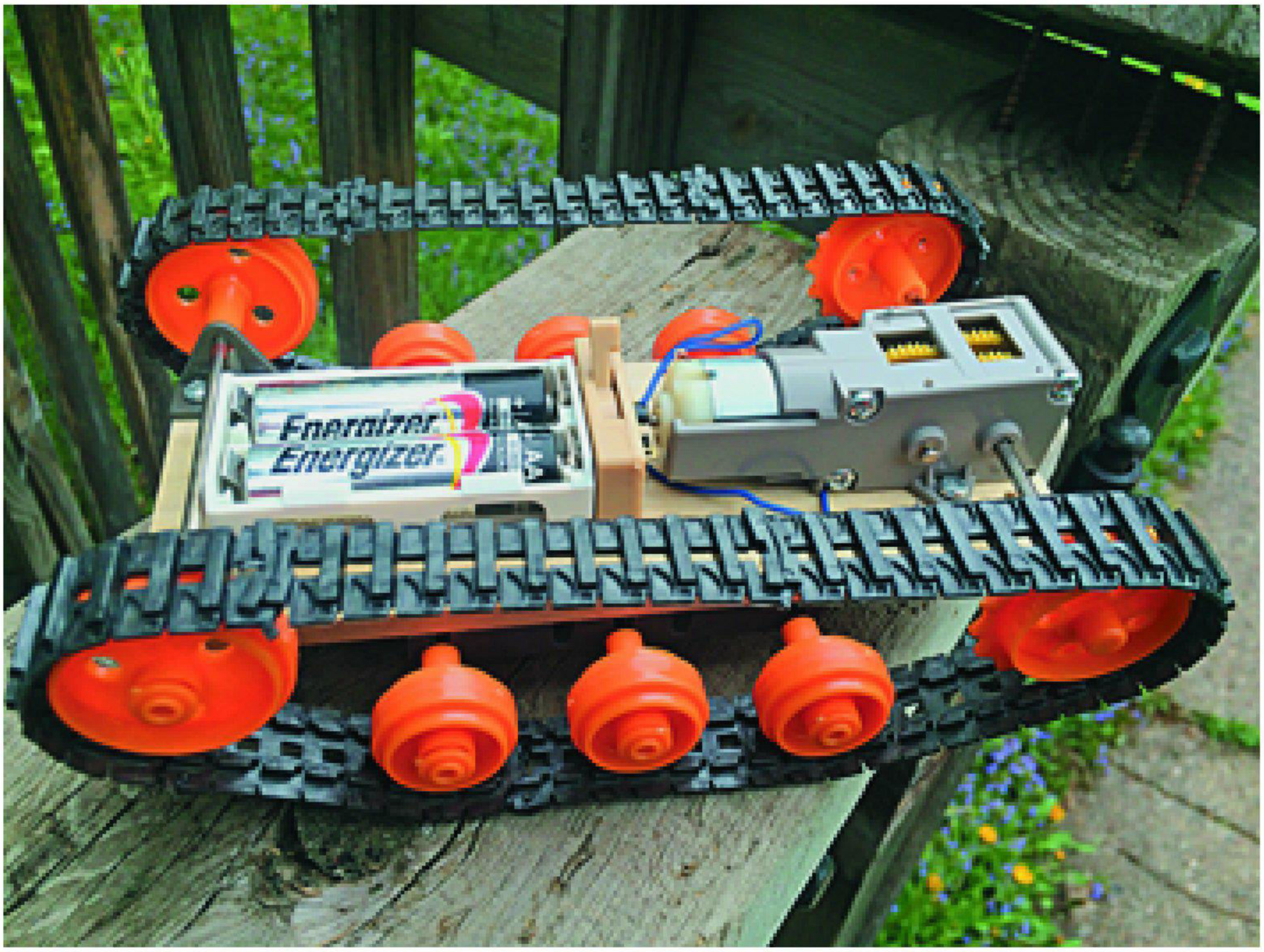


Рис. 13.3. Модель от компании Tamiya: оригинальная и притом дешевая, ее интересно собирать

mBot

Еще один представитель готовой базы для сборки робота — mBot (**http://mblock.cc/mbot/**) (**рис. 13.4**). Этот робот может быть запрограммирован с помощью Arduino, а также с использованием языка программирования Scratch (**https://scratc.mit.edu/**). На рисунке можно видеть множество незанятых отверстий, которые могут пригодиться при монтаже. Это примерно то же самое, что взять Tamiya в качестве базы и добавить туда датчики, кнопки и светодиоды.

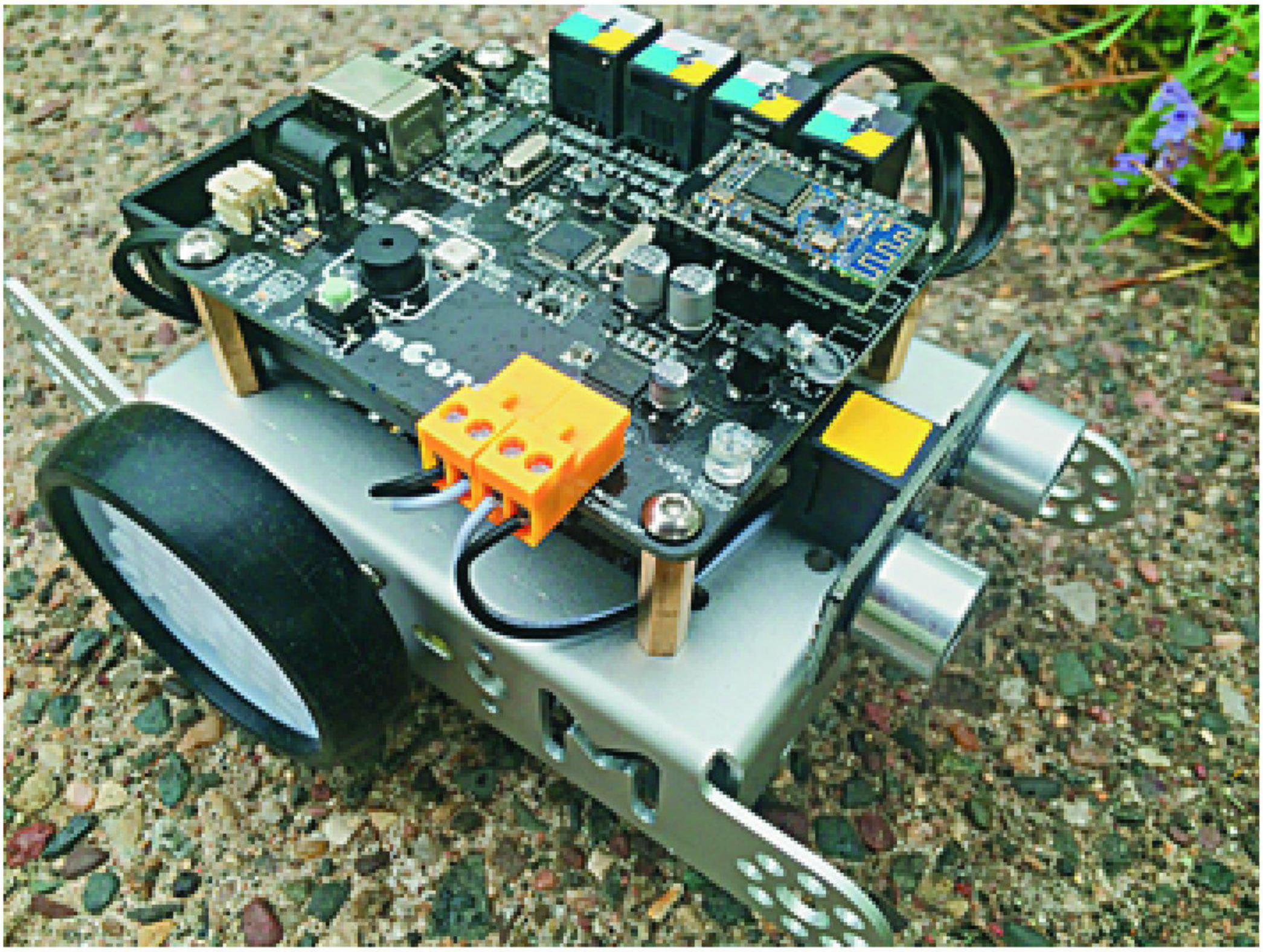


Рис. 13.4. Робот mBot оборудован кучей датчиков

Робот на основе Arduino

Робот на основе Arduino (**рис. 13.5**) — почти то же самое, что и mBot, т. е. готовый обучающий робот, если не принимать во внимание такие избыточные вещи, как встроенный LCD-монитор, динамик и звуковой датчик, набор кнопок, макетная зона и многое другое. Недостатком можно считать его хрупкую конструкцию — все компоненты смонтированы на незащищенной схеме. Именно это, а также малый дорожный просвет, делают невозможной эксплуатацию робота на поверхности более грубой, чем ковер с коротким ворсом. Следует добавить, что он довольно дорог — около 300 долл., но зато вы получаете сразу все!

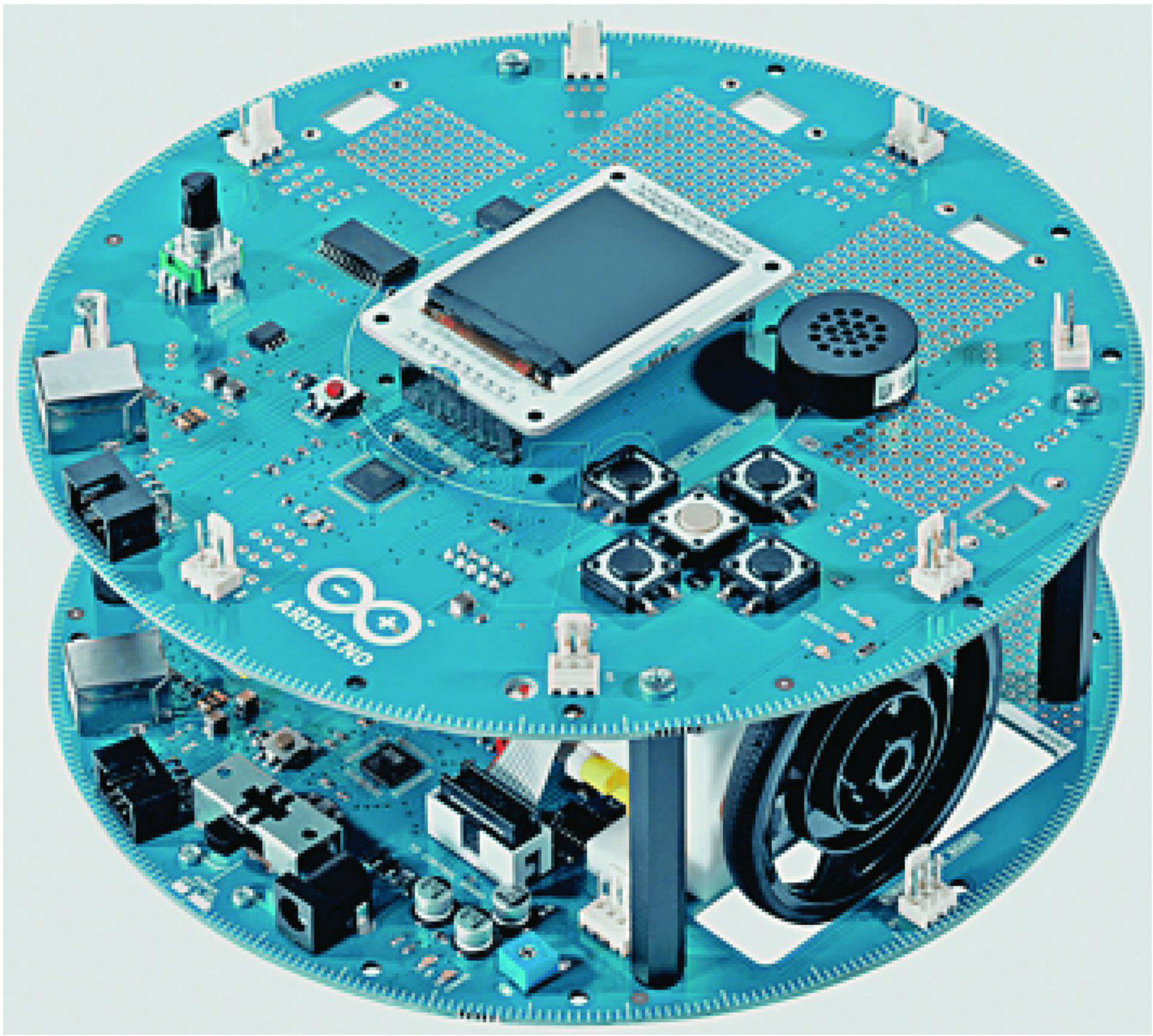


Рис. 13.5. У робота на основе Arduino есть все, что вы можете пожелать, и даже место для установки оборудования, о нужности которого вы и не подозреваете

Bogie от компании Actobotics

Миниатюрный автомобиль, показанный на **рис. 13.6** (**ServoCity.com**, P/N 637162), имеет шесть колес с индивидуальными двигателями и тележечную подвеску, позволяющую преодолевать все виды препятствий. Рама и опоры сделаны из прочного пластика, а конструкция подвески дает возможность передвигаться по пересеченной местности. Вам придется приобрести аккумулятор, пульт управления, приемник радиосигнала и прочее оборудование для создания полноценного робота.

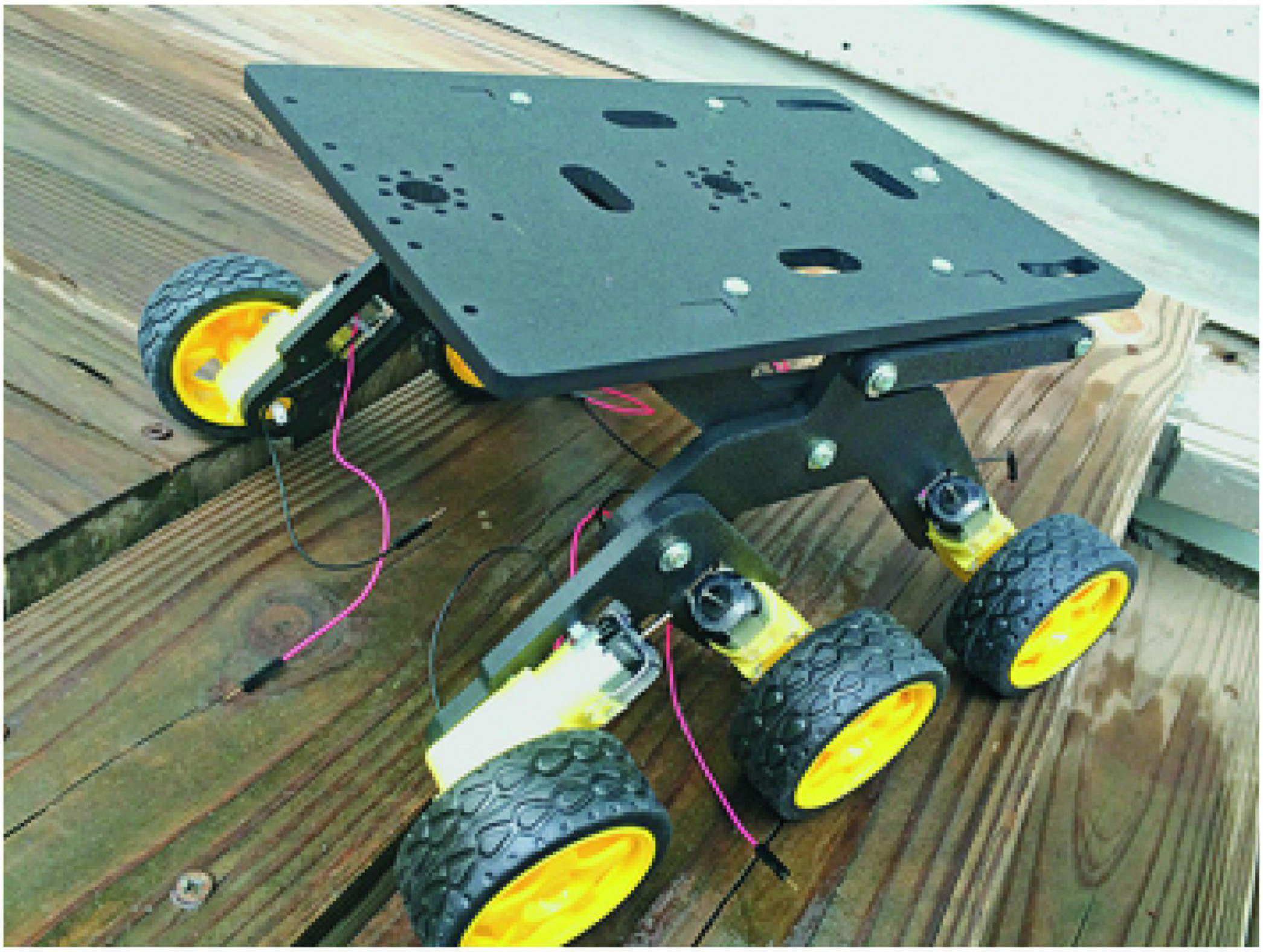


Рис. 13.6. Модель Bogie имеет прочную базу для передвижения по пересеченной местности

Навигация по RFID-меткам

Пассивные RFID-метки (или транспондеры) не нуждаются в источнике питания, они получают энергию от радиоволн, излучаемых считывателем (ридером). Метки имеют различную форму (**рис. 13.7**). Это может быть кредитная карта, брелок для ключей, стикер и даже булавка.

Когда считыватель оказывается поблизости, его излучение индуцирует в витке метки ток, достаточный для активации миниатюрного радиопередатчика, который передает уникальный код метки. Принцип действия показан на **рис. 13.8**.



Рис. 13.7. RFID-метки могут иметь самые разные размеры и форму

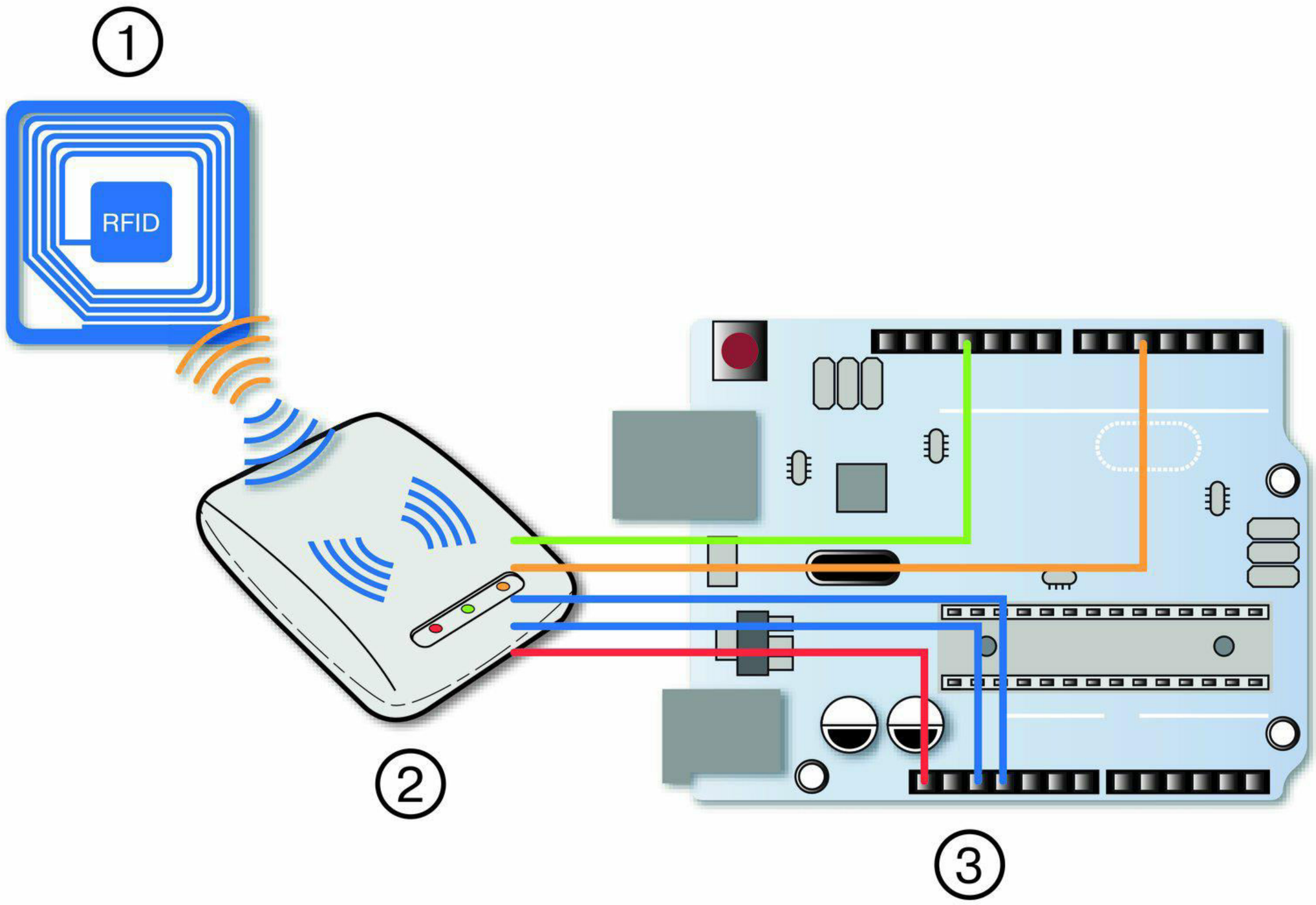


Рис. 13.8. RFID-метки передают сигнал, не имея собственного источника питания: *1* — метка; *2* — считыватель; *3* — пульт управления или компьютер

Код содержит 32 бита информации, каждый бит — это 0 или 1. Код транслируется порциями по 16 бит, 12 из которых — значащие. Когда отбрасываются начальный и конечный маркеры, вы получаете 10-значный буквенно-цифровой код.

Например, один код может означать «повернуть направо на 90 градусов и затем проехать 3 фута», другой — «назад на 3 фута». Разумеется, вы должны знать код, чтобы добавить его в скетч Arduino. Другой интересной особенностью является то, что вы можете осуществлять управление «на ходу», то есть расставляя метки по пути следования робота.

Проект: вездеход, осуществляющий навигацию по RFID-меткам

Давайте теперь займемся постройкой вездехода, осуществляющего навигацию по RFID-меткам (**рис. 13.9**). Базу вы соберете из комплекта готовых деталей Nomad от компании Actobotics. Затем вы установите на нее плату и моторную плату, ультразвуковой датчик в качестве дальномера и, конечно же, считыватель для RFID-меток. Приступим!

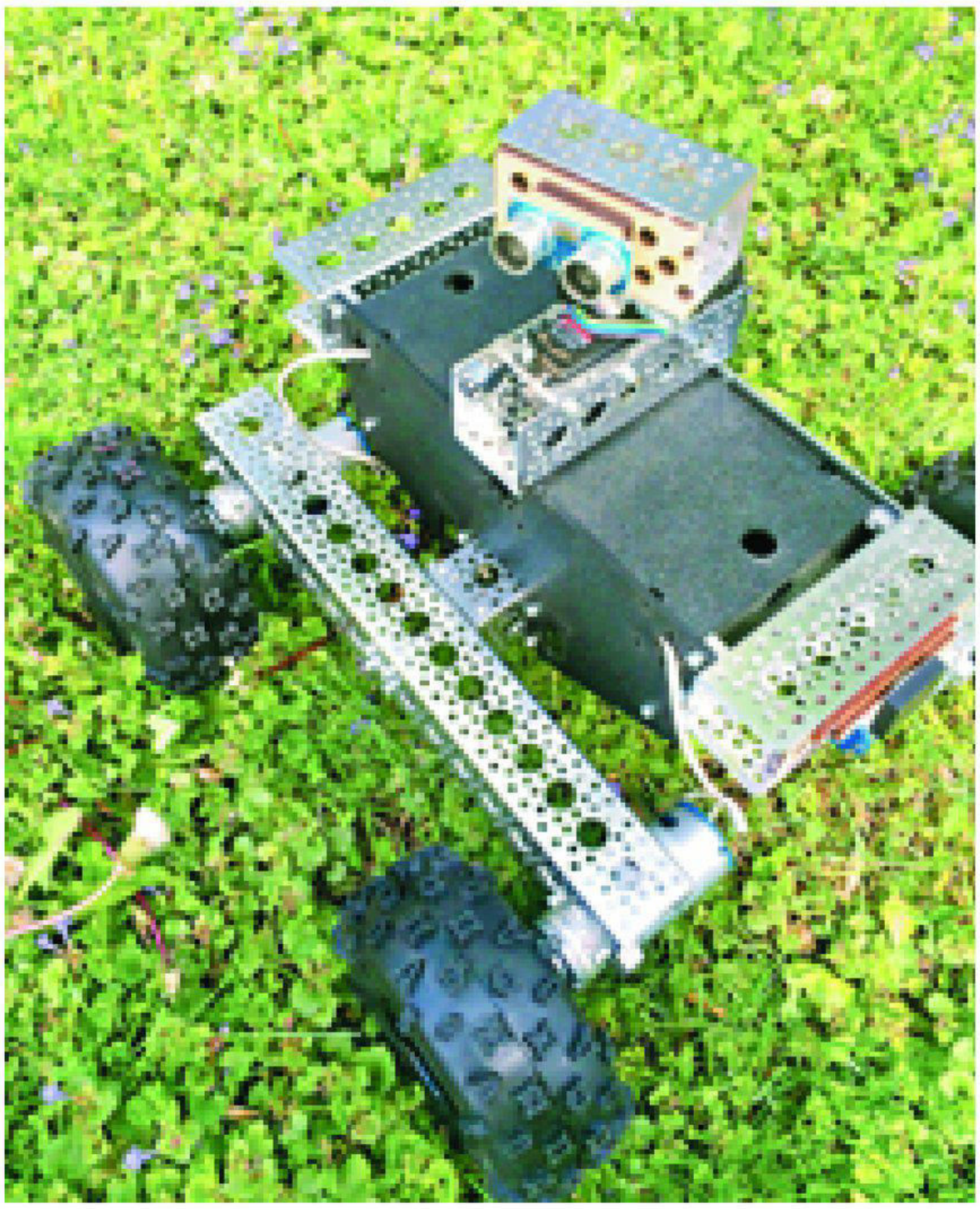


Рис. 13.9. Вездеход осуществляет навигацию по RFID-меткам, а в качестве дальномера использует ультразвуковой датчик

ПЕРЕЧЕНЬ КОМПОНЕНТОВ

Использование готового набора для сборки шасси уменьшает количество вещей, которые нужно приобрести. Вот все необходимое:

- Шасси Actobotics Nomad послужит основой нашего робота. Продается на SparkFun (P/N 13141).
- Два швеллера Actobotics длиной 3 дюйма (75 мм) (SparkFun, P/N 12498).
- Серводвигатель с возможностью поворота на 180° и более. Я использовал Hitec HS-422HD (SparkFun, P/N 11884).
- Площадка для серводвигателя. Я взял Actobotics Servo Plate B (SparkFun, P/N 12444).
- Втулка серводвигателя (SparkFun, P/N 12227).
- 24-жильный шлейф (Jameco, P/N 2187876).
- Считыватель RFID-меток (SparkFun, P/N 11827). Это устройство работает на частоте 125 кГц, так что вам понадобятся совместимые с ним метки.
- RFID-метки (SparkFun, P/N 8310). Эти метки имеют форму стандартной кредитной карты и уникальный 32-разрядный идентификационный код, который нельзя изменить. Метка транслирует этот код при активации.
- Плата-адаптер для считывателя (SparkFun, P/N 13030). Ее приобретать необязательно, но она рекомендуется для того, чтобы удобнее было смонтировать считыватель, имеющий контакты на расстоянии 2 мм, на монтажной плате, где они расположены на расстоянии 0,1 дюйма (2,54 мм).
- Ультразвуковой датчик. Можно купить Sain Smart YC SR04 в интернет-магазине. Похожий датчик Makeblock Me-Ultrasonic Sensor (P/N 11001) можно найти на **www.makeblock.cc**.
- Дополнительные провода-перемычки (Adafruit, P/N 826).
- Саморезы Phillips № 4 — 24×$^1/_4$ дюйма с плоскоконической головкой, например Fastenal P/N 0143528.
- Батарейный отсек для аккумулятора 9 В (Adafruit, P/N 80).
- Аккумуляторная батарея 8×AA для двигателей (Adafruit, P/N 449).

Этапы сборки

Начнем постройку нашего вездехода со сборки шасси Actobotics Nomad. Замечу, что у компании Actobotics на YouTube есть видеоруководство по сборке шасси, его можно найти по ссылке **https:/www.youtube.com/watch?v=FAPDkyeAek8**. Ну а теперь перейдем к этапам сборки.

1. Соберите ABS-раму (**рис. 13.10**), свинтив ее винтами № 6–32 с головками под торцевой ключ. Название ABS-шасси дано по названию ABS-пластика. Из этого прочного пластика делают также детали LEGO. Следует добавить, что он легко сверлится, поэтому не составит труда просверлить необходимые отверстия для установки оборудования.

2. Прикрепите три швеллера длиной 4,5 дюйма (11,43 см) к шасси. Основной деталью в наборах компании Actobotics является алюминиевый швеллер — металлическая балка с множеством просверленных отверстий. На данном этапе мы прикрепим три швеллера (**рис. 13.11**) с помощью крепежа из набора.

Эти швеллеры не несут какой-либо прочностной нагрузки, на них просто монтируются датчики и другое оборудование. Позже мы осуществим монтаж оборудования — установим вращающийся ультразвуковой датчик на верхний швеллер, а считывающее устройство для RFID-меток на передний.

3. Прикрепите 6-дюймовый швеллер на нижнюю сторону рамы при помощи крепежных элементов (**рис. 13.12**). На его концах установите еще два элемента конструкции. Первый — опорная подушка для оси (на рисунке обозначена буквой A) со встроенным подшипни-

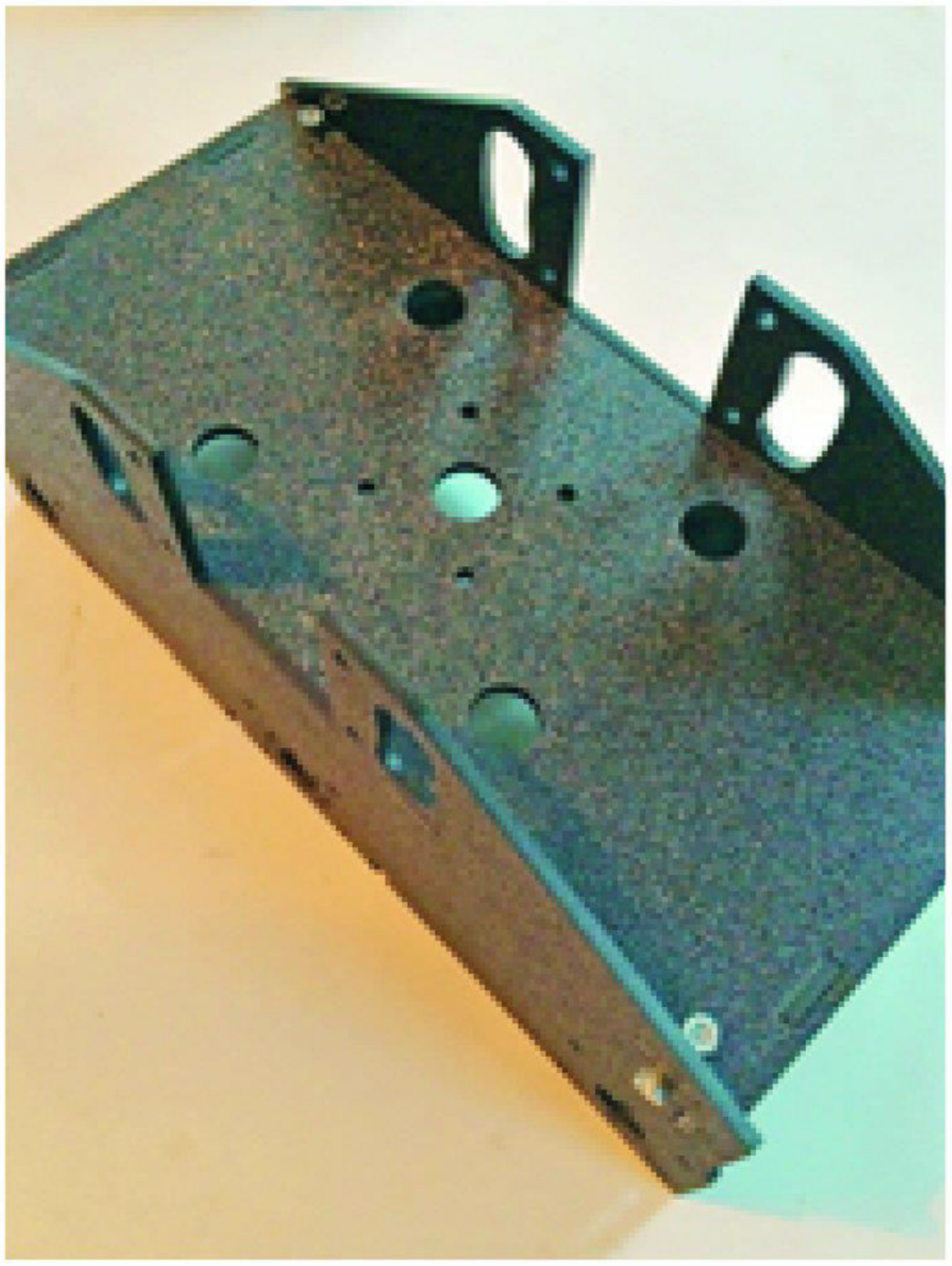


Рис. 13.10. Соберите раму из ABS-пластика

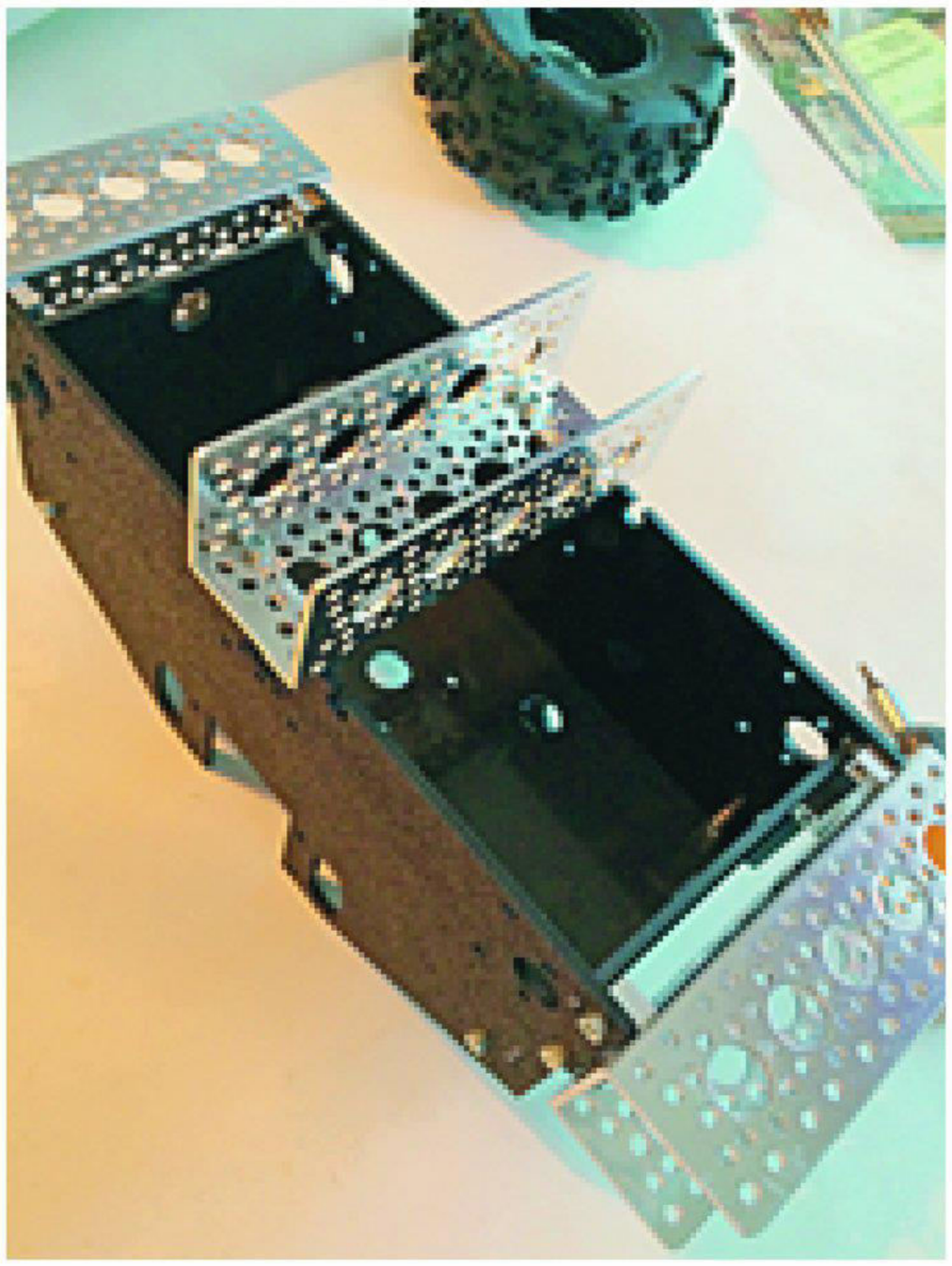


Рис. 13.11. На этих швеллерах в дальнейшем будут закреплены датчики

ком, в котором может вращаться ось диаметром $^1/_4$ дюйма (6 мм). Второй — такая же подушка, но без подшипника (на рисунке обозначена буквой B).

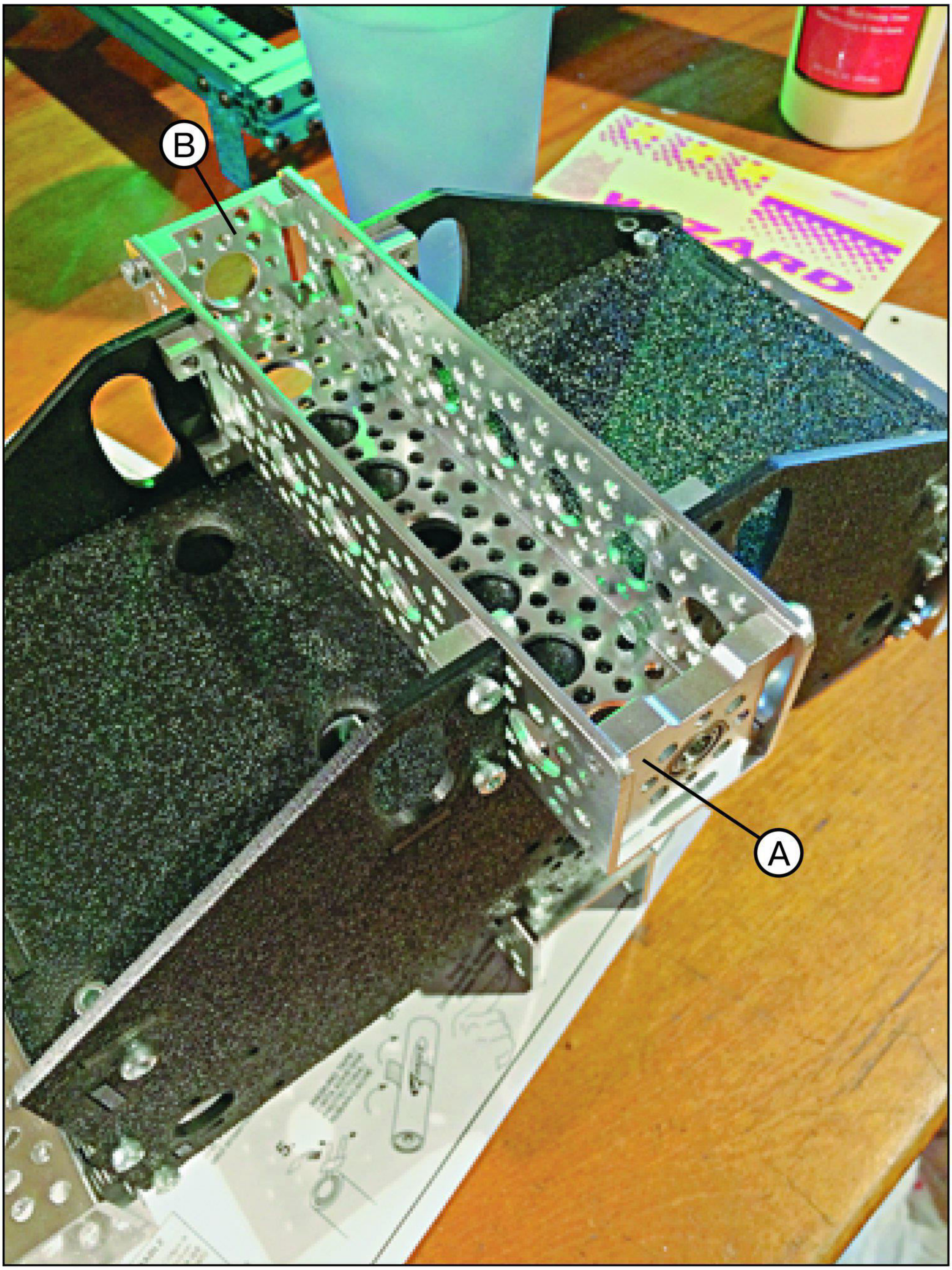


Рис. 13.12. На 6-дюймовом швеллере будут закреплены колесные пары

4. Теперь возьмите два 12-дюймовых швеллера, на их концах привер-ните еще четыре подушки без подшипников и хомуты для установки двигателей (**рис. 13.13**).

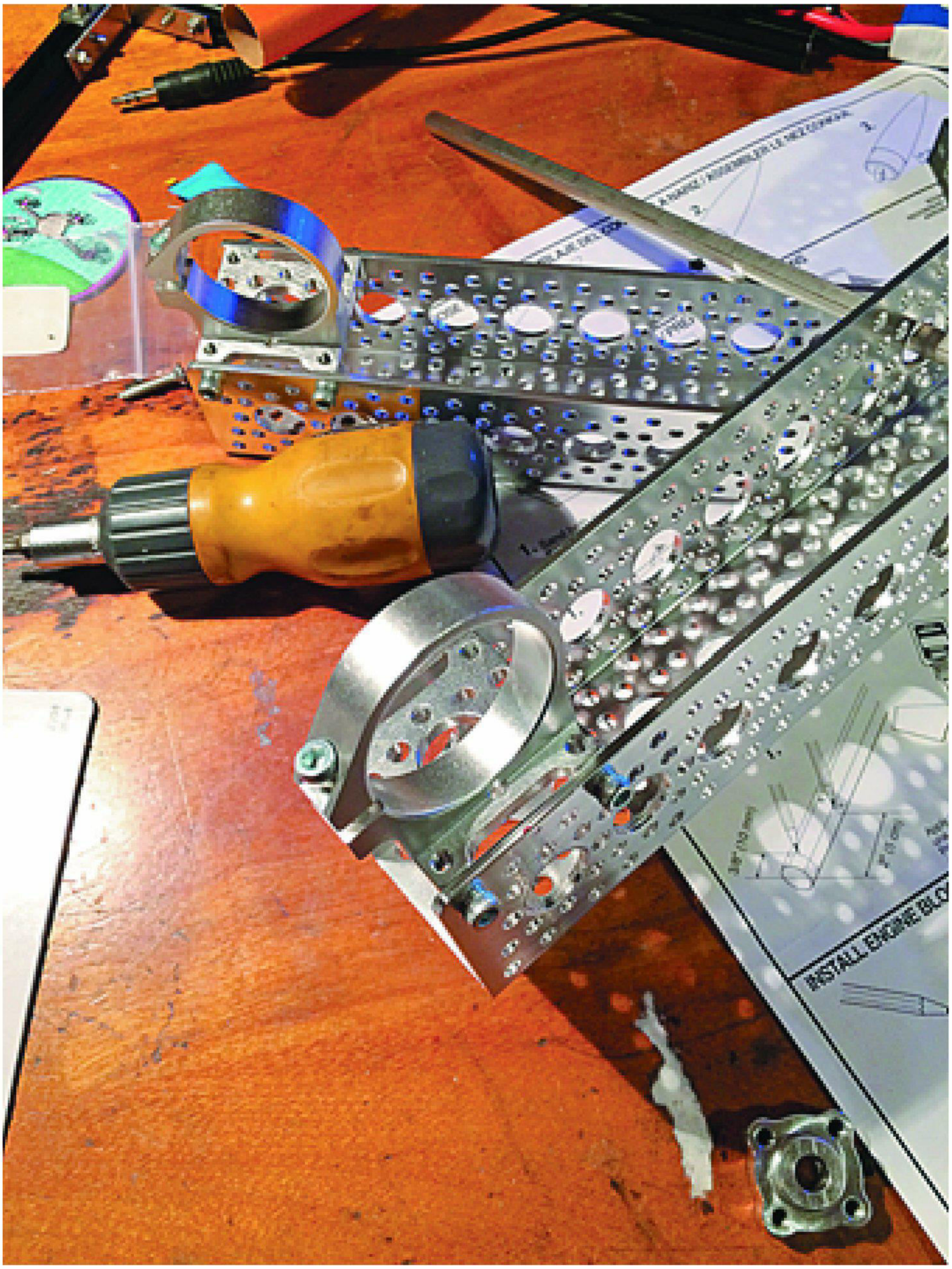


Рис. 13.13. Установите хомуты для крепления двигателей на 12-дюймовые швеллеры

5. К одному из 12-дюймовых швеллеров приверните винтами ступицу с отверстием $^1/_4$ дюйма, вставьте в нее конец 8-дюймовой оси и зафиксируйте ее стопорным винтом (**рис. 13.14**).

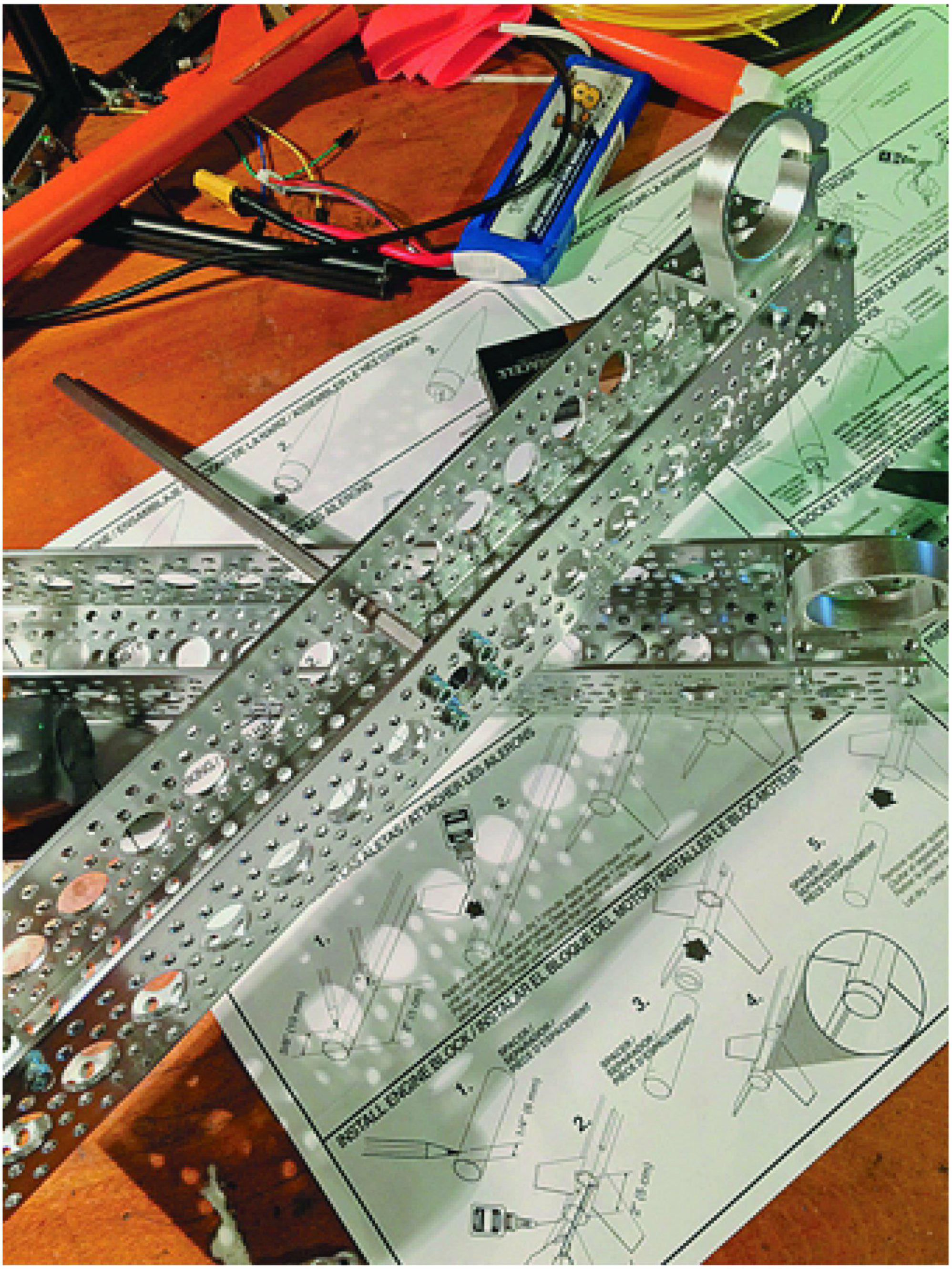


Рис. 13.14. Приверните к 12-дюймовому швеллеру ступицу и закрепите в ней конец 8-дюймовой оси

6. 12-дюймовый швеллер прикрепите к опорной подушке с подшипником на 6-дюймовом швеллере (**рис. 13.15**). В том месте, где через 12-дюймовый швеллер проходит ось, поставьте подшипник и прокладку. Этот швеллер может поворачиваться, что поможет нашей модели передвигаться по пересеченной местности.



Рис. 13.15. Соедините один из 12-дюймовых швеллеров с шасси

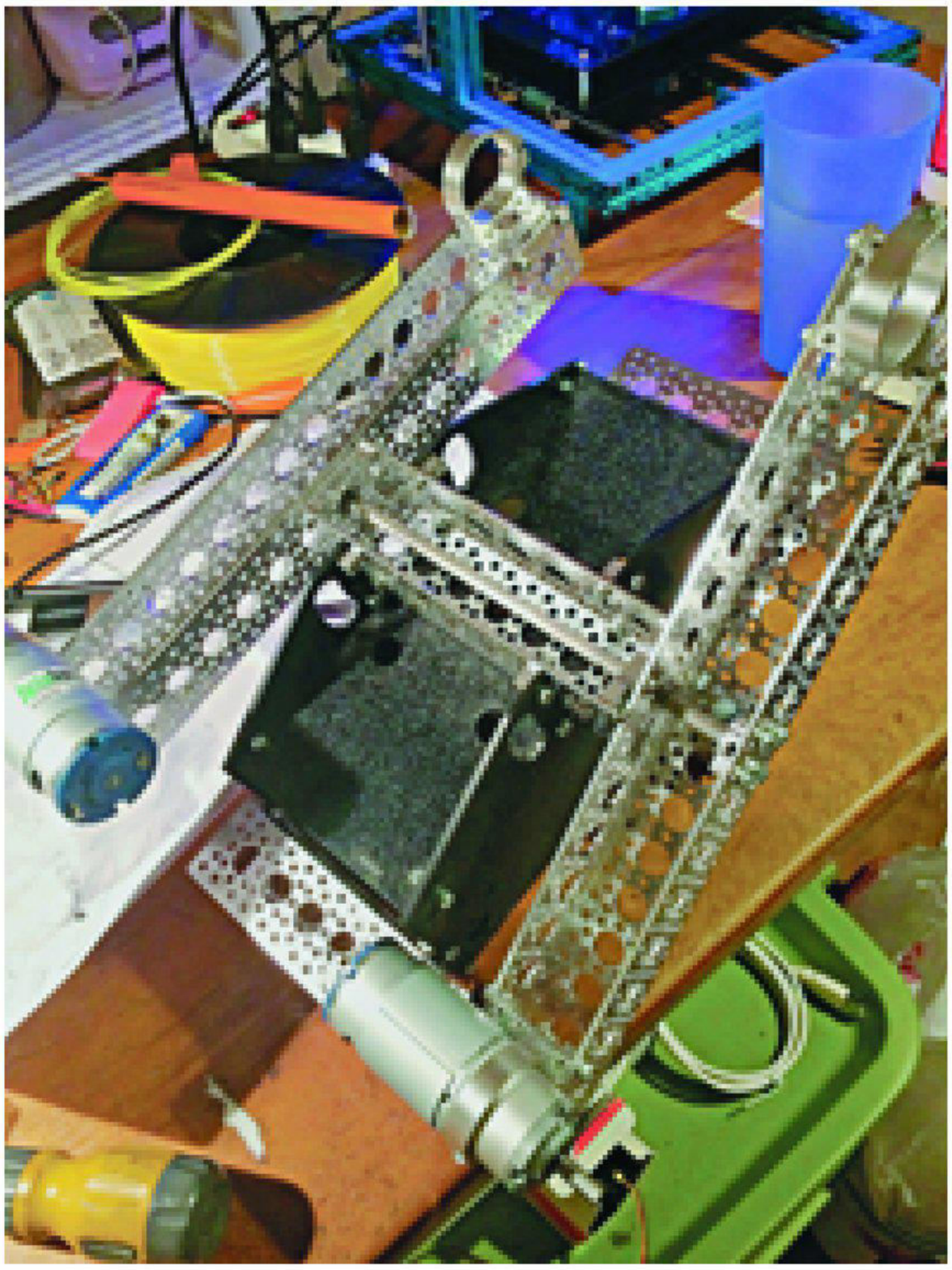


Рис. 13.16. Прикрепите к шасси другой 12-дюймовый швеллер

7. Прикрепите к шасси другой 12-дюймовый швеллер, снабдив его собственным подшипником, который будет поддерживать второй конец оси (**рис. 13.16**). Этот швеллер будет неподвижен, но не стоит беспокоиться: если обе колесные подвески будут подвижными, то шасси будет опрокидываться в ту или иную сторону.

8. Установите двигатели и шестигранные адаптеры для колес (**рис. 13.17**). Двигатели просто вставьте в хомуты на концах 12-дюймовых швеллеров, которые затем затяните. На каждую ось установите шестигранный колесный адаптер.

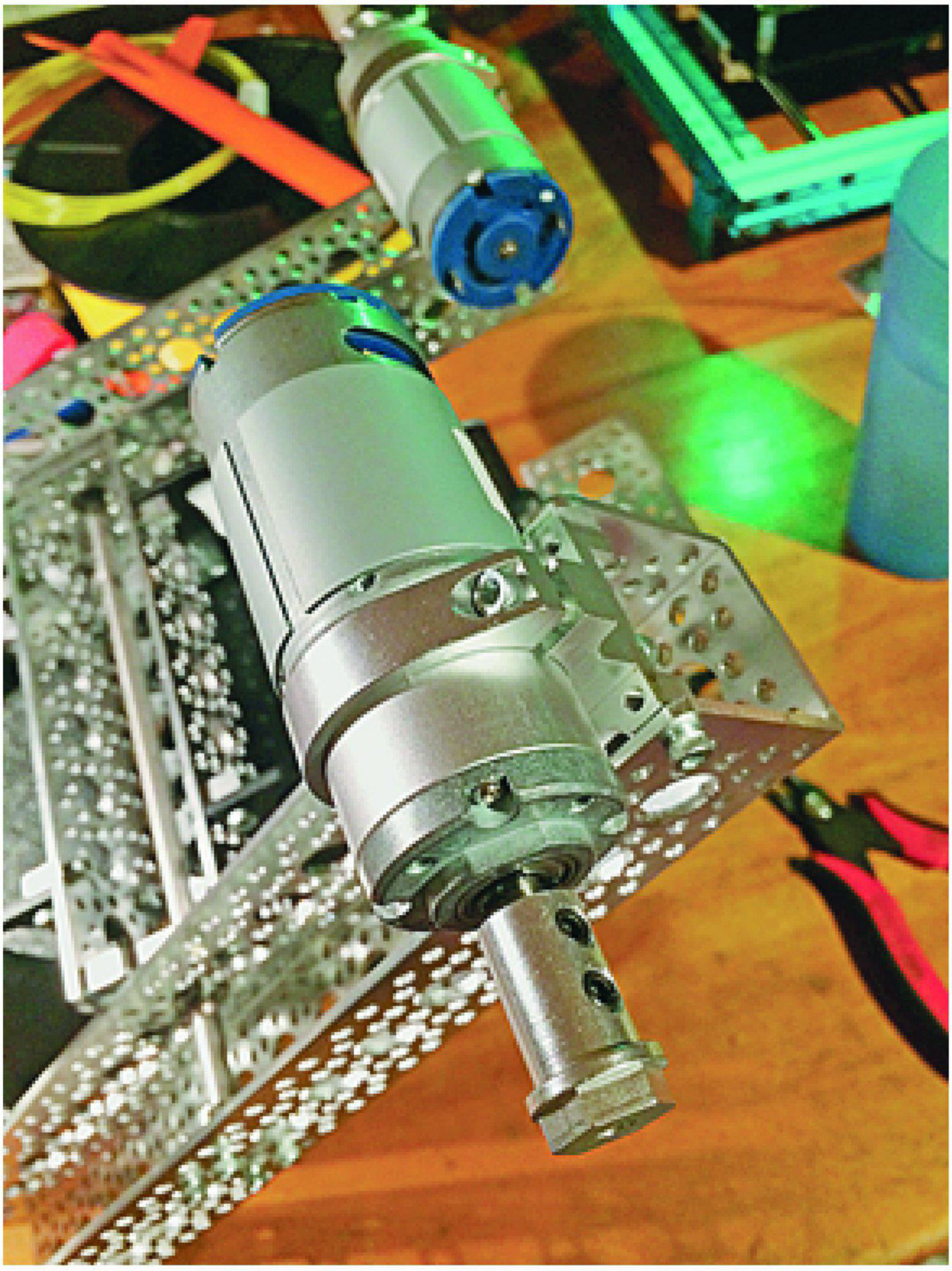


Рис. 13.17. Установите двигатели и колесные адаптеры

9. Соберите и установите колеса. Они состоят из пластикового обода, пенополиуретанового вкладыша и резиновой покрышки поверх вкладыша (**рис. 13.18**). Используйте для крепления колес винты № 6 × 32 со шлицевыми головками.



Рис. 13.18. Соберите и установите колеса

10. С ходовой частью вы закончили (**рис. 13.19**). Теперь предстоит установить датчики. Имейте в виду, что все детали от компании Actobotics, упоминаемые ниже, приобретаются отдельно, как указано в перечне компонентов.

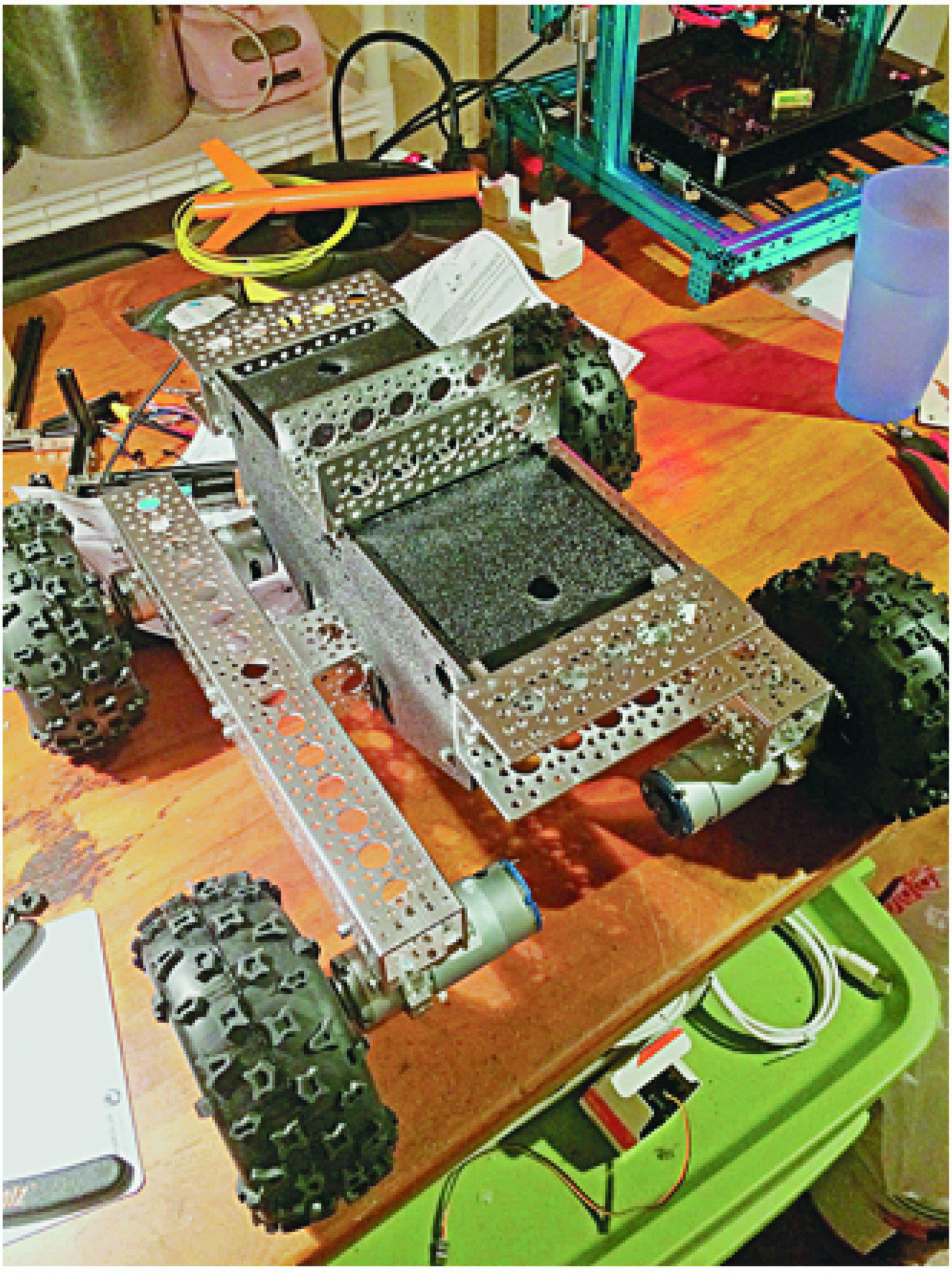


Рис. 13.19. С ходовой частью вы закончили, теперь нужно установить оборудование

11. Приверните серводвигатель к предназначенной для него площадке винтами № 6 × 32 (**рис. 13.20**).

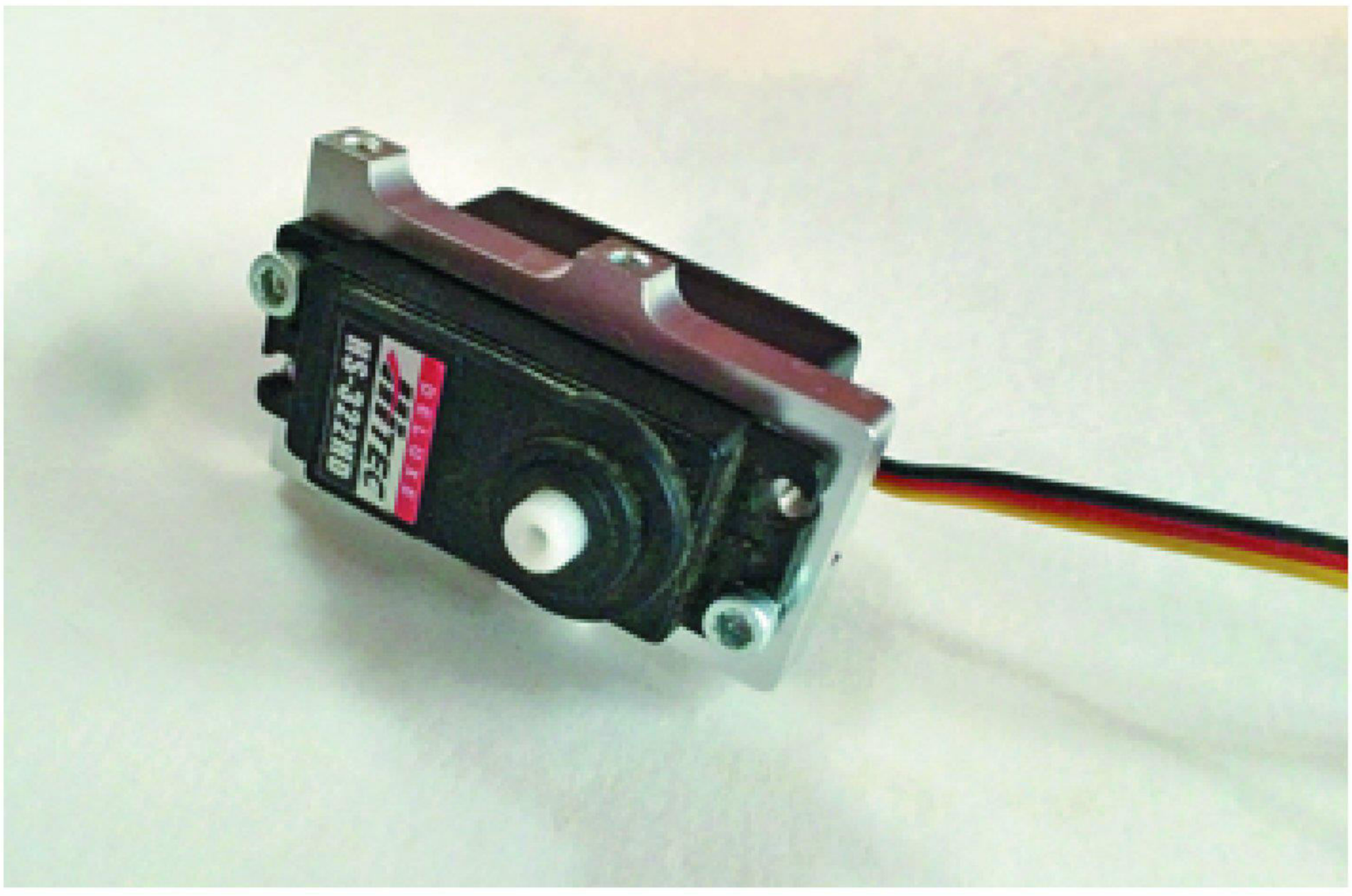


Рис. 13.20. Приверните серводвигатель к площадке



Рис. 13.21. Установите серводвигатель на верхний швеллер

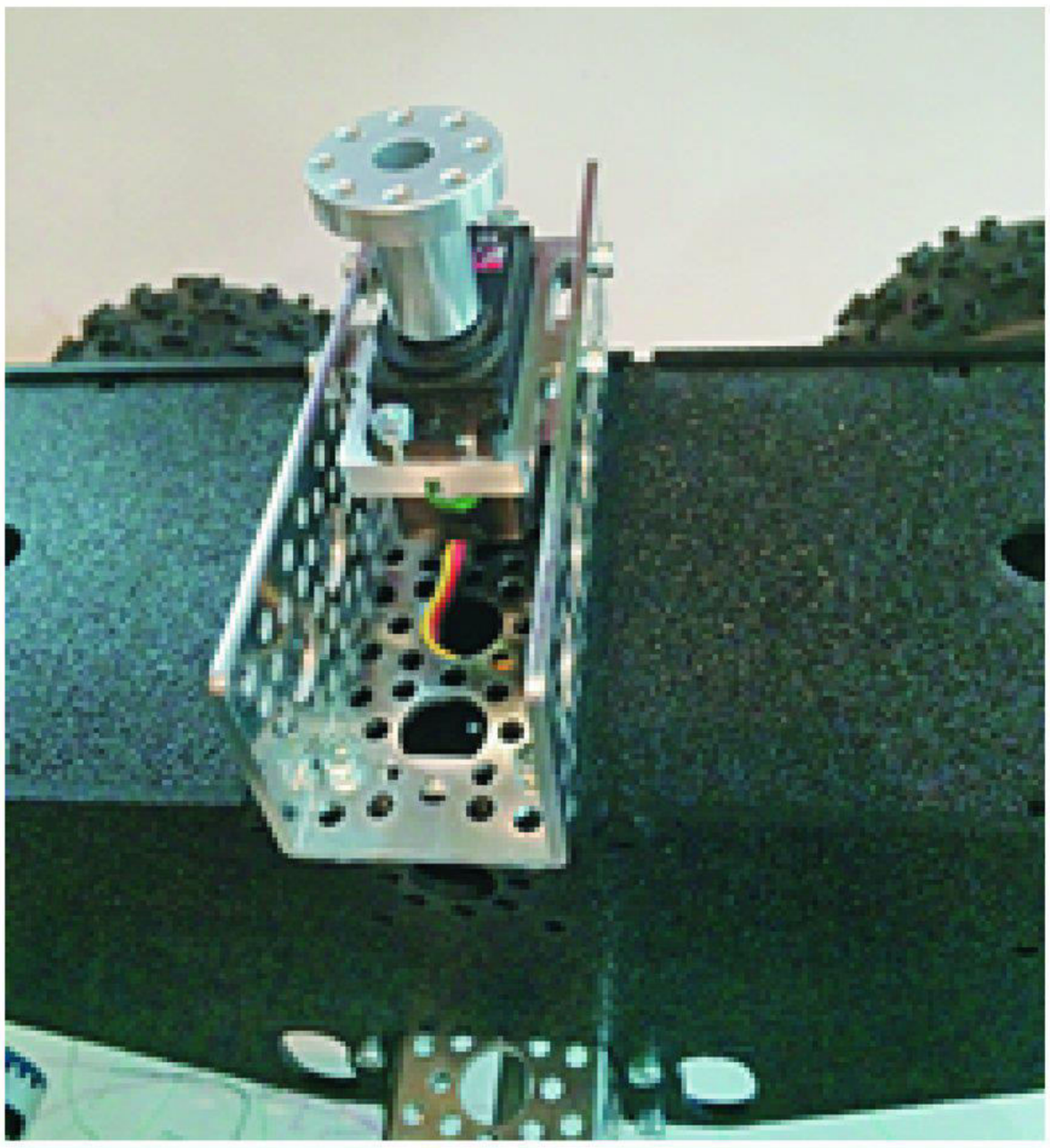


Рис. 13.22. Приверните втулку серводвигателя

12. Установите серводвигатель на верхний швеллер (**рис. 13.21**) так, чтобы втулка серводвигателя была как можно ближе к середине швеллера. Провода серводвигателя можно пропустить через центральное отверстие швеллера.

13. Приверните втулку серводвигателя винтами, которые поставляются в комплекте с ним (**рис. 13.22**).

14. Установите 3-дюймовый швеллер на втулку (**рис. 13.23**). С ним будет поворачиваться ультразвуковой датчик.

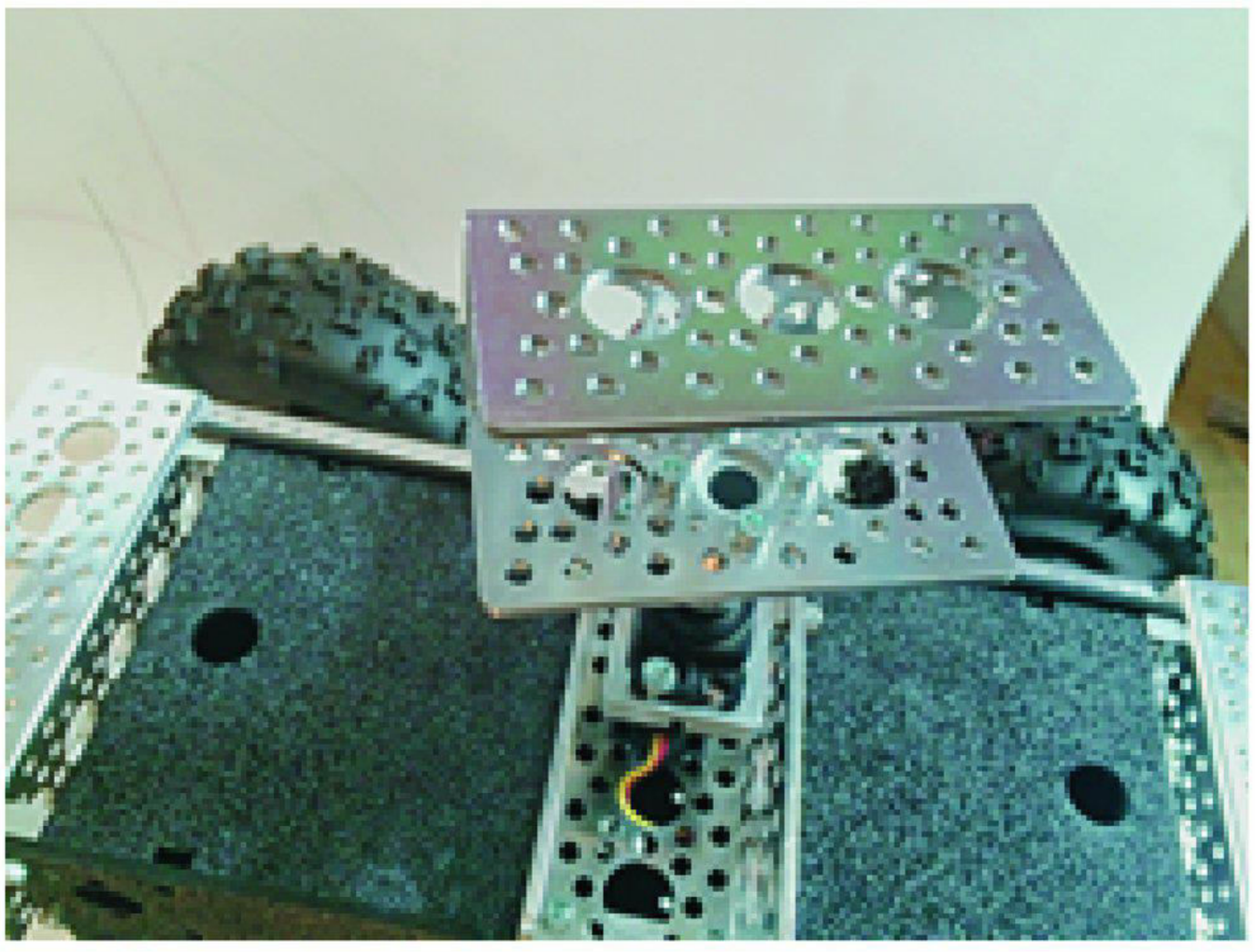


Рис. 13.23. Установите 3-дюймовый швеллер

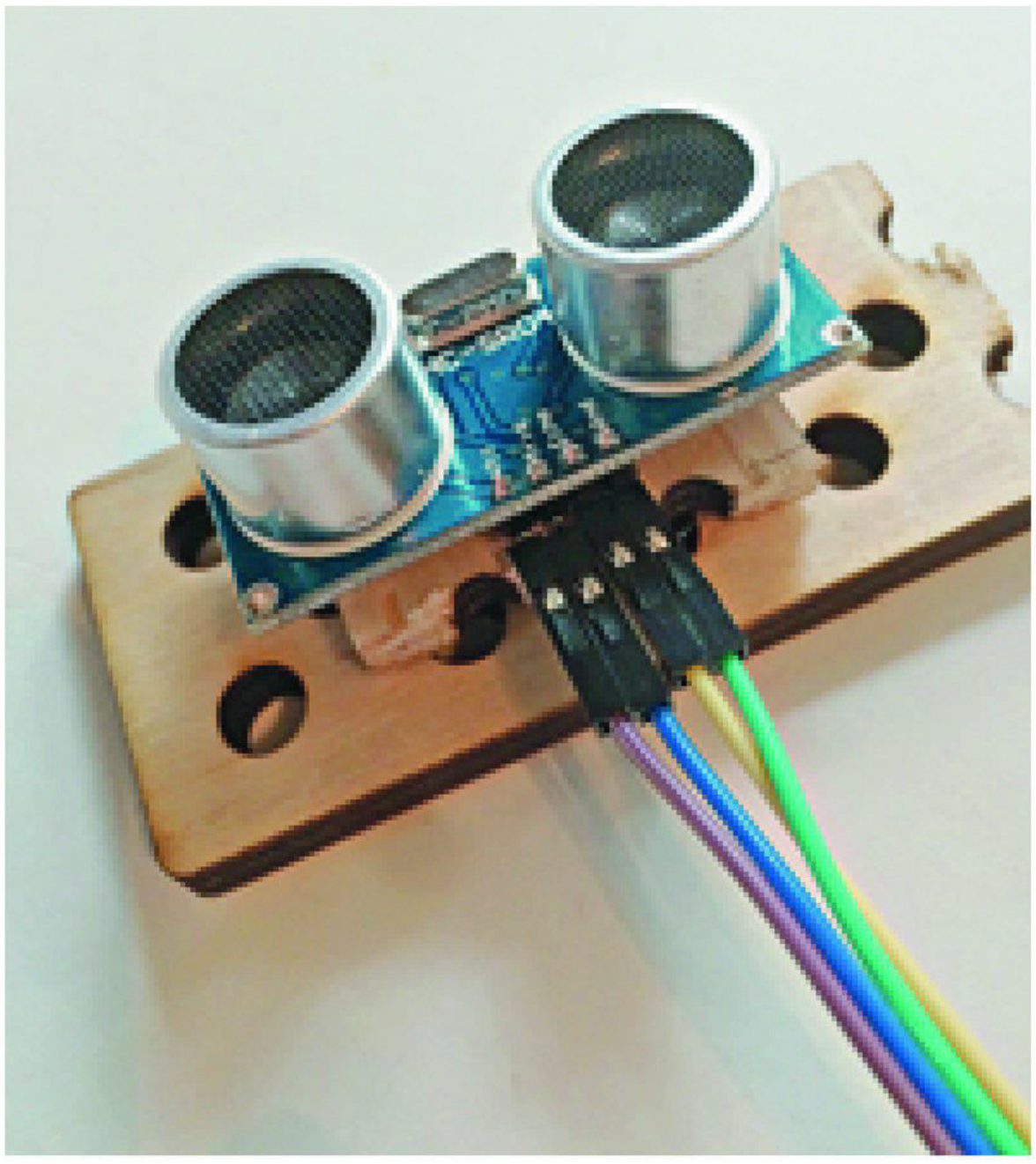


Рис. 13.24. Соберите плату с ультразвуковым датчиком

15. Соберите плату с ультразвуковым датчиком. Это сам датчик и площадка из фанеры, к которой он прикреплен двусторонним скотчем (**рис. 13.24**). Заодно присоедините провода к четырем контактам датчика. Фанерная площадка имеет размер 1,5 × 3 дюйма (3,8 × 76 см).

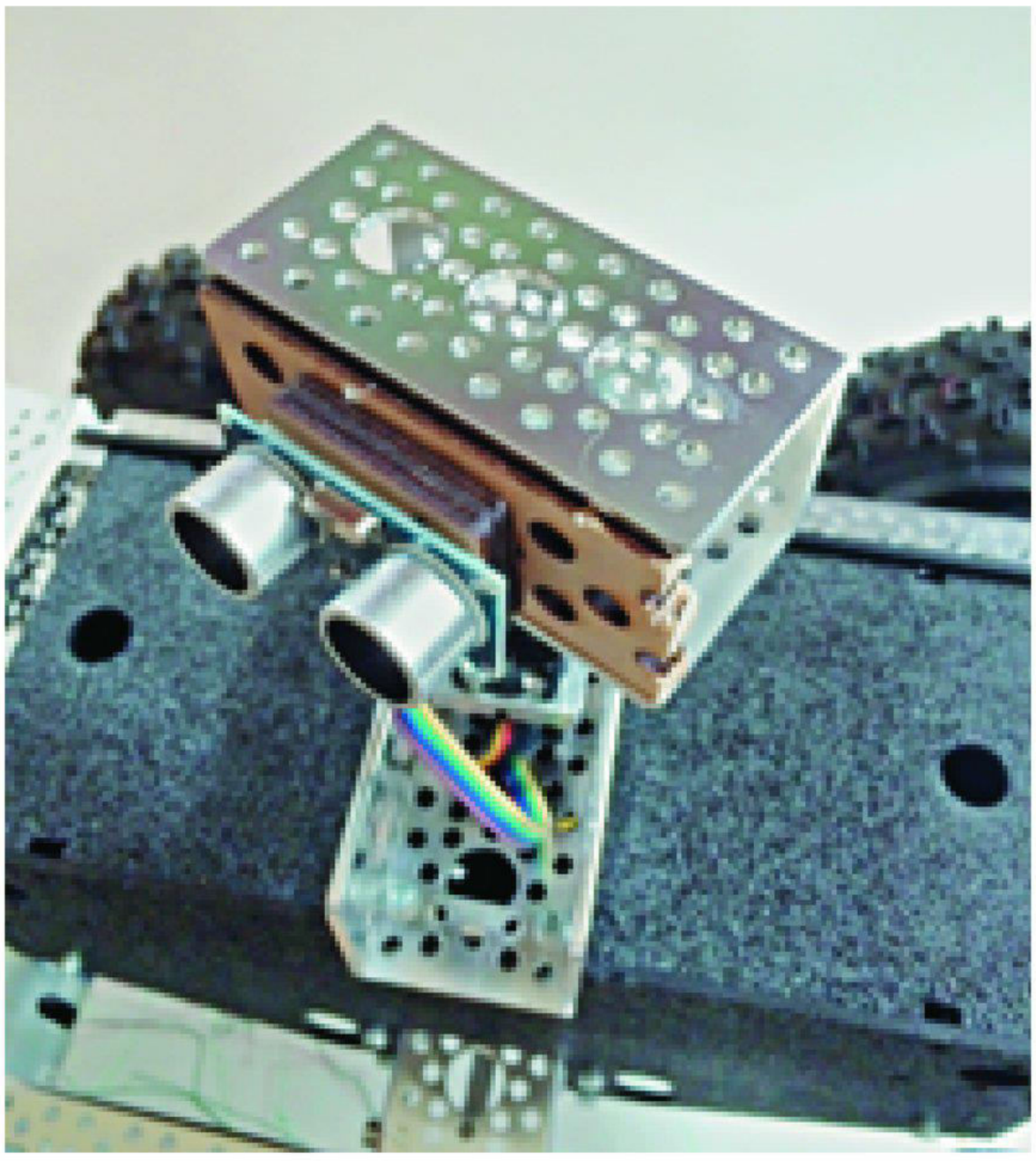


Рис. 13.25. Установите плату с датчиком на 3-дюймовом швеллере

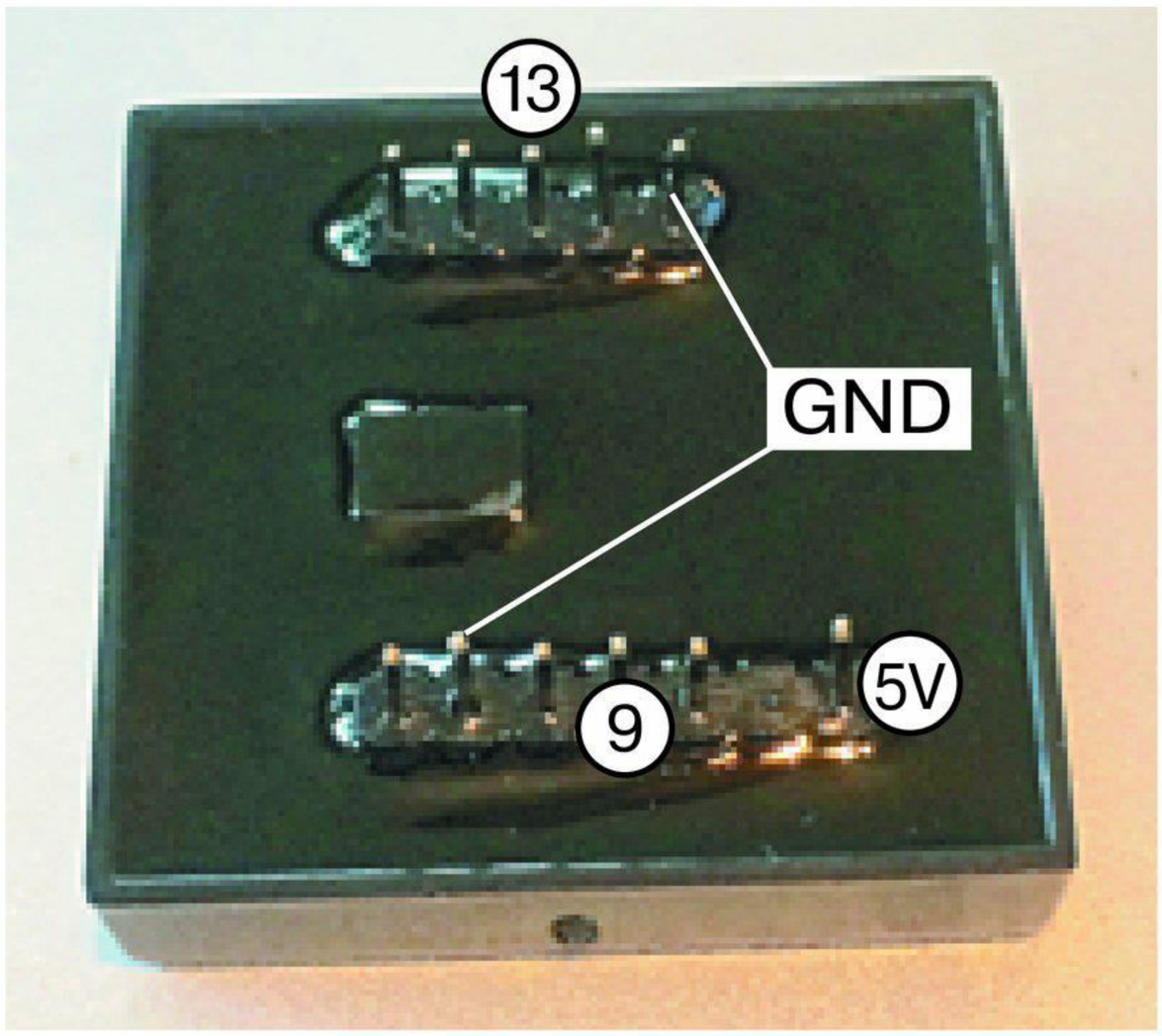


Рис. 13.26. Схема подключения модуля считывателя RFID-меток

16. Привинтите площадку с датчиком к 3-дюймовому швеллеру винтами № 3 с полукруглой головкой. А можно просто закрепить плату на трении, чтобы обойтись без крепежа, но в этом случае размеры платы должны точно соответствовать швеллеру по ширине (**рис. 13.25**).

17. Следующий шаг — подключение проводов к считывателю RFID-меток. Здесь нас выручит плата-адаптер для считывателя, которую я упомянул в перечне. Ее контакты расположены на расстоянии 0,1 дюйма, что удобно для подключения к макетной плате с шагом тоже 0,1 дюйма, в то время как контакты самого считывателя расположены на расстоянии 2 мм друг от друга. Если не хотите использовать плату-адаптер, то на **рис. 13.26** показано, к каким контактам следует присоединить провода. В дальнейшем я объясню, куда нужно подключить другие концы проводов.

18. Установите модуль считывателя RFID-меток на площадку, как вы уже делали ранее (**рис. 13.27**).

19. Теперь приступим к подключению бортовой электроники. На **рисунке 13.28** показаны все подключения, но давайте разберем все подробно.

1) Установите плату расширения для подключения двигателей на плату Arduino.
2) Подсоедините выводы двигателей к плате расширения, просто вставив провода в клеммники. Если двигатель вращается не в ту сторону, поменяйте полярность.
3) Подключите шлейф серводвигателя к колодке с тремя разъемами. Разъемы на концах проводов просто надеваются на пины.
4) Подключите выводы ультразвукового датчика. Разъемы 5V и GND подключаются к пинам Arduino. Разъем TRIG соединяется с пином 12, а разъем ECHO — с пином 11.
5) Подключите выводы модуля RFID к соответствующим пинам контактной группы (см. **рис. 13.26**).

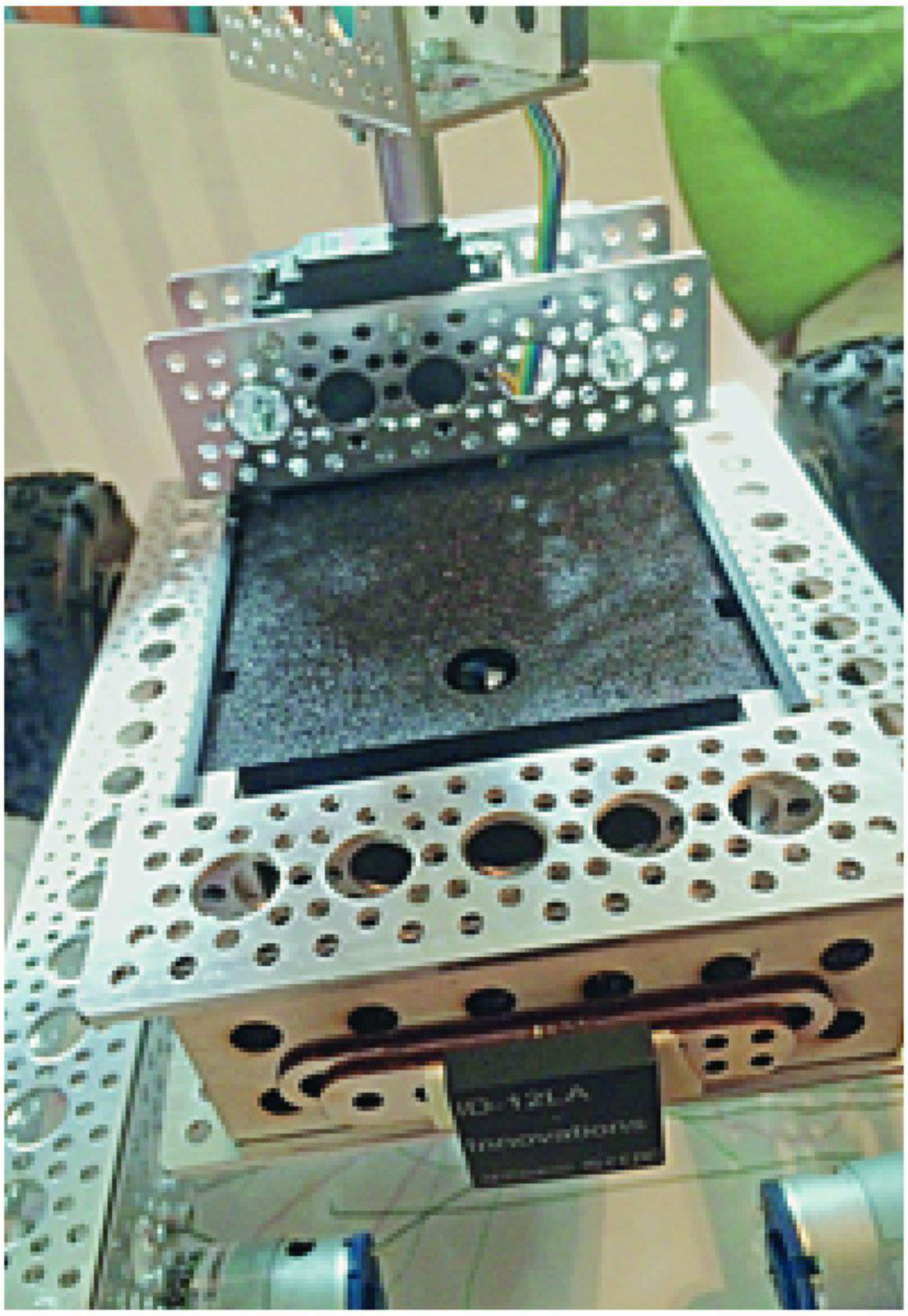


Рис. 13.27. Установите модуль считывателя RFID-меток

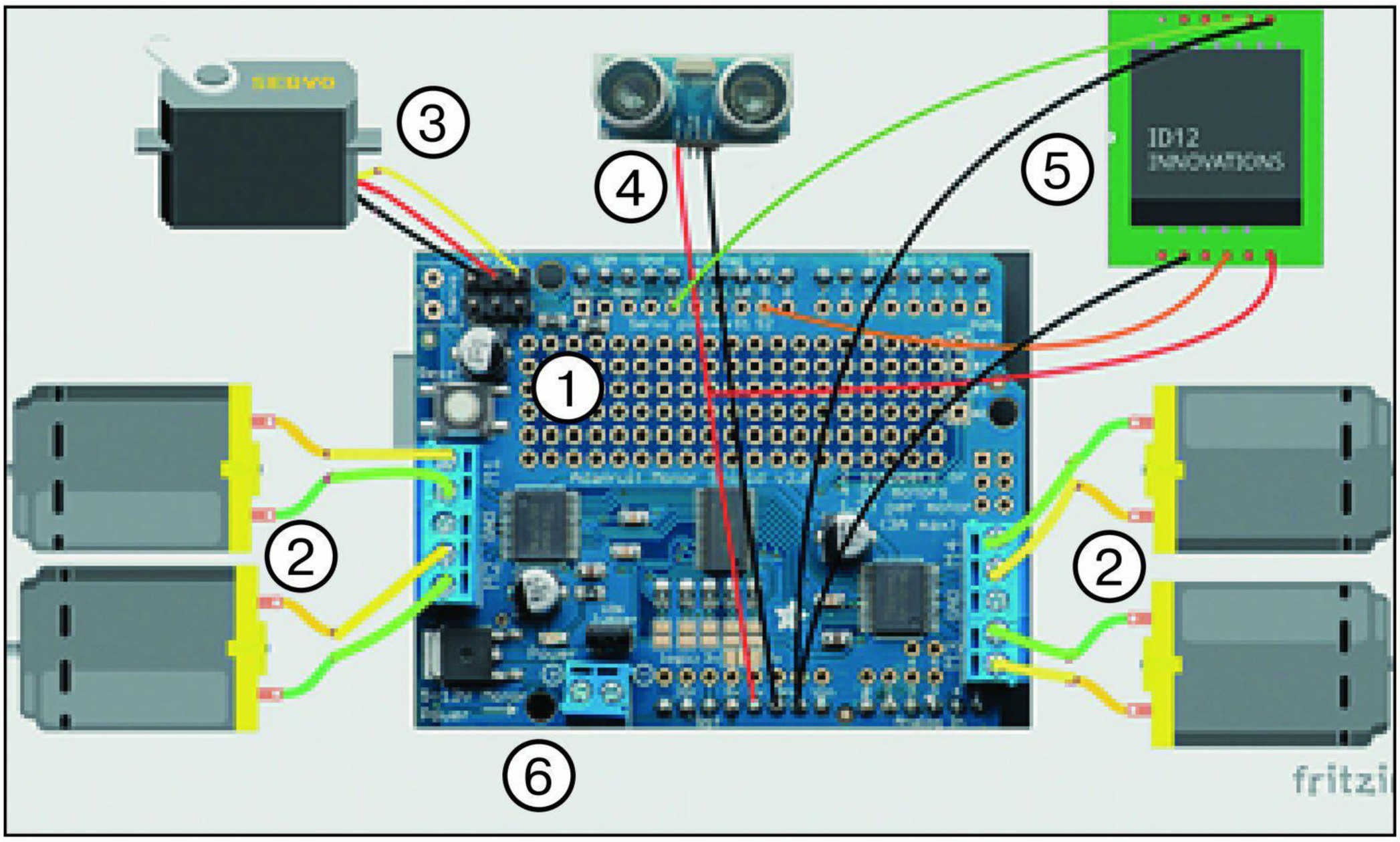


Рис. 13.28. Подключение бортовой электроники

6) Подключите элементы питания. Контакты 9-вольтового аккумулятора подключаются к коаксиальному разъему Arduino, а 12-вольтового — к клеммнику, обозначенному 5-12V Motor Power.

Программирование вездехода

Скетч содержит различные сложные модули: считывание RFID-меток, сканирование при поиске меток и сравнение полученных кодов со списком доступных действий.

Например, если сканируется один код, то модель поворачивает датчик в сторону метки и осуществляет дистанционное сканирование. Одна метка дает команду двигаться в обратном направлении, другая — осуществлять разворот на месте. Все зависит от ваших конкретных условий, в которых происходит движение. Следующие примеры показывают, как вы можете создать собственную программу.

```
//Этот программный код создан на основе примера кода
из библиотеки Adafruit Motor Shield
//И по руководству по RFID Bildr.org
#include <Servo.h>
#include <AFMotor.h> //Возможно, вам придется загрузить
библиотеку
int RFIDResetPin = 13;
//Это два пина управления ультразвуковым датчиком
//Если у вас трехконтактный датчик PING, просто поменяйте
нумерацию контактов Arduino (в коде)
//Чтобы номера совпадали
int us_ping = 12;
int us_listen = 11;
//Задаем число двигателей, равное четырем; FL — передний
левый и т.д.
AF_DCMotor FLmotor(1);
AF_DCMotor FRmotor(2);
AF_DCMotor BLmotor(3);
AF_DCMotor BRmotor(4);
//Инициализируем серводвигатель
Servo USservo;
//Придаем каждой RFID-метке свой массив, то есть корректный
код
//13 — размер массива, 12 символов плюс нуль
char tag1[13] = "000000000000";
```

```
char tag2[13] = "111111111111";
char tag3[13] = "222222222222";
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  pinMode (RFIDResetPin, OUTPUT);
  digitalWrite(RFIDResetPin, HIGH);
  //Подаем питание на серводвигатель и четыре двигателя
постоянного тока
  USservo.attach(10); //AKA servo 1 в библиотеке Motor
Shield
  FLmotor.setSpeed(200);
  FLmotor.run(RELEASE);
  FRmotor.setSpeed(200);
  FRmotor.run(RELEASE);
  BLmotor.setSpeed(200);
  BLmotor.run(RELEASE);
  BRmotor.setSpeed(200);
  BRmotor.run(RELEASE);
  //Определяем пин ультразвукового датчика
  const int us_Listen = 11;
  const int us_Ping = 12;
  long duration, inches, cm;
}
void loop() {
  char tagString[13];
  int index = 0;
  boolean reading = false;
  while (Serial.available()) {
    int readByte = Serial.read(); //Считываем следующий
байт
    if (readByte == 2) reading = true; //Начало считывания
метки
    if (readByte == 3) reading = false; //Конец считывания
метки
    if (reading && readByte != 2 && readByte != 10 &&
readByte! = 13) {
      //Сохранить данные метки
      tagString[index] = readByte;
      index ++;
    }
  }
  checkTag(tagString); //Проверить на совпадение
  clearTag(tagString); //Очистить значения переменных
  resetReader(); //Рестарт считывателя
}
```

```
switch(tagString) {
case 'tag1':
  servo1.write(90); //Поворачиваем датчик
  //Посылаем сигнал считывания
  pinMode(us_Ping, OUTPUT);
  digitalWrite(us_Ping, LOW);
  delayMicroseconds(2);
  digitalWrite(us_Ping, HIGH);
  delayMicroseconds(5);
  digitalWrite(us_Ping, LOW);
  //Слушаем ответ
  pinMode(us_Listen, INPUT);
  duration = pulseIn(us_Listen, HIGH);
  cm2 = microsecondsToCentimeters(duration);
  if (cm2 < 1000) //Включается на расстоянии один метр
  {
    //Задаем действия при приближении на один метр
  }
  servo1.write(-90); //Возврат в исходное положение
  break;
case 'tag2':
//Задний ход двигателей в течение двух секунд
FLmotor.run(BACKWARD);
FLmotor.setSpeed(200);
FRmotor.run(BACKWARD);
FRmotor.setSpeed(200);
BRmotor.run(BACKWARD);
BRmotor.setSpeed(200);
BLmotor.run(BACKWARD);
BLmotor.setSpeed(200);
delay(2000);
FLmotor.setSpeed(0);
FRmotor.setSpeed(0);
BRmotor.setSpeed(0);
BLmotor.setSpeed(0);
  delay(5);
  break;
case "tag3":
  //Установка в заданную позицию
  FLmotor.run(FORWARD);
  FLmotor.setSpeed(200);
  FRmotor.run(BACKWARD);
  FRmotor.setSpeed(200);
  BRmotor.run(BACKWARD);
```

```
BRmotor.setSpeed(200);
BLmotor.run(FORWARD);
BLmotor.setSpeed(200);
delay(2000);
FLmotor.setSpeed(0);
FRmotor.setSpeed(0);
BRmotor.setSpeed(0);
BLmotor.setSpeed(0);
break;
}
clearTag(tagString); //Очистить значения переменных
resetReader(); //Рестарт считывателя
}
//Подпрограмма пересчета микросекунд в сантиметры
long microsecondsToCentimeters(long microseconds)
{
  return microseconds / 29 / 2;
}
//Рестарт считывателя
void resetReader() {
  digitalWrite(RFIDResetPin, LOW);
  digitalWrite(RFIDResetPin, HIGH);
  delay(150);
}
//Очистка кода метки путем записи нулей
void clearTag(char one[]) {
  for (int i = 0; i < strlen(one); i++) {
    one[i] = 0;
  }
}
```

Заключение

В этой главе вы познакомились с последним классом дронов, построив вездеход Actobotics Nomad под управлением Arduino. Но вы еще не закончили главный проект этой книги — квадрокоптер. Вам предстоит его запрограммировать. В **главе 14** «Строим квадрокоптер, часть VI: программное обеспечение» представлены наиболее популярные программы управления, которые позволяют управлять моделью с помощью ноутбука или планшета. Затем я расскажу о том, как сконфигурировать полетный контроллер MultiWii, после чего можно приступать к полетам!

14

Строим квадрокоптер, часть VI: программное обеспечение

Итак, вы дошли до последней главы. Здесь познакомитесь с программным обеспечением, которое будет управлять вашим квадрокоптером. Эта глава охватывает различные управляющие интерфейсы, позволяющие осуществлять управление с ноутбука и других мобильных устройств. Поэтому вы сможете обойтись без традиционных джойстиков. А затем я расскажу, как сконфигурировать полетный контроллер MultiWii и подготовиться таким образом к полетам (**рис. 14.1**).



Рис. 14.1. Логическое завершение работы с моделью квадрокоптера — полет

Программное обеспечение полетного контроллера

Вы вправе ожидать, что программное обеспечение (ПО) будет управлять моторами лучше, чем ваши пальцы. Доверив управление полетом программе, вы можете заняться управлением камерой или следить за показаниями GPS и других датчиков. Некоторые пакеты программ позволяют разработать конкретный маршрут, которого ваша модель будет придерживаться.

Может закрасться подозрение, что каждая программа разработана под какое-то конкретное оборудование — как может какая-то программа знать именно о вашей модели? Тем не менее разработчики программного обеспечения заинтересованы в том, чтобы вы использовали именно их разработки для управления своими дронами.

OpenPilot

Этот некоммерческий программный продукт с открытым исходным кодом специализируется на стабилизации полета и программировании автопилота для мультикоптеров и других автономных моделей: трикоптеров, аппаратов с фиксированным крылом и наземных моделей. Для

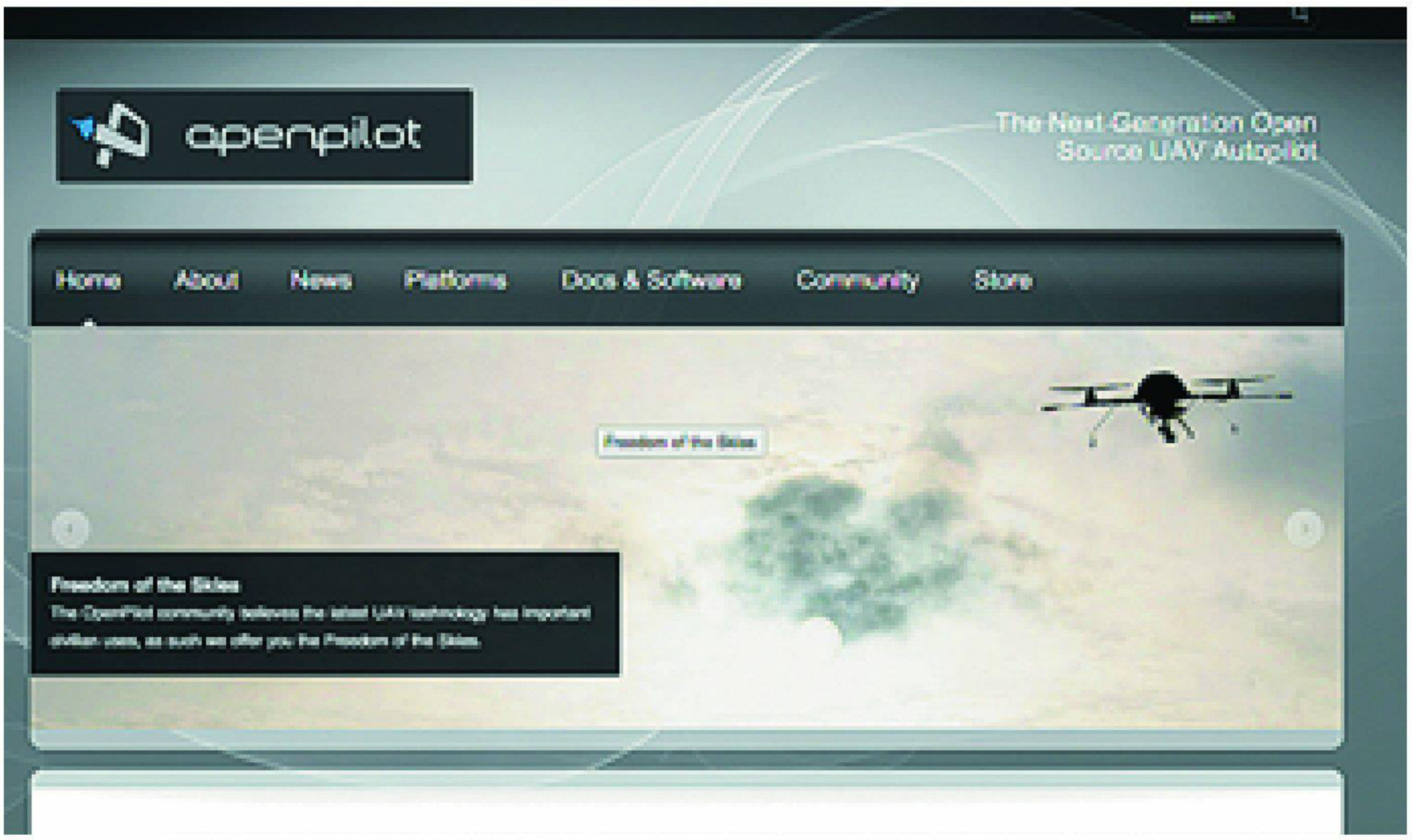


Рис. 14.2. Интерфейс программы OpenPilot

каждого класса имеется своя программа установки, которая позволяет управлять шестивинтовой моделью Y-конфигурации с той же легкостью, что и моделью X-конфигурации, то есть квадрокоптером, о котором рассказывается в этой книге.

Проект OpenPilot был разработан целой командой разработчиков и впервые представлен в 2010 г. (**рис. 14.2**). С тех пор было разработано большое количество оборудования, которое работает с этим программным обеспечением, а также улучшены сами программы. Более подробно о программном обеспечении OpenPilot можно узнать на **openpilot.org**.

MultiWii

Как и OpenPilot, MultiWii был создан разработчиками открытых архитектур. Изначально в проекте использовался Wii nunchuck в качестве контроллера (**рис. 14.3**), отсюда и название. Но сейчас существует собствен-

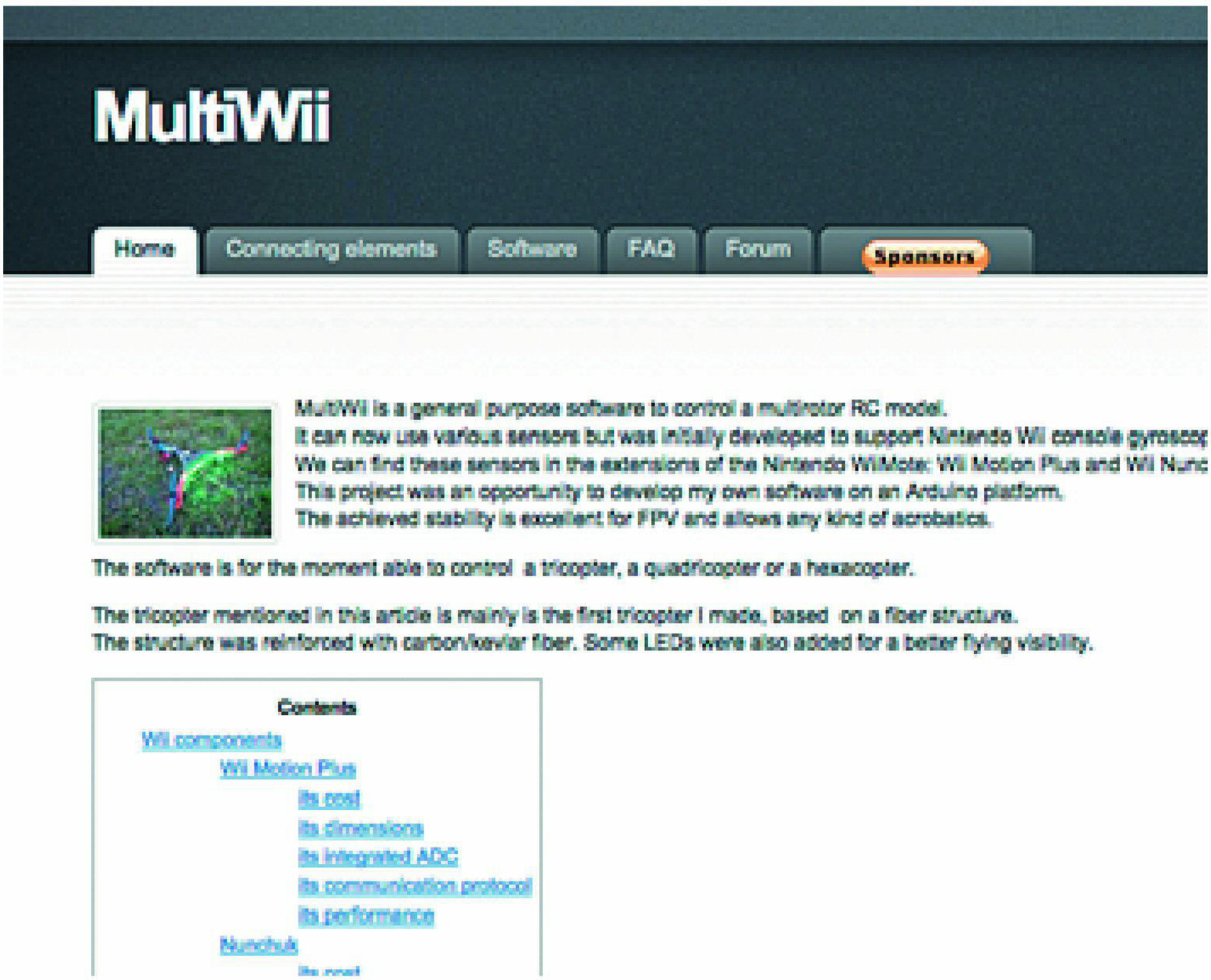


Рис. 14.3. На сайте MultiWii рассказывается, как управлять дронами с помощью Wii nunchuck

ная платформа квадрокоптеров, включающая аппаратное и программное обеспечение, которое постоянно обновляется (дорабатывается).

На первых порах аппаратная часть состояла из доступных модулей, таких, как Arduino и IMU, но затем все-таки была разработана официальная плата для контроллера полетов.

Готовое изделие можно приобрести на одном из интернет-ресурсов, а можно собрать самостоятельно. Более подробно ознакомиться с MultiWii, а также скачать программное обеспечение и разобраться в нем можно на сайте **multiwii.com**.

APM Planner 2.0

Во времена всевозможных самоделок первые проекты автопилотов на базе Arduino назывались Ardupilot. С течением времени программное обеспечение интегрировалось в модели, выпускаемые компанией 3DRobotics, и проект стал называться APM.

Программа APM, интерфейс которой показан на **рис. 14.4**, предназначена для моделей с неподвижным крылом, наземных моделей и всего разнообразия мультикоптеров, имеющих от двух до восьми винтов в стандартной конфигурации. Подробности смотрите на **planner2.ardupilot.com**.



Рис. 14.4. Изначально программа Ardupilot предназначалась для полетных контроллеров на базе Arduino

eMotion

Компания SenseFly занимается производством мощных высокотехнологичных профессиональных роботов, таких, как модели с фиксированным крылом, применяемые в сельском хозяйстве, квадрокоптеры для контроля состояния мостов, роботы для топографической съемки и другого профессионального оборудования.

Неудивительно, что программное обеспечение eMotion (**рис. 14.5**) — это серьезные коммерческие продукты, включающие пилотажные тренажеры, планировщик задач и программы для управления при помощи сенсорных мониторов. Однако эти программы работают лишь с дронами SenseFly. Как скачать программное обеспечение eMotion, можно узнать на сайте компании SenseFly (**sensefly.com**).



Рис. 14.5. Изделия SenseFly предназначены для серьезной работы, и их программное обеспечение eMotion более чем надежно

AR.Freeflight

Компания Parrot находится в авангарде по выпуску любительских моделей, и ее модели AR Drones в форме листа клевера относятся к наиболее популярным коммерческим дронам в мире. Программное обеспечение

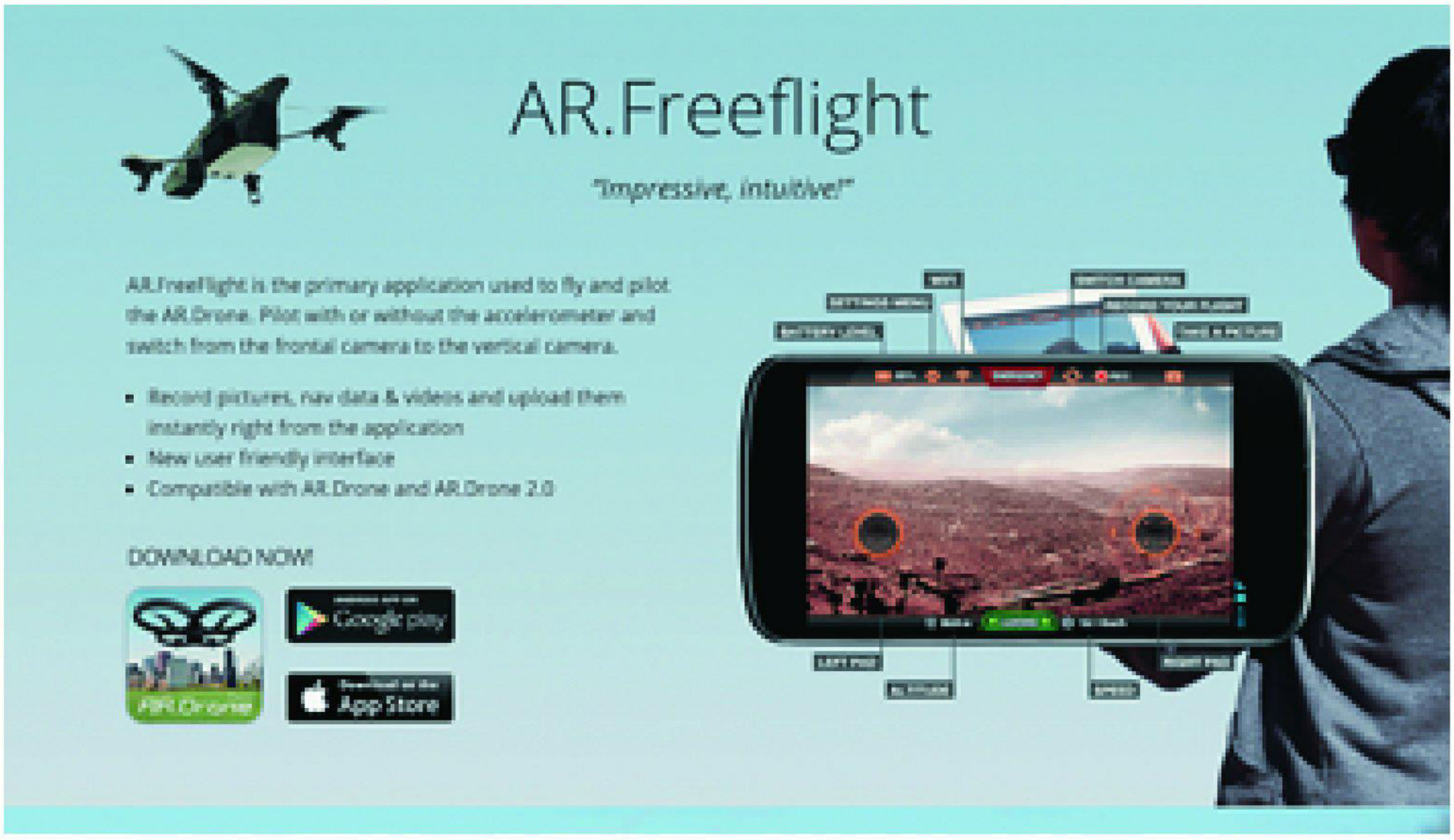


Рис. 14.6. Программное обеспечение AR.Freeflight разработано для управления дронами компании Parrot

AR.Freeflight **(рис. 14.6)** позволяет управлять с мобильного телефона всеми дронами компании Parrot.

Поскольку роботы сейчас широко используются в качестве съемочного оборудования, AR.Freeflight имеет дополнительный модуль Director Mode, предназначенный специально для съемки. Он имеет алгоритмы симуляции панорамирования, съемки с операторского крана и модуль стабилизации полета (подробнее на **parrot.com**).

3DR Solo App

Ранее я говорил, что компания 3DRobotics на начальном этапе ориентировалась на любителей. Solo — это шаг вперед. Проект Solo, представленный как «первый в мире робот на базе смартфона», имеет весьма серьезные возможности **(рис. 14.7)**. Он собран на базе процессора с частотой 1 ГГц и позволяет транслировать изображение в HD-качестве с камеры GoPro на ваше любимое мобильное устройство.

Называя проект «smart», компания не останавливается на достигнутом. В режиме Follow Me (буквально «следуй за мной») робот может сопровождать определенный объект. Поскольку ПО интеллектуальное, в случае аварии робота создается резервная копия (подробнее на **3DRobotics.com**).

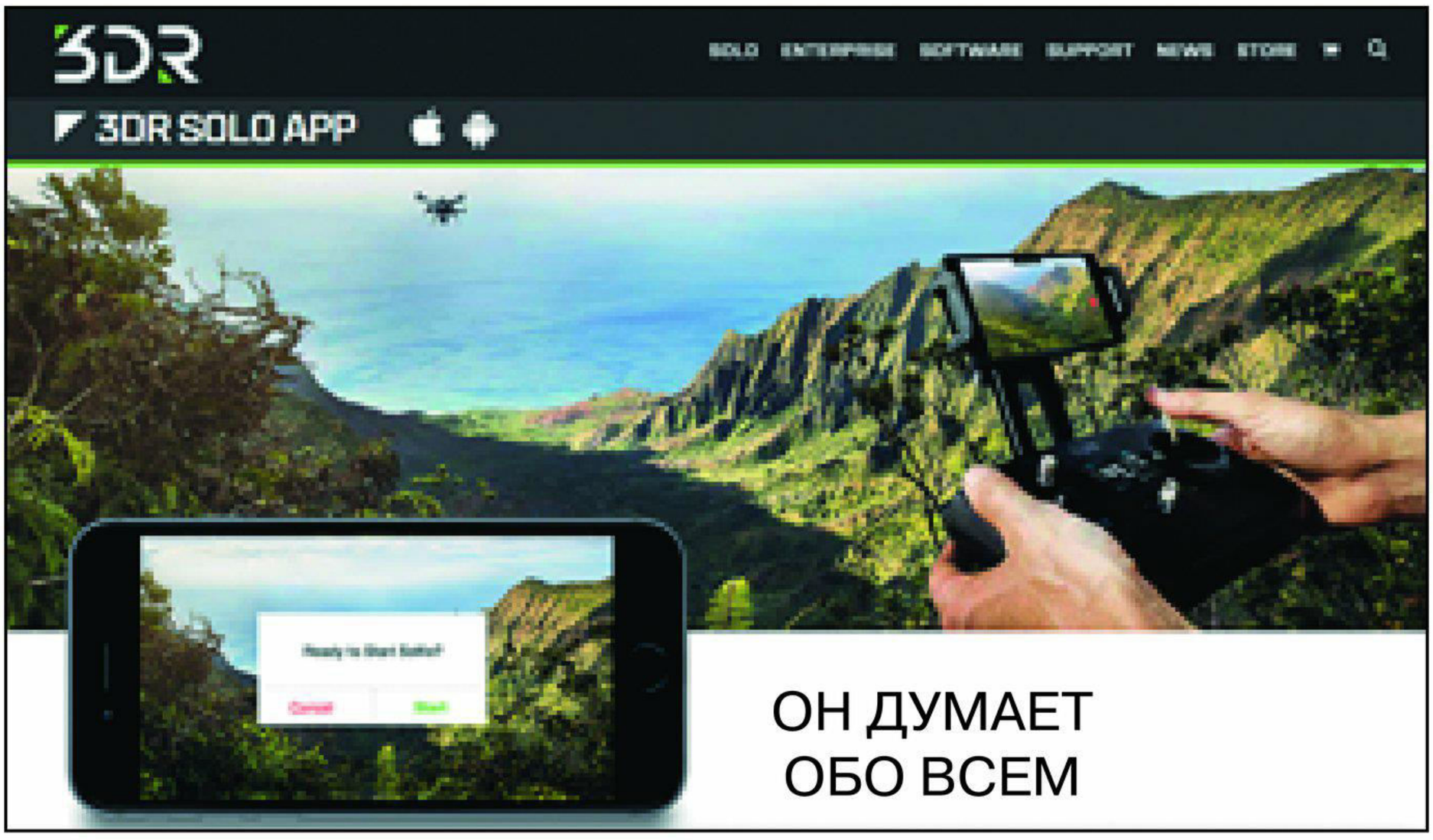


Рис. 14.7. Программное обеспечение 3DR Solo App обеспечивает полный контроль

Конфигурирование полетного контроллера MultiWii

Давайте сконфигурируем наш полетный контроллер MultiWii. Можно еще раз обратиться к сайту **MultiWii.com**. Начнем!

1. Убедитесь, что у вас установлена последняя и наиболее полная версия программы Arduino IDE.
2. Найдите программное обеспечение MultiWii в библиотеке программ по адресу **https://code.google.com/p/multiwii/** и скачайте его.
3. Откройте скетч в среде Arduino. Скетч состоит из нескольких вкладок, как будет описано ниже. Перейдите на вкладку Config.h и найдите скетч, соответствующий конфигурации вашей модели, системе дистанционного управления и типу микроконтроллера. Инструкции изложены достаточно ясно, и у вас не должно быть проблем.
4. Подключите MultiWii к компьютеру кабелем micro-USB (**рис. 14.8**).
5. Загрузите скетч на плату MultiWii, используя обычные настройки для платы Arduino (MultiWii — это, в сущности, модернизированная плата Arduino).
6. Настройте передатчик. Это означает выставить максимальные значения четырех параметров: газа, крена, рыскания и тангажа.
7. Настройте PID. Это означает тонкую настройку управления (подробнее на **http://www.multiwii.com/wiki/index.php?title=PID**).

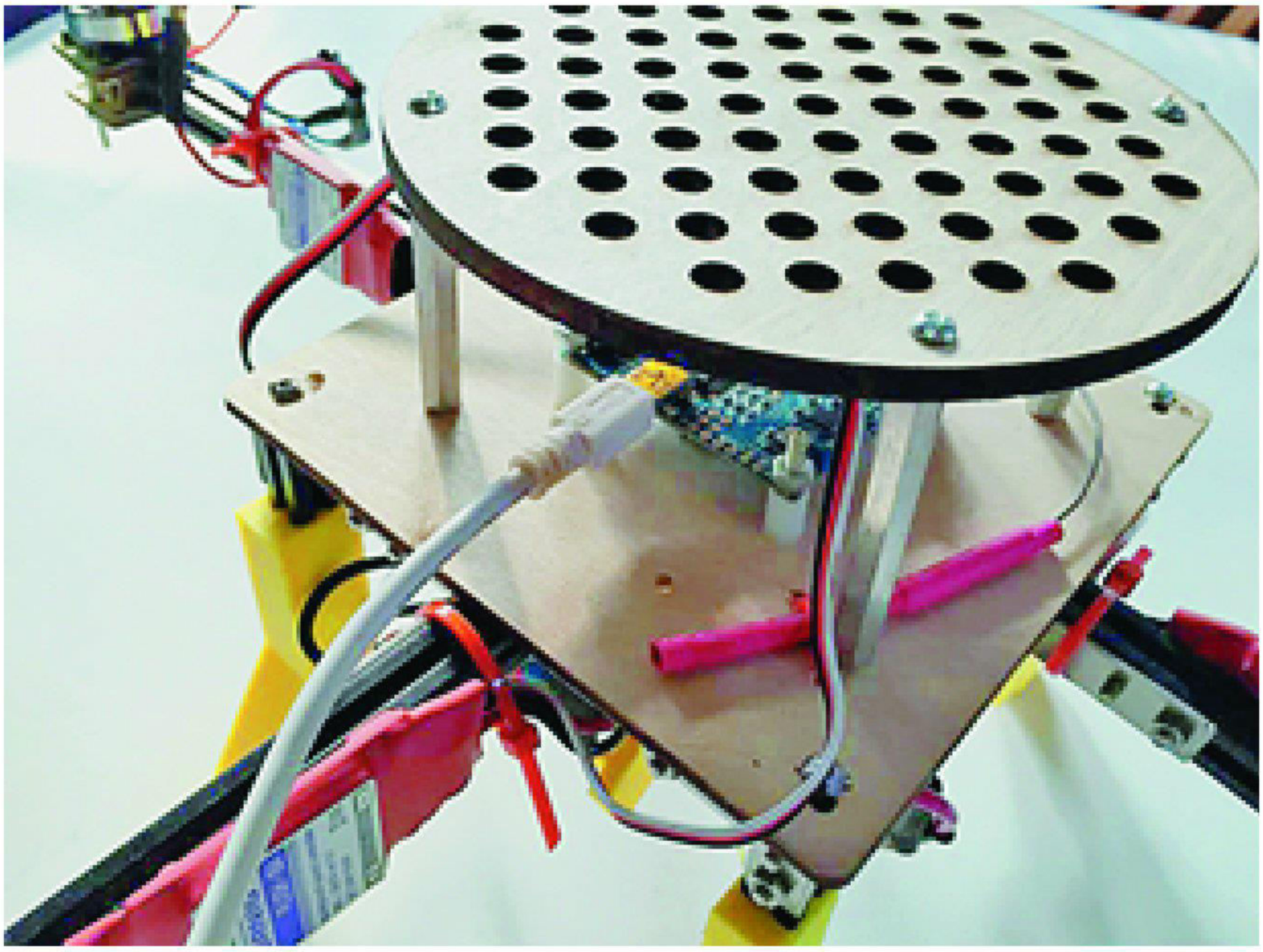


Рис. 14.8. Подключите плату MultiWii к компьютеру USB-кабелем

8. Откалибруйте датчики. Это можно сделать при помощи программного интерфейса WinGUI (**https://code.google.com/p/mw-wingui/**). Интерфейс WinGUI позволяет произвести калибровку магнитометра, акселерометра и гироскопа.

9. Проведите тестовый полет, как описано в последнем разделе этой главы.

Ну вот, вы закончили! Теперь предстоит подготовить модель к тестовому полету.

Проверка управляющего скетча MultiWii

Хотя я не собираюсь подробно разбирать каждый модуль скетча, все же коснусь его структуры. Это поможет вам при настройке или отладке.

Откройте файл multiwii.ino в среде Arduino IDE. Вы увидите стандартное приветствие, а также несколько вкладок с модулями скетча (**рис. 14.9**). Рассмотрим эти подпрограммы по очереди.

- **Alarms.cpp и Alarms.h** — эта библиотека контролирует звуковые сигналы и сигнальные светодиоды платы MultiWii. Как вы помните, библиотеки Arduino состоят из исходного файла (.cpp) и файла-заголовка (.h), и они отвечают за важные функции.



Рис. 14.9. Скетч MultiWii для Arduino включает в себя множество отдельных файлов, организованных во вкладки

- **EEPROM.cpp и EEPROM.h** — эта библиотека управляет хранилищем GPS-координат в памяти MultiWii.
- **GPS.cpp и GPS.h** — как вам уже понятно, этот скетч отвечает за GPS-функции.
- **IMU.cpp и IMU.h** — эта библиотека управляет блоком инерциальных измерений (IMU) — датчиком, который помогает дрону определить свои ориентиры и высоту полета.
- **LCD.cpp и LCD.h** — некоторыми квадрокоптерами можно управлять через интерфейс LCD-монитора, эта библиотека отвечает за использование LCD.
- **MultiWii.cpp и MultiWii.h** — в этой библиотеке содержатся функции ядра, передачи данных и функции из различных других библиотек, созданных для MultiWii.

- **Output.cpp и Output.h** — эта библиотека контролирует двигатели и сервоприводы для всех возможных конфигураций, которые можно найти здесь.
- **Protocol.cpp и Protocol.h** — MultiWii использует протокол MSP (MultiWii Serial Protocol) для связи между различными компонентами, и библиотека отвечает за это.
- **RX.cpp и RX.h** — эта библиотека также отвечает за поддержку последовательного обмена.
- **Sensors.cpp и Sensors.h** — эта библиотека управляет информацией с датчиков: акселерометра, магнитометра, гироскопа, барометра и др.
- **Serial.cpp и Serial.h** — эта библиотека контроля обмена данными через последовательные порты.
- **Config.h** — в этой библиотеке производится тонкая настройка квадрокоптера, включая выбор типа модели, использование альтернативного процессора и настройку радиоуправления.
- **Def.h** — эта библиотека битком набита определениями — именованными константами, которые обрабатываются в фоновом режиме скетча.
- **Types** — еще одна библиотека кода шифрования, помогающая работе MultiWii.

Предполетный контрольный список[1]

Вы уже почти готовы к тому, чтобы опробовать свой квадрокоптер, но прежде давайте пройдемся по предполетному списку.

1. Когда прибудете на место полетов, проверьте наличие линий электропередач, больших деревьев и других препятствий, представляющих опасность для дрона. Вы должны быть также осведомлены о близости закрытого воздушного пространства, например аэропортов.
2. Найдите ровную открытую площадку для запуска и приземления.
3. Подключите аккумулятор. Дважды проверьте правильность всех подключений.
4. Включите питание в положении газа на нуле. Многие квадрокоптеры резко стартуют на полной скорости из-за того, что газ стоит на максимуме.
5. Проверьте пропеллеры и направление их вращения. Модель не полетит должным образом, если пропеллеры вращаются не в том направлении, которое необходимо.

---

[1] Прежде чем запустить свой квадрокоптер в небо, обязательно ознакомьтесь с Законом о регистрации дронов в России. — *Прим. ред.*

6. Включите камеру, если она у вас есть; если вы планируете снимать видео, включите запись.

7. Запускайте квадрокоптер! Медленно прибавляйте газ, постепенно увеличивая скорость, чтобы почувствовать, как управляется модель при отрыве от земли (**рис. 14.10**).



Рис. 14.10. Квадрокоптер парит в нескольких футах от поверхности земли

Заключение

Когда настроено программное обеспечение, вы готовы к покорению неба. Я надеюсь, что книга оказалась полезной. Удачи и отличных полетов!

Глоссарий

3D-принтер — устройство, которое экструдирует (выдавливает) жидкий пластик и укладывает его слоями для получения трехмерных объектов.

Автономный робот — робот, действия которого определяются заложенной в него программой, а не командами человека-оператора, осуществляющего управление.

Автопилот — микроконтроллер, который управляет дроном при следовании по заранее запрограммированному маршруту полета.

Акселерометр — датчик, который измеряет значения скорости и ускорения и передает их на управляющее устройство (микроконтроллер).

Ампер (А) — единица электрического тока.

Аналоговый сигнал — данные, передаваемые в форме непрерывного сигнала напряжения. Отличается от цифрового сигнала, который передается в виде последовательности нулей и единиц.

Барометрический датчик — датчик, регистрирующий изменения атмосферного давления, действует как барометр.

Батискаф[1] — аппарат, снабженный кабелем управления для исследования подводного пространства.

Беспилотный летательный аппарат (БПЛА) — более правильное название летающего дрона.

Библиотека — сопутствующий код, к которому обращается скетч Arduino, что позволяет упростить основную программу (скетч).

Вездеход — робот, передвигающийся по поверхности, обычно имеет вид автомобиля.

Втулка — маленькая деталь для крепления оси.

Датчик — электронное устройство, посылающее на микроконтроллер данные, характеризующие окружающую среду или напряжение.

---

[1] Аппарат с дистанционным управлением.

Датчик температуры и влажности — цифровой датчик, измеряющий температуру и влажность и отправляющий показания на микроконтроллер.

Двигатель постоянного тока — обычный двигатель, ротор которого приводится во вращение при подаче напряжения на его клеммы.

Двигатель с внешним ротором — двигатель, у которого внешние части и электромагниты вращаются вокруг неподвижной центральной оси.

Двигатель с внутренним ротором — двигатель, вращающаяся ось которого находится внутри неподвижных электромагнитов.

Двигатель щеточный/бесщеточный — типы двигателей постоянного тока, различающиеся способом передачи энергии на обмотки двигателя.

Джампер (перемычка) — общее название проводов или других проводников, используемых при создании электронных схем.

«Земля» — обратный провод в электрической схеме. На аккумуляторе обозначается знаком «минус». Часто обозначается аббревиатурой GND.

Изоляционные стойки, шпильки — металлические или пластиковые вставки, используемые для получения зазора или для крепления платы на какую-либо поверхность.

ИК-приемник (приемник ИК-сигнала) — датчик, регистрирующий излучение определенной частоты (38 МГц) в инфракрасном спектре.

Инициализация — введение новой переменной и присвоение ей определенного значения.

Интегральные микросхемы — несколько микросхем, упакованных в пластиковый корпус.

Интегрированная среда разработки — программное обеспечение для поддержки пользователей при создании программного кода.

Инфракрасное (ИК) излучение — электромагнитное излучение за пределами восприятия глазами человека; используется для передачи небольших массивов данных, например сигнала выключения для телевизора.

Квадрокоптер — небольшой летательный аппарат, имеющий четыре двигателя с пропеллерами, которые обычно расположены по «углам».

Кембрик — термоусаживаемая трубка из токонепроводящего материала для изоляции соединений проводов. При нагревании обжимает оголенный участок соединения.

Клеммная колодка — ряд контактов на плате, перпендикулярный шинам питания и заземления.

Колеса Mechanum (шведские колеса) — колеса, по ободу которых расположены более мелкие колеса. Позволяют двигаться не только вперед-назад, но и в сторону.

Колеса Omni — то же, что и колеса Mechanum.

Компиляция — используется для преобразования программы из одного языка программирования в другой, чаще для преобразования текста программы в машинно-считываемый код.

Контакт — провод или клемма устройства, к которому присоединяются провода.

Курсовая камера (first person video, FPV) — камера, передающая изображение, которое «видит» робот, в режиме реального времени. Обычно имеет низкое разрешение.

Лазерный резак (иногда еще называется лазерным гравером) — используется для резки тонких материалов (картон, ДВП средней плотности, ДСП).

Литий-полимерный аккумулятор — тип аккумулятора, используемый в робототехнике.

Магнитометр — датчик, регистрирующий магнитные поля, в частности магнитное поле Земли.

Макетная плата — плата с отверстиями и встроенными проводящими элементами, которая позволяет собирать схемы, не прибегая к пайке.

Массив — в программировании набор данных, хранимый для дальнейшего использования.

Микрокомпьютер — миниатюрный компьютер с функционалом обычного персонального компьютера, если не имеется какой-либо узкой специализации.

Микроконтроллер — упрощенный компьютер, принимающий сигналы от датчиков и передающий команды на двигатели и светодиоды.

Монитор последовательной передачи данных — специальное окно в интегрированной среде разработки (IDE) Arduino, позволяющее контролировать последовательную передачу данных. Удобное средство отладки программ.

Мультикоптер — общее название квадрокоптеров или моделей с бóльшим или меньшим числом пропеллеров — от трикоптера до октокоптера.

Никель-кадмиевый аккумулятор — тип аккумулятора.

Никель-металлогидридный аккумулятор — тип аккумулятора.

Пассивный ИК-датчик — инфракрасный датчик, регистрирующий движение по незначительным изменениям температуры.

Печатная плата — пластина из композитного материала, покрытая проводящим материалом. На плату монтируются различные устройства и таким образом собирается схема.

Пин — название контактов платы Arduino, на которые подаются питание и данные.

Плата — сокращенное название печатной платы.

Плата расширения — дополнительная плата Arduino. Крепится на основную плату, обеспечивая дополнительные контакты для микроконтроллера при подключении дополнительных устройств.

Полетный контроллер — специальная плата с микроконтроллером, осуществляющая управление моделью на основе показаний альтиметра, магнитометра и других датчиков.

Последовательная передача данных — способ передачи, при котором информация передается побитово по одному проводу, биты передаются последовательно.

Потенциометр — резистор переменного сопротивления. Регулировка осуществляется рычажком или ползунком.

Программное обеспечение и оборудование с открытым исходным кодом — проекты, программное обеспечение и технические решения, которые находятся в свободном доступе, и любой желающий может их изменить или создать свой вариант.

Пропсейвер — вариант нежесткого крепления, которое предохраняет пропеллер от поломки.

Радиочастотная идентификация (идентификация по RFID-меткам). Система радиочастотной идентификации состоит из считывающего устройства, имеющего источник питания, и радиоэлектронных меток (RFID-меток), которые в источнике питания не нуждаются.

Разъединительная плата — маленькая печатная плата для установки и управления определенным компонентом схемы. Например, можно использовать разъединительную плату для установки управляющей микросхемы для двигателя L293D.

Рама — фюзеляж квадрокоптера.

Резистор (сопротивление) — элемент электронной схемы, ограничивающий силу тока в элементах, для которых это критично; регулирует падение напряжения на элементе схемы.

Роторный инструмент — инструмент малой мощности с различными насадками: от пилок и шлифовальных кругов до полировочных барабанов. Наиболее известной маркой является Dremel.

Светодиод (light-emitting diode, LED) — лампочка в электронных схемах.

Светочувствительный элемент (фотодетектор) — датчик, реагирующий на световое излучение. Некоторые элементы действуют как резистор с переменным сопротивлением: от интенсивности света зависит их сопротивление. В отличие от них, цифровые датчики передают цифровые данные на микроконтроллер.

Сервопривод — двигатель, имеющий коробку передач и энкодер, что позволяет осуществлять точное управление углом поворота оси.

Система радиоуправления — система управления роботом или моделью, состоящая из пульта управления и приемника радиосигнала.

Скетч — жаргонное название программы Arduino, управляющей пинами Arduino.

Схема, эскиз — нарисованное изображение электрической схемы с символами, обозначающими различные компоненты.

Толкатель серводвигателя — диск или рычаг, крепящийся на оси серводвигателя и соединяющий ее с деталью, которую необходимо передвигать.

Траектория перемещения инструмента — движение инструмента под управлением компьютера.

Транзистор — миниатюрный электронный переключатель, срабатывающий при подаче электрического сигнала.

Углеродное (карбоновое) волокно — прочный и легкий материал, часто используемый при постройке дронов и других летательных аппаратов.

Ультразвуковой датчик — датчик, который обнаруживает препятствие и измеряет расстояние до него путем испускания звукового сигнала, не воспринимаемого ухом человека, и приема отраженного сигнала.

Устройства с числовым программным управлением (ЧПУ) — устройства, обрабатывающий инструмент которых перемещается по направляющим под управлением компьютерной программы.

Устройство записи (данных) — элемент схемы, записывающий информацию, например показания датчика.

Цифровой сигнал — сигнал, в котором данные передаются в виде последовательности нулей и единиц, в отличие от аналогового, представляющего собой непрерывно изменяющееся напряжение.

Часы реального времени — схема с собственным источником питания, позволяющая сохранять установленное время на протяжении нескольких месяцев.

Чип управления двигателем — интегральная схема, предназначенная для управления двигателями, расширяющая возможности Arduino.

Шаговый электродвигатель — двигатель пошагового вращения. Обычно имеет четыре или более выводов.

Шасси (рама, фюзеляж) — рама квадрокоптера, на которую крепятся остальные части модели.

Шина заземления — токопроводящая дорожка на печатной плате, изображаемая черным или синим цветом и обозначаемая как «земля».

Шина питания — проводящая дорожка на плате, через которую осуществляется ее питание.

Широтно-импульсная модуляция — режим снижения интенсивности работы таких устройств, как двигатель или светодиод (которые нормально либо включены, либо выключены), методом быстрого включения и выключения их.

Электронный регулятор скорости (electronic speed controller, ESC) — устройство, подающее на двигатель высокое напряжение в соответ-

ствии с низковольтным сигналом, поступающим от управляющей схемы или приемника радиосигнала.

Энкодер — определяет угол поворота оси двигателя и передает это значение на управляющую схему (микроконтроллер).

Ячеистая сеть (mesh-сеть) — сеть, состоящая из нескольких равноправных узлов, каждый из которых может видеть остальные.

XBee — модуль беспроводной связи, использующий популярный протокол ZigBee. Применяется для домашней автоматизации.

Минимальные системные требования определяются соответствующими требованиями программ Adobe Reader версии не ниже 11-й либо Adobe Digital Editions версии не ниже 4.5 для платформ Windows, Mac OS, Android и iOS; экран 10"

Электронное издание для дополнительного образования

Серия: «РОБОФИШКИ»

Бейктал Джон

КОНСТРУИРУЕМ РОБОТОВ. ДРОНЫ. РУКОВОДСТВО ДЛЯ НАЧИНАЮЩИХ

Для детей старшего школьного возраста

Ведущий редактор *Т. Г. Хохлова*
Руководители проекта от издательства *А. А. Елизаров, С. В. Гончаренко*
Научный консультант канд. пед. наук *Н. Н. Самылкина*
Ведущие методисты *В. В. Тарапата, А. А. Салахова*
Художники *В. А. Прокудин, Я. В. Соловцова, И. Е. Марев*
Технический редактор *Т. Ю. Федорова*
Корректор *Н. В. Бурдина*
Компьютерная верстка: *В. И. Савельев*

Подписано к использованию 27.11.17.
Формат 155×225 мм

Издательство «Лаборатория знаний»
125167, Москва, проезд Аэропорта, д. 3
Телефон: (499) 157-5272
e-mail: info@pilotLZ.ru, http://www.pilotLZ.ru

СТАТЬ ИЗОБРЕТАТЕЛЕМ ЛЕГКО!

ДЖОН БЕЙКТАЛ – САМЫЙ ИЗВЕСТНЫЙ АВТОР КНИГ ДЛЯ НАЧИНАЮЩИХ МОДЕЛИСТОВ!

Вы, конечно, слышали о дронах и даже видели их. Настало время построить собственный – это гораздо легче, чем кажется. Чтобы создать дрон, совсем необязательно быть всезнающим и все умеющим экспертом. Автор научит вас всем тонкостям этого увлекательнейшего дела. Описание каждого этапа постройки модели сопровождается пошаговыми инструкциями и многочисленными цветными фото.

Итак, вперед!

- Узнайте, что же такое дроны и чем они привлекательны.
- Прочитайте о наиболее интересных проектах – от миниатюрных квадрокоптеров, изготовленных на 3D-принтере, до разнообразных плавучих дронов.
- Познакомьтесь с готовыми наборами деталей: Parallax ELEV-8, DJI Phantom 2 Vision+, OpenROV, Acrobotics Nomad, Brooklyn Aerodrome Flack и др.
- Вооружитесь нужным инструментом.
- Постройте роботов на базе ракеты, корабля и автомобиля.
- Создайте радиоуправляемую модель аэростата, а потом переделайте ее в полностью автономную, встроив плату Arduino.
- Научите робота-вездехода навигации по RFID-меткам.
- И наконец, постройте квадрокоптер!
- Изучите основы электроники и программирования, чтобы ваша модель «ожила»!

Не пропусти интересные проекты на платформах
LEGO® MINDSTORMS® Education EV3
и **ScratchDuino**!

info@pilotLZ.ru
www.pilotLZ.ru