

А. КАСПЕРОВИЧ

**Строим летающие
модели ракет**

Кладовая опыта

Санкт-Петербург

«БХВ-Петербург»

2019

УДК 629.735.4+379.826
ББК 39.55я92
К28

Касперович А. Ю.

К28 Строим летающие модели ракет. Кладовая опыта. — СПб.: БХВ-Петербург, 2019. — 224 с.: ил.
ISBN 978-5-9775-4112-1

Подробно рассмотрена постройка летающих моделей ракет на твердом топливе, даны необходимые практические советы по всем этапам их конструирования и строительства. Большое внимание уделено доступным в этом виде технического творчества материалам, подробно разобраны их достоинства и недостатки. Пошаговая инструкция позволит читателю собрать свою первую летающую модель и подобрать для нее подходящий двигатель. Описаны варианты оснащения моделей ракет электроникой, затронуты вопросы строительства двухступенчатых и тяжелых конструкций. В книге содержится разбор особенностей конструирования летающих моделей-копий реально существующих космических ракет.

Для широкого круга читателей

УДК 629.735.4+379.826
ББК 39.55я92

Группа подготовки издания:

Руководитель проекта	<i>Павел Шалин</i>
Зав. редакцией	<i>Екатерина Сависте</i>
Компьютерная верстка	<i>Ольги Сергиенко</i>
Дизайн обложки	<i>Карины Соловьевой</i>

Подписано в печать 04.06.19.
Формат 60×90¹/₁₆. Печать офсетная. Усл. печ. л. 14.
Тираж 1000 экз. Заказ №
"БХВ-Петербург", 191036, Санкт-Петербург, Гончарная ул., 20.

Отпечатано с готового оригинал-макета
ООО "Принт-М", 142300, М.О., г. Чехов, ул. Полиграфистов, д. 1

ISBN 978-5-9775-4112-1

© ООО "БХВ", 2019
© Оформление. ООО "БХВ-Петербург", 2019

ОГЛАВЛЕНИЕ

От автора	7
Глава 1. Приступаем к постройке нашей первой ракеты	11
Какие бывают модели ракет?	11
Как устроена летающая модель ракеты?	14
Как запускают модели?	18
Какие инструменты нам понадобятся?	20
Глава 2. Строим корпус модели.....	22
Про вес модели	22
Какой нужен диаметр?	26
Строим корпус: хитрости и приемы.....	27
Приклеиваем направляющую	31
Глава 3. Готовим двигательный отсек.....	34
Как устроен двигатель?	34
Выбираем двигатель для модели	36
Адаптеры для двигателей	42
Двигательный отсек своими руками	46
Глава 4. Обтекатель	52
Промышленные обтекатели	52
Делаем обтекатель своими руками.....	57
Глава 5. Стабилизаторы.....	68
Какие бывают стабилизаторы?	69
Выбираем материал для стабилизаторов	72
Бальза	73

Пенопласт	77
Картон	77
Пенополистирол	78
Несколько важных тонкостей	81
Приклеиваем стабилизаторы	82
Глава 6. Парашютная система	85
Парашют своими руками	85
Изготавливаем восьмиугольный парашют	96
Покупные парашюты	100
Люверсы	101
Амортизаторы	103
Пыж спассистемы из подручных материалов	105
Глава 7. Предстартовая подготовка	108
Центр тяжести и центр давления	108
Покраска модели	113
Глава 8. На полигон!	119
Стартовый комплекс и из чего он состоит	119
Стартовый комплекс	120
Электрический воспламенитель	124
Пульт для запуска	126
Полезные мелочи, без которых не обойтись	130
Техника безопасности	132
А теперь о погоде	133
Три... Два... Один... Пуск!	134
Глава 9. Совершенствуем модель: встраиваем видеокамеру	136
Камеры для летающих моделей	136
Аккумуляторы	140
Устанавливаем камеру	141
Промышленный вариант	143
Измерительные приборы и электронные схемы	147
Глава 10. Контурные копии боевых и космических ракет	151
«Луна-М» и Р-17	152
«Redstone-Mercury»	154

«Ангара-5В»	155
MGM-29 «Sergeant»	159
Ракета «Тамир»	161
Глава 11. Ракеты и крылья	164
«Энергия-Буран»	165
«Воманс»	173
Ракетопланы с жестким крылом	175
Глава 12. Двухступенчатые модели	181
Как летает двухступенчатая модель	181
Двухступенчатая модель AIM-120D	185
Парашютная система спасения первой ступени для двухступенчатой модели	190
Двухступенчатые модели: преодоление неудач	196
Модель ракеты-носителя CZ-3В	200
Электронные системы разделения ступеней	204
Глава 13. Философия крупных форм	209
Двигатели РД1-50-5	209
Модель под двигатель РД1-100-7	212
Послесловие	219
Приложение. Описание электронного архива	221

ОТ АВТОРА

Дорогие читатели, поклонники технического творчества, ракетомоделисты-любители! Мы с вами отличаемся от простого потребителя тем, что создаем свои конструкции сами и испытываем от этого неподдельную радость. Провожая свои детища в полет, мы либо убеждаемся в правильности своих разработок, либо не опускаем руки, а дотошно пытаемся разобраться в причинах неудач. Этот опыт также заслуживает уважения, ибо он, будучи передан своим коллегам, позволит им двигаться в правильном направлении и не повторять ваших ошибок. Великое дело — учеба, скажу я вам...

Представлюсь: меня зовут Александр Юрьевич Касперович. Я — профессиональный фотограф, журналист. Москвич, пенсионер. В детстве активно и небезуспешно занимался ракетомоделизмом. И вот, по прошествии почти пятидесяти лет, я решил вспомнить свое детское увлечение. Сначала думал, займусь этим для внука, научу его чему-то прикладному, покажу, чем когда-то занимался сам. Но молодежь сейчас больше гаджетами интересуется, а вот меня не отпустило, наоборот, увлекло с новой силой!

Конечно, в наше время есть все — покупай готовую модель, запускай и радуйся. Но не для нас это, согласитесь! Нам нужно создать свое, подумать, поэкспериментировать... Сейчас я занимаюсь контурными копиями космических, а также боевых ракет, созданных различными производителями в разных странах. Помимо получения чисто эстетического удовольствия, интересно проанализировать и аэродинамические свойства этих моделей. Не обошлось без ошибок, сознаюсь. Но успехи перевешивают неудачи.

При постройке своих моделей я использую двигатели производства российской компании Real Rockets. Мною были проведены сравнительные испытания моделей с использованием двигателей нескольких фирм, как российского, так и зарубежного производства, причем не единожды. И чаша весов уверенно склонилась в пользу отечественных изделий. Причин несколько. Прежде всего — стабильность исследуемых двигателей. Не хочу сказать ничего плохого про американские изделия, но наши работают ровнее, с предсказуемым результатом и довольно приличным запасом мощности, в отличие от той, что указана в техническом паспорте. Второй аргумент — цена. Очень немаловажный пункт! Двигатели Real Rockets серии РД1 вы можете купить в розницу, поштучно. Американские — нет, только в блистере, а в нем — 2, 3 или 4 штуки. При этом цена одного американского минимум на сто рублей выше идентичного нашего. Учítывая, что по одному двигателю мы обычно не покупаем, разница получается ощутимая. И еще: если отечественный РД1-10-5, образно говоря, «летит» на 250 рублей, то американский аналог С6-5 на 350 рублей ну никак не летит. А наш РД1-30-5 за 300 рублей летает так, как американскому С11 даже и не снилось... И это не реклама, а чистая правда, в чем каждый может убедиться на личном опыте.

На страницах книги я поделюсь собственным опытом постройки моделей с начинающими ракетомоделистами, предостерегу от ошибок, посоветую, какие двигатели для какой ракеты подобрать. Если вы умеете держать в руках ножницы, а также обладаете аккуратностью и трудолюбием, все у вас получится, причем с первого раза! Двигатели серии РД1 позволят вашим моделям летать высоко и красиво, плавно опускаться на парашюте, а главное — ваши пуски будут абсолютно предсказуемыми, из раза в раз. Даже без использования особо сильных двигателей вы сможете строить довольно крупные модели — мощность РД1-20-5 и РД1-30-5 вполне позволяет это делать, а старт модели, имеющей диаметр корпуса 50–60 мм и длину 600–800 мм, сам по себе очень красив!

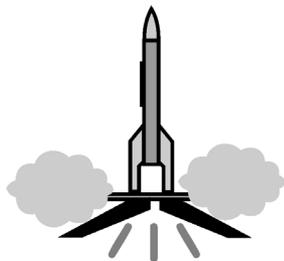
Сразу оговорюсь: мы не будем рассматривать модели, имеющие металлические детали. Техника безопасности в нашем хобби — очень важный аспект. Современные модели ракет вполне обхо-

дятся без металла и при этом отлично летают. При этом ваши финансовые затраты на материалы будут минимальными, а положительных эмоций мы получим — хоть отбавляй!

Итак, темы обозначены. С удовольствием поделюсь с вами опытом постройки моделей и всем, что знаю сам. Самое время перевернуть страницу, и начнем наше увлекательное путешествие в мир ракетомоделизма!

Выражаю искреннюю благодарность друзьям, В. Иванову и И. Шаманину, осуществлявшим фото- и видеосъемку моих экспериментов.

ГЛАВА 1



ПРИСТУПАЕМ К ПОСТРОЙКЕ НАШЕЙ ПЕРВОЙ РАКЕТЫ

Наверное, каждый из нас хотя бы однажды видел запуск ракеты, если не воочию, то по телевизору или на одной из многочисленных видеозаписей в Интернете. Это очень красивое и завораживающее зрелище. Не менее красивы и старты летающих моделей с пиротехническими двигателями, разве что размер самой ракеты в этом случае поменьше. Пуски летающих моделей всегда собирают множество зрителей, с любопытством и восторгом наблюдающих за появлением в небе дымных росчерков от реактивных движков. Но одними лишь такими поделками спектр открывающихся перед ракетомоделистом возможностей не исчерпывается: существует несколько различных типов моделей ракет. Мы не будем их все рассматривать в этой книге, но кратко упомянуть о них все же стоит.

Какие бывают модели ракет?

Помимо самого распространенного вида — летающих моделей с реактивным двигателем (именно о таких ракетах мы и будем говорить на страницах этой книги), различают несколько других типов моделей.

Стендовые модели-копии вообще не летают, они предназначены для того, чтобы красоваться на полке или в витрине музея космонавтики и радовать своим видом благодарных зрителей. Эти масштабные модели очень точно повторяют оригинал в мель-

чайших деталях и представляют собой наглядное подтверждение того, насколько сложной и совершенной является современная космическая техника.

Модели, запускаемые с помощью катапульты, летать умеют, но собственным двигателем не оснащены. Они приводятся в движение пружиной или куском резиновой ленты, которая, как из рогатки, выстреливает ракету в небо. Подобные модели зачастую и не модели даже, а детские игрушки, доставляющие, впрочем, массу удовольствия своим владельцам.

Некоторое время назад были очень распространены летающие модели и игрушечные ракеты на гидropневматической основе. В качестве «топлива» в таких ракетах использовалась обычная вода, вместе с которой внутрь корпуса закачивался воздух, например, с помощью обычного велосипедного насоса (рис. 1.1).

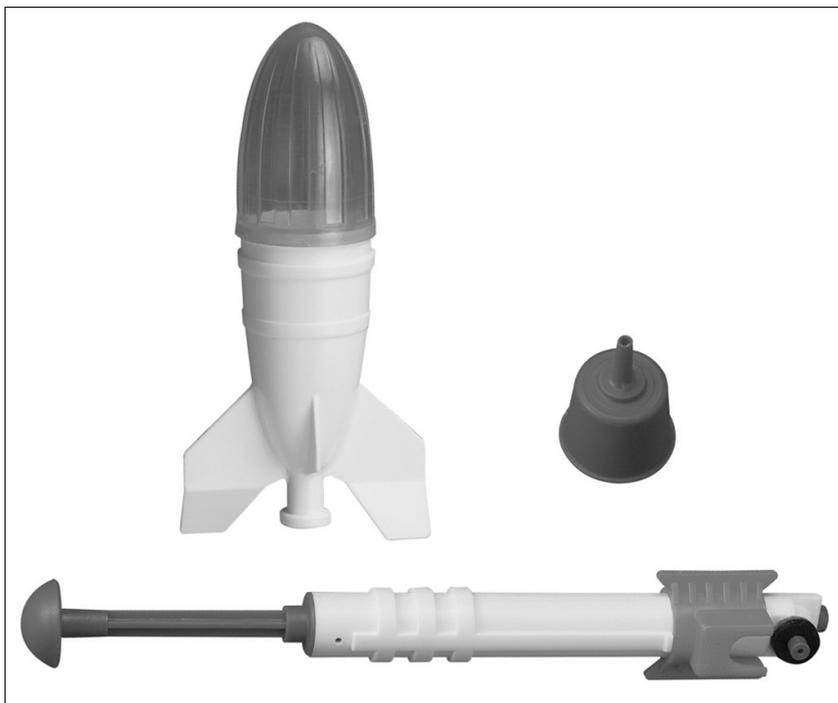


Рис. 1.1. Один из наборов для запуска гидropневматической ракеты

При открытии сопла вода под давлением выходила мощной струей наружу, создавая реактивную тягу. Такая ракета могла взлететь на несколько десятков метров, приводя в восторг окружающую детвору.

Такая ракета относительно безопасна, поскольку не использует никаких горящих химических веществ, и очень проста по своей конструкции. Построить подобную летающую модель под силу каждому школьнику: в качестве корпуса можно использовать, например, пластиковую бутылку из-под кока-колы, которая отличается очень маленьким весом, высокой прочностью и способна выдерживать большое внутреннее давление. Схемы пусковых установок для таких ракет можно без труда отыскать в Интернете. Главный их недостаток тоже очевиден: старт ракеты, заполненной водой, не столь зрелищен, как запуск модели с пиротехническим двигателем.

Но и ракеты с химическими реактивными двигателями тоже значительно отличаются друг от друга. Бывают одноступенчатые и многоступенчатые конструкции. Модели могут быть небольшими и массивными, приводящимися в движение мощными двигателями. Бывают летающие ракеты-копии, повторяющие в уменьшенном масштабе реально существующие прототипы. Системы спасения, возвращающие модель после успешного пуска на землю, могут использовать парашют или специальную тормозящую падение ленту. Существуют модели, несущие на себе в качестве полезной нагрузки ракетоплан, подобно советскому орбитальному космическому комплексу «Энергия-Буран» или американскому Space Shuttle. А многие современные модели оснащаются портативной видеокамерой, записывающей полет, и навигационным GPS-модулем, помогающим отыскать ракету после приземления.

Помимо любительского существует спортивное ракетомоделирование, в котором предусмотрен целый ряд отличающихся друг от друга категорий. Среди спортсменов проводятся серьезные соревнования и целые чемпионаты со строгим жюри. В разных классах оценивается высота и продолжительность полета моделей, время спуска ракеты на парашюте, ленте или роторе, летные качества ракетопланов и т. д.

Мы сосредоточим свое внимание на постройке любительских моделей ракет, не претендующих на чемпионские кубки. Но кто знает, возможно, однажды вы решите принять участие в соревнованиях по всем правилам спортивных категорий, и именно ваша модель выиграет в них главный приз.

Как устроена летающая модель ракеты?

Летающие модели ракет имеют достаточно простую конструкцию и состоят из нескольких элементов. Эти элементы показаны на рис. 1.2.

Обтекатель ракеты располагается в ее головной части. Он имеет форму, обеспечивающую наименьшее аэродинамическое сопротивление при полете модели. Обтекатели бывают конусной,

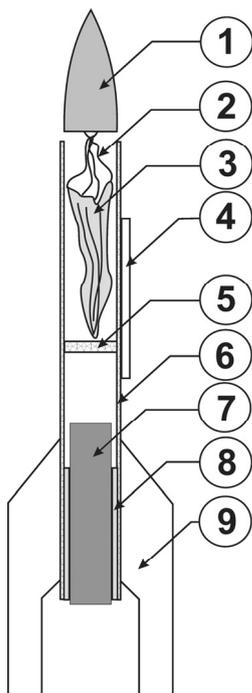


Рис. 1.2. Устройство модели ракеты:
 1 — обтекатель; 2 — стропы парашюта с амортизатором; 3 — парашют;
 4 — направляющая; 5 — пьез;
 6 — корпус модели; 7 — двигатель;
 8 — двигательный отсек или адаптер;
 9 — стабилизаторы

оживальной и овальной формы (рис. 1.3). Овальная и оживальная форма обтекателей (а эти принципы мы заимствуем из конструкций настоящих ракет) наиболее предпочтительна на дозвуковых скоростях ракеты, а конусообразная — на сверхзвуковых. Звуковой барьер мы с вами преодолевать не будем, но в конструкциях моделей-копий конусообразные носовые обтекатели наверняка будут присутствовать, поэтому от их формы мы, конечно, отказываться не станем.

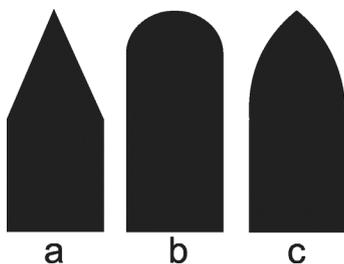


Рис. 1.3. Обтекатели конусной (а), овальной (b) и оживальной (с) формы

Внутри *корпуса модели*, представляющего собой полую картонную трубку, размещается *спасательная система*, которая состоит из *парашюта* и *амортизатора*. С одной стороны эта система крепится к обтекателю, а с другой — к корпусу модели. После того, как *двигатель ракеты* отработает, поднимая модель на заданную высоту над землей, в нем срабатывает так называемый «замедлитель» срабатывания вышибного заряда, а за ним и непосредственно вышибной заряд. Он выталкивает наружу обтекатель, который вытягивает за собой парашют. Чтобы от резкого толчка, вызванного срабатыванием вышибного заряда, парашют не оторвался, он крепится к корпусу модели посредством амортизатора — обычно его делают из небольшого куса рыболовной резинки. Бывали случаи, когда не оборудованный амортизатором парашют, жестко прикрепленный к корпусу модели, выталкивало из него с такой силой, что он отрывал кусок корпуса, что называется, «с мясом». Резинка гасит избыточную энергию заряда и предохраняет спасательную систему, а также корпус ракеты от механических повреждений.

Вышибной заряд по принципу своего действия напоминает обычную петарду, с которыми так любят баловаться дети в канун новогодних праздников. Заряд имеет совсем небольшую мощность, но, тем не менее, он может повредить или расплавить парашют. Чтобы этого не произошло, между верхней частью двигателя и парашютом помещают специальную прокладку из негорючего материала — пьж.

Стартовый комплекс для запуска моделей ракет имеет в своей конструкции направляющую — длинный металлический штырь, напоминающий вязальную спицу, по которому ракета скользит на начальном этапе полета. Этот штырь позволяет задать направление движения модели. Ответная *направляющая* крепится на корпусе ракеты. Такие направляющие можно изготовить различными способами, но самый простой вариант — сделать ее из пластиковой трубочки от прохладительных напитков или выклеить из трех-четырех слоев ватмана на оправке, которая на 2–3 мм в диаметре больше диаметра направляющей.

К нижней части корпуса крепятся *стабилизаторы* — аэродинамические плоскости, которые, как это и следует из их названия, предназначены для стабилизации полета ракеты (рис. 1.4). Траектория полета модели зависит от множества факторов: температуры и влажности различных слоев атмосферы, наличия ветра, восходящих и нисходящих воздушных потоков. Стабилизаторы позволяют сделать полет более предсказуемым.

Самой важной частью модели ракеты, без которой ее полет попросту невозможен, является *двигатель*. Это единственная деталь модели (помимо электрического воспламенителя), изготавливаемая промышленным способом. Двигатели моделисты покупают в специальных магазинах, многие из которых представлены и в Интернете. Можно оформить заказ прямо на сайте такого магазина, а потом получить его по почте. Впрочем, некоторые моделисты изготавливают двигатели самостоятельно, используя различные рецепты из Всемирной сети. Однако самодельные двигатели далеко не всегда могут похвастаться предсказуемостью, стабильностью и, главное, безопасностью своей работы. Поэтому лучше всего приобрести проверенный временем и многократно испытанный моделистами на практике заводской вариант, благо, двигатели для моделей ракет совсем недороги.

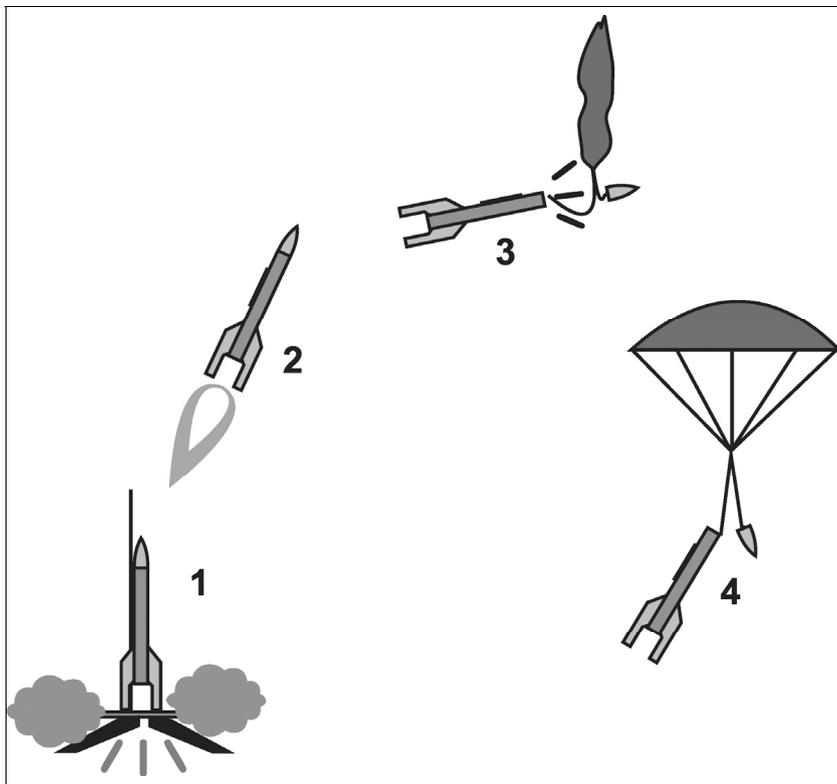


Рис. 1.4. Схема полета модели ракеты: 1 — старт; 2 — реактивный полет; 3 — срабатывание вышибного заряда после отключения двигателя; 4 — приземление на парашюте

Существует несколько типов двигателей, они отличаются диаметром, весом и, конечно же, своими эксплуатационными характеристиками: тягой, продолжительностью горения, удельным импульсом. Подробнее о двигателях и принципах их работы мы поговорим в *главе 3*.

Двигатель крепится в корпусе модели при помощи специального *двигательного отсека* или *адаптера*. Адаптер надежно фиксирует двигатель в корпусе и не позволяет ему самопроизвольно перемещаться на протяжении всего полета. Очевидно также, что после приземления модели адаптер должен позволить без особого

труда извлечь отработанный двигатель из корпуса и заменить его новым.

Как вы уже, наверное, поняли из представленного здесь описания, двигатель является единственной одноразовой конструктивной частью модели. Сама ракета после замены движка может использоваться неоднократно, вплоть до момента, когда ее износ станет критическим. Конечно, во время пусков случается всякое: спасательная система иногда не срабатывает, и после падения модель может получить необратимые повреждения. Но даже если парашют успешно раскрылся, ракету порой уносит порывом ветра очень далеко, она может запутаться в кронах деревьев или угодить в водоем, что обычно приводит к гибели модели. Отчаиваться не стоит: с помощью этой книги вы сможете построить множество различных моделей ракет, от самых простых до сложных и многоступенчатых конструкций!

Как запускают модели?

Для запуска моделей используется специальный разборный стартовый комплекс, который можно приобрести в магазинах для моделистов или собрать самостоятельно. Помимо «стартового стола» с направляющей в обязательный набор ракетчика-любителя входит пульт для запуска. Он состоит из блока, оснащенного батарейками, на котором смонтирован ключ, предотвращающий случайный пуск ракеты, кнопка запуска и длинные — порядка 10 метров — провода с клеммами. Эти провода позволяют запускать модель с безопасного расстояния, не беспокоясь за свое здоровье, если что-то пойдет не так.

Моделист устанавливает модель на стартовый стол, помещает в двигатель электрический воспламенитель, подключает к нему клеммы, и удаляется с пультом как можно дальше — насколько позволят провода. Затем звучит команда «ключ на старт!», обратный отсчет, и по нажатию кнопки на пульте ракета с шипением взмывает в небеса, оставляя за собой дымный шлейф (рис. 1.5). Тихий хлопок — и на фоне лазурно-голубого небосвода распускается купол парашюта, под которым, покачиваясь, модель мед-



Рис. 1.5. Запуск модели ракеты — очень ответственный и волнующий момент

ленно опускается на землю. Теперь нужно всего лишь заменить двигатель, и можно запускать ракету снова!

Зрители, присутствующие на запусках моделей, да и просто интересующиеся ракетомоделизмом люди часто спрашивают меня: а насколько высоко может взлететь такая ракета? Ответ зависит от множества разных факторов: массы модели, выбранного типа двигателя, погоды на полигоне. Но в общем можно сказать, что высота полета правильно построенной модели может достигать трехсот метров и даже больше. Вот вам в качестве наглядного примера показания электронного высотомера известной среди ракетомоделистов американской компании Estes (рис. 1.6): при-



Рис. 1.6. Зафиксированная высота полета модели — 968 футов

бор зафиксировал высоту подъема оборудованной специальным датчиком модели в 968 футов (≈ 325 метров). Неплохо, верно?

Какие инструменты нам понадобятся?

При постройке нашей первой модели ракеты, конечно же, не обойтись без рабочих инструментов. Их лучше подготовить заранее, чтобы потом не бегать по магазинам в поисках самого необходимого. Итак, что же нам понадобится в первую очередь?

Для того чтобы не повредить стол, хорошо обзавестись макетным ковриком (рис. 1.7), на котором можно резать бумагу, пенопласт и другие материалы. Такие коврики отличаются тем, что на них нанесена масштабная сетка, с ее помощью очень удобно отмерять размер выкраиваемых деталей. Коврики изготавливаются из прочного, но гибкого пластика, которому не страшны порезы, поэтому на них можно смело размечать листы ватмана или бальзы, и разделять их на части ножом. В крайнем случае можно обойтись старой чертежной доской или куском фанеры.

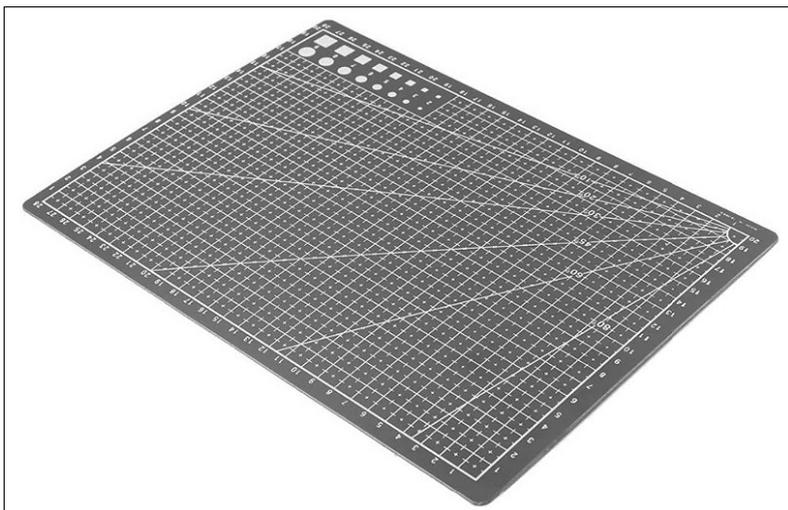


Рис. 1.7. Макетный коврик — очень полезное приобретение

Также нам будет нужен макетный или канцелярский нож со сменными лезвиями и ножницы. Для определения диаметра цилиндрических деталей рекомендуется приобрести штангенциркуль, а окружности удобнее всего рисовать с помощью обычного циркуля.

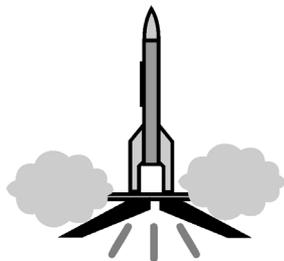
Кроме того, следует заранее купить прочную и тонкую капроновую веревку, бумажный, прозрачный, а также «серый» армированный скотч, металлическую линейку длиной 50 см, шило, угольник, транспортир. Обязательно запаситесь клеем ПВА-М и ПВА-М-супер, а также купите набор простых карандашей, они обязательно понадобятся. Все эти предметы вы можете увидеть на рис. 1.8.



Рис. 1.8. Все необходимые для работы инструменты нужно иметь под рукой

После того как вы подготовите необходимый инструмент, можно переходить к практической части нашей книги — в следующей главе мы приступим к изготовлению корпуса нашей первой ракеты.

ГЛАВА 2



СТРОИМ КОРПУС МОДЕЛИ

Корпус модели ракеты — одна из самых важных ее частей. Корпус должен быть предельно легким, но в то же время — максимально прочным, способным выдерживать большие нагрузки, которые испытывает ракета в момент старта или при неудачном приземлении.

В интернет-магазинах для моделлистов продаются готовые картонные трубы, которые можно использовать в качестве корпуса ракеты. Покупка готового корпуса, конечно, экономит время на постройку модели, но это не наш метод: соорудить корпус самостоятельно гораздо интереснее и, по большей части, практичнее. В процессе постройки вы приобретете необходимые навыки работы с ватманом, а работы этой в дальнейшем будет много. Кроме того, самодельный корпус позволит вам подобрать такие его параметры, как длина, диаметр и, конечно же, масса.

Самый лучший материал для изготовления корпуса ракеты — обычный ватман. Однако прежде чем мы начнем строить корпус, нужно поговорить о весе нашей будущей модели и том важном влиянии, которое он оказывает на ее летные характеристики.

Про вес модели

Давайте сразу решим для себя, что мы с вами будем рассматривать весовые показатели наших моделей с точки зрения любительского ракетомоделизма, а не спортивного — там идет борьба

за каждый грамм, вес моделей в категориях на высоту и продолжительность полета имеет основополагающее значение. Наша же задача — сделать полеты наших моделей эффектными, ровными, но в то же время и высоту подъема модели со счетов сбрасывать не стоит: любительские ракеты тоже обязаны летать высоко. В этом разделе я постараюсь рассказать вам, на что нужно обращать особое внимание при постройке моделей, какие двигатели подбирать под их вес — вы должны быть твердо уверены в правильности компоновки и снаряжения ваших моделей.

Из чего складывается вес модели? Ну, прежде всего, из длины и диаметра корпуса. Используя готовые картонные трубы, вы вряд ли сможете рассчитывать на очень высокие полеты с двигателями РД1-10-5, РД1-20-5 и РД1-30-5, поскольку вес этой трубы без стабилизаторов, обтекателя, двигательного отсека и парашюта и так будет довольно большим. Такие трубы хороши для постройки тяжелых моделей повышенной прочности, которые оснащаются двигателями РД1-50-5М и более мощными. Мы же с вами ограничимся корпусами моделей из ватмана — они легкие и достаточно прочные.

Конечно, спортивные ракетомodelисты в погоне за минимальным весом изготавливают корпуса из легчайшей стеклоткани, выклеенной с помощью эпоксидной смолы. Такие корпуса чрезвычайно легкие и жесткие, но мы с вами на этой технологии останавливаться не станем — для работы со стеклотканью и эпоксидкой требуются все-таки определенные навыки. Сразу отмечу, что современный ватман потоньше того, что был на заре ракетомodelизма: тогда мы выклеивали корпус из двух слоев, а сейчас требуется три. Ну, раньше и солнце было ярче, и трава зеленее...

Сам корпус из ватмана, несмотря на размеры, кажется легким, и это действительно так. Мы радуемся — вес будет небольшим! Но потом приклеиваем стабилизаторы, работаем с обтекателем, для которого необходимо обязательное утяжеление, клеиваем двигательный отсек... Кажется, что все эти составляющие никакого особенного веса и не имеют вовсе, ан нет: глядишь, модель перешагнула отметку в 100 г, и это без двигателя!

Ничего не бойтесь. Если ваша модель без двигателя будет иметь вес порядка 150–180 г, она будет отлично летать на двигателях