

П. Эльштейн

КОНСТРУКТОРУ
МОДЕЛЕЙ
РАКЕТ

Перевод с польского канд. физ.-мат. наук Р.А. Ткаленко
Под редакцией В.С. Рожнова и В.Холодного

Издательство / Мир / Москва 1978

В книге в доступной и занимательной форме излагаются основы аэродинамики, баллистики, химии топлив, электротехники и других наук, знание которых необходимо при конструировании моделей ракет и космических кораблей. Рассмотрен широкий круг вопросов, связанных с проектированием, изготовлением и испытанием таких моделей. Подробно описываются разнообразные модели ракет, ракетопланов и космических кораблей, приводятся их чертежи и характеристики, даются рекомендации по их изготовлению.

Книга предназначена для массового читателя. В ПНР в течение нескольких лет она выдержала три издания. Книга может служить практическим пособием для ракетомоделистов и руководителей ракетомодельных кружков и лабораторий Дворцов пионеров и станций юных техников.

Редакция литературы по новой технике

© Elsztein P., 1975
© Перевод на русский язык с изменениями и дополнениями, «Мир», 1978

31808-165
041(01)-78 165-78

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие редакторов перевода 7

Предисловие автора 12

Глава I. Ракетный моделизм в Польше и за ее пределами

1. Для чего нужны ракеты 13
2. «Малое» ракетостроение в Польше 16
3. «Малое» ракетостроение за пределами Польши 26

Глава II. Ракетно-космический моделизм в школе

1. На уроках ракетной техники 36
2. Знакомство с ракетой 37
3. Как проверить закон Ньютона 42
4. Некоторые сведения об атмосфере 45
5. Имеет ли воздух массу 49
6. Атмосферное давление 50
7. Перепад давления 51
8. Немного аэродинамики 52
9. Как измерить сопротивление 56
10. Невесомость можно увидеть 57
11. Устойчивость ракеты в полете 58
12. Для чего может пригодиться пылесос 68
13. Пробная траектория полета 69
14. Внешняя баллистика в комнате 71

Глава III. Масштабные модели ракет

1. Масштабные модели 73
2. Летающие модели-игрушки 96

Глава IV. Модели ракет без двигателя

1. «Карандашная» ракета 102
2. Две ракеты с автоматическими устройствами 103
3. Ракета на пусковой установке 107
4. Ракета с электрическим воспламенителем 109
5. Стабилизация полета модели ракеты 114

Глава V. Простейшие модели ракет с двигателями

1. Воздушно-гидравлическая модель ракеты 115
2. Микроракета с двигателем на твердом топливе 120
3. «Пленочные» двигатели 121
4. Учебная ракета 124
5. Модели ракет с двигателями промышленного производства 129

Глава VI. Ракетные двигатели

1. Что необходимо знать о ракетных топливах 139
2. Ракетомодельные двигатели 141

Глава VII. Ракетная электротехника

1. Электрические системы зажигания 151
2. Пусковые установки 157

Глава VIII. Автоматика на моделях ракет

1. Устройства для возвращения моделей 168
2. Устройства для разделения ступеней 176
3. Прибор для замера перегрузок 181
4. Световое отслеживание траектории полета 182
5. Трассирующие устройства 184
6. Бортовой фото- или киноаппарат 186
7. Высотомер 188
8. Измеритель скорости 189
9. Дистанционное управление полетом 190
10. Миниатюрная телеметрия 194

Глава IX. На старте модели ракет

1. Предстартовые испытания 199
2. Траектория полета модели ракеты 207
3. Испытательный полигон 208
4. Организация запусков 209
5. Международные правила ракетно-космического моделизма 215
 - 5.1. Определения 215
 - 5.2. Технические требования к моделям ракет 215
 - 5.3. Технические требования к ракетомодельным двигателям 216
 - 5.4. Запуски 218
 - 5.5. Участие в соревнованиях 219
 - 5.6. Соревнования высотных моделей (категория S—1) 220
 - 5.7. Соревнования транспортных моделей на подъем груза ФАИ (категория S—2) 221
 - 5.8. Соревнования на продолжительность полета моделей с парашютом или лентой (категории S—3 и S—6) 222
 - 5.9. Соревнования моделей ракетопланов (категория S—4) 224
 - 5.10. Соревнования моделей-копий на реализм полета (категория S—7) 225
 - 5.11. Соревнования моделей-копий по высоте полета (категория S—5) 227
 - 5.12. Рекорды моделей ракет 228
6. Техника безопасности 229
7. Измерения высоты полета моделей ракет 233
8. Использование фото- и киноаппаратов 240

Глава X. Обзор конструкций моделей

1. Модели ракет 245
2. Модели ракетопланов 260
3. Модели-копии ракет 275

Приложение

Модели ракет 287

Разрядные нормы и условия их выполнения 312

Технические данные выпускаемых в СССР двигателей для моделей ракет 314

Краткий толковый словарь ракетомоделиста 315

Предисловие редакторов перевода

Ракетно-космический моделизм в Советском Союзе за последние 10—15 лет получил большое распространение. Этим видом спорта и технического творчества сегодня увлекаются десятки тысяч любителей. И неудивительно. Ведь наша страна — родина первого искусственного спутника Земли и первых автоматических межпланетных станций, направленных к другим планетам. Автоматический космический аппарат, впервые сфотографировавший обратную сторону нашей ближайшей космической соседки — Луны, тоже был советский. Наши ученые с помощью автоматических разведчиков Вселенной получили панорамные снимки ландшафтов Луны и Венеры. Наверняка останутся в памяти поколений как одни из величайших достижений человеческого гения рейс «Луны-16» за образцами лунного грунта и путешествие автоматической самоходной лаборатории «Луноход-1».

Дорогу в космос также проложил наш соотечественник — Юрий Алексеевич Гагарин, который на корабле «Восток» совершил триумфальный полет, потрясший весь мир. В его подвиге воплотилась богатырская сила советского народа — героического рабочего класса, талантливых ученых, инженеров и техников нашей страны. Первым человеком, который вышел в открытое космическое пространство, тоже был советский человек — Алексей Архипович Леонов. Валентина Владимировна Терешкова своим полетом в космос доказала, что советским женщинам, как и мужчинам, по плечу любые задачи космоплавания.

Созданные в нашей стране многоместные космические корабли «Восход» и «Союз», а затем и космические лаборатории типа «Салют» необычайно расширили возможности деятельности человека в космосе. К настоящему времени в космосе побывало более 40 советских космонавтов.

И сегодня многие ребята мечтают о полетах к другим планетам, к далеким звездным мирам, мечтают стать конструкторами ракетно-космических систем и межпланетных станций. Ракетно-космический моделизм способствует этому. В Советском Союзе большую работу по популяризации и развитию этого вида технического творчества проводят соответствующие кружки и лаборатории на станциях и в клубах юных техников, Дворцах и Домах пионеров и школьников. Занимаясь в них, ребята получают необходимые технические навыки; их мечта о космосе перерастает в увлеченность, а увлеченность определяет выбор профессии.

Поэтому инициатива издательства «Мир», решившего выпустить в переводе книгу «Конструктору моделей ракет» польского автора П. Эльштейна, заслуживает всяческих похвал, тем более что литературы подобного рода у нас в стране издано не так уж много. У себя на родине П. Эльштейн известен как автор многочисленных публикаций по ракетомоделизму. В пред-

лагаемой советскому читателю книге П. Эльштейн в увлекательной и доступной форме знакомит читателя с основами аэродинамики и баллистики, химии топлив и электротехники, завершая изложение описанием сложных ракетно-космических моделей и способов их изготовления. В Польше эта книга пользуется большой популярностью и выдержала уже три издания.

В начале своей книги П. Эльштейн подробно излагает историю ракетомоделизма в Польской Народной Республике. Поскольку перевод книги адресован советскому читателю, уместно коротко напомнить об основных вехах развития ракетомодельного спорта и моделизма в СССР.

Первое сообщение в советской печати об отечественной модели с пороховой ракетой (так тогда называли твердотопливный ракетомодельный двигатель) относится к 1924 г. В нем говорится, что авиамодель самолета с пороховой ракетой в качестве двигателя, сконструированная А. Д. Туркестановым из Тбилиси, пролетела 32 метра.

Пионерами массового ракетного моделизма и инициаторами проведения соревнований юных ракетостроителей у нас в стране являются школьники Краснодара и Подмосковья. Краснодарские энтузиасты Е. Букш и др. еще до Великой Отечественной войны вели работы по созданию моделей самолетов с ракетными двигателями. Поэтому не случайно вскоре после сообщения в 1957 г. о том, что в нашей стране успешно испытаны баллистические ракеты, именно они первыми начали строить и запускать модели ракет. Уже в зимние январские каникулы 1958 г. в Краснодаре на берегу Кубани стартовала трехступенчатая ракета со «спутником» — целлулоидным шариком — на борту, который был выброшен в полете и приземлился на парашюте.

В Московской области первыми начали серьезную работу над моделями ракет юные техники г. Костино под руководством Н. Калинина и П. Горелова. В марте 1959 г. ребята Костинской станции юных техников запустили модель трехступенчатой ракеты, которую назвали «СП-1» («Спутник пионера — первый»).

Новые достижения нашей страны в освоении космического пространства будоражили воображение ребят, вызывали повышенный интерес к космическим проблемам. Юные техники во многих уголках нашей Родины стали самостоятельно строить модели ракет.

Одним из энтузиастов и пропагандистов ракетного моделизма в нашей стране является директор Московской областной станции юных техников Н. Н. Уkolov. Это по его инициативе МособлСЮТ совместно с Центральной станцией юных техников РСФСР в октябре 1961 г. провела первый семинар внешкольных работников по вопросам ракетного моделизма и обсуждение проекта положения о соревнованиях моделей ракет.

Первые официальные соревнования пионеров и школьников по ракетному моделизму состоялись 5 января 1962 г. в Коломне. А накануне Дня космонавтики — 8 апреля 1962 г. — Московская областная станция юных техников успешно провела первые областные соревнования ракетомоделистов, в которых приняло участие 45 команд городов и районов. С тех пор соревнования ракетомоделистов Подмосковья регулярно проводятся из года в год.

В 1963 г. соревнования по ракетному моделизму прошли уже во многих городах: Москве, Харькове, Перми, Кишиневе, Симферополе, Оренбурге, Иванове, Ярославле, Ульяновске, Петрозаводске, Львове, Кировограде, Чите, Н. Тагиле, Бийске, Гусь-Хрустальном, а также в Латвийской ССР. Такое повсеместное увлечение ребят постройкой ракет позволило в следующем, 1964 г. в Артеке впервые провести Всесоюзные соревнования пионеров по ракетомодельному спорту.

Для популяризации этого вида спорта и расширения технических знаний в области ракетной техники среди молодежи, а также обмена опытом конструирования моделей ракет по инициативе ЦК ВЛКСМ и журнала «Моделист-конструктор» с 1968 по 1971 г. проводились Всесоюзные соревнования ракетомоделистов-школьников.

Первые такие соревнования состоялись на Черниговщине — родине талантливого изобретателя, автора первого проекта ракетного летательного аппарата для полета человека Н. И. Кильбальчича, вторые — в Калуге, на родине основоположника теоретической космонавтики К. Э. Циолковского, третий — в Житомире, на родине выдающегося ученого и конструктора ракетно-космических систем С. П. Королева, четвертые — на Смоленщине, давшей миру первого космонавта Ю. А. Гагарина.

Команде-победительнице вручался переходящий приз имени первого летчика-космонавта СССР Героя Советского Союза Ю. А. Гагарина, а победителю в соревнованиях моделей-копий — переходящий приз имени летчика-космонавта дважды Героя Советского Союза В. М. Комарова.

Первые соревнования по ракетомодельному спорту в СССР среди взрослых спортсменов (Московские областные) были проведены в феврале 1971 г. на Тушинском аэродроме столицы.

Учитывая интерес к ракетомоделизму у нас в стране, в феврале 1975 г. при Федерации авиамодельного спорта СССР на общественных началах был создан Комитет ракетного моделизма. За прошедшие годы Комитетом совместно с Центральным спортивно-техническим клубом авиационного моделизма ДОСААФ СССР подготовлены Правила проведения соревнований в СССР, разработано Положение о соревнованиях, составлены Программы подготовки судей и инструкторов.

С 1971 г. по инициативе журнала ЦК ВЛКСМ «Моделист-конструктор» проводится Всесоюзный конкурс «Космос». Цель

его — пропаганда достижений советской ракетно-космической техники, привлечение к космическому моделизму широких кругов пионеров и школьников. Финал конкурса, который проходит в Москве в период весенних школьных каникул, собирает юных техников почти со всех концов нашей страны. Ежегодно на суд жюри предлагается более ста моделей и макетов различных объектов космической техники, в изготовлении которых участвуют тысячи пионеров и школьников.

Из лучших работ, отобранных жюри, в павильоне «Юные натуралисты и техники» ВДНХ СССР организуется выставка. Уже стало доброй традицией, что ежегодно 12 апреля в День космонавтики сюда приходят наши космонавты. Они внимательно осматривают экспозицию, знакомятся с «главными конструкторами» подчас фантастических машин и оставляют в книге отзывов свое напутствие юным техникам.

Итоги конкурсов «Космос» впечатляющи: сотни юных конструкторов награждены медалями ВДНХ СССР, дипломами, грамотами и медалями международных выставок в Болгарии, ГДР, США, Японии, ФРГ, Голландии, Канаде, Индии. Но главное в том, что для этих ребят открылся многообразный и увлекательный мир науки и техники.

Недавно человечество отметило двадцатилетие космической эры. Космонавтика за эти годы развивалась стремительными темпами. Сравните данные первого искусственного спутника Земли и космической станции «Салют»: масса соответственно около 84 кг и почти 19 т, диаметр около 60 см и свыше 4 м. Сделано много научных открытий, проведены обширные программы исследований и экспериментов, получены новые данные о космосе и планетах Солнечной системы, а полеты спутников и орбитальных станций в околоземном пространстве становятся могучим рычагом технического и экономического прогресса человечества.

Бурно развивался и ракетомодельный спорт. Если в период зарождения ракетомоделизма (1962 г.) существовало только два класса моделей, то сейчас кодексом ФАИ предусмотрено 27 классов (в СССР — 26), которые объединены в 8 категорий. Соответственно этому расширились потребности в различных двигателях для моделей ракет. У нас в стране их выпускается 17 типов (см. приложение).

Одним из новых сложных классов, утвержденных последним кодексом ФАИ, является класс моделей-копий, которые всегда привлекают массу зрителей. Спортсмены в этом классе соревнуются не только на копийность и высоту, но и на реализм полета (точность выполнения моделью старта, взлета, разделения ступеней и других функций по сравнению с ракетой-прототипом).

Выросли и результаты. Так, если три-четыре года тому назад мировой рекорд высоты полета модели ракеты был равен 807,5 м,

то сегодня — 1208,8 м. Лучший результат по продолжительности полета ракетопланов в 1974 г. составлял 10 мин 03 с. Мировой рекорд, установленный в 1977 г., теперь равен 1 ч 8 мин 52 с.

Учитывая быстрый прогресс ракетно-космического моделизма и то, что книга адресуется советскому читателю, мы, с любезного согласия автора, внесли в текст некоторые уточнения, а в отдельных случаях дополнили его новыми сведениями.

Так, в гл. I приведена таблица с новыми рекордами мира (по состоянию на 1977 г.) для моделей ракет в новой классификации ФАИ. В гл. IX даны новые международные правила соревнований по моделям ракет в соответствии с последним кодексом ФАИ 1975 г. В связи с тем что этим кодексом значительно увеличено число классов моделей ракет, гл. X дополнена приложением, в котором вниманию читателя предлагаются наиболее характерные для новых классов модели — победители многих последних соревнований по ракетомодельному спорту. Там же приведены разрядные нормативы по ракетомодельному спорту в СССР и данные всех типов модельных ракетных двигателей, выпускаемых промышленностью СССР.

Надеемся, что книга П. Эльштейна доставит радость всем любителям конструирования моделей ракет и космических аппаратов, а также окажет практическую помощь руководителям ракетомодельных кружков и лабораторий.

*B. Рожков,
мастер спорта СССР,
B. Холодный*

Предисловие автора

Прошло десять лет с тех пор, как было выпущено первое польское издание этой книги. Появилась она в то время, когда конструирование моделей ракет еще не было изученной и признанной областью моделизма. Отсутствовали спортивные требования и рекомендации по конструированию. Соответствующие исследования еще не были проведены, а многочисленные несчастные случаи с «любительскими ракетами» не способствовали популяризации ракетомоделизма.

Вскоре, однако, в этой области были достигнуты значительные успехи. Подростки и молодежь узнали из литературы о том, как сделать ракетомоделизм не только интересной забавой, но и поучительным занятием. Этому в определенной степени способствовала настоящая книга, первая в своем роде в мировой литературе.

Вышедшая теперь в третьем польском издании книга «Конструктору моделей ракет» существенно расширена и дополнена новым материалом. Теперь ракетно-космический моделизм стал признанным и популярным видом спорта и технического творчества, предоставляя молодежи счастливую возможность приобщения к одной из самых современных областей науки и техники.

П. Эльштейн

Глава I

РАКЕТНЫЙ МОДЕЛИЗМ В ПОЛЬШЕ И ЗА ЕЕ ПРЕДЕЛАМИ

1. Для чего нужны ракеты

Каким мирным целям служит ракетная техника и для чего, собственно, проектируют различные типы ракет? Ответ на этот вопрос, наверное, интересует наших юных читателей. Большие ракеты-носители используются для вывода на орбиту искусственных спутников Земли, космических кораблей или межпланетных станций и проведения исследований космического пространства, а малые ракеты — для изучения и целенаправленного изменения свойств плотных слоев атмосферы (рис. 1.1). К группе малых ракет относятся так называемые *метеорологические ракеты*, предназначенные для измерения физических параметров атмосферы, таких, как давление, скорость ветра и температура воздуха на разных высотах. Эти данные необходимы для составления надежного прогноза погоды для авиации и мореплавания, а также для информации работников сельского и лесного хозяйства, геологов, строителей и многих других специалистов о метеорологических условиях — надвигающихся грозах и снегопадах, сильных ветрах и бурях.

Ракетная техника дала новый толчок развитию астрономии и в то же время нашла применение в нефтяной и угольной промышленности. Лифт, оборудованный ракетным двигателем, выполняет спасательные функции. Измерительная аппаратура, помещенная в контейнер, снабженный ракетным двигателем, может быть использована для быстрого измерения физических параметров в стволах буровых скважин.

Начиная с 1965 г. в Польше проводятся систематические исследования атмосферы с использованием польских метеорологических ракет, таких, как «Метеор-1», «Метеор-2» и «Метеор-3» (рис. 1.2). Ракета «Метеор-2» поднялась в 1970 г. на высоту более 90 км. В Лебе существует Центр атмосферных исследований, а изучение атмосферы в Польше при помощи ракет является частью общей программы социалистических стран «Интеркосмос» по исследованию космического пространства.

Ракеты служат не только для проведения исследований или сбора информации о погоде; они также используются для целенаправленного воздействия на окружающую среду. Существуют, например, малые ракеты с радиусом действия всего несколько километров, которые могут предотвратить выпадение града. В СССР и Болгарии созданы специальные службы для охраны виноградников, садов и посевов от града, которые располагают

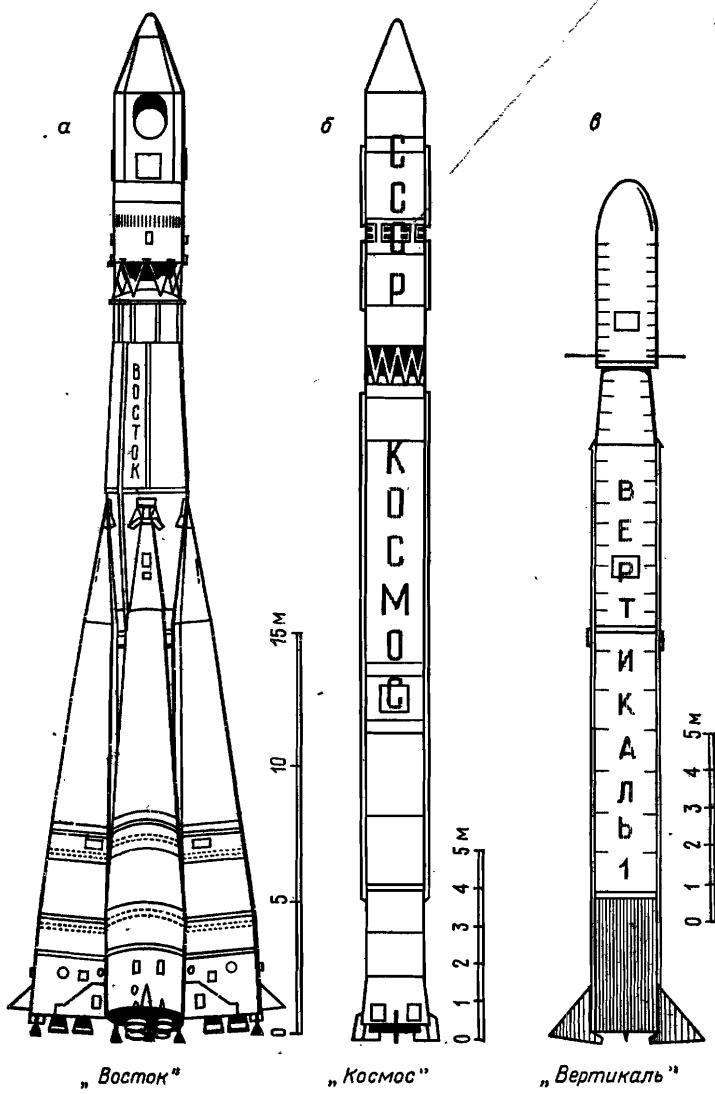


Рис. 1.1. Большие и малые советские ракеты.

а — советская ракета-носитель космических кораблей «Восток»; **б** — советская ракета-носитель для вывода на околоземную орбиту искусственных спутников «Космос»; **в** — советская исследовательская ракета «Вертикаль» для изучения верхних слоев атмосферы.

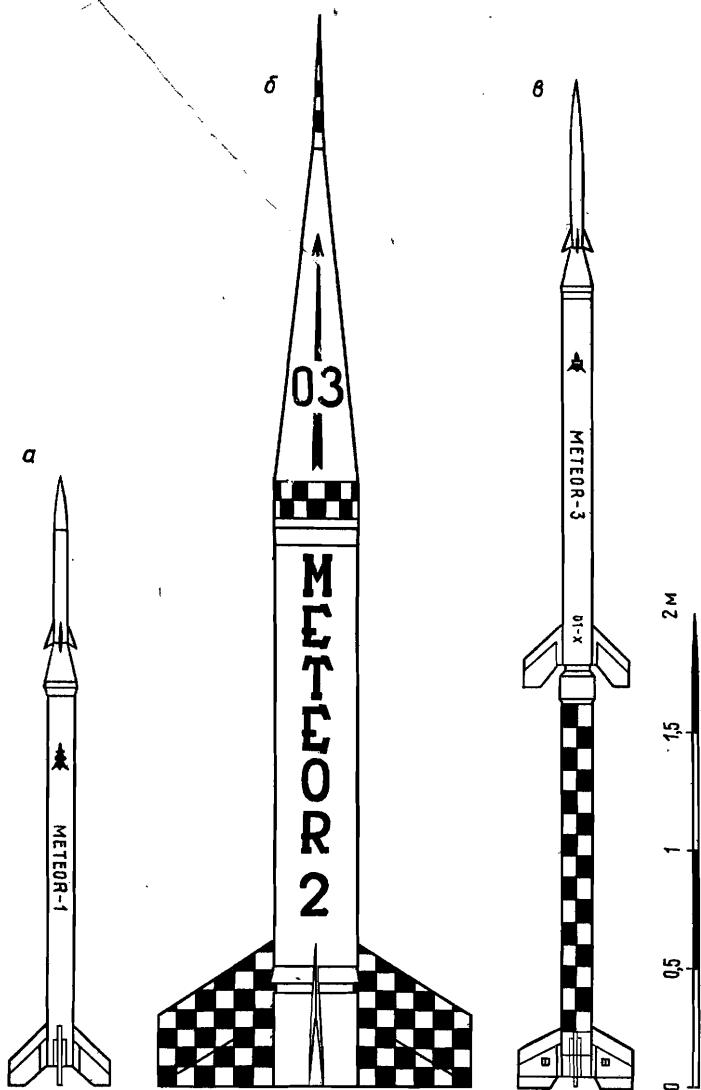


Рис. 1.2. Польские метеорологические ракеты.

a — ракета «Метеор-1», использовавшаяся в 1965—1973 гг. для измерения силы ветра в горах; *b* — ракета «Метеор-2», потолок которой достигает 90 км; *c* — двухступенчатая ракета «Метеор-3».

системами ракет и наземных радиолокационных станций. При возникновении опасности выпадения града запускают ракеты, распыляющие внутри туч, например, иодистое серебро или двуокись углерода. Под влиянием этих веществ образуются искусственные ядра конденсации и происходит выпадение дождя вместо града. Следует отметить, что подобные методы воздействия на состояние атмосферы постоянно изучаются и совершенствуются. Разрабатываются наиболее эффективные методы, которые можно было бы широко использовать не только для предотвращения выпадения града, но также, например, для рассеивания тумана или очищения атмосферы в промышленных районах. В связи с растущей необходимостью охраны окружающей среды перспективы использования ракет в этом направлении огромны.

2. «Малое» ракетостроение в Польше

Первые модели ракет, созданные любителями, появились в Польше в 1955—1956 гг. Они были оборудованы двигателями, топливом в которых служила кинопленка. Инициаторами конструирования малых ракет в то время были харцеры¹, поддерживаемые Управлением ВВС Генерального штаба. Начиная с 1957 г. в еженедельнике «Скшилдата Польска» («Крылья Польши») появляются статьи по ракетному моделизму. Союз польских харцеров выпустил также лекции по ракетному моделизму, изданные на правах рукописи.

В конце 1956 — начале 1957 г. при краковском отделении Польского астронавтического общества было создано Ракетное опытно-конструкторское бюро, объединяющее студентов Горнометаллургической академии в Кракове. Это бюро, поставившее своей целью исследования в области любительского ракетостроения, 10 октября 1958 г. запустило первую экспериментальную ракету «RM-1»².

С 1960 г. при краковском аэроклубе был создан Исследовательский ракетный центр, который работал в соответствии с программой деятельности Аэроклуба ПНР. Этот центр выполнял также учебную и конструкторскую работу.

В 1960 г. Лига друзей солдата организовала в Варшаве курсы инструкторов ракетостроения, включив тем самым ракетный моделизм в программу своей деятельности.

В 1961 г. в Катовицах было организовано Силезское общество ракетной техники и астронавтики. В том же году Лига друзей солдата объявила конкурс на лучший проект ракетного двигателя и выпустила цикл лекций по основам «малого» ракетостроения, составленный инженером Я. Вальчевским. Одновременно на

¹ Члены польской детской организации. — Прим. перев.

² RM (Rakieta Meteorologiczna) — метеорологическая ракета. — Прим. перев.

Рис. 1.3. Юные участники I всепольских соревнований ракетомоделистов, проходивших в 1962 г. в Кракове.



выставке моделей ракет, организованной в музее техники Союза научно-технических обществ в Варшаве, появились первые экспонаты: модели-копии ракет и летающие модели (стартующие с резиновой катапульты).

Наибольшее количество кружков, занимающихся ракетным моделизмом, находилось в Силезии, в Краковском и Поморском воеводствах. В 1962 г. в Кракове Аэроклубом ПНР были организованы I Всепольские (одни из первых в Европе) соревнования ракетомоделистов на кубок им. Казимежа Шеменовича, основоположника польского ракетостроения. Кубок был учрежден газетой «Слово повшехне» («Всеобщее слово») в Варшаве. В соревнованиях участвовало 125 ракетомоделистов. Все участники были разделены на две группы — младшую (от 12 до 18 лет, рис. 1.3) и старшую (свыше 18 лет). Модели ракет юниоров оснащались твердотопливными двигателями с максимальным объемом 23 см³, а модели ракет старшей группы — двигателями с максимальным объемом 100 см³. Двигатели были изготовлены самими участниками и, частично, Главным центром ракетного моделизма Аэроклуба ПНР в Варшаве.

В соответствии с международным правилом об использовании в соревнованиях только двигателей промышленного производства в 1965 г. в Польше приступили к разработке таких двигателей для серийного выпуска. Прототипы были изготовлены в Краковском исследовательском ракетном центре, а серийное производство поручено специализированным предприятиям в Кривалде. В 1966—1969 гг. продукция этих предприятий в основном удовлетворяла потребности ракетомоделистов, объединенных Аэроклубом ПНР. В 1966 г. в Краковском исследовательском ракетном центре были составлены программы обучения конструированию моделей ракет.

Начиная с 1963 г. «малым» ракетостроением начала заниматься также Лига обороны края (ЛОК), которая, продолжая деятельность Лиги друзей солдата, организовала три курса лекций для инструкторов и выпустила небольшую серию ракетных двигателей в Силезском клубе ракетной техники.

В 1968—1969 гг. отечественная продукция все еще не полностью удовлетворяла спрос в Польше, поэтому использовались также двигатели, импортируемые из Чехословакии и распространяемые через Центральную базу материально-технического снабжения Союза харцеров. В конце 1969 г. Аэроклуб ПНР принял решение сконструировать новые, более совершенные двигатели. Были изготовлены, правда, в небольшом количестве, двигатели трех типов. Эти двигатели с полным импульсом 5, 10 и 20 Н·с подходили для всех классов моделей, соответствующих требованиям ФАИ. Окончился начальный период, когда еще не было понятия «модель ракеты», не обязательно было пользоваться двигателями промышленного производства и допускалось изготовление двигателей любителями.

Конструкторами двигателей промышленного производства среди других были инженеры Э. Курковский и Е. Кошиньский из Варшавы, Ф. Сынакевич из Квидзына, И. Пуделко из Кракова, З. Голик из Катовиц, Б. Вэнгжин, Э. Вожняк и А. Томашевский из Варшавы, а также Т. Стадовский из Кельц и К. Стрихарский из Хшанувя.

Основные параметры ракетных двигателей типа «WT» (Вожняк — Томашевский), серийное производство которых наложено в Польше, приведены в табл. 1.1.

Таблица 1.1

Обозначение двигателя	Длина, мм	Диаметр, мм	Полный импульс, Н·с	Масса, г	Время работы замедлителя, с
WT-I	50	19,1	5	15	2,5—3
WT-II	65	19,1	10	20	3,5—4
WT-III	70	19,1	20	26	4

После I Всепольских соревнований, организованных в 1962 г., развернулось конструирование спортивных ракет. Всепольские соревнования были проведены в 1963 г. в районе Бледовской пустоши. Участвовало 46 спортсменов с 220 моделями. Наилучший результат по высоте подъема ракеты в группе юниоров равнялся 279 м, а в старшей группе — 371 м. В III Всепольских соревнованиях, организованных Аэроклубом ПНР в 1964 г., участвовало 55 спортсменов после предварительных отборочных соревнований в областных аэроклубах. Наилучший результат (высота 364 м) был достигнут в старшей группе.

IV соревнования проводились в 1965 г. в Кракове. Кроме польских любителей, в этом мероприятии участвовали ведущие ракетомоделисты из ЧССР. В соревнованиях приняло участие 80 человек (в том числе 45 юниоров), стартовало около 200 моделей. Лучший результат был достигнут в старшей группе — 512 м. Впервые отмечены удачные полеты ракетопланов. Лучшая из моделей продержалась в воздухе 2 мин 03 с.

Об этих четырех соревнованиях следовало упомянуть, чтобы яснее себе представить начальный период развития ракетного моделизма в Польше. Кроме всепольских мероприятий проводился целый ряд местных соревнований и выставок, например, в Староховицах, Щецине, Квидзыне, Катовицах, Кракове и Мушине.

Работа юных ракетомоделистов опиралась в тот период на скучные результаты собственных исследований, а также на публикации в еженедельнике «Скшидлата Польска», ежемесячном журнале «Моделяж» («Моделист») и в газете «Слово повшехне», молодежное приложение к которой раз в неделю помещало статьи, посвященные летающим моделям и макетам. Что касается издания книг, то уже в 1963 г. вышли две книги: «Юный ракетомоделист» П. Эльштейна (Научно-техническое издательство) и «Ракетный моделизм» Б. Вэнгжина (изд-во Министерства национальной обороны). Аэроклуб ПНР выпустил также работу А. Гласса «Бумажные змеи, воздушные шары и ракеты» в качестве пособия для занятий в кружках Аэроклуба ПНР.

28—29 мая 1966 г. в Дубнице-на-Ваге (ЧССР) проходили I Международные соревнования ракетомоделистов, организованные Аэроклубом ЧССР под эгидой ФАИ. В них участвовало 48 спортсменов из Чехословакии, Венгрии, США, Болгарии, ГДР и Польши. На соревнованиях в Дубнице, которые стали традиционными, польские конструкторы часто демонстрировали свои модели ракет.

Параллельно с мероприятиями, организуемыми Аэроклубом ПНР, начиная с 1963 г. соревнования проводит Лига обороны края. Вот некоторые сведения об этих соревнованиях: в Кракове (Новой Гуте) в мае 1963 г. участвовало 102 спортсмена, в 1964 г. в Скерневице — 59, а в 1965 г. в Перемышле насчитывалось 58 участников.

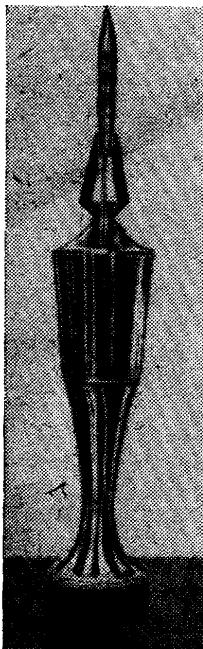


Рис. 1.4. Кубок им. Юрия Гагарина, учрежденный Обществом польско-советской дружбы.

Мемориал Гагарина проводится ежегодно в Торуне на летном поле аэродрома Поморского аэроклуба.



Рис. 1.5. Модель польской метеорологической ракеты «Метеор-2» на мемориале Ю. Гагарина.

Упомянутые мероприятия проводились в масштабах всей страны с соответствующими отборочными соревнованиями в военном спорте. С 1972 г. ЛОК перестала проводить специальные первенства Польши по ракетно-космическому моделизму. Теперь над всеми мероприятиями по спортивному моделизму шефствует Аэроклуб ПНР.

В деле популяризации среди молодежи ракетной техники посредством моделизма немалые заслуги имеет Общество польско-советской дружбы. По его инициативе создано множество «Клубов юных космонавтов», организованы встречи с известными специалистами в области науки и техники, в том числе с советскими летчиками-космонавтами. Общество польско-советской дружбы учредило серебряный переходящий кубок им. Юрия Гагарина (рис. 1.4) в качестве награды в ежегодных соревнованиях летающих масштабных моделей ракет (рис. 1.5) в Торуне. В день советской космонавтики, который отмечается ежегодно, среди ракетомоделистов проводятся различные соревнования, в организации которых участвует Общество польско-советской дружбы.

Первые такие соревнования были организованы в 1967 г. Поморским аэроклубом и проходили в Торуне. Тогда же впервые появились на старте модели-копии ракет-носителей космических кораблей. С 1971 г. эти соревнования были переименованы в мемориал Юрия Гагарина и до сих пор пользуются большим успехом.

Одним из центров ракетного моделизма является Мушине, известный курорт в предгорьях. Начиная с 1961 г. в Мушине действует клуб авиационного и ракетного моделизма «Зефирек». Руководители и члены этого клуба — ведущие спортсмены и конструкторы моделей ракет. Достаточно упомянуть, что они почти всегда занимают высокие места в личном и командном зачетах на местных, всепольских и международных соревнованиях. В 1961—1971 гг. ракетомоделисты клуба «Зефирек» участвовали в 36 соревнованиях, стартовали около 2000 раз и установили для разных классов моделей 40 рекордов, а также 10 раз занимали первые и вторые места во всепольских соревнованиях по ракетному моделизму.

Первые соревнования в Мушине они организовали в 1962 г. С тех пор летом и зимой каждого года проводятся такие мероприятия для детей и молодежи Мушки с целью знакомства их с ракетной техникой и спортивным ракетным моделизмом. В связи с этим следует упомянуть о первом в Польше старте в 1964 г. модели ракетоплана со склона горы. Конструктором модели был В. Вишневский из Мушки. Возглавляет мушинских ракетомоделистов Ю. Ярончик, опытный конструктор и многократный призер соревнований.

За прошедшее десятилетие в клубе «Зефирек» изготовлено около 3000 моделей ракет, в том числе масштабных, старт которых — захватывающее зрелище на каждом спортивном соревновании.



Рис. 1.6. Значок ракетомоделиста, учрежденный Аэроклубом ПНР.

Спортивным ракетно-космическим моделизмом в Польше руководит Аэроклуб ПНР. Он выпускает соответствующие правила соревнований, основанные на спортивном кодексе ФАИ, проводит обучение инструкторов, правомочен выдавать так называемые *спортивные лицензии* (или права международного класса), регистрирует рекорды страны, а в случае установления рекордов Европы или мира представляет в ФАИ соответствующие документы на утверждение.

Кроме того, Аэроклуб ПНР уполномочен представлять к награде значком «За выдающиеся спортивные достижения» ракетомоделистов, которые заняли призовые места на международных соревнованиях.

Аэроклуб ПНР учредил значок ракетомоделиста (рис. 1.6), который присуждается вместе с соответствующим дипломом лицам, окончившим курсы и выполнившим соответствующие нормативы. Существует несколько значков: бронзовый, серебряный, золотой и инструкторский.



Рис. 1.7. Технический осмотр моделей ракет перед стартом.

В 1971—1972 гг. в Польше ракетным моделизмом занималось около 20% молодежи, объединенной в Аэроклубе ПНР, Лиге обороны края и Союзе польских харцеров (рис. 1.7).

Дополнить представление о развитии ракетно-космического моделизма в Польше можно, перечислив некоторые важнейшие события.

1960 — Общество ракетной техники и астронавтики организовало курсы любительского ракетостроения под руководством проф. Э. Пончковского.

1961 — в Кракове Лигой друзей солдата созданы Центральные курсы инструкторов ракетного моделизма под руководством инженера Б. Вэнгжина.

1961 — объявлен всепольский конкурс на лучшую конструкцию двигателя для моделей ракет. Организатором конкурса была Лига друзей солдата. Победителем стал магистр-инженер Б. Вэнгжин из Варшавы.

1962 — Министерство просвещения, Лига обороны края и редакция журнала «Моделяж» организовали конкурс масштабных моделей-макетов, посвященный перспективам космических полетов. На конкурс было представлено несколько тысяч моделей, две из которых показаны на рис. 1.8.

1962 — Краковский аэроклуб при участии редакции газеты «Слово повсеместное» организовал одни из первых в Европе соревнования моделей ракет — мемориал Казимежа Шеменовича.

1962 — Польское астронавтическое общество в Варшаве и Министерство просвещения провели первый симпозиум под названием «Астронавтика в школе».

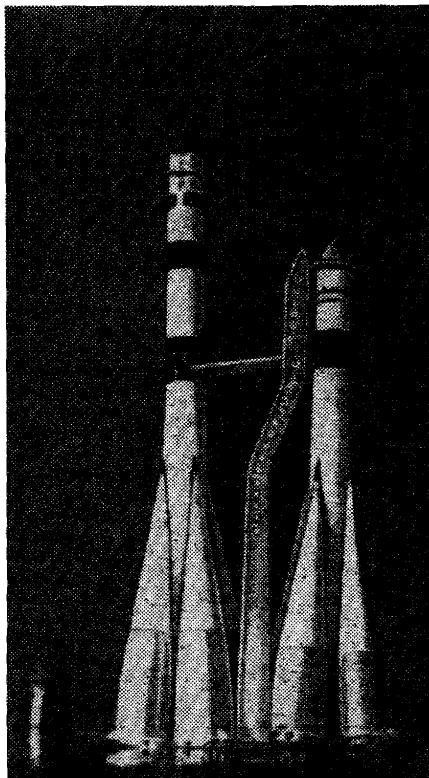


Рис. 1.8. Модели ракет, присланные на конкурс, организованный редакцией журнала «Моделяж».



Рис. 1.9. Старт модели ракетоплана на международных соревнованиях в 1966 г. в Дубнице (ЧССР).



Рис. 1.10. Подготовка модели к старту.

Рис. 1.11. Последние при-
готвления (установка
запального устройства).



Рис. 1.12. Модель раке-
топлана.



1963 — в Урсусе, вблизи Варшавы, состоялся показ исследовательских ракет конструкции магистра-инженера Б. Вэнгжина. Ракеты, оборудованные телеметрической аппаратурой, достигли в полете высоты нескольких километров.

1966 — первое выступление польских ракетомоделистов на I Международных соревнованиях в Дубнице (ЧССР) (рис. 1.9).

1967 — участие польской команды из шести человек в соревнованиях ракетомоделистов в г. Ниш (Югославия). На этих соревнованиях ракетоплан З. Янецкого установил первый официальный рекорд Польши с результатом 312 с.

1967 — польское телевидение и ежемесячный журнал «Ведза и жычэ» («Наука и жизнь») организовали конкурс «Космос-67» масштабных моделей существующих ракет и космических кораблей.

1968 — на первенстве Польши по авиамоделизму впервые в соревнованиях участвовали ракетомоделисты (рис. 1.10). На XXXIII первенстве Польши в Красно-на-Вислеке в классе моделей ракет, стартующих на продолжительность полета, титул чемпионки Польши и золотую медаль Аэроклуба ПНР завоевала Анна Залуская из Мушины.

1968 — команда из трех польских ракетомоделистов участвовала в международных соревнованиях в Дубнице (ЧССР). Е. Витковский занял I место в классе ракетопланов, а З. Янецкий — VII место (из 59 участников) в соревнованиях по высоте полета.

1969 — на международных соревнованиях во Вршаце (Югославия) участвовало пять польских спортсменов, которые в классе моделей ракет на продолжительность полета заняли VI место, в классе ракетопланов — IV место, а в классе масштабных моделей (копий) — II место (рис. 1.11).

1969 — на XXXIV первенстве Польши по летающим моделям в Красно-на-Вислеке чемпионом Польши в классе ракетопланов стал Т. Груца из Мушины (рис. 1.12).

1971 — на XXXVII первенстве Польши в Лисьих Контах под Грудзёндзом титул двукратного чемпиона Польши в классе ракетопланов и моделей-копий ракет завоевал Ю. Ярончик.

1971 — на международных соревнованиях в Югославии польские моделисты заняли следующие места: З. Янецкий в классе моделей ракет на продолжительность полета — II место, 687 с; Х. Меллер в классе ракетопланов — II место; Х. Меллер в классе моделей-копий занял IV место, а З. Янецкий — VIII. В соревнованиях принимали участие спортсмены Югославии, Польши, Болгарии, ЧССР, США и Румынии (рис. 1.13).

1972 — команда польских моделлистов участвовала в Первом чемпионате мира по ракетно-космическому моделизму, организованном Аэроклубом Югославии под эгидой ФАИ. Соревнования проходили в г. Вршац. Участвовали команды Польши, АРЕ, Великобритании, США, ЧССР, Румынии, Болгарии и Югославии (рис. 1.14, 1.15).

1973 — в Дубнице (ЧССР) было проведено первенство Европы по ракетно-космическому моделизму, в котором приняло участие 54 спортсмена из 6 стран: Великобритания, Болгарии, ЧССР, Югославии, Польши и Румынии.

1974 — на Втором чемпионате мира по ракетно-космическому моделизму (Дубница, ЧССР, 4—9 сентября) поляк З. Францкевич в соревнованиях моделей ракет на продолжительность полета занял первое место и завоевал титул чемпиона мира с результатом 375 с. В классе грузовых моделей а также в высотных полетах моделей-копий польские ракетомоделисты завоевали первое место в командном зачете на чемпионате мира, а в соревнованиях моделей-копий на реализм полета поляки вышли на второе место.

3. «Малое» ракетостроение за пределами Польши

«Малое» ракетостроение — новая область моделизма, хотя и со старыми традициями. Его бурное развитие началось с 1957 г.,

Рис. 1.13. Старт модели ракеты.

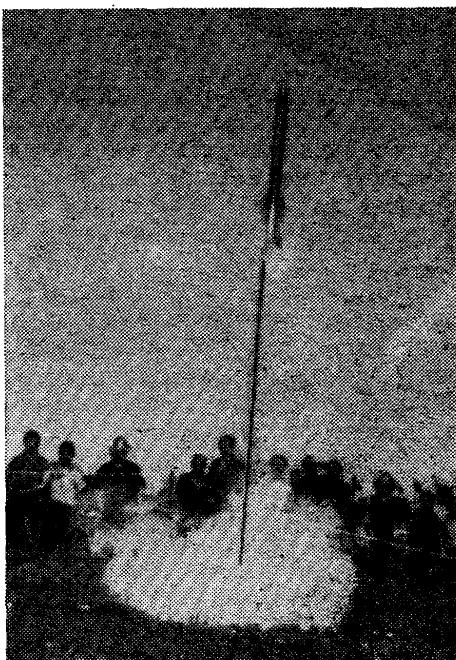
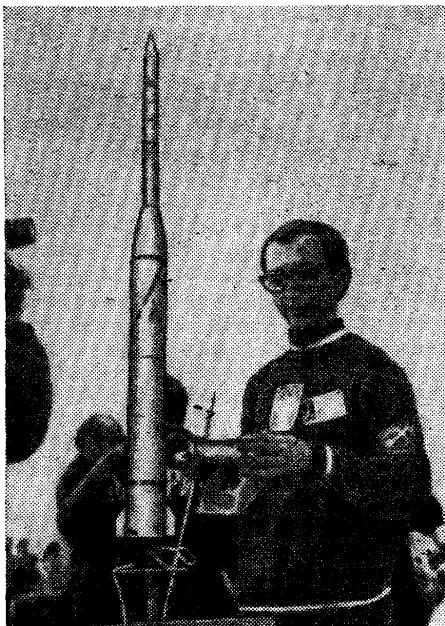


Рис. 1.14. Модель французской ракеты-носителя «Диамант» Ю. Ярончика на старте соревнований в Югославии в 1972 г.



когда на околоземную орбиту был запущен первый советский искусственный спутник Земли.

В первых полетах использовались большие любительские ракеты, которые не удовлетворяли требованиям безопасности. Лишь с течением времени появились полностью безопасные модели ракет. Было наложено промышленное производство двигателей и запрещено использование двигателей нестандартной конструкции, неконтролируемых и небезопасных. Началось конструирование моделей с двигателями разной тяги. Наконец, пришло время для соревнований ракетомоделистов. Был выделен специальный класс моделей ракетопланов (с дополнительными правилами), класс моделей ракет, спускаемых на парашюте и предназначенных для достижения максимальной продолжительности полета. Для «малого» ракетостроения был разработан в ФАИ свой спортивный кодекс, создана соответствующая подкомиссия (Польшу в подкомиссии ракетного моделизма представляет автор данной книги), проводятся международные соревнования, в том числе и первенство мира.

Развитие международного ракетного моделизма можно проиллюстрировать представленным ниже кратким перечнем важнейших событий.

1939 — в СССР опубликована книга Е. Букша «Ракетные двигатели для авиамоделей».

1946 — советский моделист П. Анохин установил на бумажной модели малый ракетный двигатель, работающий на кинопленке.

1947 — в Великобритании появился твердотопливный ракетный двигатель «Джетекс» промышленного производства фирмы «Импирисл кэмикл индастриз». Двигатель «Джетекс» стал прототипом позднейших конструкций «Тай-фун» в Югославии и «Синдже» в ЧССР. Тяга двигателя «Джетекс» в зависимости от типа составляет 13—49 Г.

1957 — в США организовано Общество ракетомоделистов. Основатель его Гарри Стайн.

1958 — в Югославии появились первые клубы ракетомоделистов в Риеке, Нише, Сомборе и Белграде.

1958 — в Краснодаре (СССР) сконструирована модель трехступенчатой ракеты, которая удачно стартовала.

1959 — в Костино (СССР) на местной станции юных техников проведены старты моделей многоступенчатых ракет.

1959 — в США состоялись первые соревнования ракетных моделей.

1960 — в США вышел из печати учебник по конструированию любительских ракет, написанный Берtrandом Бринли.

1962 — ФАИ признало любительское ракетостроение в качестве одного из видов спортивного моделизма.

1962 — под Москвой проведены областные соревнования моделей ракет на продолжительность полета.

1963 — Московская областная станция юных техников выпустила книгу «В небе — модели ракет».

1964 — в Чехословакии выпущена книга Румлера, Черного и Шафека «Основы ракетного моделизма».

1965 — в СССР проведены первые соревнования моделей ракет по правилам ФАИ. Это были IV соревнования Московской области. Модель ракетоплана Евгения Сыркова поддержалась в воздухе 3 мин 16 с.

1966 — в Чехословакии (Дубница) под эгидой ФАИ организованы I Международные соревнования моделей ракет. В них участвовало 48 любителей из ЧССР, Венгрии, США, Болгарии, ГДР и Польши.

1966 — разработан специальный кодекс ФАИ для ракетного моделизма. Все предыдущие соревнования регламентировались временным кодексом.

1969 — ФАИ зарегистрировала первые рекорды моделей ракет, установленные в соответствии с утвержденными правилами. В классе моделей ракето-планов Томми Бенсон (США) достиг результата 143 с, в соревнованиях на высоту полета со стандартным грузом¹ ФАИ Свен Енглунд показал результат 296 м, в соревнованиях на продолжительность полета Джесс Медина (США) достиг результата 209 с, в открытом классе (с тремя грузами ФАИ) ракетная модель Болла Хендрона (США) достигла высоты 603 м.

На XI первенстве США проведен первый успешный полет модели ракето-плана с дистанционным управлением.

1973 — Международная Авиационная Федерация в очередном бюллетене опубликовала официальный перечень параметров полета космических моделей, по которым регистрируются рекорды.

Мировые рекорды моделей ракет на 1 января 1978 г. приведены в табл. 1.2.

Наибольшее развитие ракетный моделизм получил в США, где в продаже появляются различные детали ракет и особенно (начиная с 1960 г.) двигатели различных типов. Из европейских стран ракетным моделизмом больше всего занимаются в СССР, Чехословакии, Польше, Югославии, Швеции. В некоторых странах, как, например, в ФРГ и Великобритании, развитие ракетного моделизма тормозилось существующими законами. Во Франции проводились работы, скорее любительские, с ракетами больших размеров, на которые правила ФАИ не распространялись.

Летающие модели, оборудованные ракетными двигателями, — изобретение не последних лет. Во французском проспекте за декабрь 1910 г. описываются высокие летные качества ракетной модели, построенной в виде удлиненного биплана, а на соревнованиях в России приблизительно в то же время стартовали модели с ракетными (пороховыми) двигателями.

Пионеры ракетной техники Тихонравов (СССР), Оберт (Германия) и Годдард (США) использовали в своих исследованиях малые ракеты. Иногда это были ракеты, которые в настоящее время называли бы моделями, но часто их конструкции напоминали известные современные любительские ракеты.

Ракетный моделизм начался с конструирования любительских ракет, а практический интерес к ракетной технике привел к запуску на околоземную орбиту первого искусственного спутника Земли «Спутник-1». С 1957 г. в технически развитых странах началось бурное развитие не только «большой» ракетной техники, но также «малого» ракетостроения. Конечно, сначала многие пытались непосредственно использовать последние достижения ракетной техники в любительском ракетостроении и конструировали двигатели на жидком и твердом топливах, а ракеты делали из металла. В те времена печать многих стран, особенно США, была

¹ Груз массой 28,3 г (1 унция). — Прим. ред.

Таблица 1.2

Мировые рекорды моделей ракет на 1 января 1978 г.

№ п/п	Класс по ФАИ	Наименование моделей	Полный импульс, Н·с	Макси- мальная масса, г	Результат
1	S—1-A	Высотные мо- дели	0—5,00	60	436,4 м
2	S—1-B		5,01—10,00	120	507,0 м
3	S—1-C		10,01—40,00	240	1101 м
4	S—1-D		40,01—80,00	500	740,5 м
5	S—2-A (1 груз)	Модели на вы- соту полета с грузом ФАИ	0—10,0	90	639 м
6	S—2-B (2 груза)		10,01—40,00	240	1208,8 м
7	S—2-C (4 груза)		40,01—80,00	500	611 м
8	S—3-A	Модели на про- должитель- ность полета с парашютом	0—2,5	100	32 мин 42 с
9	S—3-B		2,51—5,00	100	29 мин 25 с
10	S—3-C		5,01—10,00	200	9 мин 03 с
11	S—3-D		10,01—20,00	500	31 мин 04 с
12	S—4-A	Ракетопланы на продолжи- тельность по- лета	0—2,5	60	6 мин 22 с
13	S—4-B		2,51—5,00	90	7 мин 46 с
14	S—4-C		5,01—10,00	120	11 мин 48 с
15	S—4-D		10,01—40,00	240	45 мин 28 с
16	S—4-E		40,01—80,00	500	68 мин 52 с
17	S—5-A	Модели-копии на высоту по- лета	0—2,5	60	481 м
18	S—5-B		2,51—5,00	90	214 м
19	S—5-C		5,01—10,00	120	514 м
20	S—5-D		10,01—40,00	240	552 м
21	S—5-E		40,01—80,00	500	460 м
22	S—6-A	Модели на про- должитель- ность полета с лентой	0—2,5	100	1 мин 18 с
23	S—6-B		2,51—5,00	100	2 мин 35 с
24	S—6-C		5,01—10,0	200	3 мин 35 с
25	S—6-D		10,01—20,00	500	2 мин 37 с



Рис. 1.15. Модель ракеты «Титан» (США) А. Стояновича стартует с пусковой установки на чемпионате мира в Югославии.

заполнена сообщениями о несчастных случаях, часто смертельных, происходивших при развлечениях или экспериментировании с взрывчатыми веществами, из которых изготавляются ракетные топлива.

Для исправления этих ошибок в США были сделаны энергичные шаги. Проводилась широкая информация детей и молодежи о последствиях конструирования «ракет для самоубийц», были созданы специальные курсы, во главе которых стояли известные специалисты. Эти курсы были направлены на обучение любителей основам теории и практики ракетостроения. Одновременно велись исследования с целью создания удобных в обращении ракетных топлив. Возникли первые ракетные клубы, в которых проводились консультации по вопросам техники безопасности.

В 1957 г. в США группой из ста человек было создано первое объединение ракетомоделистов (Национальная ассоциация любительского ракетостроения), которое выполняло учебно-просветительские функции в области ракетной техники и уже через шесть лет насчитывало около 3000 членов.

В 60-х годах окончательно сложилось понятие «модель ракеты», отвечающее строгим правилам безопасности. Было наложено промышленное производство деталей моделей ракет, особенно двигателей, что почти полностью исключило самодеятельное (а потому и небезопасное) их изготовление.

Интересно отметить, что в США с 1960 по 1970 г. было проведено около 20 млн. стартов моделей ракет с двигателями промышленного производства, причем не зарегистрировано ни одного несчастного случая.

Согласно статистике, проведенной Национальной ассоциацией любительского ракетостроения (а данные эти очень показательны), самая многочисленная возрастная группа, которая занимается конструированием ракет, — это дети 13—15 лет. Лишь на втором месте по численности среди ракетомоделистов находятся 12 и 16-летние, а на третьем — 11 и 17-летние подростки. Немногочисленную группу составляют 9 и 19-летние. Совсем уже малочисленны моделисты более старшего возраста. Эти данные можно дополнить тем, что после введения кодексом ФАИ класса летающих масштабных моделей, для изготовления которых требуется больше знаний, группа ракетомоделистов в возрасте свыше 20 лет увеличилась незначительно.

В 1973 г. в США существовало 2500 клубов, занимающихся ракетным моделизмом. При многих технических школах там имеются соответствующие учебно-методические центры.

Бурное развитие «малого» ракетостроения было бы невозможным без массового промышленного производства двигателей и различных деталей моделей ракет. В 1959 г. Национальная ассоциация любительского ракетостроения США начала выпускать специальный журнал *Model Rocketry* («Ракетный моделизм»).

В СССР ракетно-космическим моделизмом занимается около 150 тыс. молодежи, в основном в клубах массовой организации ДОСААФ, Дворцах пионеров и т. д.

В г. Костино Московской области много лет существует кружок юных ракетомоделистов. В 1959 г. юные конструкторы построили трехступенчатую исследовательскую ракету. Первые соревнования были организованы под Москвой в апреле 1962 г. областной станцией юных техников. В них приняло участие 45 команд и стартовало около 170 моделей. Однако родоначальниками конструирования малых ракет в СССР были моделисты из Краснодара, которые в 1958 г. создали трехступенчатую ракету и удачно ее запустили.

В 1961 г. в Москве были созданы первые курсы конструирования моделей ракет для руководителей кружков станций юных техников и Дворцов пионеров.

Советская техническая печать, в частности ежемесячные журналы «Моделист-конструктор» и «Юный техник», а также «Крылья Родины», много внимания уделяет ракетно-космическому моделизму. В СССР было выпущено несколько брошюр и справочников по конструированию малых ракет.

В различных странах мира появилось, кроме любителей ракетного моделизма, много групп энтузиастов, занимающихся конструированием более совершенных ракет. Эти группы под руководством специалистов и под опекой государства проводят об-

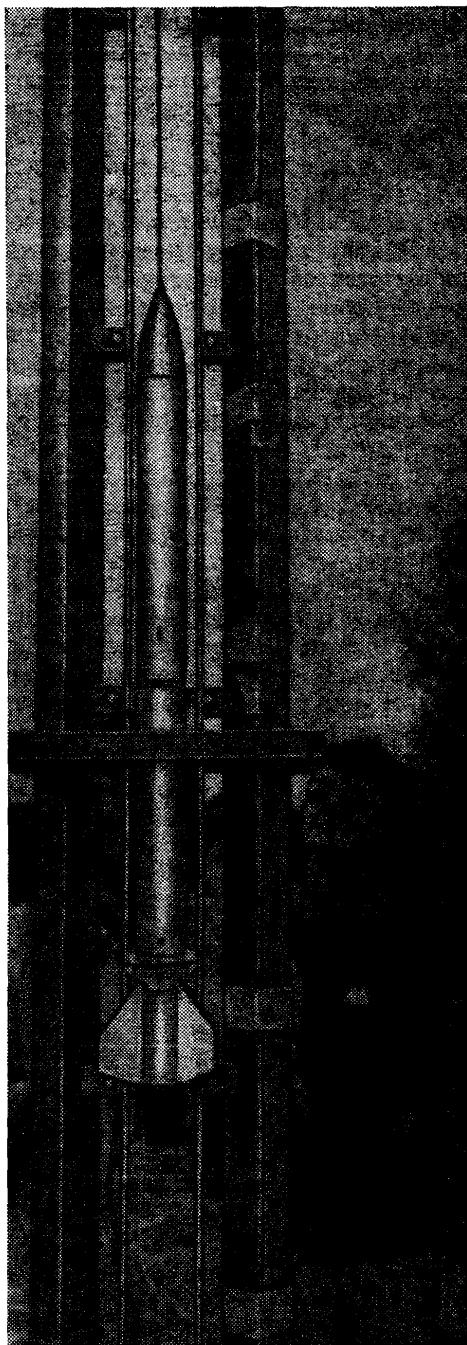


Рис. 1.16. Французская любительская ракета, сконструированная студентами, членами одного из космических клубов.

Двигатель промышленного производства «Фаон» позволяет достичь высоты 3500 м. Стартовая масса ракеты 2,00 кг, в том числе двигателя с топливом 1,07 кг.

ширную исследовательскую работу, в общем не очень отклоняясь от большого ракетостроения. Например, во Франции работают около 80 научно-технических клубов, объединяющих свыше 1500 студентов, учащихся и, что очень важно, будущих ученых и инженеров космической и авиационной промышленности. Эти клубы находятся под опекой Национального центра космических исследований, получают соответствующие модельные ракетные двигатели промышленного производства (наиболее известен из них «Фаон», рис. 1.16, позволяющий достичь высоты более 3 км), пользуются оборудованием и стартовыми средствами. В течение только последних 8 лет деятельности таких групп было запущено 8 исследовательских воздушных шаров и 81 ракета — все с необходимым оборудованием и в соответствии с детально разработанными программами. Молодежные клубы организуют выставки и многочисленные специальные курсы, например телеметрии, технологии и т. д.

В 1972 г. на первой международной конференции, посвященной делам молодежи и космосу, по инициативе французских моделистов была принята программа разработки исследовательской ракеты. Программа носила название «Ящерица», а участие в ней принимали молодые конструкторы из разных стран: ФРГ (расчет траектории, устойчивости и стабилизации), Польши (аэродинамика), Франции (конструкция второй ступени и системы разделения, а также электронное оборудование), Голландии (конструирование первой ступени и стендовые испытания). Ракета имела следующие характеристики. Первая ступень: топливо ZnS массой 20 кг, расчетный полный импульс 8030 Н·с, продолжительность работы 1 с, диаметр 94 мм, длина 1550 мм. Вторая ступень: двигатель «Фаон», масса топлива 0,55 кг, расчетный импульс 968 Н·с, продолжительность работы 5 с, диаметр 59 мм, длина 180 мм. Программа разработки выполнялась в следующие сроки: май 1972 — стендовые испытания, август 1972 — запуск второй ступени с электронным оборудованием, октябрь 1972 — запуск ракеты с макетной второй ступенью (без двигателя), июнь 1973 — первый запуск ракеты с полигона французского ракетного центра.

Что касается подобной работы в других странах, то надо упомянуть Бельгию, где в молодежных клубах занимаются научной работой около 500 человек в возрасте от 16 до 18 лет, и Испанию, где в 17 городах работают молодежные клубы, опекаемые Национальным институтом космических исследований. В Италии ракетной техникой занимается молодежь высших учебных заведений. В Швейцарии относительно недавно было организовано молодежное ракетное общество. В Югославии из 600 клубов моделистов 30 занимаются исключительно любительским ракетостроением. В Канаде недавно также начали конструировать любительские ракеты. В конце 1973 г. такие клубы насчитывали около 1500 членов (причем, согласно существующему законодательству, люби-

тельским ракетостроением можно заниматься только в возрасте выше 18 лет и при условии успешной учебы). В Швейцарии 5 молодежных научно-технических клубов проводят важные исследования, зачастую связанные с программами научно-исследовательских институтов. Интересна деятельность аргентинских клубов, проводящаяся в рамках организации «Кадеты космоса» под руководством Центра космических исследований и с участием университетов (например, Кордовского).

Следует отметить, что во многих странах, например, в Польше, работы по ракетному моделизму четко отделены от исследовательских, однако конструирование моделей ракет — первый шаг к глубокому изучению ракетной техники. В молодежных исследовательских группах существует разделение по возрасту, достигнутым успехам, а также по специализации. Согласно правилам, к любительскому конструированию ракетных двигателей допускаются лица в возрасте не моложе 18 лет, которые прошли курс обучения под руководством специалистов. В некоторых странах (например, в США) ракетный моделизм используется в школьных занятиях при изучении физики, математики, биологии и других наук.

В 1972—1973 гг. повысился интерес к ракетному моделизму в Великобритании и ФРГ. Широко развито любительское ракетостроение в Чехословакии и Югославии (30 клубов), Румынии, Венгрии и, наконец, АРЕ (на I Первенстве мира арабские ракетомоделисты завоевали один чемпионский титул). Ведущее положение занимает ЧССР, единственное государство в Европе, где в течение многих лет выпускаются высококачественные модельные ракетные двигатели промышленного производства, а также регистрируются рекорды ракетных моделей.

Параллельно с любительским ракетостроением все интенсивнее развивается *космический моделизм* (это название принято в соответствии с рекомендацией Международной подкомиссии при ФАИ). Многие педагоги отмечают, что ракетно-космический моделизм выполняет важные функции, способствуя лучшему усвоению школьных программ по физике, математике и даже биологии.

Глава II

РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКИЙ МОДЕЛИЗМ В ШКОЛЕ

1. На уроках ракетной техники

Школьными программами пока еще не предусмотрены уроки ракетно-космического моделизма. В последнее время в Польше делаются успешные попытки проводить уроки популярной космонавтики. Инициатива принадлежит г. Катовице с разрешения и при поддержке Польского астронавтического общества. Если уроки астрономии обязательны, то уроки ракетно-космической техники проводятся как дополнительные, факультативные.

Ясно, что ученики, профессиональная деятельность которых будет протекать уже в XXI веке, должны быть всесторонне подготовлены во всех областях науки и техники, в том числе и в передовой отрасли — ракетно-космической.

Отечественный и зарубежный опыт свидетельствуют об огромной пользе ракетного моделизма применительно к школьным занятиям. Он способствует более легкому восприятию трудных проблем, например механики, аэродинамики, математики, геометрии, помогает проводить исследования по радиотехнике, химии (рис. 2.1).

Под ракетным моделизмом понимается не только конструирование и запуск моделей ракет, но также использование результатов проведенных исследований. Конструирование ракет со сложным оборудованием, например с телеметрической аппаратурой, может служить классическим примером сотрудничества многочисленных специалистов, которое приводит к их разностороннему и быстрому профессиональному росту. То же самое относится к юным моделям.

Разработка модели ракеты проводится в три этапа.

1. *Проектирование летающей модели ракеты.* Проводится совместно конструктором, расчетчиком, материаловедом и чертежником.

2. *Процесс изготовления.* Изготовлением занимаются те, кто любит и умеет работать своими руками, умеет пользоваться инструментом, обрабатывать kleem и лаком различные материалы и четко выдерживать весовые соотношения, определяемые условиями проектирования.

3. *Запуск модели ракеты.* Последовательность операций по запуску модели выполняется целым коллективом на старте. Для успешного осуществления запуска необходимо знакомство с основами метеорологии и геодезии, методами измерения времени, траектории и высоты полета, и многими другими дисциплинами. При подготовке к старту и во время полета необходимо тщательно

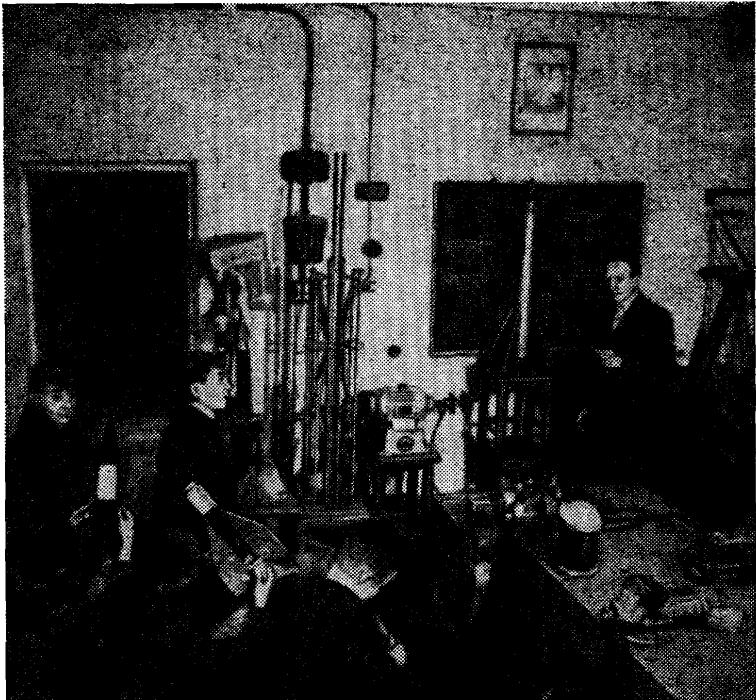


Рис. 2.1. Практические занятия по конструированию моделей ракет в средней школе в Скаржиске.

контролировать работу оборудования, а также систем измерения и регистрации.

Ниже дано описание некоторых опытов с ракетными моделями, которые можно поставить, например, в школьной мастерской.

2. Знакомство с ракетой

Ракеты могут быть большими и сложными летательными аппаратами, как, например, те, которые доставили на околоземную орбиту космонавтов Ю. Гагарина, Д. Гленна и их последователей. Ракеты могут быть также миниатюрными, как, например, те, что используются для фейерверков на народных празднествах.

Все ракеты, как самые малые промышленного производства или сконструированные любителями, так и большие, изготовление которых связано с большими затратами сил и средств, имеют одну общую черту — они основаны на принципе реактивного движения.

Помимо ракет специального назначения, например, метеорологических, мы будем рассматривать малые ракеты, которые можно изготовить подручными средствами. *Любительская ракета*

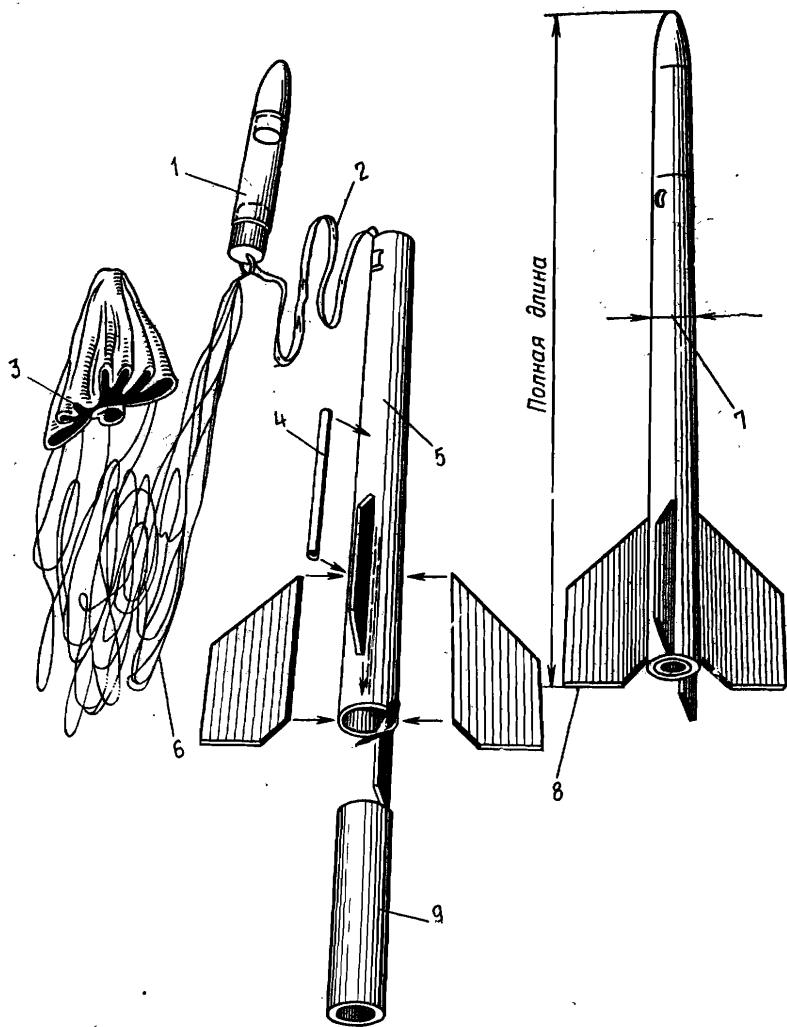


Рис. 2.2. Основные элементы модели ракеты и модель ракеты после сборки.
 1 — головная часть с контейнером; 2 — амортизатор; 3 — парашют; 4 — направляющая трубка; 5 — корпус; 6 — стропы парашюта; 7 — диаметр корпуса ракеты (калибр); 8 — стабилизаторы; 9 — двигатель.

В соответствии с определением, данным ФАИ, представляет собой модель, которая движется в воздухе под действием силы тяги, а не аэродинамических сил (например, подъемной силы).

Посмотрим, как выглядит простейшая модель ракеты (работающая на твердом топливе). Она состоит из следующих основных частей: головной части, корпуса, двигателя и стабилизато-

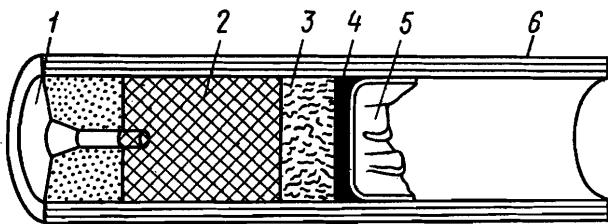


Рис. 2.3. Разрез типового двигателя промышленного производства для моделей ракет.

1 — керамическое сопло; 2 — топливо; 3 — замедлитель; 4 — вышибной заряд; 5 — донная крышка; 6 — корпус (плотно свернутая трубка из ряда слоев бумаги).

ров. Эти части, а также целиком смонтированная ракета показаны на рис. 2.2.

Двигателем в данном случае служит картонная трубка (внутри которой находится топливо) с соплом и воспламенителем (рис. 2.3).

Основными геометрическими параметрами ракеты являются ее полная длина и калибр (или диаметр максимального поперечного сечения), а также отношение длины к диаметру, называемое удлинением.

Каждый элемент ракеты имеет свое назначение. В *головной части* можно поместить приборы и различные вспомогательные приспособления (например, парашют); кроме того, правильно спроектированная форма головной части уменьшает сопротивление движению ракеты в воздухе. В цилиндрическом *корпусе* ракеты размещают двигатель с топливом; *стабилизаторы* придают устойчивость ракете во время ее полета, благодаря чему она летит как хорошая стрела, выпущенная из лука. Топливо горает в *двигателе*, а газообразные продукты горения, истекая с большой скоростью из *сопла*, создают силу тяги, под действием которой ракета движется.

В ракетном моделизме, как и в авиационном, ФАИ рекомендует придерживаться некоторых правил. Например, одно из них заключается в том, что максимальная масса топлива не должна превышать 125 г, а общая (стартовая) масса ракеты не должна быть более 500 г. При этом модели ракет могут состоять из одной или нескольких ступеней и могут иметь один или несколько двигателей.

Если ракета оборудована одной двигательной установкой, то она называется *одноступенчатой*, в отличие от ракет, состоящих из нескольких ступеней с поочередно включаемыми двигателями или двигательными установками. Первая ступень обычно самая большая; на ней последовательно устанавливаются соответственно меньшие вторая, третья (а иногда и четвертая) ступени. *Многоступенчатая* ракета (а точнее ее последняя ступень) может достигнуть значительно большей высоты, чем одноступенчатая ра-

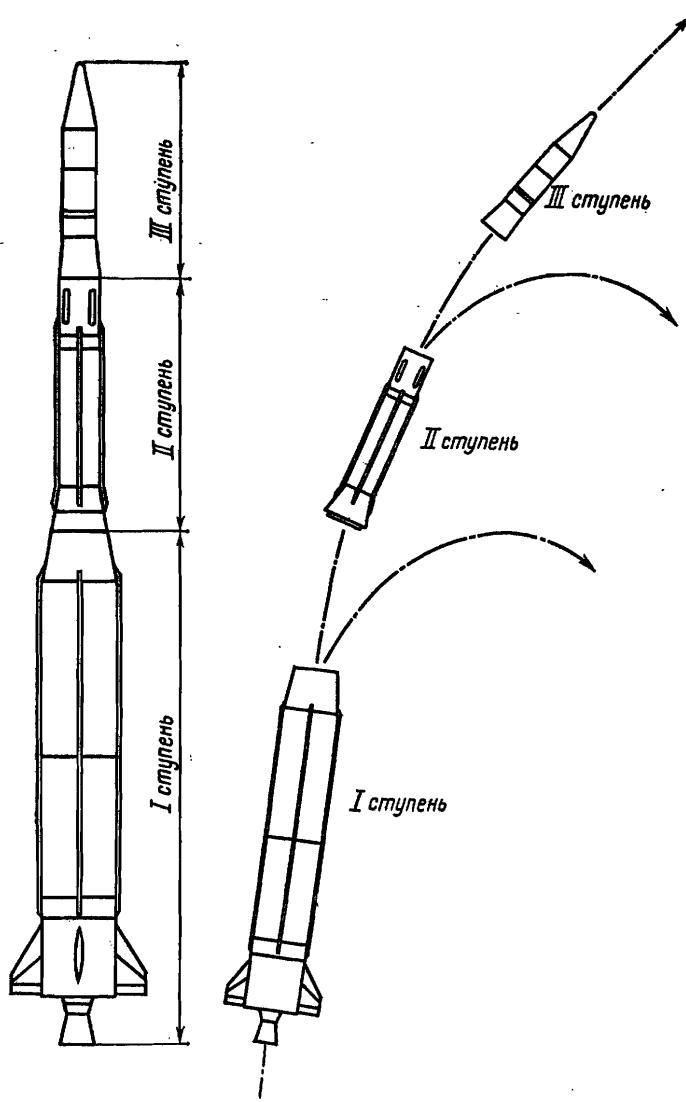


Рис. 2.4. Трехступенчатая ракета.

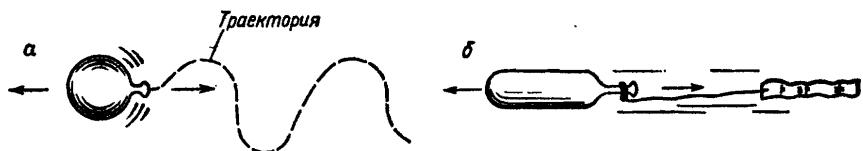


Рис. 2.5. Опыт с воздушными шарами для иллюстрации закона действия и противодействия.

a — траектория движения сферического воздушного шара; *b* — траектория движения цилиндрического воздушного шара с привязанной бумажной лентой.

кета. В момент старта работает двигатель (или двигатели) только первой ступени, после окончания работы первая ступень отделяется и начинает работать двигатель второй ступени, а затем и третьей. Это относится как к большим ракетам, выводящим на околоземную орбиту космические корабли или искусственные спутники, так и к малым (рис. 2.4).

Теперь несколько слов о работе ракетного двигателя.

Третий закон механики, сформулированный Исааком Ньютона, называемый также законом действия и противодействия, гласит: «каждое действие вызывает одинаковое, но противоположное направленное противодействие». В ракетном двигателе этот закон, открытый гениальным ученым, реализуется очень просто: выбрасываются газообразные продукты горения назад, чтобы получить движение ракеты вперед.

Закон Ньютона можно легко проверить, например, при помощи воздушного шара, заполненного воздухом. Если из него выпускать воздух, то шар начнет двигаться (правда, очень хаотично) в направлении, противоположном направлению выпускаемого воздуха. Чтобы сделать движение шара устойчивым, достаточно привязать к нему (для стабилизации) нить с бумажной лентой, тогда траектория полета воздушного шара станет более плавной.

Очевидно, удлиненный воздушный шар цилиндрической формы более устойчив в полете (рис. 2.5). Это обстоятельство должны учесть те читатели, которые захотят простым способом продемонстрировать своим друзьям принцип работы ракетного двигателя.

Обязательно ли выпускать какой-либо газ, чтобы получить тягу? Конечно, нет. Движение можно вызвать, выбрасывая, например, воду, горох, камешки или другие жидкые и твердые тела. Кто наблюдал работу пожарников, тот знает, с каким трудом они удерживают пожарный брандспойт. Вода, вырываясь из отверстия, создает силу, направленную против ее движения.

Из ракеты при помощи пружины можно было бы выбрасывать, например, песок — эффект движения был бы таким же. Однако гораздо выгоднее использовать сгорающее топливо, например порох, так как этот способ значительно эффективнее. Образу-

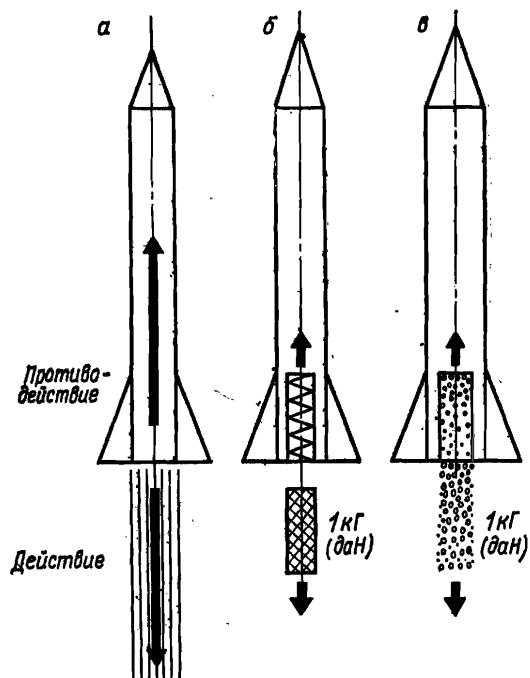


Рис. 2.6. Создание эффекта движения.

a — для создания движения вперед можно отбрасывать какую-либо массу, например твердые тела, жидкость или газ; *б* — выбрасывание при помощи пружины; *в* — выбрасывание в результате сгорания топлива.

ющийся из пороха газ имеет большой удельный объем и, следовательно, большую скорость истечения (т. е. большую тягу) при малом расходе пороха. Кроме того, газ истекает самопроизвольно, а другие тела необходимо было бы выбрасывать при помощи какого-либо устройства, которое должно работать непрерывно (рис. 2.6).

Ракетный двигатель, из которого истекают газы, образующиеся в результате сгорания топлива, создает силу, направленную в сторону, противоположную направлению потока и называемую *реактивной силой тяги* или просто *тягой*. Тягу можно измерять в принятых единицах силы: килограммах (кГ) или ньютонах (Н).

Ракетные двигатели могут работать на твердом, жидком и других топливах. Что касается модельных и любительских ракет, то для них, как правило, используют твердое топливо.

3. Как проверить закон Ньютона

После предварительного знакомства с ракетой можно провести два небольших опыта.

Первый из них предназначен для того, чтобы продемонстрировать тягу ракетного двигателя на примере «торпеды». Для изготовления модели необходимо иметь пустой тубик из мягкой

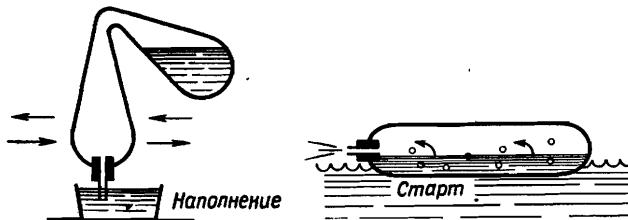


Рис. 2.7. Наполнение топливом и запуск реактивной «торпеды», изготовленной из пустого пластмассового тубика.

пластмассы, например такой, в каких продают шампунь для мытья головы. Топливом «торпеды» будет служить водный раствор лимонной кислоты и очищенная сода (или карбонат калия). При соприкосновении этих веществ выделяется большое количество газа (двуокиси углерода), который, собственно, и создает движущую силу «торпеды». Вот и весь секрет нашего двухкомпонентного топлива.

Пластмассовый тубик сначала оборудуйте выхлопным соплом, вклейв в него трубку длиной 10 мм с внутренним диаметром 1—2 мм. Лимонную кислоту растворите в соответствующем количестве воды. Это же относится и к соде. (Оба вещества должны быть хорошо измельчены и полностью растворены в воде.) Наполнение «торпеды» топливом проводится тут же перед стартом. Для этого в тубик сначала влейте раствор лимонной кислоты (приблизительно 1/5 объема тубика). В действительности через маленькое входное отверстие не удастся влить жидкость, поэтому раствор необходимо втянуть внутрь, действуя тубиком, как насосом (сдавливая его). Частично наполненный тубик установите вертикально отверстием вверх, чтобы топливо скопилось на дне (рис. 2.7). После этого тубик согните вдвое, отверстие сопла погрузите в раствор соды и снова наполните, обращая при этом внимание на то, чтобы растворы не смешались. Только после заполнения обоих объемов одинаковым количеством раствора тубик выпрямите и быстро положите на поверхность воды, например в ванну, лужу и т. п. Оба раствора мгновенно реагируют между собой, и газы, выбрасываемые из сопла «торпеды», вызывают ее движение в противоположном направлении. Такая модель развивает большую скорость и перемещается на расстояние 10—20 м в зависимости от количества топлива, т. е. объема тубика.

В другом опыте воспользуемся более совершенным устройством. Моделью будет лодочка, движущаяся при помощи пароводяного реактивного двигателя. Судно с таким двигателем — не современное изобретение (ее конструкцию запатентовал 125 лет назад англичанин Перкинс), однако оно позволяет наглядно продемонстрировать работу простейшего реактивного двигателя.

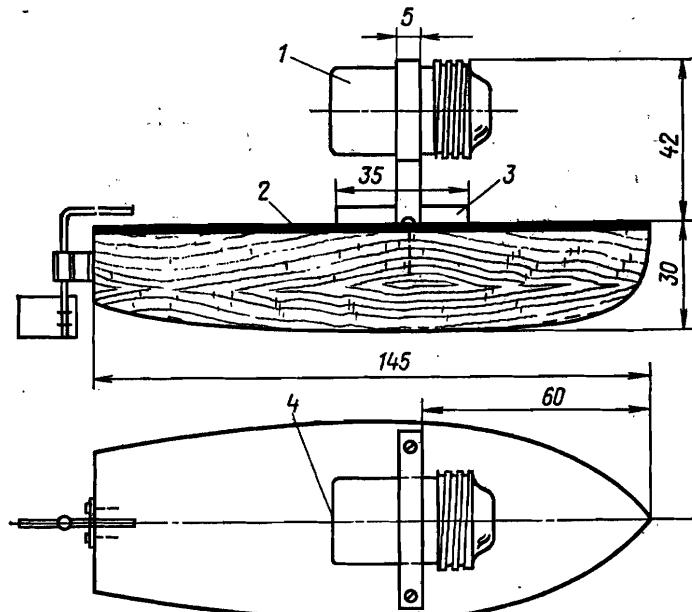


Рис. 2.8. Игрушечная лодочка с реактивной тягой.

1 — пароводянный двигатель; 2 — пластинка из слюды или асбеста; 3 — топка; 4 — сопловое выходное отверстие диаметром 0,5 мм.

Вместо лодочки можно было бы использовать модель автомобиля. Лодочка выбрана по причине наибольшей безопасности в отношении пожара, а также потому, что маленький пароводянной двигатель этого типа не смог бы поднять в воздух даже самой маленькой ракеты. Эксперимент проводят, имея под рукой соответствующий сосуд с водой, например ванночку или таз.

Лодочку можно сделать из легкого дерева (например, сосны) или из пластмассы (пенополистирола). Можно также воспользоваться готовым корпусом игрушечного полиэтиленового кораблика. Двигателем будет небольшая жестяная банка, которая заполняется на 1/4 объема водой.

На борту лодочки под двигателем необходимо поместить топку. Известно, что нагреваемая вода превращается в пар, который, расширяясь, давит на стенки корпуса двигателя и выходит с большой скоростью из отверстия сопла, в результате чего образуется тяга, необходимая для движения.

На тыльной стенке банки-двигателя нужно просверлить отверстие диаметром не более 0,5 мм. Если сделать довольно большое отверстие, то время работы двигателя будет очень коротким, а скорость истечения — малой. Невыгодно также очень узкое отверстие. Оптимальный диаметр отверстия сопла можно опреде-

лить опытным путем. Он будет соответствовать самому быстрому движению модели. В этом случае тяга будет наибольшей.

В качестве топки можно использовать алюминиевую или стальную крышку жестяной банки (например, от банки из-под мази, крема или пасты для обуви). Наиболее подходящее топливо — так называемый «сухой спирт» в виде таблеток, используемых туристами.

Для предохранения лодочки от возгорания на палубу следует наклеить тонкий (1,5—2 мм) слой асбеста. Если корпус лодочки сделан из дерева, то после грубого обстругивания ножом тщательно обработайте его напильником или наждачной бумагой, после чего несколько раз покройте нитролаком до приобретения гладкости и блеска. Гладкая поверхность лодочки уменьшает ее сопротивление в воде и позволяет использовать относительно слабую тягу двигателя. Постарайтесь сделать модель как можно более легкой. Конструкция лодочки приведена на рис. 2.8. Рисунок следует увеличить до натуральной величины в соответствии с указанными размерами. Это облегчит изготовление модели.

После наполнения бака водой подожгите спирт, положенный в крышку-топку (это следует делать, когда лодочка находится на поверхности воды). Спустя несколько десятков секунд вода в бачке зашумит, и из сопла начнет вырываться тонкая струйка пара. Теперь руль можно установить таким образом, чтобы лодочка двигалась по кругу, и в течение нескольких минут (от 2 до 4) вы будете наблюдать работу простейшего реактивного двигателя.

В следующих разделах вы познакомитесь с другими, более сложными реактивными двигателями, но принцип их работы будет таким же, как и в проведенных опытах.

4. Некоторые сведения об атмосфере

Наши ракеты будут летать в воздухе. По этой причине необходимо ближе познакомиться со свойствами воздуха, т. е. атмосферы, которая окружает земной шар. Воздух состоит из смеси кислорода (21%) и азота (78%), а также из небольшого количества аргона, углекислого газа, водорода, неона, криптона, гелия и ксенона.

Воздух имеет ряд характерных свойств. Как известно, его удельный вес зависит от атмосферного давления и температуры. При температуре 15°C и атмосферном давлении 760 мм ртутного столба масса 1 м³ воздуха равна 1,2928 кг. Вблизи поверхности Земли воздух значительно плотнее, чем на больших высотах. Летом воздух согревается и его плотность уменьшается, а зимой он охлаждается и становится более плотным.

Температура воздуха зависит не только от времени года и состояния погоды. Вблизи поверхности Земли температура одна,

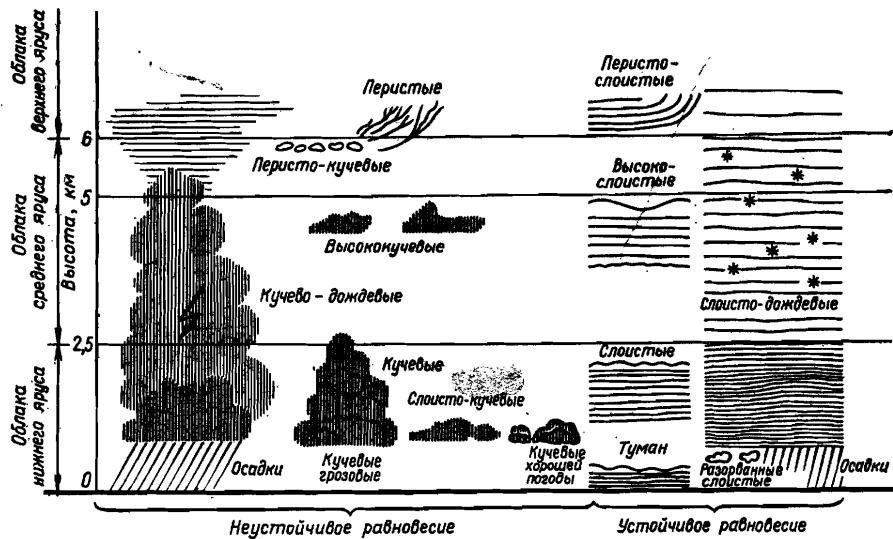


Рис. 2.9. Вертикальный разрез околоземной атмосферы с указанием типов облаков в условиях устойчивого и неустойчивого равновесия.

а на высоте, например, 50 км она совершенно другая. При подъеме на каждые 100 м температура воздуха понижается приблизительно на $0,8^{\circ}\text{C}$. Вследствие различия давлений и температур в атмосфере происходит движение воздуха параллельно поверхности Земли (это и есть *ветер*), а также перемещение в вертикальном направлении, которое называют *конвективными токами* (их действие испытали те, кто летал на самолете).

Воздух создает сопротивление движущимся в нем телам. Это легко проверить, если бежать с открытым зонтиком в безветренную погоду или стоять на открытом месте, когда дует сильный ветер. В обоих случаях ощущается силовое действие воздуха.

Воздух может быть в большей или меньшей степени насыщен парами воды. Мы говорим об абсолютной влажности, если приводим количество (граммов) водяного пара в 1 м³ воздуха. Можно также пользоваться понятием относительной влажности, если количество водяного пара, находящегося в воздухе, отнести к количеству пара, полностью насыщающему воздух при данной температуре. Воздух, лишенный водяного пара, имеет относительную влажность 0%. Относительная влажность воздуха, максимально насыщенного водяным паром, например тумана или грозовой тучи, равна 100%. Воздух может содержать только ограниченное количество водяного пара, которое уменьшается с температурой.

На рис. 2.9 представлен вертикальный разрез атмосферы до высоты ~ 6 км и показаны тучи различного характера: с левой

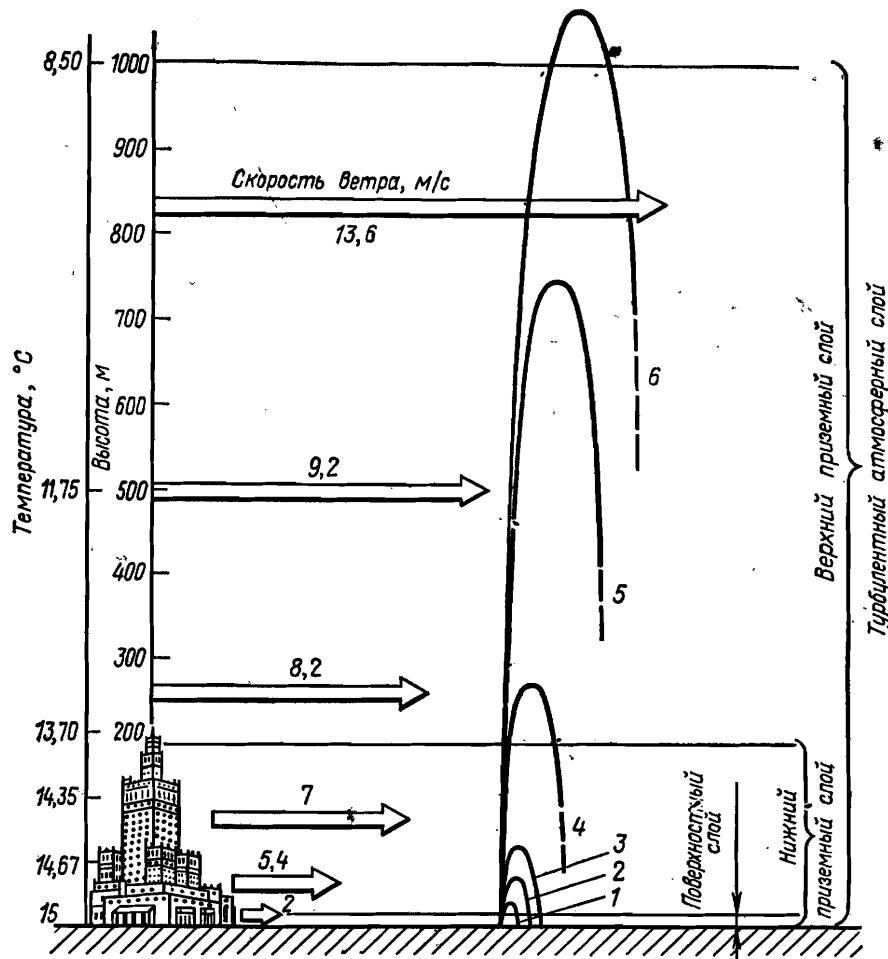


Рис. 2.10. Температура и средняя скорость ветра до высоты 1000 м.
Потолок моделей ракет: 1 — с «кинопленочным» двигателем; 2 — с воздушно-гидравлическим двигателем; 3—6 — модели ракет — от учебных до спортивных.

стороны в условиях *неустойчивого равновесия* (конвекция), а справа — в условиях *устойчивого равновесия*, т. е. когда отсутствует горизонтальное движение воздуха.

На рис. 2.10 показаны нижние слои атмосферы (до высоты 1000 м), наиболее доступные для моделей ракет. Атмосфера на рисунке разделена по слоям, как это принято в метеорологии; самый низкий слой — *поверхностный* — простирается от 0 до 15 м. Для наглядности показано изменение температуры с высотой.

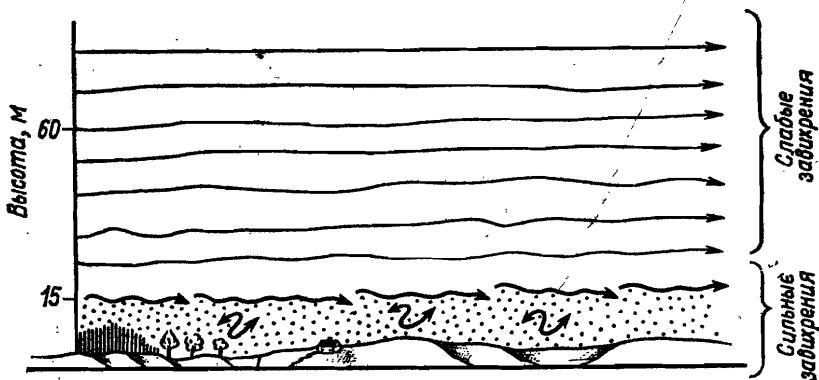


Рис. 2.11. Завихрения воздуха в поверхностном слое земли.

Отмечена также средняя скорость ветра на разных высотах, что особенно важно при запусках ракет.

На рис. 2.11 выделен нижний земной слой атмосферы до высоты около 70 м. Видно завихрение ветра в поверхностном слое вблизи поверхности земли. Вихревые потоки больше всего заметны на высоте около 15 м, где атмосфера, в среднем, соприкасается с земной поверхностью, не идеально ровной, так как на ней имеются возвышенности и долины, сооружения и растительность. Затухание вихрей наблюдается лишь на высоте около 60 м (речь идет о равнинной местности, в горах этот уровень значительно выше и зависит от высоты данной местности). Толщина поверхностного слоя может изменяться; например если ветер распространяется над водой, то она будет небольшой, а если ветер дует над лесом, то она увеличится в несколько раз. Это иллюстрирует рис. 2.12.

В Польше преобладают ветры, дующие с запада¹; их называют западными. Дуют они в основном с июня по сентябрь. В октябре и ноябре дуют (наряду с западными) юго-западные ветры. Скорость ветра зависит не только от высоты, но и от времени суток. Утром (около 8—9 часов) скорость ветра увеличивается и к 13—14 часам становится максимальной, однако к 18 часам ветер ослабевает. Это относится к высотам до 100 м летом и до 50 м зимой.

Для оценки скорости ветра на старте, если под рукой нет ветромера (анемометра), можно рекомендовать пользоваться ориентировочными данными табл. 2.1.

¹ Для Советского Союза с его огромной территорией указать преобладающие ветры труднее. Например, летом в Подмосковье преобладают юго-западные ветры, в Прибалтике — западные, а в Поволжье и на Кубани — юго-восточные. — Прим. ред.

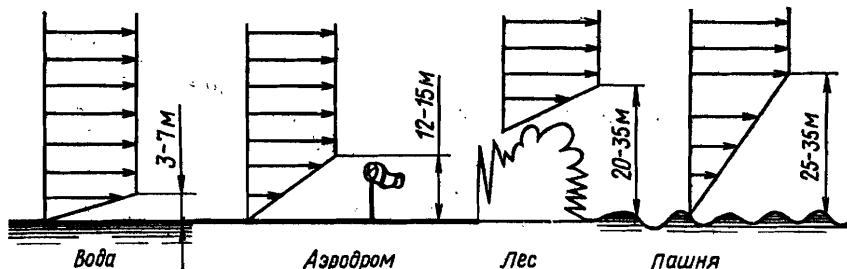


Рис. 2.12. Толщина поверхностного слоя атмосферы в зависимости от вида земной поверхности.

Таблица 2.1

Признаки ветра	Характеристика ветра	Скорость, м/с
Дым поднимается вертикально	Штиль	0
Дым немного склонен в сторону; листья слегка шелестят	Тихий	1
Пламя зажигалки гаснет	Слабый	2-3
Ветер колышет тонкие ветви деревьев	Довольно сильный	6-8
Ветер колышет крупные ветви деревьев	Сильный	11-12
Телеграфные провода сильно гудят	Шторм	>13

5. Имеет ли воздух массу

В том, что воздух имеет массу, можно убедиться, проведя опыт, проиллюстрированный на рис. 2.13.

К легкой деревянной, гладко обработанной планке 4 длиной 300 мм подвесьте два примерно одинаковых воздушных шара 2, наполненных воздухом. Планку, так же как и шары, подвесьте на тонкой нити 1, привязанной в центре тяжести планки с шарами так, чтобы планка была расположена горизонтально, как рычаг весов.

Теперь возникает вопрос: что будет, если один из воздушных шаров проткнуть и из него выйдет воздух? Очевидно, наши простейшие весы наклонятся в сторону того шара, который наполнен воздухом, а не в сторону пустого шара 3. Отсюда вывод: воздух, хотя его и не видно, имеет определенную массу.

Для проведения еще одного опыта из той же серии (рис. 2.14) потребуется также деревянная планка 1 размером 500×80×

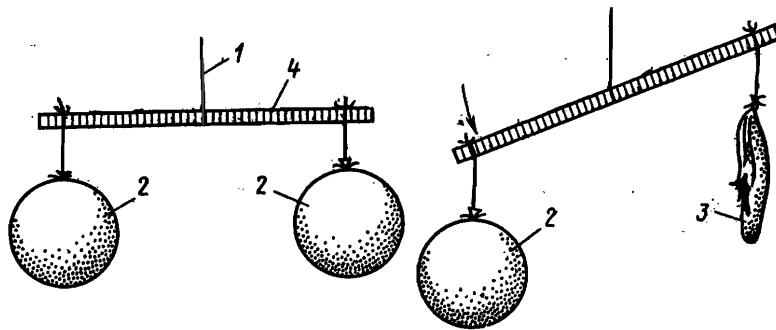


Рис. 2.13. Опыт с воздушными шарами, позволяющий взвесить воздух.

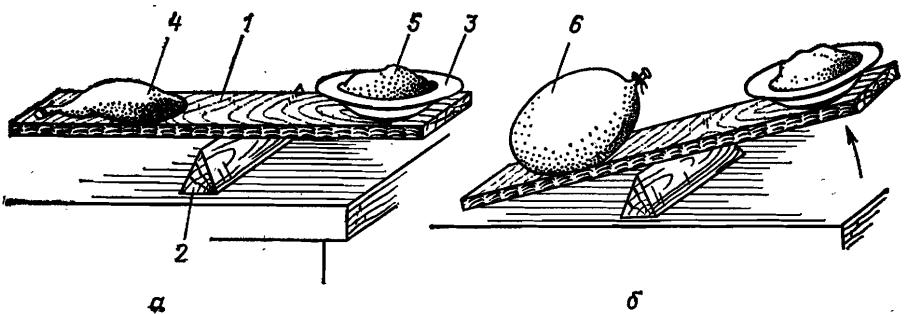


Рис. 2.14. Опыт с футбольной камерой и песком, позволяющий взвесить воздух.

$\times 10$ мм, призма 2 (из любого материала), пластмассовая тарелка 3 и камера от футбольного мяча 4. Ненадутую камеру положите на один конец планки, а на другом конце поместите тарелку, наполняя ее песком 5 до тех пор, пока планка не уравновесится. Теперь необходимо осторожно снять камеру так, чтобы не сдвинуть планку и тарелку, и наполнить ее воздухом. После этого положите камеру на планку, и вы увидите, что планка наклонится в сторону камеры 6, наполненной воздухом. Воздух перевесил.

6. Атмосферное давление

После того, как вы убедились, что воздух имеет массу и, следовательно, создает давление во всех направлениях, можно продемонстрировать действие атмосферного давления, используя стакан и кусок картона (рис. 2.15).

Стакан 1, диаметром не более 70—80 мм, наполните до краев водой. После этого осторожно положите поверх стакана гладкий

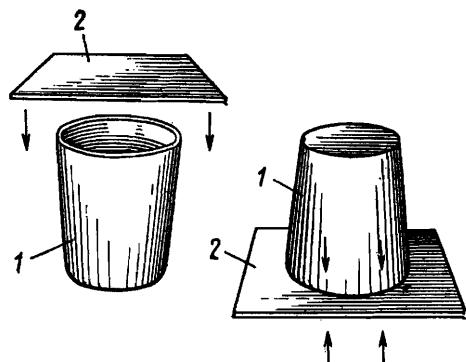


Рис. 2.15. Действие атмосферного давления.
1 — стакан, 2 — картон.

картон 2 так, чтобы было покрыто все отверстие стакана. Поддерживая пальцами картон, переверните стакан вверх дном, и вы убедитесь, что если отнять пальцы от картона, то он продолжает висеть как приклеенный и вода из стакана не выливается. Это немного напоминает цирковой трюк и в то же время (довольно сильно поражая воображение наблюдателей) доказывает, что давление окружающего нас воздуха на поверхность картона больше, чем сила, с которой вода действует на картон изнутри стакана.

7. Перепад давления

Чтобы поставить опыт, обнаруживающий перепад давления (рис. 2.16), необходимо иметь только полоску бумаги 1 длиной около 250 мм и шириной 25 мм. Держа эту полоску между пальцами и приблизив ее ко рту, дуньте вдоль верхней поверхности полоски. Вопреки ожиданию бумага отклонится не вниз, а вверх. Это получается потому, что внезапный порыв ветра уменьшил давление на верхней стороне полоски по сравнению с давлением на ее нижней стороне, где скорость ветра была меньшей. Вы проиллюстрировали знаменитый закон Бернулли: если скорость течения увеличивается, то давление падает. (Специалисты в об-

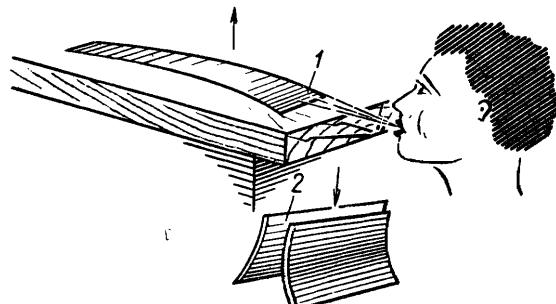


Рис. 2.16. Движение бумаги, вызванное перепадом давления.

ласти механики жидкостей и газов рассматривают воздух как жидкость, так как жидкости и газы имеют общую черту — не сохраняют определенную форму, в отличие от твердых тел.)

Можно провести другой опыт, иллюстрирующий тот же самый закон, вдувая воздух между двумя тонкими листами бумаги 2. При увеличении скорости вдувания воздуха в щель листы не расходятся, а наоборот — сближаются.

8. Немного аэродинамики

На каждое тело, движущееся в воздухе, а следовательно и на ракету, действует определенная сила. Эта сила, с которой мы встречаемся каждый день, например при езде на велосипеде или выставив руку из движущегося автомобиля, — сопротивление воздуха. Его можно представить наглядно, если рассматривать не воздух, а поток воды или песка, в котором движется данное тело. Во время движения частички как бы «прилипают» к телу, в результате чего возникает трение. Кроме того, дополнительное сопротивление возникает вследствие завихрения потока позади движущегося тела: в завихренной части потока, т. е. там, где струйки отклонились от своего первоначального направления, давление меньше, чем на наветренной стороне, а значит тело, вследствие разницы давлений, тормозится при движении.

Степень завихрения позади движущегося в воздухе тела в зависимости от его формы будет меньшей или большей. Если тело имеет гладкую форму без выступов, складок и изломов, то в воздухе оно будет двигаться с гораздо меньшим усилием, чем тело, имеющее указанные недостатки. В первом случае тело имеет малое сопротивление, а во втором — большое.

На рис. 2.17 наглядно представлено обтекание воздухом тел различной формы. На рис. 2.17, а показана плоская пластинка, помещенная перпендикулярно набегающему потоку воздуха; пластинка сильно отклоняет и тормозит струйки воздуха, а также завихряет их. Такая пластинка имеет очень большое сопротивление.

На рис. 2.17, б показана та же самая пластинка, только с небольшим выступом обтекаемой формы, приклеенным спереди. Что же станет, если такую геометрическую фигуру поместить в поток воздуха? На рисунке видно, что вихри как бы удлинились, в дополнение к значительному увеличению завихренной области по сравнению с предыдущим случаем. Эти рисунки выполнены на основе исследований, проведенных в аэродинамической трубе. Чтобы струи воздуха сделать видимыми, в трубу вдувался дым.

Результаты исследований показывают, что пластинка с обтекаемым выступом имеет сопротивление приблизительно в 5 раз меньшее, чем та же самая пластинка без выступа. Если же к задней стороне пластинки прикрепить хвостовую геометрическую фигуру обтекаемой формы, то струйки воздуха расположатся около

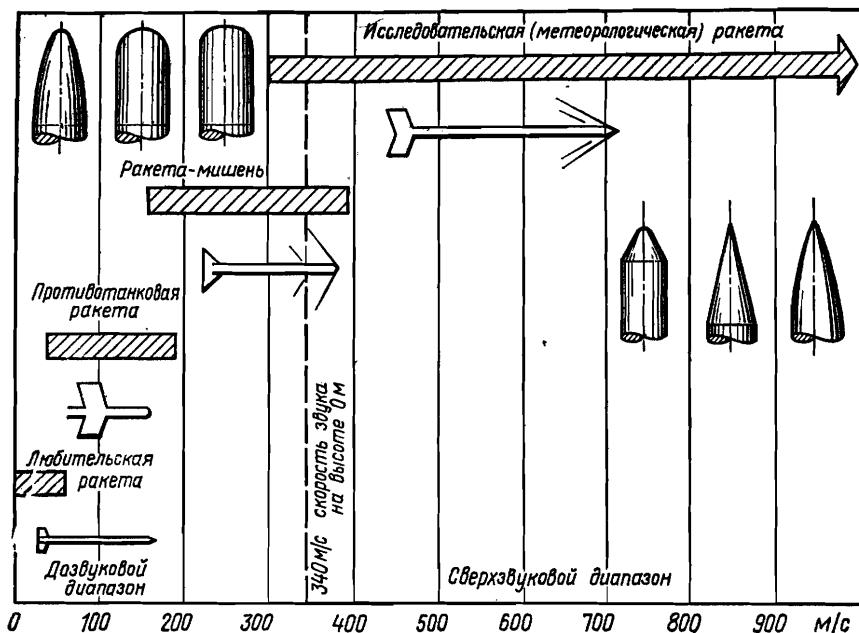


Рис. 2.19. Скорости ракет различных типов.

При увеличении скорости движения тела сопротивление возрастает. Причем увеличение происходит пропорционально квадрату скорости. Например, если скорость движущегося в воздухе тела (или, что то же самое, скорость воздуха, обтекающего данное тело, как это имеет место в аэродинамической трубе) возросла в два раза, то сопротивление увеличилось в четыре раза. Если скорость увеличилась в три раза, то сопротивление — в девять раз и т. д.

Различают два диапазона изменения скорости: дозвуковой и сверхзвуковой. Модели ракет и любительские ракеты, как правило, движутся со скоростями, не превышающими скорость звука (составляющую, примерно, 340 м/с).

На рис. 2.19 представлены диапазоны изменения скоростей некоторых разновидностей ракет и типичные формы их головных обтекателей.

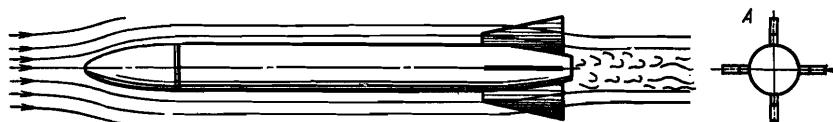


Рис. 2.20. Ракета в потоке воздуха (движущаяся со скоростью, меньшей скорости звука). Вид А соответствует лобовой поверхности.

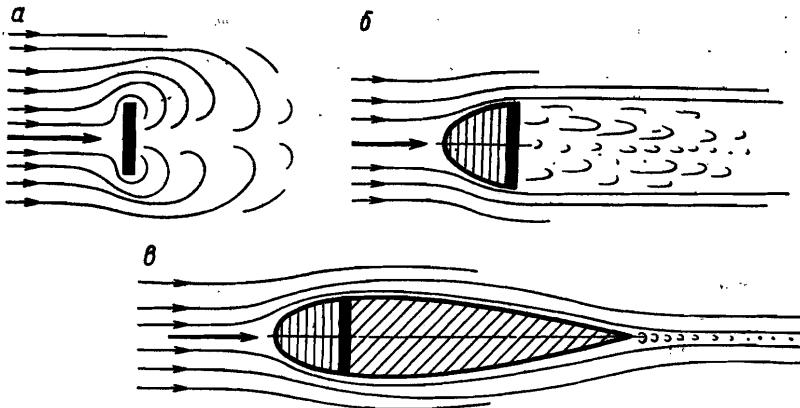


Рис. 2.17. Обтекание тел различной формы.

тела таким образом, что сопротивление становится минимальным (рис. 2.17, в).

Тело, показанное на рис. 2.17, в, называют *обтекаемым* или *каплевидным*, так как оно напоминает падающую в воздухе каплю жидкости. Однако следует отметить, что второе название не очень точное, так как в действительности капля (например, воды) в общем случае не имеет идеальной обтекаемой формы. На рис. 2.18 проиллюстрировано изменение сопротивления тел с одинаковой площадью максимального поперечного сечения при изменении их формы. Сопротивление плоской круглой пластинки примем за 100%, тогда после добавления спереди полусферы сопротивление уменьшится до 30%. После добавления еще одной полусфери сзади сопротивление снижается до 20%. Если же полученное тело сплющивать в направлении потока, то его сопротивление можно уменьшить до 4%.

Согласно законам аэродинамики сопротивление тел, движущихся в какой-либо среде (в воздухе или воде), пропорционально плотности данной среды. Плотность воды, например, в 815 раз больше плотности воздуха, поэтому сопротивление в воде в 815 раз больше, чем в воздухе.

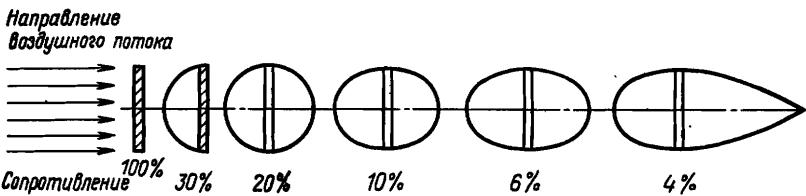


Рис. 2.18. Сопротивление тел различной формы с одинаковой площадью поперечного сечения.

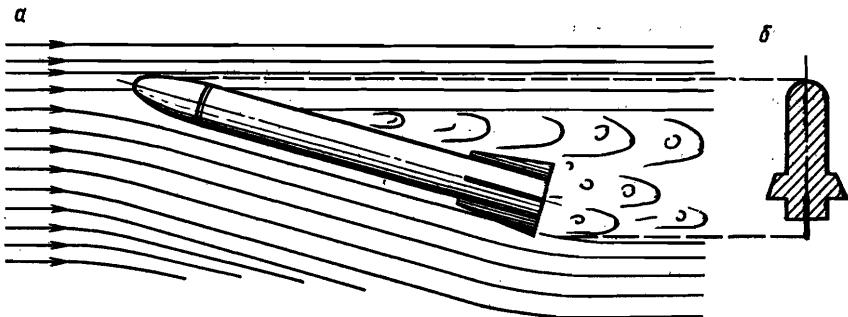


Рис. 2.21. Увеличение площади лобовой поверхности в результате наклона корпуса ракеты по отношению к струям набегающего воздуха.
а — вид сбоку; б — вид со стороны набегающего потока.

Сопротивление ракеты изменяется пропорционально площади лобовой поверхности. Лобовой поверхностью называется площадь проекции данного тела на плоскость, перпендикулярную направлению движения. На рис. 2.20 показана ракета, находящаяся в потоке воздуха. Вид А представляет лобовую поверхность ракеты с учетом стабилизаторов. В случае очень тонких стабилизаторов (а таковыми, собственно, и оборудуют модели ракет) в качестве площади лобовой поверхности с хорошей точностью принимают площадь поперечного сечения корпуса (т. е. площадью поперечного сечения стабилизаторов пренебрегают и считают, что продольная ось модели совпадает с направлением движения).

Форма ракеты только приблизительно напоминает идеальную — обтекаемую, поэтому и струйки воздуха вблизи ракеты не такие, как мы наблюдали при обтекании идеальной капли. На рис. 2.20 видны завихрения струек воздуха в кормовой части корпуса, которые, конечно, увеличивают сопротивление. Следует отметить, что представленный на рисунке характер обтекания относится к тому случаю, когда ракета движется после прекращения работы двигателя. Если же двигатель работает, то газы, истекающие из сопла, в определенной степени устраниют завихрение и застойную зону, в результате чего сопротивление ракеты уменьшается.

Если ракета находится в косом потоке воздуха (рис. 2.21), то завихрения в кормовой области ракеты усиливаются. Это объясняется тем, что вследствие наклона ракеты ее наветренная поверхность увеличивается. На рис. 2.21, а представлен вид сбоку ракеты, летящей под некоторым углом к потоку воздуха, а на рис. 2.21, б — вид ракеты со стороны набегающего потока воздуха. Кроме того, на сопротивление ракеты влияет качество поверхности и удлинение ракеты. Экспериментально доказано, что ракеты с большим удлинением (порядка 10—20) имеют меньшее сопротивление, чем ракеты малого удлинения (порядка 5—6).

8. Как измерить сопротивление

Тела в потоке испытывают силовое воздействие; об этом напоминает наш пример, что в ветреную погоду с раскрытым зонтом против ветра идти трудно. Отсюда, кстати, видно, что сопротивление, помимо прочего, зависит от формы данного тела. Чтобы измерить сопротивление, можно использовать простую аэродинамическую трубу, сделанную из фена для волос или пылесоса, куска фанеры или пластмассы, и металлической или деревянной стойки (рис. 2.22).

К стойке необходимо прикрепить деревянную дощечку 1 с металлической шкалой 2, вдоль которой расположен металлический стержень 3, представляющий собой плечо аэродинамических весов. Как видно из рисунка, стержень вставлен во втулку из пласти массы или металла 4, которая прикреплена к дощечке при помощи оси 5 (тонкого стального штифта). На левом конце металлического стержня расположена другая втулка 6, выполняющая роль противовеса.

Тут же под осью весов на проволоке можно подвесить исследуемый предмет 7. Если на подвешенный предмет (перед этим его надо уравновесить с помощью противовеса) направить струю воздуха из фена или пылесоса 8, то на этот предмет будет воздействовать определенное давление и плечо аэродинамических

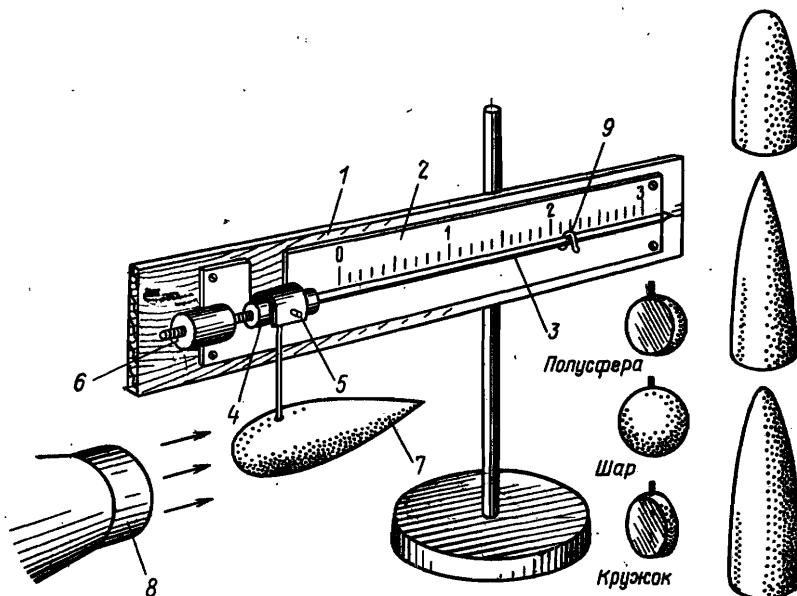


Рис. 2.22. Простейшая аэродинамическая труба для измерения сопротивления различных тел, в том числе головных частей моделей ракет.

весов отклонится вверх. Для уравновешивания силы на металлический стержень достаточно надеть грузик 9 в виде небольшого кусочка согнутой проволоки таким образом, чтобы плечо весов опять возвратилось в исходное положение. Местоположение грузика укажет величину силы сопротивления. В данном случае можно не пользоваться единицами силы. Каждое деление наглядно показывает, какая предмет имеет большее сопротивление, а какой — меньшее.

Для эксперимента необходимо приготовить головные части моделей ракет различной формы. Устанавливая их на весы по очереди, легко убедиться, какие из них будут иметь меньшее сопротивление. Головные части можно выточить из дерева, но проще всего их отлить из воска в пластмассовых формах.

10. Невесомость можно увидеть

Кажущуюся потерю веса можно наблюдать, сконструировав очень интересное устройство — модель искусственного спутника (рис. 2.23). Модель очень просто сделать. Вот необходимые детали: две лампочки 1 для карманного фонарика (3,5 В) с патронами, батарея 2 (4,5 В), пластмассовая (например, текстолитовая) пластиинка, свинцовый шарик диаметром 10—15 мм, кусок изолированного электрического провода и маленькие шурупы.

Корпусом спутника может служить мяч. Лучше всего взять игрушечный мяч из пласти массы или сферическую коробку из-под шерсти для вязания с двумя разъединяющимися полусферами,

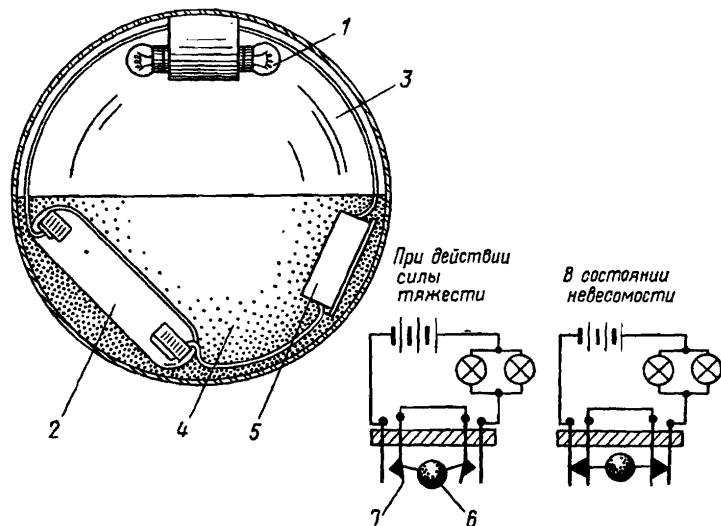


Рис. 2.23. Модель искусственного спутника для изучения явления невесомости.

одна из которых (3) прозрачная, а другая (4) — затемненная. Внутри непрозрачной части сферы при помощи небольших крючков закрепите батарейку 2 и выключатель 5. Лампочки установите в патронах, вмонтированных в прозрачную полусферу.

Важнейшая деталь спутника — выключатель. Состоит он из свинцового шарика 6, подвешенного при помощи, например, рыболовной лески между двумя парами жестяных пластинок 7, выполняющих роль контактов. Толщина пластинок должна быть определена опытным путем.

Выключатель действует следующим образом. Если держать модель спутника в руке, то шарик под действием собственной массы оттягивает обе соединенные с ним пластины, электрический контур не замкнут и лампочки не горят. Если же подбросить спутник вверх, то в определенный момент лампочки зажигаются. В чем дело? Подбрасывая спутник, мы сообщаем ему импульс силы; в противоположном направлении, к земле, действует сила тяжести. На определенной высоте уравновешивается действие силы тяжести и силы, с которой мы подбросили спутник. В этот самый момент наш спутник находится в состоянии, которое называют *невесомостью*, и свинцовый шарик не оттягивает к себе пластиинки, которые пружинят и расходятся, замыкая электрическую цепь. Лампочки загораются, сигнализируя тем самым о состоянии невесомости.

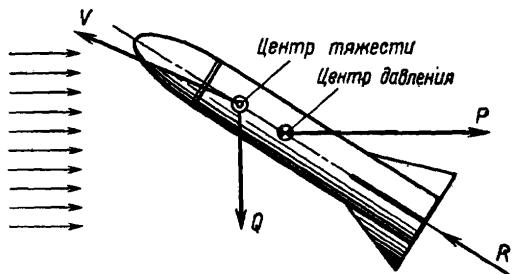
Состояние невесомости ощущает, например, лыжник, находясь на вершине своей траектории полета после того, как он оторвался от трамплина. В подобное состояние попадает модель ракеты после окончания работы стартового двигателя, когда перестает действовать сила тяги, направленная в противоположную сторону по отношению к направлению движения модели.

Пилот, выполняя так называемую «горку», также вместе со своим самолетом в определенный период времени находится в состоянии невесомости. Это явление используют при тренировках космонавтов: большой транспортный самолет делает «горку», и в течение некоторого промежутка времени находящиеся в нем пассажиры (космонавты) движутся без влияния силы земного притяжения, или попросту «плавают» внутри самолета и выполняют упражнения в соответствии с программой тренировки.

11. Устойчивость ракеты в полете

Во время полета на неуправляемую ракету действуют в основном три силы: тяга двигателя R , аэродинамическая сила P и сила тяжести Q (рис. 2.24). Тяга ракеты направлена вдоль оси симметрии, сила тяжести в соответствии с законами механики приложена в *центре тяжести* (центре масс) и действует в направлении центра Земли, а аэродинамическая сила соответствует набегающему потоку ветра. Точка приложения силы P называется *центром давления*. Для движения вдоль заданной траектории

Рис. 2.24. Силы, действующие на ракету при ее криволинейном движении.



ракета должна быть устойчивой. Движение ракеты вдоль траектории устойчиво в том случае, когда действующие на нее силы и моменты непрерывно сохраняют равновесие и направляют ракету на первоначальную траекторию полета. На рис. 2.25 показаны три вида траекторий для случаев: а) устойчивой ракеты на траектории; б) устойчивой ракеты, на которую подействовало возмущение, затухающее под влиянием приложенных к ракете сил и моментов; в) неустойчивой ракеты, когда действующие на нее силы и моменты не в состоянии привести к затуханию все возрастающих возмущений.

Для сохранения устойчивости тела (не только ракеты), движущегося в воздухе, его центр тяжести должен находиться впереди центра давления (считая от головной части). Это основное условие очень важно для безопасного старта и полета ракеты. Если центр тяжести будет расположен позади центра давления, то ракета, выведенная из равновесия случайным возмущением, не возвратится на первоначальную траекторию полета.

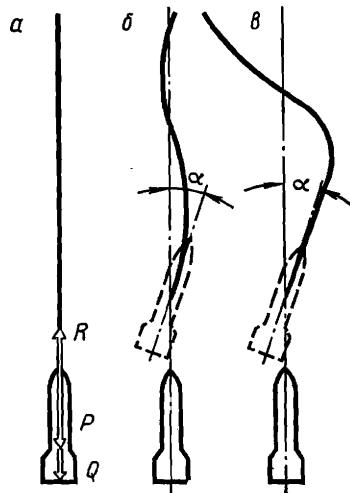


Рис. 2.25. Траектории полета ракеты.
а — устойчивая; б — динамически устойчивая, амплитуда возмущения затухает;
в — неустойчивая, амплитуда возмущения возрастает.

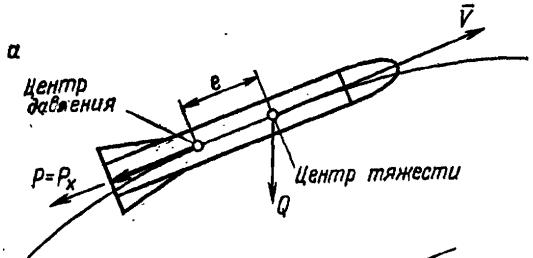


Рис. 2.26. Действие момента относительно центра тяжести в случае устойчивой ракеты.

Центр давления расположен позади центра тяжести; расстояние e определяет запас устойчивости.

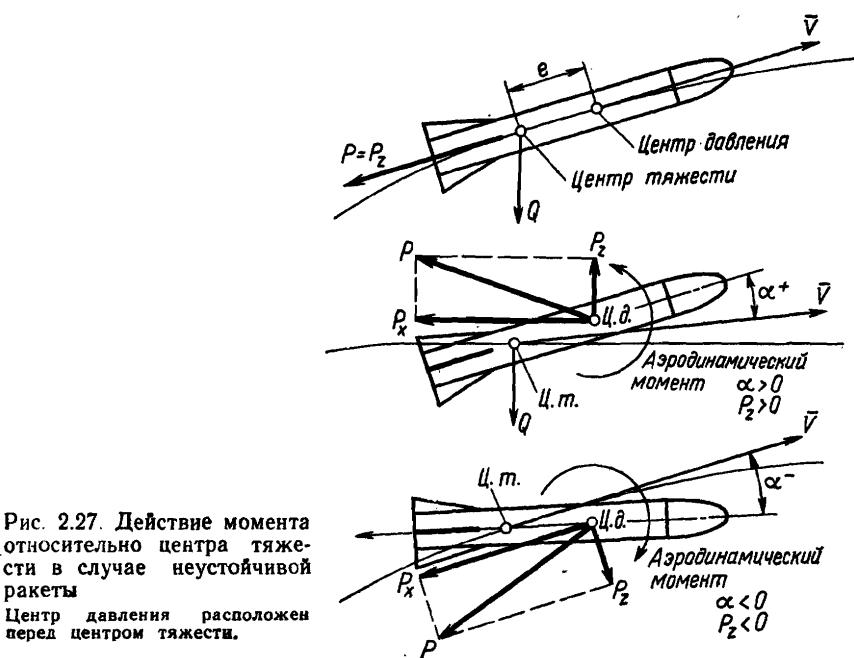
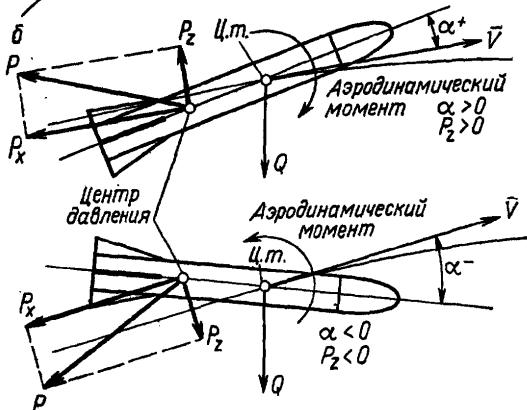


Рис. 2.27. Действие момента относительно центра тяжести в случае неустойчивой ракеты.

Центр давления расположен перед центром тяжести.

Рис. 2.26 иллюстрирует характер влияния сил и моментов на устойчивую ракету: а) при невозмущенном полете по траектории; б) при отклонении от траектории на положительный или отрицательный угол α .

На рис. 2.27 показана ракета, у которой центр давления расположен впереди центра тяжести. Видно, что в этом случае возникший момент не уменьшит угол отклонения, а наоборот — увеличит его и тем самым еще больше отклонит ракету от первоначальной траектории полета. Такая ракета неустойчива.

Насколько быстро ракета возвратится в состояние равновесия, зависит от расстояния e между центрами тяжести и давления. Величина e должна быть не меньше $0,5 D$, однако лучше, если это расстояние равно диаметру корпуса ракеты. Для обеспечения устойчивости ракеты ее обычно снабжают стабилизаторами, которые смещают центр давления назад. Очевидно, запас устойчивости ракеты зависит от того, насколько правильно выбрана площадь поверхности стабилизаторов.

Примером стабилизатора может служить встречающийся в силах жестяной флюгер (например, в виде птицы, стрелы и т. д.), который всегда располагается острием к ветру (однако только потому, что умело выбраны форма и величины поверхностей впереди и сзади центра тяжести).

Каким на практике должно быть соотношение продольных поверхностей ракеты для выполнения условия устойчивости, показано на рис. 2.28. Полная длина ракеты в среднем должна составлять $16-20 D$ (где D — диаметр ракеты). Площадь поверхности стабилизаторов $P_2 = (0,8-1,0) P_1$ (где P_1 — площадь поверхности корпуса).

Мы рассмотрим два метода: *расчетный* и *практический* (путем вывешивания), позволяющие с достаточной точностью определить центр давления (размеры и форма модели ракеты схематически показаны на рис. 2.29).

При использовании расчетного метода вычерчивают в выбранном масштабе вид модели сбоку, определяют площади каждого элемента (т. е. головной части, корпуса и стабилизаторов) и дальнейший расчет проводят относительно выбранной точки, например передней точки головной части (вершины модели). На рисунке необходимо отметить центры тяжести всех геометрических фигур, образующих силуэт (контуру) модели.

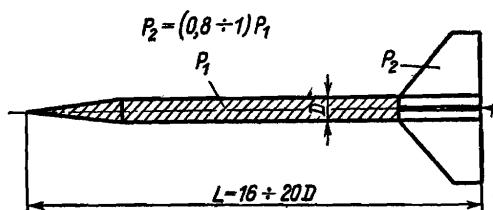


Рис. 2.28. Соотношение продольных поверхностей модели ракеты.

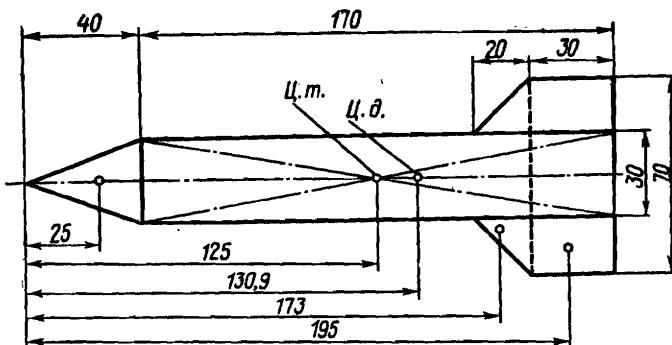


Рис. 2.29. Иллюстрация к расчету центра давления модели ракеты.

Поочередно рассчитывают площади всех поверхностей в мм^2 , начиная от головной части модели. Площади треугольников, прямоугольников и т. п. находят по известным из геометрии формулам. Например, для модели рис. 2.29 площадь треугольника (головной части) равна $40 \cdot 30 / 2 = 600 \text{ мм}^2$; площадь прямоугольника, соответствующая корпусу, составляет $170 \cdot 30 = 5100 \text{ мм}^2$. Площадь поверхности скошенной части стабилизатора равна $2 \cdot 20 \cdot 20 / 2 = 400 \text{ мм}^2$, а его кормовой части $2 \cdot 30 \cdot 20 = 1200 \text{ мм}^2$. Умножая площадь поверхности на расстояние от вершины модели до центра тяжести соответствующей площади (на рис. 2.29 они обозначены точками), получим момент ($\text{мм}^2 \cdot \text{мм}$). Сумма моментов, поделенная на суммарную площадь, даст местоположение геометрического центра контура, или центра давления модели.

Таким образом, для рассматриваемого случая получаем суммарную площадь $600 + 5100 + 400 + 1200 = 7300 \text{ мм}^2$, моменты $600 \cdot 25 = 15000 \text{ мм}^2 \cdot \text{мм}$, $5100 \cdot 125 = 637500 \text{ мм}^2 \cdot \text{мм}$, $400 \cdot 173 = 69200 \text{ мм}^2 \cdot \text{мм}$, $1200 \cdot 195 = 234000 \text{ мм}^2 \cdot \text{мм}$ и сумму моментов $15000 + 637500 + 69200 + 234000 = 955700 \text{ мм}^2 \cdot \text{мм}$. Расстояние от центра давления до вершины модели ракеты равно

$$\frac{955700 \text{ мм}^2 \cdot \text{мм}}{7300 \text{ мм}^2} = 130,9 \text{ мм.}$$

При использовании практического метода нужно вырезать из картона силуэт данной модели, лучше всего в натуральную величину. Путем уравновешивания находим центр тяжести этой плоской фигуры, который и будет искомым центром давления модели (рис. 2.30).

Для определения центра тяжести готовой модели ее нужно подвесить. Варьируя положение точки подвеса, можно достичь такого положения, при котором модель сохраняет равновесие

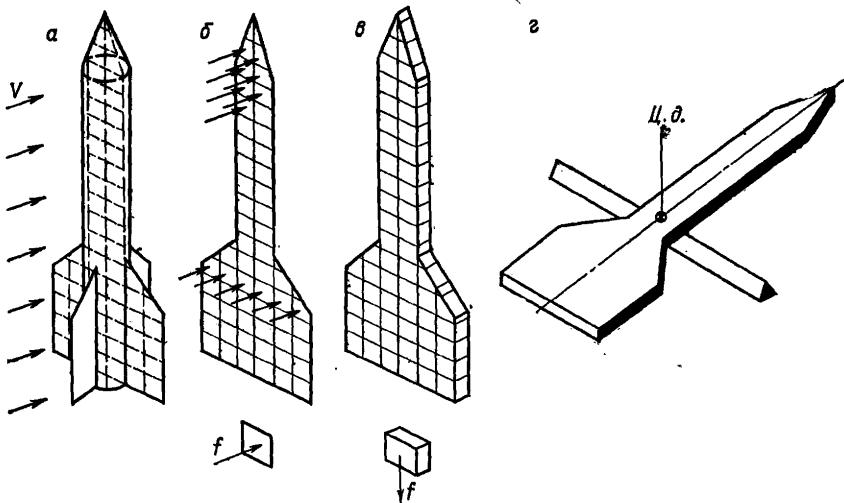


Рис. 2.30. Определение центра давления модели методом взвешивания.

а — стрелками показано направление струй воздуха; *б* — аэродинамические силы, действующие на каждый квадратный сантиметр поверхности продольного сечения ракеты; *в* — точка приложения аэродинамических сил совпадает с центром тяжести плоской фигуры, соответствующей контуру модели; *г* — центр тяжести силуэта модели совпадает с центром давления.

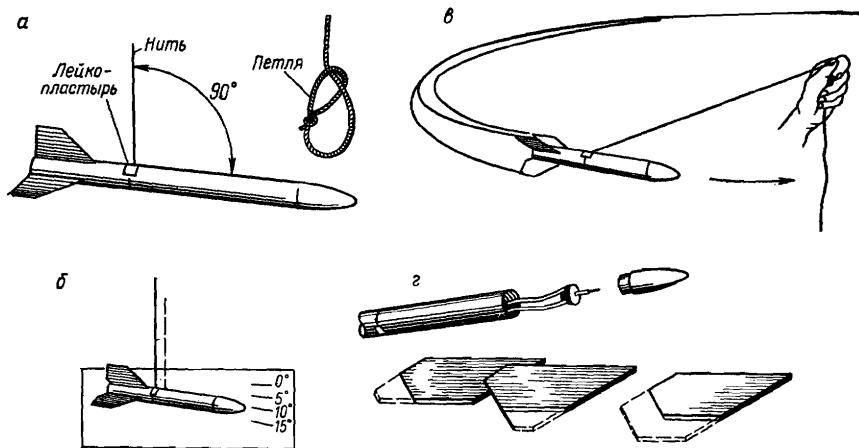


Рис. 2.31. Определение и регулирование центра тяжести модели ракеты.

а — определение центра тяжести готовой модели ракеты; *б* — практический способ проверки равновесия и устойчивости модели; *в* — проверка модели в пробном полете на привязи по кругу; *г* — дополнительное утяжеление головной части или уменьшение площади стабилизаторов.

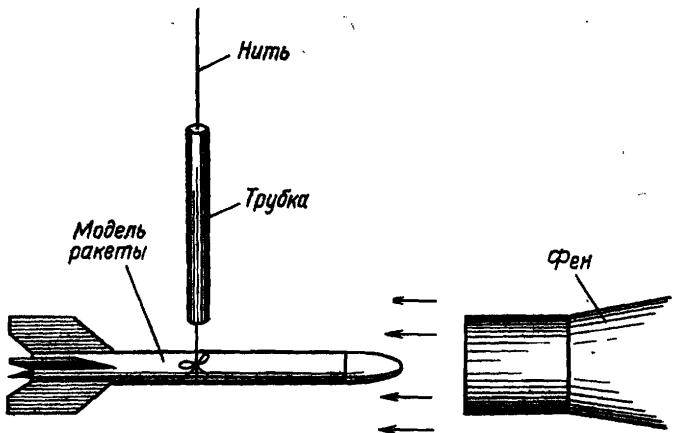


Рис. 2.32. Испытание модели ракеты в потоке воздуха, выходящем из сопла пылесоса или фена (сушилки для волос).
Нитке, привязанной к модели, необходимо придать жесткость с помощью металлической или бумажной трубы.

(рис. 2.31). В этой точке (точнее, в центре соответствующего сечения модели) и будет находиться ее центр тяжести. Однако для нас важно определить центр тяжести при проектировании модели, чтобы можно было правильно его расположить относительно центра давления (рис. 2.31, 2.32).

Любая модель ракеты состоит из нескольких частей, каждая из которых имеет свой центр тяжести. Зная массы отдельных частей и местоположение их центров тяжести, можно при помощи простого расчета определить центр тяжести модели. Массу можно вычислить, взвешивая отдельные части или умножая их

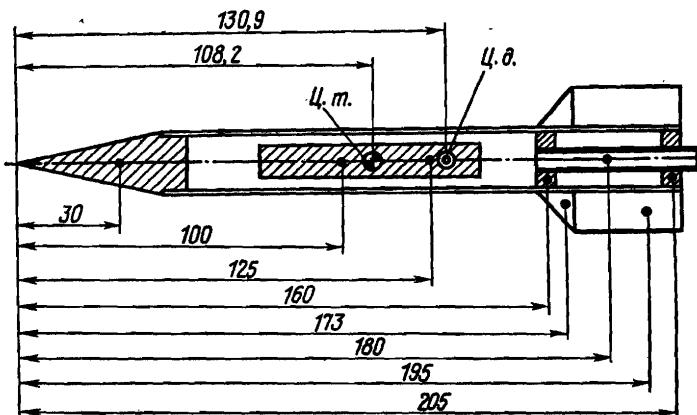


Рис. 2.33. К расчету положения центра тяжести на боковом силуэте модели.

объем на удельный вес¹. Для определения центра тяжести модели нужно вычертить контур (рис. 2.33) проектируемой модели в произвольном масштабе и на рисунке выделить все составляющие части и их центры тяжести. Затем нужно вычислить моменты относительно передней (или задней) точки модели. Полученные моменты суммируют и делят полученную сумму на массу модели. В результате определяют искомое местоположение центра тяжести². В рассматриваемом случае (табл. 2.2) центр тяжести находится на расстоянии 8331 г·мм/77 г = 108,2 мм от вершины модели ракеты.

Таблица 2.2

Название детали	Масса (г) × расстояние (мм)	Момент, г·мм
Головная часть	30×30	900
Парашют	10×100	1000
Корпус	5×125	625
Шлангоут	2×140	280
Стабилизаторы (4×0,5)	2×173	346
Топливо	20×180	3600
Стабилизаторы (4×1,5)	6×195	1170
Шлангоут	2×205	410
	77	8331

Теперь можно определить расстояние между центрами тяжести и давления и проверить, выполняется ли основное соотношение, согласно которому это расстояние должно быть больше половины диаметра. В нашем примере имеем $130,9 - 108,2 = 22,7$ мм, т. е. $3/4$ диаметра ракеты. Следовательно, условие устойчивости выполнено (в противном случае пришлось бы сделать более тяжелой головную часть или, что лучше, сконструировать более легкие стабилизаторы).

Неуправляемые ракеты, а таковыми в соответствии с правилами должны быть ракетные модели, летят по баллистическим траекториям (как брошенный камень или мяч), а не так, как летит

¹ Вот удельный вес ($\text{г}/\text{см}^3$) некоторых типичных материалов, используемых при конструировании моделей ракет: бальза — 0,15; сосна — 0,6; свинец — 11,4; латунь — 8,5; алюминий — 2,7; сталь — 7,75; картон — 1,1.

² Центры тяжести различных геометрических фигур можно найти в справочниках, например, Кошкин Н. И., Ширкевич М. Г., Справочник по элементарной физике; В. Левин, Справочник конструктора точных приборов. — Прим. ред.

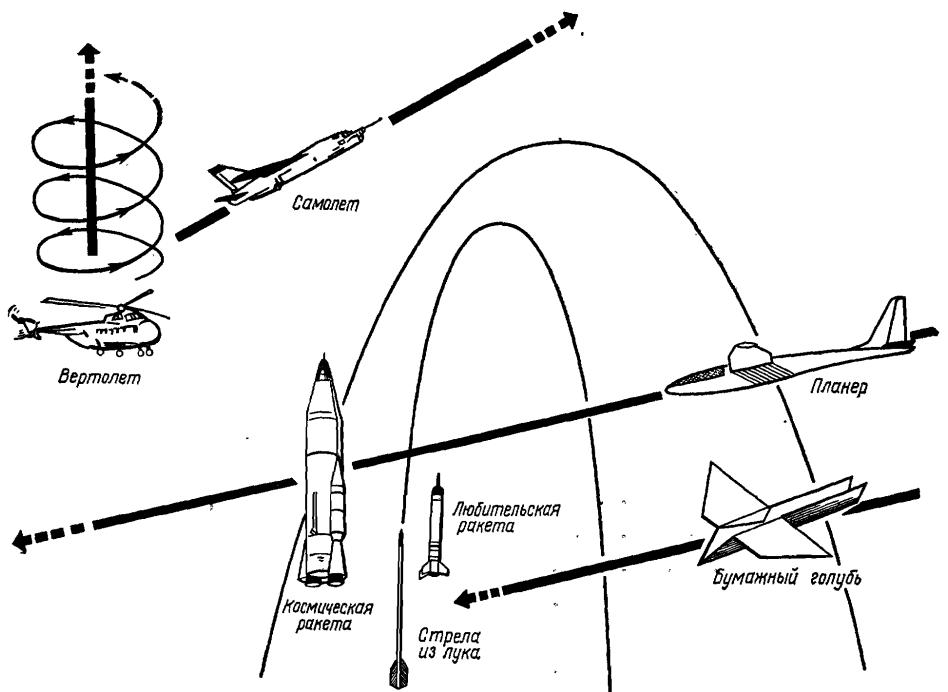


Рис. 2.34. Траектории полета ракет и воздушных летательных аппаратов.

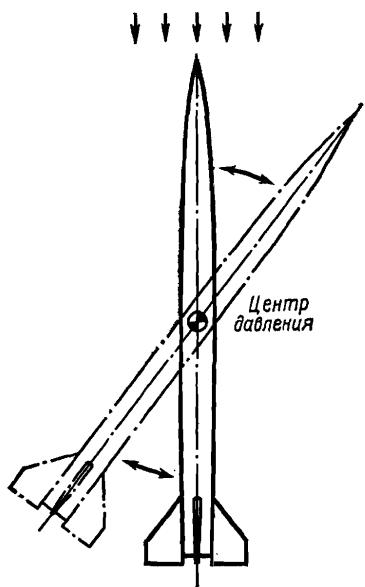


Рис. 2.35. Момент относительно центра давления, обусловленный действием ветра. Ракета разворачивается подобно флюгеру.

самолет, бумажный голубь или авиамодель с крыльями, создающими подъемную силу. Это основное различие проиллюстрировано на рис. 2.34.

Почти все модели, как и настоящие ракеты, оборудованы двигателями, расположенными позади центра тяжести (конечно, лучше было бы поместить их спереди — тогда не было бы трудностей с моментами). По этой причине линия действия тяги типичного кормового двигателя должна быть направлена вдоль оси симметрии модели и проходить через ее центр тяжести. Это требует большой точности при конструировании и сборке.

На стартующую модель вблизи поверхности земли может налететь боковой ветер, действуя на нее с некоторой силой, приложенной в центре давления. Так как скорость полета на начальном участке траектории мала, модель при этом может отклониться по направлению ветра (рис. 2.35).

Обычно на модели устанавливают 3 или 4 стабилизатора (иногда до 6), действующих как оперение стрелы, выпущенной

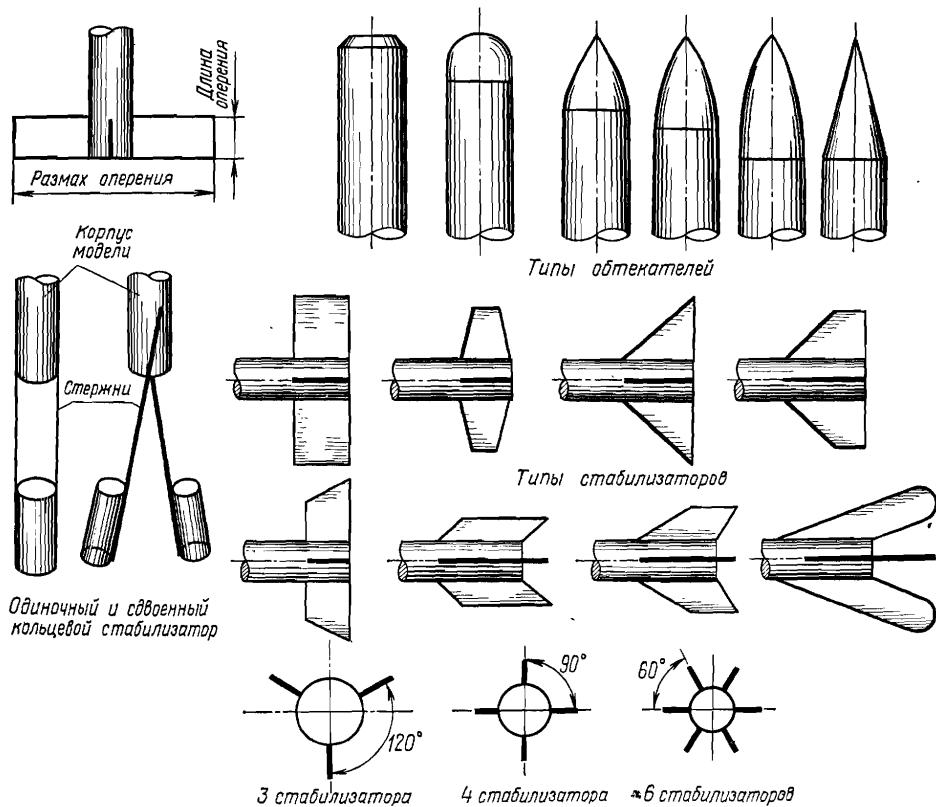


Рис. 2.36. Типичные формы головных обтекателей и стабилизаторов моделей ракет.

из лука. Большее количество стабилизаторов не оправдывает своего назначения, так как вследствие увеличения площади поперечного сечения значительно возрастает сопротивление. Количество стабилизаторов, их размер и форму определяют опытным путем. На практике принято считать, что хорда стабилизатора должна составлять от 1,5 до 2 диаметров модели. Часто используют кольцевые стабилизаторы, ширина которых в среднем равняется 0,5 диаметра кольца. Стабилизаторы этого типа эффективны при больших диаметрах кольца (не менее двух диаметров корпуса модели). Малые кольцевые стабилизаторы незначительно улучшают устойчивость модели. На рис. 2.36 показаны различные типы стабилизаторов. Там же приведены возможные формы головных обтекателей.

12. Для чего может пригодиться пылесос

Если вы хотите на практике убедиться в устойчивости модели ракеты со стабилизаторами того или иного типа, то не обязательно пользоваться готовой моделью, особенно если она большая.

Пылесос I (нагнетание)

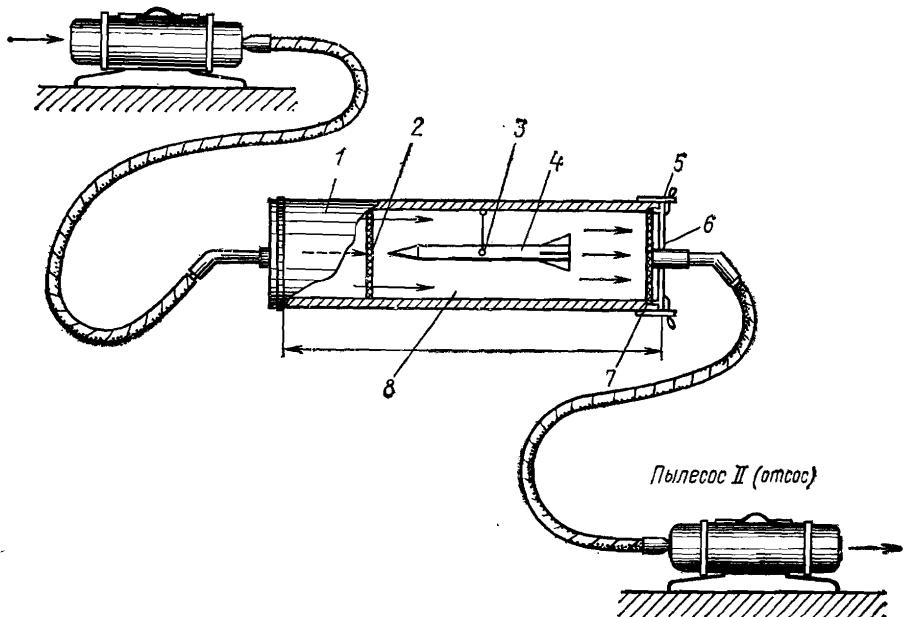


Рис. 2.37. Аэродинамическая труба для испытаний моделей ракет.

1 — корпус трубы (пластмасса); 2 — выпрямитель воздушного потока (сетка); 3 — центр тяжести модели; 4 — модель ракеты; 5 — замок; 6 — съемная крышка; 7 — прокладка; 8 — рабочая часть трубы. Длина и поперечное сечение корпуса трубы зависят от размеров исследуемой модели.

Достаточно иметь ее правильную копию, изготовленную в соответствующих масштабах размеров и массы. При помощи двух пылесосов и коробки (цилиндрической или с квадратным попечным сечением) можно определить устойчивость любой модели как в настоящей аэродинамической трубе (рис. 2.37).

Модельная аэродинамическая труба изготавливается из прозрачной пластмассы (целлулоида, органического стекла и т. п.). С одной стороны она закрывается герметической алюминиевой крышкой с вмонтированной в нее трубкой, а с другой — съемной крышкой с пружинными замками. Внутри трубы можно установить выпрямитель потока воздуха — сетку из проволоки с дырочками диаметром около 5 мм (в этом случае обтекание модели, подвешенной в трубе, будет менее завихренным). Если включить передний пылесос на нагнетание, а задний — на отсос, то правильно подвешенная аэродинамически устойчивая модель и в потоке воздуха сохранит равновесие. Конечно, рабочая часть аэродинамической трубы должна быть расположена строго горизонтально, что легче всего сделать при помощи ватерпаса. Описанная простая аэродинамическая труба оказывается очень полезной на практике, и ее целесообразно построить, особенно в кружках ракетного моделизма.

13. Пробная траектория полета

Напомним, что траектория полета неуправляемой ракеты называется *баллистической*. Такая траектория представляет собой дугу. В зависимости от угла, под которым предмет брошен, дуга оказывается круче или пологе и предмет приземляется дальше или ближе.

Стреляя из лука и наблюдая полет стрелы, снабженной стабилизаторами из перьев, можно представить траекторию полета ракеты. Однако для непосредственного определения баллистической траектории, по которой будет двигаться модель ракеты, можно поставить следующий опыт.

Из деревянных планок сделайте раму (рис. 2.38), к которой приклейте (загнув края) лист миллиметровой бумаги — экран. Рядом с экраном поставьте сосуд (например, большую фотографическую ванночку), а несколько выше экрана — сосуд Мариotta с двумя трубками (диаметром 6—7 мм) из пластмассы или стекла, шланг с краном и сопло. Сосуд необходимо заткнуть резиновой пробкой.

Экран покройте раствором фенолфталеина в спирте (нужно около 50 см³ раствора). Бумага под влиянием влаги сначала сморщится, однако после высыхания снова распрямится. В бутылку налейте раствор щелочи, например гидроокиси sodы (около 2 дм³). Достаточно 1 см³ твердой щелочи на 1 дм³ воды. Для проведения опыта можно также использовать аммоний.

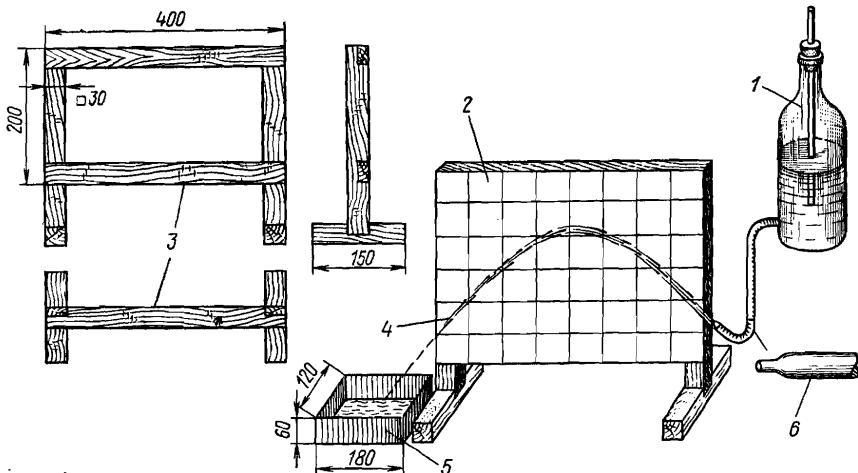


Рис. 2.38. Опыт, позволяющий представить траекторию полета ракеты.

1 — сосуд Мариотта; 2 — экран (миллиметровая бумага); 3 — рамка экрана; 4 — след струи; 5 — ванночка; 6 — сопло.

Открывая на шланге кран, соединенный с сосудом, направьте струю выходящей жидкости так, чтобы она касалась экрана. Струя должна быть ламинарной, т. е. с гладкими границами. Наиболее приемлемая скорость струи устанавливается положением сосуда и формой выхлопного сопла. В результате химической обработки экрана щелочью на фенолфталеине останется яркая парабола, которая наглядно представляет баллистическую траекторию полета.

При использовании миллиметровой бумаги можно исследовать характеристики баллистической траектории. Установив сопло под различными углами, получим целое семейство кривых, от пологих до очень крутых. Можно считать, что траектория полета модели ракеты после выключения двигателя будет подобной.

Расчетами траекторий движения снарядов и ракет занимается наука, называемая *внешней баллистикой*, в отличие от *внутренней баллистики*, которая изучает процессы, происходящие при сгорании различных топлив в двигателях.

Кривая, полученная в результате проведенного опыта, не учитывает воздействия ветра. Ошибка по отношению к действительным условиям полета малых ракет составляет приблизительно 5 %.

14. Внешняя баллистика в комнате

При помощи несложных устройств, например пружинной пушки или пистолета, можно провести множество любопытных исследований. Если отсутствуют игрушки промышленного производства, достаточно пластмассовой или свернутой из бумаги трубки (диаметром 20—40 мм), в которую вставляется стальная пружина, оттягиваемая небольшим поршнем с прикрепленной к нему нитью толщиной около 0,5 мм. В трубку (рис. 2.39) положите небольшой стальной или свинцовый шарик (например, от использованного подшипника), установите трубку на подставку (например, книгу), сожмите при помощи нити пружину и отпустите конец нити. Шарик вылетает и падает на некотором расстоянии. Понятно, что такая «стрельба» происходит над расстеленным одеялом или ковром, предохраняющим стены и мебель от повреждений.

Возникает вопрос, какую начальную скорость имеет такой снаряд? При «выстреле» из пружинной пушки потенциальная энергия сжатой пружины переходит в кинетическую энергию шарика

$$\frac{kx^2}{2} = \frac{mv_0^2}{2},$$

откуда

$$v_0 = \sqrt{\frac{kx^2}{m}},$$

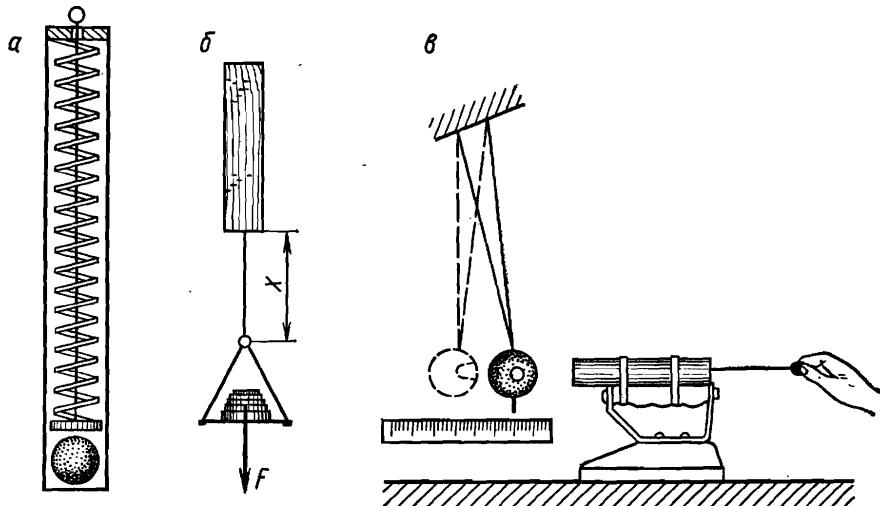


Рис. 2.39. Трубка с пружиной для проведения опытов по баллистике.
а — конструкция трубы; б — определение силы пружины; в — трубка с пружиной и простейший баллистический маятник.

где v_0 — начальная скорость шарика (м/с), k — коэффициент жесткости пружины, x — величина сжатия пружины (м), m — масса шарика (кг).

Коэффициент жесткости пружины — это не что иное, как отношение силы сжатия к величине деформации. Если, например, при нагрузке $F=100$ Г (около 1 Н) пружина сожмется на $x=22$ мм, то $k=F/x=45$ Н/м.

Зная коэффициент жесткости пружины, можно рассчитать действующую силу в соответствии с равенством

$$F=kx.$$

Если пружина сжалась на 20 мм, то

$$F = 45 \cdot 0,02 = 0,9 \text{ Н.}$$

При таком сжатии пружины начальная скорость снаряда (шарика) массой 8,5 г равна 1,7 м/с.

Другой способ оценки скорости снаряда основан на использовании так называемого *баллистического маятника*. Простейший маятник можно сделать из шарика, слепленного из пластилина и подвешенного на крепкой нити. Если теперь выстрелить из пушки, установленной вплотную к маятнику, то снаряд попадет в пластилиновый шарик, войдет внутрь шарика и, сообщив ему определенное количество движения, отклонит ось маятника от первоначального положения. Необходимо теперь замерить только максимальное отклонение маятника l , массу пластилинового шарика M и длину маятника R .

Начальная скорость снаряда определяется по формуле

$$v_0 = l \sqrt{\frac{g}{R} \frac{m+M}{m}}.$$

Например, если масса снаряда равна $m=8,5$ г (0,0085 кг), масса пластилинового шарика $M=60$ г (0,06 кг), длина маятника $R=0,198$ м, максимальное отклонение маятника $l=0,085$ м, то $v_0=1,7$ м/с.

Глава III

МАСШТАБНЫЕ МОДЕЛИ РАКЕТ

1. Масштабные модели

Масштабные модели, т. е. копии натурных ракет, сделанные в определенном (уменьшенном) масштабе, в зависимости от использованного материала и назначения можно разделить на следующие группы: силуэтные модели, картонные и деревянные макеты, а также полностью масштабные модели. Здесь не рассматриваются модели ракет, предназначенные для исследований в аэродинамических трубах, так как тщательность обработки их поверхностей и использование особых материалов сильно ограничивают возможности любительского изготовления таких моделей.

Силуэтные модели¹. Модели этого типа, известные авиамоделистам и конструкторам моделей морских кораблей, можно с успехом использовать в учебных целях для распознавания различных типов ракет. Для таких моделей характерны простота изготовления при минимальном количестве материала и большая познавательная ценность, особенно когда имеется большой набор силуэтов, позволяющий сравнивать и оценивать характеристики ракет (например, размеры, тягу и т. д.). Однако они не предназначаются для полетов.

Основной материал для изготовления силуэтных моделей — картон толщиной 0,5—2,0 мм, фанера толщиной 0,5—0,8 мм или пластмасса, легко поддающаяся обработке.

Основой для построения силуэтной модели служит рисунок бокового вида ракеты. Такие рисунки и схемы часто публикуются в научных журналах или встречаются в книгах. Приступая к изготовлению силуэта, в первую очередь необходимо сделать подробный рисунок модели, представляющий упрощенный контур ракеты с выделенными основными ее элементами — головной частью, корпусом, соплами двигателей и другими выступающими деталями, если они имеются. Все ненужные подробности при построении силуэтной модели ракеты опускаются.

Рисунок должен быть выполнен в определенном масштабе, чтобы ракету и модель можно было сравнивать друг с другом. Изготовление силуэта «на глаз» или по случайному рисунку не имеет смысла, так как не даст действительного представления о размерах и форме натурной ракеты. С другой стороны, публикуемые в журналах чертежи и рисунки редко выполняются в требуемом для моделлистов масштабе. По этой причине всегда необ-

¹ В СССР такие модели не получили распространения. — Прим. ред.

ходимо заново вычерчивать рисунки в выбранном масштабе по надежному оригиналу. Вместе с техническими характеристиками ракет обычно приводятся необходимые размеры, например длина и диаметр корпуса, что облегчает работу. Имея чертеж ракеты и только один какой-либо размер, можно определить неизвестные размеры каждой ее детали. Это легко сделать при помощи вспомогательной шкалы, которая основана на подобии треугольников (рис. 3.1). Пусть, например, известна длина корпуса и требуется определить полную длину ракеты и ее диаметр.

На вертикальной оси вспомогательной шкалы откладывается известный размер оригинала, а на горизонтальной (с отсчетом от нуля влево) — величина, которую он имеет на данном чертеже. Соединив эти точки прямой, вы получите способ прочтения всех остальных размеров. Если на горизонтальной оси отложить полную длину в соответствии со схематическим рисунком, то, проводя линию, параллельную первой, до вертикальной оси, можно прочитать на ней отсутствующий размер. Все же подобные расчеты удобнее выполнять на логарифмической линейке, умножая снятые с чертежа размеры на отношение известного размера оригинала к его величине на чертеже.

В каком масштабе наиболее удобно конструировать силуэтные модели? Для ракет дальнего действия (т. е. больших) лучше всего выбирать масштаб 1 : 200 или 1 : 100. Ракеты меньших размеров (например, ракеты класса воздух—воздух) рекомендуется моделировать в большем масштабе, например 1 : 50 или даже 1 : 25.

В качестве примера отметим, что ракета «Сайдуиндер» в масштабе 1 : 25 имеет полную длину 120 мм, тогда как в масштабе 1 : 100 ее размер составлял бы только 30 мм и трудно было бы различить детали ее силуэта. Полная длина моделей ракет такого типа, как «Титан», «Атлас», «Блю Стрик», выполненных в масштабе 1 : 200, составляет примерно 130—140 мм.

В зависимости от величины модели используется картон различной толщины. Например, для малых моделей — чертежный, а для больших — так называемый «малярный» (склеенный из двух слоев).

Прежде чем перейти к описанию способа изготовления силуэтных моделей, стоит обратить внимание читателей на инструменты, которыми следует пользоваться для достижения наилучшего результата в соответствии с замыслом, т. е. максимального эффекта при минимальных затратах труда.

Главный инструмент при всех работах по моделизму, а не только при изготовлении модели из картона, — острый нож из хорошей стали. Он должен иметь достаточно длинное лезвие и удобную рукоятку. Нельзя пользоваться перочинными (складными) ножами, так как при случайному закрытии лезвия легко можно повредить руку. Для разрезания картона помимо ножа необходима и металлическая линейка.

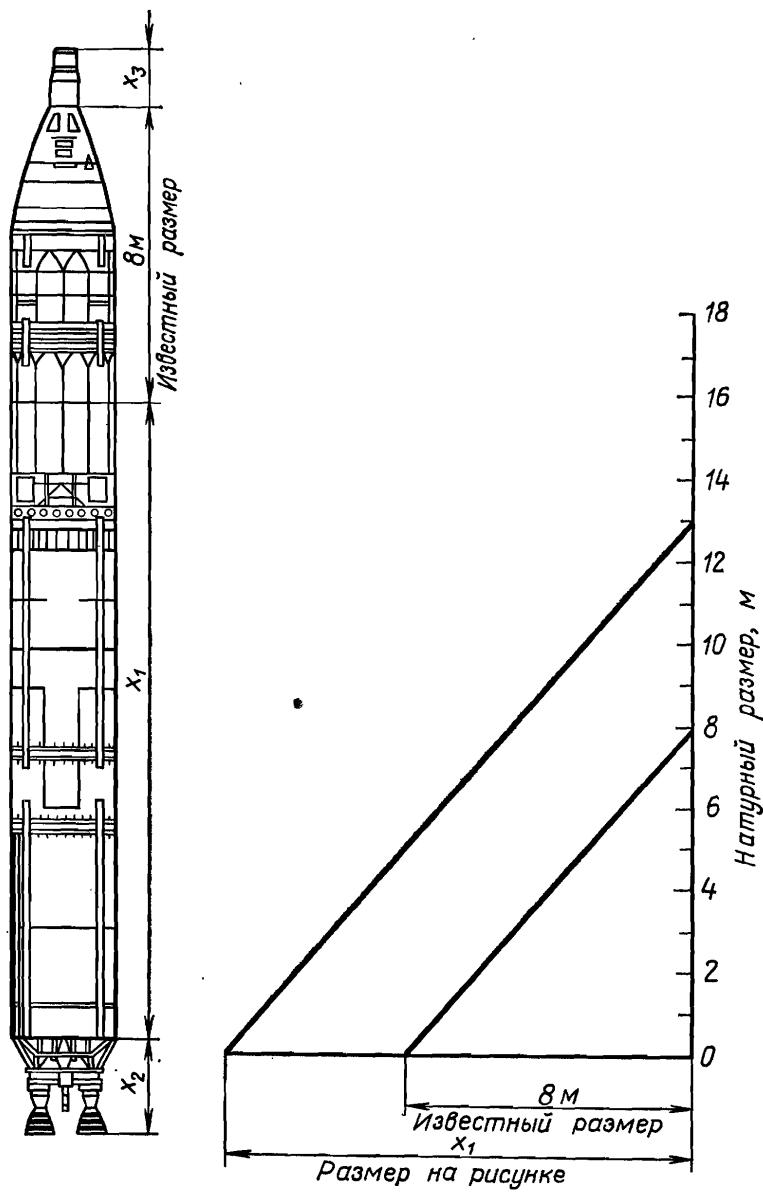


Рис. 3.1. Определение размеров различных элементов ракеты по одному известному размеру.

Кроме того, для подготовительных работ необходимо иметь лезвие для бритвя (причем с одной стороны оно должно быть окантовано жестью), линейку с нанесенным масштабом, чертежный треугольник, циркуль, карандаш средней твердости (например, Т, 2Т) и клей. Для картонных деталей наиболее подходит клей типа АК-20 или быстро высыхающий коллоидионный, хотя можно использовать также столярный, а при холодном склеивании — казеиновый клей. Следует стремиться к овладению техникой склеивания, а не искать идеального kleяящего средства. При создании силуэтных моделей процесс склеивания относительно несложный, однако следует помнить, что склеивать необходимо старательно, не допуская при этом загрязнения деталей модели.

Кроме упомянутых средств, нужны еще пузырек черной туши или гуашь и кисть. Чтобы готовые силуэтные модели хорошо выглядели, их необходимо покрасить в черный цвет. Для изготовления моделей следует использовать исключительно листовой картон. Картон из рулона не годится, так как он изгибается и затрудняет работу.

Чертежный картон промышленного производства выпускается толщиной 0,23—0,33 мм, причем 1 м² его весит от 178 до 241 г. Тонкий картон (чертежная бумага) толщиной 0,14 мм весит еще меньше (105 г/м²). Существует много видов картона, различающихся, например, окраской и прочностью. Для целей ракетного моделизма годится плотный картон бронзового оттенка или серого цвета. Пористый или волокнистый картон легко трескается, и при его разрезании трудно сохранить гладкие, ровные края. Таким обычно бывает белый картон толщиной 5 мм и более.

Выбрав материал и инструменты, можно приступить к работе. После выполнения в выбранном масштабе чертежа модели с помощью кальки или другим способом нужно перенести чертеж на картон (рис. 3.2).

Силуэтная модель состоит из двух плоских стенок (контуров) 1 и 2 и перегородок (шпангоутов) 3—5, вклеенных в трех местах, дающих представление о форме поперечного сечения ракеты. Контур модели вырезается ножом вдоль линейки. При разрезании надо, конечно, стараться не повредить рабочий стол, покрыв его предварительно фанерой или толстым листом картона.

Как видно из рис. 3.2, обе стенки силуэтной модели имеют продольные разрезы, расположенные таким образом, что дают возможность соединить стенки крест-накрест. Ширина разрезов зависит от толщины используемого картона. То же самое относится к шпангоутам. Шпангоуты лучше всего вырезать при помощи циркуля, в который вместо графита вмонтирована острыя стальная игла. Поворачивая циркуль несколько раз, можно легко и точно вырезать круглый шпангоут, тогда как ножом это сделать труднее.

После тщательной подгонки отдельных деталей модель скле-

*Размер определяется
толщиной картона*

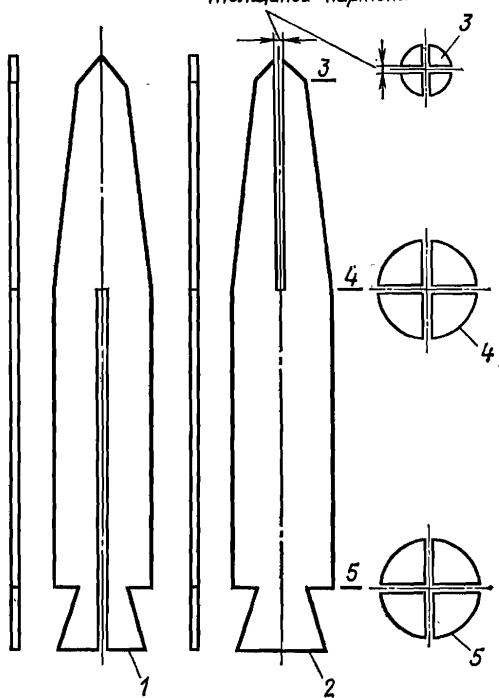


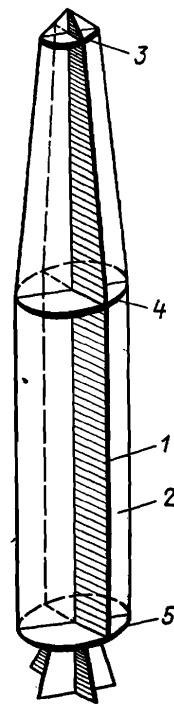
Рис. 3.2. Составные элементы силуэтной (контурной) модели.

Рис. 3.3. Силуэтная модель после склеивания.
1, 2 — стенки; 3—5 шпангоуты.

иваются, дают клею высохнуть и красят ее черной тушью или гуашью (рис. 3.3).

Описанным способом можно изготовить целую серию силуэтных моделей ракет. В качестве примера на рис. 3.4 показано несколько типов ракет, причем сбоку для сравнения приведены их размеры.

Силуэтные модели можно делать также из фанеры или пластмассы. В этом случае листовую заготовку надо разрезать тонкой пилкой, после чего обработать заготовку напильником или наждачной бумагой. Если имеются листы пластмассы темного цвета (текстолит, меламин и т. д.) и их величина соответствует выбранным размерам модели, то их можно успешно пустить в дело. Пластмасса обрабатывается так же, как и дерево, однако для склеивания в зависимости от вида данной пластмассы надо применять специальные клеи (при условии плотного прижатия склеиваемых деталей можно использовать ацетоновый клей). Модели из пластмассы не требуют специальной окраски.



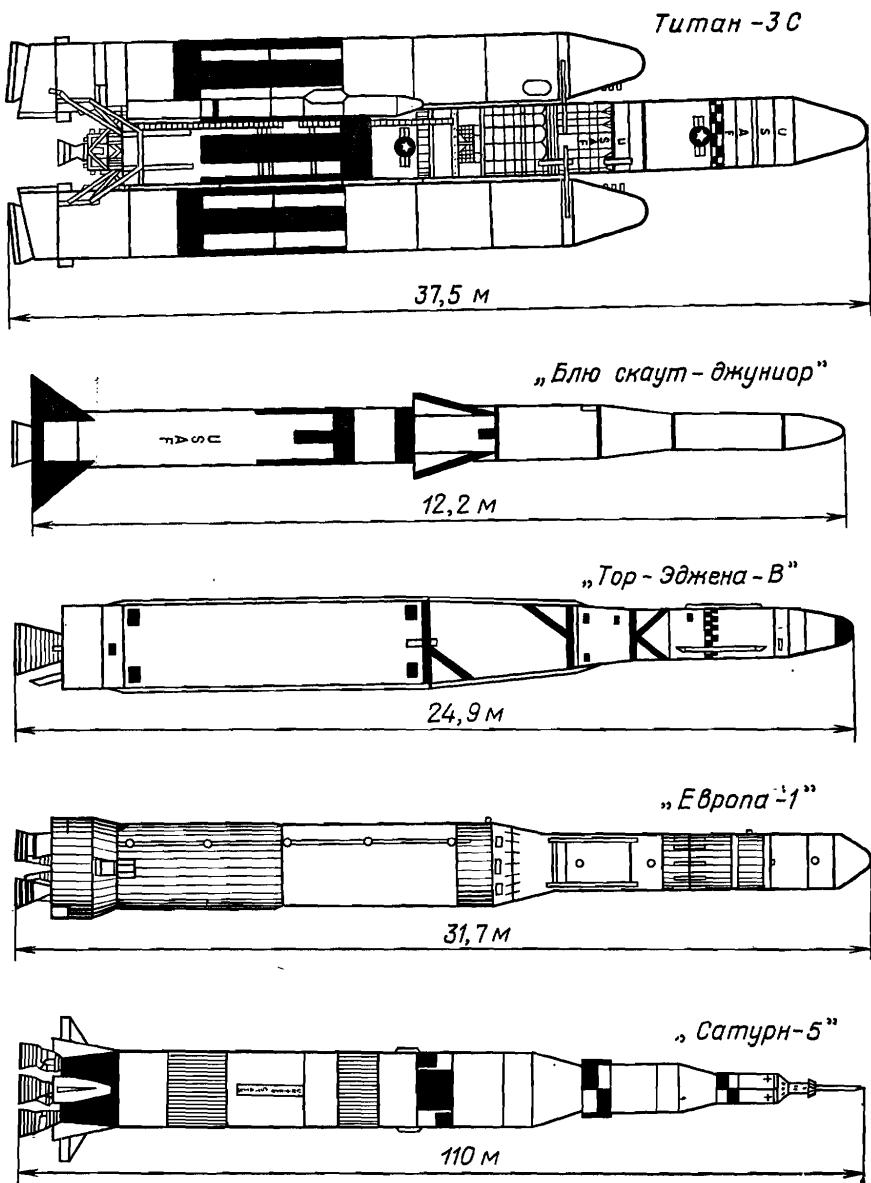


Рис. 3.4. Типовые ракеты-носители.

Картонные макеты. Следующий по трудности изготовления этап моделизма — это объемные картонные макеты, которые дают представление не только о силуэте, но и о форме ракеты. Однако форма картонного макета не полностью соответствует оригиналу, что зависит от пластических свойств используемого материала, в данном случае картона.

Правильно сделанный и склеенный картонный макет дает более полное и наглядное представление о данном типе ракет.

Конструкция картонного макета несложная. На представленном ниже примере мы постараемся проиллюстрировать последовательные этапы конструирования, чтобы каждый мог самостоятельно сделать макет любой выбранной ракеты.

Картонные макеты проще делать в большом масштабе (1 : 50 или 1 : 25); кроме того, макеты большого масштаба лучше выглядят. При выполнении чертежа можно пользоваться опубликованными рисунками, особенно эскизами и фотографиями данного прототипа. На рис. 3.5 показан эскиз упрощенного картонного макета типичной ракеты дальнего действия, полная длина которого равна 245 мм. Макет в целом окрашивается в желтый или белый цвет; кольца на корпусе, головная часть и стабилизаторы — красные, выхлопное сопло — черное.

Имея такой рисунок, следует решить, каким образом можно вырезать из картона отдельные части. Обратимся к рис. 3.6. На нем представлены элементы макета, которые можно вырезать из картона: головной обтекатель 1, передняя часть корпуса 2 (усеченный конус), цилиндрическая часть корпуса 3, круглая пластинка (днище корпуса) 4, сопло двигателя 5 (его можно имитировать пробкой или усеченным конусом из картона) и, наконец, оперение, состоящее из четырех картонных стабилизаторов 6.

После такого разделения ракеты на элементы можно приступить к вырезанию разверток отдельных элементов. Эта работа требует точности, поэтому при затруднениях следует обращаться к справочникам по геометрии.

Работу начинаем с головного обтекателя (рис. 3.7), для изготовления которого целесообразно применить картон средней толщины, так как толстый картон, если он должен быть изогнут, очень трудно склеивать. Очевидно, идеальным будет белый картон (без пор и гладкий), однако если его нет, то можно использовать любой другой, даже обложку от тетради (при условии, конечно, что она не помята и не слишком толстая).

Для черчения используем линейку, карандаш и циркуль. Вычерчиваем виды головного обтекателя сверху и сбоку в соответствии с приведенными размерами. Головной обтекатель представляет собой круговой конус, поэтому следует нарисовать его боковую поверхность в развернутом виде, так, чтобы после склейивания заготовка приняла необходимую форму.

На рис. 3.7 показан наиболее простой способ развертки. Контуры основания конуса делим на несколько частей (например, 12)

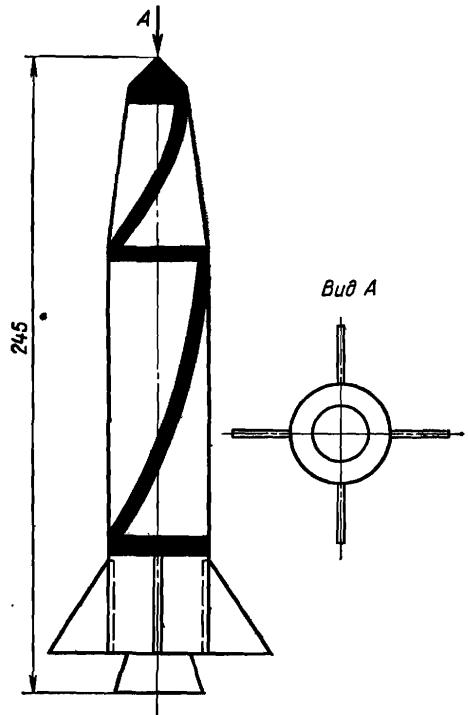


Рис. 3.5. Упрощенная модель ракеты дальнего действия, изготовленная из картона.

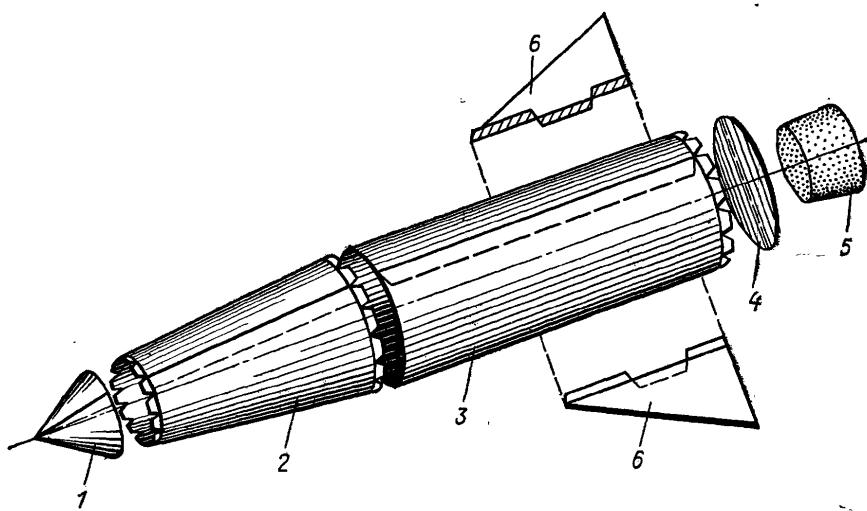


Рис. 3.6. Порядок изготовления элементов и сборки модели (показаны только два стабилизатора).

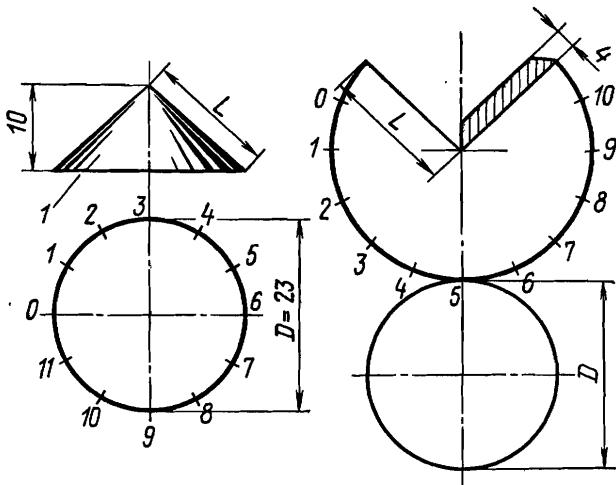


Рис. 3.7. Вид головного обтекателя сбоку и его развертка.

и отмериваем найденные этим способом сегменты на дуге окружности радиуса L , равного образующей нашего конуса. Чтобы можно было склеить боковую поверхность, оставляем еще небольшое поле шириной 4—5 мм. После соединения обоих краев разреза получим головной обтекатель ракеты требуемой формы.

Далее вычерчиваем переднюю часть корпуса ракеты, которая представляет собой усеченный конус. Размеры его приведены на рис. 3.8, а способ построения заготовки похож на предыдущий. Контур основания усеченного конуса делим на определенное количество частей (например, 12) и переносим их на дугу радиуса L , равного длине образующей полного, а не усеченного конуса (штриховая линия на рисунке). Проведя дугу радиуса l из того же центра и радиальные линии из концов первого и последнего (12-го) участков, получим заготовку для усеченного конуса. Чтобы иметь возможность его склеить, надо прибавить поля («зубцы») шириной около 5 мм.

Среднюю, цилиндрическую, часть корпуса также следует развернуть. Работу начинаем с расчета длины окружности диаметром $D=40$ мм. Вычертив круг (рис. 3.9, а), наносим его диаметры AC и DB , после чего из точки A радиусом DO чертим дугу до пересечения ее с окружностью в точке E . Из точки E проводим отрезок EF , параллельный AC . Через точку B проводим касательную к окружности, на ней от точки B последовательно откладываем три диаметра D и соединяем полученную точку G с точкой F . Отрезок GF приближенно равен длине окружности диаметра D . Теперь на основании GF строим прямоугольник высотой H — развертку боковой поверхности цилиндра. Наконец, до-

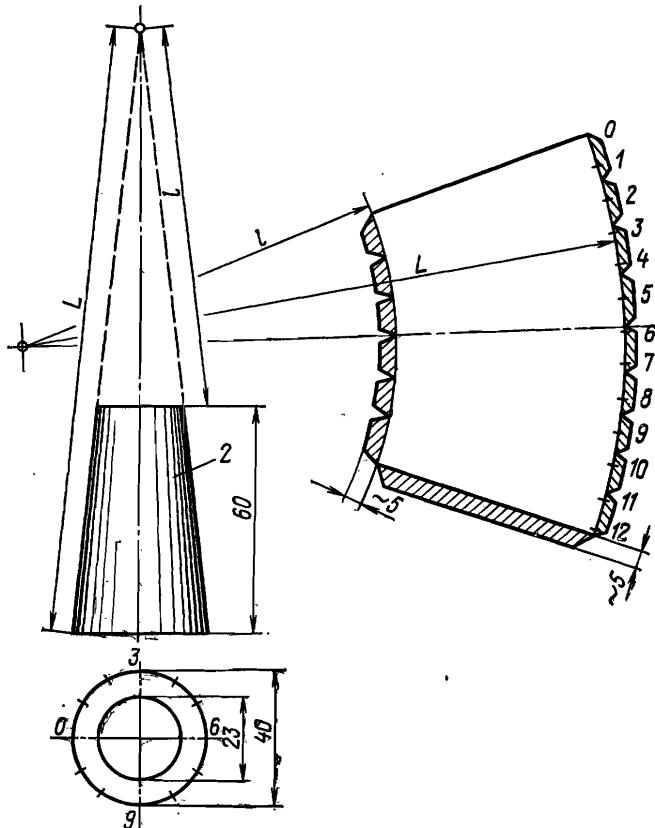


Рис. 3.8. Разворотка передней конусной части корпуса.

бавляем «зубцы», облегчающие последующее склеивание. Заготовка для изготовления цилиндрической части корпуса получена.

На рис. 3.9, б показаны чертежи заготовок для стабилизаторов. Их построение не требует дополнительных пояснений.

Осталось начертить развертку последнего элемента макета — сопла двигателя. У кого нет пробки требуемого размера, тот может вырезать эту часть из картона в соответствии с рис. 3.10 (аналогичен рис. 3.8).

В дополнение к перечисленным деталям следует — начертить два кружка: один диаметром 40 мм (днище корпуса), а другой — диаметром 32 мм, закрывающий (и делающий жестким) выходное отверстие сопла двигателя.

После вычерчивания всех элементов макета пронумеруем их в той последовательности, в которой строили, и аккуратно выре-жем ножницами, следя за тем, чтобы разрезание проводилось

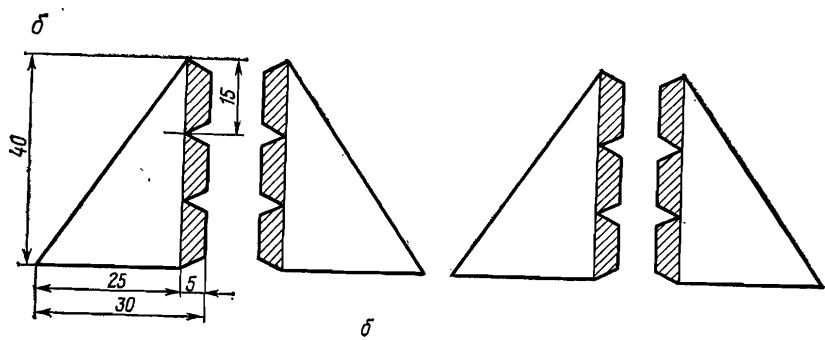
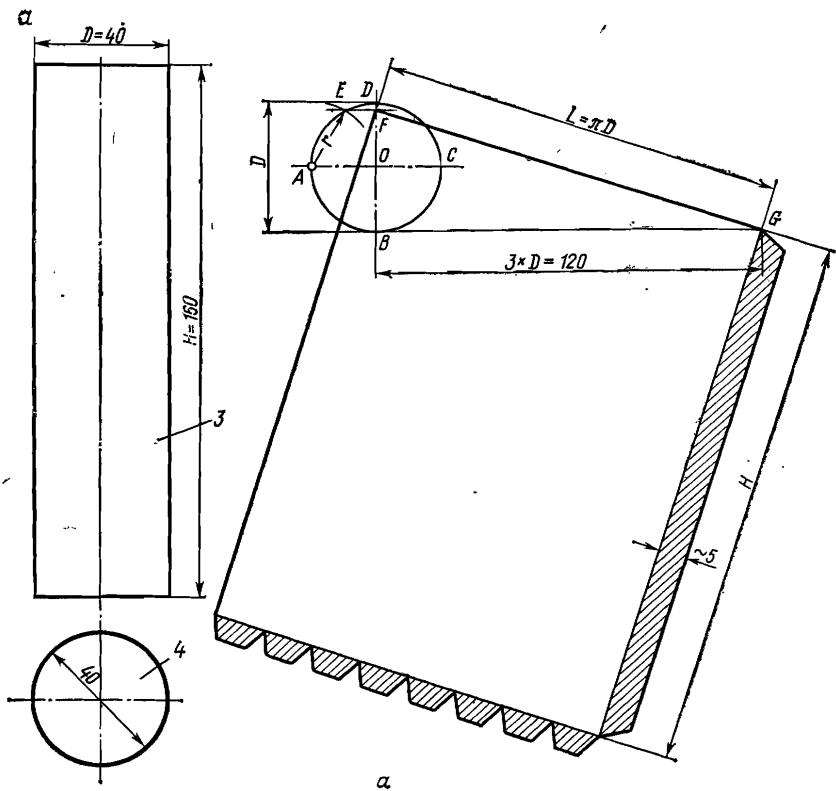


Рис. 3.9. Развёртки цилиндрической части корпуса (*a*) и стабилизаторов (*b*).

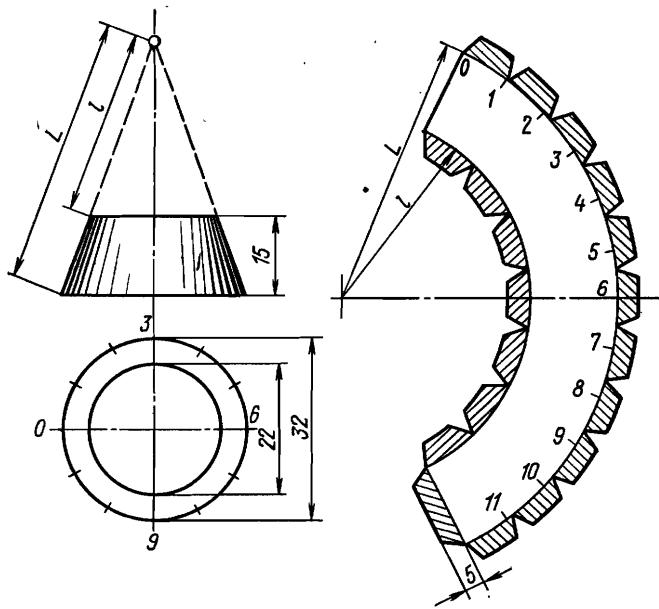


Рис. 3.10. Развёртка сопла двигателя.

вдоль линии контура. Если картон толстый, то вырезать детали лучше ножом.

Сборку модели начинаем после того, как коническим и цилиндрическим элементам придана нужная форма. С этой целью плоскую заготовку каждого элемента протягиваем под линейкой или карандашом таким образом, чтобы она потом легко свернулась. Затем «зубцы» покрываем тонким слоем клея и соединяем соответствующие края разреза, прижимая места склеивания пальцами или деревянными прищепками до полного высыхания. Так склеиваем поочередно все элементы, соединяя их между собой, как показано на рис. 3. 6.

После высыхания клея макет можно раскрасить акварельной краской или цветной тушью в соответствии с рис. 3. 5.

Аккуратно склеенный макет выглядит очень эффектно, а если еще есть и снимок оригинальной ракеты, то на макет следует нанести все отличительные знаки в виде букв и цифр.

Деревянные макеты. Деревянные макеты еще нельзя называть полностью масштабными. Предназначены они исключительно для учебных целей. Ниже описывается способ изготовления моделей этого типа; он является переходным этапом для более квалифицированных моделистов, готовых к конструированию миниатюрных действующих ракет.

Деревянные макеты ракет можно делать из любой сухой и мягкой древесины. Однако лучше всего для этой цели подходят

ольха, липа и тополь. Сосна менее подходит для изготовления деревянных макетов. Кроме древесины, можно сделать макет из пенополистирола. Он очень легко обрабатывается острым ножом и наждачной бумагой, клеить его нужно специальным kleем для пенополистирола или в крайнем случае — казеиновым. Использование пенополистирола почти вдвое ускоряет изготовление макета.

Перед тем как приступить к изготовлению макета, необходимо начертить возможно более точную схему ракеты в выбранном масштабе. Полезно вырезать из фанеры (толщиной 1 мм) шаблон, представляющий боковой контур ракеты. В этом случае макет будет более точным.

На рис. 3.11 показаны последовательные стадии изготовления макета. После выбора бруска древесины (или пенополистирола) соответствующих размеров обозначим на нем осевую линию (та-

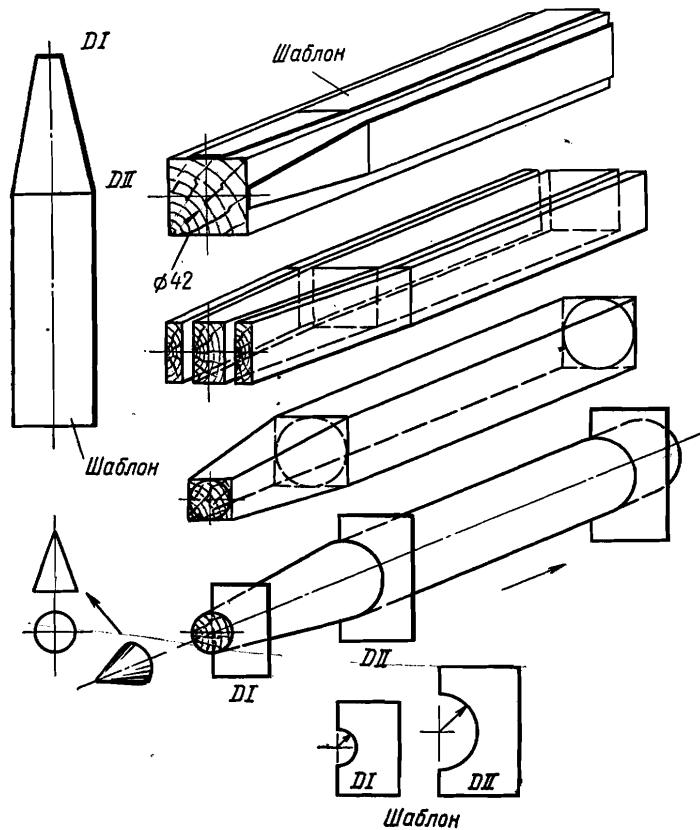


Рис. 3.11. Последовательность изготовления деревянного макета с использованием шаблонов.

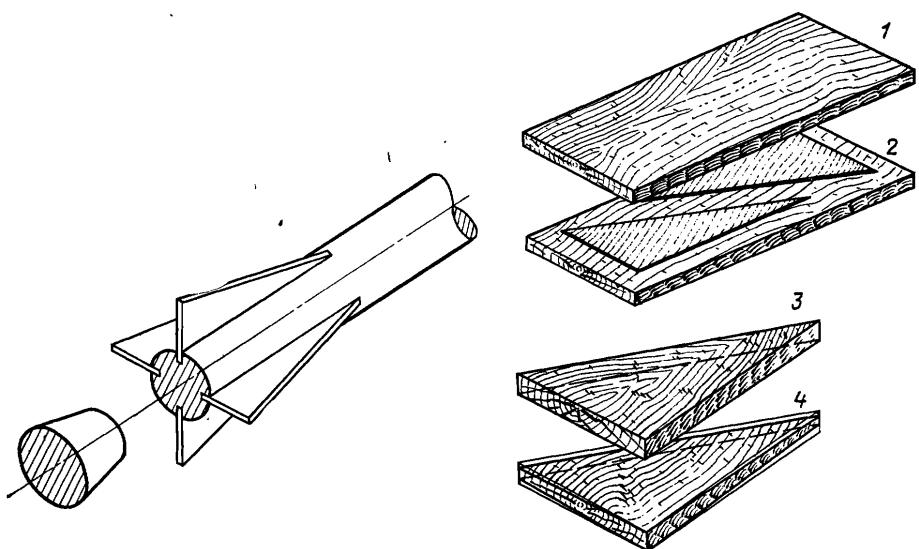


Рис. 3.12. Изготовление и установка стабилизаторов.

1, 2 — вычерчивание контуров на материале; 3, 4 — профилирование пластин.

кую же линию должен иметь наш фанерный шаблон). Затем на боковых поверхностях бруска чертим ручкой или карандашом контуры ракеты, прикладывая вдоль осевой линии фанерный шаблон.

Сначала вырезаем, например, поперечный контур макета, используя для этого короткую столярную пилку-ножовку. Наиболее трудно строго соблюдать вертикальное положение пилки, однако делать это надо обязательно, иначе образец получится неправильной формы. Далее вырезаем боковой контур макета с теми же предосторожностями. Затем на полученной заготовке (на торцах) вычерчиваем кружки, соответствующие переднему и хвостовому диаметрам модели.

Теперь необходимо провести обработку макета при помощи ножа и напильника, обращая внимание на правильность положения и размеров характерных сечений. Большую помощь при этом оказывают шаблоны, вырезанные из картона или фанеры (толщиной 1,5—2,0 мм). Они позволяют контролировать процесс обработки. При изготовлении рассматриваемого макета достаточно двух шаблонов, так как в данном случае имеется только два характерных диаметра. С возрастанием сложности макета количество шаблонов увеличивается.

В полностью обработанном корпусе надо прорезать четыре продольные щели (вдоль оси симметрии), необходимые для крепления стабилизаторов. Сами стабилизаторы можно вырезать из фанеры или шпона (рис. 3.12).

Соплом двигателя в макете может служить пробка. Размеры макета и отдельных его элементов такие же, как в случае рассмотренного выше картонного макета.

Для склеивания элементов деревянного макета годится клей любого типа, склеивающий древесину, однако лучше всего подходит казеиновый клей, применяемый в холодном виде. Для прочного соединения склеиваемые элементы следует держать прижатыми до полного высыхания клея.

Склейенный макет, очищенный от остатков клея мелкозернистой наждачной бумагой, следует покрыть нитролаком желаемого цвета. Покрывать следует тонкими слоями два или три раза, следя за тем, чтобы после каждого раза лак высыпался. Если поверхность макета была хорошо обработана (зачищена), то покрытие получается красивым и блестящим.

Если данный макет входит в некоторую группу макетов (например, для выставки), то его необходимо снабдить деревянной подставкой, на которой сбоку указываются название и технические характеристики ракеты. Это можно написать тушью на куске бумаги и для предохранения ее от загрязнения сверху приклеить кусочек тонкой прозрачной пленки или целлулоида.

Хотя деревянный макет и не имеет многих деталей прототипа, он более полезен, чем картонный, и, что особенно важно, более долговечен.

Масштабные модели. Эти модели в отношении точности изготовления и сходства с оригиналом являются наиболее совершенными из рассмотренных. Их можно еще разделить на *декоративные, учебные и музейные*. Различие между ними незначительное, например декоративная модель может выполнять какую-либо функцию (лампы, пепельницы и т. д.), а остальные различаются только качеством изготовления.

Материалом для этого типа моделей служит в основном дерево или металл, особенно алюминий. Обычно моделист не пренебрегает никакими материалами, из которых можно сделать модель, наиболее близкую к прототипу. По этой причине не стоит отмечать пластмассу (даже отходы), проволоку, картон, жесть, а также фольгу, покрытие из которой имитирует металлические части ракеты.

Однако внешний вид готовой модели почти не зависит от исходного материала, а определяется последней стадией — раскраской. Поэтому для внешнего оформления модели следует использовать хорошие лаки и краски промышленного производства, например нитролак или синтетические (алкидные) эмали.

Готовая модель может быть укреплена на подставке, а еще лучше, на оригинальной неподвижной или подвижной пусковой установке, предназначенной для ракет данного типа.

Часто для учебных целей делают большие модели ракет с частичным разрезом, что позволяет наглядно представить особенности конструкции, например систему подачи топлива, креп-

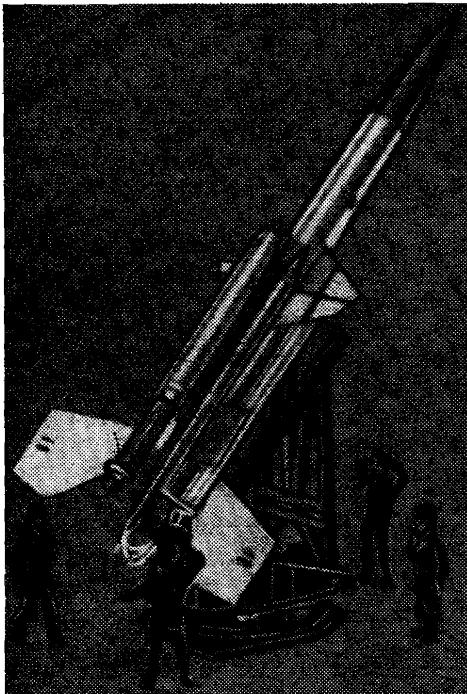


Рис. 3.13. Модель английской ракеты земля — воздух «Бладхаунд» из пластмассы (состоит из 125 деталей).

ление головной части и т. д. Эта разновидность моделей более трудна для изготовления, так как требует от конструктора основательных знаний конструкции и взаимосвязи отдельных частей ракеты.

Теперь следует упомянуть о пластмассовых масштабных моделях, склеиваемых самостоительно из деталей промышленного производства. Модели этого типа изготавливаются довольно точно в выбранном масштабе. Одна из американских фирм предлагает полный набор моделей всех известных типов ракет. Такие модели состоят из большого количества деталей. Например, одна английская фирма предлагает модель ракеты класса земля — воздух «Бладхаунд», состоящую из 125 деталей, включая пусковую установку и ... обслуживающий персонал (рис. 3.13). Высота модели около 330 мм. К деталям, которые имеют естественный цвет алюминия, прилагаются специальные лаки (масляные) и декалькомания, позволяющие в соответствии с оригиналом настичь на модель отличительные знаки.

Монтаж, или, попросту говоря, склеивание соответствующим фирменным kleem пластмассовой модели, проводится очень просто. Следует только точно выполнять инструкцию, представленную по большей части в виде четкой схемы (рис. 3.14). Более требовательный моделист должен будет использовать небольшой игольчатый напильничек (надфиль), чтобы более точно

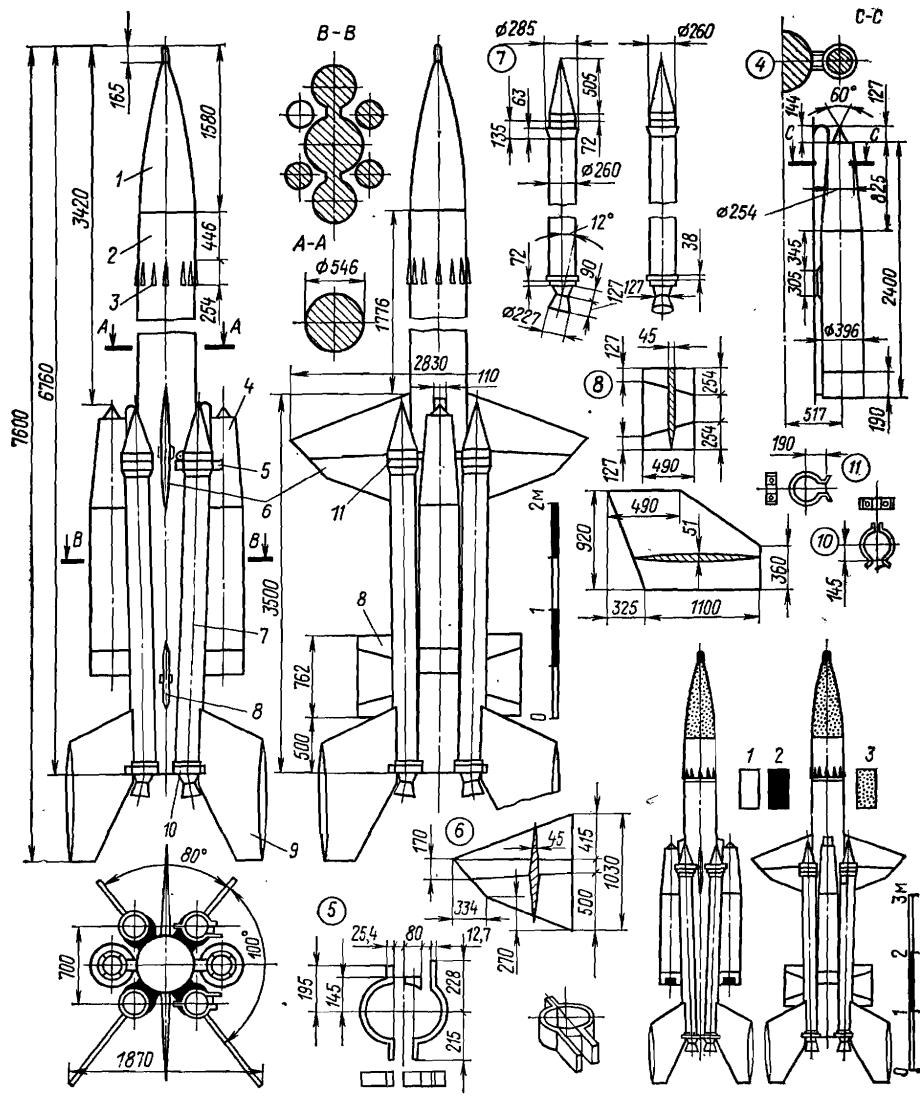


Рис. 3.14. Ракета «Бладхаунд».

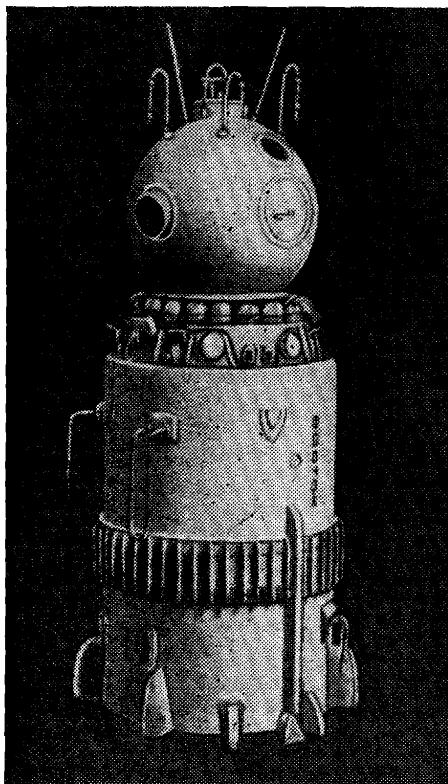


Рис. 3.15. Космический корабль «Восток», на котором летал Юрий Гагарин.

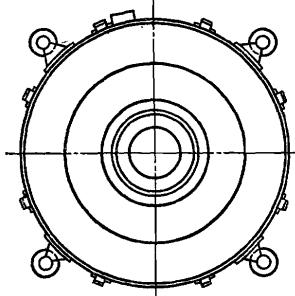
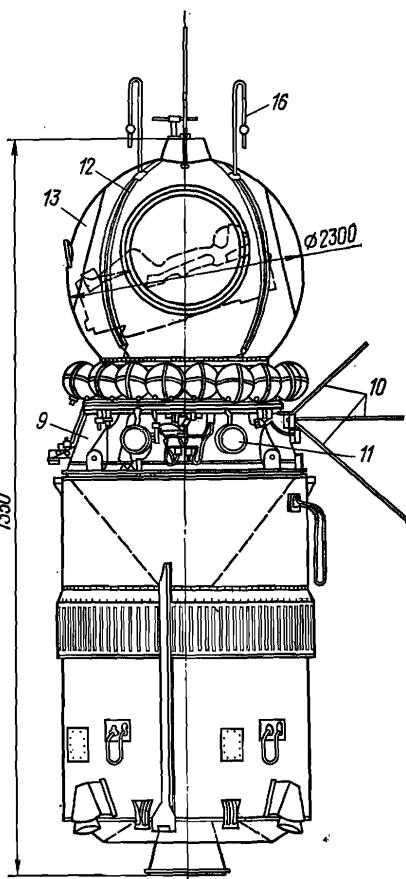
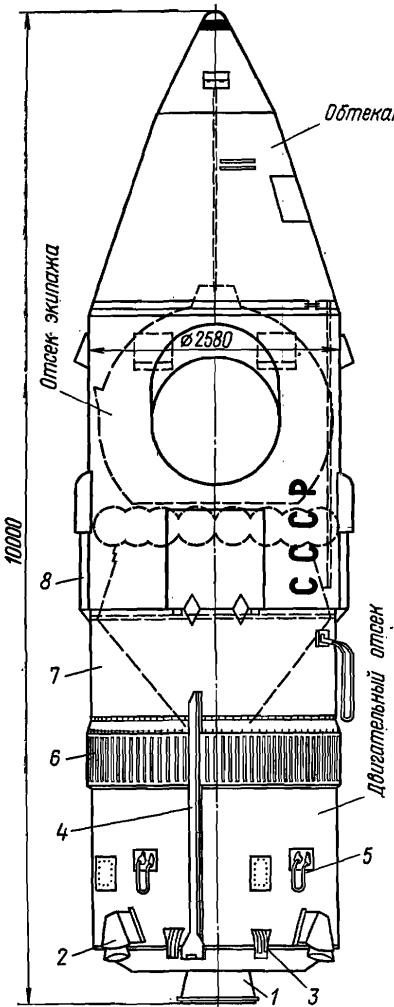
обработать некоторые детали, углубить отверстия и т. д., одним словом, устраниТЬ иногда встречающиеся недоделки серийного производства.

Следует добавить, что кроме типичных ракет выпускаются детали моделей различных космических кораблей, межпланетных станций и искусственных спутников Земли.

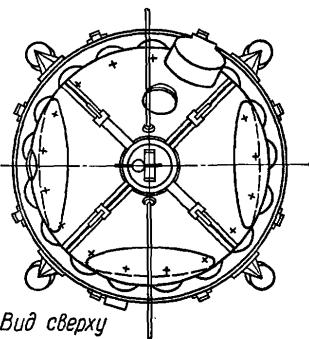
Подборка материалов по ракетно-космической технике. При изготовлении масштабных моделей необходима подручная документация. Мы уже упоминали о важности использования рисунков и снимков. Чтобы найти такую документацию, недостаточно

Рис. 3.16. Модель космического корабля «Восток-1».

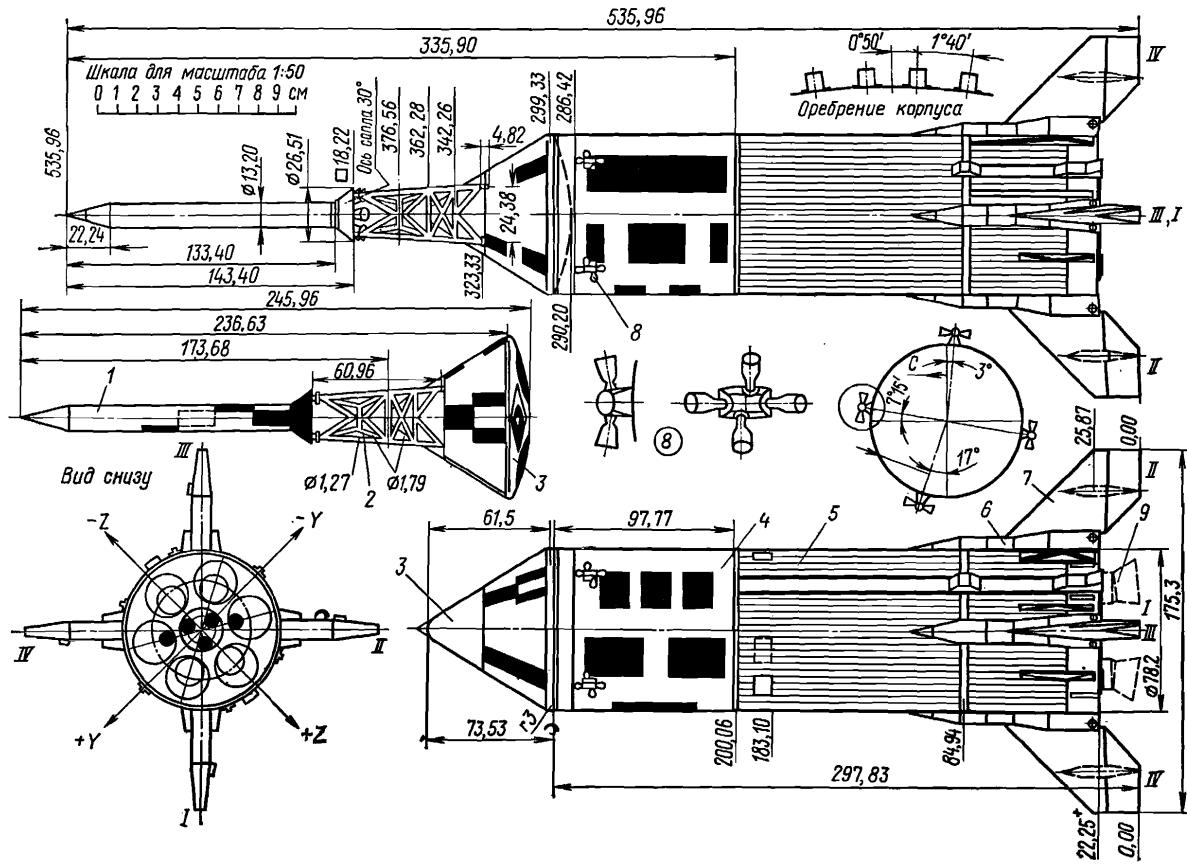
1 — выхлопное сопло двигателя третьей ступени ракеты-носителя; 2 — выхлопное сопло одного из четырех рулевых двигателей; 3 — разъемы последней и второй ступеней; 4 — кабелепровод; 5 — однополюсная высокочастотная антенна; 6 — излучатель тепла с экраном; 7 — последняя ступень ракеты-носителя; 8 — однополюсная высокочастотная антенна; 9 — приборно-агрегатный отсек; 10 — штыревые антенны радиомаяка; 11 — сферические аварийные баллоны с кислородом и сжатым воздухом (16 шт.); 12 — стяжные металлические ленты, удерживающие спускаемый аппарат; 13 — спускаемый аппарат; 14 — кабелепровод; 15 — иллюминатор; 16 — антенны системы командных радиолиний. Цвета: аэродинамический обтекатель — белый, излучатель — серебряный, матовый; кабина — серебряная, надпись «СССР» — красная.



Вид снизу



Вид сверху



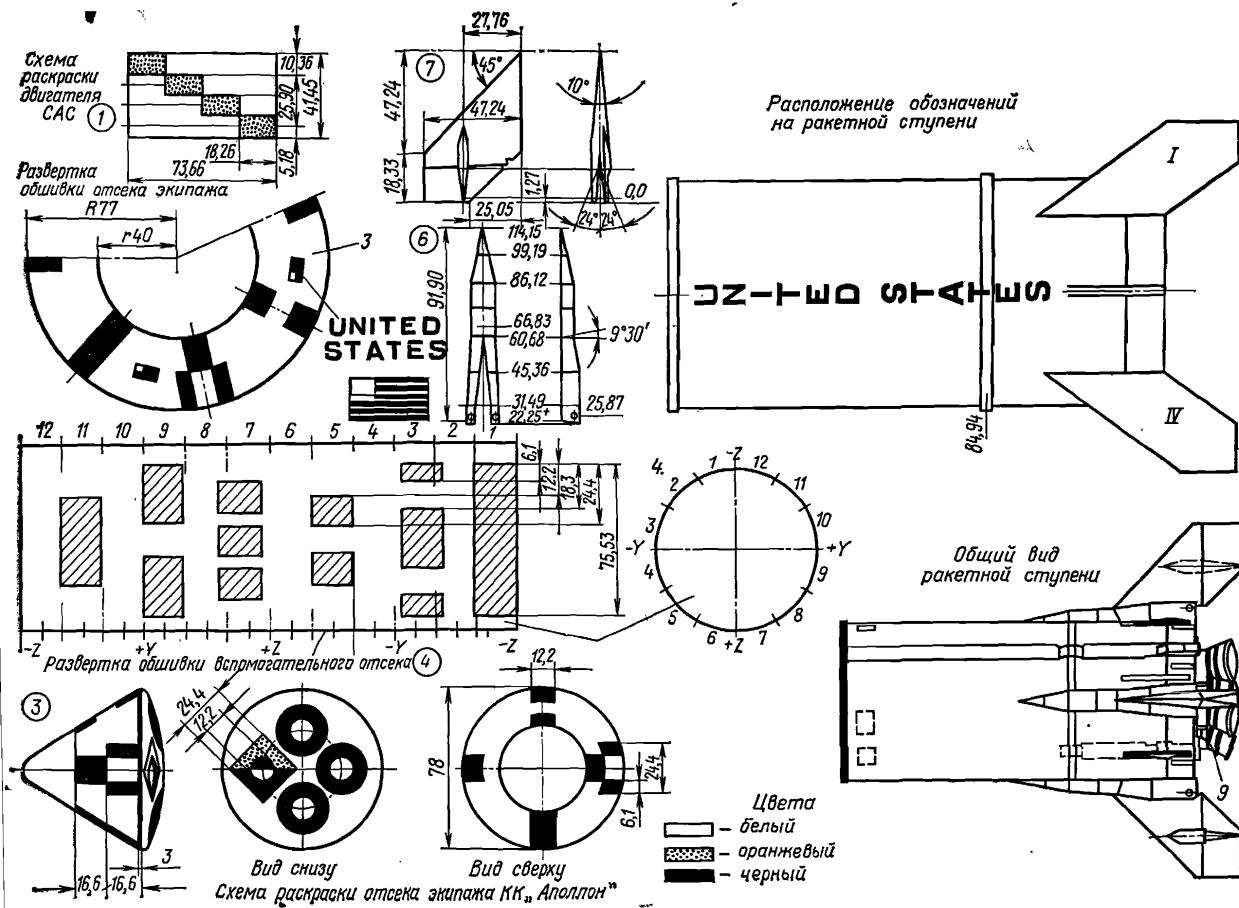


Рис. 3.17. Ракета «Литл Джо-II», на которой проходил первые испытания космический корабль «Аполлон».

1 — двигатель системы аварийного спасения (САС); 2 — ферма двигателя САС; 3 — отсек экипажа космического корабля «Аполлон»; 4 — вспомогательный отсек; 5 — корпус ракеты-носителя; 6 — обтекатели двигателей; 7 — стабилизаторы; 8 — рулевые сопла; 9 — сопла маршевых двигателей. Размеры приведены для модели в масштабе 1 : 50.

или рисунком космического корабля. Практически одной страницы тетрадки обычного формата достаточно для записи подробной информации об одном космическом корабле. В качестве примера составления документации на рис. 3.17 показана ракета-носитель типа «Литл Джо-II». Приведенный на рисунке масштаб позволяет использовать рисунок для целей моделирования. Следует отметить, что очень сложные рисунки можно сфотографировать и увеличить отпечаток до размеров будущей модели ракеты.

2. Летающие модели-игрушки

Такие модели по внешнему виду очень похожи на ракету. Например, легкую модель из папироносной бумаги можно наполнить дымом или теплым воздухом, и, находясь в воздухе, она будет имитировать настоящую ракету.

На рис. 3.18 показана такая модель. Она состоит из нескольких листов папироносной бумаги, склеенных между собой белым растительным клеем. В кормовой части модели приклеены стабилизаторы из картона или из соснового шпона, придающие конструкции жесткость. Донная кромка модели может быть усиlena узким картонным кольцом (шпангоутом).

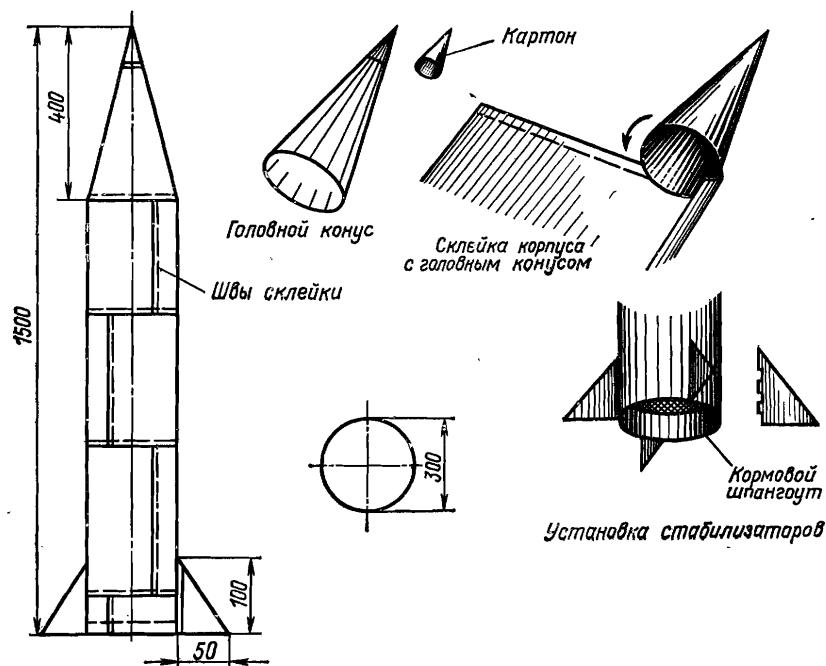


Рис. 3.18. Баллон-ракета, наполняемая теплым воздухом.

1-9 последовательность
изготовления ракеты

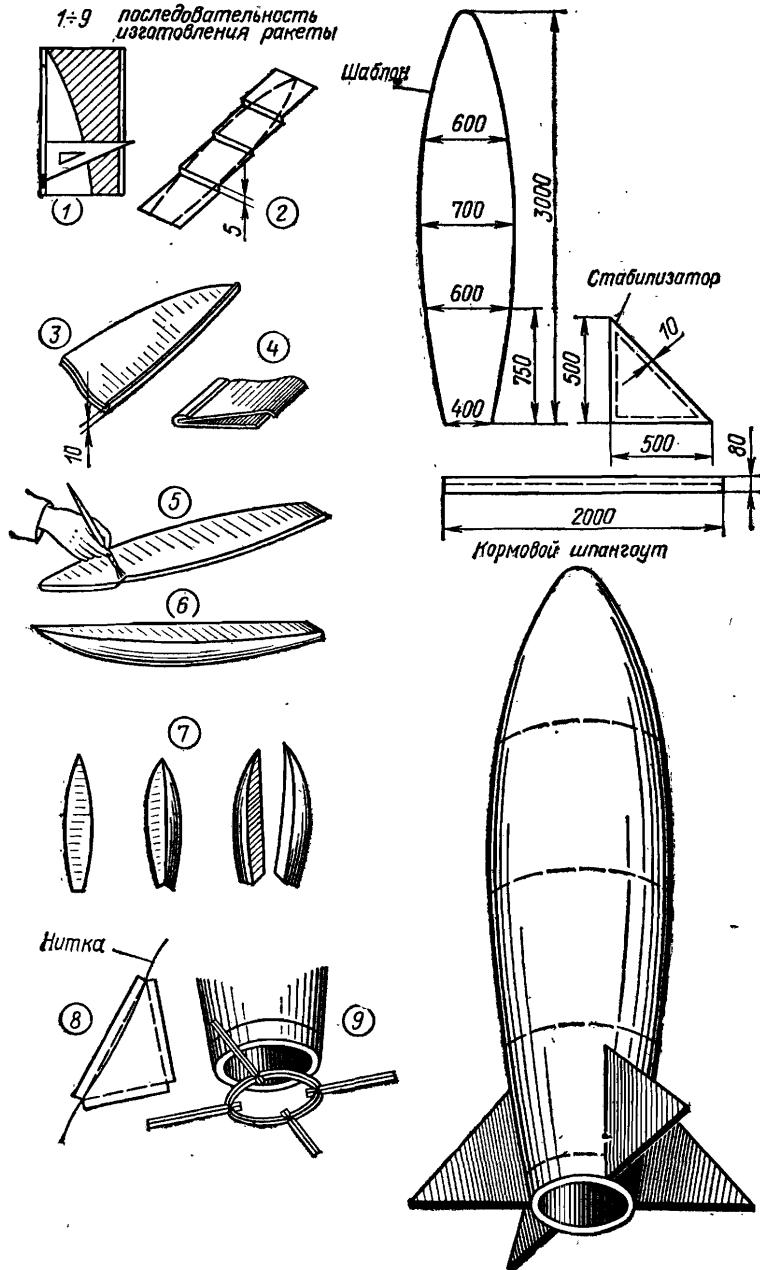


Рис. 3.19. Баллон-ракета другого типа.

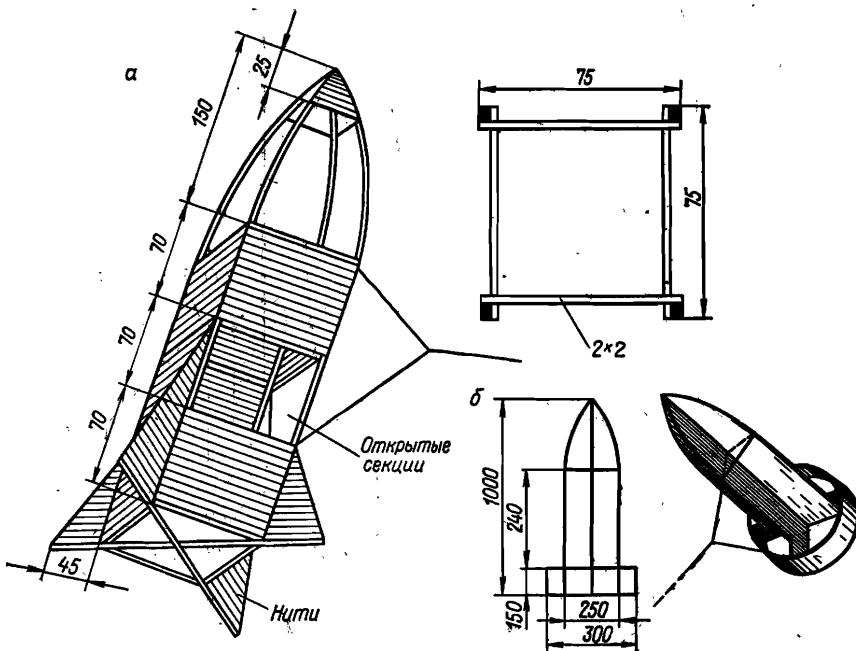


Рис. 3.20. Воздушный змей в виде ракеты (а) и воздушный змей «Восток» (б).

Склейвание лучше всего начинать с корпуса, переходя затем к головной части и к стабилизаторам. Готовую модель (которая должна быть герметичной) поместите над небольшим огнем (спиртовой или керосиновой лампой) и наполните ее теплым воздухом. При этом необходимо иметь двух помощников, которые должны держать модель над источником пламени в вертикальном положении. Входное отверстие расположите не над самим пламенем (модель может сгореть), а на расстоянии 0,5—1,0 м от него. На таком расстоянии воздух нагревается значительно интенсивнее. Когда модель наполнится достаточно теплым газом, который легко окружающего воздуха, она легко выскользнет из рук и начнет подыматься вверх. Если модель при подъеме не сохраняет вертикального положения, то следует немного утяжелить ее нижнюю часть.

Такая модельная баллон-ракета служит не только для забавы; с ее помощью можно получить представление о принципах реактивного движения. При создании подобной модели можно пользоваться описанным выше методом развертки поверхностей вращения. На рис. 3.19 показана баллон-ракета более совершенной формы; там же приведены необходимые размеры.

На рис. 3.20, а представлена модель другого типа. Это коробчатый воздушный змей, которому придали форму ракеты. Для

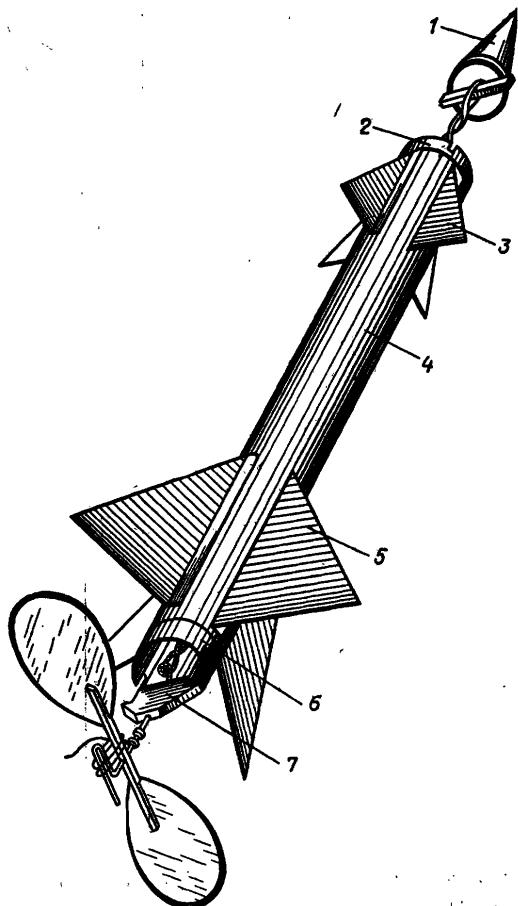


Рис. 3.21. Модель ракеты с резиновым приводом винта (резиномоторным двигателем).
 1 — головная часть;
 2 — переднее кольцо;
 3 — передний стабилизатор;
 4 — корпус;
 5 — хвостовой стабилизатор;
 6 — хвостовое кольцо;
 7 — втулка (бобышка) винта.

изготовления каркаса такого воздушного змея можно использовать сосновый шпон размером 2×2 мм. Обклеивается он тонкой и прочной оберточной бумагой или тонкой тканью, как, например, батист, шелк, нейлон и т. д. Основные размеры воздушного змея приведены на рисунке. Этот змей не имеет хвоста. Устойчивость в воздухе достигается соответствующей рисунку конструкцией боковых поверхностей.

На рис. 3.20, б показана другая модель — воздушный змей, имитирующий космический корабль «Восток». Каркас змея сделан из соснового шпона и оклеен бумагой. Размеры его зависят от возможностей моделиста. Минимальной длиной следует считать 1000 мм при внутреннем диаметре кольцевого оперения 300 мм. К воздушному змейу следует присоединить бумажный хвост, длина которого должна быть примерно в три раза больше длины корпуса, что легко установить опытным путем.

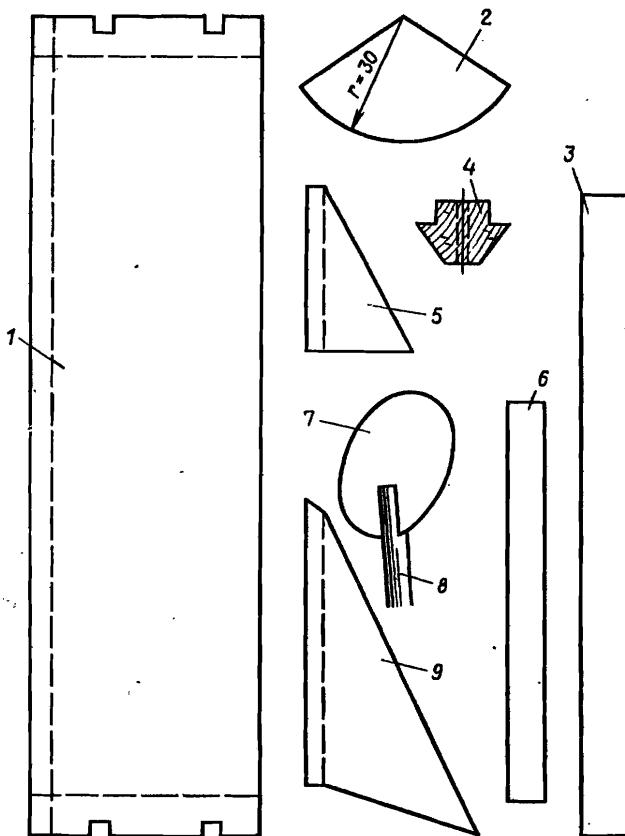


Рис. 3.22. Развортки элементов модели с резиновым приводом винта (1,5-кратное уменьшение).

1 — корпус модели; 2 — головной обтекатель; 3 — хвостовое кольцо; 4 — втулка винта; 5 — передний стабилизатор (4 шт.); 6 — переднее кольцо; 7 — лопасть винта; 8 — ступица винта; 9 — хвостовой стабилизатор (4 шт.).

Очень красиво смотрится летающая модель ракеты, оборудованная резиновым приводом и винтом¹.

Такую модель можно изготовить в течение 2—3 часов. Для изготовления нужны картон, сосновые рейки, проволока, нитки и клей. Модель состоит из конической головной части (картон), цилиндрического корпуса (картон), стабилизаторов (картон), ступицы винта (сосна), втулки (сосна), вала винта (стальная проволока диаметром 0,5 мм) и лопастей винта (картон).

На рис. 3.21 показан общий вид такой модели, а на рис. 3.22 — развертка отдельных элементов. В первую очередь следует скле-

¹ Сконструировал эту модель инструктор Дворца пионеров в Баку В. Матвеев (СССР).

ить корпус. Работу можно облегчить, используя оправку, соответствующую данному внутреннему диаметру модели. На концах корпуса приклейте два картонных кольца; они приадут прочность конструкции. Затем в обозначенных местах приклейте четыре передних и четыре задних стабилизатора, установив их вдоль оси симметрии. Сделайте после этого переднее крепление для резинки (сосна $3 \times 3 \times 25$ мм) и втулку винта, в которой просверлите отверстие диаметром несколько больше диаметра приготовленного проволочного вала. Ступицей винта будет рейка длиной 45 мм и сечением 3×3 мм. Она должна иметь продольные пропилы на концах для вклеивания лопастей винта. Вал винта проходит через втулку и две целлулоидные прокладки, уменьшающие трение. Конец вала необходимо загнуть, привязать к ступице винта нитками и заклеить.

Чтобы лопасти имели достаточную жесткость, склейте их из двух-трех слоев тонкого картона и вставьте в пропилы длиной 15 мм на ступице. Для крепления втулки и зажима резинки сделайте ножом по два выреза в верхней и нижней частях корпуса.

Движущую силу ракете создает закрученная резиновая лента длиной 420—430 мм с поперечным сечением 1×4 или 1×6 мм. Концы резинки привяжите к суровой нити. Полученный «хвост» зацепите за деревянный брусок и крючок на валу винта. Приготовленный таким образом резиномотор слегка смажьте касторовым маслом для уменьшения трения. Резиномотор должен располагаться вдоль оси корпуса и не соприкасаться с его стенками.

Пробный старт проводится после закручивания винта на 50—70 оборотов. Модель запускается вертикально. Если она легкая и сделана правильно, то должна после запуска пролететь 6—8 м.

Глава IV

МОДЕЛИ РАКЕТ БЕЗ ДВИГАТЕЛЯ

1. «Карандашная» ракета

Прежде чем строить модель ракеты с двигателем, целесообразно провести ряд исследований с упрощенными моделями. Приводить их в движение можно, используя энергию растянутой резины. Цель занятий с такими упрощенными моделями — овладение техникой конструирования, знакомство с процессами старта, полета и возвращения моделей на землю.

Схема наиболее простой и небольшой модели, выстреливаемой из резиновой катапульты (рогатки), показана на рис. 4.1. Необходимый материал: карандаш без графита и картон для четырех стабилизаторов. Время изготовления — 15 мин.

Для запуска такой ракеты можно использовать колечко аптечной резинки или маленькую рогатку. Резинку зацепите за стартовый крючок, расположенныйный в передней части корпуса модели. Запускайте модель вверх под большим углом, избегая горизонтальных стартов, чтобы ни в кого не попасть, так как даже небольшая модель без двигателя, выстреленная из рогатки, движется с большой скоростью и может поранить. Поэтому уже с первых пробных стартов соблюдайте как можно большую осторожность, и это требование должно стать правилом, которое необходимо выполнять всегда — и при проведении простейших опытов, и при запусках усовершенствованных моделей.

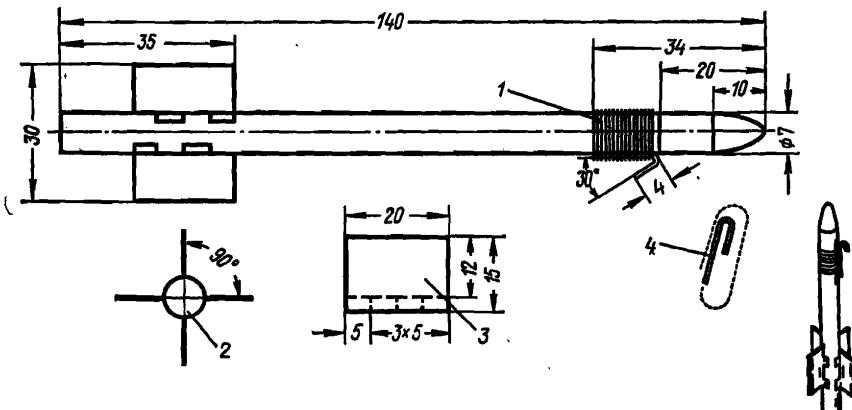


Рис. 4.1. Конструкция «карандашной» ракеты.

1 — крепление стартового крючка; 2 — корпус ракеты (карандаш без графита); 3 — стабилизаторы (картон), 4 шт.; 4 — стартовый крючок (часть канцелярской скрепки, показана пунктиром).

Запуск «карандашной» ракеты производите на пустой площадке, лужайке или в поле, а не в тесном дворе, где большая вероятность попасть в окно, не на узкой улице или в многолюдном месте.

Серия пробных стартов «карандашной» ракеты необходима для того, чтобы, запуская ее под разными углами, определить, в каком случае она достигнет наибольшей высоты, а в каком — пролетит самое большое расстояние. К тому же сразу можно выявить дефекты конструкции; так, если стабилизаторы приклейены неровно, то модель полетит плохо. Она будет нырять в воздухе вместо того, чтобы лететь ровно, как стрела, выпущенная из лука.

2. Две ракеты с автоматическими устройствами

На таком же принципе, что и «карандашная» ракета, летают две другие модели, описание которых приводится ниже. Отличие заключается лишь в том, что они имеют более совершенную форму и оборудованы автоматическим устройством, позволяющим им приземляться на парашюте.

Корпус первой модели делается из липового шпона или бальзы толщиной 0,8 мм. Работу начинайте с изготовления трубчатой средней части. Ее удобнее всего склеивать на деревянной оправке казеиновым kleem. Склейенную конструкцию обмотайте нитками или, еще лучше, резиновой лентой; обмотку оставьте до полного высыхания клея.

Склейенную трубку снимите с оправки и острым ножом вырежьте створки контейнера. Приклейте их полосками шелка, имитирующими петли. Затем выложите куском шелка внутреннюю поверхность контейнера, а края ткани приклейте к краям соответствующих створок. При одновременном открытии обеих створок ткань выпрямится и выбросит помешанный внутри корпуса парашют.

Кроме створок, необходимо еще сделать замок. Он представляет собой изогнутый проволочный рычаг с укрепленным в его средней части свинцовым грузиком (рис. 4.2). Массу грузика следует подобрать таким образом, чтобы при наклоне модели вперед происходило перемещение рычага и при помощи натянутого на корпус резинового амортизатора (сечением 1×4 мм) створки контейнера открывались. Это устройство — наиболее сложная часть модели, требующая от ракетомоделиста большого старания.

Головную часть выточите или выпилите из древесины (тополь или сосна). К ней прикрепите стартовый крючок. На хвостовой части модели смонтируйте пробку и вклейте три стабилизатора в надрезы корпуса, обращая внимание на то, чтобы они были расположены симметрично.

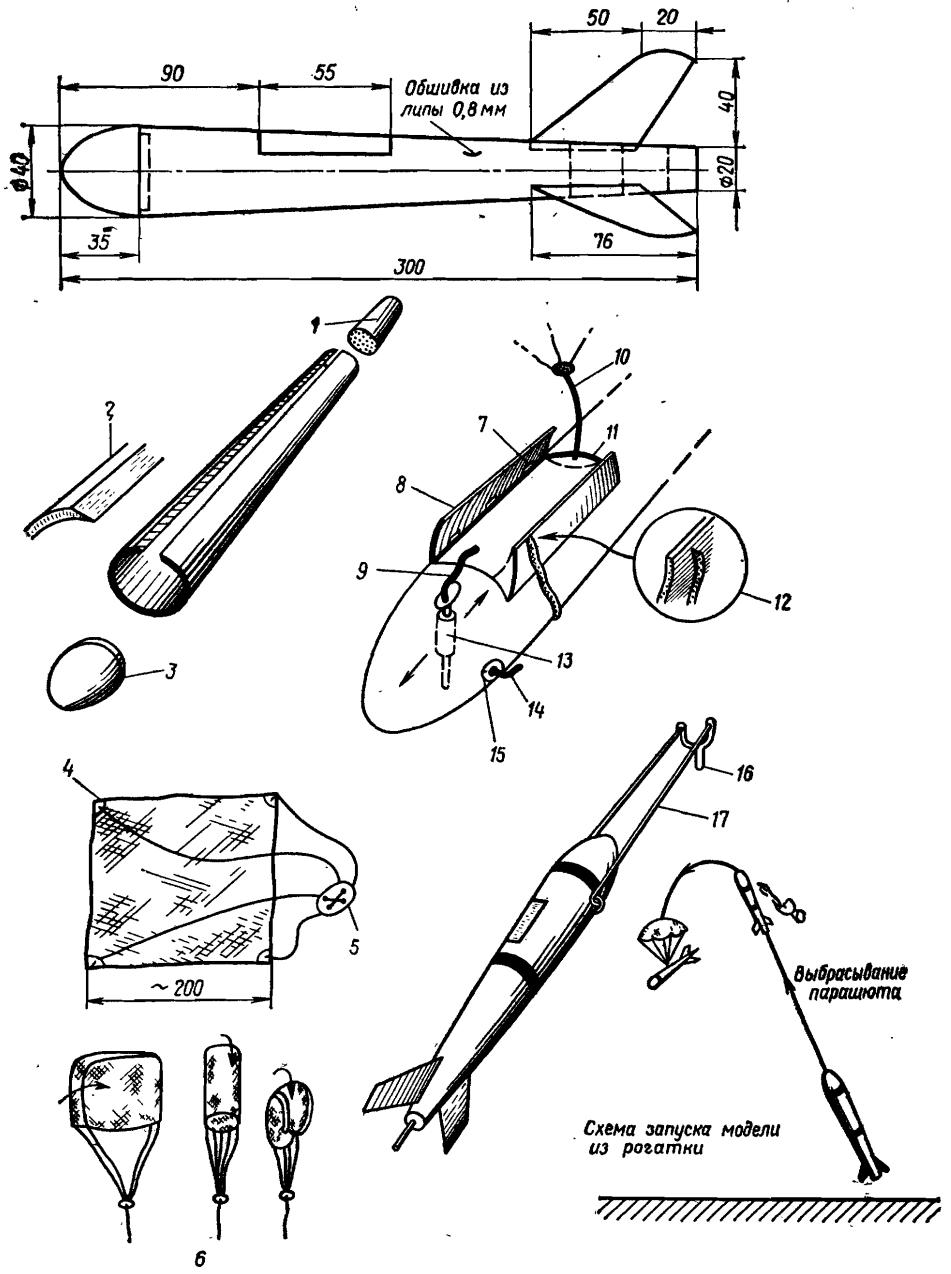


Рис. 4.2. Модель ракеты из липового шпона.

1 — пробка; 2 — узел склейки корпуса; 3 — головная часть (сосна); 4 — парашют (нейлон, шелк); 5 — шайба (целлулOID); 6 — складывание парашюта; 7 — петля (шелк); 8 — створки контейнера; 9 — рычаг замка (проводолока диаметром 0,8—1,0 мм); 10 — стропа парашюта; 11 — ткань; 12 — крепление резинового амортизатора (1×4 мм); 13 — свинцовый грузик; 14 — стартовый крючок (стальная проволока диаметром 1 мм); 15 — шайба (целлулOID); 16 — рогатка; 17 — резина.

Парашют с квадратным куполом, сторона которого равна 200 мм, сделайте из плотной легкой ткани (например, из тонкого нейлона, фуляра и т.п.) и приклейте к его четырем углам стропы (нити) длиной 250 мм каждая. Концы строп сходятся в одной точке — узле, для которого удобно использовать маленькую пуговицу. Из пуговицы выходит только одна нить, которая надежно прикрепляется к корпусу непосредственно под крышкой контейнера. Аккуратно сложите купол парашюта (рис. 4.2), обмотайте стропами, поместите его в контейнер, задвиньте рычаг замка и наденьте резиновый амортизатор на крючки.

Модель готова к старту. Теперь зацепите резину рогатки за стартовый крючок и запустите ракету в воздух. По достижении моделью определенной высоты, как только ее головная часть наклонится относительно центра тяжести вниз, грузик рычага передвинется и замок освободит створки контейнера, из которого будет выброшен парашют. Он наполнится воздухом, и модель плавно опустится на землю.

Чтобы быть уверенным, что створки обязательно раскроются и модель повиснет на парашюте, необходимо отрегулировать на земле работу замка, натяжение амортизатора и открытие створок контейнера.

Описанная модель очень устойчива в полете и после запуска из обычной резиновой катапульты достигает высоты 20—30 м.

Модель другой конструкции показана на рис. 4.3. Для ее изготовления можно использовать пенопласт, из которого сделайте корпус, а головную часть выточите из липы. Стабилизаторы вырежьте из липового шпона толщиной 0,8 мм. Пенопласт легко режется накаленной реостатной проволокой или лобзиком. Пилка с реостатной проволокой более удобна и дает лучшие результаты. На рис. 4.4 показана простейшая пилка для разрезания пенопласта и способ ее использования при изготовлении корпуса ракеты. В хвостовой части корпуса вырежьте полость, в которую будет помещен парашют вместе с автоматическим устройством, вытягивающим купол.

Для склеивания пенопласта лучше всего использовать клей ПВА. К передней части модели прикрепите два стартовых крючка. Готовый корпус обклейте тонкой тканью или бумагой, что значительно упрочнит конструкцию, так как пенопласт очень хрупок. Затем покройте корпус слоем бесцветного лака.

Стропы парашюта с квадратным куполом закрепите в цилиндре из пенопласта, который, как поршень, должен без усилия входить в отверстие контейнера. После укладки купола в контейнер закройте его упомянутым цилиндром, к которому прикрепите резиновый амортизатор. Цилиндр закрепите шпилькой, а амортизатор натяните. Когда в момент старта шпилька удаляется, амортизатор вытягивает цилиндр, который выходит из отверстия, вытягивая за собой купол парашюта. Этот процесс продолжается в те несколько секунд, в течение которых модель

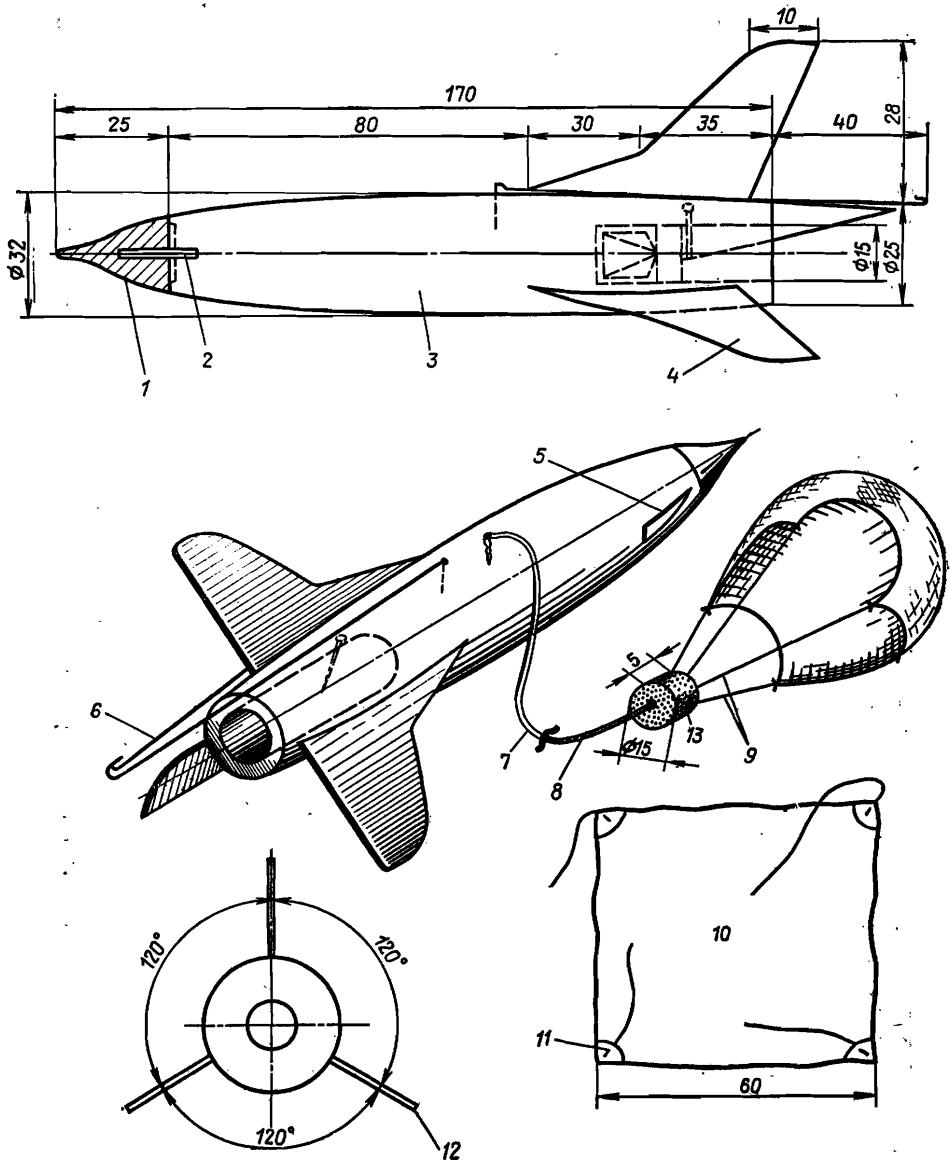


Рис. 4.3. Ракета из пенопласта для запуска из рогатки.

1 — головная часть (липа); 2 — стартовый крючок (фанера); 3 — корпус (пенополистирол); 4 — оперение (фанера толщиной 0,8 мм); 5 — стартовый крючок (2 шт.); 6 — держатель (стальная проволока диаметром 0,5 мм); 7 — резина 1×4 мм; 8 — суровая нить; 9 — стропы парашюта (суровая нить); 10 — купол парашюта; 11 — упрочняющие уголки из ткани; 12 — расположение стабилизаторов на корпусе (вид спереди); 13 — цилиндр (пено-пласт).

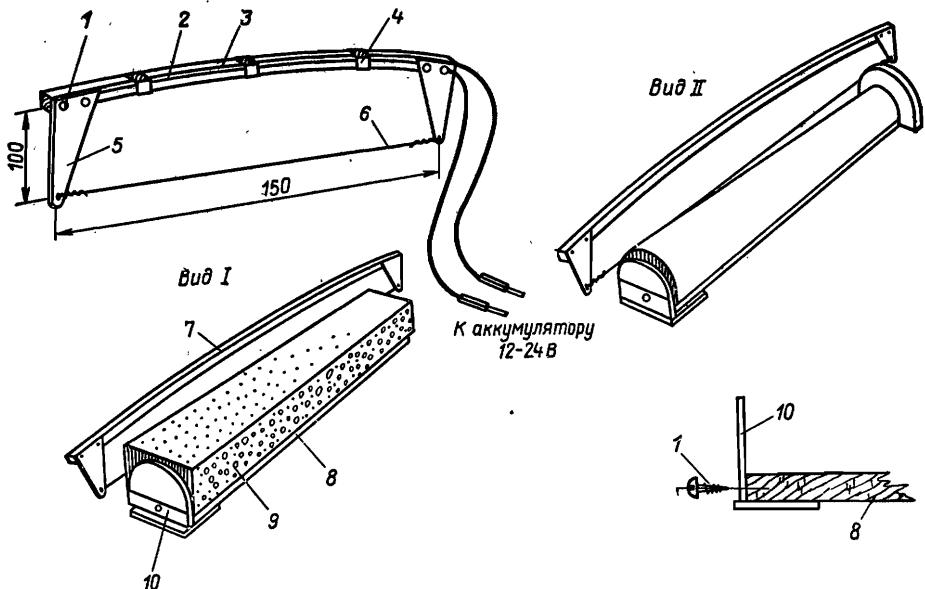


Рис. 4.4. Пилка для разрезания пенопласта.

1 — шуруп M3; 2 — провод; 3 — рейка (сосна 10×10 мм); 4 — лейкопластырь; 5 — алюминиевая пластина (толщина 1,5 мм); 6 — реостатная проволока (0,2 мм); 7 — электрическая пилка в сборе; 8 — деревянная подставка; 9 — кусок пенопласта; 10 — металлический шаблон.

достигает определенной высоты, затем парашют раскрывается и ракета начинает спускаться. Натяжение амортизатора, посадку цилиндра в контейнер и устройство в целом отрегулируйте таким образом, чтобы парашют открывался в тот момент, когда траектория полета ракеты достигнет максимальной высоты. Несколько проб перед стартом дают возможность полностью отрегулировать работу автомата. Когда цилиндр сотрется, его можно заменить новым или немного увеличить диаметр, оклеив его полоской бумаги.

3. Ракета на пусковой установке

Вместо резиновой катапульты в виде рогатки можно сделать специальную пусковую установку, которая своим внешним видом будет напоминать настоящий стартовый комплекс.

Схема простейшей неподвижной пусковой установки показана на рис. 4.5. Она состоит из рейки поперечным сечением 20×20 мм и длиной около 600 мм (для модели длиной около 250 мм). В верхней части пусковой установки смонтированы крючки, удерживающие натянутую резину. Рейка устанавливается под углом 80—85° и заделывается в деревянную подставку, жестко закрепленную на земле. В нижней части модели ракеты

вмонтирован крючок. Такие же крючки имеются вблизи головной части модели, а также на деревянной подставке (в случае больших ракет такая подставка носит название стартового стола).

Теперь о порядке проведения старта. Свяжите крепкой нитью два нижних крючка: на модель и на подставке (рис. 4.5). При этом нить охватывает стартовый шнур из хлопчатобумажной ткани длиной несколько сантиметров (лучше всего использовать белый шнурок для спортивной обуви). За верхний крючок, расположенный на головной части модели, зацепите резиновую ленту (сечением 1×4 мм), надежно привязанную двумя концами к крючкам, находящимся на рейке пусковой установки.

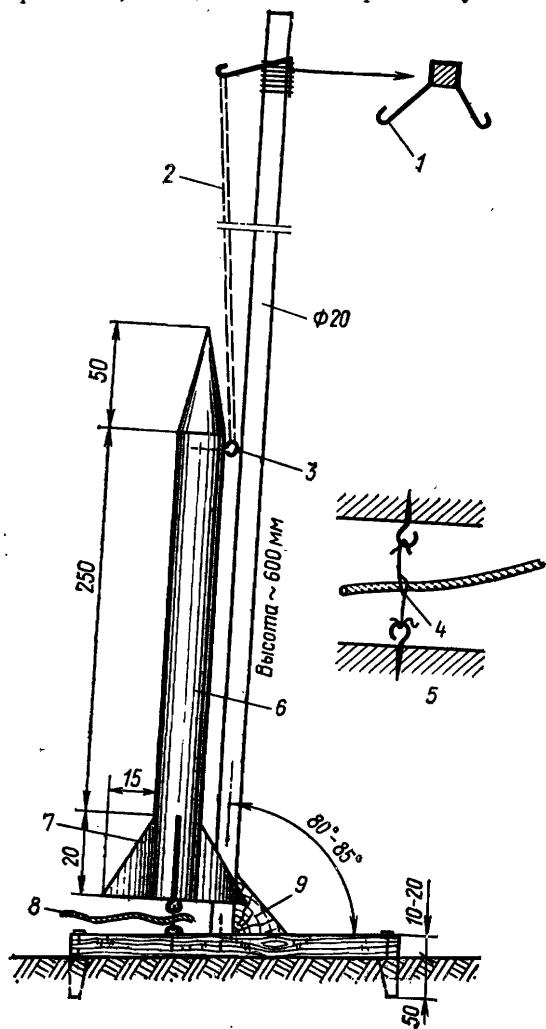


Рис. 4.5. Неподвижная пусковая установка с резиновой катапультой.

1 — стартовый крючок (стальная проволока диаметром 2 мм); 2 — резина (1×4 мм); 3 — крючок на модели (шуруп); 4 — петля из нити; 5 — крепление шнуря; 6 — модель ракеты; 7 — четыре стабилизатора; 8 — шнур; 9 — подставка.

Старт проводится автоматически. После поджигания шнур начинает постепенно тлеть и в конце концов пережигает нить, связывающую модель с подставкой. Модель под действием натянутой резины стартует, поднимаясь на определенную высоту, которая зависит от силы натяжения резины и массы модели.

Описанный процесс старта облегчает наблюдение за траекторией полета ракеты и помогает соблюдать при этом меры предосторожности. Известно, что камень, выстреленный из рогатки, может стать причиной несчастного случая. Это относится также и к модели ракеты. Поэтому для старта необходимо тщательно выбирать место. Оно должно быть расположено вдали от окон и зданий и на большом расстоянии от легко воспламеняющихся материалов, так как модель в полете не управляема и может упасть в самом неожиданном месте. К тому же необходимо иметь в виду, что тлеющий стартовый шнур не остается на подставке, а летит вместе с ракетой. Поэтому необходимо соблюдать практический совет: длина шнура должна быть определена опытным путем перед стартом, чтобы было известно, как быстро горит шнур (предпочтительно, чтобы он горел в течение ~ 15 с со скоростью 5—10 мм/с).

Перед зажиганием шнура надо предупредить зрителей, чтобы они отошли на безопасное расстояние (за пределы дальности действия запускаемой модели), и только затем приступить к самому процессу запуска. Пятнадцать секунд, в течение которых горит шнур, вполне достаточно, чтобы удалиться от стартовой площадки на безопасное расстояние для наблюдения.

4. Ракета с электрическим воспламенителем

Теперь можно сделать модель ракеты, запускаемую дистанционно с помощью электрического воспламенителя. При этом приобретаются некоторые навыки «стартовой команды». Они пригодятся при запуске ракет более сложной конструкции.

Работу начните с вычерчивания в масштабе 1:1 отдельных деталей пусковой установки в соответствии с размерами, определенными по общему рисунку. Стартовая вышка состоит из двух продольных реек (длиной 700 мм и сечением 4×8 мм) и распорок между ними того же поперечного сечения. Основанием стартовой вышки служат две фанерные подставки. Подготовив все детали, склейте вышку, как показано на рис. 4.6, непосредственно на поле чертежа, подкладывая под склеиваемые места кусочки папиросной бумаги, чтобы после высыхания клея бумага чертежа не приклеилась к каркасу вышки. Для склеивания можно использовать как столярный, так и готовые быстросохнущие клеи. Стартовый стол, на котором крепится стартовая вышка, можно сделать из фанеры или доски размерами $150 \times 200 \times 20$ мм. На подставке вырежьте два отверстия разме-

ром 4×8 мм, в которые вставьте направляющие рейки, подкрепляя стартовую вышку фанерными опорными элементами размером 80×30 мм. После высыхания клея в верхней части вышки закрепите скобу для резинового амортизатора. Лучше всего ее выгнуть из стальной проволоки диаметром 2 мм и прикрепить к задней направляющей рейке при помощи лоскутка ткани. Это делается для того, чтобы после старта, когда ракета выбрасывается резиновым амортизатором, скоба могла отскочить вверх и затем книзу, не мешая движению модели.

Корпус модели лучше всего делать из чертежной бумаги или тонкого картона, склеенного из двух слоев на цилиндрической оправке. Длина корпуса должна быть 200—250 мм, диаметр 20—25 мм. Конический головной обтекатель также вырежьте из картона, вставляя круглую перегородку-распорку в верхнюю часть корпуса. Стабилизаторы, склеенные из двух слоев картона, вклейте крест-накрест в вырезанные на корпусе отверстия (способом, показанным на рис. 4, б). В верхней части корпуса (на расстоянии 20 мм от головной части) вырежьте отверстия и вклейте два маленьких стабилизатора, которые при запуске выполняют функции стартовых крючков резинового амортизатора. Эту модель следует также снабдить парашютом, купол которого вырезается из легкой ткани. Размер купола 100×100 мм, а длина строп 150 мм. Концы строп приклейте к дну головной части модели.

Схема раскрытия парашюта такова. Верхняя часть корпуса модели оклеена полоской картона, кромка которого выступает на 2 мм. Это придает жесткость креплению головной части. К выступающей кромке прикрепите диаметрально две перекрещивающиеся резинки. От перекрестья резинок вдоль оси модели протяните сурцовую нить или леску длиной 200—250 мм. Если потянуть за нить, то резинки втянутся внутрь корпуса и освободят место для свернутого купола парашюта. Если же отпустить нить, то резинки, подобно рогатке, выбросят купол, соединенный с головной частью. Таким образом головная часть спускается на парашюте отдельно от корпуса.

Конец нити, освобождающей парашют, привяжите к скрепке или проволочному колечку, которое поместите в донной части корпуса модели. После этого тщательно сверните купол парашюта, вложите его в корпус и зацепите амортизаторы пусковой установки (4 резиновые ленточки сечением 1×4 мм), а скрепку соедините натянутой нитью с крючком или скобой, закрепленной в стартовом столе. Если оборвать соединительную нить, то амортизаторами пусковой установки модель будет выброшена вверх, а под действием натянутых резинок, размещенных внутри корпуса, головная часть отделяется от летящей модели вместе с парашютом. Однако обрывать нить нецелесообразно, лучше пережечь ее при помощи простой электрической системы запуска.

Такая система состоит из тонкой реостатной проволоки в виде

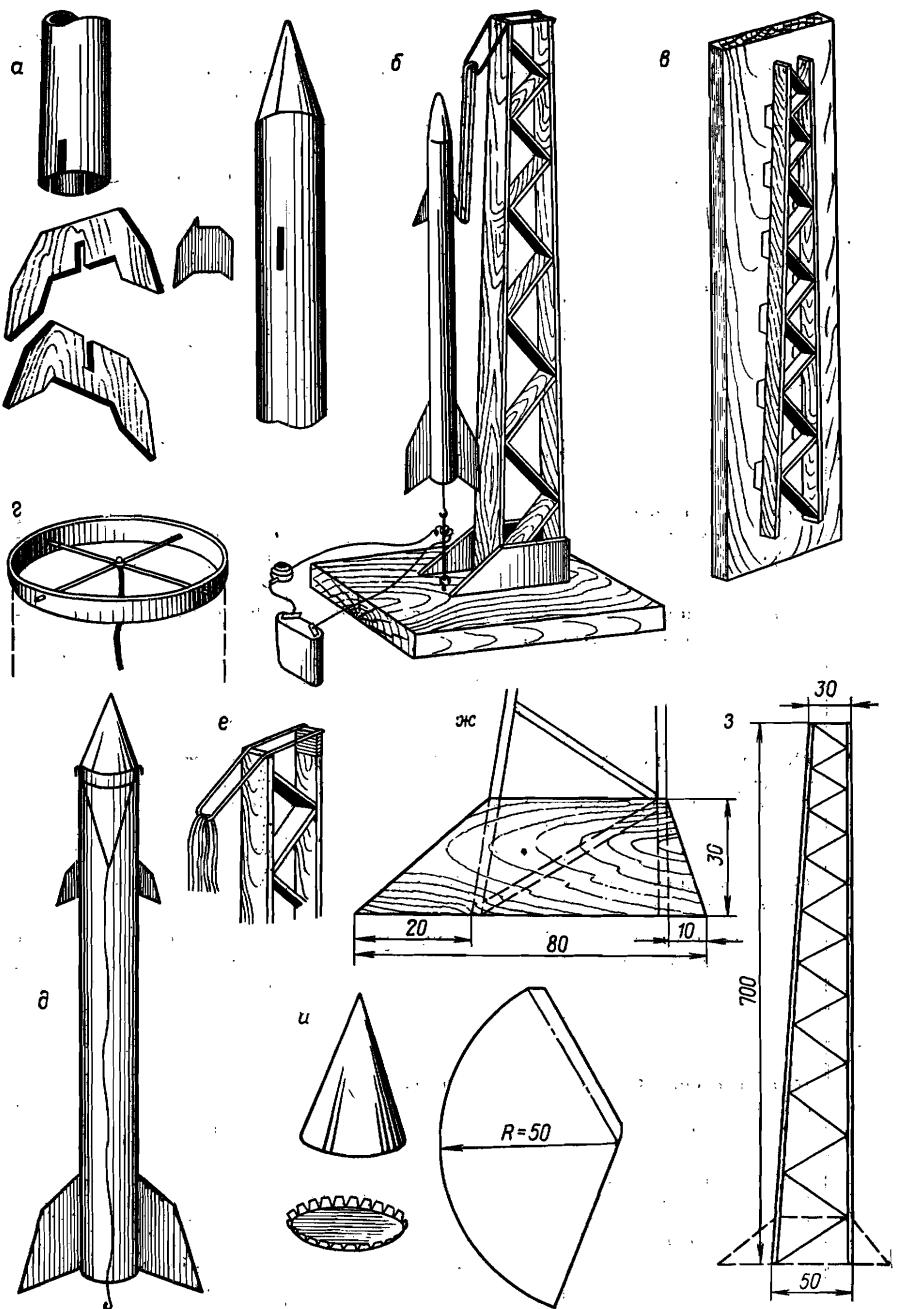


Рис. 4.6. Ракета с дистанционной системой зажигания.

а — конструкция стабилизаторов и стартового крючка; **б** — модель на пусковой установке; **в** — сложенная пусковая установка; **г** — устройство для выброса парашюта; **д** — модель ракеты; **е** — скоба амортизатора; **ж** — стартовый стол (подставка); **з** — пусковая вышка; **и** — изготовление головной части.

Таблица 4.1

Типичные неполадки при старте моделей ракет с резиновой катапульты и способы их устранения

№/п. №	Неполадки	Причины	Способ устранения
1	Модель цепляется стабилизатором за развилку рогатки	Модель неправильно выброшена	В момент отпускания резины рука, держащая модель в рогатке, должна сделать движение вниз
2	Модель сразу после старта падает на землю	Неправильный старт: слишком слабое натяжение резины или неверный угол старта	Увеличить силу натяжения резины или установить угол старта порядка $60-80^\circ$ по отношению к горизонту
3	Модель после старта сильно забирает в сторону	Помят стабилизатор или загнут его задний край	Исправить стабилизатор, установив его симметрично, или заменить на новый
4	Модель «ныряет» после выстреливания из рогатки	Возможно, стабилизатор засел за развилку рогатки; ракета неправильно вывешена (отцентрована)	Повторить старт; в случае повторной неудачи изменить положение центра тяжести при помощи регулировочного груза
5	Модель летит по своей траектории, только боком, а не головной частью вперед	Мала поверхность стабилизаторов или неправильное положение центра тяжести	Увеличить поверхность стабилизаторов или несколько утяжелить головную часть, например, свинцовой дробью
6	Модель не приземляется головной частью	То же	То же
7	Парашют открывается сразу после старта	Неправильно установлен замок	Отрегулировать замок в пробных полетах таким образом, чтобы парашют открывался в наивысшей точке траектории
8	Модель очень быстро опускается на раскрытом парашюте	Слишком мала площадь поверхности купола парашюта	Увеличить размеры купола парашюта опытным путем
9	Купол парашюта сворачивается, делая невозможным плавное приземление ракеты	Плохо сложены купол и стропы; слишком помята ткань и стропы тесно к ней прижаты	Сложить свободно купол парашюта и стропы и путем выбрасывания из отсека проверить, будет ли парашют сам раскрываться

Продолжение табл. 4.1

№ п/п	Неполадки	Причины	Способ устранения
10	Резиновые амортизаторы рогатки (ката-пульты) внезапно лопаются	Плохая резина, слабо привязана или повреждена	Поставить новые амортизаторы; резину надо хранить в темном месте и пересыпать ее тальком (чтобы ленты не склеивались, их можно смазать касторовым маслом)
11	Воспламенительный шнур не зажигается совсем или местами слабо тлеет	Шнур влажный или из неподходящего материала (например, из нейлона)	Шнур необходимо положить на несколько десятков минут в раствор селитры в воде и затем основательно высушить
12	Модель не достигает большой высоты	Малое натяжение резины или небольшое ее поперечное сечение; неверно выбран угол старта	Увеличить натяжение; увеличить количество или толщину резинок; чем ближе угол старта к 80° , тем на большую высоту поднимется ракета (максимальную дальность можно достичь, выстреливая модель под углом 45°)
13	Модель разворачивается в полете и может упасть на моделиста	Слишком большой угол старта и модель теряет устойчивость	Уменьшить угол старта; запускать модель всегда по направлению ветра
14	Модель сносится ветром	Слишком сильный ветер для старта	Проводить старт при скорости ветра, не превышающей 5 м/с
15	Модель после старта исчезает из поля зрения и ее трудно отыскать	Отсутствует наблюдатель, следящий за падением ракеты; ракета не ярко раскрашена или ее цвет совпадает с цветом фона (не следует ракету красить также в красный, оранжевый и черный цвета)	Внимательно следить за ракетой от момента старта до момента падения; заметить, на какой линии искать модель, выравнив какую-нибудь характерную точку на горизонте (например, трубу, дерево, дом и т. д.) и следить за тем, чтобы во время поиска не сбиться с «курса»

спирали (хромоникелевой, например от небольшого паяльника на 6—12 В), куска двужильного провода длиной 2—3 м, выключателя и батарейки (4,5 В). Если при помощи выключателя замкнуть цепь, то нагретая спираль пережжет нить и модель освободится. Длину и толщину проволоки легко определить опытным

путем, подбирая ее таким образом, чтобы она как можно быстрее нагревалась от батарейки карманного фонаря.

Подобные электрические системы используют и для запуска моделей ракет с двигателями.

5. Стабилизация полета Модели ракеты

Для рассмотренных моделей ракет характерна одна общая черта: они не имеют собственного двигателя и не управляемы в полете. Однако они оборудованы стабилизаторами и сконструированы таким образом, что во время полета автоматически сохраняют равновесие, то есть устойчивы. Поэтому при изготовлении модели следует обратить особое внимание на точность изготовления отдельных деталей и сборки модели. Это в большой степени касается стабилизаторов, которые должны быть прямыми и не должны деформироваться после приземления ракеты.

Перед каждым стартом необходимо осмотреть модель, не искривился ли корпус, не отделилась ли от него какая-либо деталь или полезная нагрузка.

В табл. 4. 1 перечислены наиболее часто встречающиеся неполадки во время старта моделей ракет с резиновой катапульты и способы их устранения.

Глава V

ПРОСТЕЙШИЕ МОДЕЛИ РАКЕТ С ДВИГАТЕЛЯМИ

1. Воздушно-гидравлическая модель ракеты

Воздушно-гидравлическая модель относится к типу простейших в ракетомоделизме. Ее характеризует простота конструкции и эксплуатации. Эта модель дает возможность проводить множество различных опытов и, что самое главное, позволяет наглядно познакомиться с действием реактивного двигателя. Воздушно-гидравлическую ракету можно построить самому или воспользоваться готовой моделью промышленного производства.

На рис. 5.1 показана такая модель, изготовленная в ГДР. Полная длина ее равна 260 мм, диаметр — 40 мм. Материал — пластмасса толщиной 1,5 мм. Ракета состоит из резиновой головки, вставленной в верхнюю часть корпуса, трех цилиндрических секций, соединенных встык, и трех стабилизаторов, составляющих одно целое с нижней секцией корпуса. Средняя часть корпуса сделана из прозрачной пластмассы, что позволяет контроли-

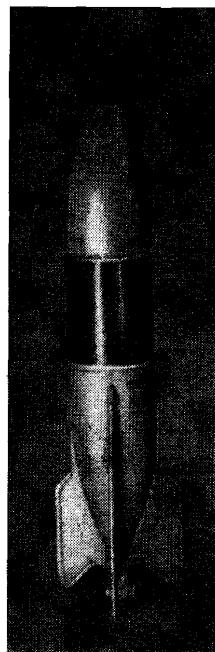


Рис. 5.1. Воздушно-гидравлическая модель ракеты промышленного изготовления.



Рис. 5.2 Подготовка к старту и запуск воздушно-гидравлической ракеты.
а — заправка водой; б — нагнетание воздуха при помощи насоса; в — открывание крана на сопле путем натягивания шнуря; г — ракета летит.

ровать наполнение модели «топливом» — водой. В нижней секции корпуса ракеты вмонтирована пластмассовая втулка, которая выполняет роль сопла и используется для подвода воздуха с помощью компрессора.

Компрессор, одновременно являющийся катапультой, представляет собой насос, подобный тем, которые применяются для накачивания футбольных мячей. Различие заключается в том, что он оборудован другим наконечником — втулкой того же диаметра, что и выходное отверстие сопла модели. На втулку насанено резиновое кольцо, которое обеспечивает необходимую герметичность соединения. Кроме того, на наконечнике имеется кран,

соединяющий модель с компрессором, для наполнения ее водой. Кран открывается при помощи рычага шнуром, на конце которого для удобства завязан узелок. В комплект входит пластмассовая воронка, облегчающая наполнение модели водой. Масса модели (пустой) — 45 г. Стартовая масса модели (наполненной водой на $\frac{1}{3}$ емкости бака) — 100 г.

На рис. 5.2 показаны предстартовые приготовления. В соответствии с инструкцией надо наполнить водой нижнюю секцию, что составляет приблизительно $\frac{1}{3}$ емкости всего корпуса. После этого подсоедините насос, поставьте ракету в вертикальное положение и начните накачивать воздух. Согласно инструкции, ручкой насоса необходимо сделать 15 движений. Практически можно сделать около 20 движений, но это потребует заметных физических усилий. Кроме того, несоблюдение приведенных в инструкции рекомендаций может привести к повреждению ракеты, разделению секций или отсоединению сопла. Величина допустимого давления в корпусе ракеты составляет 1—1,2 атм.

Как уже говорилось, ракета должна быть наполнена водой в строго указанном количестве. Опытным путем легко убедиться, что заливать слишком много воды, как и слишком мало, не стоит, так как в первом случае для воздуха остается слишком мало места, а во втором — слишком много. Тяга двигателя в этих случаях будет очень слабой, а время работы — непродолжительным. При открытии крана сжатый воздух начинает выбрасывать воду через сопло, в результате чего возникает тяга, и ракета развивает соответствующую скорость (около 12 м/с). Следует иметь в виду, что на величину тяги влияет также площадь поперечного сечения сопла. Тяга, уменьшающаяся по мере выбрасывания воды, позволит ракете достигнуть высоты 30—50 м.

Несколько пробных запусков при слабом или умеренном ветре позволяют сделать вывод, что при герметическом соединении сопла с насосом, правильном наполнении водой и при вертикальной установке модели на старте она может достичнуть высоты около 50 м. Установка ракеты под углом 60° приводит к уменьшению высоты подъема, однако дальность полета увеличивается (рис. 5.3). При более пологих траекториях либо старты модели будут неудачными, либо дальность полета будет небольшой. Модель, запущенная без воды, будет очень легкой и поднимется только на 2—5 м. Запуски воздушно-гидравлических моделей лучше всего проводить в безветреную погоду. В результате испытаний легко заметить, что модель обладает хорошей устойчивостью и тенденцией ориентироваться против ветра как при наличии тяги, так и после окончания работы двигателя. Время полета модели от старта до момента приземления в зависимости от достигнутой высоты составляет 5—7 с.

Одна из последних воздушно-гидравлических моделей ракеты промышленного производства оборудована второй ступенью в виде спутника с трехлопастным винтом. Спутник под действием

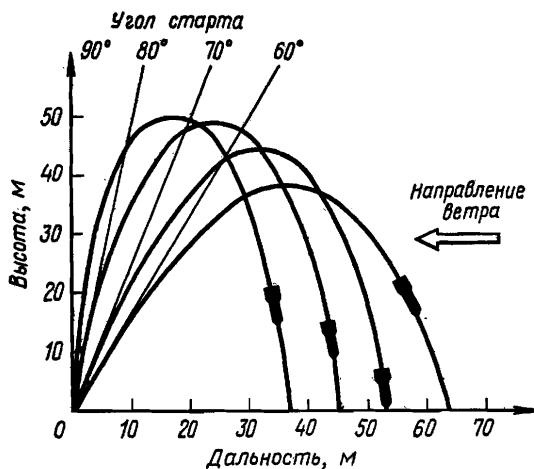


Рис. 5.3. Траектории полета воздушно-гидравлической ракеты в зависимости от угла наклона направляющих пусковой установки.

вращающегося винта автоматически отделяется от ракеты-носителя.

Хорошую ракету с воздушно-гидравлическим двигателем (конструкция Д. Моралевича, СССР) можно сделать самому. Для этого нужна фанера толщиной 1—1,5 мм, тонкая ткань (лучше всего от капроновых или нейлоновых чулок), а также водостойкий клей (например, нитроклей).

Делать ракету начинайте с изготовления шаблона, на котором клеится корпус. Шаблон изгответьте в форме веретена в соответствии с размерами, приведенными на рис. 5.4. Обработанный шаблон оберните тонкой влажной бумагой (лучше всего бумажными полосками шириной 10—20 мм). После высыхания, когда бумага плотно прилипнет к шаблону, можно начинать основную работу. Чулок разрежьте на узкие полоски шириной 10—15 мм и последовательно слой за слоем, смачивая kleem, обмотайте ими весь шаблон. Таким способом наклейте два слоя, немного подождите, чтобы клей хорошо подсох, а затем обклейте до тех пор, пока толщина стенки не достигнет 0,5—0,6 мм.

Полностью высушенный корпус разрежьте мелкозубчатой пилкой пополам на две части, которые после этого легко снимаются с шаблона. Затем в отверстие передней части ракеты вставьте деревянную пробку, закрепив ее нитками и kleem. В нижнюю часть корпуса вставьте катушку из-под ниток, предварительно срезав у нее один край, и прикрепите ее kleem и лоскутом материала к корпусу ракеты. Перед вклейванием катушки вставьте в ее отверстие резиновую трубочку, конец которой заверните и дополнительно закрепите тонким шнуром.

Затем к головной части приклейте кусочек губки, обклеенный (как в мешочке) лоскутом нейлона. Это будет амортизатор, принимающий на себя силу удара, действующую на ракету в момент

приземления. Очистив от остатков клея внутренние поверхности обеих частей корпуса, соедините обе половинки и крепко обмотайте несколькими слоями ткани, такой же, что использовалась для изготовления корпуса.

После полного высыхания модель будет шершавой и неровной. Теперь ее следует зашпаклевать при помощи талька, смешанного с нитроклеем. После высыхания шпаклевки нужно зачистить модель мелкой наждачной бумагой до получения гладкой поверхности, которую дополнительно покройте лаком (например, нитролаком) яркого цвета или нитрокраской.

Компрессором будет, как и раньше, обычный насос. Металлический наконечник насоса обработайте таким образом, чтобы он плотно входил в резиновую трубку, вставленную в отверстие катушки, — выхлопное сопло ракеты. Вблизи конца насоса необходимо сделать пружинный зажим из проволоки диаметром 1,5—2,0 мм, который при накачивании воздуха надо держать пальцами. После того, как воздух накачан, разожмите пальцы. Зажим освобождает ракету, которая устремляется вверх.

При наполнении корпуса ракеты водой необходимо соблюдать указанные выше правила. Корпус ракеты, склеенный описанным способом, выдерживает давление, получающееся после 20 движений ручкой насоса.

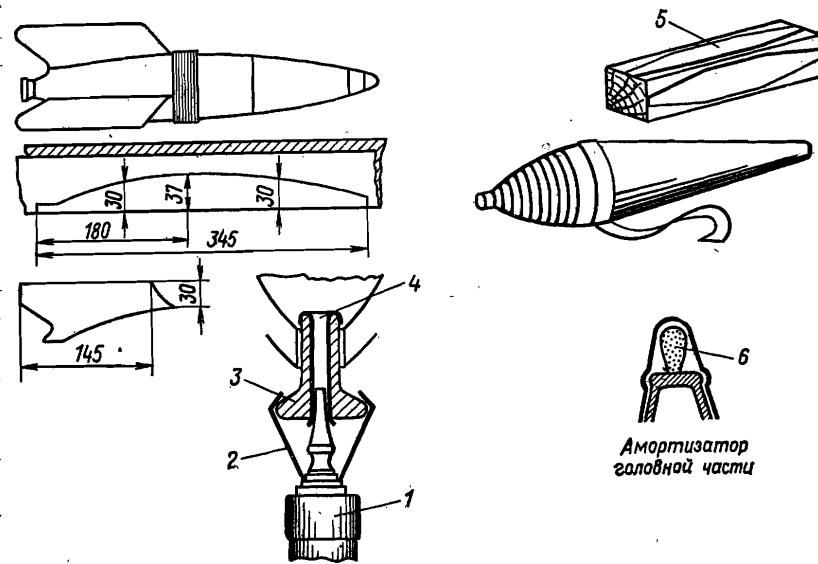


Рис. 5.4. Изготовление воздушно-гидравлической модели ракеты.

1 — насос; 2 — пружина; 3 — катушка; 4 — резиновая трубка; 5 — шаблон; 6 — поролон.

2. Миниракета с двигателем на твердом топливе

Первой моделью, для старта которой не требуется никаких вспомогательных устройств (например, рогатки и т. п.) и самостоятельное движение которой получается в результате сгорания вещества, будет небольшая ракета, оборудованная двигателем на твердом топливе. В нашем случае топливом служит целлULOидная легко воспламеняющаяся кино- или фотопленка шириной 35 мм. Топливом могут служить также пластиинки целлULOида. Следует иметь в виду, что в настоящее время этот материал достать легче, чем горючую кинопленку, поскольку правила безопасности запрещают использование в кинематографии легко воспламеняющихся материалов. Поэтому обычная современная кинопленка не воспламеняется, а только тлеет.

Двигатели на топливе из целлULOида безопасны при условии, если использовать небольшое количество топлива и соблюдать необходимые меры предосторожности.

Модели подобного типа имеют, очевидно, и некоторые недостатки, например небольшие размеры, а высота их полета не превышает 40 м. Для пробных полетов ракет с двигателями, работающими на кинопленке, следует выбирать места, удаленные примерно на 200 м от зданий, лесов и кустарников. Лучше всего подходит пахотное поле, луг с низкой травой или берег озера.

От конструкторов модельных ракет с двигателями на твердом топливе требуется гораздо большая точность изготовления деталей, чем для моделей, не использующих процесс горения топлива.

После этого короткого вступления переходим к описанию простейшей ракеты со стержневым стабилизатором, которая представляет собой летающий двигатель, заполненный кинопленкой шириной 35 мм (рис. 5. 5).

Возьмите кусок киноленты длиной 70—100 мм. Ленту плотно сверните так, чтобы внутри было отверстие диаметром 2—3 мм. Эту операцию можно упростить, если ленту сворачивать на деревянном шаблоне-палочке такого диаметра. Конец свернутой кинопленки склейте несколькими каплями нитроклея. Теперь сделайте корпус и сопло. Для этого обмотайте киноленту фольгой такой ширины, чтобы с обоих концов она выступала на 10—12 мм, являясь как бы продолжением сопла. Форму трубки фольги легче придать при помощи деревянного валика. На рисунке указан максимальный средний диаметр выходного отверстия, и его не следует делать большим, так как в этом случае тяга уменьшится.

Теперь плотно сверните фольгу спереди двигателя, оставив сопло открытым сзади.

К изготовленной таким образом ракете приклейте, закрепляя дополнительно тонкими нитками, соломину длиной 150—200 мм

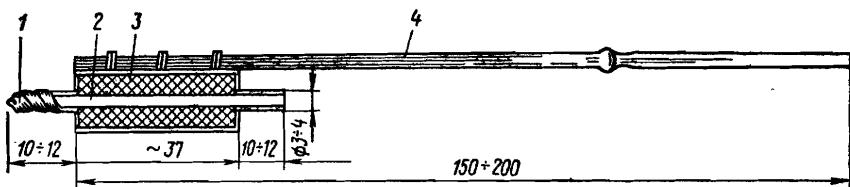


Рис. 5.5. Модель ракеты с двигателем, работающим на кинопленке, и стержневым стабилизатором.

1 — станноль; 2 — отверстие диаметром 2—3 мм; 3 — лента кинопленки длиной 70—100 мм; 4 — соломина диаметром 3—4 мм.

и диаметром 3—4 мм. Она выполняет роль стабилизатора во время полета и облегчает запуск. Для запуска ракеты вставьте стабилизатор в небольшую бутылку, выполняющую функции стартовой установки, зажгите топливо раскаленным концом проволоки, и ракета легко взлетит.

Однако перед тем как это сделать, необходимо убедиться в том, что на кинопленке есть светочувствительная эмульсия, так как в противном случае сгорание ее будет очень быстрым. Иногда эмульсию необходимо, наоборот, смывать (в теплой воде), так как остатки от ее сгорания засоряют выхлопное отверстие сопла.

Тяга такого двигателя достигает 3 Г. Если масса готовой ракеты не превышает 2 г, то высота полета (при безветренной погоде) составляет приблизительно 20 м. Очевидно, что для такой микrorакеты это неплохой результат.

3. «Пленочные» двигатели

А вот другой тип двигателя более сложной конструкции (рис. 5.6). Им можно оборудовать небольшую бумажную ракету, причем наилучший результат получается, если прикрепить к двигателю тонкий сосновый стержень, выполняющий, как говорилось выше, роль стабилизатора (стержень в 2—3 раза длиннее двигателя).

Заряд топлива представляет собой ленту шириной 35 мм и длиной около 350 мм (пленка засвечена и проявлена, т. е. имеет эмульсию), скрученную туго в рулон с отверстием диаметром 1,0—1,5 мм.

С обоих торцов свернутого рулона вставьте деревянные пробки: одну сплошную, а другую — с отверстием диаметром 1,0—1,5 мм, расположенным точно вдоль оси. Средний диаметр пробок, в зависимости от среднего диаметра рулона ленты, около 12—13 мм. Все это обверните писчей бумагой так, чтобы она плотно облегала и заряд, и пробки. Длина бумажной ленты около 400 мм. Весь двигатель обмотайте сировыми нитками, особенно те места, где вырезаны канавки на пробках. Чтобы произошло

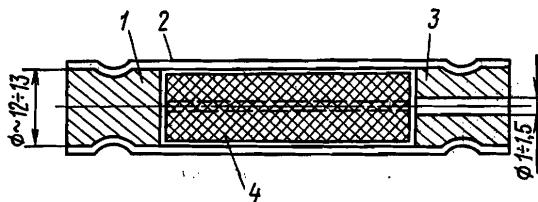


Рис. 5.6. «Пленочный» двигатель с соплом.

1—древесина; 2—писчая бумага; 3—сопло; 4—лента кинопленки длиной 350 мм.

воспламенение, вставьте в выхлопное отверстие сопла раскаленную проволоку и держите ее там в течение 1—2 с до тех пор, пока не появится дымок.

Масса готового двигателя составляет 12—15 г, тяга 50—70 Г, время работы 8—10 с в зависимости от способа свертывания ленты. Чем она плотнее свернута, тем лучше.

Двигатель другой разновидности показан на рис. 5.7. В нем используется такое же количество кинопленки, что и в предыдущем случае. Чтобы получить из ленты выхлопное сопло, плотно намотайте ее на гвозде диаметром 1,0—1,5 мм, а затем заверните заряд в фольгу с прокладкой из писчей бумаги. Затем конструкцию обмотайте по спирали влажной нитью и сильным стягиванием зафиксируйте нужную форму топливного заряда.

После высыхания нить сожмется и еще больше сдавит концы двигателя. Теперь вытащите гвоздь-оправку. Полученное выхлопное сопло по форме будет напоминать сопла больших ракетных двигателей.

Интересно сравнить, какой из рассмотренных двигателей лучше, т. е. имеет наибольшую тягу.

Внимательный читатель обратил, конечно, внимание на то, что при конструировании двигателя использовались фольга и бумага. Это сделано специально для того, чтобы такой двигатель в случае взрыва или загорания никому не причинил вреда. При конструировании двигателей подобного типа ни в коем случае

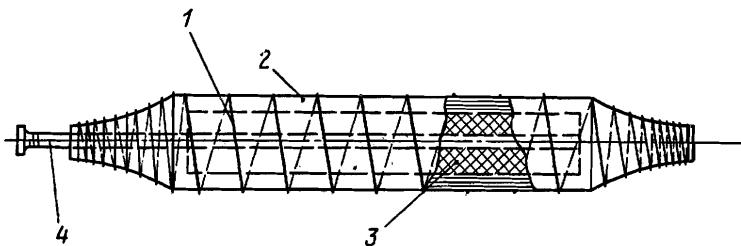


Рис. 5.7. «Пленочный» двигатель другого типа.

1—обмотка мокрой нитью; 2—станиоль с писчей бумагой; 3—кинопленка; 4—гвоздь для получения выходного сопла.

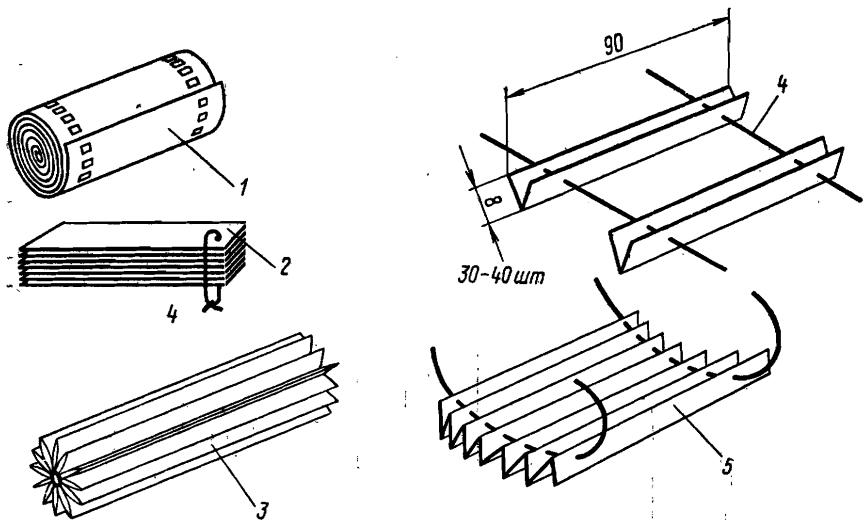


Рис. 5.8. Способы приготовления заряда из кинопленки.

1 — плотное свертывание в рулон 35-мм пленки; 2 — пакет целлULOидных пластинок; 3 — пленка, свернутая в форме ромашки; 4 — соединительная проволока; 5 — складывание пленки для изготовления заряда в форме ромашки.

нельзя использовать, например, металлические, даже алюминиевые, трубы, поскольку при взрыве они образуют осколки.

В вышеописанных двигателях кинопленка была плотно свернута в ролик. Однако это не единственный способ упаковки заряда. Например, целлULOидную пластины можно разрезать на узкие полоски и затем плотно уложить в блок. Пленку можно также уложить в виде «ромашки» (рис. 5.8), что способствует равномерному сгоранию топлива.

При проектировании «пленочного» двигателя важно установить наиболее выгодный средний диаметр выхлопного отверстия. Его можно определить, если считать, что он связан с площадью поверхности пленки (измеренной в см^2). Отношение площади поперечного сечения сопла к площади поверхности пленки должно равняться приблизительно 1000—1500, возрастая иногда до 7000¹.

¹ Допустим, что имеется кинопленка длиной 200 см. Площадь поверхности ее, не считая перфорационных отверстий, равна $200 \times 3,5 = 700 \text{ см}^2$. Если отношение площадей принять равным 1500, то площадь поперечного сечения сопла получим, поделив площадь поверхности ленты на 1500, т. е. $700 : 1500 = 0,47 (\text{см}^2)$, откуда диаметр сопла d равен $\sqrt{(\pi/4)0,47} = 0,78 (\text{см})$, что после округления дает 8 мм.

4. Учебная ракета

Несколько большую ракету, чем предыдущие, сконструировал Эрнст Пясецкий (рис. 5. 9). Топливом в двигателе этой ракеты служат узкие полоски кинопленки.

Корпус длиной 215 мм склеен из нескольких слоев тонкого картона на деревянной оправке диаметром 10 мм. Головная часть представляет собой сделанный в соответствии с указанными на рисунке размерами деревянный стержень, который вставляется в корпус и вдоль вырезанной канавки обматывается тонкой проволокой. Вклеенная головная часть дополнительно покрывается бумажным «капюшоном» (рис. 5. 9).

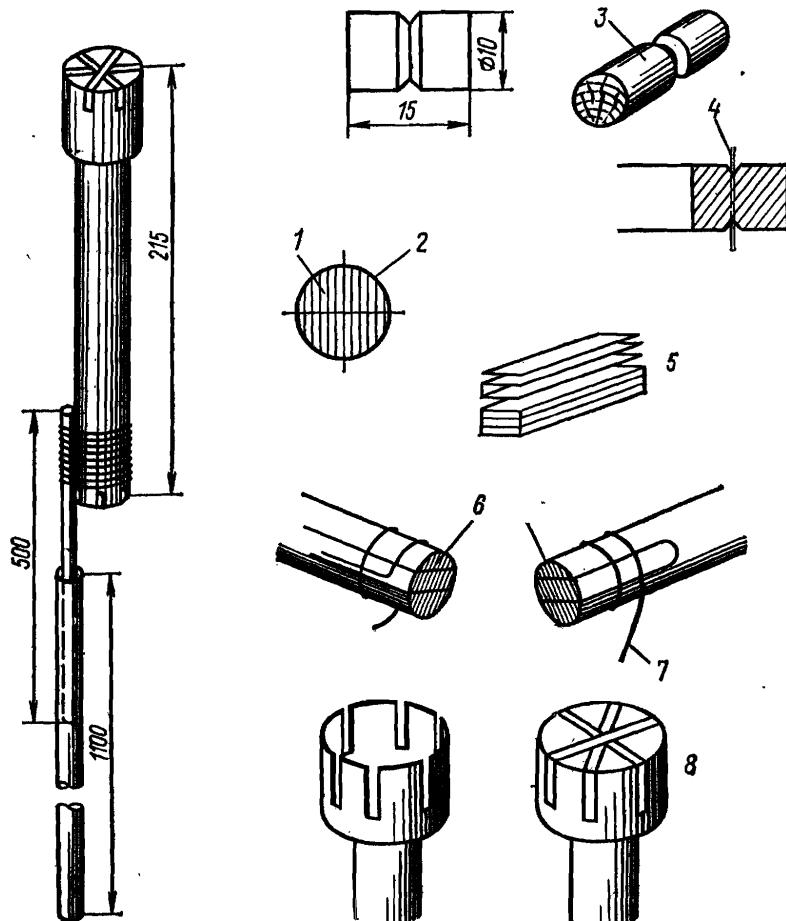


Рис. 5.9. Учебная ракета на «пленочном» топливе.

1 — горючая пленка; 2 — бумага; 3 — головная часть; 4 — обмотка проволокой; 5 — пакет целлулоидных пластинок (или нарезанных полосок пленки); 6 — выходное сопло; 7 — фиксация заряда проволокой; 8 — головная часть, обклеенная бумагой.

Заряд топлива состоит из нарезанных полосок кинопленки длиной 3—4 м и шириной 9 мм. Полоски надо сжать в комок, а затем вложить в корпус таким образом, чтобы не повредить его стенок. Выступающие концы полосок обрежьте, причем сделать это проще всего пилкой. Для закрепления заряда корпус двигателя обмотайте с обоих концов стальной проволокой диаметром 0,5—0,8 мм.

Особенностью этой ракеты является отсутствие выхлопного сопла. Оно самопроизвольно образуется в процессе горения заряда.

К корпусу двигателя привяжите проволокой стержневой стабилизатор, изготовленный из бальзы (размером $3 \times 5 \times 500$ мм) или из соломины (камышинки) такой же длины.

Для старта лучше всего использовать пусковую установку в виде вбитой в землю металлической трубы диаметром около 10 мм. Стержневой стабилизатор ракеты вставляется в эту трубку, которая служит направляющей при старте ракеты. При запуске двигателя надо следить за тем, чтобы не загорелся стабилизатор. Воспламенение топлива лучше всего получается от тлеющего фитиля.

Описанная ракета вследствие своей не очень современной формы понравиться не всем; действительно, она напоминает самодвижущиеся стрелы монгольских воинов. Однако к ее несомненным преимуществам относится красивый полет, что не всегда характерно для ракет, описанных ранее, и тех, которые по форме очень похожи на современные космические ракеты.

Как указывалось выше, зажигание топлива осуществляется с помощью фитиля, который держат в руке. Этот способ совершенно безопасен для рассмотренных небольших моделей, однако он не на сто процентов «технический», так как настоящие большие ракеты никто не запускает вручную фитилем.

Поэтому для более крупных модельных ракет следует сконструировать такую систему зажигания, которая позволяла бы проводить запуск с безопасного расстояния и, что не менее важно, наблюдать весь процесс полета.

Рассмотрим теперь возможность конструирования такой системы зажигания. Ранее мы упоминали о хлопчатобумажном шнуре. Его успешно можно использовать для зажигания целлюлOIDного заряда, конечно, с соответствующими предосторожностями, о которых говорилось выше. Конец шнуря должен находиться в контакте с топливным зарядом, чтобы его можно было поджечь. Однако шнур относится к простейшим устройствам; скорость горения его не контролируется — иногда он горит очень медленно, а иногда воспламеняется мгновенно. Отсюда естественно желание найти другие возможности воспламенения топлива.

Наиболее современна и эффективна электрическая система зажигания, описанная выше при рассмотрении запуска ракет без

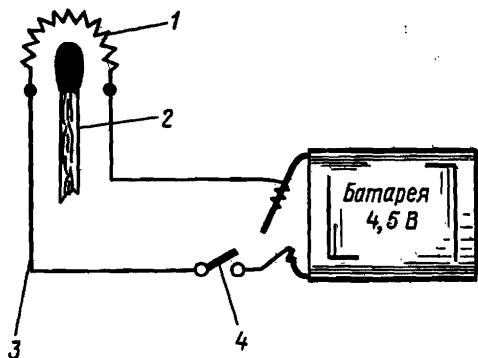


Рис. 5.10. Простейшая схема электрического зажигания.
1 — реостатная проволока;
2 — спичка; 3 — провод;
4 — выключатель.

двигателей. Простейшая конструкция устройства такова: головка спички обмотана кусочком тонкой никромовой проволоки длиной около 10 мм; концы ее соединены с проводами длиной 10—20 м. Если провода соединить с полюсами плоской батарейки (4,5 В), то никромовая проволочка раскаляется и подожжет головку спички.

Сконструированное таким образом и помещенное внутрь двигателя воспламенительное устройство позволяет поджечь топливный заряд на расстоянии без применения открытого огня. В дальнейшем будем применять этот способ как наиболее безопасный и безотказный.

Схема электрической системы зажигания показана на рис. 5.10. Старт модели произойдет после нажатия на кнопку пуска, подобно тому как это происходит при запуске настоящих ракет.

Модели, оборудованные стержневыми стабилизаторами, стартуют из пусковой установки в виде трубы; для запуска моделей ракет с плоскими стабилизаторами необходима пусковая установ-

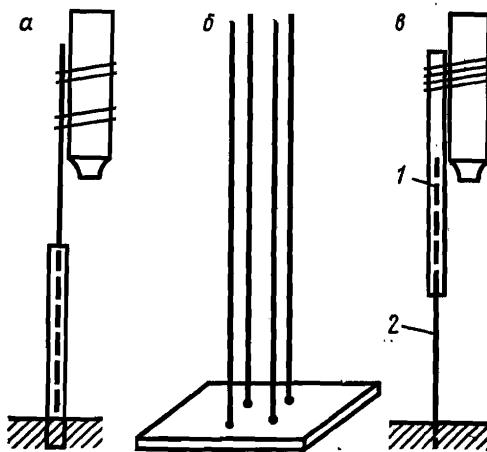


Рис. 5.11. Учебные пусковые установки.
а — с направляющей трубкой; б — с четырьмя направляющими стержнями; в — с одним направляющим металлическим прутом.
1 — алюминиевая трубка; 2 — стальной прут.

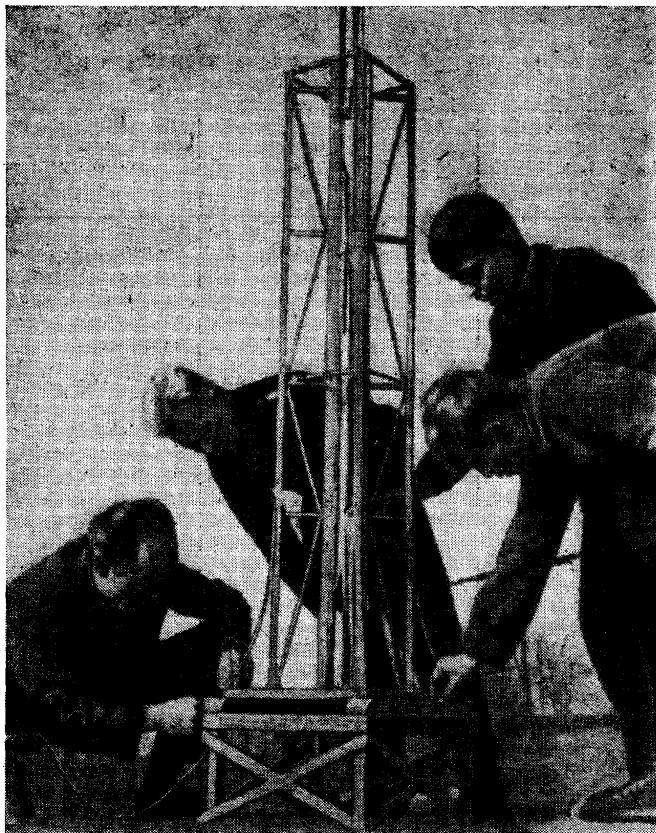


Рис. 5.12. Большая деревянная пусковая установка ферменного типа.

ка, оборудованная направляющими стержнями. Пусковая установка необходима в любом случае, так как в начальной фазе старта модельная ракета еще не имеет достаточной скорости, чтобы хорошо сохранять устойчивость. Лишь после получения необходимого ускорения и отделения от направляющих стержней ракета приобретает скорость, достаточную для самостоятельного полета, что очень важно, устойчивого полета.

Простейшая пусковая установка состоит из четырех деревянных или металлических стержней, закрепленных на подставке. Модель устанавливается таким образом, чтобы ее корпус свободно скользил между направляющими, а стабилизаторы были выставлены наружу.

На рис. 5.14 показаны три типа учебных пусковых установок. Очень любопытна пусковая установка, сконструированная ракетным кружком в Скаржиске (рис. 5.12). Она напоминает настоя-

Таблица 5.1

Типичные неполадки при старте «пленочных» моделей ракет и способы их устранения

№/п. н.	Неполадки	Причины	Способы устранения
1	После зажигания воспламенительного шнура появляется дым, но ракета не трогается с места	Шнур не доходил до заряда и погас	Ввести шнур внутрь двигателя и удостовериться, что он находится в контакте с топливным зарядом
2	Шнур тлеет и через некоторое время гаснет	Шнур влажный или плохо приготовлен	Высушить шнур; повторно поместить в раствор соли или селитры в воде и затем хорошо высушить
3	Воспламенитель не срабатывает, несмотря на соединение проводов с батареей	Разрыв в электрической цепи; воспламенитель защемлен зарядом топлива	Укоротить никромовую проволоку или сменить ее; проверить провода на всей цепи; увеличить пространство около воспламенителя
4	Ракета дымится, но не выходит из пусковой установки	Стержневой стабилизатор заклинило в направляющей трубке вследствие плохой обработки поверхности древесины; недостаточно большое отверстие в трубке	Сделать поверхность стабилизатора более гладкой; увеличить отверстие в трубке пусковой установки; выпрямить стержень стабилизатора
5	Заряд топлива сгорает на земле, а ракета не взлетает	Слишком большая масса ракеты или малая тяга двигателя; слишком большое отверстие выхлопного сопла	Исправить конструкцию ракеты; увеличить заряд топлива; уменьшить выхлопное отверстие, сменив сопло; заменить ракету другой
6	Ракета после старта взрывается	Неподходящее топливо; слишком маленькое выхлопное отверстие сопла вследствие засорения его остатками продуктов горения	Сменить тип топлива (кинопленки); увеличить диаметр выхлопного отверстия сопла (около 1/3 диаметра двигателя); укрепить корпус ракеты дополнительным слоем картона и вырезать в нем 2—3 вентиляционных отверстия
7	Ракета не летит по параболической траектории, а «петляет» или движется кругами	Искривлен стержневой стабилизатор; двигатель расположен не вдоль оси ракеты; ракета не отбалансирована	Выпрямить стабилизатор или поставить новый; правильно установить двигатель или исправить весовые соотношения частей ракеты

Продолжение табл. 5.1

№/п. №	Неполадки	Причины	Способы устранения
8	Ракета не устойчива в полете	Несимметрично склеен корпус; слишком тяжелые стабилизаторы, особенно если они стержневые; слишком короткие направляющие пусковой установки; сильный ветер	Ракета должна быть изготовлена заново; удлинить направляющие; проводить старт в безветренную погоду

щие ферменные конструкции, хотя сделана из тонких сосновых реек. Основа пусковой установки — четыре направляющих стержня, расположенных внутри фермы. Конструкция легкая и прочная. Основная особенность — параллельное расположение направляющих, что не всегда удается сделать при конструировании пусковых установок с незакрепленными концами. Эта пусковая установка, как и предыдущие, предназначена для старта моделей ракет с двигателями, топливом которых служит кинопленка.

В табл. 5.1 перечислены наиболее часто встречающиеся неполадки, характерные для стартов описанных моделей ракет, а также способы их устранения.

5. Модели ракет с двигателями промышленного производства

В 1947 г. в Великобритании был изготовлен модельный ракетный двигатель на твердом топливе (производство фирмы «Империэл кэмикл индастри»). Этот двигатель (марки «Джетекс», рис. 5.13) стал прототипом для множества других модельных ракетных двигателей (например, «Тайфун» в Югославии и «Синдже́т» в ЧССР), что обусловлено простотой его конструкции и надежной работой. Предназначался «Джетекс» для моделей ракетопланов. Кроме того, его можно использовать для моделей ракет.

Двигатель типа «Джетекс» состоит из металлического корпуса, внутри которого находится сменный заряд топлива (рис. 5.13, б). Заряд представляет собой спрессованную порошковую смесь, состоящую из 20% тринитрорезоцината, 79% азотнокислого гуанидина и 1% асбестовых волокон.

Кроме того, в двигателе имеются асbestовая прокладка, колосниковая решетка и шнур (выполняющий функции воспламенителя). Хлопчатобумажный шнур насыщен горючим веществом, основным компонентом которого является хлорат калия, свин-

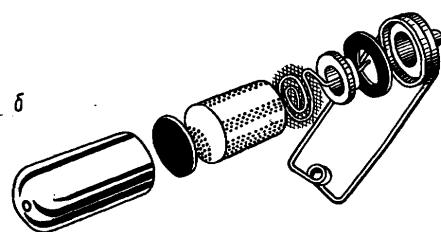
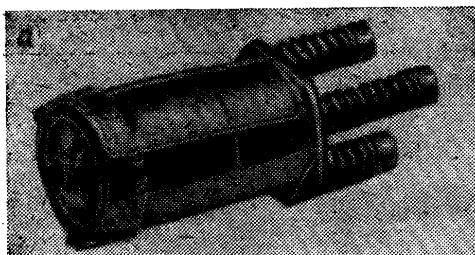


Рис. 5.13. Двигатель «Джетекс» английского производства.

a — общий вид; *b* — составные части двигателя «Джетекс-50В», слева направо: металлический корпус, асбестовая изоляционная прокладка, твердое топливо, запальный шнур, металлическая колосниковая решетка, асбестовые кольца, сопловое днище с предохранительной пружиной.

цовый сурик и порошок кремния (в соотношении 40:30:20 соответственно), а остаток (10%) составляет связующее вещество.

Корпус двигателя закрывается крышкой с калиброванным выхлопным соплом. Крышка — не вворачивающаяся, соединена с корпусом двигателя системой пружин, образующей автоматический регулятор на случай внезапного увеличения давления газов.

Запуск двигателя начинается с зажигания шнура, который в свою очередь воспламеняет заряд. Топливо горит только с передней торцевой поверхности (подобно папиросе), создавая соответствующую тягу.

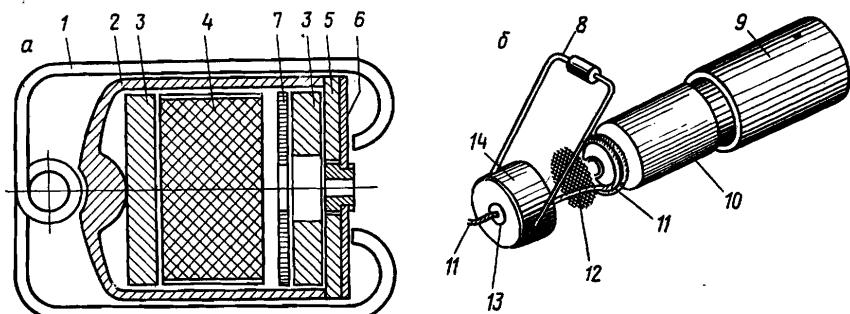


Рис. 5.14. Двигатели типа «Синдже-2» чехословацкого производства (*a*) и типа «Тайфун-20» югославского производства (*b*).

1 — пружинный замок; 2 — корпус; 3 — изоляционная прокладка; 4 — топливная шашка; 5 — днище; 6 — крышка с соплом; 7 — колосниковая решетка; 8 — замок; 9 — корпус; 10 — топливная шашка; 11 — запальный шнур; 12 — колосниковая решетка; 13 — сопло; 14 — крышка.

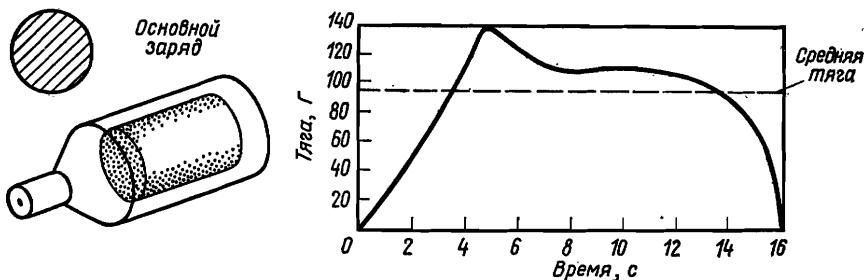


Рис. 5.15. Диаграмма тяги двигателя «Джетекс-350».

Одно из преимуществ этого двигателя по сравнению с двигателями, работающими на целлULOиде и кинопленке, — практическая постоянная тяга при постоянном давлении газа. Это означает, что заряд топлива сгорает относительно равномерно. Мы подчеркиваем «практически» и «относительно», так как при помощи такого простого двигателя трудно создать идеально постоянные давление и тягу (рис. 5.14).

Поддерживать постоянную величину тяги вообще трудно, и это касается не только двигателей марки «Джетекс», что ясно видно из графика для двигателя «Джетекс-350» с цилиндрической топливной шашкой (рис. 5.15). Штриховой линией на рис. 5.15 обозначена средняя величина тяги.

В табл. 5.2 представлены характеристики некоторых двигателей, выпускаемых в Великобритании, ЧССР и Югославии.

Таблица 5.2

Характеристики некоторых типов двигателей

Тип двигателя	«Джетекс-50»	«Джетмастер-150»	«S-2»	«S-4»	«Тайфун-20 МР»
Статическая тяга, Г	15	49	13	30	20
Продолжительность работы, с	13	12	15	20	15
Собственная масса конструкции двигателя, г	6	21	7	15	12
Масса заряда топлива, г	3,5	8	3,5	10	3,5
Диаметр, мм	17	27	20	28	—
Длина, мм	45	90	31	42	—

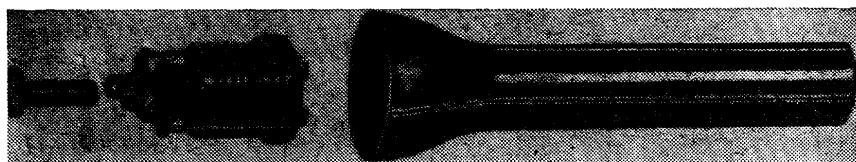


Рис. 5.16. Трубка, увеличивающая тягу двигателей типа «Джетекс».

Двигатели некоторых типов создают тягу свыше 100 Г. Существует несколько способов увеличения тяги: а) использование топливной шашки удвоенной массы; б) увеличение топливной шашки на одну треть, причем в ее передней части вырезается небольшое коническое отверстие (это приводит к увеличению поверхности горения и, следовательно, давления); в) пристройка диффузора или трубки, увеличивающих тягу (рис. 5.16). Последний способ наиболее эффективен, однако вследствие того, что трубка очень утяжеляет конструкцию, его трудно реализовать на практике.

Попутно отметим, что способы (а) и (б) дают возможность увеличить время работы двигателя на 2—4 с. Скорость истечения выхлопных газов в описанных двигателях составляет приблизительно 1200 м/с. Обращаем внимание на то, что корпус двигателя «Джетекс» сильно нагревается. Будьте осторожны.

Ниже приведено несколько конструкций моделей, которые специально разработаны для двигателей типа «Джетекс».

Ракетоплан «Сатурн». Простейшая модель летательного аппарата (ракетоплана), предназначенная для двигателя «Синджец-С2» (ЧССР), показана на рис. 5.17. Фюзеляж изготовлен из основной рейки длиной 330 мм и поперечным сечением 4×4 мм. Крылья и стабилизатор вырезаны из чертежного картона. Ложе для двигателя сделано из алюминия толщиной 0,8 мм. Для предохранения центральной части крыла от огня приклеена фольга (от шоколада). Масса готовой модели не должна превышать 60 г. Модель стартует с руки под углом 25—35° и пролетает расстояние 150 м, достигая высоты 10—15 м.

Ракета «Воробей». Эта модель, сконструированная в Югославии в расчете на двигатель «Тайфун», больше похожа на настоящую ракету (рис. 5.18), и с ней можно проводить более сложные полеты. Корпус модели склеен из двух или трех слоев чертежной бумаги. Склейивать его лучше всего на деревянной цилиндрической оправке. Внутри корпуса смонтированы планки для закрепления двигателя. Стабилизаторы можно вырезать из липового шпона толщиной 1—2 мм или склеить их из двух слоев чертежной бумаги. Головная часть вырезается из пробки. Размеры отдельных деталей ракеты приведены на рис. 5.18. Модель стартует с деревянной пусковой установки, на которой имеется направляющая с вырезанным продольным пазом. В этот паз входит старто-

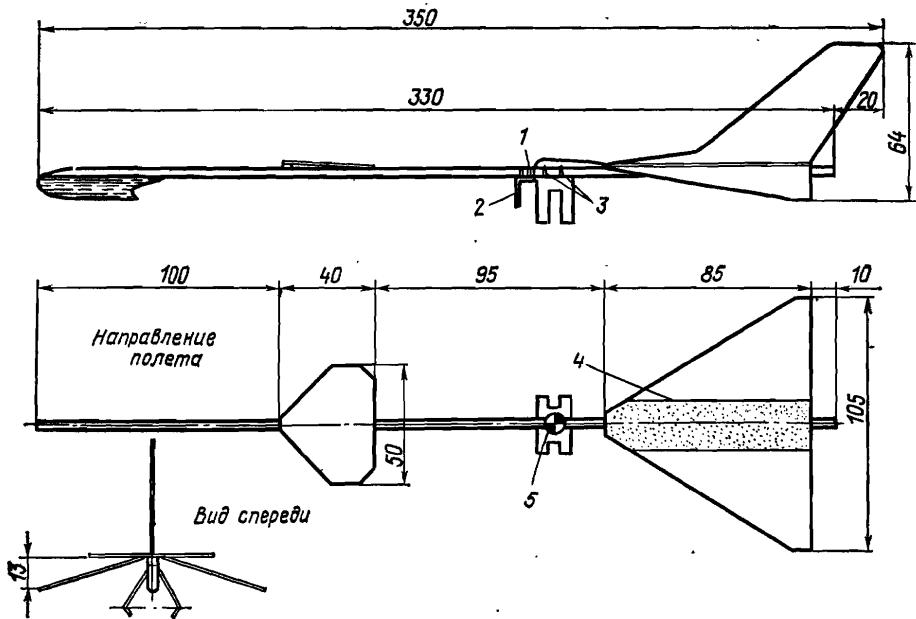


Рис. 5.17. Простейшая модель ракетоплана с двигателем «Синджец-С2».

1 — нитки с клеем; 2 — ложе двигателя; 3 — шурупы; 4 — фольга; 5 — расположение центра тяжести.

вый крючок модели, который крепится к ее корпусу. Он имеет форму буквы Т и позволяет удерживать ракету на направляющей пусковой установки.

Направляющая состоит из двух гладко обработанных реек размером $5 \times 10 \times 1000$ мм. Накладки вырезаны из фанеры толщиной 3—5 мм. Подставка сделана из таких же планок. Ракета устанавливается на направляющих рейках, причем штырь вставляется в паз между ними. Хорошая обработка поверхности направляющих реек служит гарантией успешного запуска ракеты. Старт проводится под углом 70° .

Ракета «Скворец». Это усовершенствованная модель только что рассмотренной ракеты. У нее более длинный корпус и четыре стабилизатора (рис. 5.19). Корпус сделан из картона, стабилизаторы склеены из двух слоев картона и пенополистирола, головная часть вырезана из коры, пробки или сосны. Старт модели проводится с пусковой установки описанного типа. Перед стартом надо проверить, насколько легко ракета скользит вдоль направляющих реек. Запуск производится от воспламенительного шнурка.

Двухступенчатая модель. Используя двигатели «Джетекс», можно сконструировать двухступенчатую модель ракеты. На рис. 5. 20 показана схема конструкции такой модели «Воробей 2».

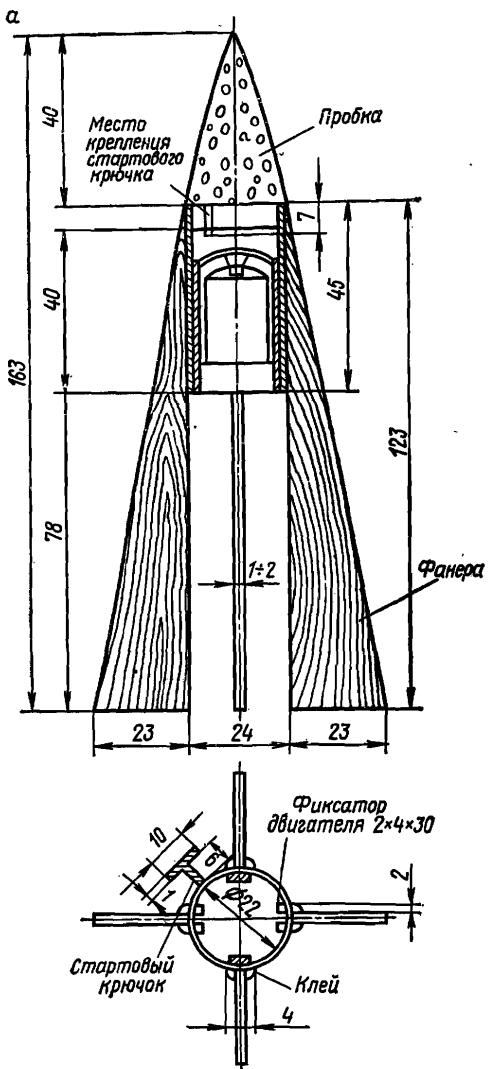
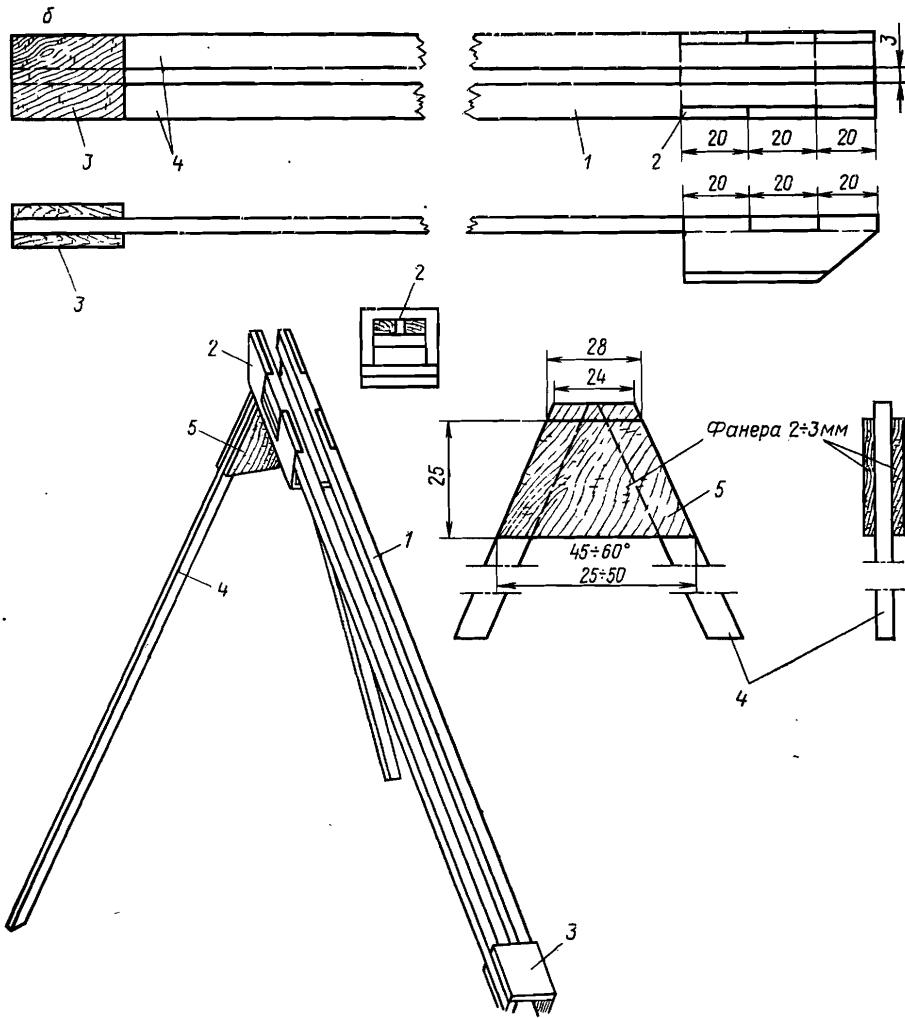


Рис. 5.18. Ракета «Воробей» (а) и ее пусковая установка (б).

— направляющие рейки (2 шт., сосна $10 \times 5 \times 1000$ мм); 2 — крепление направляющих (фанера толщиной 3 мм); 3 — накладка (фанера 3—5 мм); 4 — опорные рейки (сосна, $10 \times 5 \times 1000$ мм); 5 — уголок (фанера).

а на рис. 5. 21 — более сложная модель. В изготовлении двухступенчатой модели гораздо сложнее одноступенчатой. Основная трудность в данном случае заключается в том, чтобы сохранить устойчивость в полете всей ракеты и отдельных ее частей после разделения.

Конструкция корпуса ракеты проста. Общая максимальная масса равна 90 г, в том числе двигателей 50 г. В высоком соотношении масс двигателей и конструкции кроется одна из причин ус-



пешных полетов. Ракета изготовлена из бальзы. Корпус усиливают поперечные распорки (шпангоуты) толщиной 0,8 мм и продольные рейки (стрингеры) поперечным сечением $1,5 \times 3$ мм. Обшивка сделана также из бальзы толщиной 0,8 мм.

Как видно на рис. 5. 21, каждый двигатель имеет сопло, увеличивающее тягу. Сопла эти выдавлены из тонкой алюминиевой пластиинки. Размах стабилизаторов первой ступени достигает 280 мм. Передние стабилизаторы немного изогнуты и установлены под углом 3°, а хвостовые стабилизаторы — под углом 0°. Вторая ступень оборудована плоскостями шириной 175 мм.

Обе ступени должны легко разъединяться и в то же время

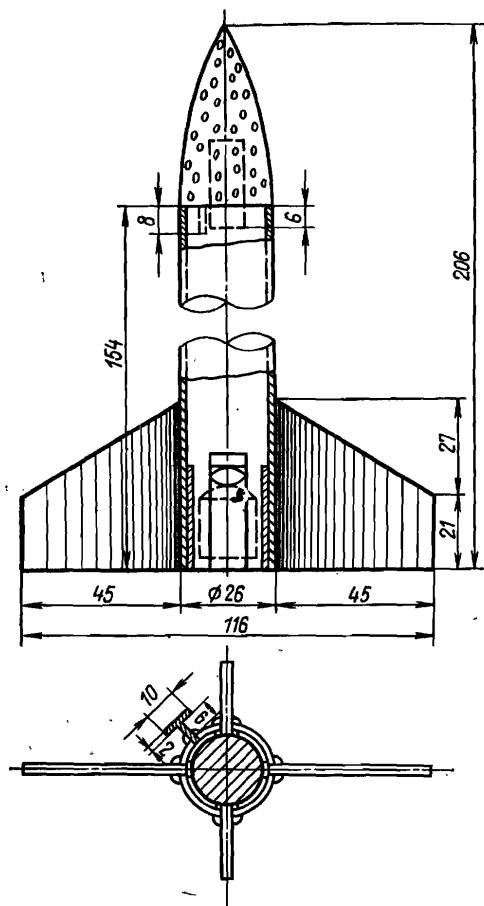


Рис. 5.19. Ракета «Скворец» с двигателем «Тайфун».

плотно прилегать друг к другу на старте. Удерживаются они полоской резины, которая пережигается воспламенительным шнуром второй ступени. Успешный полет и разделение ступеней зависят от положения центров тяжести всей ракеты и второй ступени, а также от выбора (опытным путем) правильной длины воспламенительного шнура. Двигатель второй ступени должен начинать работать после разделения ступеней.

Очень важно, чтобы вектор тяги был расположен вдоль оси ракеты. Небольшую поправку можно внести при помощи струйного отражателя, расположенного вблизи сопла двигателя первой ступени.

Модель стартует с руки под углом 30—45°. Стартовать под большим углом не позволяет относительно слабая тяга двигателя. Время сгорания топлива и воспламенительного шнура первой

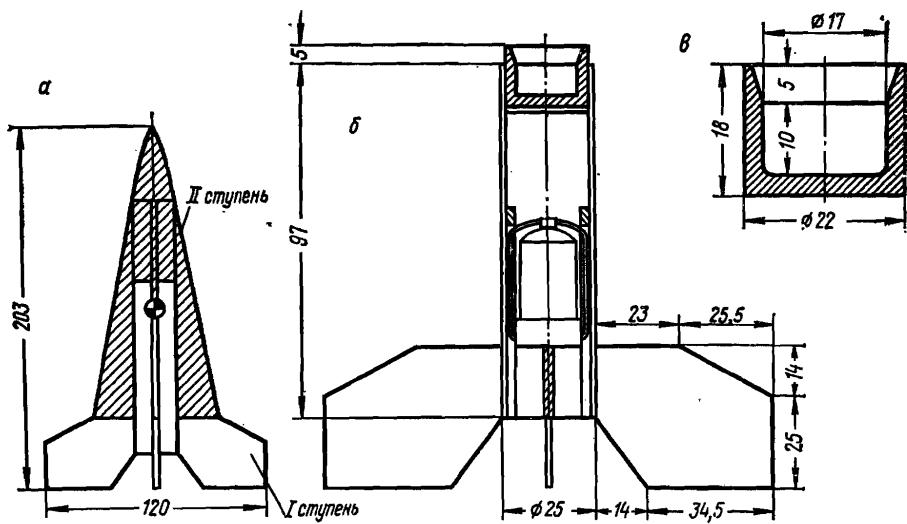


Рис. 5.20. Двухступенчатая ракета «Воробей».

Масса первой ступени 20 г, общая масса ракеты 50 г.

a — общий вид; *b* — первая ступень; *c* — соединительное устройство из бальзового дерева.

ступени 18—20 с, второй ступени 12—15 с. Первая ступень оборудована двигателем «Джетекс-150», а вторая — двигателем «Джетекс-50 В».

Двигатели упомянутого типа заправляют топливом (один или несколько «брикетов» помещают в камеру сгорания и прикрепляют пружинами к корпусу двигателя), затем проверяют, свободно ли отверстие сопла, и зажигают воспламенительный шнур. От момента воспламенения шнура до зажигания топлива проходит около 3—4 с; после этого появляется струя белого дыма — признак того, что двигатель работает нормально. Часто после сгорания шнура кажется, что зажигание не произошло. Это бывает, когда отверстие сопла засоряется остатками сгоревшего шнура (в середине воспламенительного шнура промышленного производства проходит тонкая проволока). Однако топливо в двигателе горит, и с каждой секундой давление в камере сгорания увеличивается, оно выбрасывает загрязняющую пробку и двигатель продолжает нормально работать вплоть до сгорания всего топлива. Момент, когда шум двигателя начинает заметно увеличиваться, наиболее благоприятен для начала старта (выбрасывания ракеты). После каждого старта корпус двигателя и сопло должны быть тщательно очищены. После приблизительно 20-кратного использования корпус двигателя должен быть капитально очищен маленькой щеточкой в теплой воде. Тогда же необходимо заменить и асbestosовую подкладку, которая с течением времени приходит в негодность.

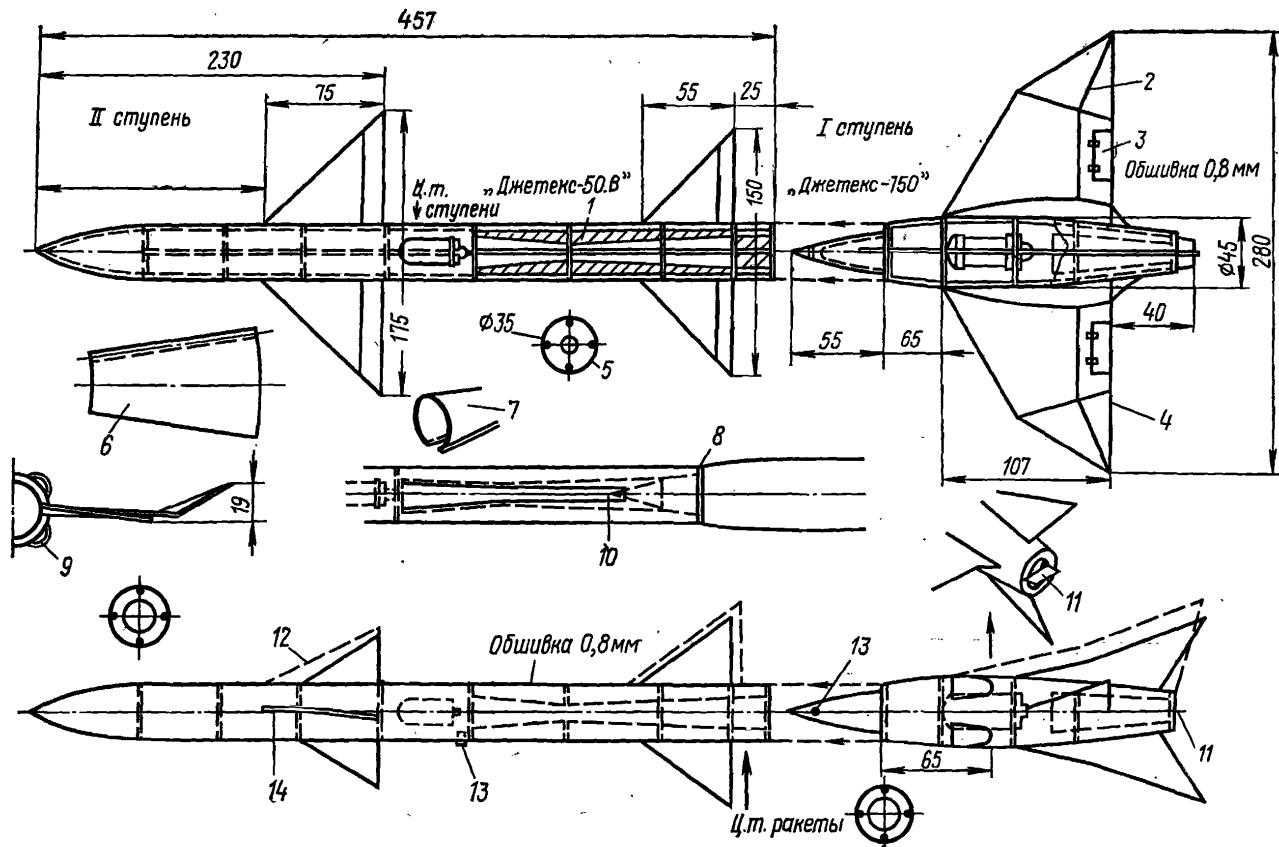


Рис. 5.21. Двухступенчатая ракета, оборудованная двигателями «Джетекс».

1 — сопло; 2 — граница раскраски; 3 — элероны; 4 — мѣста склеивания; 5 — шпангоут 0,8 мм; 6 — алюминий; 7 — крепление алюминиевого сопла; 8 — соединение ступеней; 9 — вход воздуха; 10 — резинка, пережигаемая запальным шнуром; 11 — дефлектор выхлопной струи (при отклонении вниз ракета поворачивается вверх); 12 — стабилизатор; 13 — алюминиевая трубка для вывода запального шнура; 14 — профилирование и угол крутки 3°.

Глава VI

РАКЕТНЫЕ ДВИГАТЕЛИ

1. Что необходимо знать о ракетных топливах

Как известно, ракетных топлив очень много, и все они в той или иной степени небезопасны. Поскольку кружки ракетного моделизма не располагают сложными технологическими установками, здесь нет смысла говорить об использовании топлив «большой» ракетной техники. По этой причине в спортивных моделях в соответствии с кодексом ФАИ использование жидкого топлив запрещено, а из всех существующих твердых топлив разрешены только такие, которые исключают возможность взрывов, а следовательно, и несчастных случаев.

Ракетомоделисты-«самодельщики» достают иногда различные взрывчатые вещества (например, зерна черного пороха и другие смеси, которыми начинены найденные невзорвавшиеся снаряды), навлекая на себя и на окружающих возможность тяжкого ранения или даже смерти.

Наиболее любимое, можно сказать, топливо иных моделлистов — головки спичек. Не все знают, сколько раз такое «топливо» приводило к телесным повреждениям. Всего лишь три головки спичек, помещенные в замкнутое пространство, например трубку, взрываются с силой, способной разбить стекло или повредить штукатурку. Заряд из ста граммов спичечных головок может оторвать руку, и это при незначительном разрушении емкости, наполненной таким «топливом». То же самое относится к любителям так называемых «пробок» для детских пробковых пистолетов.

Спички надо использовать только по их назначению, исключительно для воспламенения шнуря при запуске простейших моделей ракет.

Кроме упомянутых веществ, иногда используют смесь, состоящую из 60% азотнокислой соли калия KNO_3 (селитры) и 40% сахарной пудры (по весу), называемую «карамельным топливом». Это простейшее на первый взгляд топливо способно поднять небольшую ракету (длиной около 300 мм) на высоту до 300 м, однако способ его приготовления очень небезопасен для незадачливых пиротехников. Трудность заключается в том, что если оба компонента смешивать при высокой температуре, то небольшой перегрев, как и перемешивание, грозят взрывом. Кроме того, плохо размельченные и перемешанные компоненты после высыхания трескаются, в результате чего внутри топлива образуются трещины, заполненные воздухом. После воспламенения приготовленного таким способом топлива происходит внезапное

и неконтролируемое увеличение давления в камере сгорания двигателя, и он взрывается. Использование упомянутых компонентов в порошкообразном виде исключает опасность взрыва, однако требует тщательной подготовки и контроля двигателя, так как растопленный сахар засоряет сопло и часто приводит к образованию трещин в стенках.

Среди множества разновидностей твердых топлив трудно найти абсолютно безопасное и одновременно высококалорийное. Поэтому нет необходимости проводить исследования в этом направлении и тем более ставить опыты — это уже сделали вместо нас специалисты. Для любительского ракетостроения рекомендуется только одно топливо, а именно смесь цинка с серой в виде тонко измельченного порошка. Это топливо уже хорошо изучено и апробировано. Однако оно предназначено для относительно больших ракет — любительских и исследовательских. Его также можно использовать в кружках, работающих под руководством специалистов-инструкторов.

Порошкообразная смесь цинка с серой образует химическое соединение — сульфид цинка. Эффективность этого топлива зависит от разных факторов, например таких, как конструкция двигателя (особенно сопла) и даже от влажности и температуры окружающей атмосферы.

Смесь цинка с серой воспламеняется от электрической системы зажигания и не чувствительна к ударному воздействию. Пыль смеси, поднимаясь в воздухе, влияет на слизистую оболочку носа и глаз. Поэтому при насыпании порошка необходимо пользоваться пылеподохраняющей маской. Следует обратить внимание на то, что цинковая пыль (как и любая металлическая) в определенных тепловых условиях при соприкосновении с воздухом может воспламениться. Поэтому при переносе порошка в больших количествах необходимо соблюдать особую осторожность.

Смешивать компоненты нужно в деревянной посуде (но не в металлической), вращая ее, как это делают рабочие, перемешивающие цемент. Рекомендуется следующая весовая пропорция: 2,04:1,0 (цинк 2,04; сера 1,0), которая вытекает из соотношения атомных весов обоих компонентов. Атомный вес цинка (Zn) равен 65,38, а серы (S) 32,07. В результате химической реакции, протекающей в камере сгорания двигателя, образуется сульфид цинка $Zn + S = ZnS$.

Заправлять двигатель упомянутым топливом нужно деревянной ложкой на открытом воздухе или в хорошо проветриваемом помещении.

Вследствие опасности, которая кроется в самодельном, примитивном приготовлении ракетного топлива, к разработке топлив и двигателей приступили специалисты, в результате чего появились модельные двигатели промышленного производства, заправленные топливом с точно рассчитанным энергетическим запасом, несложные по конструкции и при использовании. Однако наибо-

лее важно то, что двигатель с топливом промышленного производства дает ракетомоделисту значительно большую гарантию безопасности, чем наилучшим образом приготовленное топливо собственного изготовления.

2. Ракетомодельные двигатели

Двигатели для моделей ракет обычно характеризуются значениями некоторых параметров, что дает возможность проводить их сравнительную оценку. Важнейшие из них: сила тяги (или просто тяга), измеряемая в килограммах (kГ)¹ или ньютонах (H); время работы (или продолжительность горения топлива) — t ; масса топлива — m ; полная масса двигателя — M ; удельный импульс — $I_w = \text{kГ} \cdot \text{s}/\text{кг}$ ($\text{даH} \cdot \text{s}/\text{кг}$).

В ракетной технике используется понятие удельного импульса — тяги, которую можно получить в результате горения 1 кг топлива в течение 1 с. Кроме того, существует понятие полного импульса, т. е. произведения тяги на время. Если, например, мы располагаем двигателем тягой 2 кГ, работающим в течение 10 с, то простым умножением силы тяги на время можно определить полный импульс $2 \cdot 10 = 20 \text{ кГ} \cdot \text{s}$. Можно вычислить и удельный импульс, если скорость истечения газов данного двигателя поделить на ускорение свободного падения $9,8 \text{ м}/\text{s}^2$ (часто для упрощения расчетов эту величину принимают равной 10).

А вот вспомогательные упрощенные соотношения:
Удельный импульс

$$I_w = \frac{Rt}{m} \text{ кГ} \cdot \text{s}/\text{кг},$$

где R — тяга, t — продолжительность работы, m — масса заряда топлива.

Отсюда можно рассчитать *тягу*

$$R = \frac{I_w m}{t} \text{ кГ},$$

массу заряда топлива

$$m = \frac{Rt}{I_w} \text{ кг}$$

и продолжительность работы двигателя

$$t = \frac{I_w m}{R} \text{ с.}$$

Если масса топлива ракетомодельного двигателя равна 0,006 кг, удельный импульс составляет 120 $\text{kГ} \cdot \text{s}/\text{кг}$, продолжи-

¹ kГ — единица силы, $1 \text{ кГ} = 9,8 \text{ H} = 0,98 \text{ даH}$; кг — единица массы.

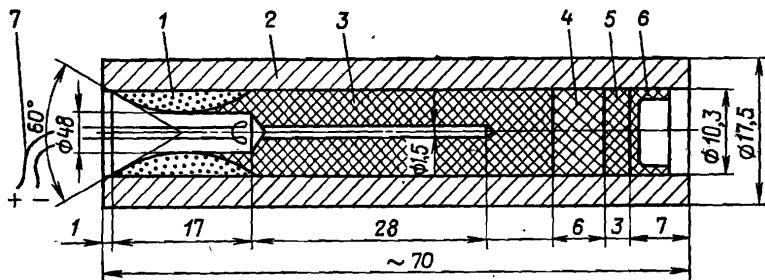


Рис. 6.1. Типичная конструкция модельного двигателя промышленного производства.

1 — керамическое сопло; 2 — цилиндрический корпус, склеенный из нескольких слоев картона; 3 — заряд топлива, в котором для увеличения поверхности горения высверлен цилиндрический канал; 4 — замедлительный заряд торцевого горения; 5 — вышибной заряд; 6 — переднее днище двигателя; 7 — электрозапал.

тельность горения 3 с и тяга 0,24 кГ, то легко проверить соответствие этих данных по вышеприведенным формулам:

$$R = \frac{120 \cdot 0,006}{3} = \frac{0,720}{3} = 0,24 \text{ кГ},$$

$$m = \frac{0,24 \cdot 3}{120} = \frac{0,720}{120} = 0,006 \text{ кг},$$

$$t = \frac{120 \cdot 0,006}{0,24} = 3 \text{ с.}$$

Для сравнения можно сказать, что настоящие ракеты-носители космических кораблей имеют тягу в сотни тысяч килограмм.

Важная характеристика двигателя — отношение тяги к его массе. Двигатель малой тяги не сдвинет с места собственной конструкции, не говоря уже о корпусе и оборудовании всей ракеты. Чем больше должна быть скорость ракеты, тем больше топлива должно приходиться на килограмм его массы.

Поделив массу всей ракеты (так называемую *стартовую массу*) на массу конструкции ракеты, получим так называемое *соотношение масс*. Чем больше тяга данного двигателя и легче конструкция ракеты, тем большей высоты она, очевидно, достигнет. Это общий вывод очень важен и для моделей ракет.

На рис. 6.1 показана конструкция модельного двигателя на твердом топливе промышленного производства. Двигатель работает следующим образом. Воспламенитель электрической системы зажигания устанавливается внутри камеры сгорания (через выпускное сопло) так, чтобы топливо находилось с ним в контакте. После включения системы зажигания происходит запуск двигателя. Топливо промышленного производства выгорает равномерно.

После сгорания последнего слоя основного заряда воспламе-

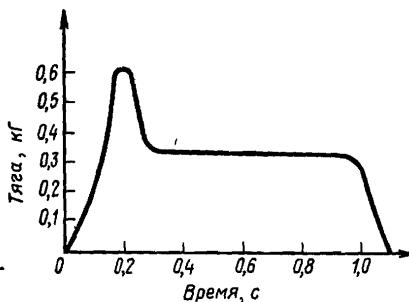


Рис. 6.2. Диаграмма тяги ракетомодельного двигателя.

няется замедлитель (горит он как папироса — с торца). Его цель — задержать воспламенение так называемого *вышибного заряда*. Прежде чем он выполнит свои функции — выбьет переднюю стенку двигателя, — ракета после старта должна достигнуть определенной высоты.

Вышибной заряд представляет собой запрограммированное пиротехническое устройство, позволяющее простейшим образом выбросить, например, парашют для возвращения корпуса ракеты на землю. В зависимости от объема и формы вышибного заряда можно получать различные полные импульсы тяги.

Типичный график работы двигателя указанного типа приведен на рис. 6.2. Интересно сравнить его с подобным графиком для двигателя «Джетекс».

Международная Авиационная Федерация (ФАИ) рекомендует классификацию модельных ракетных двигателей, представленную в табл. 6.1. Классификация дает возможность проводить соревнования и сравнивать достижения моделей ракет с одинаковыми техническими данными.

Таблица 6.1

Классификация модельных ракетных двигателей

Класс	Полный импульс		Стартовая масса модели, кг
	кГ·с	Н·с	
I	0,01—0,250	0,1—2,50	0,06
II	0,251—0,500	2,51—5,00	0,09
III	0,501—1,000	5,01—10,00	0,12
IV	1,001—4,000	10,01—40,00	0,24
V	4,001—8,000	40,01—80,0	0,50

Среди различных типов двигателей промышленного производства для моделей ракет особый интерес представляют двигатели,

выпускаемые заводом Адамовске Строярне в Дубнице (ЧССР). Стандартный двигатель этой фирмы RM 2,5/5 имеет следующие технические данные: длина 45 мм; диаметр 22,5 мм; масса 20—23 г; продолжительность горения топлива 0,6 с; полное время работы (включая время сгорания замедлителя) 5 с; удельный импульс 0,32 кГ·с \approx 3,2 Н·с. Рекомендуется, чтобы стартовая масса модели ракеты не превышала 70 г. Расшифровывается обозначение RM 2,5/5 таким образом: ракетный двигатель (мотор), полный импульс 2,5 Н·с, время работы замедлителя 5 с.

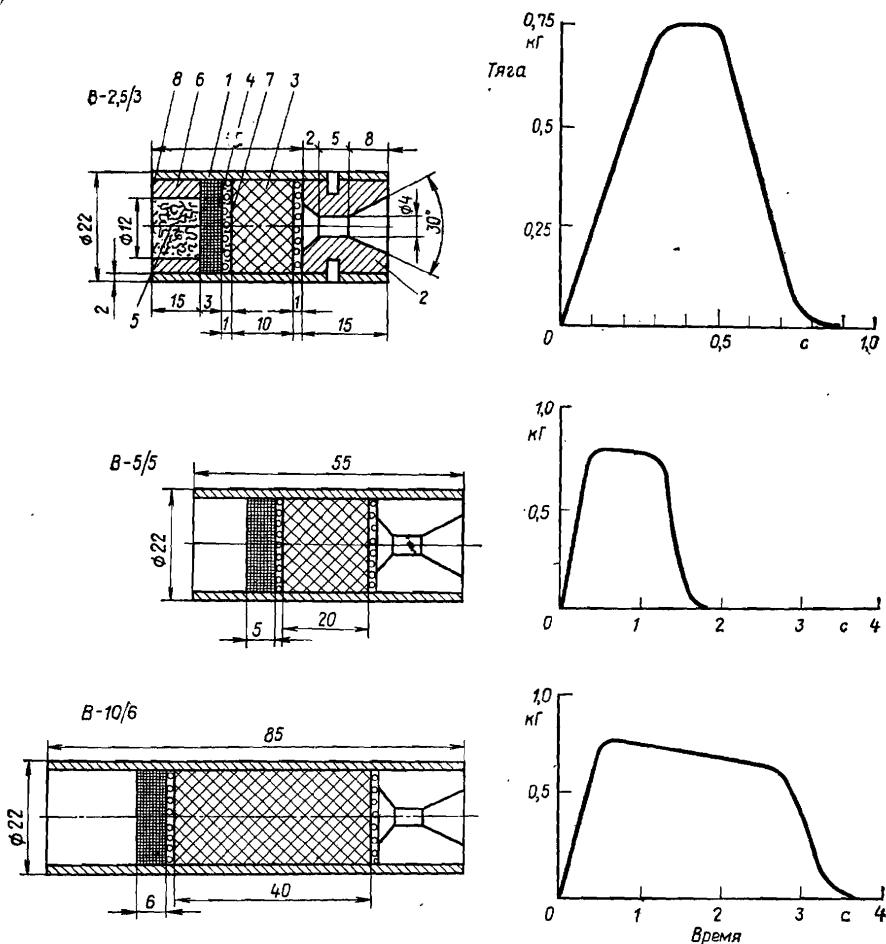


Рис. 6.3. Три типа ракетных двигателей и их тяговые диаграммы.

1 — корпус (картон); 2 — выхлопное сопло (чертежная бумага); 3 — основной заряд; 4 — замедлитель; 5 — вышибной заряд; 6 — гильза (бумага); 7 — прокладка-воспламенитель; 8 — переднее днище (бумага).

Тот же завод выпускает двигатели RM 5/6, 10 и 20, предназначенные для более крупных моделей ракет, которые могут достигать высоты 1000 м.

В соответствии с заводскими рекомендациями двигатели необходимо хранить в сухом помещении и применять в сухую погоду (при небольшой влажности воздуха), так как увлажнение топлива может привести к его растрескиванию и тем самым к непредвиденному резкому увеличению поверхности горения, т. е. к взрыву. Корпус двигателя (это касается всех двигателей данного типа) можно использовать только один раз, так как после сгорания топлива его картонные стенки слегка обугливаются и он уже не годится для дальнейшего использования.

На рис. 6.3 показаны три двигателя производства завода МВБС в Пардубицах (Чехословакия): а) В-2,5/3; б) В-5/5; в) В-10/6. Их конструкция подобна двигателям, описанным выше.

Давление в камере сгорания двигателей серии В (табл. 6.2) равна 10 кГ/см². Обозначения имеют тот же смысл, что и для двигателей типа RM. Внешний диаметр всех трех двигателей одинаков и равен 22 мм, а внутренний 18 мм. Диаметр критического сечения сопла (горловины) равен 4 мм.

Таблица 6.2

Характеристики некоторых модельных двигателей чехословацкого производства

Тип двигателя	В-2,5/3	В-5/5	В-10/6
Полная масса, г	28	30	70
Время работы, с	0,8	1,6	3,2
Максимальная тяга, кГ	0,75	0,75	0,75
Полный импульс, кГ·с	0,375	0,75	1,5
Время работы замедлителя, с . .	3	5	6

Хорошими параметрами обладают ракетомодельные двигатели США. Они выпускаются многими фирмами в соответствии с запросами Национальной ассоциации любительского ракетостроения. Наибольшее распространение получила продукция фирмы ESTES. Конструкция двигателей ESTES аналогична представленной на рис. 6.1. Их характеристики приведены в табл. 6.3 и 6.4. Наибольшую тягу имеют двигатели этой фирмы, обозначенные символами В. 3-0 и В. 3-5.

На рис. 6.4 представлены типичные диаграммы тяги американских двигателей. График вычерчен для двигателя типа В. 8-4. Следует отметить характерные точки кривой, интересующие каждого ракетомоделиста, который сравнивает характеристики различных двигателей. Максимальную тягу легко рассчитать (ее зна-

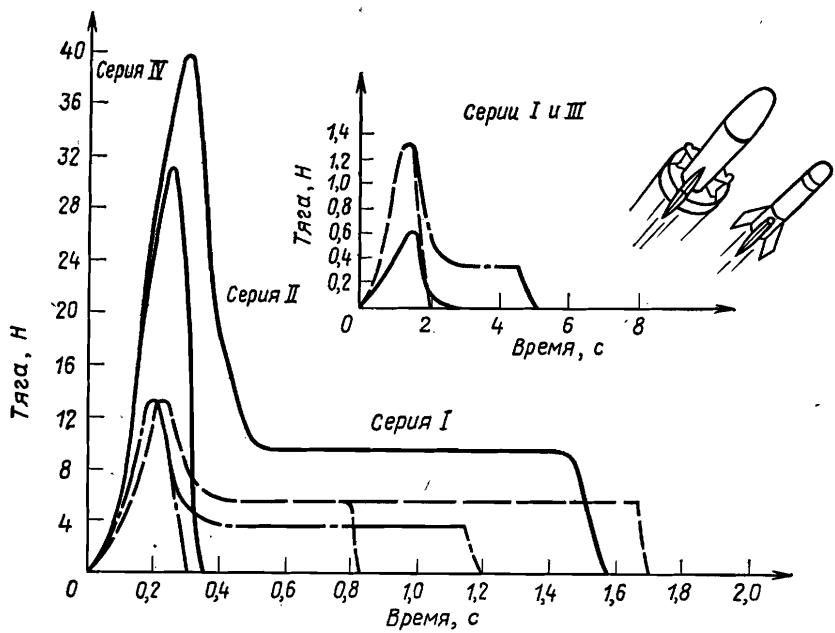


Рис. 6.4. Диаграммы тяги типовых американских двигателей для любительских ракет.

Таблица 6.3

Характеристики некоторых модельных двигателей американского производства

Тип двигателя	В. 3-0	В. 3-5
Полный импульс, кГ·с	0,52	0,52
Максимальная тяга, кГ	4,1	4,1
Средняя тяга, кГ	1,54	1,54
Время работы, с	0,35	0,35
Удельный импульс, кГ·с/кг	83	83
Полная масса, г	20	20
Масса заряда, г	11,3	11,3
Время работы замедлителя, с	0	4—5

чение соответствует самой верхней точке графика). Резкий наклон кривой вниз означает сгорание основного заряда двигателя. Приблизительно горизонтальная линия с постоянным значением тяги соответствует горению замедлителя, а небольшой пик в кон-

Таблица 6.4

Характеристики модельных двигателей американского производства

Тип двигателя	Масса, г	Полный импульс, кГ·с	Время работы, с	Время работы за-мерзлиеля, с	Цвет корпуса двигателя	Максимальная масса модели ракеты, г
1/4 A. 8-2	15,0	0,07	0,15	2	Зеленый	57
1/2 A. 8-2	15,5	0,16	0,4	2—3	Голубой	71
A. 8-3	17,0	0,32	0,9	3	Фиолетовый	85
B. 8-4	20,0	0,52	1,4	4	Красный	100
B. 3-5	20,0	0,52	0,35	5	Красный	115

Двигатели второй ступени

1/4 A. 8-4	15,0	0,07	0,15	4	Зеленый	28
1/2 A. 8-4	15,5	0,16	0,4	4	Голубой	43
S. 8-4	17,0	0,32	0,9	4	Фиолетовый	43
B. 8-6	20,0	0,52	1,4	6	Красный	43

Двигатели для многоступенчатых моделей ракет

1/4 A. 8-0	15,0	0,07	0,15	—	Зеленый	57
1/2 A. 8-0	15,5	0,16	0,4	—	Голубой	57
A. 8-0	17,0	0,32	0,9	—	Фиолетовый	71
B. 8-0	20,0	0,52	1,4	—	Красный	85
B. 3-0	20,0	0,52	0,35	—	Красный	140

це диаграммы (не показан) связан с кратковременным действием вышибного заряда. Пока этим ограничимся, так как к графикам подобного типа мы еще вернемся при описании способов измерений.

Для топлив, подобных смеси цинка с серой, горящей при температуре 1700 К (1427°C) со скоростью 2,286 см/с, следует использовать металлические сверхзвуковые выхлопные сопла (например, из хромомолибденовой стали, прочность которой $R_m=36 \text{ кГ/см}^2$). Для ориентации укажем характерные соотношения для такого сопла (называемого также соплом Лаваля), полученные опытным путем:

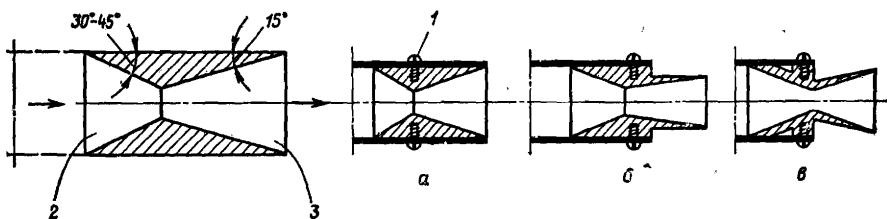


Рис. 6.5. Сопла двигателей моделей ракет.

a — простейшее в изготовлении точеное сопло; *b* — более сложное точеное сопло; *c* — сложное в изготовлении сопло малого веса.
1 — шуруп с полусферической головкой; 2 — сужающаяся часть сопла; 3 — расширяющаяся (выходная) часть сопла.

а) Диаметр критического сечения сопла равен $\frac{1}{3}$ внутреннего диаметра камеры сгорания.

б) Минимальный угол расширения выходной части сопла 15° (рис. 6.5).

в) Площадь выходного сечения сопла должна быть в 7—8 раз больше площади критического сечения. Другими словами, соотношение площадей выходного и критического сечений сопла должно быть 7:1 или 8:1.

г) Если используется топливо в виде заряда с вырезанным каналом или внутренней поверхностью горения, то максимальная площадь поперечного сечения канала на выходе должна составлять $\frac{1}{3}$ площади критического сечения сопла двигателя.

Сопло можно сделать также из керамических материалов. Не исключается использование пластмассы и картона.

Модели ракет, предназначенные для исследований, а не для соревнований, можно оборудовать миниатюрными твердотопливными двигателями. Двигатель такого типа можно сделать самому, соблюдая правила безопасности и придерживаясь приведенных рекомендаций относительно размеров сопла и заряда. Конструкция такого двигателя, основанная на результатах исследований советских моделистов, показана на рис. 6.6.

Двигатель имеет картонный корпус, в который помещен топливный заряд. (Напомним, что корпус ни в коем случае нельзя делать из металла.) Топливом служит смесь, состоящая из 19 г селитры, 3 г серы и 8 г древесного угля (вместо древесного угля удобно использовать таблетки карболена). Каждый из этих компонентов надо держать отдельно и в небольших количествах — только в этом случае устраняется опасность взрыва, тогда как после смешения компонентов смесь взрывоопасна. Для уменьшения вероятности воспламенения в смесь можно добавить большее количество угля. Приготовление топлива и заправка им двигателя требуют соответствующих инструментов и соблюдения определенной последовательности в работе. Компоненты топлива следует растереть при помощи деревянного пестика на листе чистой бумаги.

Рис. 6.6. Миниатюрный ракетный двигатель.

- 1 — корпус (картон);
- 2 — сопло;
- 3 — крышка;
- 4 — основной заряд топлива;
- 5 — канал внутри заряда.

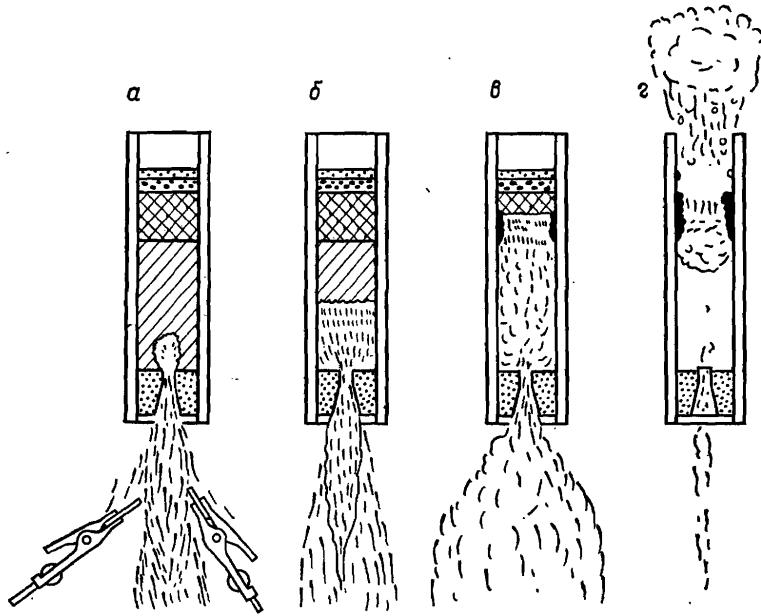
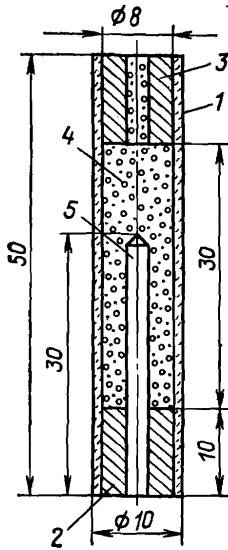


Рис. 6.7. Последовательность работы ракетомодельного двигателя.

- а — запуск;
- б — горение основного заряда;
- в — горение замедлительного заряда;
- г — действие вышибного заряда (в направлении, противоположном основной тяге).

В процессе смещивания ни в коем случае нельзя пользоваться замкнутыми сосудами, особенно металлическими. Тщательно размельченные компоненты просейте через сито с возможно более мелкой сеткой. Работу лучше всего начинать с измельчения угля, переходя затем к селитре и сере. Селитра и сера очень восприимчивы к воде, поэтому их следует хранить в сухом месте и вдали от огня.

Размельченные в порошок компоненты необходимо точно взвесить и смешать в указанных пропорциях, аккуратно пересыпая их с одного кусочка картона или листа чистой бумаги на другой. Пересыпать следует до тех пор, пока смесь не станет однотонной. Непосредственно перед заправкой смеси в корпус ее следует смочить спиртом (на 100—150 г смеси добавить 3—5 г спирта). Увлажненную смесь необходимо снова перемешать, соблюдая при этом все меры предосторожности.

Для заправки приготовленного таким способом топлива в корпус нужны деревянные тиски и трамбовка — деревянный стержень. Очередность работ при заправке топлива в двигатель следующая: насыпьте в корпус 1—2 г смеси, постукивая по трамбовке молотком сначала несколько раз слабо, чтобы вышел воздух, а затем раз 10 посильнее, чтобы частички порошка спрессовались. После добавления очередной порции топлива процесс повторите. Количество ударов молотком по трамбовке при каждой повторной операции должно быть одним и тем же.

Корпус двигателя склейте из 6—8 слоев чертежной бумаги (внешний диаметр корпуса 10 мм, а внутренний 8 мм). С одной стороны корпуса вклейте плотно входящую деревянную пробку с отверстием в центре. Ее лучше всего сделать из отпиленного кусочка карандаша (длиной 10 мм) круглого поперечного сечения, из которого удален графит. Топливо не должно целиком заполнить корпус двигателя, так как туда еще необходимо вставить изготовленное из карандаша деревянное сопло с отверстием диаметром 2,5 мм. Для увеличения поверхности горения в заряде топлива высверлите глухое продольное отверстие диаметром, равным внутреннему диаметру сопла. Для этого следует использовать сверло длиной около 30 мм. Изготовленный таким образом двигатель устанавливается в корпус модели ракеты непосредственно перед ее запуском.

Последовательные стадии работы ракетомодельного двигателя (от запуска до выключения под действием вышибного заряда) показаны на рис. 6.7.

Глава VII

РАКЕТНАЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

1. Электрические системы зажигания

Самое безопасное зажигание топливного заряда двигателя модельной ракеты обеспечивается электрической дистанционной системой зажигания, так как пульт запуска в этом случае может находиться в 5—20 м от места старта. Использование при этом описанного выше запального шнура (стопина) затруднительно и не всегда безопасно, тогда как правильно спроектированный и изготовленный электрический воспламенитель действует надежно и обеспечивает безопасность как спортсменов, так и зрителей.

Воспламенителем топлива в ракетомодельном двигателе обычно служит спираль из тонкой реостатной (хромоникелевой) проволоки, которая подсоединяется к контуру источника тока низкого напряжения. Источник тока обеспечивает нагрев проволочного сопротивления. В связи с этим для использования выбирается как можно более тонкая проволока (диаметром 0,2—0,3 мм). Длина ее подбирается такой, чтобы при протекании тока проволока нагревалась до красного цвета, но не плавилась. Например, из проволоки длиной около 75 мм можно сделать воспламенитель, показанный на рис. 7.1. В средней части проволоки делается спираль из трех или четырех витков диаметром $\sim 1,5$ мм. Ее можно намотать на игле, спице или стержне шариковой авторучки. Такая спираль позволяет увеличить греющую поверхность воспламенителя. Размер спирали зависит, очевидно, от диаметра сопла данного двигателя. Следует отметить, что большинство ракетомодельных двигателей промышленного изготовления, в том числе польских, снабжается комплектом воспламенителей.

Изготовленный электрический воспламенитель вводится через горловину сопла в двигатель таким образом, чтобы спираль хорошо соприкасалась с поверхностью топлива, так как только в этом случае может произойти надежное воспламенение топливно-

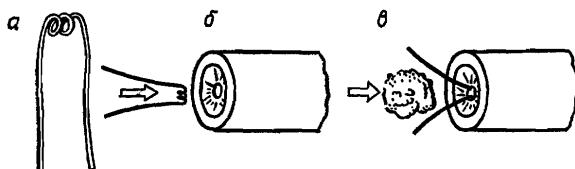


Рис. 7.1. Воспламенитель ракетомодельных двигателей промышленного изготовления.
а — воспламенитель; б — введение воспламенителя в сопло; в — фиксация воспламенителя в сопле с помощью ваты.

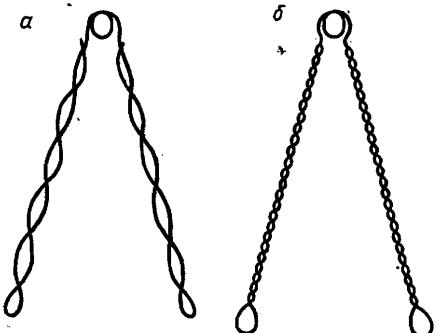


Рис. 7.2. Типы воспламенителей, изготовленных из хромоникелевой проволоки.

a — воспламенитель свободной скрутки; *b* — воспламенитель плотной скрутки, покрываемый изоляционным лаком.

го заряда. Для того чтобы лучше зафиксировать воспламенитель в двигателе, в сопло можно дополнительно вложить небольшой тампон ваты. Однако он не должен быть слишком плотным, чтобы его легко могла выбросить первая порция продуктов сгорания. Некоторые конструкции самодельных проволочных воспламенителей показаны на рис. 7.2.

Если двигатель с установленным в нем воспламенителем не предполагается сразу же использовать для запуска, то воспламенитель должен быть закорочен, т. е. оба конца проволоки сплетают вместе и разъединяют лишь тогда, когда двигатель, установленный на ракете, готовится вместе с ней к старту. Целесообразно иметь в запасе несколько двигателей с установленными в них воспламенителями, что облегчает подготовку ракеты к запуску (рис. 7.3).

Перед запуском сплетенные концы спиралей воспламенителя разъединяют и разводят в разные стороны. Для подсоединения воспламенителя к цепи питания удобно пользоваться небольшими металлическими зажимами, так называемыми «крокодилками», часто используемыми в электротехнике и радиотехнике. Такие зажимы следует установить как можно ближе к выходным соплам двигателей. Конец зажима припаивается к питающему проводу. Задержка воспламенения топлива с момента подачи тока в цепь воспламенителя может составлять от 0,5 до 5 с. Следует иметь в виду, что спираль воспламенителя при использовании, например, источника тока напряжением 9 В (состоящего из двух батареек на 4,5 В каждая) нагревается до температуры около 2400°C , а сила тока составляет около 2,25 А. Кроме того, минимальная температура воспламенения топливных зарядов промышленного изготовления составляет примерно 600°C . Поэтому при использовании электрических систем зажигания необходимо соблюдать осторожность.

Если при подаче тока в электрическую цепь воспламенение не происходит, то причиной может быть разрыв проводов, плохой

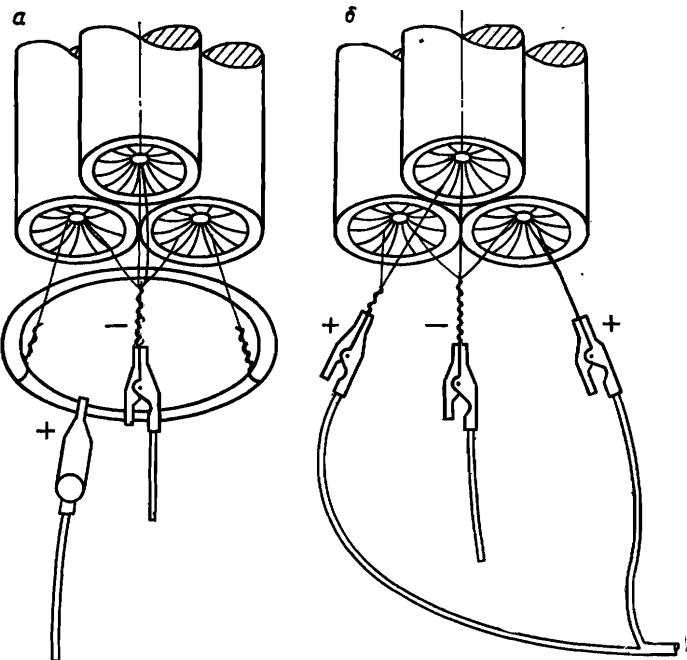


Рис. 7.3. Способы соединения воспламенителей в связке двигателей.
 а — концы воспламенителей соединены с металлическим кольцом и «крокодилковыми» зажимами; б — соединение концов воспламенителей с помощью трех зажимов.

контакт спирали воспламенителя с зарядом и с зажимами цепи питания, а также разрядившиеся или отсыревшие батареи.

Воспламенитель другого типа, называемый *пробковым*, представляет собой пробку из бальзы, резины или пробкового дерева, которая закрывает горловину сопла. Способ изготовления такого воспламенителя несложен. Проволочное сопротивление укрепляют на двух медных штырьках, изолированных один от другого, например, поливинилхлоридом. К концам проволоки припаивают питающие шины, идущие от источника тока.

Чем больше расстояние от стартового стола ракеты до пульта управления, где производят замыкание цепи, тем большее напряжение необходимо для питания. При расстоянии 5—10 м достаточно батарея на 4,5 В, при расстоянии до 50 м необходима батарея на 18 В, а при расстоянии от места старта до пульта управления, достигающем 100 м, требуются аккумулятор на 24 В и шина питания (провод большого сечения).

Простейшая схема дистанционного запуска показана на рис. 7.4. Питание к воспламенителю подается от батареи напряжением 12 В (если такой батареи нет, то можно соединить последовательно 8 батареек напряжением 1,5 В, либо 2 батареики по

6 В) через небольшой распределительный щиток, на котором расположены переключатель и сигнальная лампочка. Соединение выполняется таким образом, что источник питания включается либо на сигнальную лампочку, либо на воспламенитель. Нормальный накал сигнальной лампочки свидетельствует о том, что цепь питания исправна и можно осуществлять запуск. В момент переключения источника питания на цепь воспламенителя сигнальная лампочка гаснет. Переключатель может иметь вид латунной пластинки, скользящей по припаянным контактам проводов. Можно использовать также трехпозиционные переключатели промышленного изготовления. Распределительный щиток лучше всего изготовить из листа пластмассы или органического стекла толщиной 2—3 мм. Для лампочки напряжением 12 В (например, автомобильной или от елочной гирлянды) используется соответствующее стандартное гнездо.

Подсоединить воспламенитель к цепи питания можно с помощью небольших штеккеров (разъемов) промышленного изготовления или описанных выше зажимов.

Для безопасной и правильной работы системы зажигания необходимо соблюдать ряд требований: в контуре должна быть сиг-

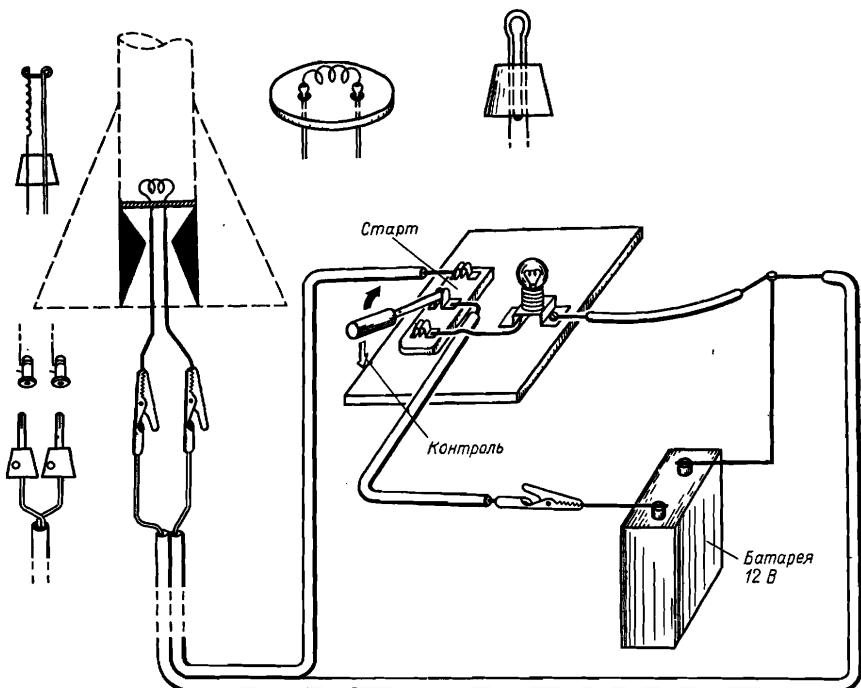


Рис. 7.4. Простейшая система зажигания с контрольной лампочкой (показаны также различные типы воспламенителей).

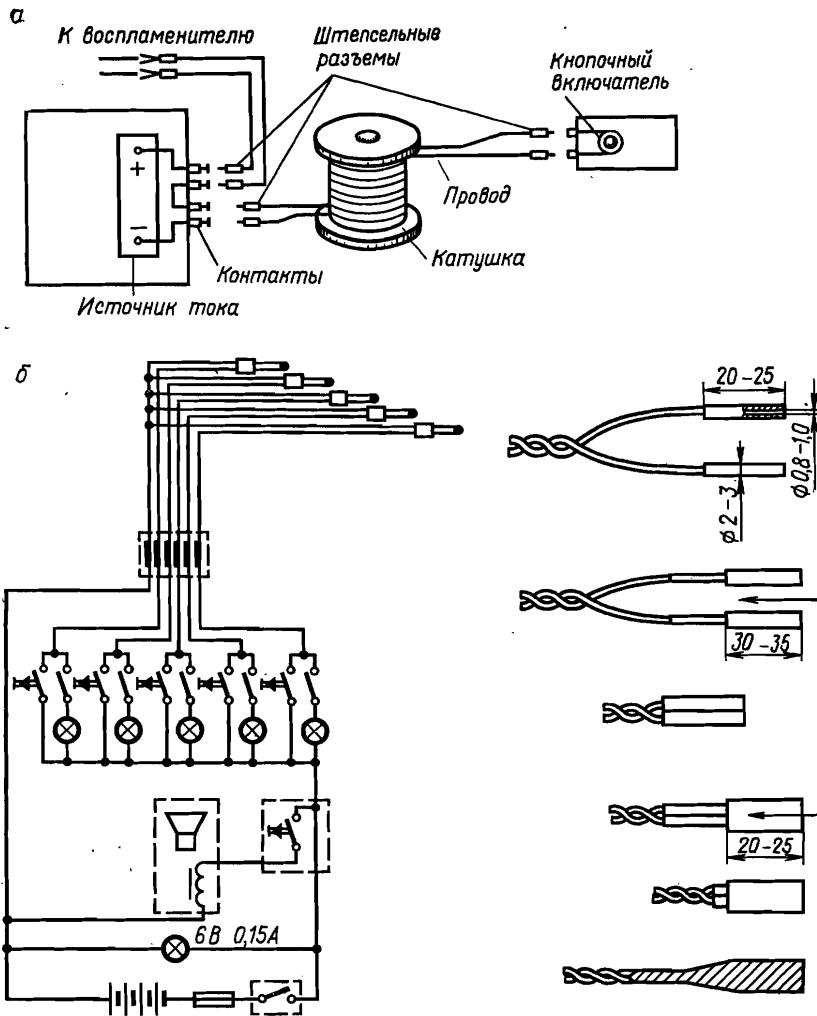


Рис. 7.5. Системы зажигания.

a — для запуска на значительном расстоянии; **b** — для запуска нескольких моделей.

нальная лампочка для визуального контроля исправности электрической цепи; доступ к щитку управления, с помощью которого производится запуск, должен быть запрещен всем посторонним; провода и источник питания должны содержаться в надлежащем порядке (следует помнить, что даже небольшое повреждение изоляции может привести к неконтролируемому запуску и, вследствие этого, к несчастному случаю).

При большом расстоянии между пусковой установкой и пуль-

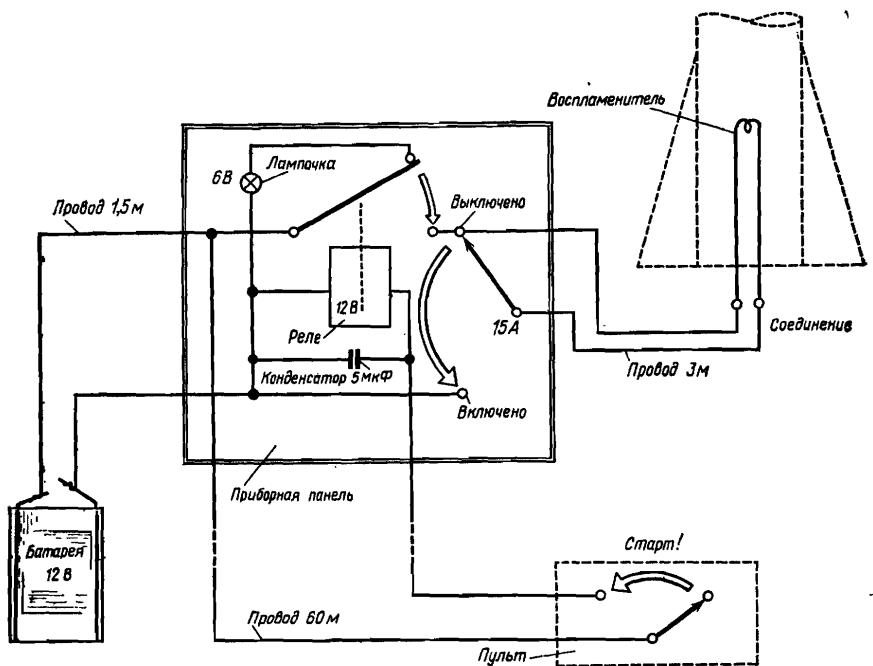


Рис. 7.6. Система зажигания с электромагнитным реле.

том управления можно использовать переносной пульт управления запуском, схема которого показана на рис. 7.5. В этом случае источник питания (например, аккумулятор) размещают вблизи пусковой установки. Провода цепи питания от него идут к воспламенителю ракеты и к кабелю, намотанному на деревянную катушку. Концы кабеля заканчиваются одиночными штеккерами или небольшими штепсельными разъемами. Щиток управления должен иметь такие размеры, чтобы его было удобно держать в руках; для включения цепи воспламенителя можно использовать кнопку от электрического звонка.

Система зажигания другого типа схематично изображена на рис. 7.6. В ней используется конденсатор на 5 мкФ и реле на 12 В. С момента включения системы зажигания¹ (с пульта, удаленного на 60—100 м от пусковой установки) конденсатор заряжается и действует на электромагнитное реле, которое в зависимости от регулировки замыкает контур через тот или иной промежуток времени. Сигнальная лампочка (6—12 В), наблюдаемая от пульта

¹ При соединении воспламенителя с цепью питания переключатель должен отключать источник тока, тем самым предотвращая случайное прохождение сигнала на воспламенитель.

та управления, позволяет контролировать визуально исправность системы зажигания.

Конструкция пульта управления, предназначенного для запуска моделей ракет, показана на рис. 7.7.

При установке рычага переключателя в правое положение (см. схему щитка управления) зажигается сигнальная лампочка, подтверждающая, что источник и цепь питания исправны. Запуск ракеты производят нажатием кнопки «старт», в результате чего ток поступает в цепь зажигания. Источником питания могут быть две батареи напряжением 4,5 В каждая или соответствующий аккумулятор, для подсоединения которого предусмотрены специальные клеммы.

Для корпуса пульта управления можно использовать пластмассовую или какую-либо другую коробку заводского изготовления. Такой пульт удобен в эксплуатации и, что особенно важно, не требует для изготовления специальных материалов и оборудования.

На рис. 7.7, г показан пульт управления, несколько отличающийся от тех, которые описывались выше.

При использовании двигателей промышленного изготовления вместо проволочной спирали можно применить запальный шнур (стопин) от двигателя «Джетекс», а для зажигания его можно использовать калильную свечу (от модельных двигателей внутреннего сгорания). Как показано на рис. 7.8, провода от свечи идут к источнику питания и выключателю. Источником питания для большинства свечей накаливания может служить батарея напряжением от 1,5 до 2 В. При включении цепи от раскаленной спирали свечи запальный шнур зажигает топливный заряд и происходит запуск модели ракеты.

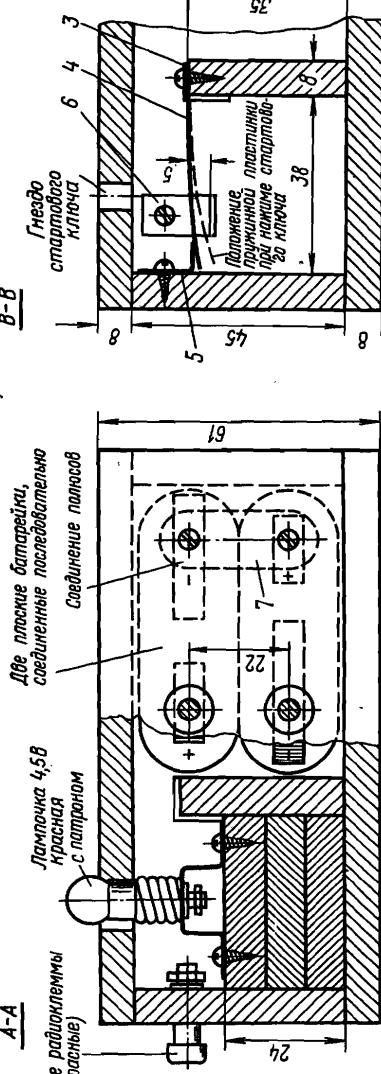
2. Пусковые установки

В предыдущих разделах при описании запуска простейших ракет было рассказано о нескольких типах пусковых установок. Теперь дополним эти сведения применительно к спортивным моделям. У ракет этого типа тяга больше, поэтому необходимо, чтобы и пусковая установка была намного прочнее.

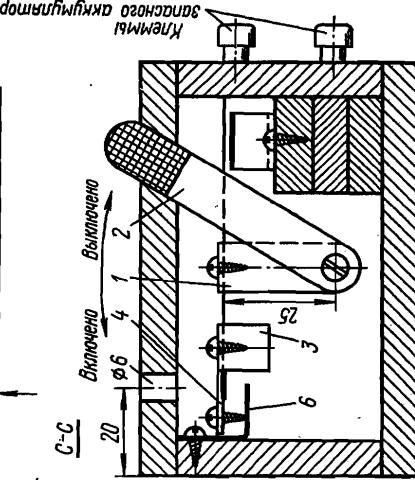
Как уже говорилось, модели ракет, как правило, стартуют с пусковой установки, набирая на ее направляющих скорость, необходимую для самостоятельного устойчивого полета. При этом существуют два типа движения ракет по направляющим: с помощью так называемого стартового захвата (направляющего крючка, кольца), установленного на корпусе модели, и на направляющих без захвата. В первом случае ракета удерживается на направляющей, например, с помощью кольца или Т-образного крючка, причем захват при движении ракеты скользит вдоль направляющей штанги, спрофилированной соответствующим обра-

a —
Две пластины
свободные послойно
сваренные полосы
Лампочка 4,5 В
Красная
с патроном
Две батарейки
(Красные)

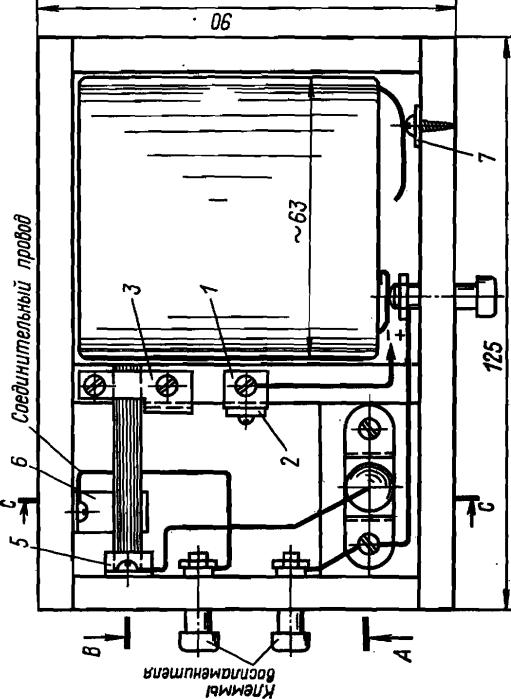
b —
—



35x8x38
Gnachschot akrymijurmpa
Hilfsmittel



20 4 22
Gnachschot akrymijurmpa
Hilfsmittel



125 63 24
Durchgangselement
Hilfsmittel

b —
—

b —
—

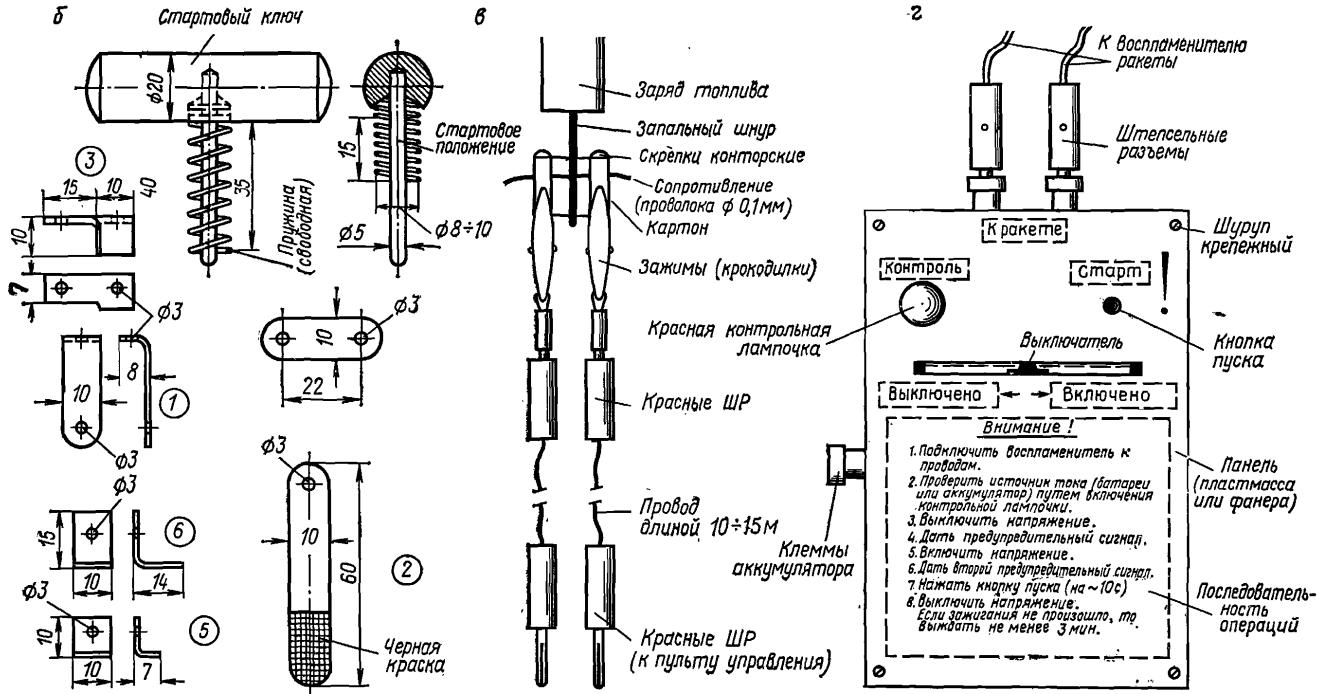


Рис. 7.7. Конструкция пульта управления запуском.

1 — кронштейн переключателя; 2 — рычаг переключателя; 3 — контактная пластина; 4 — пластинчатая пружина; 5 — контакт провода; 6 — угловой контакт; 7 — перемычка батареи.

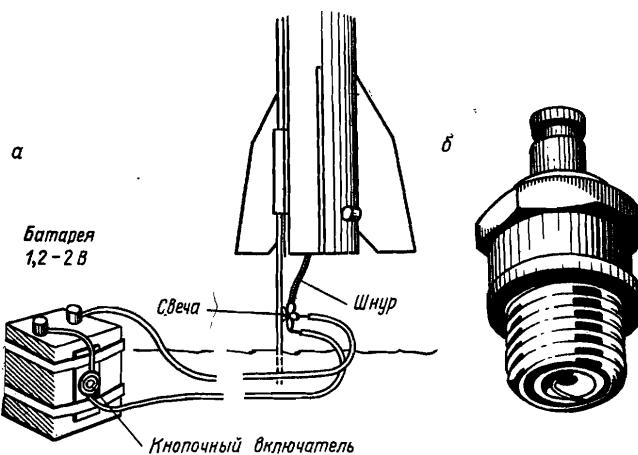


Рис. 7.8. Система зажигания с использованием калильной свечи.

зом. Конструкция пусковой установки зависит от конструкции и характеристик модели ракеты.

Если ракета не имеет стартового захвата, то для ее запуска необходимы три или четыре направляющие, которые удерживают ракету от бокового перемещения во время старта. Если на корпусе ракеты предусмотрен захват, то простейшей пусковой установкой (для небольших моделей) может служить стальной пруток (штырь) диаметром 3–6 мм и длиной 1000 мм, укрепленный в земле.

Имеется и лучшее конструктивное решение пусковой установки с одной направляющей, которое используется довольно часто. В этом случае направляющая штанга, представляющая собой дюралевую трубку диаметром 5–6 мм, закрепляется в деревянной платформе размерами $20 \times 300 \times 300$ мм. Над платформой размещается отражатель пламени (дефлектор), предохраняющий ее от воздействия пламени и горячих газов, выбрасываемых из двигателя. Дефлектор имеет вогнутую форму и может быть изготовлен из листа жести толщиной 0,5 мм. После этого готовая пусковая установка покрывается жаростойким лаком, цвет которого определяется вкусом конструктора.

При изготовлении и эксплуатации пусковой установки такого типа нужно помнить, что перед каждым пуском направляющую следует тщательно протирать тряпкой и проверять, нет ли помех свободному движению модели вдоль нее. Диаметр и длина направляющей выбираются таким образом, чтобы она не отклонялась чрезмерно от заданного угла старта и не вибрировала.

В соответствии с рекомендациями ФАИ угол старта моделей ракет не должен быть менее 60° . Следовательно, направляющая пусковой установки должна обеспечивать угол старта в диапазон-

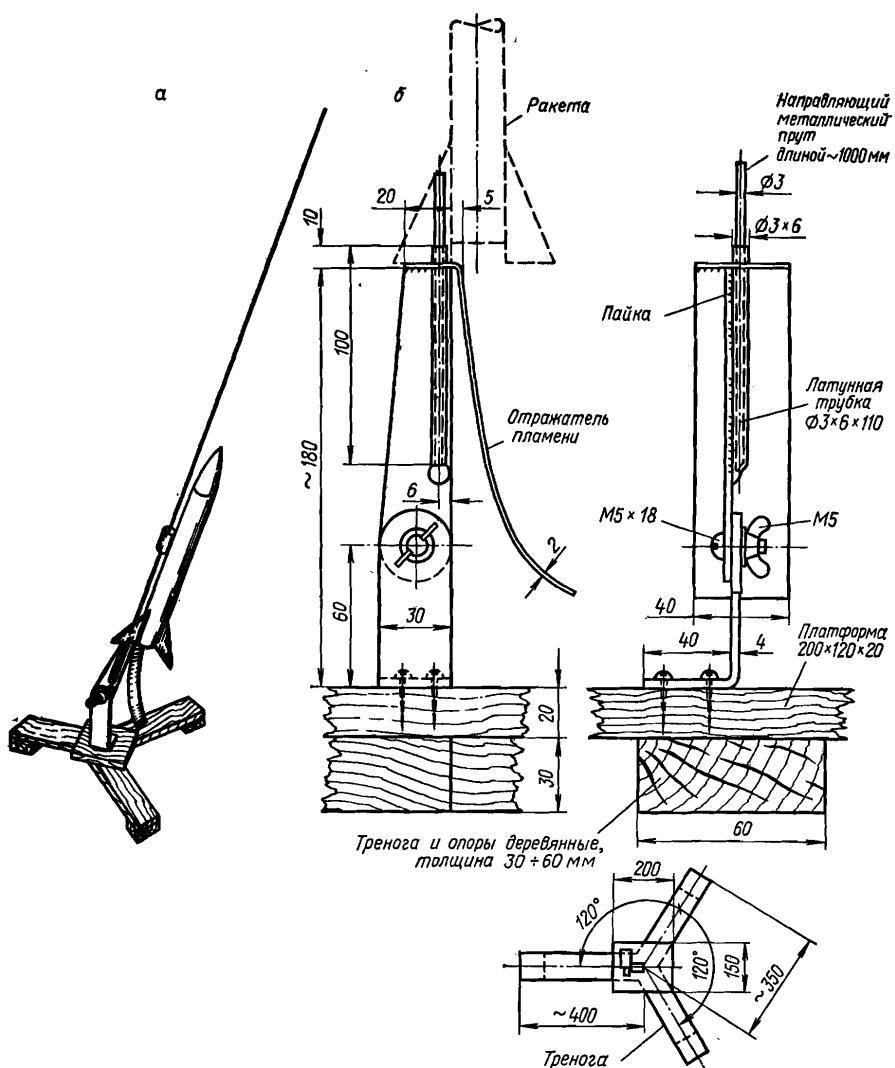


Рис. 7.9. Пусковая установка с прутковой направляющей и регулированием угла запуска.

а — общий вид; *б* — конструкция.

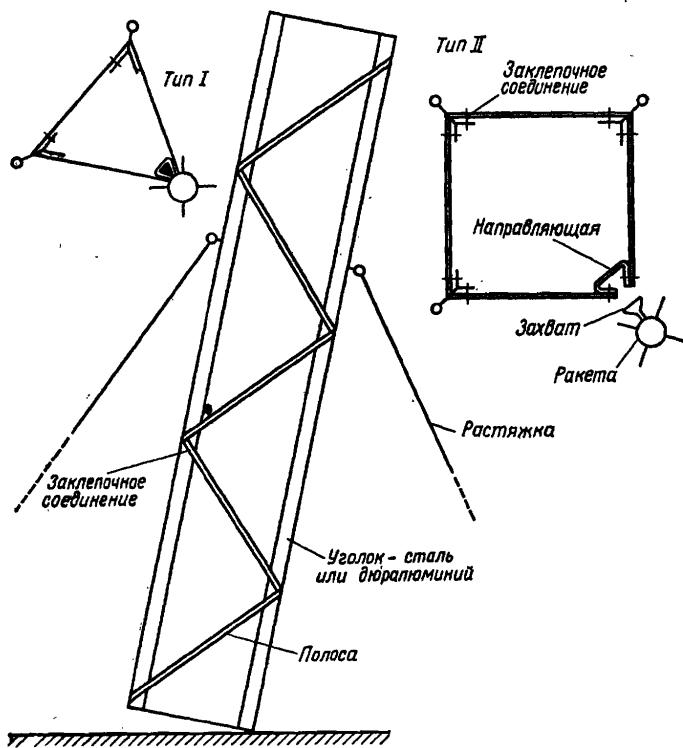


Рис. 7.10. Металлическая пусковая установка ферменного типа для любительских ракет.

не $60-90^\circ$. Следует отметить, что угол старта $80-85^\circ$ является оптимальным в отношении безопасности.

Пусковая установка с направляющей в виде прутка и регулируемым углом старта показана на рис. 7.9. Угол наклона направляющей изменяется здесь с помощью барашковой гайки и шарнира, который закреплен на основании пусковой установки.

В комплект такой пусковой установки входят следующие элементы:

- тренога (основание пусковой установки), изготовленная из доски толщиной 30—60 мм;
- деревянная платформа размерами $200 \times 120 \times 20$ мм;
- стальной угловой кронштейн $4 \times 30 \times 120$ мм;
- крепление направляющей, сталь, $4 \times 30 \times 140$ мм;
- труба для повышения жесткости направляющей, латунь, $\phi 3 \times 6 \times 110$ мм;
- отражатель пламени, сталь $2 \times 20 \times 180$ мм;

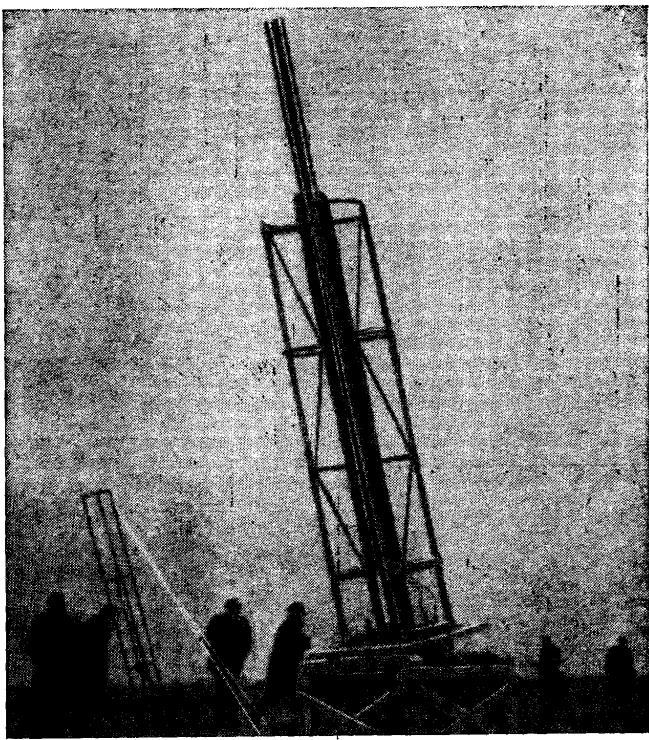


Рис. 7.11. Деревянная пусковая установка.

- направляющая (пруток из нержавеющей стали), $\Phi 3 \times 1000$ мм;
- барабановая гайка М5;
- винт с полукруглой головкой М5×18 для металла;
- шуруп 2,7×20 для дерева (3 шт).

На рис. 7.10 схематично изображена переносная пусковая установка металлической конструкции для любительских ракет, широко используемая в США.

Что касается обслуживания пусковой установки, то, кроме тщательного монтажа и ориентации направляющей под заданным углом, для лучшего старта крупных моделей целесообразно смазывать направляющую перед стартом густой смазкой (тавотом).

Длина направляющей для обеспечения необходимой скорости схода должна быть больше длины модели по крайней мере в три раза. Оригинальные конструкции пусковых установок, разработанные польскими ракетомоделистами, приведены на рис. 7.11—7.14.

Практика показала, что пусковые установки простейшей конструкции оказываются одновременно и наиболее надежными.

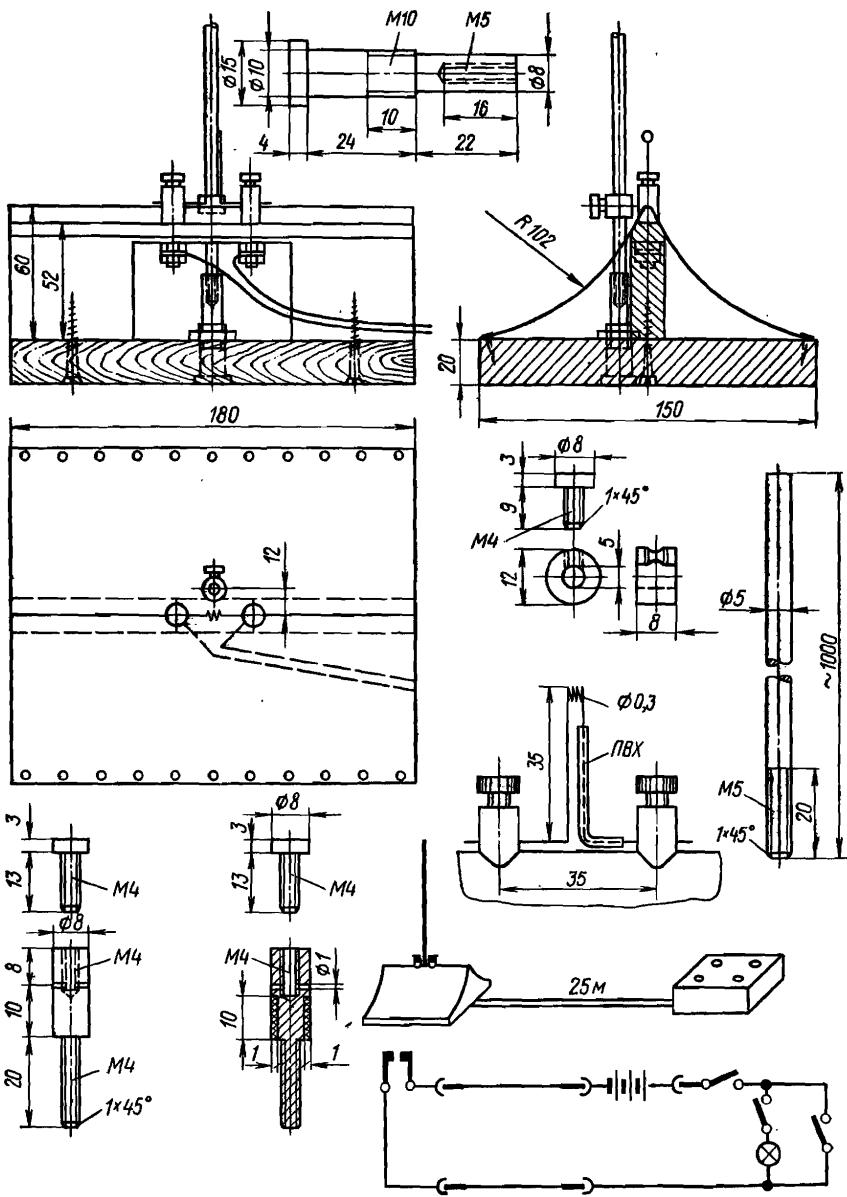


Рис. 7.12. Пусковая установка с прутковой направляющей и встроенной системой зажигания.

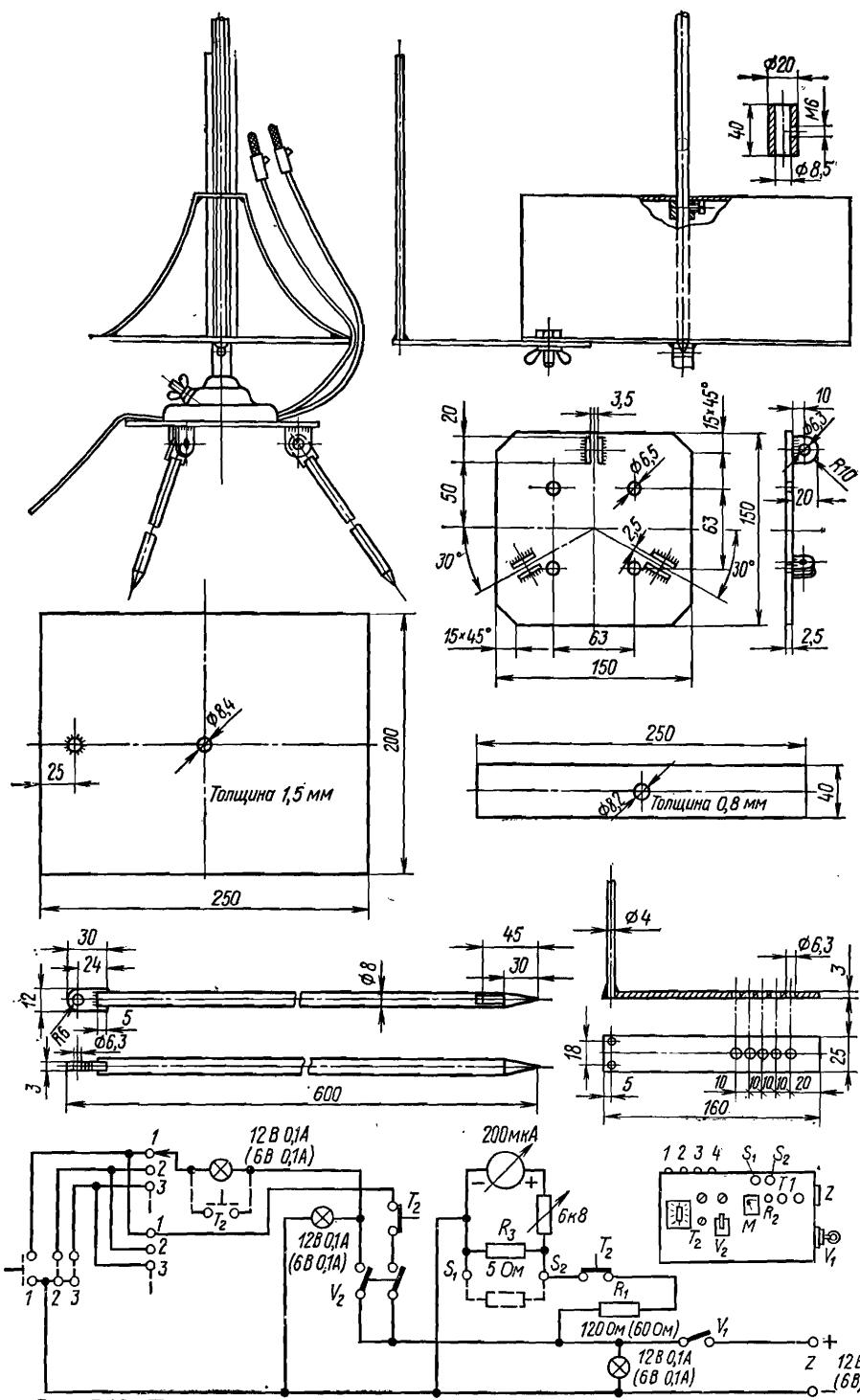


Рис. 7.13. Пусковая установка с вертикальным направляющим стержнем и встроенной системой зажигания.

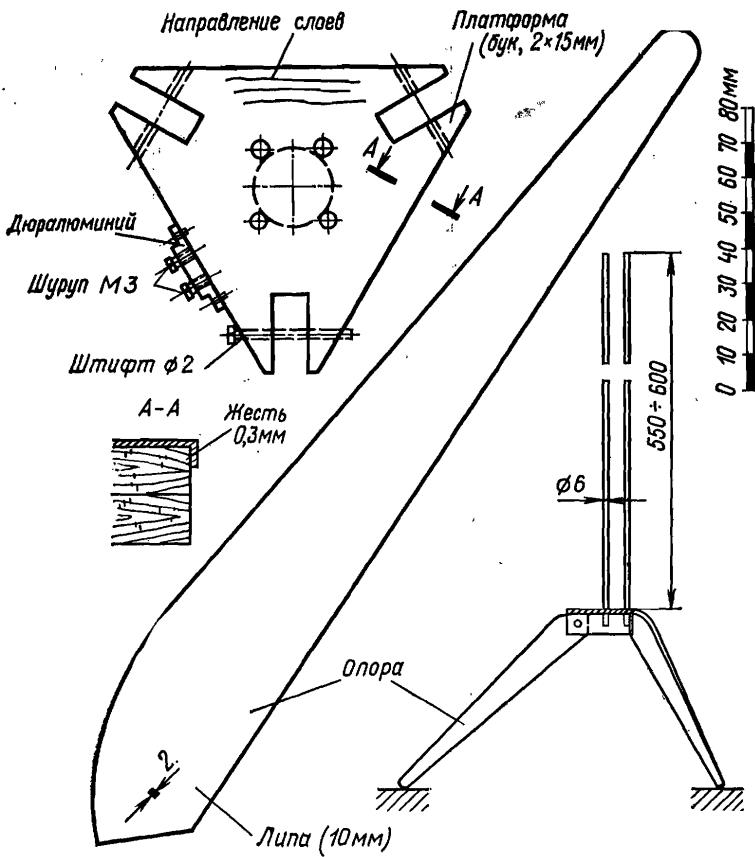


Рис. 7.14. Складная пусковая установка с вертикальным направляющим стержнем.

Например, на первых международных соревнованиях, проводившихся в Чехословакии в 1966 г., самой популярной была пусковая установка с одной направляющей — штырем, а модель имела захват в виде направляющих колец. Основание такой установки представляет собой составную деревянную треногу, скрепленную барашковой гайкой. Пусковая установка после ее разборки удобно размещается в ящике, в который укладываются также модели ракет и вспомогательное оборудование.

Пусковая установка с прутковой направляющей должна также обеспечивать необходимую безопасность. Для этого целесообразно устанавливать на конце направляющей, например, белый шарик для настольного тенниса. Наличие шарика наверху пусковой установки означает, что пусковая не приведена в действие.

Эта простая мера безопасности использовалась на соревнованиях и может быть рекомендована для широкого применения.

Очень практичным является также объединение пусковой установки с источником питания. Для этого платформу пусковой установки встраивают в ящик соответствующих размеров, в котором размещаются также источники питания и катушка с проводом. Такое расположение оборудования особенно рекомендуется при запуске с использованием реле.

Глава VIII

АВТОМАТИКА НА МОДЕЛЯХ РАКЕТ

1. Устройства для возвращения моделей

Тогда как модельный ракетный двигатель используется однократно, сама модель вместе с содержащимся в ней разнообразным оборудованием может быть приспособлена для многократного применения. Прежде чем познакомиться с бортовым оборудованием различных моделей ракет, рассмотрим способы их возвращения, при которых модель опускается на землю в неповрежденном виде.

Уже при первых пробных запусках моделей обнаруживается следующая важная закономерность. Если модель устойчива в течение всего полета, то при падении она ударяется о землю головной частью, что обычно приводит к значительным повреждениям. Если же, наоборот, после прекращения работы двигателя что-то «испортилось», например отклеился один из стабилизаторов, вследствие чего корпус модели продолжает полет, произвольно меняя направление, как лист, падающий с дерева, то, как это ни странно на первый взгляд, повреждения модели при ее падении на землю оказываются менее значительными. Секрет этого, как уже, наверное, поняли читатели, состоит в увеличенном сопротивлении, которое имеет корпус модели, кувыркающейся в полете, тогда как стабилизированная модель, движущаяся вперед головной частью, развивает значительно большую скорость, что и приводит к большим повреждениям ее при столкновении с землей.

Однако для безопасного возвращения модели ракеты способ случайной и даже запрограммированной дестабилизации не годится. Более надежно использовать парашют, представляющий собой устройство, обеспечивающее снижение скорости падающего тела и «мягкое» его приземление. Парашют — нетъемлемая часть большинства моделей ракет.

Действие парашюта основано на сопротивлении воздуха, которое создает при снижении в атмосфере его купол. Чем больше поверхность купола, тем меньше скорость приземления; чем больше масса полезной нагрузки парашюта, тем больше соответственно должен быть его купол.

Рассмотрение удобно начать с парашютов, предназначенных для моделей ракет массой 50—60 г. Для таких ракет характерно применение парашюта с квадратным куполом. Заготовку для купола лучше всего вырезать из тонкой полиэтиленовой пленки. После этого заготовку погружают в горячую воду и растягивают ее вдоль и поперек для получения желаемой куполообразной формы. К четырем концам полученного купола с его внутренней

стороны прикрепляют стропы (нити) одинаковой длины 150—200 мм. Их можно закрепить на куполе с помощью тонкой клейкой ленты (например, лейкопластиря). Концы строп нужно связать в узел, обращая внимание на то, чтобы они натягивались одинаково.

В рассматриваемом ниже примере, типичном для моделей ракет, узел строп связан с головной частью, которая в свою очередь соединена с корпусом ракеты при помощи амортизатора — резиновой ленточки сечением 1×4 мм. Одним концом амортизатор соединен с головной частью, а другим входит в паз корпуса, закрытый бумажной наклейкой или клейкой лентой. Резиновый амортизатор смягчает действие силы, возникающей в момент раскрытия купола парашюта (без этого не очень прочная нить может порваться).

Очень важно уметь правильно складывать купол парашюта. На рис. 8.1 показана последовательность этих операций: 1 — пальцами левой руки берут купол за вершину, так, чтобы его четыре угла сходились в одной точке внизу; 2 — правой рукой от вершины купола к его углам делают складки и складывают купол как носовой платок вдоль линий, соединяющих вершину купола и его углы с нитями; 3 — еще раз складывают купол вдвое в продольном направлении; 4 — купол складывают вдвое в поперечном направлении; 5 — полученный таким образом плоский пакет скатывают в плотный рулон, вокруг которого аккуратно обматывают стропы. Перед укладкой сложенного парашюта в корпус ракеты следует сделать для него упаковку — чехол, который можно вырезать и склеить из плотной чертежной бумаги (толщиной почтовой открытки). Сложенный парашют размещают в чехле, как показано на рис. 8.1. Если у вас купол из полиэтиленовой пленки, то необходимо следить за тем, чтобы он всегда был сухим, поскольку в противном случае пленка будет слипаться и купол парашюта может не раскрыться.

Сложенный и упакованный таким образом парашют должен иметь цилиндрическую форму. Аккуратно уложенный парашют легко выпадает из чехла, равномерно и быстро наполняется воздухом и доставляет модель в сохранности на землю. Надежность раскрытия парашюта следует проверить несколько раз перед запуском модели.

В первые годы развития ракетомоделизма в США был запатентован оригинальный способ возвращения ракет. Он состоит в использовании сопротивления развернутой в воздухе ленты (бумажной, из полиэтиленовой пленки или из ткани). Лента, которая по длине примерно в три раза больше модели, скатывается в рулон и укладывается в картонный футляр, который размещается в корпусе модели.

Процесс выбрасывания парашюта или ленты происходит следующим образом. После сгорания замедлителя срабатывает вышибной заряд, размещенный в передней части двигателя. Возни-

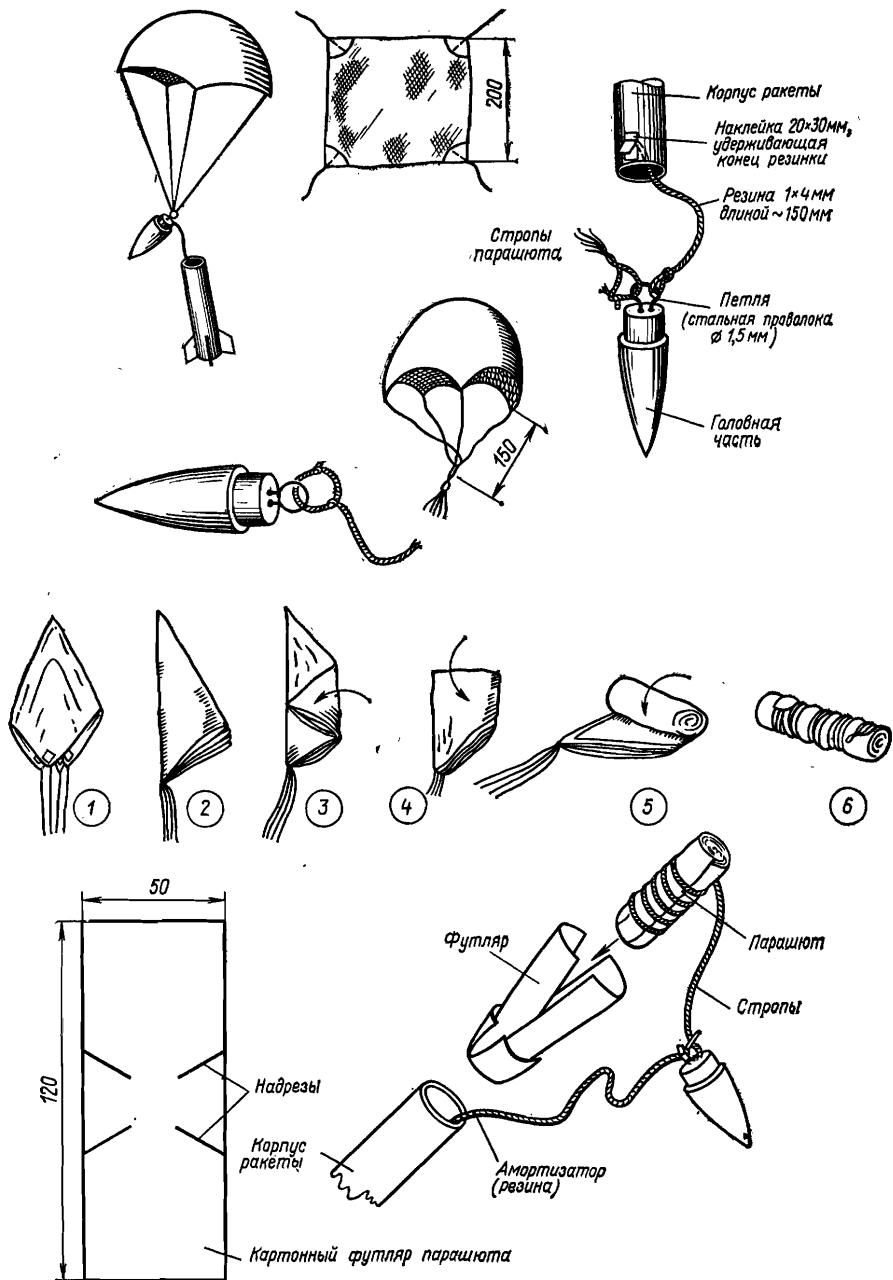


Рис. 8.1. Конструкция парашютной системы возвращения модели ракеты и последовательность укладки парашюта.

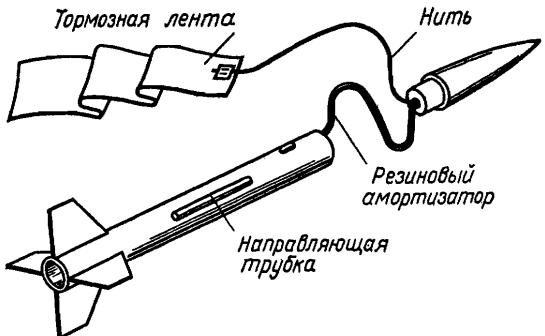


Рис. 8.2. Система возвращения модели ракеты, основанная на использовании тормозной ленты.

кающие при этом газы истекают в направлении головной части и выталкивают ее; отделяясь от корпуса, она увлекает за собой скатанную ленту или сложенный парашют. Модель с тормозной лентой показана на рис. 8.2.

Для более тяжелых моделей, очевидно, требуются парашюты более совершенной конструкции. Для облегчения расчетов необходимого размера купола на рис. 8.3 представлена номограмма, где приведены основные параметры купола парашюта кругового контура (радиальное деление клиньев) и восьмиугольного контура (продольное деление клиньев). Номограмма позволяет определить диаметр кругового купола d и скорость приземления v при заданной массе полезного груза Q . Можно использовать также парашют с несимметричным куполом — так называемое *упругое крыло типа «рогалло»* (рис. 8.4).

Материалом для крупных куполов может служить тонкий шелк, батист или капрон. Для строп парашюта используют крепкие нейлоновые нитки. Длина строп должна составлять ориентировочно 1,25 диаметра купола. Здесь следует отметить, что в объеме 1 см³ корпуса ракеты можно уложить 30—40 см² купола парашюта вместе со стропами.

Использование на моделях ракет тормозных устройств имеет особое значение в соревнованиях на продолжительность полета, поскольку время полета измеряется с момента запуска до момента приземления.

Однако парашют удовлетворяет не всех конструкторов. Иногда используют более сложные устройства, к которым можно отнести, например, многолопастную крыльчатку, которая при вращении действует аналогично ротору вертолета, уменьшая скорость падения. Лопасти ротора модели (рис. 8.5—8.9) разворачиваются автоматически под действием воздушного потока, возникающего при падении модели по окончании работы двигателя.

На рис. 8.10 показана модель, построенная ракетомоделистами СССР, у которой парашют выбрасывается из корпуса пружиной.

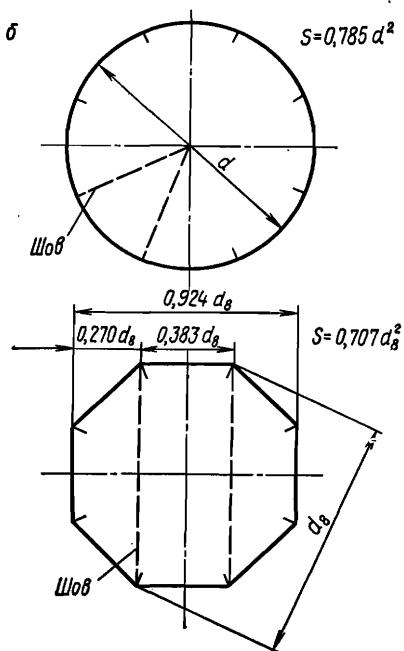
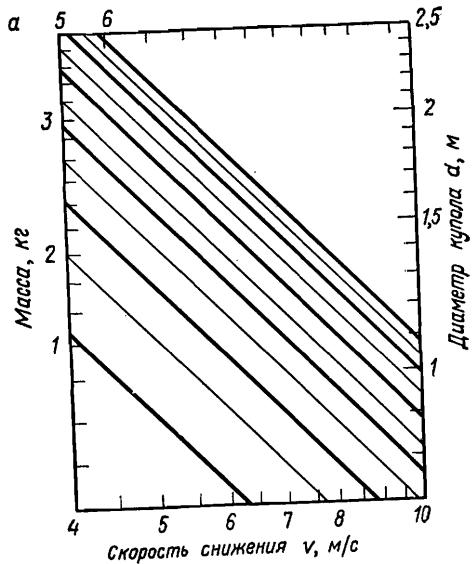


Рис. 8.3. Номограмма для определения скорости снижения модели ракеты в зависимости от диаметра купола парашюта и массы возвращаемого груза.

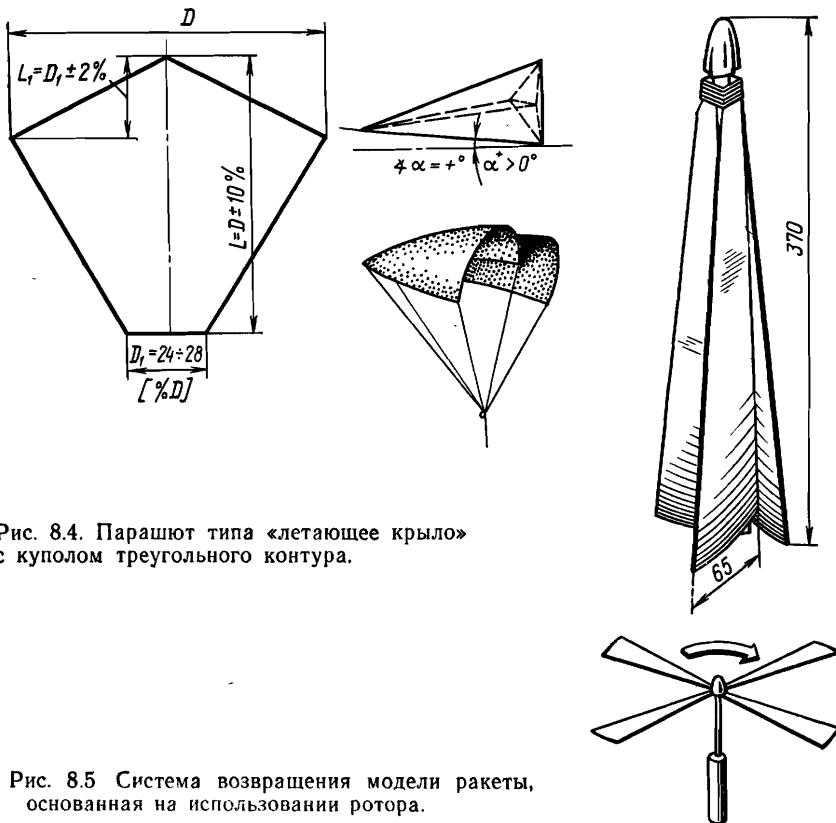


Рис. 8.4. Парашют типа «летающее крыло» с куполом треугольного контура.

Рис. 8.5 Система возвращения модели ракеты, основанная на использовании ротора.

Пружина размещается в корпусе или его отсеке; одним своим концом, который закрыт поршнем, она сжимает сложенный парашют. Диаметр стальной проволоки, из которой сделана пружина, 0,3—0,5 мм; сила давления пружины не должна превышать 5—7 Г (0,05—0,07 Н). При установке двигателя в корпус модели пружину сжимают; когда модель стоит на пусковом столе, сложенный парашют зажат в ее корпусе. Во время полета ракеты с работающим двигателем парашют удерживается в корпусе под действием силы тяги. После окончания работы двигателя пружина распрямляется и выталкивает из корпуса модели сначала отработавший двигатель, а затем и сложенный парашют. После этого раскрывается купол парашюта и модель благополучно опускается на землю.

Советскими ракетомоделистами также предложен способ спуска с использованием тормозной манжеты. Он заключается в том, что на корпусе двигателя закрепляется картонное кольцо, диаметр которого несколько больше диаметра корпуса модели.

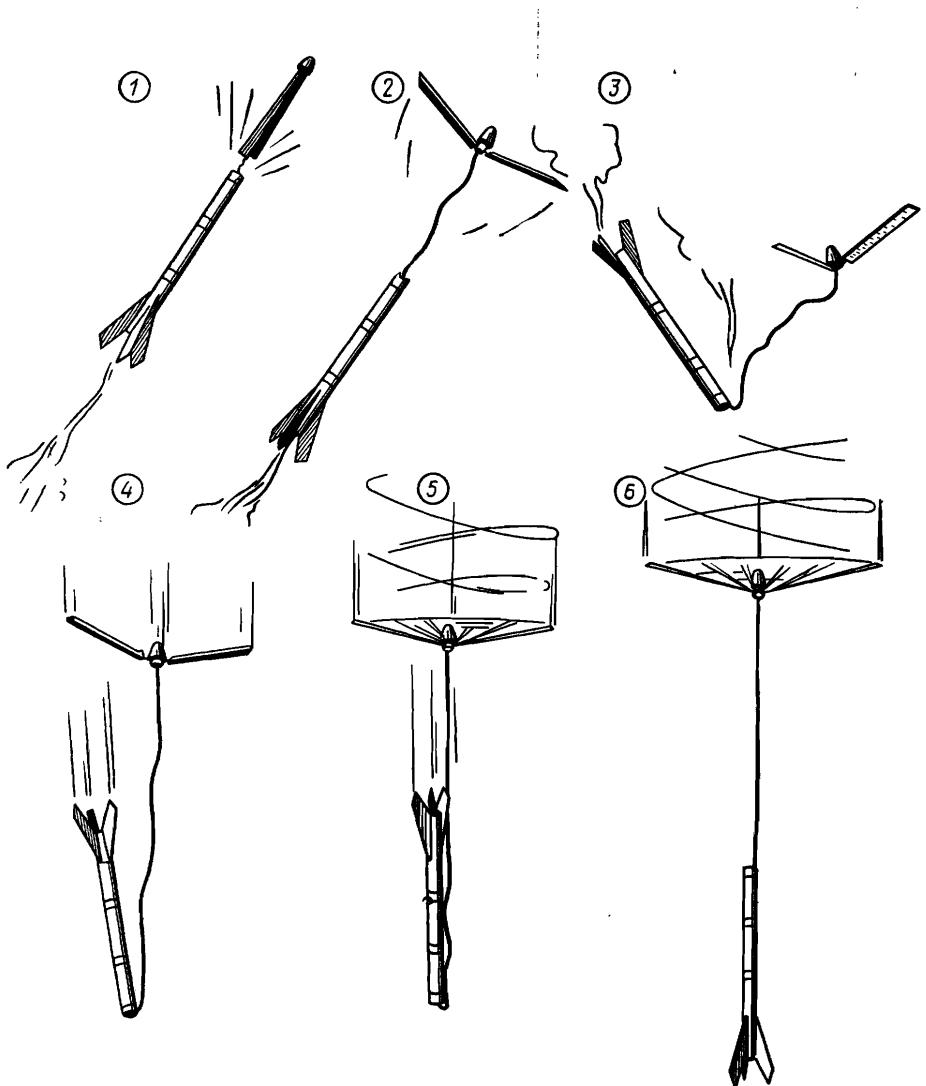


Рис. 8.6. Последовательность раскрытия роторной системы возвращения.

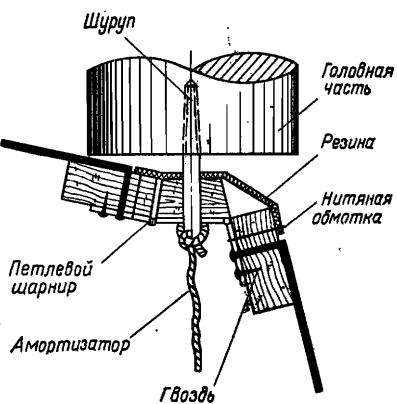
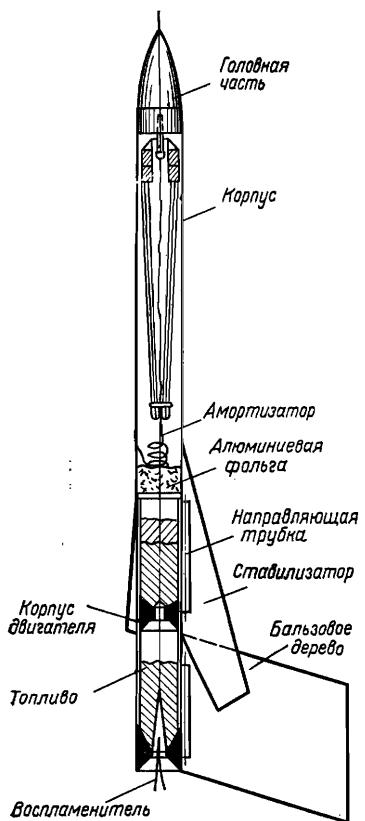


Рис. 8.8. Конструкция крепления лопастей ротора.

Рис. 8.7. Модель ракеты с ротором, сложенным внутри корпуса.

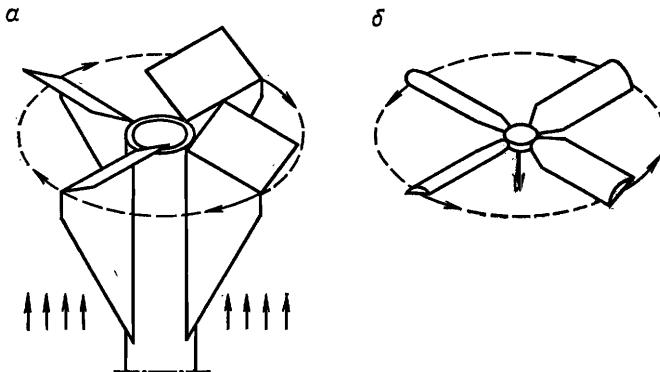


Рис. 8.9. Другой способ возвращения ракеты.

Концы стабилизаторов (аэродинамические рули) сильно отклоняются в одну сторону (а), и модель при снижении приобретает вращательное движение вокруг продольной оси (б).

Рис. 8.10. Выбрасывание парашюта с помощью пружины.

1 — пружина;
2 — поршень;
3 — парашют;
4 — двигатель модели ракеты.

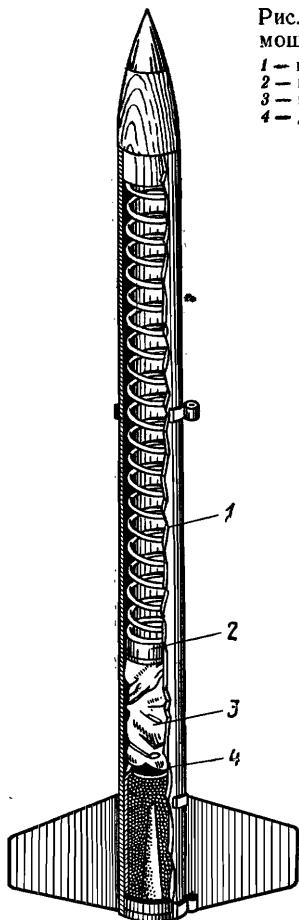
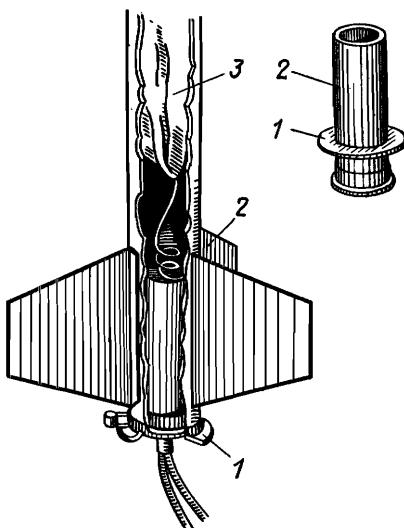


Рис. 8.11. Модель ракеты с тормозной манжетой.

1 — манжета;
2 — корпус двигателя;
3 — парашют.



Двигатель устанавливается в корпусе достаточно свободно и соединяется нитью со сложенным куполом парашюта (рис. 8.11). После прекращения работы двигатель выбрасывается из корпуса модели под действием скоростного напора воздуха на это картонное кольцо; за ним вытягивается и раскрывается парашют.

2. Устройства для разделения ступеней

В технике как «большого», так и модельного ракетостроения важную роль играют многоступенчатые и многоблочные конструкции. Практическое применение нашли двух- и трехступенчатые модели ракет, которые позволяют выводить последнюю ступень (или полезную нагрузку) на значительно большую высоту по сравнению с той, какая может быть достигнута при использо-

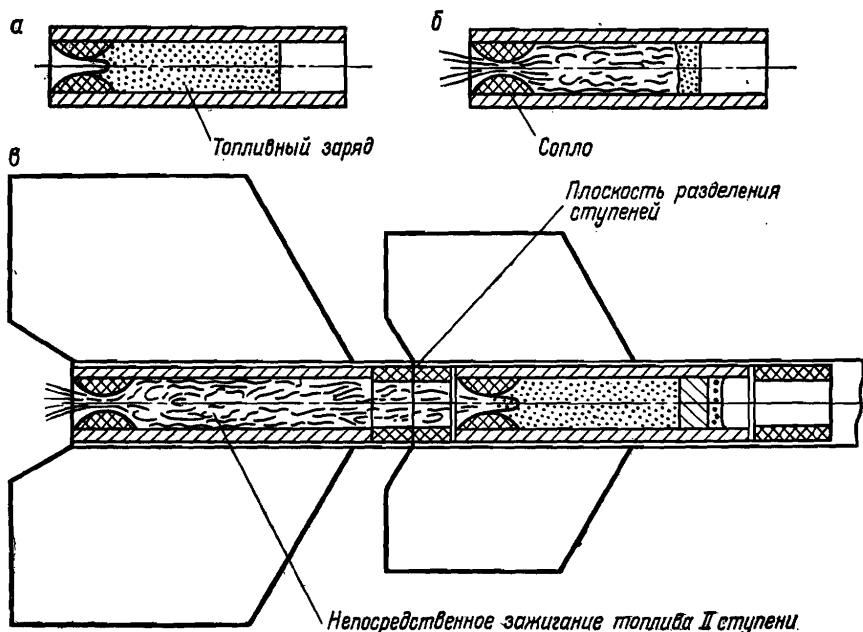


Рис. 8.12. Схема соединения ступеней.

а — двигатель первой ступени; *б* — двигатель второй ступени; *в* — запуск двигателя второй ступени от работающего двигателя первой ступени.

вании одноступенчатых ракет. Для того чтобы ступени модели могли разделяться в определенные моменты времени (например, после прекращения работы двигателя первой ступени должен произойти запуск двигателя второй и т. д.), необходимо автоматическое устройство, обеспечивающее выполнение требуемой последовательности действий.

Наиболее простым устройством для разделения ступеней является система двух соединенных двигателей, которые работают последовательно: первый запускается с помощью электрического воспламенителя, а второй — непосредственно от последней порции топлива первого двигателя. Этот двигатель вместе с соответствующим отсеком корпуса и оперением представляет собой первую, или *стартовую ступень*, а двигатель, запуск которого производится уже в полете, принадлежит ко второй ступени ракеты и может быть назван *маршевым*.

Как видно из рис. 8.12, двигатель первой ступени не имеет ни замедлительного, ни вышибного зарядов. Он устанавливается как можно ближе к соплу двигателя второй ступени. Для повышения надежности здесь можно использовать дополнительную огневую связь в виде запального шнура, соединяющего оба двигателя. Процесс запуска двигателя второй ступени иллюстрирует

рис. 8.12, в. Различные способы последовательного соединения ступеней ракет показаны на рис. 8.13. Соединение должно быть выполнено таким образом, чтобы в стыке обеспечивалась достаточная прочность модели и одновременно легкое разделение частей. Что касается аэродинамической устойчивости многоступенчатых ракет, то независимо от конкретного конструктивного решения следует знать, что оперение первой ступени должно иметь в два-три раза большую поверхность по сравнению с оперением следующей ступени.

Летные испытания многоступенчатых моделей целесообразно начинать с запуска последней ступени, последовательно присоединяя к ней, после успешных полетов, нижние ступени. Такой способ позволяет удостовериться в работоспособности всех блоков модели и сводит к минимуму неожиданности, которые могут возникнуть при испытаниях сразу всей многоступенчатой системы.

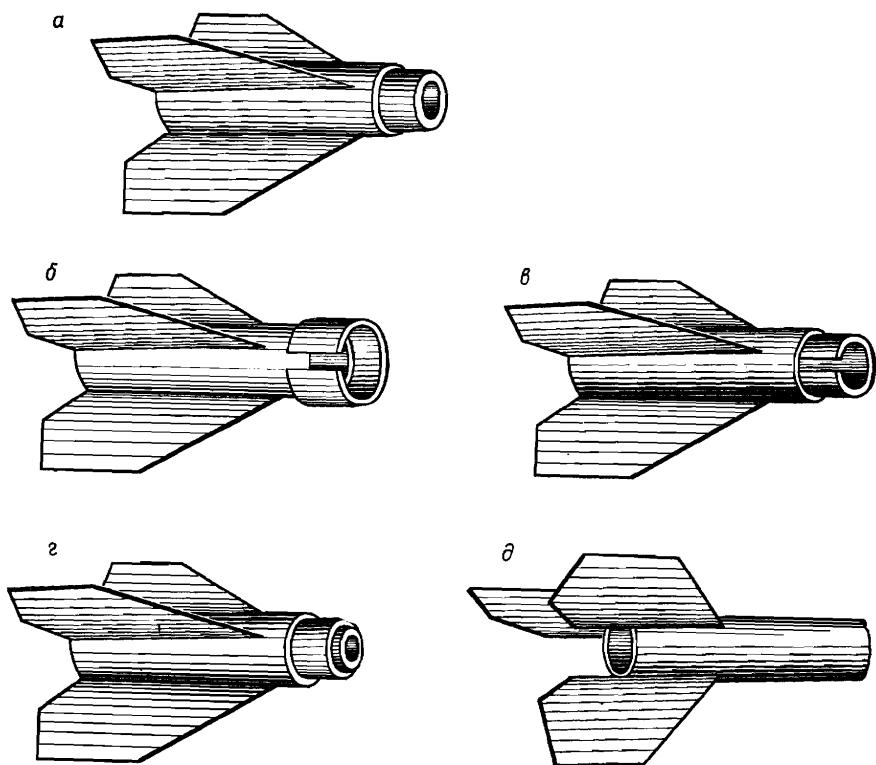


Рис. 8.13. Способы соединения ступеней.

а — стыковое; **б** — наружной муфты; **в** — замочное; **г** — внутренней муфтой с торцевой шпонкой; **д** — хвостовая часть второй ступени с цилиндрической посадочной поверхностью для стыкового соединения.

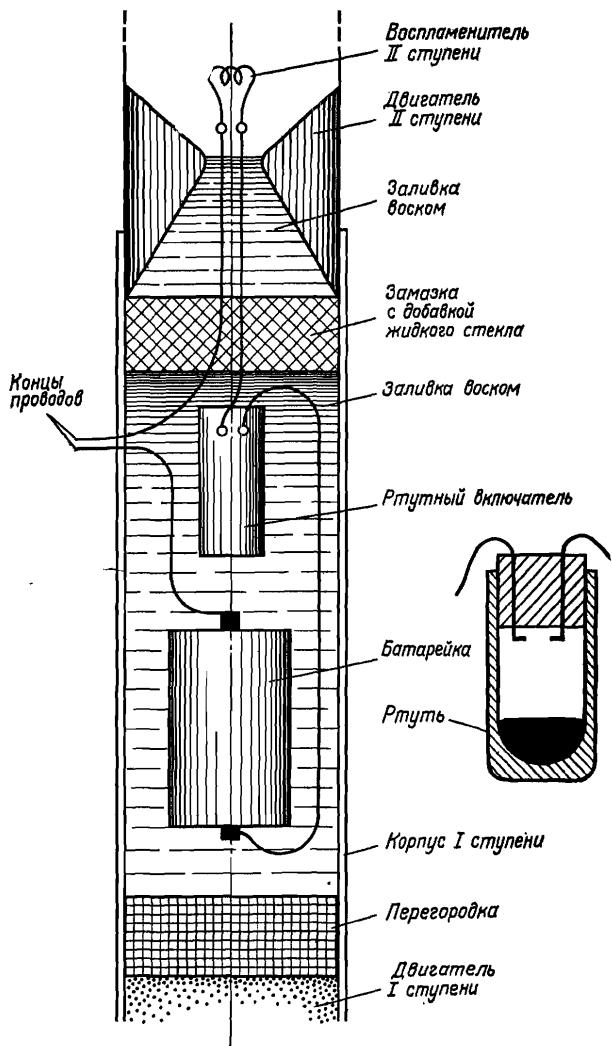


Рис. 8.14. Ртутный выключатель — автомат разделения ступеней моделей ракет.

Кроме этого, следует добавить, что стартовая ступень модели (или ускоритель, как ее еще называют) должна иметь облегченную переднюю часть, с тем чтобы ее возвращение на землю происходило в нестабилизированном полете, поскольку только в этом случае ее повреждения оказываются минимальными и она может быть использована повторно. Это условие необходимо соблюдать, потому что ускоритель обычно возвращается без парашюта, который, как правило, используется для возвращения головной части и последней ступени.

Более сложная система разделения ступеней моделей ракет

изображена на рис. 8.14. Главным элементом в ней является инерционный (ртутный) включатель, состоящий из стеклянной ампулы с небольшим количеством ртути, закрытой пробкой с двумя выведенными проводами. Для питания системы загажания используется миниатюрная пальчиковая батарейка, а сам запал второй ступени изготовлен из нити накаливания лампочки. Функции запала может выполнять и фотографическая лампа-вспышка.

В пробке включателя закреплены, как указывалось выше, концы проводов. Когда ртуть попадает на внутреннюю поверхность пробки, она замыкает контакты, и напряжение с батареи поступает на запал, который зажигает топливный заряд. Описанное простое и эффективное в работе устройство, апробированное во многих моделях ракет, основано на принципе использования силы инерции ртути при прекращении работы двигателя первой ступени. В этот момент происходит резкое уменьшение ускорения модели, в результате чего ртуть под действием собственной мас-

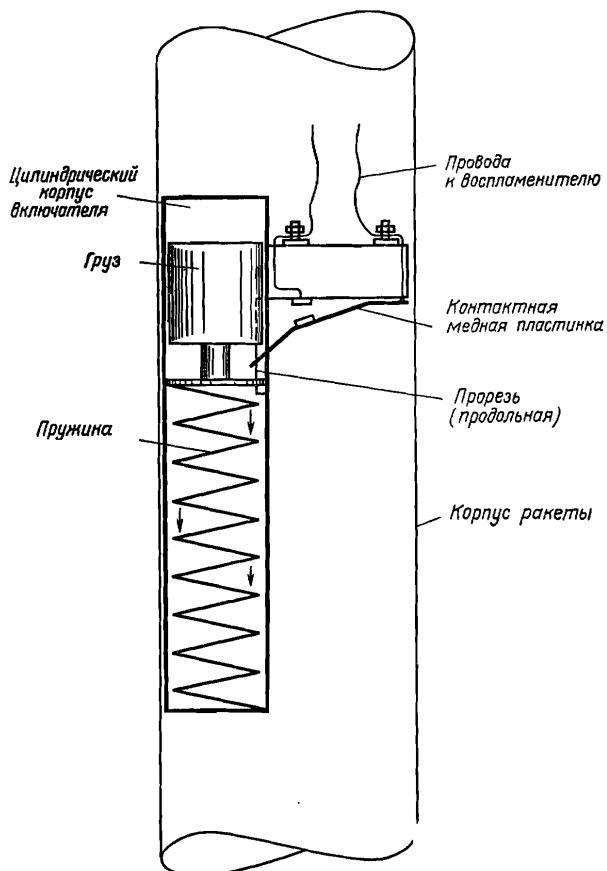


Рис. 8.15. Пружинный инерционный автомат разделения ступеней ракеты.

сы (силы инерции) перемещается в ампуле со дна на пробку, замыкая тем самым электрическую цепь системы зажигания. После этого запуск и работа двигателя второй ступени происходят автоматически. Однако при установке такого включателя следует убедиться в том, что он ориентирован в продольном направлении ракеты и электрические контакты находятся наверху, поскольку случайное замыкание контура воспламенителя при подготовке модели к старту может привести к несчастному случаю.

Торцы последовательно соединяемых ступеней вставляют один в другой и после этого их скрепляют клейкой лентой. Все элементы внутри корпуса модели, которые должны быть неподвижны, заливают расплавленным воском, который при застывании обеспечивает требуемую жесткость.

Инерционный включатель другого типа схематически показан на рис. 8.15. Действие его основано на том же принципе, что и предыдущего, с той лишь разницей, что вместо ртути в нем используется груз, закрепленный на пружине. Груз (свинцовый или стальной) может перемещаться в трубке небольшого диаметра. При старте ракеты на груз действует сила, пропорциональная ускорению движения (направление силы показано на рис. 8.15 стрелками), сжимающая пружину. После прекращения работы двигателя первой ступени груз под действием силы инерции (и силы реакции сжатой пружины) перемещается вверх, замыкая контакты включателя, от которого идут провода к воспламенителю второй ступени. Масса груза и требуемая сила сжатия пружины должны быть определены экспериментально на земле, с тем чтобы система разделения безупречно работала в полете. Размеры элементов такой системы зависят от величины модели и, что не менее важно, от тяги двигателя первой ступени. Следует отметить, что включатели обоих типов можно сделать миниатюрными без ущерба для их работоспособности.

3. Прибор для замера перегрузок

Для определения ускорений, которые испытывает ракета в полете, можно установить на ней простой прибор — акселерограф. Он состоит из металлической трубки, в которой подвешивается на пружине грузик, снабженный заостренным металлическим стерженьком (рис. 8.16).

В трубке имеется продольная щель, по которой стерженек может двигаться вверх и вниз. Изнутри на поверхности корпуса ракеты приклеивается параллельно щели полоса навощенной бумаги или закопченная пластинка с нанесенной на нее шкалой в единицах гравитационного ускорения g . При работе двигателя во время полета грузик на пружине опускается вниз и стерженек вычерчивает на бумаге (пластинке) прямую, по которой можно определить величину максимальной перегрузки в полете. Следует отметить, что неподвижный акселерограф, установленный на зем-

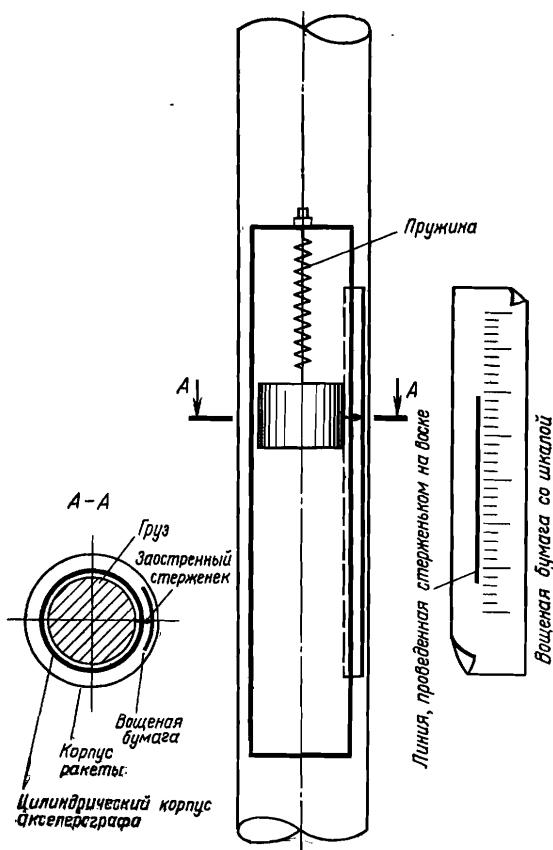


Рис. 8.16. Схема конструкции и действия акселерографа.

ле вертикально, должен показывать $+1 g$ (т. е. $981 \text{ см}/\text{с}^2$). Этот прибор хотя и отличается простотой действия, тем не менее требует тщательного изготовления и тарировки.

4. Световое отслеживание траектории полета

В головной части модели может быть размещено электрическое устройство (рис. 8.17), предназначенное для облегчения наблюдения за траекторией при полетах ракетной модели в темное время суток. Такое устройство обычно состоит из лампочки, батарейки и прерывателя с электрическим или механическим (пружины) приводом. Когда диск прерывателя поворачивается, контакты электрической цепи лампочки скользят по нему и контур последовательно замыкается и размыкается, что приводит к миганию лампочки, которая располагается в отверстии головной части. Можно было бы не усложнять систему прерывателем, однако постоянное свечение лампочки трудно наблюдать ночью на фоне

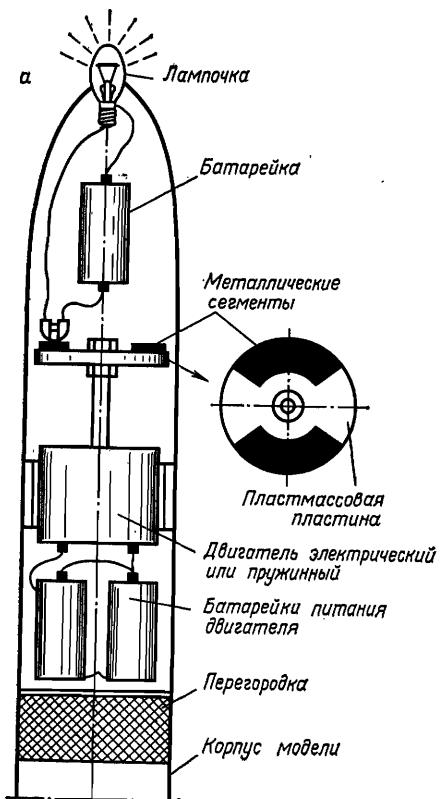
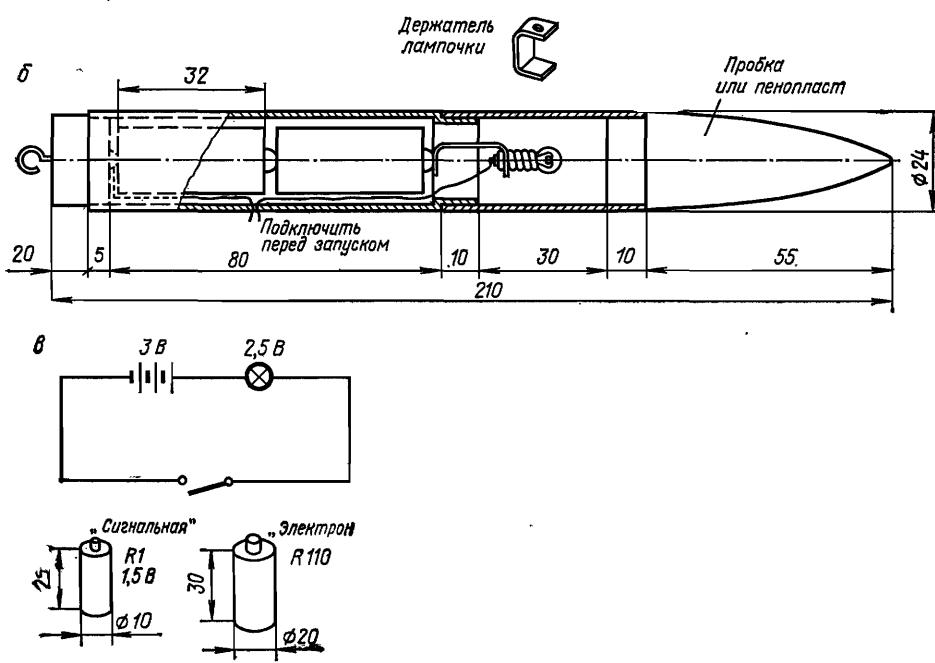


Рис. 8.17. Модель ракеты с установленной в ее головной части сигнальной лампой.

a — конструкция;
b — схема модели с размерами;
c — электрическая схема
 с сигнальной лампой.



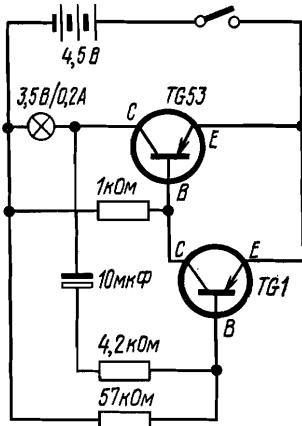


Рис. 8.18. Принципиальная схема системы световой сигнализации с прерывателем.

звезд. Можно также использовать транзисторный прерыватель, который значительно легче и, добавим, современнее. Принципиальная схема прерывателя, построенного на двух транзисторах, показана на рис. 8.18. Частота мигания лампочки зависит от емкости конденсатора, которая может составлять от 10 до 100 мкФ.

В более крупных модельных любительских и исследовательских ракетах часто используются более сложные сигнальные устройства, оборудованные электронной лампой-вспышкой.

5. Трассирующие устройства

Для удобства слежения за траекторией модели в дневное время, а также для облегчения поиска модели после ее посадки применяют специальные трассирующие устройства. Их обычно размещают в передней части корпуса ракеты.

Наиболее простым трассирующим устройством является генератор тумана, изображенный на рис. 8.19, а. Непосредственно за головной частью модели размещается резервуар с керосином (подкрашенным, например, анилином для придания ему красного цвета). В головной части модели имеется входное отверстие, через которое в резервуар поступает воздух. Площадь поперечного сечения этого отверстия примерно в восемь раз больше, чем выходного, находящегося на боковой поверхности резервуара. Эти данные являются сугубо ориентировочными и могут быть уточнены экспериментально путем продувки канала, например, с помощью пылесоса. При нагнетании воздуха через входное отверстие из бокового, как из пульверизатора, будет истекать струя мельчайших частичек керосина. Вместо керосина можно использовать любую другую жидкость, однако керосин все же лучше, поскольку он обладает малым удельным весом и малой вязкостью.

Трассер другого типа показан на рис. 8.19, б. На модели устанавливают отсек с порошком, который при поджигании приводит к интенсивному образованию дыма того или иного цвета. Для нагревания спиралей воспламенителя порошка используют батареики; ток на спираль воспламенителя подается после выгорания топлива двигателя аналогично описанному выше ртутно-инерционному включателю.

В трассерах обоих типов дым (туман) истекает через круглые отверстия, размещенные симметрично на цилиндрической поверхности корпуса ракеты.

Наиболее распространенная смесь, образующая при сгорании дым желтого цвета, имеет следующий состав: две весовые части калиевой селитры, две части карбида натрия и одна часть серы в виде мелкого порошка.

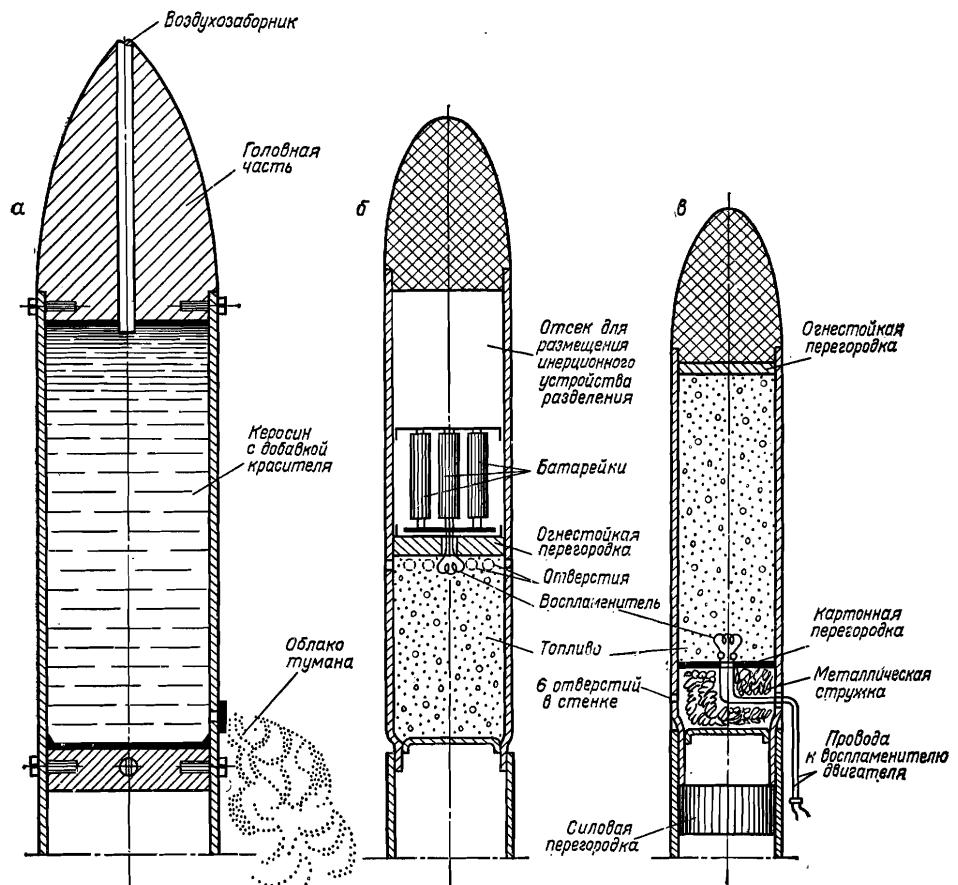


Рис. 8.19. Трассеры.
а — жидкостный; б, в — дымовые.

6. Бортовой фото- или киноаппарат

Большой интерес представляет установка на модели ракеты фотоаппарата, аналогично тому, как это делается на настоящих ракетах. Эта задача довольно трудна. Вот как ее решил швейцарец Дональд Висс из Цюриха.

В головную часть модели он вмонтировал миниатюрный фотоаппарат, делающий один снимок на высоте 100 м, т. е. при спуске головной части на парашюте. Максимальная высота подъема модели 150—200 м. На рис. 8.20 показано в разрезе устройство такой модели. В ее верхней части находится объектив аппарата, ниже размещен сложенный парашют на подушке из ваты и небольшой вышибной заряд, поджигаемый запальным шнуром.

Корпус фотоаппарата склеен из картона и бальзы. Он имеет квадратную форму с переходом в цилиндрический объектив. Затвор аппарата представляет собой заслонку, закрывающую отверстие диафрагмы диаметром 4—5 мм. Объективом аппарата служит линза с диаметром 20 мм и фокусным расстоянием 40 мм. Схема работы затвора фотоаппарата показана на рис. 8.20. Сначала затвор фиксируется небольшим натянутым амортизатором. Время выдержки зависит от скорости перемещения затвора и, следовательно, от натяжения амортизатора.

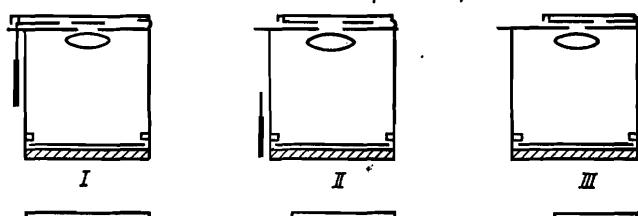
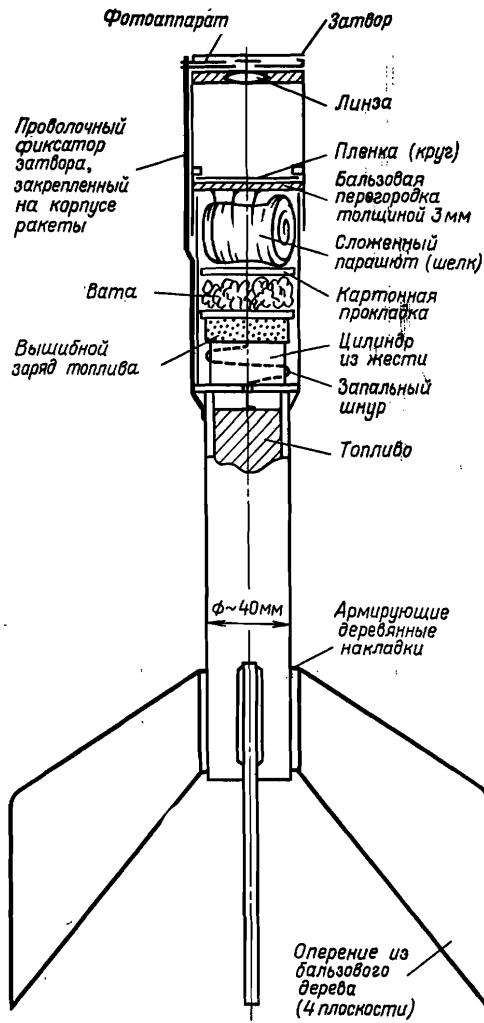
Открытие затвора фотоаппарата происходит автоматически после отделения головной части от корпуса модели. Как видно из рисунка, к корпусу ракеты прикреплен фиксатор из проволоки, блокирующий затвор. При отделении головной части затвор освобождается от фиксатора и произведется съемка. При помощи такого аппарата конструктор сделал вполне удовлетворительные снимки с высоты 100 м.

Пленку вставляют в аппарат и вынимают из него в темноте. Она имеет форму круга (с диаметром дна аппарата) и плотно прикрепляется к бальзовой пластине толщиной 3 мм. Чем более плоским оказывается положение светочувствительной пленки, тем выше качество получаемого негатива.

Модель ракеты американской фирмы «Эстес» с фотоаппаратом «Камрок» дана на рис. 8.21.

Размеры аппарата: длина 135 мм; диаметр 41,6 мм; масса 37 г. Фотоаппарат предназначен для съемки с воздуха во время спуска модели на парашюте. Объектив с фокусным расстоянием 76 мм и постоянной диафрагмой $f=16$ дает четкое изображение на негативе диаметром 30 мм. Чувствительность пленки 27 DIN, выдержка постоянная, 1/1600 с.

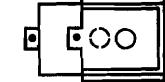
Любительская ракета с миниатюрным киноаппаратом «Кинерок» показана на рис. 8.22. Технические данные его таковы: длина 250 мм; диаметр 45 мм. Объектив с фокусным расстоянием 10 мм и постоянной диафрагмой $f=11$, выдержка 1/500 с. Скорость движения пленки 31 кадр в секунду. Масса камеры с кассетой, аккумулятором и парашютом (диаметр купола 460 мм) — около



Диафрагма закрыта,
затвор удерживается
фиксатором



Диафрагма
открыта,
съемка!



Диафрагма закрыта,
затвор
освобожден

Рис. 8.20. Модель ракеты с фотоаппаратом и схема его действия.

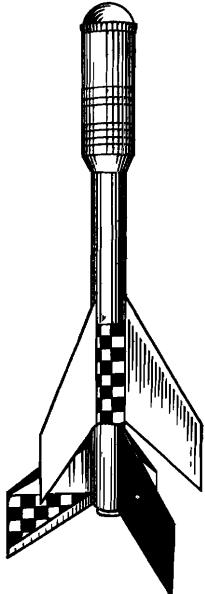


Рис. 8.21. Модель ракеты промышленного изготовления с фотоаппаратом «Камрок».

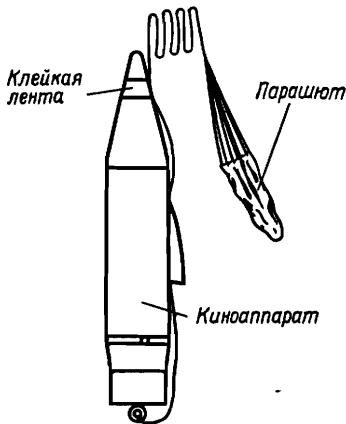


Рис. 8.22. Миниатюрный киноаппарат «Кинерок», предназначенный для установки на любительских ракетах.

680 г. В кассету заряжается 1,5 м пленки, которая перематывается миниатюрным электрическим двигателем.

Тем, кто собирается заниматься фотосъемкой с ракетной модели, следует знать, что в СССР и Польше, как и в большинстве других стран, для фотографирования с воздуха необходимо получить разрешение соответствующих административных органов. Такие правила съемки касаются любых летательных аппаратов, а следовательно, и моделей ракет.

7. Высотомер

Для измерения высоты подъема моделей ракет можно использовать небольшой чувствительный барограф. Основным элементом его является герметичная упругая коробка (мембрана), склеенная, например, из целлулоида. К ее поверхности прикрепляется стерженек, который при изменении объема мембранные перемещается и оставляет след на покрытой воском или копотью бумаге. Изменение атмосферного давления по высоте полета приводит к изменению объема мембранные, что отмечается стерженьком на бумаге с соответствующей шкалой (барограмме). Максимальная высота подъема ракеты будет соответствовать мини-

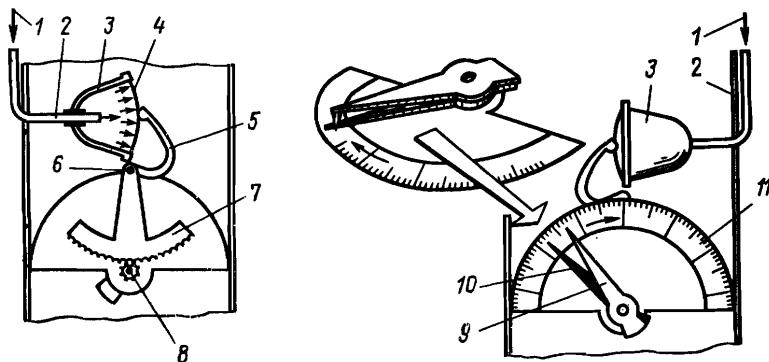


Рис. 8.23. Измеритель скорости для моделей ракет.

мальной измеренной барографом величине атмосферного давления. Для изготовления такого прибора необходимо провести экспериментальные исследования и откалибровать его в камере низких давлений.

8. Измеритель скорости

Для регистрации максимальной скорости полета модели можно использовать оригинальный прибор, предложенный советским ракетомоделистом А. Гавриловым. На рис. 8.23 показана схема его конструкции. Атмосферный воздух 1 входит через трубку 2 в мембранный коробку (чувствительный элемент) 3, снабженную мембраной 4, которая отклоняется и перемещает рычаг 5 на оси 6. Рычаг 5 в свою очередь поворачивает зубчатый сектор 7 и через зубчатое колесо ось 8. На этой оси установлена стрелка 9 с загнутым книзу заостренным концом, которая поворачивается в пределах полукругловой шкалы 11. На этой же оси закреплена другая стрелка 10, которая служит для регистрации максимальной скорости. Прибор работает следующим образом. По мере увеличения скорости полета ракеты стрелка 9 поворачивается слева направо и перемещает за собой регистрационную стрелку 10. Когда скорость полета ракеты уменьшается, стрелка 9 возвращается справа налево к нулевому положению. При этом регистрационная стрелка остается в положении максимального отклонения измерительной стрелки 9. Шкалу измерителя скорости можно проградуировать на движущемся автомобиле, если из окна навстречу движению выставить воздухозаборник. Целесообразно получить результаты измерений при скоростях 50 и 100 км/ч. Расстояние между этими точками на шкале следует разделить на пять равных частей и затем, найдя цену деления 10 км/ч, проградуировать шкалу измерителя скорости до величины 300 км/ч.

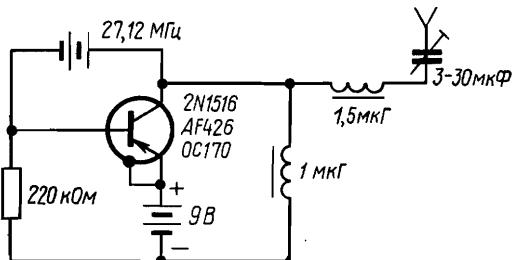


Рис. 8.24. Принципиальная схема простейшего радиопередатчика, предназначенного для установки на борту любительских ракет.

Посыпает непрерывный сигнал наземному радиоприемнику. Рабочая частота 27,12 Мгц (кварцевый генератор).

При градуировке прибора необходимо также экспериментально определить оптимальный диаметр трубы воздухозаборника и проверить работу механических элементов прибора.

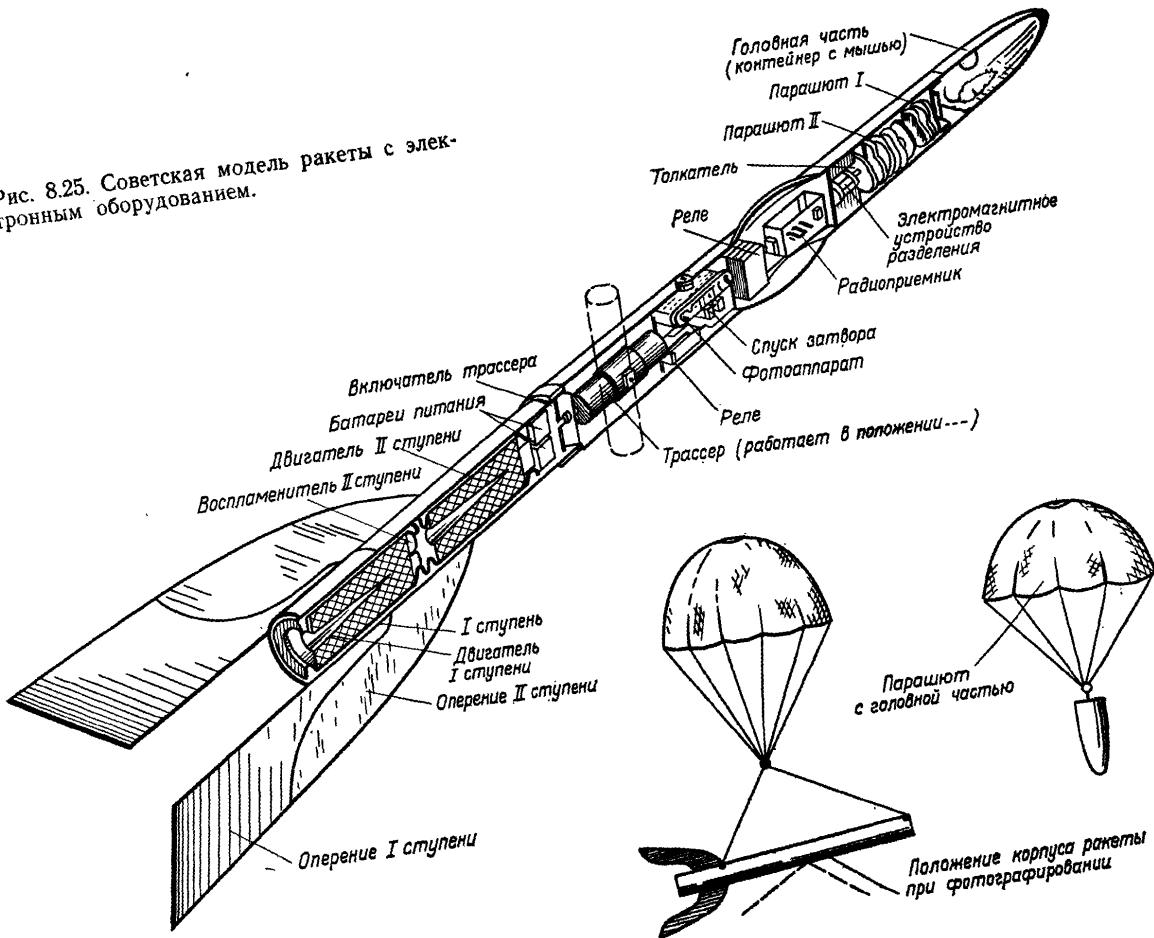
9. Дистанционное управление полетом

Достаточно опытные конструкторы моделей могут оборудовать даже небольшую ракету специальной приемной радиоаппаратурой для управления ее полетом. С помощью такой аппаратуры можно, например, управлять на расстоянии моделью ракетоплана при ее полете с неработающим двигателем. Однако такую аппаратуру нельзя применять для дистанционного запуска основных ракетных двигателей, поскольку из-за случайного радиосигнала, например, от любительской коротковолновой радиостанции или от аппаратуры специальной радиосвязи различных гражданских служб может произойти неконтролируемый запуск. И хотя вероятность такого случая чрезвычайно мала, любая возможность неконтролируемого запуска должна быть исключена. Приемники, устанавливаемые на моделях ракет, должны отличаться простотой обслуживания, надежностью, малой массой и небольшими размерами, достаточным радиусом действия и способностью выдерживать не всегда мягкое приземление. Этим требованиям удовлетворяют миниатюрные приемники и передатчики на транзисторах (рис. 8.24).

В качестве примера реализации дистанционного управления и использования довольно разнообразного измерительно-исследовательского бортового оборудования укажем на двухступенчатую ракетную модель (рис. 8.25), разработанную юными конструкторами из Краснодара. Эта модель характеризуется следующими данными: масса конструкции 1900 г, стартовая масса 4500 г, длина корпуса 210 мм, диаметр 68 мм, двигатели на пороховом топливе. Высота подъема модели 2—4 км. В головную часть ракеты встроена трубка Пито, которая соединена с барографом и измерителем скорости полета.

На модели установлен радиоприемник, который с помощью реле управляет затвором малоформатного фотоаппарата и трассером, а также подает команду на отделение головной части с биологическим контейнером.

Рис. 8.25. Советская модель ракеты с электронным оборудованием.



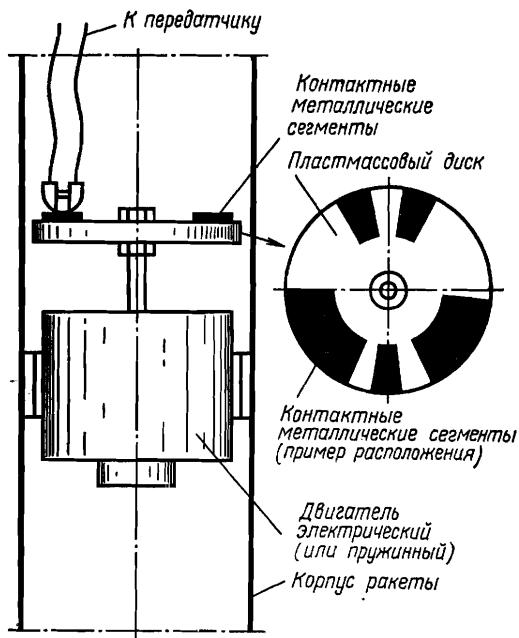


Рис. 8.26. Схема конструкции простейшего программного устройства.

После отделения первой ступени работает вторая ступень ракеты, а затем от нее отделяется головная часть, которая возвращается на парашюте. На другом парашюте возвращаются на землю и основной корпус ракеты. Он подвешен на стропах парашюта таким образом, что при спуске на землю удерживается в горизонтальном положении, обеспечивая нужную ориентацию объектива фотоаппарата. Фотоаппарат снабжен электрическим устройством для перемотки пленки.

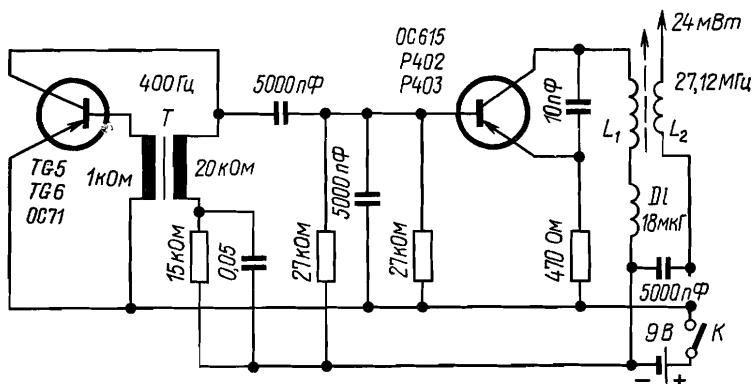


Рис. 8.27. Принципиальная схема миниатюрного передатчика, пригодного для использования на борту любительской ракеты.

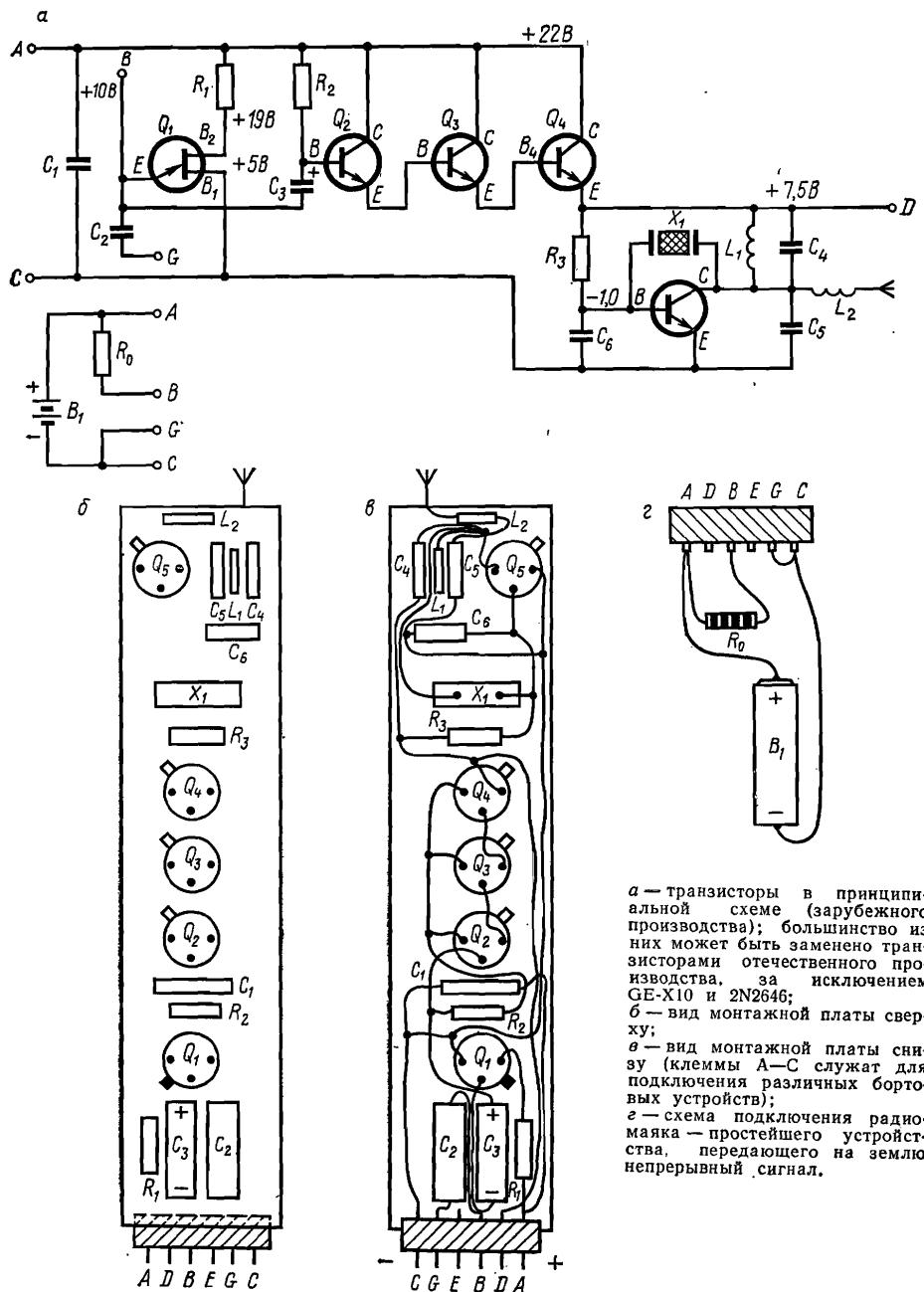


Рис. 8.28. «Фоксмиттер-2» — оригинальный любительский передатчик, специально предназначенный для передачи результатов бортовых измерений по нескольким каналам (конструкция американца Ричарда Фокса).

10. Миниатюрная телеметрия

Используя миниатюрный передатчик, например советский «Пилот» или польский «RUM», предназначенный для радиоуправляемых летающих моделей, можно принимать определенные сигналы с борта ракеты во время ее полета. Простейшее программное устройство, устанавливаемое на выходе передатчика,

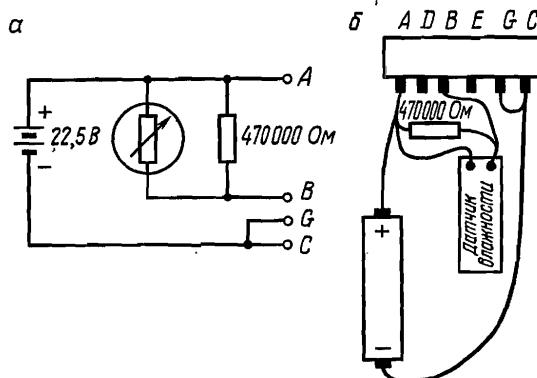


Рис. 8.29. Измеритель влажности.

а — принципиальная схема измерителя влажности, подсоединяемого к передатчику «Фокс-миттер-2»; *б* — схема соединения блоков. Функции датчика могут выполнять, например, фотодиод или термистор, который позволяет измерять относительную влажность от 25% (около 200 Мом) до 100% (около 75 кОм). Для питания используется батарея 22,5 В. Акустические сигналы, которые передаются на землю бортовым передатчиком, должны быть записаны на магнитной ленте; их частота измеряется электронным частотомером. На получаемом графике уровень сигнала характеризует величину влажности.

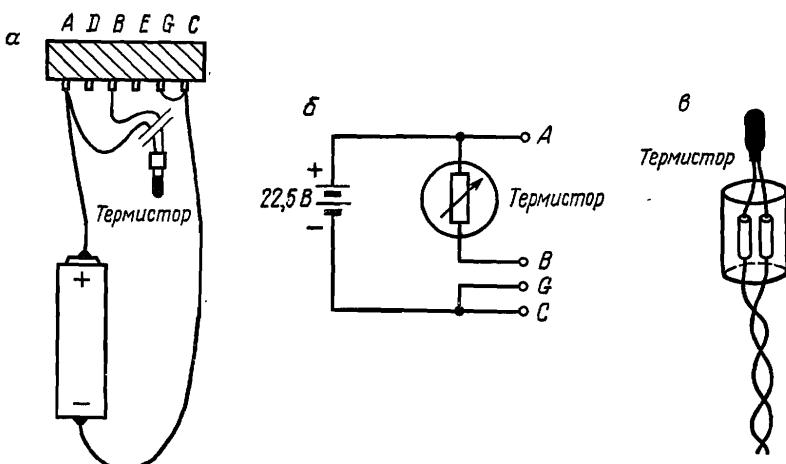


Рис. 8.30. Телеметрический блок измерения температуры.

а — схема соединения; *б* — принципиальная схема; *в* — схема конструкции термисторного датчика. Функции датчика выполняет термистор (100 кОм при 25°C). Сигнал записывается (для последующей расшифровки) на магнитной ленте (например, кассетного магнитофона).

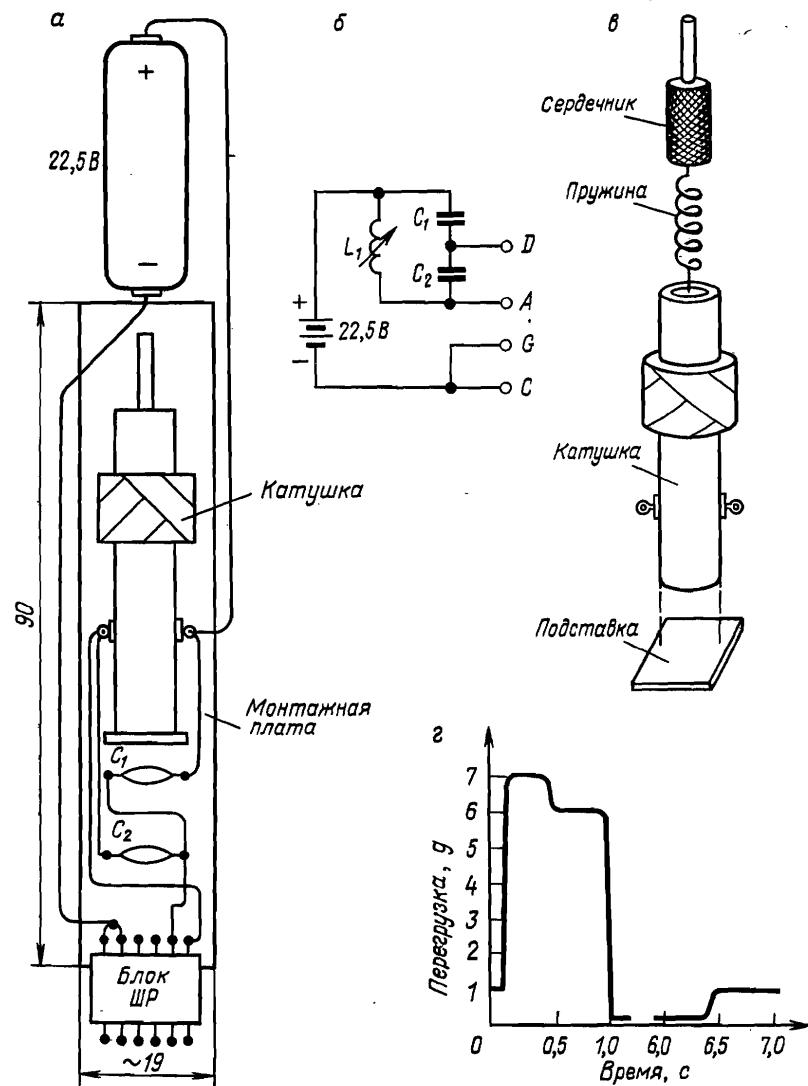


Рис. 8.31. Телеметрический акселерометр.

a — схема соединения; **б** — принципиальная схема; **в** — конструкция катушки и сердечника, выполняющих функции акселерометра. Устройство генерирует сигналы, частота которых пропорциональна продольному ускорению, действующему на модель во время полета. Перед запуском модели акселерометр нужно откалибровать, т. е. должны быть определены и записаны предельные частоты. Значение $g=0$ получается при горизонтальном положении модели, а $g=1$ — при ее установке в вертикальном положении; после этого сердечник катушки нагружается гирьками известной массы, соответствующими ускорениям 2, 3, 4 g, и полученные сигналы записываются. Такая калибровочная кривая используется для расшифровки сигналов, полученных с борта летящей модели; **г** — график результатов измерений, полученных во время полета. Обозначения на схеме: $C_1=C_2=47 \text{ мкФ}$ (10 В), $L_1=43 \text{ мГн}$, $V=22.5 \text{ В}$.

показано на рис. 8.26. Оно состоит из кодирующего диска, на котором имеются расположенные определенным образом металлические сегменты, так что при вращении диска формируется сигнал, соответствующий буквам азбуки Морзе. (В приведенном на рисунке примере запрограммированы буквы О и К.) Для привода диска можно использовать электрический микродвигатель или пружину с временем работы, соответствующим времени полета ракеты.

Схема передатчика, который может быть использован в «малой» ракетной технике, изображена на рис. 8.27.

Более опытным конструкторам моделей ракет можно порекомендовать применение специальных устройств, передающих на землю данные летных измерений. Схемы телеметрических устройств, позволяющих передавать информацию об ускорении, скорости и высоте полета, показаны на рис. 8.28—8.33.

Следует при этом отметить, что не все изображенные на принципиальных схемах электронные блоки имеются в продаже, так

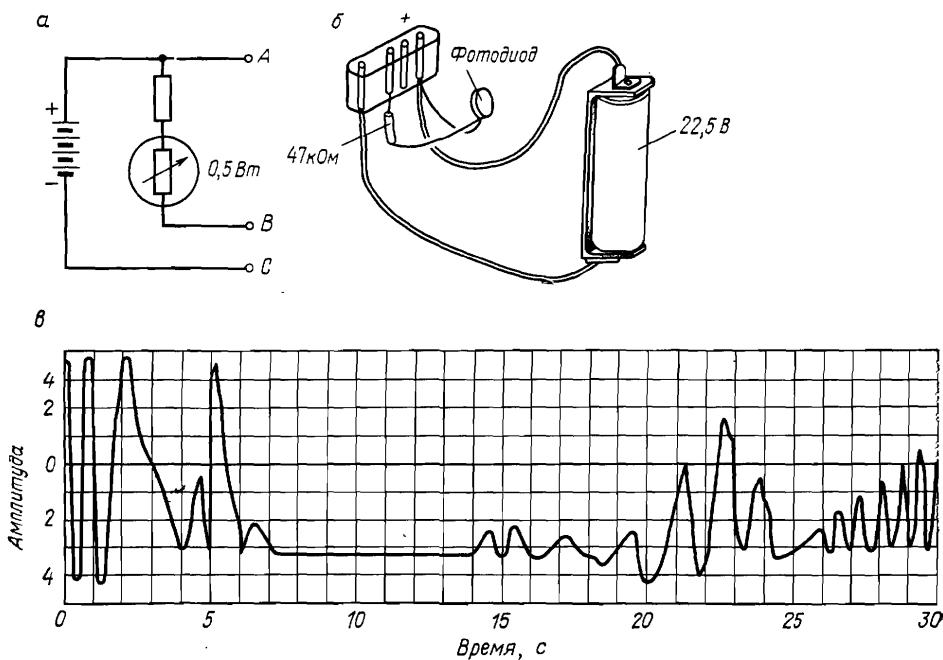


Рис. 8.32. Телеметрический блок, позволяющий измерять повороты корпуса модели относительно ее продольной оси (оси крена).

а — принципиальная схема с фотодиодом; **б** — монтажная схема; **в** — график магнитных сигналов, переданных с ракеты на землю, и определение их амплитуды с помощью частотомера. Чувствительный элемент — фотодиод — устанавливается в боковом отверстии корпуса модели. При его освещении солнцем сопротивление цепи уменьшается и генерируется сигнал, соответствующий максимуму на графике. Когда датчик находится в тени, сопротивление цепи возрастает и амплитуда сигнала уменьшается до минимума.

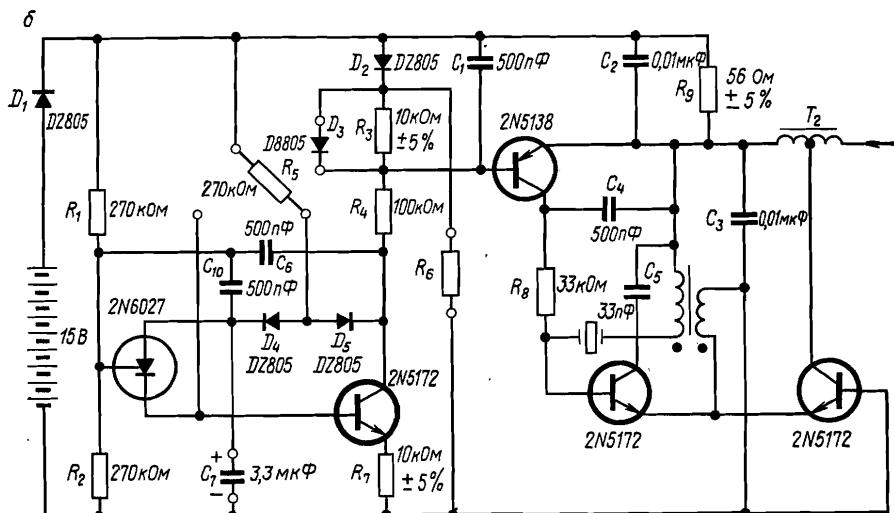


Рис. 8.33. Телеметрическая аппаратура «Трансрок» (США) промышленного изготовления.

Выпускается также в комплектах для самостоятельного монтажа. Масса аппарата вместе с батареей на 15 В около 480 г, длина вместе с батареей 100 мм, схема построена на 5 полупроводниках и 5 диодах, мощность 100 мВт, рабочая частота 27 МГц.

а — смонтированный блок аппаратуры, приготовленный для установки в корпусе ракеты; *б* — принципиальная схема телеметрического передатчика «Трансрока» фирмы «Эстес» в варианте радиомаяка, передающего на землю непрерывный сигнал, который позволяет, например, отыскать модель после ее приземления. Характеристики электронных блоков и типы транзисторов соответствуют американскому оригиналу.

как они разработаны радиолюбителями в США. Пусть эти примеры стимулируют разработку нашими юными конструкторами собственных, еще более совершенных устройств миниатюрной телеметрии. Здесь уместно напомнить, что некоторые схемы и проекты, приведенные в первом польском издании этой книги, также казались слишком новыми и не созревшими для реализации. Однако сейчас они уже нашли применение в любительском ракетостроении.

Характеристики элементов, показанных на схеме телеметрической аппаратуры «Фоксмиттер» (рис. 8.28), следующие: $R_0=100\,000\ \Omega$; $R_1=220\ \Omega$; $R_2=4,7\ M\Omega$; $R_3=27\,000\ \Omega$ (все резисторы на $1/4\text{Вт}$); $C_1=0,01\ \mu\Phi$; $C_2=0,01\ \mu\Phi$; $C_3=2\ \mu\Phi$ (электролитический конденсатор); $C_4=3\ \text{п}\Phi$; $C_5=47\ \text{п}\Phi$; $C_6=10\ \text{п}\Phi$ (конденсаторы выше 25 В); Q_1 —GE-X10 или 2N 2646; Q_2 , Q_3 , Q_4 —2N2697; Q_5 —RCA-40080; $B_1=22,5\ \text{В}$; X_1 —кварцевый генератор на 27,12 МГц, $L_1=27\ \mu\text{Г}$; $L_2=10\ \mu\text{Г}$; штыревая антенна длиной 800—1000 мм.

Глава IX

НА СТАРТЕ МОДЕЛИ РАКЕТ

1. Предстартовые испытания

Перед проведением пусков даже простейших моделей ракет необходимо выполнить ряд подготовительных работ, объединяемых общим названием статических (стендовых) испытаний, т. е. испытаний, выполняемых на земле.

Таким испытаниям подвергаются:

а) *Двигатель*. Определяется его тяга, время работы и характеристики горения топливного заряда (для двигателя промышленного изготовления с известными характеристиками такие испытания не требуются).

б) *Оперение*. Определяется прочность соединения стабилизаторов с корпусом, а также наилучшая схема их расположения.

в) *Бортовое оборудование*. Проверяется работа всех устройств и их взаимодействие.

г) *Воспламенитель*. Проверяется способность воспламенителя безотказно зажигать топливный заряд.

д) *Пусковая установка*. Она должна обеспечивать необходимое направление запуска (углы азимута и возвышения) и иметь достаточную прочность.

Независимо от перечисленных выше основных элементов подвергаются предварительным испытаниям и все остальные детали и узлы ракетной системы, в том числе провода и батареи питания. Такие испытания проводятся многократно, например необходимо испытать пять воспламенителей, чтобы точно определить характеристики используемого экземпляра.

Следует твёрдо помнить общее правило как для статических, так и для летных испытаний: *при обращении с ракетной моделью необходимо соблюдать осторожность во избежание ее взрыва*. Поэтому нужно строго выполнять меры безопасности на случай взрыва (рис. 9.1). Безопасность при испытаниях обеспечивается, если наблюдения проводятся на значительном расстоянии или из специальных укрытий.

Двигатели, работающие на кинопленке, образуют большое количество густого и горячего дыма, в связи с чем испытания таких двигателей можно проводить лишь в специальном, хорошо пропитываемом помещении или на открытом воздухе вдали от зданий и каких-либо других сооружений.

Важно отметить, что количество топлива в двигателе не должно быть больше рекомендуемого, поскольку это не улучшит характеристик ракеты, а лишь увеличит взрывоопасность топливного заряда. Результаты испытаний целесообразно записывать в

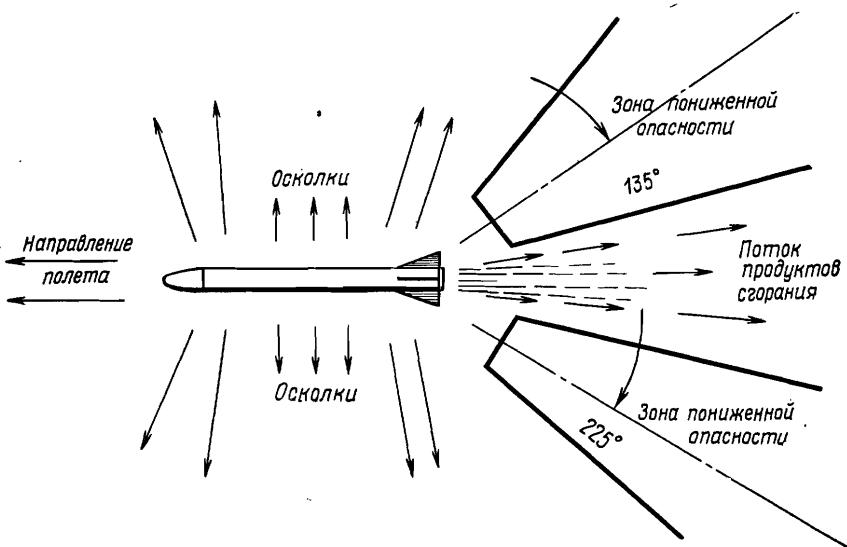


Рис. 9.1. Схема взрыва ракеты на испытательном стенде.
Стрелками показаны наиболее вероятные направления разлета осколков.

специальном журнале, фиксируя при этом их день и час, величину тяги, количество топлива и время горения, так, чтобы эти численные данные можно было наилучшим образом использовать при последующих пусках ракет.

Следует также испытать и запальный шнур. На старте он должен гореть безотказно, стабильно и в течение времени, установленного при стендовых испытаниях.

Двигатели типа «Джетекс» с прессованными зарядами промышленного изготовления также должны быть проверены, хотя завод обычно дает всю необходимую информацию, касающуюся тяги и времени горения топлива. Следует упомянуть, что топливный заряд этого двигателя может быть небезопасным, если использовать его в самодельном двигателе.

Много интересных исследований с измерениями тяги в статических условиях можно провести, испытывая двигатели на стенде с пружинным динамометром. Такой динамометр легко изготовить. Нужно только навить пружину из стальной проволоки (или взять готовую) и откалибровать ее, подвешивая к ней гирьки, например от 1 до 250 г, и фиксируя при этом растяжение пружины, что позволяет получить калибровочный график.

Использование динамометра для измерения тяги иллюстрируют рис. 9.2 и 9.3. Как показано в обоих случаях, динамометр, с которого снимаются показания, для безопасности отделен от работающего двигателя огнестойкой стенкой. Роль огнестойкой

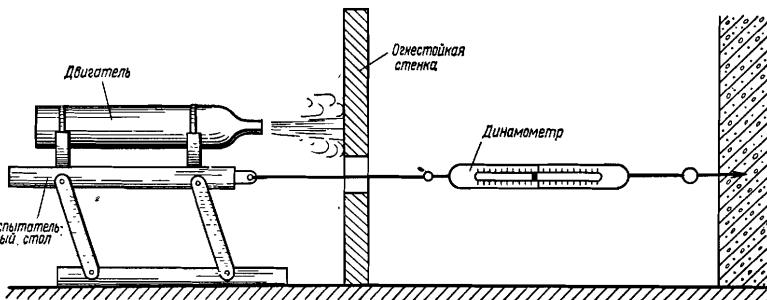


Рис. 9.2. Измерение тяги ракетного двигателя при помощи динамометра. Двигатель укреплен на столе с качающимися опорами.

стенки может выполнять фанера толщиной 5 мм или доски толщиной 5—10 мм. При испытаниях двигателей тягой 10—50 кГ огнестойкая стенка должна быть изготовлена из стальных полос или железобетона, армированного мелкой металлической сеткой.

При установке динамометра по схеме рис. 9.2 необходимо непосредственно считывать показания, тогда как схема рис. 9.3 обеспечивает автоматическую запись показаний на масштабной (например, миллиметровой) бумаге. Приспособления такого типа повышают безопасность (поскольку во время испытаний нет необходимости приближаться к динамометру), а также улучшают точность измерений, если, естественно, динамометр хорошо откалиброван. Еще более простой стенд показан на рис. 9.4. Индикатор здесь вычерчивает величину тяги на миллиметровой бумаге. Вместо динамометра можно использовать резину.

Представленные выше рисунки являются схемами и поясняют только принцип работы устройства. Конструктивные особенности

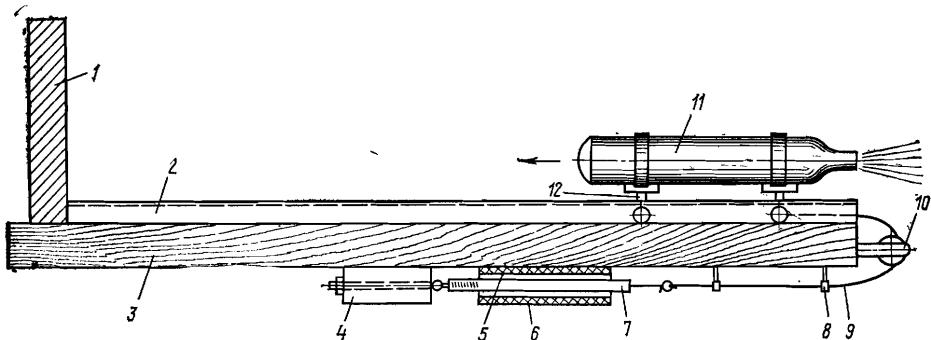


Рис. 9.3. Измерение тяги двигателя, установленного на тележке.

1 — металлическая плита; 2 — угольник; 3 — деревянная платформа; 4 — узел крепления бечевки; 5 — самописец; 6 — миллиметровая бумага; 7 — динамометр; 8 — направляющая; 9 — бечевка; 10 — ролик; 11 — двигатель; 12 — тележка.

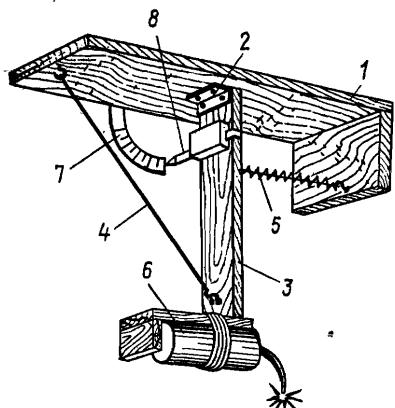


Рис. 9.4. Простейший испытательный стенд для модельных двигателей.

1 — опорная доска; 2 — шарнир; 3 — тяги-приемная доска; 4, 5 — резиновые амортизаторы; 6 — двигатель; 7 — шкала; 8 — самописец.

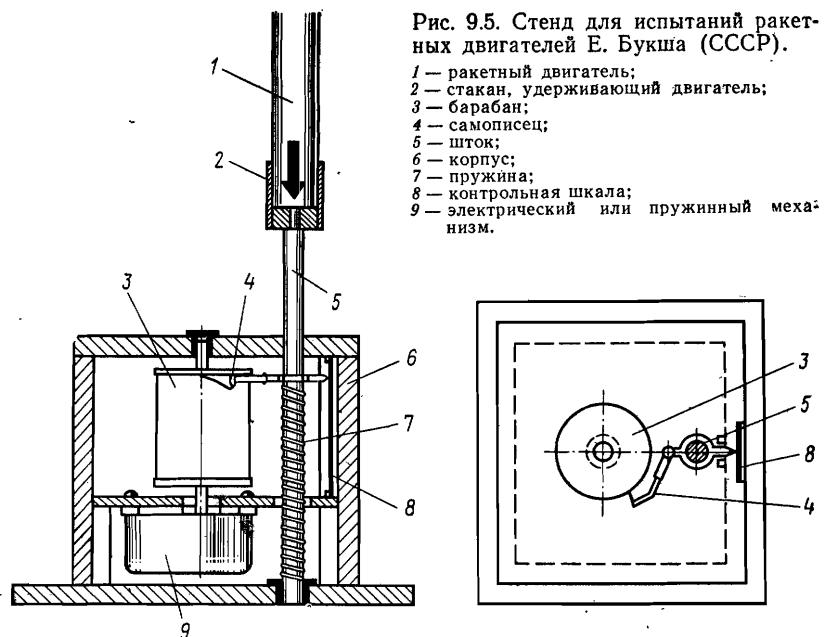
выполнения зависят от имеющихся материалов и изобретательности исполнителей.

На что следует обратить особое внимание при сооружении испытательного стенда? Прежде всего на крепление двигателя. Оно должно быть надежным и исключать любое боковое отклонение. Двигатель может перемещаться только вперед, как это показано на рисунках. Во время работы двигатель подвергается вибрации, для предотвращения которой его необходимо устанавливать в жесткой муфте. Всегда следует помнить, что динамическое воздействие тяги многократно превышает действие статической силы, равной паспортной тяге двигателя.

Для непрерывного измерения тяги двигателя во время его работы и определения полного тягового импульса необходим более сложный прибор, однако его тоже можно изготовить самостоятельно. На тягоизмерительном устройстве, схема которого изображена на рис. 9.5, пружинные весы (динамометр) соединены с барабаном, который приводится во вращение электрическим или пружинным механизмом (в данном случае использован двигатель от электропроигрывателя). Корпус прибора можно сделать из дерева или из пластмассы. Вертикальный шток обычно изготавливают из металлической трубы, на конце которой укрепляют стакан (для установки в нем двигателя соплом вверх). При нажатии на стакан сверху вниз шток опускается, сжимая пружину, а самописец отмечает на шкале величину действующей силы. Пружина должна быть подобрана таким образом, чтобы она соответствовала максимальной тяге испытываемого двигателя. В качестве самописца может быть использован карандаш или стержень от авторучки. При испытании двигателя он вычерчивает на бумаге, приkleенной к врачающемуся барабану, кривую тяги по времени работы двигателя.

Для правильной работы тягоизмерительного устройства необходимо, чтобы пружина и шкала были тщательно откалиброваны

Рис. 9.5. Стенд для испытаний ракетных двигателей Е. Букша (СССР).



с помощью, например, гирек. Это легко сделать, нагружая вертикальный шток со стаканом гирьками известного веса и отмечая соответствующие положения самописца на шкале.

Другая важная операция — проверка вращения барабана. Если числа оборотов барабана за первую, вторую и третью минуты одинаковы, то двигатель барабана работает удовлетворительно. Удобнее всего, если за время работы ракетного двигателя барабан сделает один полный оборот. Если же он поворачивается за это время несколько раз, то расшифровка графика тяги становится более сложной и может сопровождаться ошибками.

Ниже описан способ проведения испытаний. В стакан штока устанавливается исследуемый ракетомодельный двигатель с управляемым дистанционно электрическим воспламенителем. В держателе закрепляется самописец, а на боковую поверхность барабана наклеивается лист миллиметровой бумаги, на котором закрепляется закопченное стекло. Самописец будет вычерчивать на нем кривую тяги.

Испытательный стенд двигателя должен располагаться в открытом месте, например в долине, а проводящий испытание персонал — в укрытии или на расстоянии около 20 м. Время работы двигателя измеряется секундомером, который надо включать, когда двигатель начинает работать от запального устройства, и выключать при окончании работы. После окончания испытания, которое может продолжаться от одной секунды до нескольких десятков секунд, с барабана снимают миллиметровую бумагу с вы-

черченным графиком и определяют уровень тяги в соответствии с отметками на закопченной стеклянной шкале.

Затем можно приступить к обработке полученных результатов измерений. График перерисовывают на чертежную кальку, а точки начала и конца работы двигателя соединяют прямой линией.

Эту горизонтальную линию делят на равные отрезки, соответствующие числу секунд работы ракетного двигателя.

Время работы определяют, измеряя число оборотов барабана за 1 с. Если, например, он делает 50 оборотов за 70 с, то 1 оборот происходит за 1,4 с. При этом самописец, вычерчивающий контрольную прямую, проделывает путь в 314 мм (при диаметре барабана 100 мм). Соответственно за 1 с самописец начертит линию длиной $314 : 1,4 = 224,3$ мм. Этот отрезок откладывают на оси времени. Он будет служить основой построения временного масштаба. Если этот отрезок разделить на 10 равных частей, то можно получить на графике деление с ценой 0,1 с. Проводя вертикальные прямые линии через эти засечки, получают точки пересечения с диаграммой тяги двигателя. В качестве оси ординат нужно выбрать вертикальную линию, проходящую через точку начала работы двигателя, и отложить на ней значения силы тяги в соответствии со шкалой, полученной при калибровке тягоизмерительного устройства.

Для определения средней величины тяги нужно при помощи циркуля снять через равные интервалы значения вертикальных координат с тяговой диаграммы, переводя их в тягу по калибраторной кривой динамометра. Затем полученные величины суммируют, а результат делят на число измерений. В итоге получается средняя арифметическая величина тяги.

После этого можно вычислить полный импульс (умножая найденную среднюю величину тяги в кГ на время работы двигателя в секундах), а также удельный импульс (кГ·с/кГ). Здесь уместно напомнить, что площадь, ограничиваемая горизонтальной осью и кривой изменения тяги по времени, соответствует полному импульсу.

Сравнение характеристик диаграмм тяги различных двигателей позволяет выбрать наилучший из них, а также дает возможность ознакомиться с техникой измерений, которая играет важную роль и в «большой» ракетной технике.

Независимо от статических испытаний существует возможность динамического испытания двигателей малой тяги способом, который проиллюстрирован на рис. 9.6. Между двумя деревьями или столбами натягивается стальная проволока диаметром 0,5 мм, по которой скользит тележка, состоящая из двух дощечек и двух деревянных роликов. На тележке закреплен испытуемый двигатель. При запуске двигателя тележка начинает двигаться по натянутой проволоке. Для удержания проволоки в постоянном натяжении на одном из ее концов устанавливается мощная пружина.

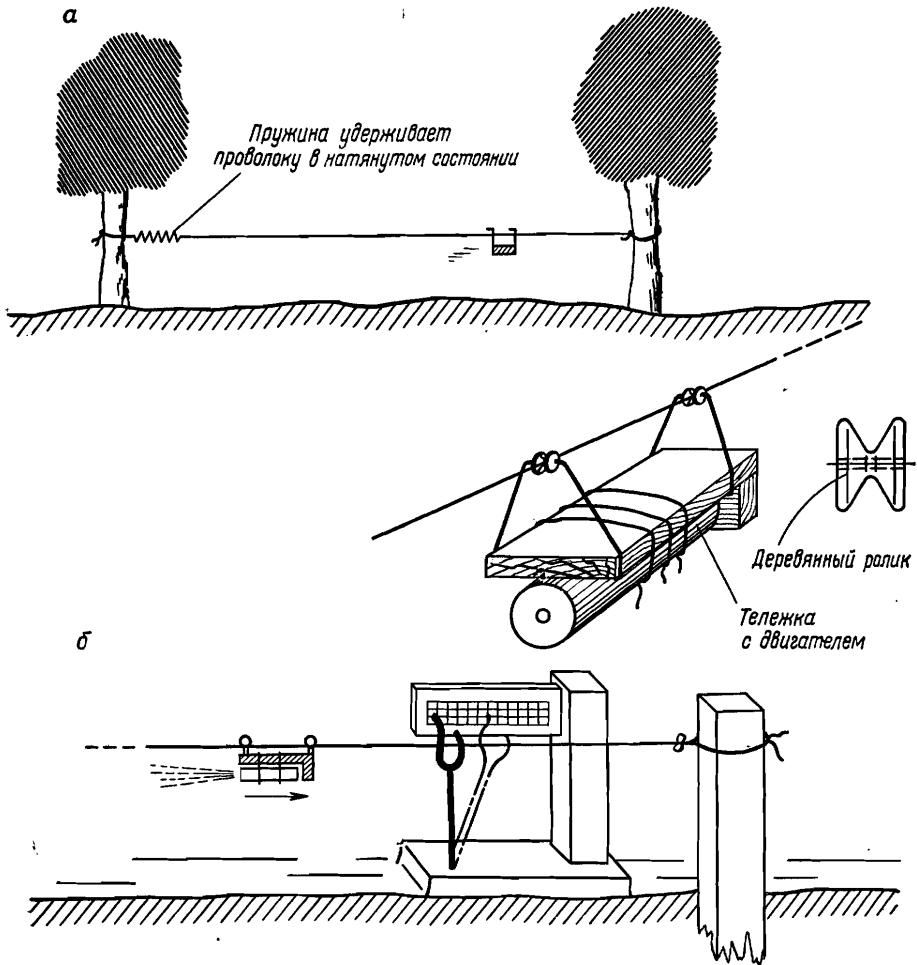


Рис. 9.6. Динамические измерения.

а — измерения ускорения и скорости; *б* — измерение скорости при помощи импульсного маятника.

Используя это простое устройство, можно измерять и ускорения. Нагружая гирьками тележку с двигателем (для чего можно предусмотреть соответствующие крючки или подвески), легко установить, какое влияние это оказывает на изменение ускорения и скорости движения тележки. Для точного определения положения тележки на проволоке в течение выбранного промежутка времени можно использовать кинокамеру. На рис. 9.7 показан предложенный советским ракетомоделистом И. Кротовым способ проведения измерений при испытаниях двигателя, установленного на санках.

Для измерения скорости тележки, движущейся по проволоке, можно воспользоваться несложным прибором, показанным на рис. 9.6.б. В нем применен так называемый *импульсный*, или *баллистический маятник*. Разогнанная двигателем тележка ударяется в вилку маятника известной массы. При соударении тележки с маятником измеряют максимальное отклонение вилки, например с помощью индикатора, оставляющего след на бумаге, после чего вычисляют максимальную скорость, сообщаемую тележке закрепленным на ней двигателем.

Если известен период колебаний маятника T , величина его максимального отклонения при столкновении с тележкой A , масса маятника M и масса тележки m , то скорость вычисляется из уравнения

$$v = v_{\max} = \frac{M + m}{m} \cdot \frac{2\pi A}{T} \text{ м/с.}$$

Исследования такого рода, как экспериментальные, так и расчетные, могут быть интересным дополнением школьных занятий по механике.

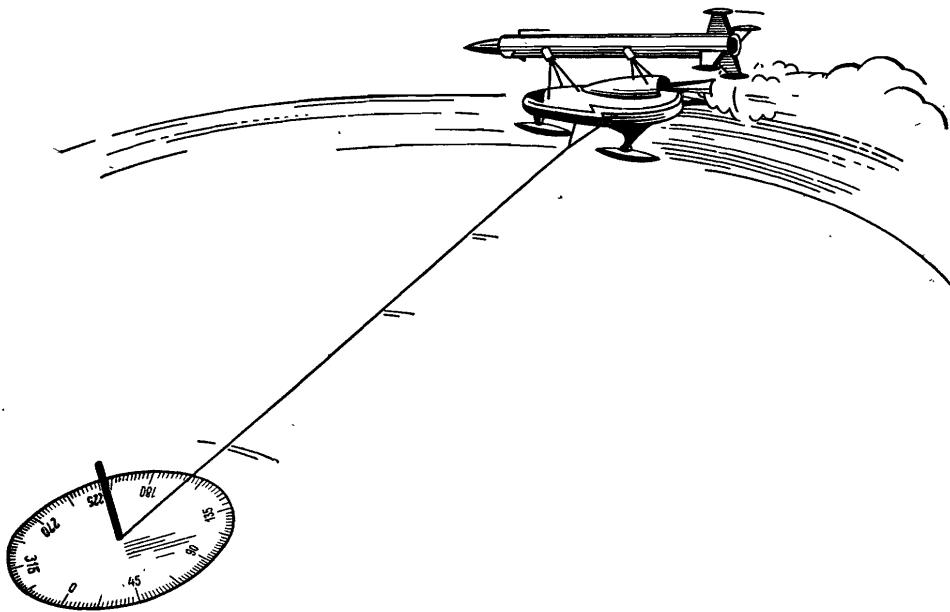


Рис. 9.7. Измерение характеристик модели при помощи санок, на которых установлен ракетный двигатель (Кротов И., СССР).

2. Траектория полета Модели ракеты

После выполнения наземных испытаний возникает потребность узнать, какой высоты достигнет модель в полете. Расчеты такого рода, являющиеся предметом внешней баллистики, также можно провести упрощенным методом с использованием элементарных уравнений. Для моделей ракет они достаточно точны, поскольку в этом случае сопротивление воздуха и влияние ветра не приводят к существенным отклонениям.

Ускорение, с которым ракета поднимается вертикально вверх, вычисляют путем деления тяги на массу модели:

$$a = \frac{P}{m} \text{ м/с}^2,$$

где a — ускорение, м/с²; P — тяга, кГ; m — масса, г.

Ускорение не является постоянной величиной. Оно минимально при старте ракеты, поскольку в этот момент масса ее максимальна (кто наблюдал старты больших ракет-носителей космических летательных аппаратов, например в кинохронике, тот видел, как медленно начинает движение ракета, весящая сотни тонн). Самое большое ускорение ракета имеет при выгорании топлива, т. е. на конечном этапе полета с работающим двигателем, тяга которого сохраняется постоянной (рис. 9.8).

Нас больше всего интересует высота полета модели, т. е. ее потолок.

Высота h_1 , достигаемая моделью в момент выключения двигателя, может быть вычислена приближенно по уравнению

$$h_1 = \frac{1}{2} a_{\text{ср}} t^2 \text{ м},$$

где t — известное время работы двигателя в с; $a_{\text{ср}}$ — среднее ускорение модели в полете с работающим двигателем:

$$a_{\text{ср}} = \frac{a_0 + a_2}{2}; \quad a_0 = \frac{P - m_0}{m_0} g;$$
$$a_2 = \frac{P - m_2}{m_2} g,$$

где m_0 — сумма массы конструкций модели и топлива в кг; m_2 — масса конструкции модели в кг.

Высота h_2 вычисляется по известному уравнению для свободного движения тела с начальной скоростью под действием силы тяжести без учета сопротивления воздуха:

$$h_2 = \frac{v^2}{2g} \text{ м},$$

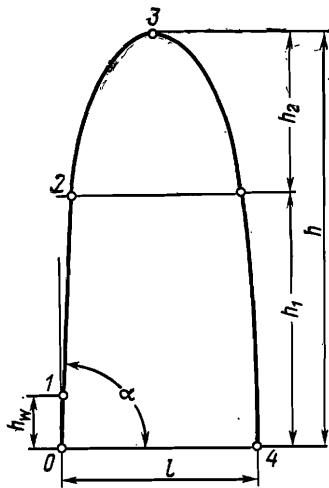


Рис. 9.8. Схема траектории полета модели ракеты.

1 — старт модели; 2 — выключение двигателя; 3 — вершина траектории (максимальная высота подъема ракеты); 4 — точка падения; α — угол старта.

где v — скорость модели в конце активного участка полета (точка 2) в м/с.

Полную высоту полета h легко найти, складывая величины h_1 и h_2 :

$$h = h_1 + h_2.$$

Полное время полета T от старта до падения вычисляется по уравнению

$$T = \sqrt{\frac{8h}{g}},$$

где g — ускорение земного тяготения, равное 9,81 м/с².

Дальность здесь интересует нас лишь с точки зрения техники безопасности. Напомним, что старт ракетных моделей допускается лишь под углами возвышения 60—80°, и ни в коем случае не под малыми углами, которые дают низкую траекторию и могут привести к несчастным случаям. Максимальная дальность получается при угле старта 45°. Дальность l можно определить по формуле

$$l = \frac{v_0^2 \sin^2 2\alpha}{g} \text{ м},$$

где v_0 — скорость в конце активного участка.

3. Испытательный полигон

Выбрать подходящую площадку для летных испытаний моделей ракет не так просто, как может показаться на первый взгляд.

Существует ряд условий, которым она должна удовлетворять. Такая площадка должна быть удалена от зданий, леса и посевов, которые могут загореться; с нее должна обеспечиваться хорошая видимость во всех направлениях. Идеальной была бы песчаная пустыня или луг с низкой травой.

Размеры площадки для испытаний зависят от типа испытываемых моделей. Можно принять, что каждые сто метров высоты подъема ракеты требуют в два раза большего диаметра испытательного полигона. Так, если модель будет подниматься на высоту 300 м, то диаметр испытательного полигона должен в среднем составлять $300 \times 2 = 600$ м. При определении размера полигона в первую очередь нужно учесть то обстоятельство, что модель может взорваться или совершить неуправляемый полет. Помнить об этом нужно даже при запуске моделей ракет из резиновой катапульты.

Вот несколько практических указаний, касающихся выбора полигона и организации запусков:

— пусковую установку надо располагать так, чтобы она была наклонена в подветренную сторону и запуск производился по ветру;

— пусковая установка с моделью должна быть удалена от пульта управления не менее чем на $\frac{1}{5}$ часть расчетной высоты полета модели ракеты (например, высота полета 100 м, удаление пульта управления от пусковой установки 20 м);

— необходимо убедиться в том, что никто из посторонних не окажется на территории полигона во время проведения испытаний (если полигон не охраняется);

— в любом случае на границах полигона должны быть установлены предупреждающие надписи.

Испытания моделей ракет в Польше можно производить лишь с согласия властей, несущих ответственность за данную территорию. Летные испытания на аэродромах проводятся по программе, согласованной руководителем полетов с начальником аэродрома.

4. Организация запусков

Успешное проведение испытаний или соревнований зависит от четкой их организации. Организацией полетов моделей ракет обычно занимается группа людей, каждый из которых выполняет вполне определенные функции. Решающее значение при этом имеет выбор руководителя, ответственного за мероприятие в целом. Ниже кратко характеризуются функции персонала, обеспечивающего проведение испытаний.

Руководитель полетов — главное ответственное лицо полигона. Организует все действия на полигоне и несет за них ответственность. На полигоне ничто не может быть предпринято без его разрешения. Во время пусков он находится на командном пункте.

те, откуда управляет полетами. Имеет при себе бинокль, оптическое или звуковое сигнализационное устройство и другие средства наблюдения и управления.

Ответственный по технике безопасности (заместитель руководителя полетов) — лицо, отвечающее за правильное использование всего полигонного оборудования в период предстартовой подготовки, при запусках и после них. Проводит инструктаж всех участников испытаний в отношении техники безопасности.

Руководитель полетов разрешает начинать испытания только после того, как ответственный по технике безопасности даст на это свое согласие.

Хронометрист — член судейской коллегии, измеряющий время полета ракеты.

Технический инспектор — лицо, осуществляющее проверку представленных ракет и дающее разрешение на их летное испытание.

Администратор — лицо, ответственное за порядок на территории полигона; в частности, он контролирует местонахождение и поведение зрителей в специально отведенной для них зоне. Часто его функции выполняет ответственный по технике безопасности.

Очевидно, что число людей в группе организаторов запусков зависит от масштабов мероприятия. Упомянутые выше функции делятся на управляющие и контрольные. Такой порядок разделения функций существует и на больших полигонах.

Кроме того, к персоналу обеспечения испытаний относятся:

Измерительная группа, ответственная за выполнение измерений характеристик полета (времени и высоты) модели от момента старта до падения.

Врач, который оказывает первую помощь пострадавшим, пользуясь аптечкой скорой помощи.

Персонал полигона в полном составе согласно приведенному выше перечню назначается на крупных соревнованиях. Такие соревнования проводятся в соответствии с принятыми международными правилами.

А вот некоторая информация относительно организации Всепольских соревнований, которые проводятся с 1962 г. Данные этих соревнований касаются главным образом стартов с «дикого» полигона (пустоши) и с аэродрома, т. е. специально подготовленного полигона. В первом случае соревнования проводились на Блендовской пустоши, а во втором случае — на аэродроме Краковского аэроклуба.

На рис. 9.9 схематично изображен общий вид полигона. Пять пусковых установок, по числу соревнующихся команд, расположены на расстоянии ~ 25 м от пультов управления. Около пультов находятся непосредственные участники соревнований. Пусковые установки размещаются в центре площадки, имеющей форму равностороннего треугольника со стороной 600 м, разме-

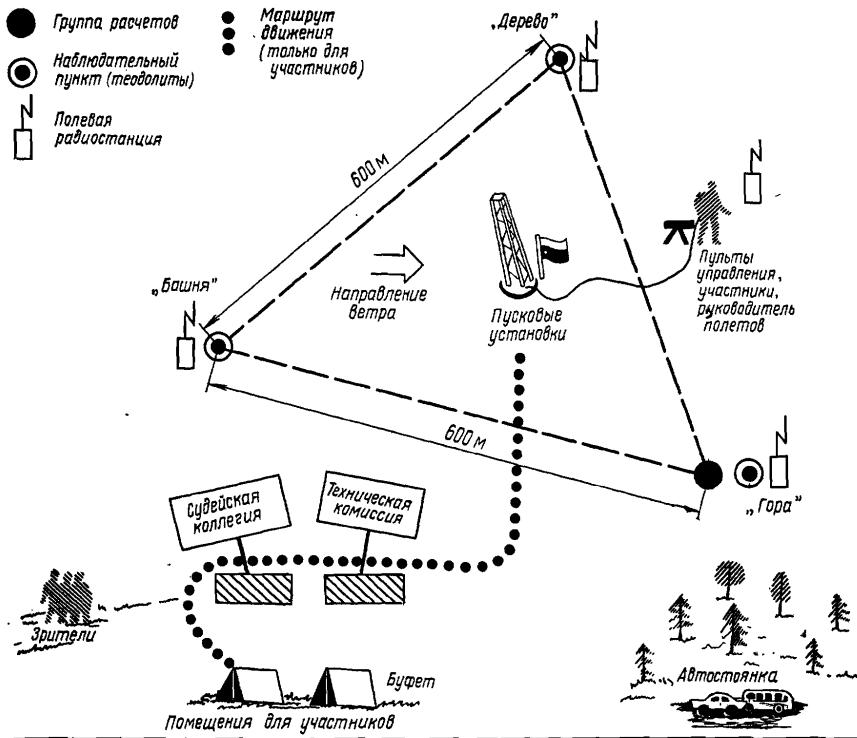


Рис. 9.9. Схема полигона и расположенных на нем объектов при проведении Всепольских соревнований ракетомоделистов.

ченного измерительной группой. В точках, соответствующих вершинам этого треугольника, находятся измерительные пункты, оборудованные полевыми радиостанциями. Радиостанция имеется также у руководителя полетов, который таким образом, может связываться по радио и с судейской коллегией, и с членами измерительной группы.

Для четкой организации движения участников соревнований, вызываемых на старт по радио (расстояние от места размещения участников до пусковых установок составляет 600—700 м), проложены специальные дорожки, которые тщательно размечены указателями разного цвета, причем каждой дорожке соответствует указатель своего цвета. Например, участники соревнований направлялись по дорожке, отмеченной красными указателями, зрители могли двигаться по дорожкам с желтыми указателями и т. д. Такая организация маршрутов позволяет навести четкий порядок вблизи стартовой площадки и на полигоне в целом.

Каждый измерительный пункт имеет свое обозначение, что дает возможность различать информацию, получаемую от каждого из трех пунктов. Наблюдатели (по три человека на каждом

измерительном пункте) следят за полетом моделей через артиллерийские бинокли типа ТЗК, которые позволяют, подобно теодолитам, измерять углы в горизонтальной и вертикальной плоскостях.

Измерения проводятся в следующем порядке. Руководитель полетов со стартовой площадки сообщает на все измерительные пункты о разрешении старта модели, например № 7. Члены измерительных групп наблюдают за ее полетом в бинокли и записывают измеренные угловые величины, соответствующие максимальной высоте полета модели, обозначенной указанным номером. Эти данные передаются расчетной группе, которая по ним вычисляет высоту полета в метрах и делает соответствующие выводы, которые оглашает судейская коллегия.

Кроме судейской коллегии, которая оценивала спортивные результаты соревнований в соответствии с принятыми правилами и техническими критериями (импульс тяги двигателя, диаметр купола парашюта, массовые характеристики и т. п.), на этих соревнованиях действовала техническая комиссия, которая контролировала соответствие моделей техническим требованиям.

В отдельном помещении была организована мастерская для доработки и ремонта моделей.

Участники соревнований, подготовив модели к старту, отходили к пультам управления. Спортсмены запускали свои ракеты по сигналу руководителя полетов, подаваемому красным флагом. Каждый участник имел свой стартовый номер; кроме того, были пронумерованы все пусковые установки.

После серии пусков, число которых определялось располагаемым количеством пусковых установок, делался перерыв, во время которого участники соревнований (конечно, при выключенных источниках питания) очищали и регулировали пусковые установки, устанавливая на них направляющие новые модели ракет. Каждый спортсмен мог произвести три запуска, используя для этого модели, проверенные и допущенные к соревнованиям технической комиссией.

Соревнования на аэродроме проводятся несколько иначе. Схема такой стартовой площадки, показанная на рис. 9.10,а, относится к IV Всепольским соревнованиям, организация которых разработана в мельчайших подробностях и может считаться образцовой. Ниже описывается стартовая площадка, разработанная для этих соревнований.

На одной линии с интервалом в несколько метров друг от друга располагается 17 стандартных металлических пусковых установок. Каждая из них снабжена белым щитом с указанием ее номера (от 1 до 17). На всех пусковых установках имеются также белые контрольные лампочки, сигнализирующие о замыкании цепи электропитания. Каждая пусковая установка соединена проводами с пультом управления, у которого находятся участники запуска.

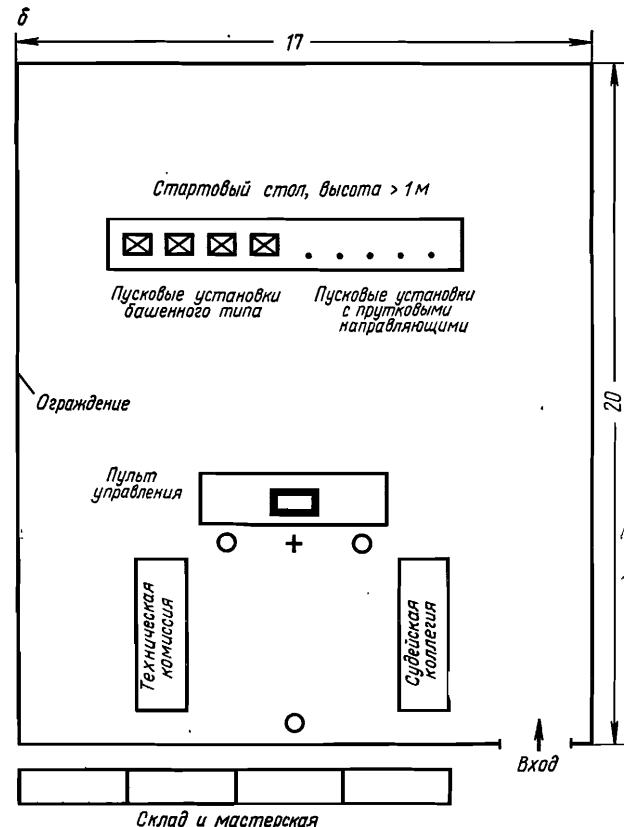
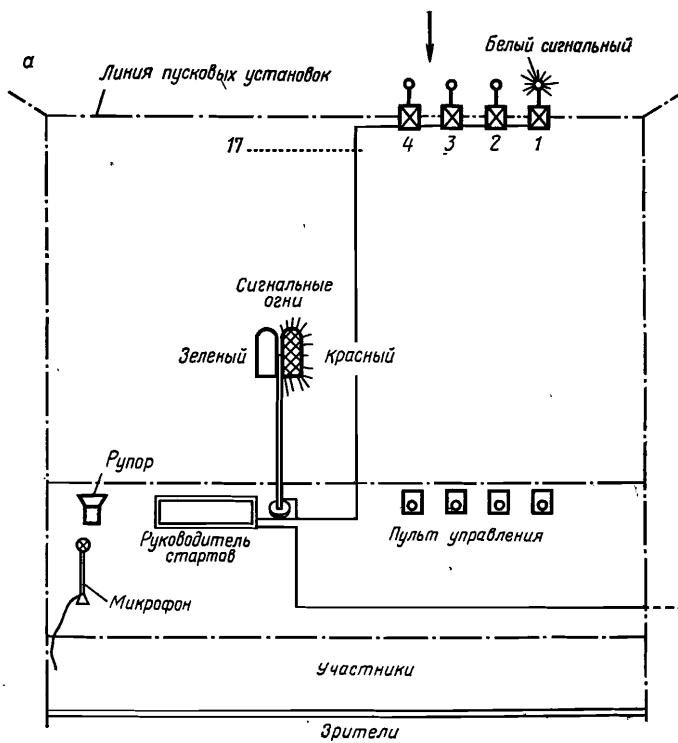


Рис. 9.10. Схемы стартовых площадок.
а — на соревнованиях в Польше; *б* — на соревнованиях в Чехословакии.

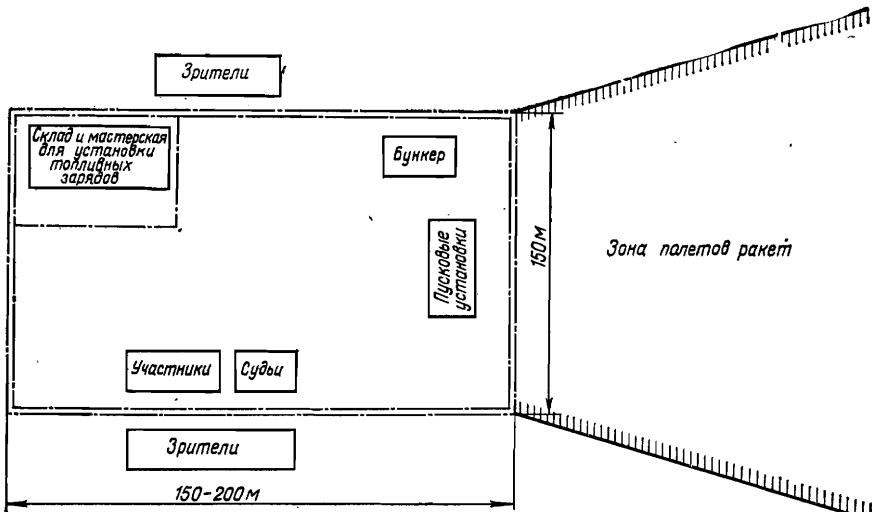


Рис. 9.11. Схема расположения объектов на испытательном полигоне при проведении соревнований в Югославии.

На линии пультов управления, удаленных от пусковых установок на 25 м, находится также командный пульт руководителя полетов и рядом с ним — мачта с сигнальными лампами. Включенная зеленая лампа означает проведение подготовительных работ — проход свободен, а включение красной лампы является сигналом начала пусков и одновременно предупреждением об опасности для участников и зрителей.

Стартовая площадка радиофицирована, а связь с тремя измерительными пунктами поддерживается с помощью полевых телефонов и радиостанции.

Механизированный и автоматизированный старт облегчает проведение крупных соревнований, а заполнение стартового журнала или использование при проведении запусков магнитофона улучшает организацию соревнований и сбор необходимых данных.

Расскажем еще о двух схемах соревнований. Интересен опыт проведения соревнований в Чехословакии и Югославии. Согласно практике республиканских соревнований ЧССР (около 50 участников) группа организации и обслуживания соревнований состоит из 35—38 человек. Сюда входят также персонал службы порядка, хронометристы и персонал измерительных пунктов. Для запусков используются две пусковые установки. В среднем на один запуск уходит пять минут, считая с момента вызова участника соревнования на старт и до момента схода ракеты с направляющей. На рис. 9.10, б показана схема стартовой площадки, используемой на этих соревнованиях. Вся стартово-

вая площадка, имеющая форму прямоугольника 17×20 м, ограждена полосатыми столбиками с предупредительными табличками.

Типовая схема стартовой площадки, используемой на соревнованиях в Югославии, показана на рис. 9.11. Зрители располагаются по обе стороны стартовой площадки параллельно плоскости стрельбы. Здесь стартовая площадка значительно больше и имеет размеры $(150 \div 200) \times 150$ м, поскольку на этом полигоне допускается запуск и любительских ракет, двигатели которых имеют значительно большую тягу.

5. Международные правила ракетно-космического Моделизма¹

5.1. Определения

Моделью ракеты называется летающая модель, поднимающаяся в воздух без использования аэродинамических подъемных сил для преодоления силы земного притяжения, приводимая в движение с помощью модельных ракетных двигателей, включающая устройство для ее безопасного возвращения на землю (так, чтобы после посадки ее можно было бы запустить вновь) и изготовленная из неметаллических материалов.

Модельным ракетным двигателем (МРД) называется твердо-топливный двигатель промышленного производства, в котором топливо представляет собой изготовленную из различных компонентов смесь, готовую для применения.

Существуют следующие семь основных категорий ракетно-космических моделей:

- S — 1 — высотные модели;
- S — 2 — транспортные модели;
- S — 3 — парашютирующие модели;
- S — 4 — ракетно-планерные модели;
- S — 5 — масштабные высотные модели (модели-копии на высоту полета);
- S — 6 — модели со стримером (тормозной лентой);
- S — 7 — масштабные модели (модели-копии на реализм полета).

Модели классифицируются в соответствии с общим импульсом двигательной установки.

5.2. Технические требования к моделям ракет

Для того чтобы *модель ракеты* была допущена к соревнованиям, она должна удовлетворять следующим требованиям:

- а) Максимальная масса, включая ракетный двигатель, не должна превышать 0,5 кг.

¹ Эти правила заимствованы из спортивного кодекса ФАИ на 1975 г. — Прим. ред.

б) На момент запуска в двигателе ракеты должно быть не более 125 г топлива.

в) Модель ракеты не должна иметь более трех работающих ступеней. *Ступенью* называется часть корпуса модели, имеющая двигательную установку и отделяющаяся от модели в полете после сгорания топлива. Часть модели без двигательной установки не является ступенью. Число ступеней модели определяется на момент запуска ее стартовой двигательной установки.

г) Модель ракеты должна обеспечивать более чем один полет и иметь средства для ее торможения при спуске на землю так, чтобы конструкция модели существенно не повреждалась и чтобы она не создавала угрозы для людей и наземных объектов.

д) Отработавший двигатель не должен сбрасываться во время полета, если он не заключен в ступень. У моделей ракетопланов двигатель может сбрасываться с модели, если он снабжен тормозной лентой размерами не менее 25×300 мм или обычным парашютом с площадью купола не менее 4 дм².

е) Модель должна быть изготовлена из дерева, бумаги, резины, пласти массы или других подобных материалов (применение металлов для изготовления крупных деталей модели не допускается).

ж) В конструкции модели должны быть предусмотрены специальные плоскости, обеспечивающие аэродинамическую устойчивость и стабилизирующие силы, необходимые для выполнения правильной траектории полета.

з) Модель ракеты не должна нести никакой взрывчатой или пиротехнической нагрузки.

5.3. Технические требования к ракетомодельным двигателям

Ракетомодельный двигатель, обеспечивающий движущую силу для модели, должен удовлетворять следующим требованиям:

а) Двигатель модели ракеты должен представлять собой изделие промышленного изготовления, в котором топливный заряд заранее помещен в корпус двигателя, надежно закреплен там и не может быть легко удален. Запальные шнуры и пиропатроны могут храниться отдельно, если они также изготовлены промышленным способом и готовы к использованию.

б) Корпус двигателя модели ракеты должен быть изготовлен из неметаллических материалов с низкой теплопроводностью. Температура наружной поверхности корпуса не должна превышать 150°C как во время работы двигателя, так и после его выключения.

в) Двигатель модели ракеты должен быть спроектирован таким образом, чтобы он исключал самопроизвольное зажигание в воздухе, в воде, в результате механических ударов, вибраций, от воздействия в условиях, которых следует ожидать в процессе

перевозок, хранения и обслуживания, а также при воздействии температуры до 80°С.

г) Двигатель модели ракеты должен содержать не более 125 г топлива.

д) Двигатель должен обеспечивать полный импульс не более 80 Н·с¹ и иметь продолжительность работы не менее 0,050 с.

е) Двигатель модели ракеты не должен иметь установленного воспламенителя, если этот воспламенитель может сработать под действием открытого пламени, температуры ниже 80° или случайных радиосигналов.

ж) Двигатель модели ракеты, содержащий более 20 г топлива, должен быть загерметизирован негорючим неметаллическим герметиком в сопле и переднем торце. Герметичные вставки должны легко удаляться, если только двигатель не спроектирован для работы с этими вставками.

з) В процессе горения топлива из двигателя не должны вылетать горящие куски и его пламя не должно зажигать сухую бумагу или траву на расстоянии от сопла, составляющем пятьсот диаметров его критического сечения.

и) Не допускается какая-либо переделка двигателя модели ракеты с целью изменения его паспортных характеристик или размеров.

к) К соревнованиям ФАИ или к попыткам установления рекордов допускаются лишь двигатели известного типа, ранее испытанные и допущенные для такого использования национальным аэроклубом.

Участники или руководители команд должны заблаговременно, до начала соревнований, представить организаторам соревнований сертификационные документы (паспорта) на все типы двигателей, которые предполагается использовать в соревнованиях. Эти сертификационные документы должны включать данные о размерах двигателей, их массе в заряженном состоянии, массе топлива, полном импульсе, графике «тяга — время» и времени запаздывания. Сертификационные документы должны содержать заключение о том, что каждый двигатель модели ракеты отвечает всем требованиям, установленным ФАИ.

Организаторы соревнований должны обеспечить возможность проведения стендовых испытаний случайно выбранных экземпляров каждого типа двигателей для проверки соответствующих данных национального аэроклуба.

Стендовое оборудование, используемое для испытаний ракетомодельных двигателей, должно отвечать следующим требованиям:

а) Тяговое усилие должно быть измерено и зарегистрировано с точностью в пределах $\pm 0,2$ Н.

¹ Полный импульс МРД — произведение его средней тяги на время работы. В технической системе единиц полный импульс имеет размерность кГ·с, а в системе СИ — Н·с (1 Н·с = 0,102 кГ·с). — Прим. ред.

- б) Продолжительность действия тягового усилия должна быть измерена и зарегистрирована с точностью в пределах $\pm 0,01$ с.
- в) Резонансная частота колебаний стенда должна быть не менее 100 Гц, а частота его собственных колебаний должна превышать указанное число не менее чем в пять раз, т. е. составлять 500 Гц.
- г) Время задержки должно быть измерено и зарегистрировано с точностью в пределах $\pm 0,1$ с.

На партию модельных ракетных двигателей одного типа аэроклубом — представителем ФАИ — может быть выдан сертификат, если характеристики двигателей произвольной выборки из этой партии будут отвечать следующим требованиям:

а) Полный импульс любого испытанного двигателя не должен отклоняться больше чем на $\pm 10\%$ от среднего значения, установленного для двигателя данного типа.

б) Время работы любого испытанного двигателя не должно отклоняться больше чем на 20% от среднего значения, установленного для двигателей данного типа, причем абсолютное значение этого отклонения не должно превышать 3 с.

в) Любые отказы двигателя во время испытаний не допускаются.

Все модельные ракетные двигатели, допущенные для применения на соревнованиях ФАИ, должны иметь четкую маркировку знаками или обозначениями, определяющими тип двигателя и его характеристики. Рекомендуется цветное кодирование сопла или корпуса двигателя.

Для категорий S—1, S—2, S—3, S—4 и S—6 к соревнованиям допускается не больше двух моделей, а для категорий S—5 и S—7 — только по одной модели.

5.4. Запуски

В процессе выполнения операций, связанных со стартом и полетом моделей ракет, руководство по обеспечению безопасности на летном поле должно осуществляться руководителем полетов в возрасте не моложе 18 лет, являющимся членом аэроклуба — представителя ФАИ. Он может иметь помощников требуемой квалификации, что, однако, не освобождает руководителя полетов от ответственности за безопасность на летном поле.

Запуски моделей ракет разрешает или запрещает только руководитель полетов или его заместитель с учетом требований техники безопасности.

Для осуществления безопасного полета модели по заранее намеченной траектории должна использоваться пусковая установка или соответствующее приспособление. Угол запуска по отношению к горизонту должен составлять не менее 60° .

Пусковая установка не должна сообщать модели дополнительную скорость или изменять количество ее движения. Энергию

модели должен сообщать только установленный на ней двигатель. Старт с помощью механического устройства, встроенного в модель или пусковую установку, не разрешается.

Запуск двигателей должен осуществляться посредством дистанционного электрического устройства, находящегося на расстоянии не менее 5 м от пусковой установки, лицом, выполняющим запуск. Руководитель полетов и его заместитель должны иметь ключ стартовой блокировки, который не позволяет осуществить запуск двигателей модели без их разрешения.

После того, как руководитель полетов убедится в том, что запуск модели может быть осуществлен безопасно, он вставляет ключ блокировки в пусковое устройство, разрешая тем самым зажигание двигателей и старт. Все лица, находящиеся поблизости от пусковой установки, должны быть предупреждены о предстоящем запуске; непосредственно перед запуском производится предстартовый отсчет в обратном порядке минимум в течение 5 с.

Запуск моделей ракет допускается при скорости ветра не более 35 км/ч и видимости не менее 500 м.

Модель ракеты в полете не должна создавать угрозы другим летательным аппаратам и не должна использоваться против каких-либо воздушных или наземных целей.

5.5. Участие в соревнованиях

Все представленные на соревнования модели перед их первым полетом должны быть осмотрены и замаркированы судьями. Одна и та же модель не может принимать участия в различных классах соревнований.

На корпусе или стабилизирующих поверхностях каждой модели, представленной на соревнования, должны быть нанесены обозначения участника соревнований в буквах и цифрах высотой не менее 1 см. На внешней поверхности модели должно быть указано название или условное обозначение страны, которую представляет модель.

На поверхности модели должен быть также выделен участок размером не менее 1×3 см, необходимый для отметок организаторов соревнований.

Каждая модель, представленная на соревнования, проходит технический контроль и контроль безопасности.

Судьи должны удостовериться, что каждая представленная на соревнования модель выполнена соответствующим участником. Изготовлением может считаться сборка модели из отдельных элементов промышленного изготовления. Модель промышленного изготовления или модель, которая может быть собрана в течение нескольких минут путем простых операций, к соревнованиям не может быть допущена. Материалы и схемы модели могут быть взяты из различных источников, в том числе из выпускаемых промышленностью наборов.

Полет считается состоявшимся, если модель покинула пусковое устройство, потеряла с ним контакт или поднялась в воздух (за исключением отказа не по вине участника соревнований).

Если позволяют время и погодные условия, каждому участнику соревнований предоставляется возможность провести три официальных запуска в каждом виде соревнований.

Судьи могут дисквалифицировать любую модель, если, по их мнению, она не отвечает требованиям соревнований либо если руководитель полетов или ответственный по технике безопасности полагает, что модель недостаточно надежна в действии.

Судьи могут дисквалифицировать любого участника соревнований, если он не выполнил требуемых мер безопасности, за неспортивное поведение, за невыполнение указаний руководителя полетов или его заместителя, за нарушение правил соревнований в целом. Модель, потерпевшая аварию, не вызванную по мнению судей, плохой конструкцией, неудовлетворительным ее изготовлением или предполетной подготовкой, не дисквалифицируется; после такой аварии она может быть заменена другой аналогичной моделью.

При неудовлетворительном характере полета модель может быть дисквалифицирована на один запуск, но не обязательно на все соревнование.

5.6. Соревнования высотных моделей (категория S—1)

Модели для соревнований на высоту полета подразделяются на классы в зависимости от взлетной массы и полного импульса двигателей, приводящих в движение модель.

Разрешается использовать любое число двигателей в любой комбинации при условии, что их суммарный импульс не превышит допустимый импульс для модели данного класса (табл. 9.1).

Таблица 9.1

Класс	Полный импульс, Н·с	Максимальная масса, г
S—1-A	0—5,00	60
S—1-B	5,01—10,00	120
S—1-C	10,01—40,00	240
S—1-D	40,01—80,00	500

Все модели, участвующие в соревнованиях, в которых число присуждаемых очков определяется высотой полета, должны быть отслежены в полете с помощью не менее двух калиброванных измерительных устройств, расположенных на базе длиной не менее 300 м.

Измерительное устройство должно обеспечить возможность измерения углов как в горизонтальной плоскости (азимут), так и в вертикальной (возвышение) с точностью $\pm 0,5^\circ$ как по азимуту, так и по возвышению.

Модели, участвующие в соревнованиях на высоту полета, отслеживаются визуально наблюдателями каждого из измерительных пунктов до того момента, когда модель достигнет максимальной высоты полета. Угол азимута, определяемый от базисной линии, и угол возвышения, определяемый от горизонтальной линии, отсчитываются с точностью до 1° и передаются руководителю полетов и в расчетную группу. Там полученные угловые данные преобразуются в данные по высоте методами триангуляции.

Расчетные высоты, полученные по данным с каждого измерительного пункта, должны отклоняться не более чем на 10% от среднего значения, рассчитанного по данным обоих измерительных пунктов. Если это отклонение превышает 10%, то считается, что модель наблюдателями потеряна. Все значения высоты должны быть округлены до ближайшего целого метра перед определением упомянутых выше разбросов.

Все модели, участвующие в соревнованиях на высоту полета, должны быть окрашены в такие цвета, которые облегчали бы их отслеживание. Считается, что потеря модели при слежении происходит в результате неправильного выбора цвета или неудовлетворительного окрашивания.

Данные измерений высоты, сделанные с помощью электронных или радиоустройств, считаются действительными только при наличии соответствующих калибровочных характеристик.

5.7. Соревнования транспортных моделей на подъем груза ФАИ (категория S — 2)

В соревнованиях транспортных моделей, поднимающих одну или несколько стандартных полезных нагрузок ФАИ, победившей считается модель, достигшая наибольшей высоты, определенной по измерениям углов и тригонометрическим пересчетом.

Стандартная полезная нагрузка ФАИ представляет собой сплошной цилиндр (массой 28,3 г) из свинца или сплава с весовым содержанием свинца не менее 60%. Этот цилиндр имеет диаметр $19,1 \text{ мм} \pm 0,1 \text{ мм}$. Сверление или пробивка отверстий в цилиндре, равно как и добавление каких-либо материалов к нему, не разрешаются.

Стандартная полезная нагрузка ФАИ должна размещаться внутри модели так, чтобы она при необходимости могла быть легко удалена из модели, но не могла из нее выпасть во время полета.

Модель в таком соревновании должна иметь парашют достаточного размера, обеспечивающий безопасную посадку.

Полет модели дисквалифицируется в случае, если полезная нагрузка отделилась от модели во время старта или полета.

Транспортные модели делятся на классы в зависимости от общей полетной массы, числа транспортируемых полезных нагрузок ФАИ и максимального полного импульса двигателя (двигателей). Установленные классы транспортных моделей характеризуются в табл. 9. 2.

Таблица 9.2

Класс	Максимальный полный импульс, Н·с	Максимальная масса, г	Число транспортируемых нагрузок
S—2-А — одиночный	0,00—10,00	90	1
S—2-В — двойной ¹	10,01—40,00	180	2
S—2-С — открытый ¹	40,01—80,00	500	3

¹ Соревнования для моделей этих классов в СССР не проводятся. — Прим. ред.

5.8. Соревнования на продолжительность полета моделей с парашютом или лентой (категории S—3 и S—6)

Модели, предназначенные для таких соревнований, делятся на классы в соответствии с полным импульсом используемого двигателя. Во время полета отделение или отбрасывание какой-либо части модели, кроме чехла парашюта или пыжей, не допускается.

Модели для соревнований на продолжительность полета с парашютом. В указанных соревнованиях могут участвовать одноступенчатые модели с одним ракетным двигателем и одним или несколькими парашютами, обеспечивающими возвращение модели на землю. Парашюты должны иметь не менее трех строп. Участник соревнований может сменить парашюты модели в любое время в процессе соревнований.

Модели для соревнований на продолжительность полета с тормозной лентой. К указанным соревнованиям допускаются одноступенчатые модели с одним ракетным двигателем и одной тормозной лентой, предназначенной для спуска модели на землю. Такой парашют должен быть изготовлен из одного куска гибкого материала, например ткани, тонкой бумаги или пластиковой пленки с отношением длины к ширине 10 : 1. На узкой кромке ленты укрепляется жесткая опора максимального поперечного сечения 2×2 мм с петлями из ниток с каждой стороны опоры, которые могут использоваться для крепления ленты к модели. Лента должна развернуться при спуске модели. Участник соревно-

ваний может сменить тормозную ленту модели в любое время в процессе соревнований.

Полное время полета отсчитывается от первого движения модели на пусковой установке до момента касания земли. Хронометристы должны ознакомиться с окраской и формой модели для того, чтобы легко различать ее в полете.

Считается, что модель закончила полет, если она коснулась поверхности земли, встретилась с препятствием, которое определенно прекратило ее полет, или вышла из поля зрения хронометристов.

Если модель скрылась за каким-либо препятствием или облаком, хронометристы должны подождать 10 с; если модель не показывается снова, отсчет времени прекращается и из времени полета вычитываются 10 с ожидания.

Время полета измеряется двумя хронометристами с секундомерами или другими устройствами для отсчета времени, имеющими точность не менее 0,2 с. На мировых чемпионатах оба хронометриста должны иметь бинокли.

Регистрируемое время определяется как среднее между замерами двух хронометристов, округляемое до ближайшего целого числа секунд.

Бинокли для соревнований по моделям ракет должны отвечать следующим требованиям:

а) Бинокли должны обеспечивать четырех- или восьмикратное увеличение.

б) Перед отсчетом времени хронометрист должен отрегулировать бинокль по своим глазам. Расстояние между линзами должно быть таким, чтобы обеспечивать круглое поле зрения.

Примечание: бинокли без центрального фокусирующего винта должны быть отложены поочередным регулированием линз.

в) После регулировки целесообразно прочитать через бинокль какой-либо текст, что облегчает возможную дополнительную регулировку.

г) Хронометрист не должен использовать бинокль, пока модель находится на старте. Наблюдение в бинокль рекомендуется начинать примерно через 30 с после начала полета.

д) Наблюдение в бинокли не должно прекращаться на последней стадии полета, когда есть риск не обнаружить снова модель даже с помощью биноклей.

е) Во время полета модели хронометристы не должны обмениваться биноклями. Хронометрист, начавший первым наблюдение за моделью, должен продолжать наблюдение в бинокль в течение всего полета или же до окончания заданного времени наблюдений.

ж) Если модель вышла из поля зрения хронометриста, не имеющего бинокля, он не должен останавливать свой секундомер до того момента, пока другой хронометрист не подаст ему сигнал. То же относится и к хронометристу с биноклем, если он потерял

модель из виду и не в состоянии обнаружить ее с помощью бинокля, тогда как другой хронометрист все еще видит ее. В такой ситуации хронометрист, потерявший модель из виду, немедленно информирует об этом своего напарника, с тем чтобы он был готов дать соответствующий сигнал.

Для окончательной классификации результата каждого участника соревнований берется время трех полетов его моделей.

Для определения победителя, в случае одинаковых результатов, сразу же по окончании последнего полета соревнований проводится дополнительный тур. Для каждого дополнительного полета разрешается только одна попытка.

Классы для соревнований на продолжительность полета моделей с парашютом и с лентой характеризуются в табл. 9. 3.

Таблица 9.3

Класс	Полный импульс, Н·с	Максимальная масса, г	Максимальное время полета, с	
			парашют	лента
S—3-A/S—6-A	0—2,5	100	240	120
S—3-B/S—6-B	2,51—5,0	100	360	180
S—3-C/S—6-C	5,01—10,0	200	480	240
S—3-D/S—6-D	10,01—20,0	500	600	300

5.9. Соревнования моделей ракетопланов (категория S—4)

В этих соревнованиях участвуют модели, которые поднимаются в воздух под действием силы тяги ракетного двигателя, без использования аэродинамических поверхностей, создающих подъемную силу; возвращение таких моделей на землю осуществляется путем устойчивого планирования с использованием аэродинамических поверхностей. Модели ракетных самолетов, поднимающиеся в воздух по спирали и использующие для этого несущие аэродинамические поверхности, к таким соревнованиям не допускаются.

Время полета для каждой модели измеряется от ее первого движения на пусковой установке до момента касания земли пла nirующим блоком модели.

В этих соревнованиях используются правила отсчета времени и классификации, описанные в разд. 5. 8.

Разрешается радиоуправление моделью ракетоплана для обеспечения ее посадки вблизи зоны старта.

Классы для соревнований на продолжительность полета моделей ракетопланов характеризуются в табл. 9. 4.

Таблица 9.4

Класс	Полный импульс, Н·с	Максимальная масса, г	Максимальное время полета, с
S—4-А «Воробей»	0—2,5	60	120
S—4-В «Стриж»	2,51—5,0	90	180
S—4-С «Ястреб»	5,01—10,0	120	240
S—4-Д «Орел»	10,01—40,0	240	300
S—4-Е «Кондор»	40,01—80,0	500	300

5.10. Соревнования моделей-копий на реализм полета (категория S—7)

К участию в соревнованиях масштабных моделей (моделей-копий) допускаются только летающие модели, которые являются действительной копией применяемых или ранее применявшихся управляемых снарядов, ракетных или космических летательных аппаратов.

Если модель представляет собой многоступенчатый космический летательный аппарат, то ее верхние ступени могут быть макетными. Последняя ступень многоступенчатого космического аппарата не может принимать участие в соревнованиях в качестве самостоятельного летательного аппарата, а также не может выполнять самостоятельный полет (без действующей первой ступени), если судейской коллегии не представлена документация, доказывающая, что верхняя ступень (или верхние ступени) спроектированы для самостоятельных полетов или уже летали в воздушном пространстве как самостоятельные летательные аппараты. Например, все модели ракеты типа «Аэроби» должны быть снабжены дополнительными стартовыми двигателями (как и у прототипа).

Участник соревнований должен представить модель известного прототипа, за исключением случая, когда натурный летательный аппарат выпускался в больших количествах и нет возможности определить конкретный прототип модели.

Участник соревнований должен представить судейской коллегии документацию, на основании которой выполнена данная масштабная модель. Необходимо, чтобы такая документация позволяла оценить точность воспроизведения основных параметров прототипа, таких, как размеры (в соответствующих единицах измерения), форма, окраска и т. п. Как минимум, должны быть указаны длина и диаметр прототипа и приведена одна его фотография. Поощряется представление судейской коллегии всех других имеющихся документов. Данные, касающиеся размеров

прототипа, должны быть взяты из авторитетных источников, таких, как технические журналы и книги или документация организации-изготовителя, а также различные фотоснимки. Все эти данные должны относиться к определенному экземпляру прототипа, копия которого представлена на соревнования. За представление неправильной или неточной информации участник может быть наказан штрафными очками.

Для изготовления моделей могут быть использованы наборы готовых деталей, однако размеры и технические данные должны подтверждаться не паспортами и инструкциями, приложенными к комплекту изготовителем, а какой-либо оригинальной документацией. Участник соревнований должен представить обоснование, что использованный им комплект выполнен в соответствующем масштабе по отношению к прототипу.

Модели ракет или космических аппаратов, не имеющих стабилизаторов, могут быть снабжены стабилизаторами, выполненными из прозрачного пластика. Однако при этом искажение подобия модели по отношению к прототипу должно быть минимальным, а разделение ступеней модели должно происходить без помех и в соответствии со схемой разделения ступеней прототипа.

Модели-копии оцениваются с точки зрения точности воспроизведения прототипа (в готовом к полету состоянии, за исключением ракетных двигателей). Стабилизаторы из прозрачной пластмассы, а также стартовое и вспомогательное оборудование при технической оценке рассматриваются совместно с моделью. В промежутке между технической оценкой и полетом к модели нельзя ничего добавлять и ничего от нее отнимать, за исключением двигателей и устройств, обеспечивающих возвращение на землю.

Максимальная стартовая масса модели (вместе с двигателем) не должна превышать 500 г. Максимальный допустимый полный импульс двигателя (двигателей) составляет 80 Н·с.

Каждая модель должна продемонстрировать устойчивый полет. Каждый участник соревнований имеет право на два запуска, если это позволяют время и погодные условия.

Очки за точность воспроизведения присуждаются следующим образом:

— за *полноту и точность технической документации* — 50 очков; документация оценивается с точки зрения количества и качества (если модель представляет собой масштабную копию какого-то специального космического аппарата, то документация должна относиться к прототипу этого аппарата); на рисунках и фотоснимках должны быть видны все элементы и подробности прототипа; судейская коллегия может снизить оценку за неточность документации, если, например, модель выполнена не в указанном масштабе;

— за *точность воспроизведения* — максимум 350 очков. Модель считается выполненной в указанном масштабе, если разница величин соответствующих размеров меньше 10%.

Оценка точности воспроизведения проводится в четырех аспектах:

а) общий вид — максимум 50 очков;

б) корпус и головная часть — максимум 100 очков;

в) стабилизаторы — максимум 100 очков (для моделей без стабилизаторов или со стабилизаторами из прозрачной пластмассы эти 100 очков относят к головной части и корпусу, т. е. максимальное число очков за корпус и головную часть увеличивается до 200);

г) цвет и маркировка — максимум 100 очков;

— *за качество изготовления* — максимум 300 очков; эти очки должны учитывать тщательность исполнения, точность конструкции и отделку модели; отделка, отличающаяся от отделки прототипа (например, изготовление глянцевой модели при прототипе с матовой поверхностью), не может быть оценена максимальным числом очков;

— *за трудоемкость изготовления* — максимум 200 очков; при этом учитываются следующие факторы: симметрия модели, число наружных деталей и форма, трудность изготовления отдельных элементов и окраска, характер отделки и трудность приспособления модели к условиям полета;

— *за выполненный полет* — максимум 100¹ очков; при этом оцениваются: старт, устойчивость полета, число действующих ступеней (для многоступенчатой модели), способ обеспечения возвращения на землю и отсутствие повреждений при возвращении.

5.11. Соревнования моделей-копий по высоте полета (категория S—5)

Цель этих соревнований состоит в достижении максимальной высоты полета.

Все допускаемые к этим соревнованиям модели должны соответствовать требованиям к моделям-копиям и условиям соревнований, описанным в разд. 5.10.

Общее число очков, которым оценивается модель-копия, прибавляется к очкам, присужденным за достигнутую высоту полета. При падении модели из-за ошибки за высоту полета не присуждаются. Победителем соревнований становится участник, получивший наибольшее общее число очков за качество выполнения модели и за высоту ее полета. В случае ничейного результата решающими становятся очки, присуждаемые за соответствие масштабу.

Судьи могут дисквалифицировать любую модель, которая, по их мнению, обладает неудовлетворительным соответствием масштабу или недостаточным качеством изготовления.

¹ Правилами соревнований по ракетомодельному спорту в СССР полет оценивается по шкале до 900 очков. — *Прим. ред.*

Классы моделей-копий, для которых проводятся соревнования по высоте полета, характеризуются в табл. 9.5.

Таблица 9.5

Класс	Полный импульс, Н·с	Максимальная масса, г
S—5-A	0,00—2,50	60
S—5-B	2,51—5,00	90
S—5-C	5,01—10,00	120
S—5-D	10,01—40,00	240
S—5-E	40,01—80,00	500

5.12. Рекорды моделей ракет

Все рекорды ФАИ по летным характеристикам моделей ракет регистрируются лишь на соревнованиях, организованных аэроклубом — представителем ФАИ — или другим органом по его поручению.

Чтобы рекорд был зарегистрирован, он должен не менее чем на 1% превышать величину прежнего рекорда.

В дополнение к стандартным данным, представляемым в ФАИ для признания рекорда, каждая попытка установления рекорда для ракетных моделей должна удовлетворять следующим дополнительным требованиям.

На полетной карточке соревнований, представленной для утверждения рекорда, должна быть пометка: «Попытка установления рекорда». Координаты пунктов слежения должны быть записаны чернилами. Фамилия и имя участника, предпринявшего попытку установления рекорда, его адрес и номер его лицензии должны быть также указаны на карточке соревнований. В дополнение на полетной карточке соревнований чернилами должна быть записана следующая информация: номер разрешения в соревновании, название соревнования, в котором была предпринята попытка установления рекорда, дата и место проведения полета, подписи судей, присутствовавших на соревновании, заключение о калибровке и точности системы слежения, а также заключение относительно марки, типа и изготовителя двигателя, использованного в полете.

Для модели с парашютом дополнительно должно иметься заключение относительно размеров, материала и конструкции использованного парашюта.

Лицо, осуществившее попытку установления рекорда, должно представить для признания рекорда следующую документацию, касающуюся модели:

- точный чертеж рекордной модели с указанием основных размеров, общей массы и массы конструкции без топлива;
- четкую увеличенную фотографию модели вместе с линейкой, рукой или другим объектом известного размера на фотографии для установления размера модели;
- досье рекорда, включающее заполнение формы ФАИ в соответствии с классом соревнований.

В особых случаях ФАИ может запросить дополнительную информацию, касающуюся выполнения указанных выше требований.

6. Техника безопасности

Первым условием проведения различных испытаний моделей ракет является выполнение требований техники безопасности, поскольку нет ракет абсолютно безопасных. Всем известно, что даже камешек, выпущенный из рогатки, может вызвать несчастный случай, поэтому в ракетомоделизме тем более надо соблюдать осторожность при обращении с ракетой.

Д-р Я. Вальчевский, выдающийся специалист в области ракетной техники в Польше, руководитель Института космических исследований IGWIM, так пишет в своей книге¹: «Несчастные случаи при испытаниях и обслуживании моделей ракет не исключены, однако их можно избежать путем исключения опасных операций и точного выполнения правил техники безопасности при всех других операциях. Поэтому первым шагом каждого, кто собирается заниматься ракетным моделизмом, должно быть детальное ознакомление с сопутствующими ему опасностями и способами их устранения. После этого легко понять, что можно, а чего нельзя делать в любительской ракетной технике».

Вопросов техники безопасности нельзя недооценивать. Это не только моральный долг по отношению к себе и окружающим. Виновникам несчастных случаев угрожает уголовная ответственность. Ряд статей Уголовного кодекса предусматривает наказание как за неумышленное нанесение травм и материального ущерба, так и за совершение легкомысленных действий, представляющих угрозу здоровью и жизни людей.

Ниже описываются типовые опасные случаи, которые могут встретиться в «малой» ракетной технике, а также способы их предупреждения. Эти последние имеют характер запретов и предписаний. В нижеследующем обзоре используются как зарубежные данные, так и опыт обеспечения безопасности, накопленный клубом ракетной техники AGH в Кракове и краковским отделением Польского астронавтического общества.

1. Взрыв или пожар при изготовлении зарядов топлива. Это наиболее опасный случай, который может нанести наибольший ущерб при занятиях ракетомоделизмом.

¹ «Podstawowe wiadomości z małego rakietnictwa», LPZ, Warszawa, 1961.

Горение пиротехнических материалов сопровождается, как правило, не только возникновением высокотемпературного пламени, но также разбросом части горючего материала на значительные расстояния, что заключает в себе опасность возникновения пожара. Воспламенение пиротехнических материалов даже в очень малых количествах связано с опасностью травм, особенно для глаз; при воспламенении значительных количеств таких материалов возможно возникновение пожара.

К наиболее опасным операциям следует отнести изготовление твердых топлив (помол, смешение, термообработка). При этих операциях воспламенение может произойти от открытого пламени (горящая спичка, папироса), от искры (электрической или возникшей при ударе металла о металл), а также вследствие химических реакций, начинающихся в топливе, в результате его деформации, нагрева или других воздействий. Некоторые вещества, например порох на основе селитры, чувствительны к удару или сжатию. Опасными операциями также являются изготовление воспламенителей и хранение топлив. В этих случаях дополнительным фактором, инициирующим воспламенение, может быть спрессовка пороха или короткое замыкание электрических проводов. Установка в камере сгорания топливных зарядов и воспламенителей также связана с опасностью воспламенения и взрыва. При этих операциях воспламенение представляет особую опасность, поскольку горение в замкнутом пространстве (качестве сгорания) имеет характер взрыва.

Меры предосторожности. Исключение работ с пиротехническими составами при ракетном моделизме путем использования двигателей промышленного изготовления. В исключительных случаях, когда проведение таких работ необходимо, они проводятся с разрешения соответствующих органов и под контролем специалистов; предусматриваются меры личной защиты в виде экранов, предохраняющих от травм лицо и глаза; паяльники и электрические нагреватели также должны иметь экраны, а помещение должно быть соответствующим образом оборудовано в отношении пожарной безопасности. При этом следует пунктуально придерживаться инструкции по изготовлению пиротехнических составов.

2. Самопроизвольный запуск двигателя. Если в то время, когда перед соплом находится человек, произойдет запуск двигателя, то это может вызвать травму и ожог, а в случае довольно больших моделей ракет — даже привести к смерти. Причиной такого запуска двигателя может оказаться ошибочное включение системы зажигания в тот момент, когда обслуживающий персонал еще находится около пусковой установки, а также при использовании низковольтных воспламенителей, которые могут сработать от индукционного и буждающего тока или статического электричества, возникающих в проводах и конденсаторах системы зажигания.

Меры предосторожности. Соединять систему зажигания с источником тока можно только тогда, когда обслуживающий персонал покинул пусковую установку и находится у пульта управления. Воспламенитель должен устанавливаться в двигатель в последний момент, после завершения всех остальных подготовительных операций. Не следует использовать низковольтные воспламенители и проводить испытания моделей вблизи оборудования, создающего сильное электромагнитное поле. При подключении системы зажигания к проводам воспламенителя контур системы зажигания должен быть закорочен.

3. Задержка запуска двигателя. При первых испытаниях двигателя может оказаться, что запуск происходит с большой задержкой. Если кто-то подойдет к двигателю, считая, что он не сработал, то это может иметь трагические последствия.

Меры предосторожности. В случае неудавшегося запуска сразу подходить к двигателю нельзя. Необходимо трижды повторить попытку запуска, подождать несколько минут, отключить провода от источника тока и закоротить их и только после этого подойти к модели с целью демонтажа двигателя.

4. Взрыв модели на пусковой установке или в полете. В зависимости от ситуации при взрыве модели ракеты может возникнуть опасность поражения огнем или осколками. Причиной взрыва может быть ошибка в конструкции двигателя или воспламенителя, а также неправильный монтаж или установка модели.

Меры предосторожности. Следует использовать только двигатели промышленного изготовления с известными характеристиками. Большие двигатели нельзя использовать в летных испытаниях без предварительных стендовых испытаний. Необходимо тщательно придерживаться правил и инструкций по сборке и установке модели на пусковом устройстве. Не допускается использование капсюлей-детонаторов для запуска двигателей, а также поврежденных двигателей (с трещинами и следами ударов). В целях безопасности обслуживающий персонал и наблюдатели должны быть удалены от пусковой установки на достаточно большое расстояние.

5. Падение модели ракеты с работающим двигателем. Падение модели с работающим двигателем может создать значительную опасность, поскольку такая модель может перемещаться по земле произвольным образом, разрушая препятствия перед собой и поражая огнем из сопла все, что находится вблизи него. Причиной такой аварии модели ракеты может быть ее механическое повреждение в полете, например отделение стабилизатора (вследствие его слабого крепления к корпусу или удара о какое-либо препятствие); слишком короткая направляющая пусковой установки; динамическая неустойчивость модели ракеты; неустойчивость горения в ракетном двигателе, выражаяющаяся в периодическом нарастании и уменьшении тяги. Под действием первого импульса тяги модель может сойти с направляющей, а

затем, при уменьшении тяги, потерять устойчивость или упасть на землю; при последующем периодическом изменении тяги модель может произвольно двигаться в воздухе или на земле.

Меры предосторожности. При конструировании пусковой установки для моделей ракет необходимо учитывать основные принципы аэродинамики и механики. К летным испытаниям нельзя допускать не испытанные ранее двигатели. Необходимо знать влияние изменения температуры окружающей среды на работу двигателя. Перед проведением летных испытаний необходимо удостовериться, что вблизи ожидаемой траектории полета ракеты отсутствуют препятствия, такие, как провода, ветви деревьев и т. п.

6. Падение модели ракеты в непредусмотренном месте с неработающим двигателем. Падение модели после прекращения работы двигателя по своим последствиям можно сравнить с падением тяжелого предмета, например снаряда. Следует отметить, что обычно модель имеет обтекаемую форму, вследствие чего она обладает большой скоростью и способна разрушать препятствия. Кроме опасности удара, существует также опасность пожара или ожога, поскольку двигатель и его сопло могут содержать догорающие частички топлива и могут довольно долго сохранять высокую температуру после окончания работы. Частички топлива, как правило, сохраняются в двигателе и сопле при использовании кинофильмов или топлив собственного изготовления. Причинами таких аварий могут быть слишком короткая направляющая пусковой установки (модель не успевает приобрести достаточную скорость и отклоняется от заданного направления); недостаточно жесткая направляющая пусковой установки (траектория полета модели изменяется вследствие изгиба или вибраций направляющей); может произойти изменение траектории полета вследствие несимметрии конструкции модели (погнутый стабилизатор, несимметричный захват и т. п.), а также под действием ветра.

Меры предосторожности. Необходимо правильное и тщательное конструирование пусковой установки. Угол старта должен быть большим, лучше всего 80—85°. Нельзя допускать к летным испытаниям поврежденные модели; следует обращать внимание на аэродинамический профиль модели и учитывать влияние ветра на ее полет.

Ниже приведены систематизированные основные рекомендации по технике безопасности для ракетомоделистов:

1) необходимо знать и выполнять правила и инструкции по обращению со взрывчатыми веществами и ракетными топливами;

2) не пытаться конструировать ракетомодельные двигатели без глубокого знакомства со специальной литературой, основами реактивного движения и химией топлив;

3) не приступать к конструированию двигателей без советов, помощи и контроля со стороны специалиста; выполнять все его указания;

- 4) не заниматься конструированием ракетомодельных двигателей на жидким топливе и не применять такие двигатели;
- 5) обращаться с двигателями и ракетными топливами с большой осторожностью;
- 6) не допускать нагрева двигателей и топлив выше температур, указанных в инструкциях по обращению с ними;
- 7) при работах с ракетными топливами и двигателями необходимо использовать защитную маску из небьющегося стекла;
- 8) не использовать для заряжания двигателей опасных в обращении химических веществ;
- 9) не использовать в двигателях капсюлей-детонаторов;
- 10) для запуска двигателей применять только дистанционные электрические системы зажигания и устанавливать воспламенитель в двигатель непосредственно перед стартом;
- 11) летные испытания проводить на специальной территории, по размерам соответствующей дальности полета испытываемой модели;
- 12) не допускать запуска моделей ракет под углами возвышения менее 60°;
- 13) учитывать влияние ветра на полет модели и не проводить запуски при сильном ветре;
- 14) не устанавливать на модели головных частей со взрывчатыми веществами и не направлять модель на наземную или воздушную цель;
- 15) при испытаниях моделей ракет и двигателей действовать всегда предусмотрительно и с чувством ответственности, помня, к каким последствиям могут привести ошибки и спешность.

7. Измерения высоты полета моделей ракет

С момента, когда модель ракеты взлетает с пусковой установки и начинается ее самостоятельный полет, специальный персонал испытательного полигона начинает следить за ее движением, измерять набранную высоту, скорость и т. п.

Слежение за полетом модели ракеты — не простая задача, она требует хорошего зрения, опыта, глазомера в оценке расстояния и высоты, а также способности концентрировать внимание. При слежении за полетом модели обычно используются различные вспомогательные устройства, например бинокли, теодолиты (промышленного изготовления или самодельные), буссоли.

Ознакомившись с основами техники измерений и используя упомянутые выше вспомогательные устройства, можно проводить измерения летных характеристик запускаемых моделей. Понятно, что при таких измерениях трудно обеспечить высокую точность, которая возможна лишь при использовании сложной современной измерительной техники, в частности радиолокаторов и т. п.

Тем не менее проведение указанных измерений является важной задачей. С одной стороны, оно позволяет сравнить результа-

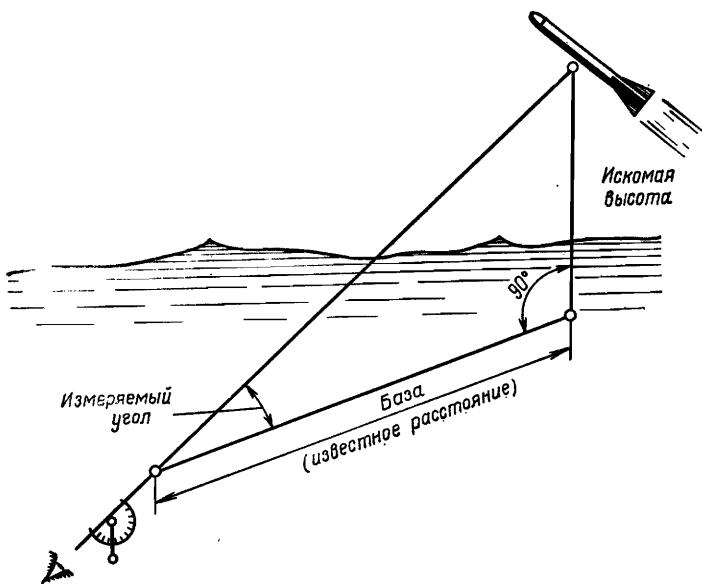


Рис. 9.12. Простейшая схема определения максимальной высоты полета модели ракеты.

ты теоретических расчетов с опытными данными, а с другой — расширяет и углубляет знания ракетомоделистов в различных областях науки и техники, в частности в геодезии, электронике, автоматике, оптике и кинофототехнике.

Поэтому не стоит спорить о том, какой высоты достигла модель в полете — 1507 или 1500 м, поскольку в рассматриваемом случае результат измерений 1500 м представляется достаточно точным.

Легче всего приближенно определить высоту полета модели, измеряя время полета секундомером и подставляя это время в уравнение

$$h = 1, 2t^2,$$

где h — высота полета, а t — полное время полета модели от старта до приземления.

Для измерения высоты полета модели можно также воспользоваться простым геометрическим методом, по которому определяют величину одного катета прямоугольного треугольника, если известны другой катет и два угла.

Если построить прямоугольный треугольник, гипотенуза которого соединяет наблюдательный пункт и летящую модель, то можно определить высоту полета, которая представляет собой вертикальный катет этого треугольника (рис. 9.12). Однако при

этом необходимо знать длину горизонтального катета, называемого в триангуляции базой, и величину угла, под которым наблюдается модель в момент ее нахождения на максимальной высоте. Длину базы легко измерить, пользуясь рулеткой. Для измерения углов можно сделать угломер, в принципе подобный теодолиту (рис. 9.13). Такой угломер снабжается визирным устройством,

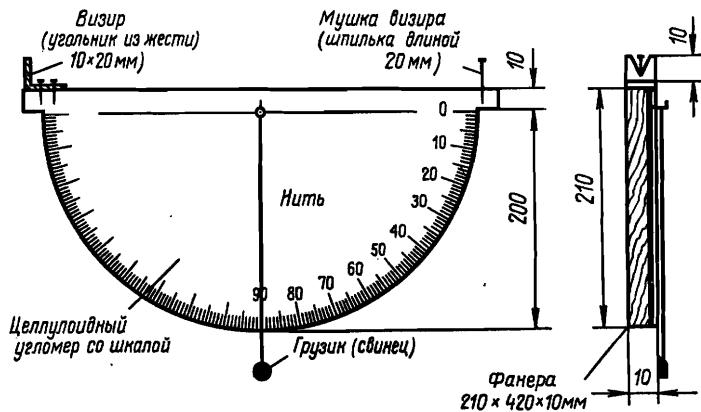


Рис. 9.13. Теодолит, изготовленный из обычного транспортира.

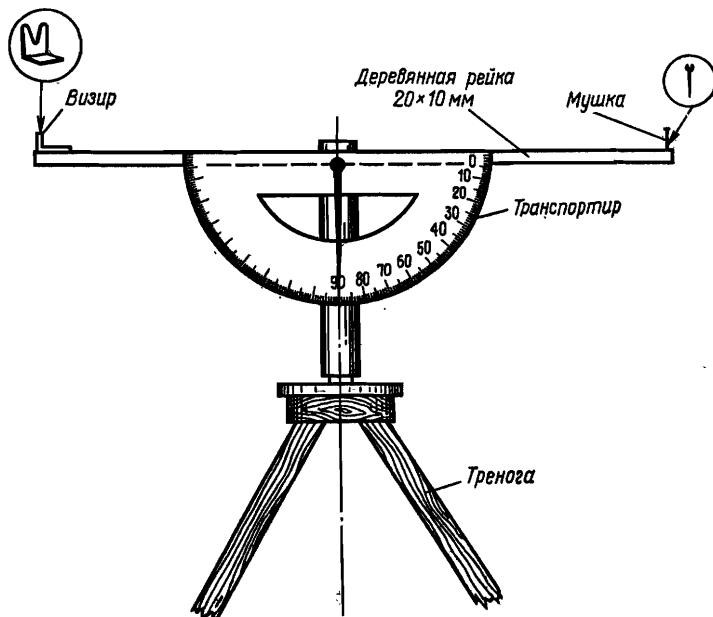


Рис. 9.14. Теодолит с визирным устройством.

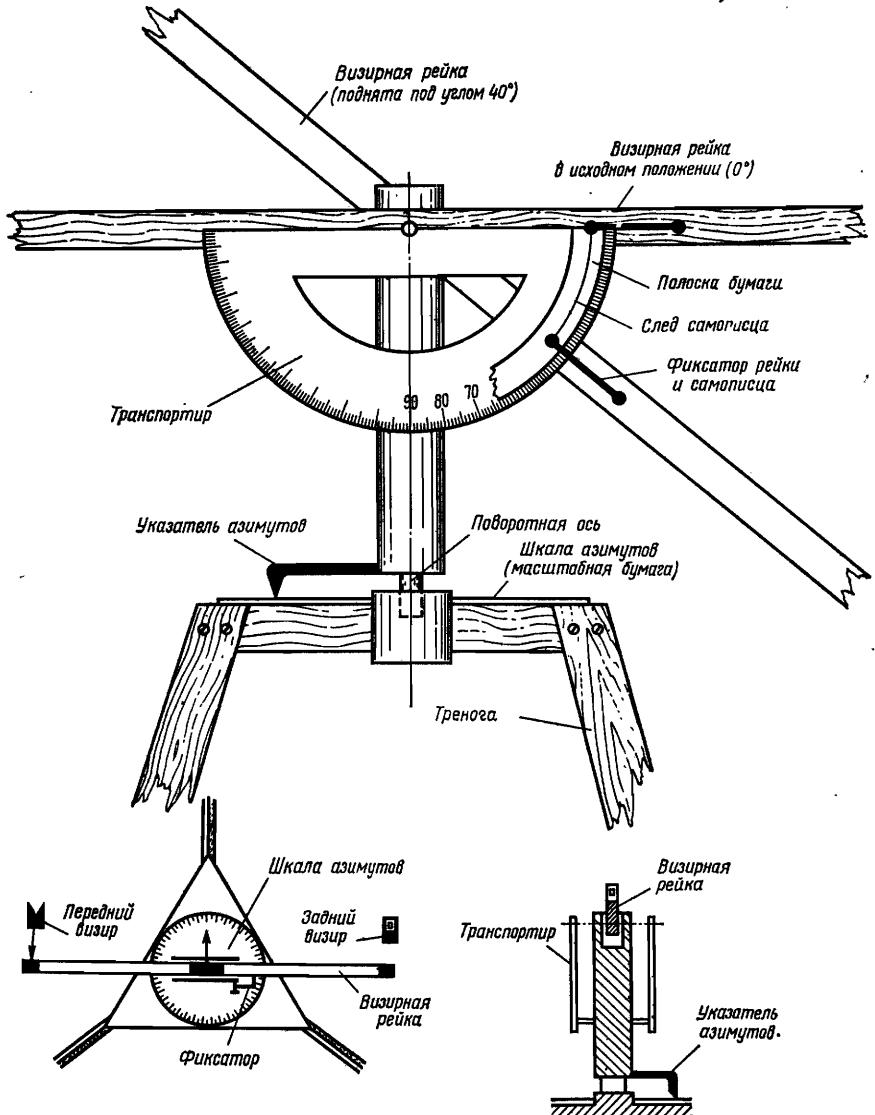


Рис. 9.15. Усовершенствованный самодельный теодолит.

позволяющим следить за моделью. Измерение проводится путем непрерывного отслеживания модели визирным устройством с фиксацией положения визира в момент, когда модель достигает максимальной высоты полета. После этого по шкале угломера можно определить угловое положение модели относительно плоскости горизонта.

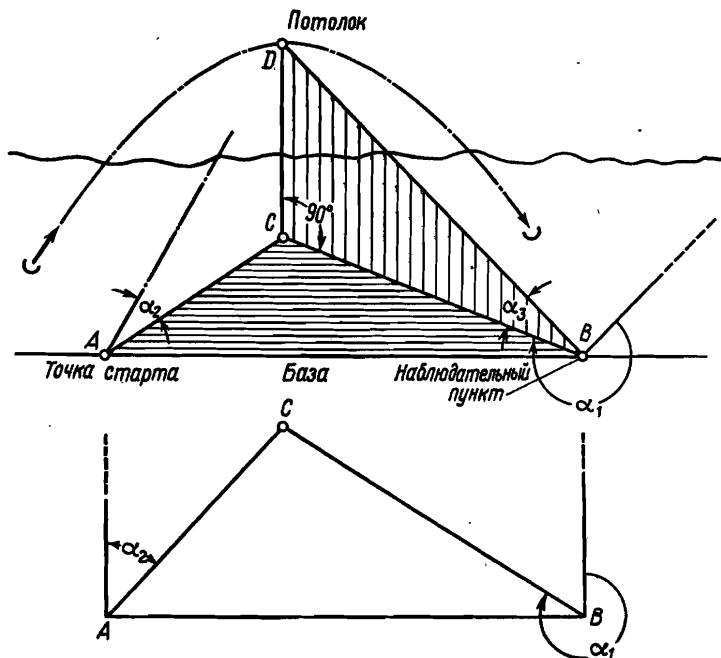


Рис. 9.16. Геометрическая схема точного определения высоты полета модели ракеты.

Более точное и сложное устройство представляет собой любительский теодолит, схематично показанный на рис. 9.14 и 9.15.

Простейшие расчеты высоты можно провести, вычерчивая прямоугольный треугольник в выбранном масштабе и измеряя полученный при этом вертикальный катет. Однако более эффективную возможность дают тригонометрические методы, из которых имеем $h = b \operatorname{tg} \alpha$. При помощи логарифмической линейки результат получается мгновенно.

Однако описанный метод измерения высоты полета страдает некоторой неопределенностью и неточностью. В нем предполагается, что модель находится точно над местом старта. Однако так практически никогда не бывает, о чем мы уже знаем из рассмотренного выше анализа траектории полета. Поэтому результаты измерений, полученные описанным методом, считаются сугубо ориентировочными.

На рис. 9.16 представлены условия, которым должен удовлетворять более точный и надежный метод измерения высоты полета модели. Из наблюдательного пункта B два наблюдателя проводят измерения: первый измеряет угол α_1 , а второй — угол α_3 . С наблюдательного пункта A измеряется угол α_2 . После этого

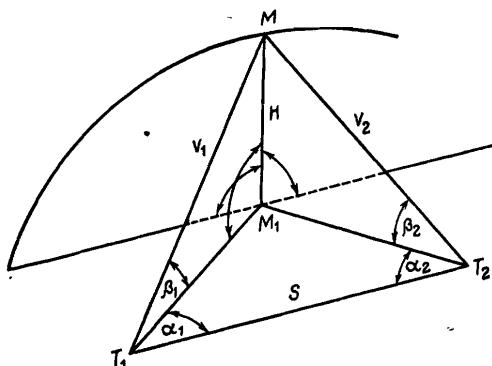


Рис. 9.17. Пример определения максимальной высоты полета.

для определения высоты полета строятся треугольники ABC и BCD . Для измерения углов в вертикальной плоскости используется теодолит, а углы в плоскости горизонта измеряются буссолью с визирным устройством. На соревнованиях такие измерения проводятся с помощью визирных труб или теодолитов промышленного изготовления.

Для иллюстрации последовательности действий по определению с помощью теодолитов высоты полета модели рассмотрим конкретный пример. Отметим попутно, что эти расчеты по своей сложности не выходят за пределы программ средней школы; такими же расчетами можно определить высоту полета воздушного змея или привязного воздушного шара (рис. 9.17).

После выбора места для старта моделей выбираются, с соблюдением условий техники безопасности, места установки двух теодолитов. Расстояние между ними T_1-T_2 должно быть измерено точно, поскольку оно является измерительной базой S . Затем теодолиты тщательно выставляются в горизонтальной плоскости и устанавливаются на одной линии (рис. 9.18).

Непосредственно перед стартом модели визирные трубы теодолитов должны быть направлены на пусковую установку. Это облегчает слежение за моделью в полете до максимальной высоты, так как для отслеживания модели нужно лишь поворачивать визирную трубу в вертикальной плоскости без какого-либо разворота ее в плоскости горизонта. После отслеживания ракеты до максимальной высоты полета показания теодолитов считываются и записываются.

Максимальная высота полета H вычисляется по уравнению

$$H = \frac{T_1 T_2 \sin \alpha_2 \operatorname{tg} \beta_1}{\sin [180^\circ - (\alpha_1 + \alpha_2)]}$$

для измерительного пункта T_1 и аналогичному уравнению

$$H = \frac{T_1 T_2 \sin \alpha_1 \operatorname{tg} \beta_2}{\sin [180^\circ - (\alpha_1 + \alpha_2)]}$$

для измерительного пункта T_2 .

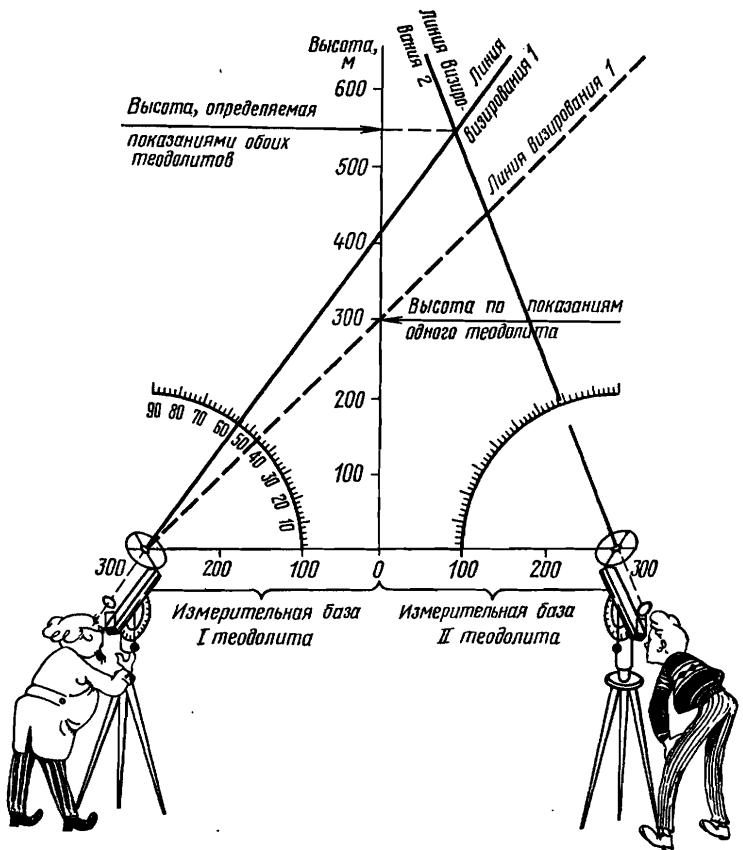


Рис. 9.18. Схема и номограмма для определения максимальной высоты полета модели по данным двух теодолитов.

Если результаты расчетов высоты полета по данным измерений двух наблюдательных пунктов существенно различаются, то окончательный результат следует признать неточным.

В табл. 9.6 приводятся результаты измерений и расчетов, выполненных с помощью школьных логарифмических таблиц.

Порядок расчета следующий. Сначала в таблицу вписывают измеренные величины (строки I, III, V, VII, XII и XIV), а затем проводятся вычисления в соответствии с указанными уравнениями.

Как видно из табл. 9.6, высота полета по данным одного наблюдательного пункта составляет 99,99 м, а другого — 97,30 м (строки XI и XVII). В строке XIX приведена величина отношения этих двух значений.

Таблица 9.6

Порядковый номер действия	Действие	Результат
I	$T_1 T_2, \text{ м}$	110
II	$\lg T_1 T_2$	2,04139
III	$\alpha_2, {}^\circ$	43°10'
IV	$\lg \sin \alpha_2$	9,8351
V	$\beta_1, {}^\circ$	52°32'3
VI	$\lg \operatorname{tg} \beta_1$	10,11554
VII	$180^\circ - (\alpha_1 + \alpha_2), {}^\circ$	88°25'3
VIII	$\lg \sin [180^\circ - (\alpha_1 + \alpha_2)]$	9,9998
IX	(II) + (IV) + (VI)	1,98206
X	$\lg H = (IX) - (VIII)$	1,98223
XI	H, м	99,99
XII	α_1	48°15'
XIII	$\lg \sin \alpha_1$	9,87272
XIV	$\beta_2, {}^\circ$	49°52'
XV	$\lg \operatorname{tg} \beta_2$	10,07412
XVI	(II) + (XIII) + (XV)	1,98828
XVII	$\lg H = (XVI) - (VIII)$	1,98811
XVIII	H, м	97,30
XIX	(XI):(XVIII) $\rightarrow 1 \pm 0,1$	0,985

Для облегчения сложения за моделью необходимо покрасить ее в контрастные цвета. На рис. 9.19 показано несколько типовых способов раскраски. Наилучшими сочетаниями цветов считаются желтый — черный, белый — красный, белый — черный, красный — желтый.

8. Использование фото- и киноаппаратов

Фото- или киноаппарат также может служить измерительным прибором, если использовать его для ночной съемки траектории полета модели ракеты, имеющей освещение. Камера устанавливается с включенным затвором на треноге и ориентируется на точку старта A (рис. 9.16). Модель, оборудованная устройством светового сигнала, размещенным в головной части, вычерчивает на темном фоне неба светлую линию траектории, которая фиксируется на светочувствительной пленке. Для успешного фотографи-

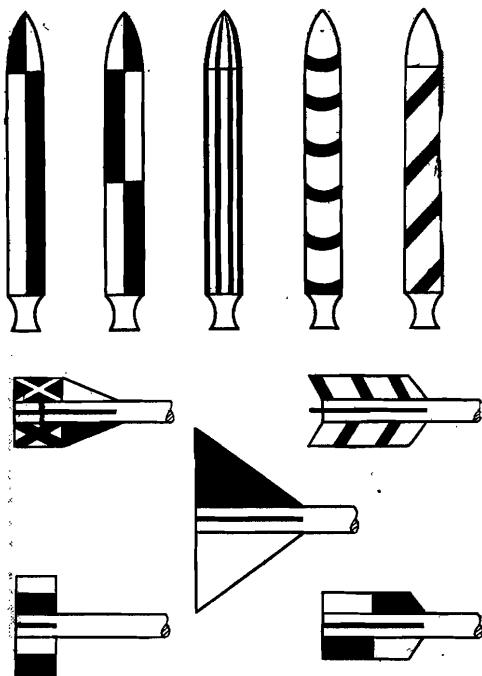


Рис. 9.19. Примеры раскраски моделей ракет, облегчающей наблюдение за ними.

фирования траектории нужно установить аппарат на таком расстоянии от места старта, чтобы в поле зрения объектива оказалась вся траектория полета. При этом нужно полностью открывать диафрагму объектива и использовать высокочувствительную пленку (не менее 24—27 DIN). Автоматическая работа аппарата обеспечивает безопасность съемки траектории полета модели.

Фотографировать траекторию полета при дневном освещении最难, поскольку для этого требуются трассеры, оставляющие хорошо видный след на фоне неба. Кроме того, при этом целесообразно использовать темно-красный или оранжевый фильтр с целью сделать небесный фон более темным и получить на нем наиболее контрастный белый дымовой след модели ракеты.

Трудность удержания летящей модели в видоискателе аппарата можно проиллюстрировать следующим примером. Если модель имеет массу 800 г, то за промежуток времени 0,2 с, на который нормально реагирует человеческий глаз, она проделает путь

$$a = \frac{m t^2}{2} = \frac{800 \cdot 0,04}{2} = 16 \text{ м.}$$

Можно успешно фотографировать модель, стартующую с пусковой установки, однако в этом случае съемка должна проводиться с расстояния 25—50 м при использовании телескопического объектива



Рис. 9.20. Старт модели на I Всепольских соревнованиях ракетомоделистов в 1962 г.

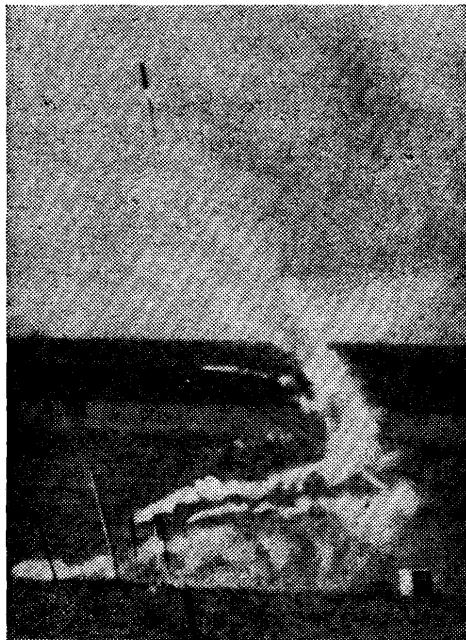


Рис. 9.21. Взрыв ракеты с «пленочным» топливным зарядом.



Рис. 9.22. Дымовой след за большой моделью ракеты.

или с меньшего расстояния при условии синхронизации работы аппарата с запуском модели. При сихронной работе затвор аппарата освобождается в момент схода модели с направляющей пусковой установки. Такую синхронизацию легче всего обеспечить путем использования скользящего контакта на направляющей. При сходе модели с направляющей контур управления моделью замыкается и затвор по сигналу электромагнитного реле освобождается.

Время выдержки зависит, конечно, от освещенности, скорости движения модели и расстояния. Обычно оно находится в диапазоне от 1/250 до 1/1000 с.

На рис. 9.20 показан старт модели ракеты на соревнованиях в 1962 г. в Кракове. Время экспозиции составляло 1/500 с. Дымовой след за моделью на фоне темно-зеленой травы хорошо заметен. На рис. 9.21 зафиксирован момент взрыва модели с топливным зарядом из кинопленки. Время экспозиции 1/250 с. На

рис. 9.22 приведен фотоснимок дымового следа более крупной модели (выдержка 1/500 с).

Весьма эффективен при измерениях любительский киноаппарат с шириной пленки 8—16 мм и электрическим или пружинным приводом. По киноленте, на которой зафиксирован полет ракеты, можно провести очень подробный анализ. Так, если известна скорость съемки (например, 16 или 32 кадр/с), то можно определить время горения топлива¹, время нахождения ракеты в определенных точках траектории и т. д. Аппарат должен быть установлен на треноге с шаровым шарниром, обеспечивающим свободный поворот аппарата в вертикальной и горизонтальной плоскостях.

¹ Например, зная, что скорость съемки составляет 64 кадр/с, можно легко определить время горения, деля число кадров, на которых виден дымовой след работающего двигателя, на скорость съемки. Например, если дымовой след горения топлива виден на 48 кадрах, то время работы двигателя составляет 48 кадр/64 кадр/с=3/4 с.

Глава X

ОБЗОР КОНСТРУКЦИЙ МОДЕЛЕЙ

1. Модели ракет

Ниже рассказывается о наиболее удачных моделях ракет, которые выделяются как оригинальностью и совершенством конструкции, так и своими летными характеристиками. Обзор охватывает основные классы ракетно-космического моделизма. Поскольку рисунок всегда дает больше информации, чем самое хорошее описание, было решено в тексте ограничиться рассказом о наиболее существенных особенностях для данной категории моделей. Приведены описания и чертежи моделей ракет, ракетопланов и моделей-копий (масштабных моделей).

Модели ракет используют главным образом в соревнованиях на продолжительность и высоту полета, а также подъема в воздух стандартного полезного груза. Категории и классы моделей различаются не только особенностями схемы и конструкции, но также мощностью, точнее говоря, полным импульсом используемых двигателей.

Учебная модель (рис. 10.1) — конструктор Иренеуш Пуделко (Польша). Простая модель, выполненная целиком из легкодоступных материалов. Корпус склеен из картона или чертежной бумаги, головная часть выточена из липы, стабилизаторы выпилены из фанеры толщиной 1,5 мм. Все детали соединены с помощью клея «викол» или АК-20. Клеевые швы усилены полосками тонкой ткани.

Модель имеет массу 48 г и возвращается на землю с помощью тормозной ленты размерами 50×400 мм, вырезанной из ткани. Окрашена нитрокраской.

Модель ракеты «TW-68» (рис. 10.2) — конструктор Тадеуш Вильчевский (Польша). Характерная особенность этой модели — кольцевой стабилизатор. Конструкция комбинированная: корпус и стабилизатор изготовлены из чертежной бумаги, а головная часть и кронштейны стабилизатора — из бальзы. Масса модели 10 г. В модели используются двигатели польского производства типа «Кривалд» Р-2,5 Н·с/5. Ракета возвращается на землю с помощью парашюта, полиэтиленовый купол которого имеет диаметр 400 мм, а стропы (нить № 40) — длину 500 мм.

Модель ракеты (рис. 10.3) — конструктор Иренеуш Пуделко (Польша). Модель предназначена для соревнований на продолжительность полета. Конструкция полностью выполнена из бальзы. Корпус свернут из бальзового шпона толщиной 0,5 мм. Для возвращения модели используется парашют с диаметром купола 450 мм. На ракете устанавливается чехословацкий двигатель типа «Адаст» с полным импульсом 5 Н·с.

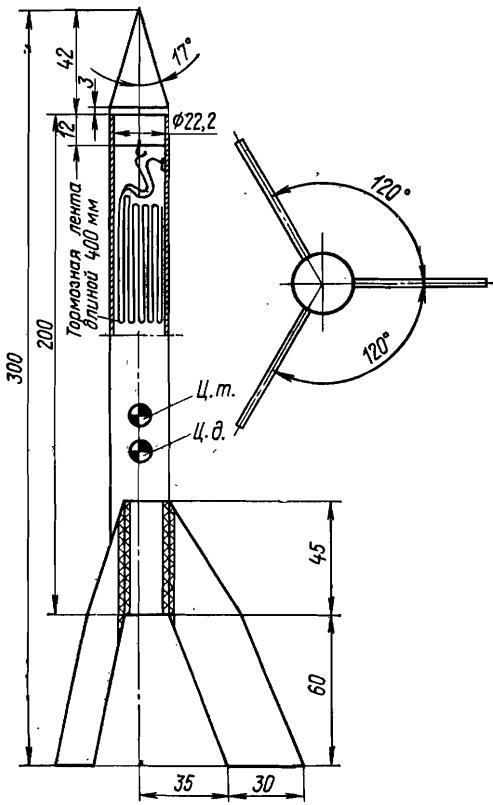


Рис. 10.1. Учебная модель ракеты И. Пуделко (Польша).

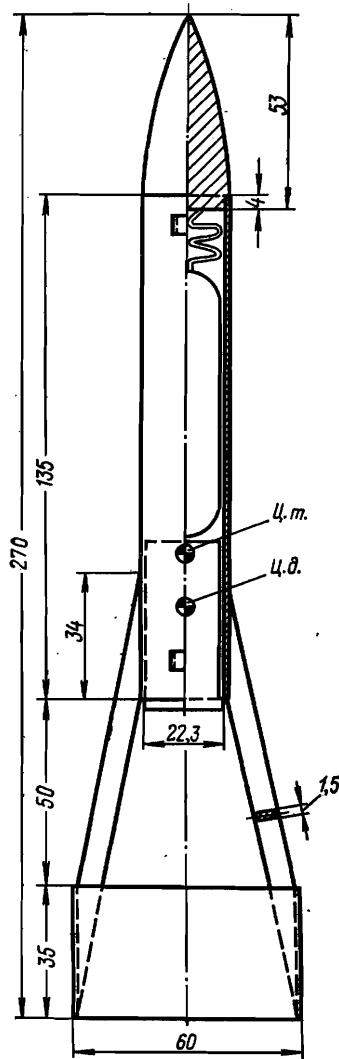


Рис. 10.2. Модель ракеты «TW-68» с кольцевым стабилизатором Т. Вильчевского (Польша).

Модель ракеты «RD-8» (рис. 10.4) — конструктор Ежи Новак (Польша). Модель предназначена для соревнований на продолжительность полета. Целиком изготовлена из бальзы. Для усиления конструкции и повышения ее огнестойкости при работе двигателя корпус изнутри обклеен тонкой металлической фольгой. Головная часть выточена из липы. Стабилизаторы — бальзовы. В качестве клея используется эпоксидная смола. Модель возвращается на парашюте с куполом диаметром 1000—1200 мм и 12—16 стропами длиной 1500 мм. Масса модели без парашюта

Рис. 10.3. Модель ракеты И. Пу-
делко (Польша).

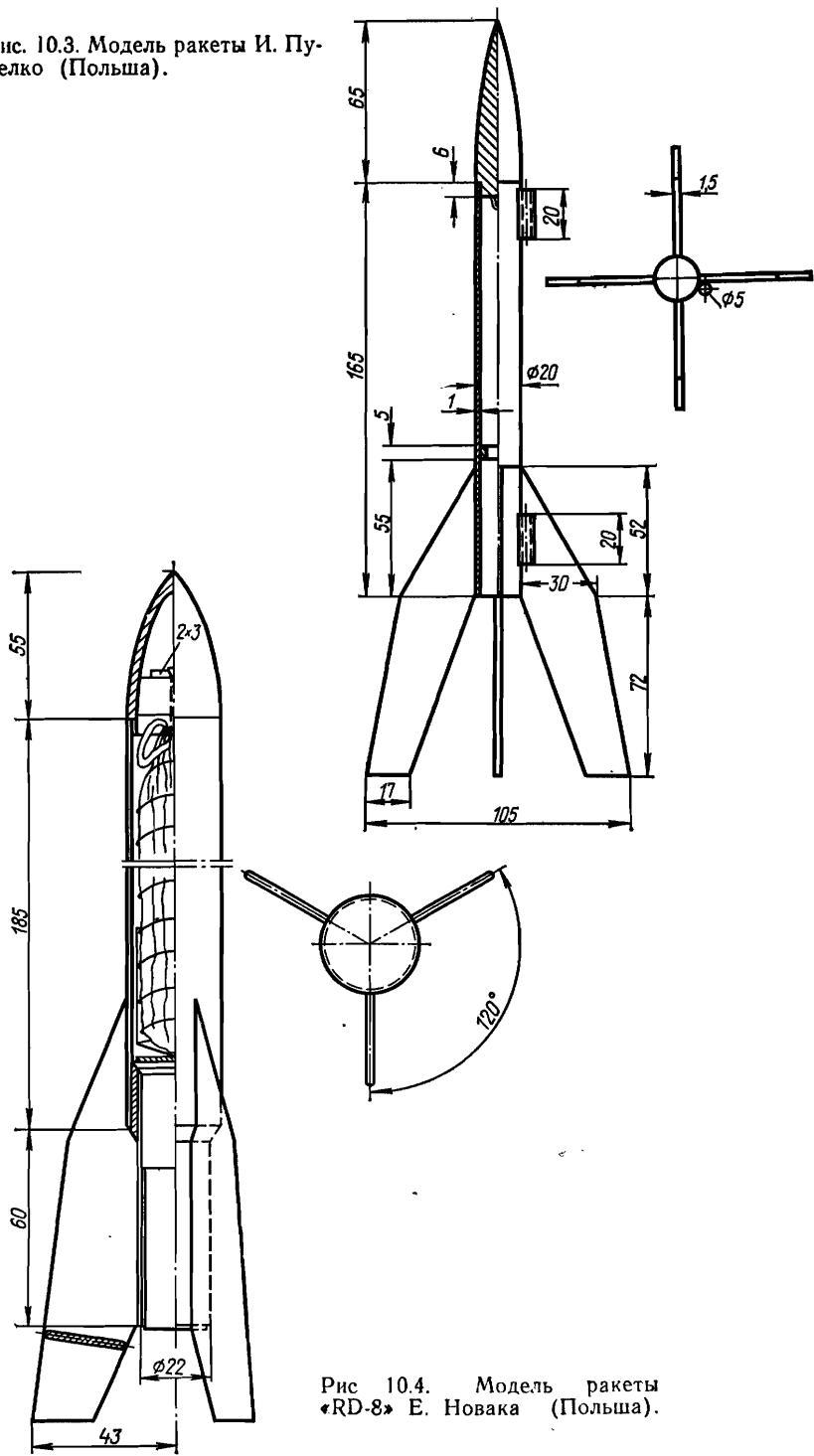


Рис. 10.4. Модель ракеты
«RD-8» Е. Новака (Польша).

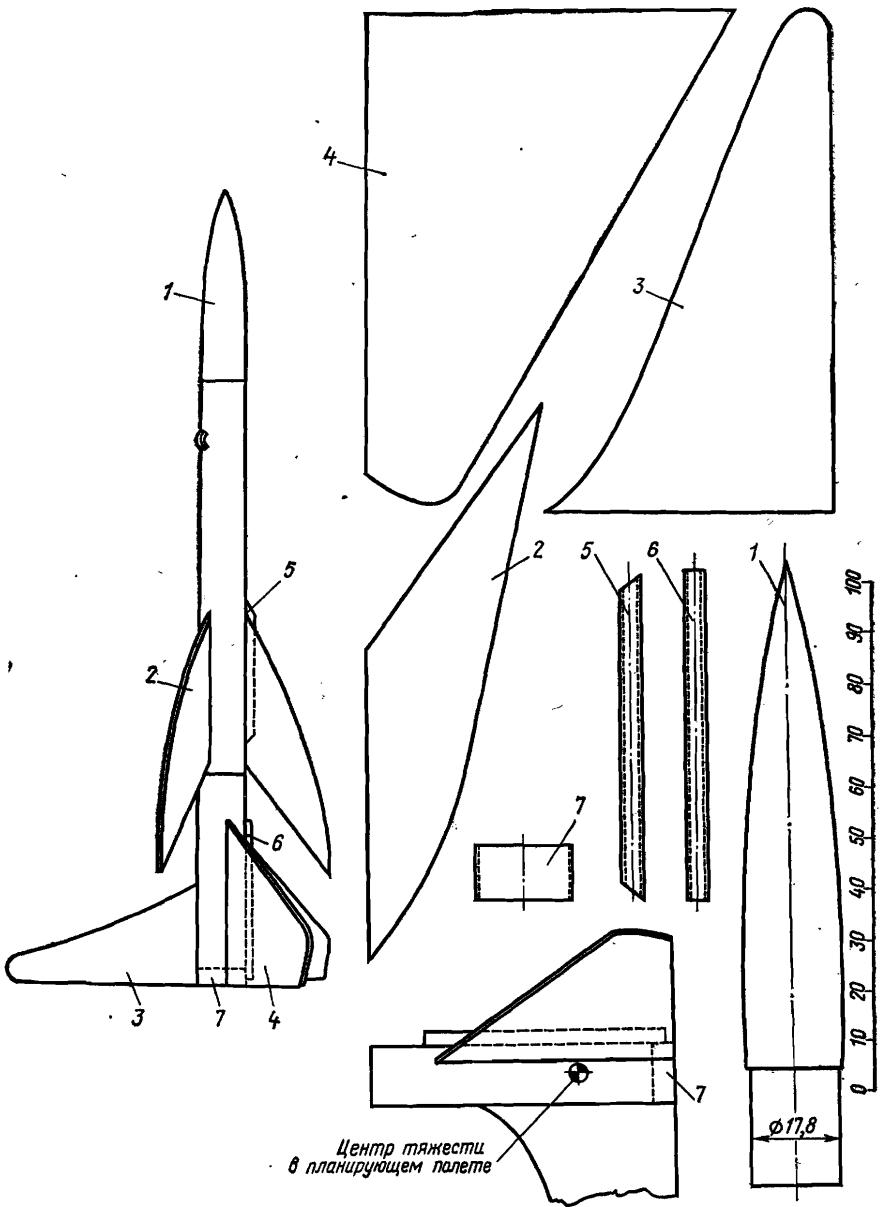


Рис. 10.5. Двухступенчатая модель ракеты «Тигровая акула» В. Эстеса (США).
1 — головной обтекатель; 2 — стабилизаторы второй ступени; 3 — киль; 4 — стабилизаторы первой ступени; 5, 6 — направляющие трубы; 7 — силовое кольцо (сопло).

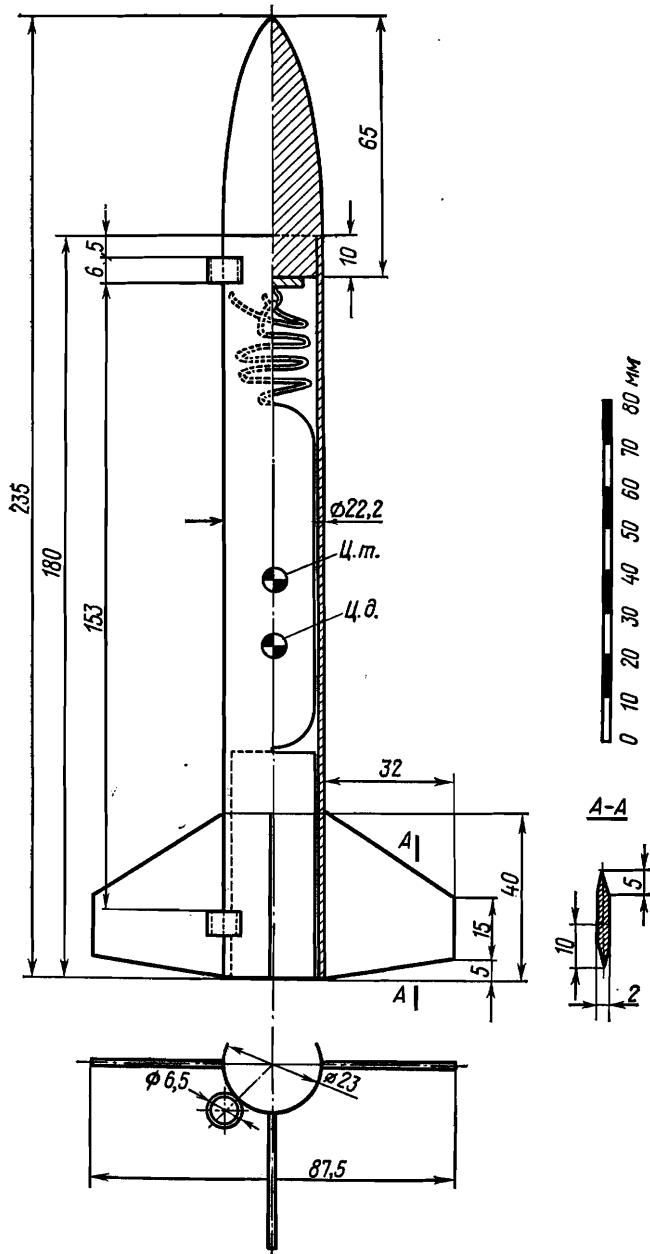


Рис. 10.6. Модель ракеты «Рекордер» А. Стояновича (Югославия).

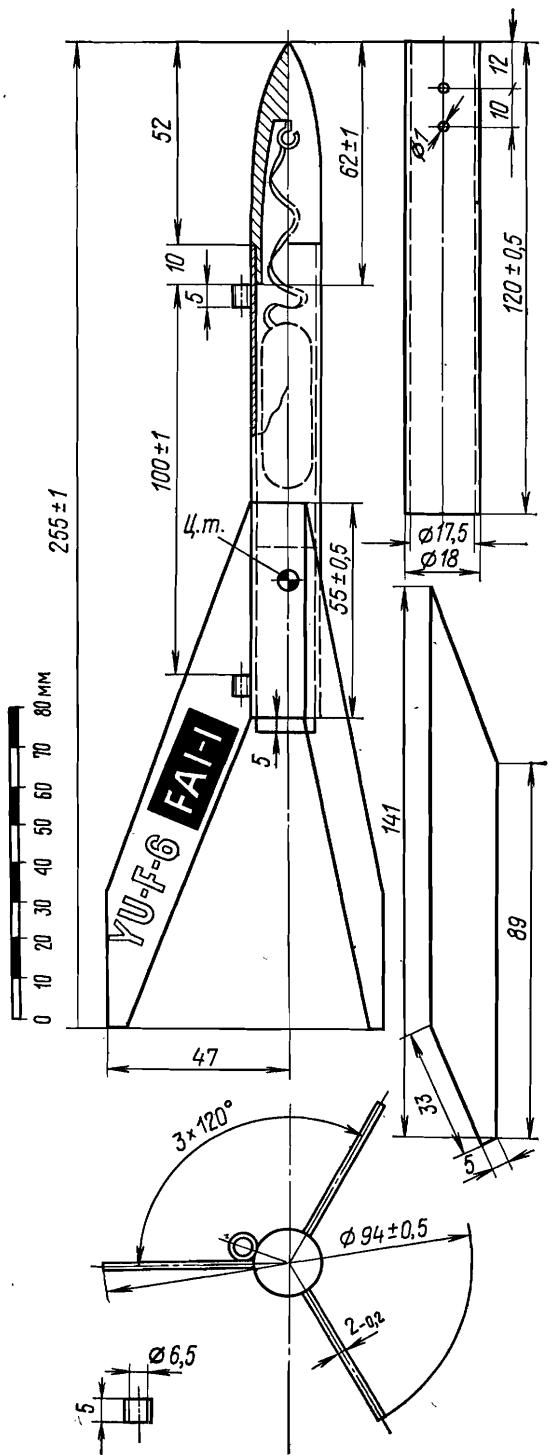


Рис. 10.7. Модель ракеты «YU-F-6» А. Стояновича (Югославия).

Рис. 10.8. Модель ракеты «HIL-3» рекордсменки мира Елены Балло (Румыния).

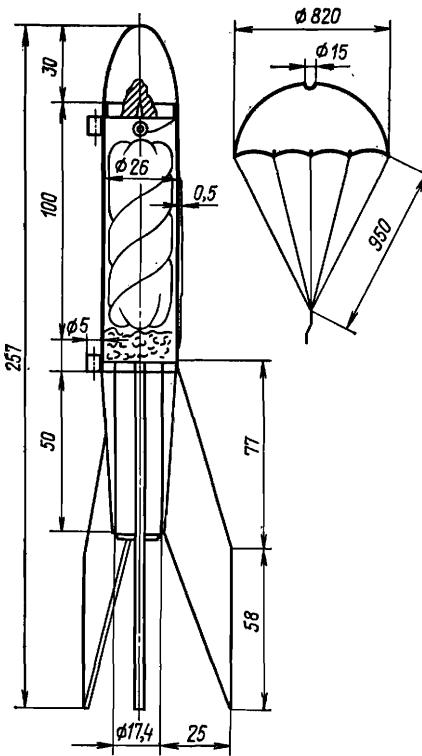
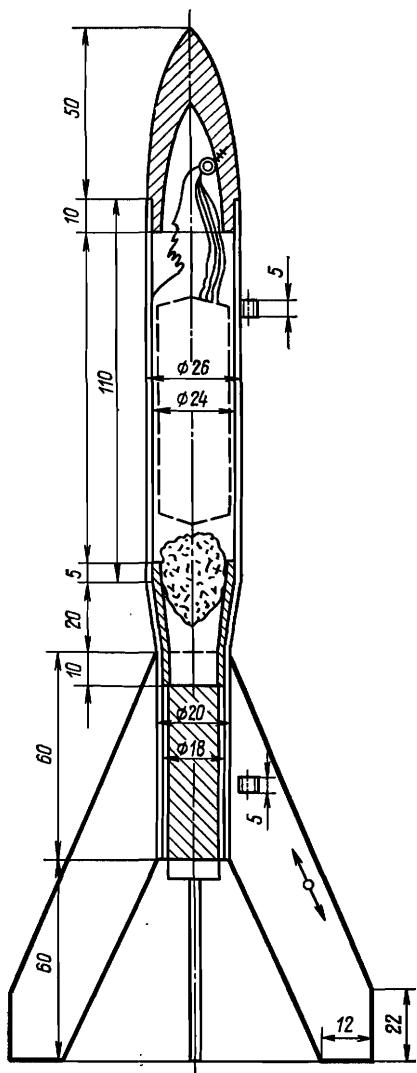


Рис. 10.9. Модель ракеты «Раги-19» И. Раду (Румыния).

и двигателя 17 г. Модель не имеет направляющих колец на корпусе и стартует с пусковой установки, у которой четыре направляющие. Двигатель типа WT-5 Н·с/5 польского производства.

Выступая с этой моделью, Ежи Колодзей в 1970 г. установил новый рекорд Польши по продолжительности полета (625 с).

Модель ракеты «Тигровая акула» (рис. 10.5) конструктора Верна Эстеса (США). Оригинальная модель двухступенчатой схемы. После прекращения работы двигателя первая ступень отделяется и возвращается на землю в планирующем полете без использования парашюта. Стабилизаторы этой ступени асимметричны, вследствие чего центр тяжести ступени смещен относительно ее оси. Поэтому в свободном полете ступень разворачивается большим стабилизатором вниз, а два других стабилизатора меньшей площади выполняют роль крыльев. Вторая ступень (типовой бумажно-бальзовой конструкции) возвращается на парашюте. Двигатели обеих ступеней имеют полный импульс 5 Н·с каждый, причем на первой ступени используется двигатель без замедлителя, а на второй ступени — с пятисекундным замедлением. К корпусу ракеты приклеены две длинные трубки, с помощью которых модель движется по направляющим штырю.

Модель ракеты «Рекордер» (рис. 10.6) — конструктор Александр Стоянович (Югославия). Используя эту модель, конструктор в 1967 г. установил рекорд Югославии по продолжительности полета — 3 мин 29 с. Конструкция бумажно-бальзовая. Двигатель типа «Кривалд» Р-2,5 Н·с/5 польского производства. Модель возвращается на парашюте; масса ее 20 г.

Модель ракеты «YU-F-6» (рис. 10.7) — конструктор Александр Стоянович (Югославия). Была представлена на международные соревнования моделей ракет в 1967 г. в Дубнице (Чехословакия). Конструкция: головная часть из липы, корпус из чертежной бумаги, стабилизаторы из бальзы. Модель снабжена двигателем «Адаст-Супер» чехословацкого производства. Парашют имеет диаметр купола 450 мм. Лучшее время полета на соревнованиях — 6 мин 16 с.

Модель ракеты «HIL-3» (рис. 10.8) — конструктор Елена Балло (Румыния). Используя эту модель, румынская спортсменка установила в 1971 г. на республиканских соревнованиях мировой рекорд продолжительности полета модели с парашютом — 32 мин 47 с. Конструкция бумажно-бальзовая, классической схемы, с тремя стабилизаторами (бальза 2 мм). Модель возвращается на парашюте с куполом диаметром 820 мм, изготовленным из полиэтиленовой пленки толщиной 0,01 мм. К куполу прикрепляют лейкопластырем 8 строп длиной 950 мм каждая. Для стабилизации спуска купол имеет отверстие в центре диаметром 15 мм. На ракете устанавливается двигатель чехословацкого производства типа «Адаст» с полным импульсом 5 Н·с. Достигнутая высота полета 380 м. Масса модели 27 г.

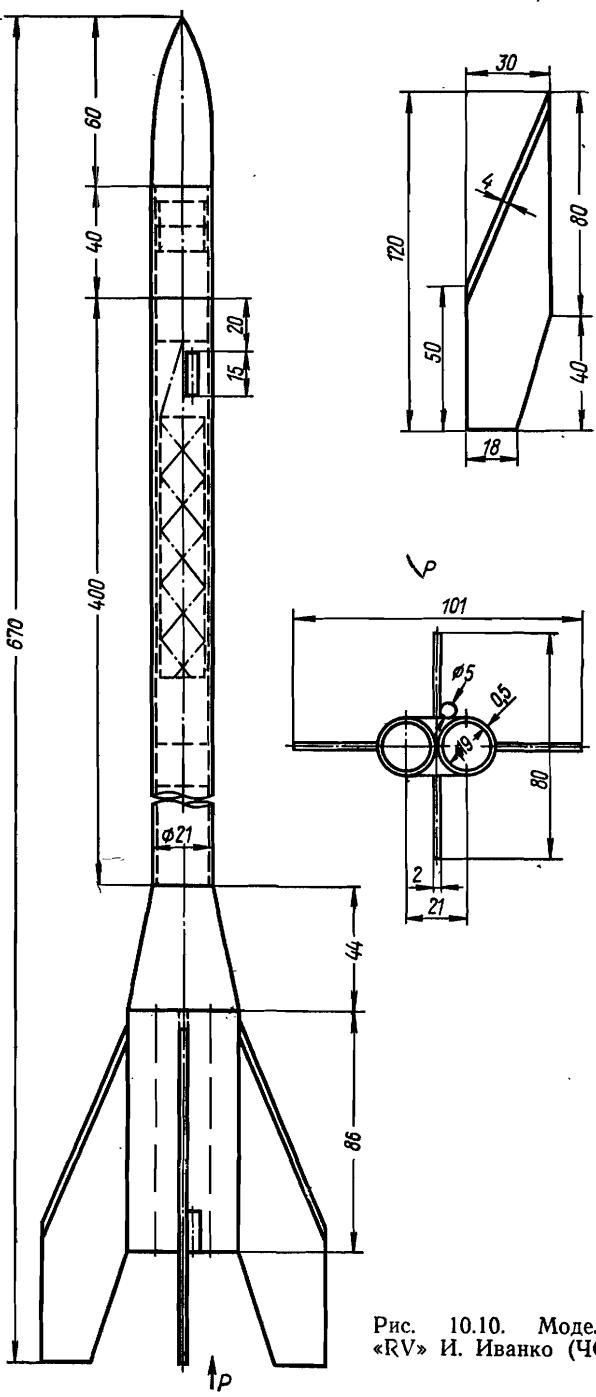


Рис. 10.10. Модель ракеты «RV» И. Иванко (ЧССР).

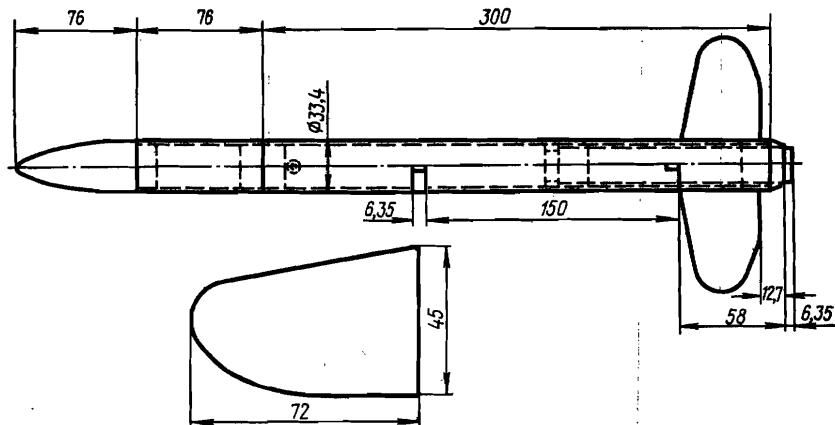


Рис. 10.11. Модель ракеты «В-Н» Д. Болла и Р. Хейдждорна (США).

Модель ракеты «Rigi-19» (рис. 10.9) — конструктор Иоан Раду (Румыния). Модель предназначена для соревнований на продолжительность полета. На международных соревнованиях в Дубнице (ЧССР) в 1970 г. показала результат 17 мин 40 с. Конструкция комбинированная: липа, бальза, чертежная бумага. Корпус, в котором размещается парашют, несколько расширяется в передней части модели. Двигатель «Адаст» с полным импульсом 5 Н·с. Модель имеет четыре стабилизатора и два направляющих кольца, одно из которых укреплено на стабилизаторе, а другое на корпусе. Модель возвращается на парашюте с диаметром купола 400 мм.

Модель ракеты «RV» (рис. 10.10) — конструктор Иван Иванко (Чехословакия). Модель «RV» (рекордная высотная) специально сконструирована для полетов с двойным полезным грузом ФАИ. В соревнованиях 1973 г. эта модель достигла высоты 775 м. На ней в нижней части корпуса установлены два двигателя чехословацкого производства с полным импульсом 20 Н·с каждый. Для возвращения модели используется парашют. Конструкция бумажно-бальзовая. Оба груза размещены под головным обтекателем в цилиндрическом контейнере.

Модель ракеты «B-H» (рис. 10.11) — конструкторы Дуг Болл и Роберт Хейдждорн (США). Одна из первых моделей, которая в полетах со стандартным грузом ФАИ установила в 1969 г. мировой рекорд высоты полета 600 м. Схема классическая с тремя небольшими стабилизаторами и тщательно подобранными удлинением корпуса и формой головной части. Модель целиком изготавливается из бальзы.

Транспортная модель ракеты «Гарпун» (рис. 10.12) — конструктор Мелвилл Бойд (США). Модель предназначена для полетов со стандартным полезным грузом. Особенностью ее является

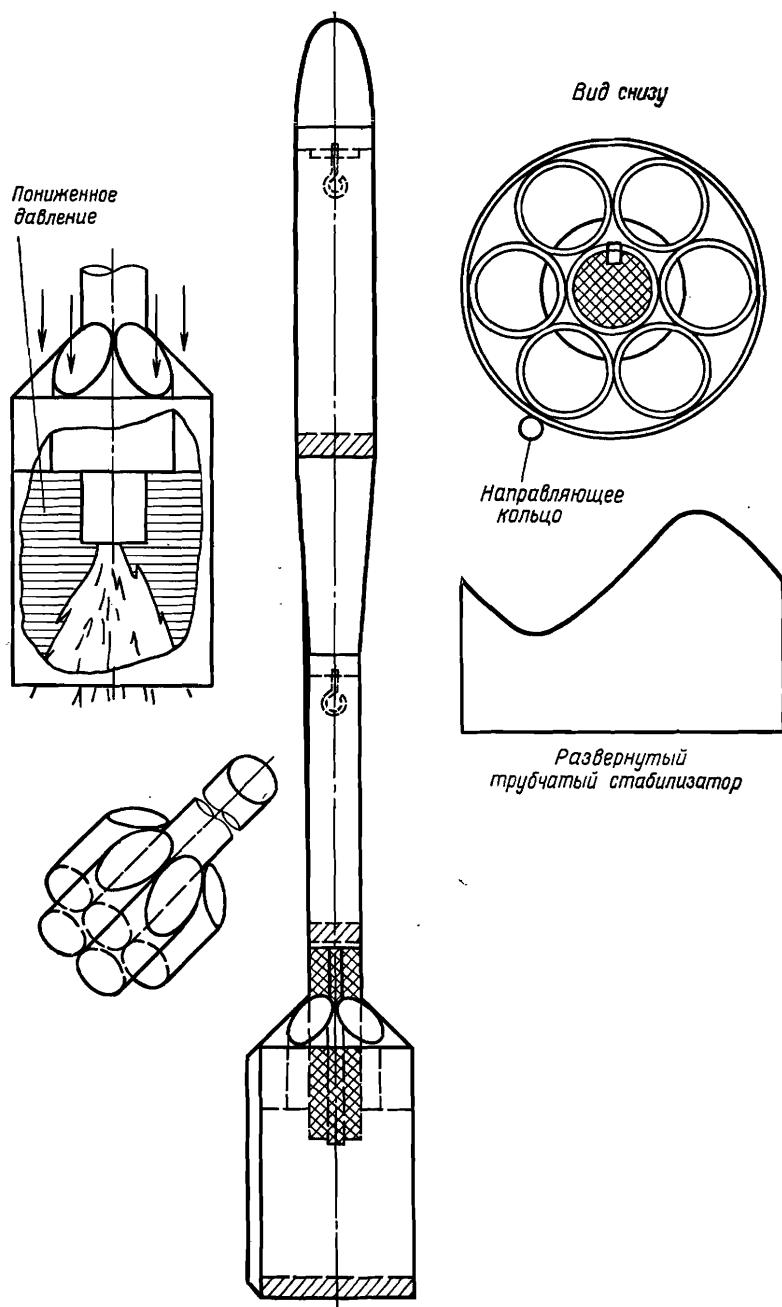


Рис. 10.12. Транспортная модель ракеты с эжектором «Гарпун» М. Бойда (США).

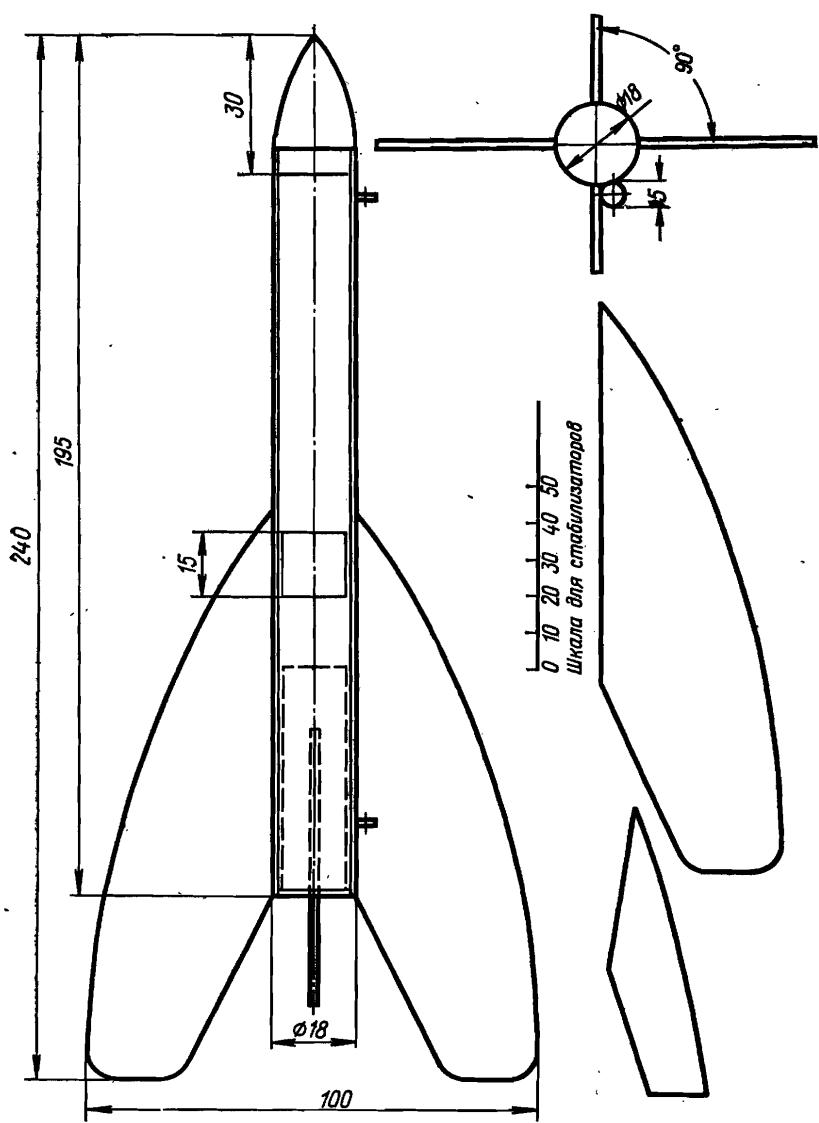


Рис. 10.13. Модель ракеты «Зефир-КК» В. Митропольского (Болгария).

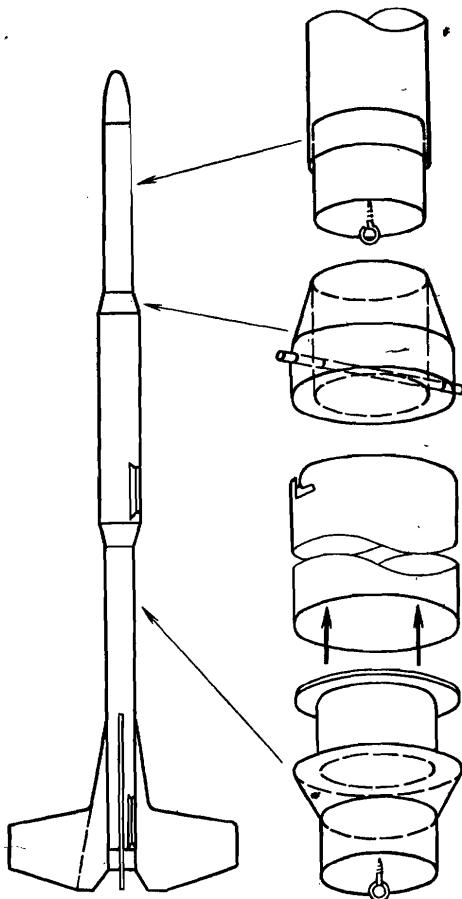


Рис. 10.14. Универсальная исследовательская модель ракеты «Модурок» М. Бойда (США).

кольцевая схема стабилизаторов, дополнительно выполняющих функции эжектора, увеличивающего скорость истечения продуктов сгорания из двигателя. Модель возвращается на парашюте. Ее масса 31 г.

Модель ракеты «Зефир-КК» (рис. 10.13) — конструктор Васил Митропольский (Болгария). Предназначена для соревнований на продолжительность полета. Возвращается с помощью парашюта. Ее особенность — оригинальная схема стабилизаторов: два больших и два малых. Конструкция комбинированная: чертежная бумага и фанера. Головная часть из пласти массы. Модели этого типа стартовали на международных соревнованиях в Дубнице (ЧССР) в 1970 г. Двигатель имеет полный импульс 5 Н·с.

Модель ракеты «Модурок» (рис. 10.14) — конструктор Мелвилл Бойд (США). Исследовательская ракета имеет несколько

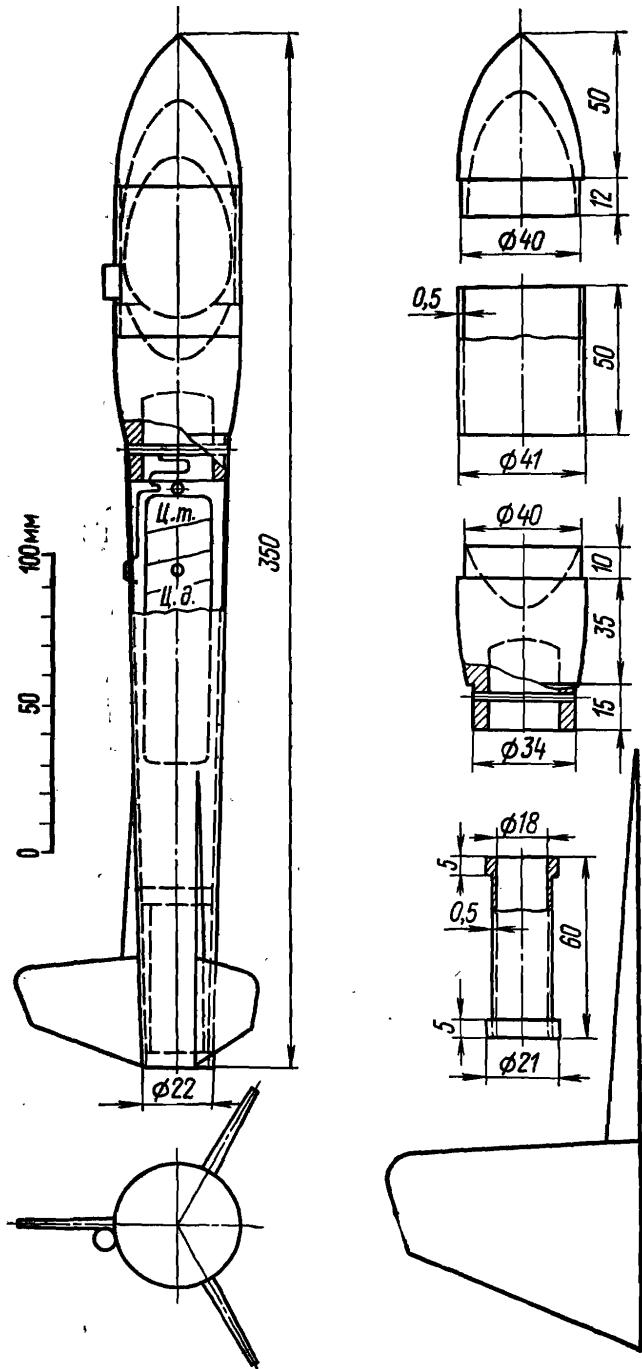


Рис. 10.15. Транспортная модель ракеты (с куриным яйцом в качестве полезной нагрузки).

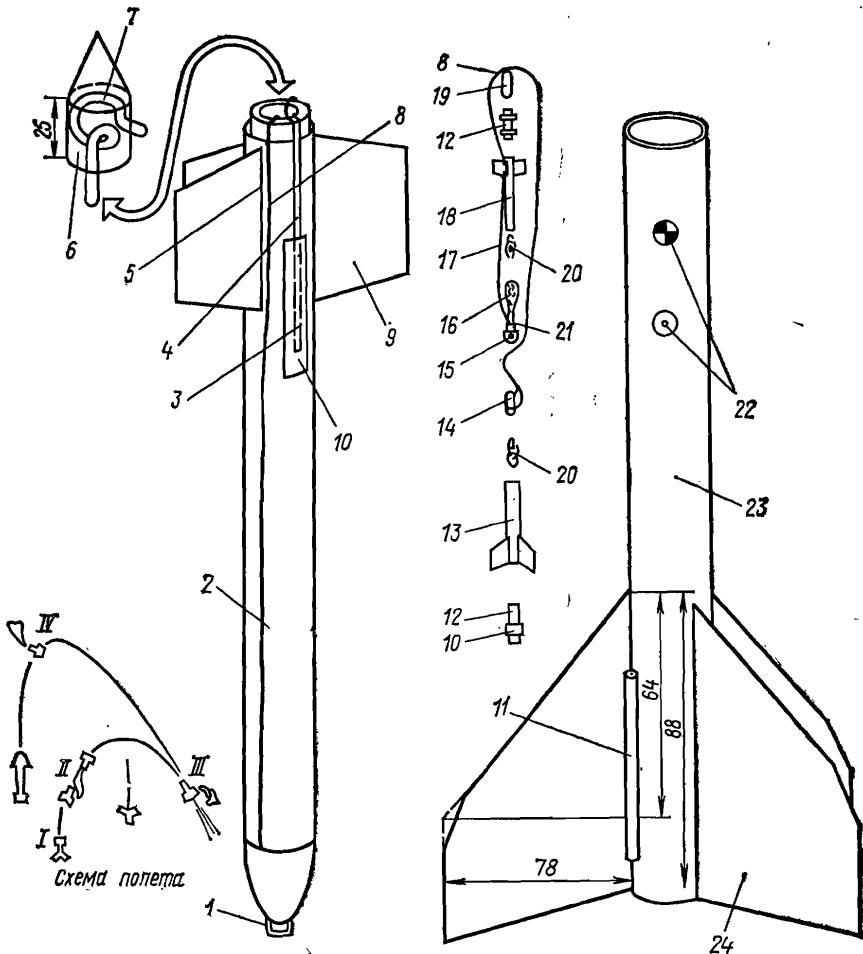


Рис. 10.16. Исследовательская модель ракеты «Бумеранг» RR-8 Т. Милки (США).

1 — головная скоба; 2 — корпус (длина 250 мм); 3 — держатель двигателя; 4 — стропы парашюта; 5 — гильза для крепления стабилизаторов; 6 — воспламенительное устройство (конус и трубка из бумаги); 7 — запальный шнур (длина 90 мм); 8 — нить (длина 500 мм), закрепленная на стабилизаторе и головной части и соединенная с тормозной лентой; 9 — стабилизаторы (3 шт., толщина 2 мм); 10 — лейкопластырь; 11 — направляющая трубка; 12 — корпус двигателя; 13 — ускоритель; 14 — тормозная лента (длина 600 мм); 15 — головная часть со скобой; 16 — парашют (диаметр купола 300 мм); 17 — нить (длина 460 мм) с амортизатором; 18 — возвращаемый ракетный блок; 19 — двигатель; 20 — диафрагма из алюминиевой фольги; 21 — винт с отверстием; 22 — центр давления (смещается на 180 мм по отношению к его положению при испытаниях без второй ступени); 23 — корпус (длина 300 мм); 24 — стабилизаторы (3 шт., бальза, толщина 2 мм).

двигателей и несет полезный груз в специальном контейнере. Используется для демонстрационных целей. Блочная система конструкции позволяет применять различные отсеки и варьировать полную длину модели. Пример рационального применения эле-

ментов промышленного производства: трубок, разъемных соединений и головных частей. Конструкция бумажно-бальзовая, контейнер для полезной нагрузки — из пластмассы. Двигательная установка модели может состоять из одного, двух или трех двигателей. Масса модели с одним двигателем 90 г, с двумя — 130 г. Модель возвращается при помощи парашюта.

Транспортная модель ракеты (рис. 10.15) — чехословацкая конструкция. Предназначена для полетов с ... яйцом. Да-да, с обычным куриным яйцом, которое закладывается в грузовой отсек и в целости и сохранности должно быть возвращено на землю. Соревнования такого рода очень трудны. Модели этого типа используются на соревнованиях в Чехословакии. Конструкция бумажно-бальзовая. Из бальзы изготовлен грузовой контейнер. Модель возвращается на парашюте с куполом диаметром 1000 мм и стропами длиной 1300 мм. Двигатель типа «Адаст» с полным импульсом 5 Н·с. Стартовая масса модели 135 г.

Модель ракеты «Бумеранг» RR-8 (рис. 10.16) — конструктор Том Милки (США). Двухступенчатая ракета, возвращающаяся на место старта. Предназначена для экспериментов. Конструкция бумажно-бальзовая. Элементы конструкции ракеты показаны на рисунке. А вот как выглядит программа полета: 0 с — старт; 6 с — выпуск тормозной ленты возвращаемого блока; 7 с — запуск двигателя возвращаемого блока; 17 с — раскрытие парашюта. Двигатель имеет полный импульс от 2,5 до 5 Н·с.

2. Модели ракетопланов

Ракетные самолёты (называемые также *ракетопланами*) в ракетном моделизме представляют собой попросту крылатые ракеты. Такие модели снабжаются несущими плоскостями, обеспечивающими возвращение на землю после выключения двигателя. Очевидно, что чем лучше спроектирована модель и чем лучше ее аэродинамические характеристики, тем продолжительнее ее полет. Проще всего было бы установить на ракете неподвижные крылья по аналогии с самолетами. Однако такую самолетную схему трудно совместить с условием вертикального старта модели с направляющей. Кроме того, модель при полете с работающим двигателем должна иметь минимальное аэродинамическое сопротивление и достигать максимальной высоты при оптимальной тяге двигателя. В связи с этим поиски конструкторов идут в направлении создания моделей с подвижными крыльями с тем, чтобы при запуске ракеты они были сложены, а разворачивались автоматически при достижении максимальной высоты.

Обычно различают следующие разновидности ракетопланов, возвращаемых с помощью несущих плоскостей: модели с неизменным дельтавидным крылом; модели с крыльями постоянной геометрии по схеме «утка», т. е. со стабилизаторами, размещенными в головной части; модели с изменяемой по программе геомет-

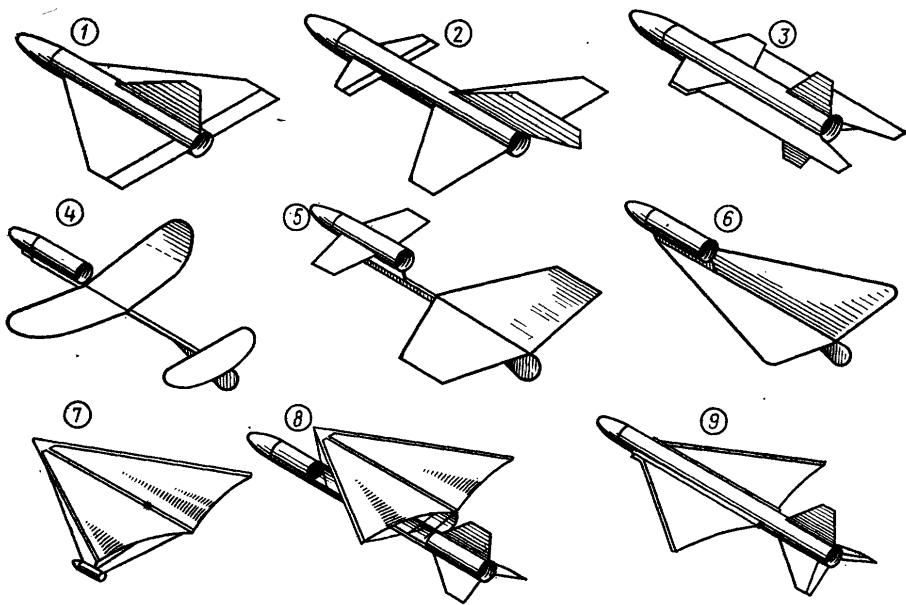


Рис. 10.17. Схемы моделей ракетопланов.

рией крыла; модели самолетной схемы; модели с упругим крылом надувного типа, которое при старте находится в свернутом состоянии, а при достижении максимальной высоты полета раскрывается. Характерные модели этого класса показаны на рис. 10.17, а на рис. 10.18 приведена типовая схема использования упругого крыла. Любая модель ракетоплана должна быть оборудована системой, обеспечивающей безопасное возвращение на землю отработавшего двигателя. Для этой цели обычно используется тормозная лента, реже — парашют.

Исследования упругого крыла типа «рогалло», проведенные ракетомоделистами США, показывают, что такое крыло должно иметь угол в плане 90° — 120° , удлинение 2,2, площадь поверхности 16 — 23 дм^2 , удельную нагрузку на несущую поверхность 8 — 12 Г/дм^2 ($0,08$ — $0,12 \text{ Н/дм}^2$). В качестве материала для изготовления упругого крыла обычно используется тонкая полиэтиленовая пленка.

Модель ракетоплана «Флэт Кэт» (рис. 10.19) — конструктор Гарри Стайн (США). Интересная учебная модель, спроектированная пионером американского космического моделизма. Ракетоплан имеет самолетную схему с установленным снаружи небольшим отсеком, в котором размещаются маршевый двигатель и парашют. При срабатывании вышибного заряда двигательный отсек выталкивается из фюзеляжа и опускается на землю на па-

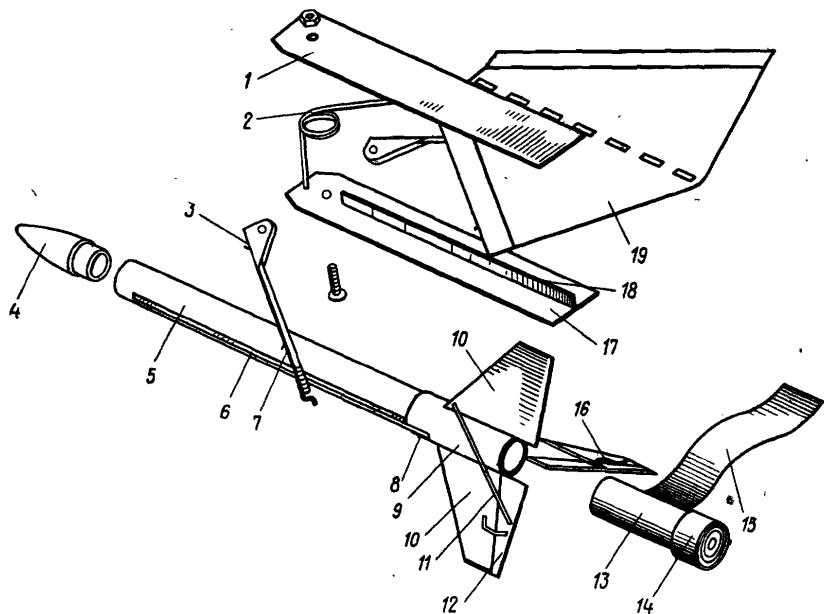


Рис. 10.18. Конструкция модели ракеты, снабженной упругим крылом, разворачивающимся автоматически после сбрасывания двигателя на тормозной ленте.

1 — верхняя пластина футляра крыла; 2 — пружина; 3 — рычаг; 4 — головная часть с балластом; 5 — корпус; 6 — сложенное крыло; 7 — передняя кромка рычага; 8 — направляющая трубка корпуса; 9 — хвостовая часть корпуса; 10 — стабилизатор; 11 — амортизатор; 12 — руль; 13 — двигатель; 14 — уплотнительная манжета; 15 — тормозная лента; 16 — блокировка руля; 17 — нижняя пластина футляра крыла; 18 — ребро; 19 — упругое крыло.

рашюте или тормозной ленте, а модель в это время совершаєт планирующий полет. Ракетоплан целиком изготовлен из бальзы и имеет простую конструкцию. Полный импульс двигателя 2,5 Н·с, время работы замедлителя 2 с.

Модель ракетоплана «Дельта» (рис. 10.20) — конструктор Артур Пачорек (Польша). Модель с дельтавидным крылом неизменной геометрии, выполненный из бальзы. Под крылом предусмотрен небольшой двигательный отсек, в котором находится также тормозная лента. При изготовлении модели такого типа очень важно, чтобы центр тяжести совпадал с положением, указанным на рисунке. Модель в планирующем полете летит с виражом радиусом 25 м.

Модель ракетоплана «Дельта-Катт» (рис. 10.21) — конструктор Гарри Стайн (США). Оригинальная модель, выполненная по схеме «утка», на которой используются разработанные в США ракетные микродвигатели диаметром 13 мм и длиной 57 мм. Модель изготовлена из бальзы. Отсек с двигателем и парашютом размещен на небольшой балке в передней части фюзеляжа, а от-

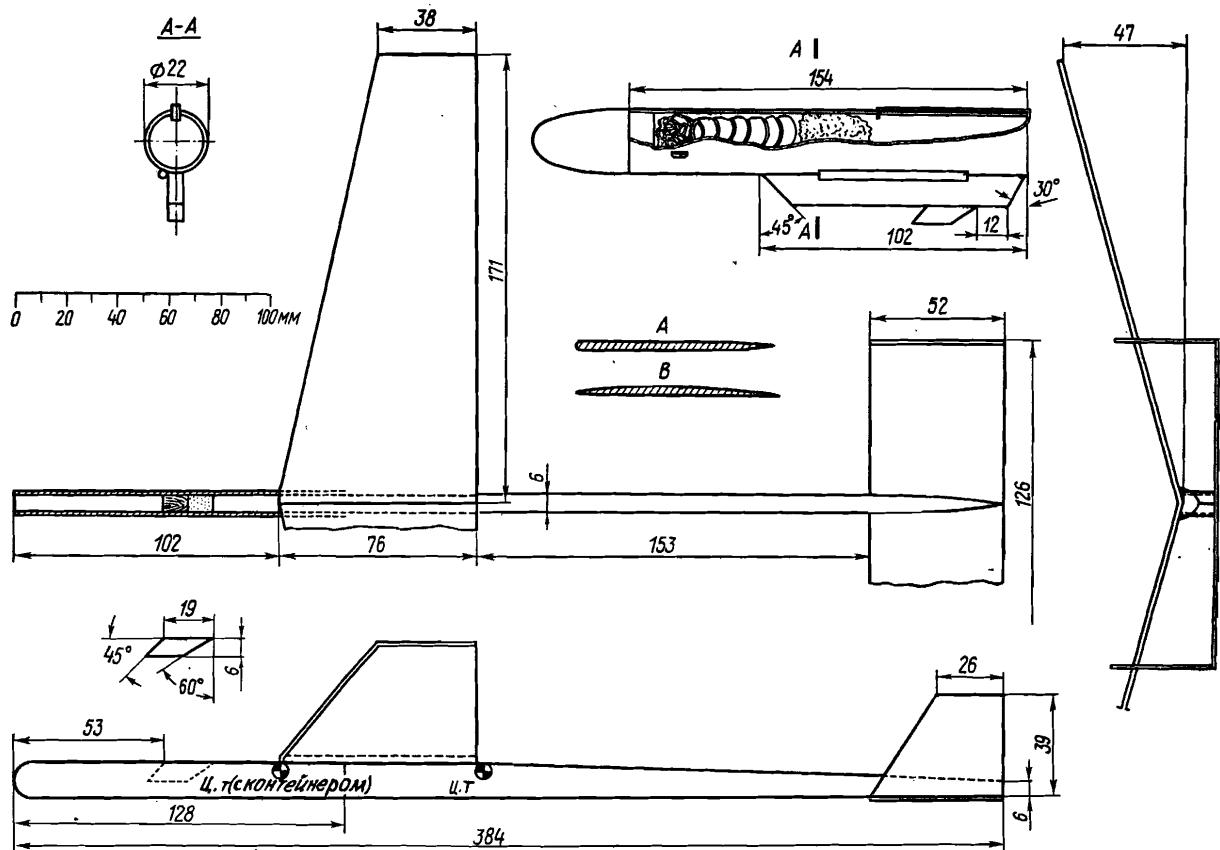


Рис. 10.19. Учебная модель ракетоплана «Флэт Кэт» Г. Стайна (США).
A в B – варианты корневого сечения крыла.

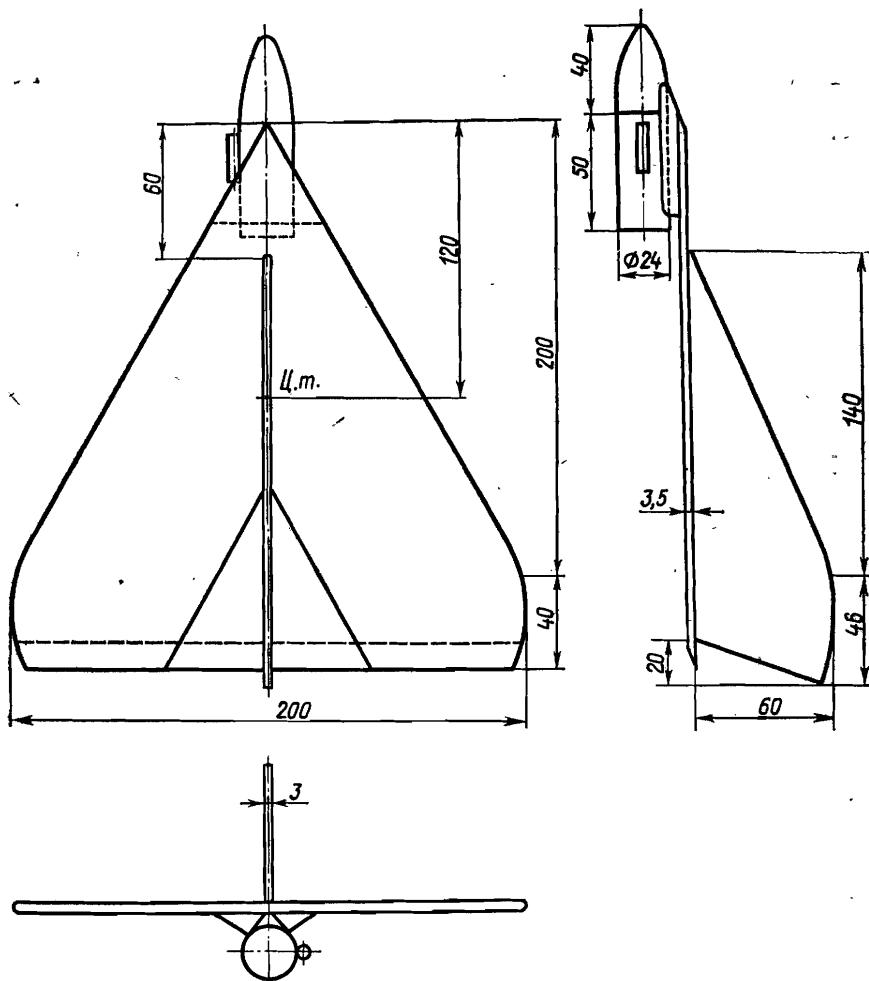


Рис. 10.20. Ракетоплан «Дельта» с дельтovidным крылом А. Пачорека (Польша).

деляется от модели он так же, как в учебной модели этого же конструктора (рис. 10.19).

Модель ракетоплана «SP-341» (рис. 10.22) — конструктор Ю. Ярончик (Польша). Очень удачная спортивная модель, много-кратно испытанная на соревнованиях. Конструкция целиком выполнена из бальзы. Двигатель (типа «Кривалд» с полным импульсом 5 Н·с) возвращается на землю при помощи тормозной ленты.

Модель ракетоплана «IRIN-73» (рис. 10.23) — конструктор Б. Рамбусек (ЧССР). Эта модель в 1973 г. установила мировой

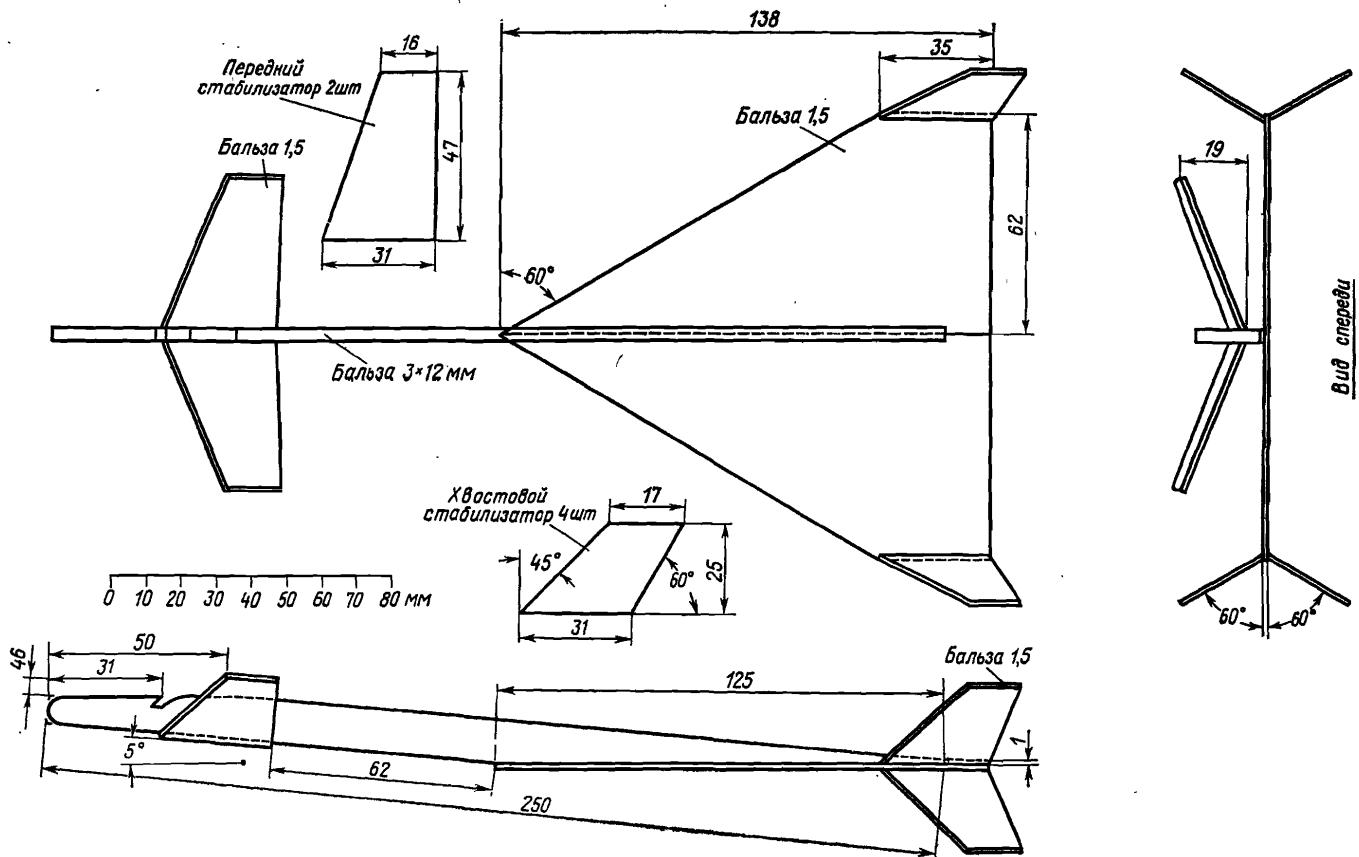


Рис. 10.21. Ракетоплан «Дельта-Кат» Г. Стайна (США).
Схема конструкции в трех проекциях и двигательный отсек.

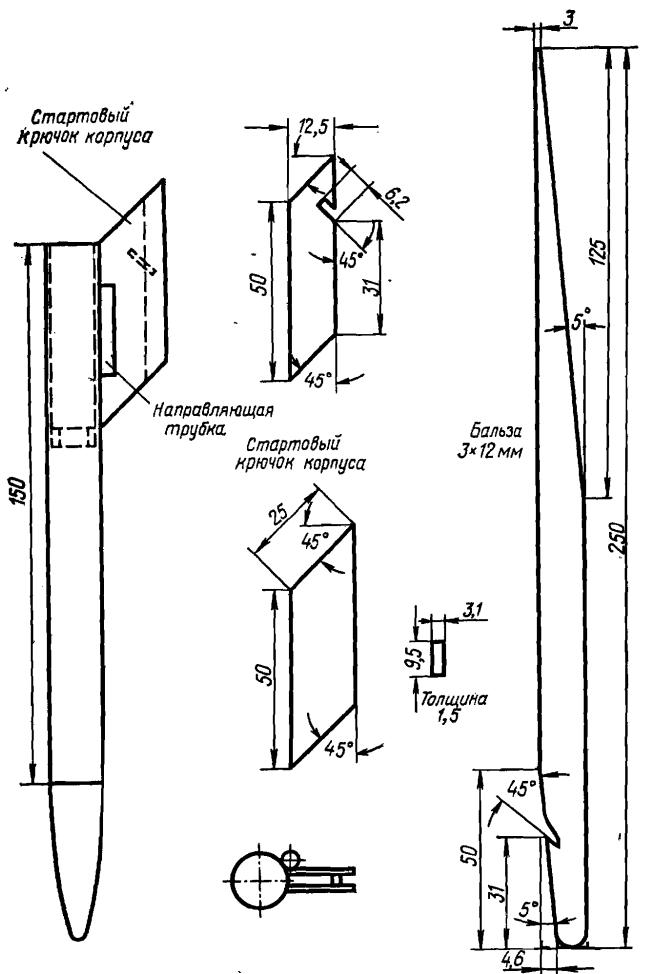


Рис. 10.21
(продолжение).

рекорд продолжительности — 382 с — для класса моделей с двигателем 2,5 Н·с. Конструкция из бальзы. В небольшом двигательном отсеке, устанавливаемом в передней части модели, размещены двигатель и тормозная лента. Масса модели без двигателя 9 г.

Модель ракетоплана «Чибис» (рис. 10.24) — конструктор Н. Куранов (СССР). Модель с изменяемой геометрией крыла. При старте крыло сложено, а после выключения двигателя раскрывается для планирующего полета. Конструкция из бальзы и сосны. Крыло оклеено бумагой. Двигатель имеет полный импульс 10 Н·с, возвращается на землю на тормозной ленте. В удлиненной передней части корпуса располагается полезный груз, полу-

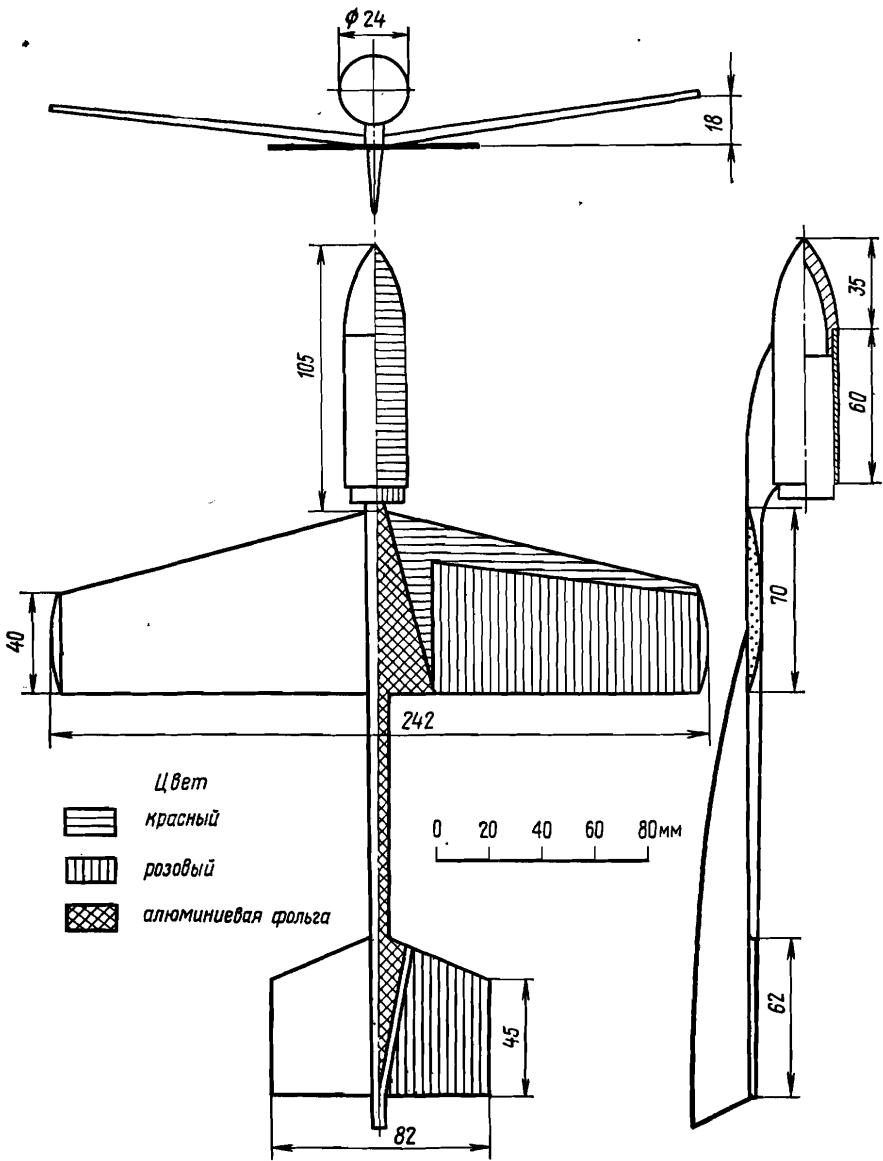


Рис. 10.22. Модель ракетоплана «SP-341» Ю. Ярончика (Польша).

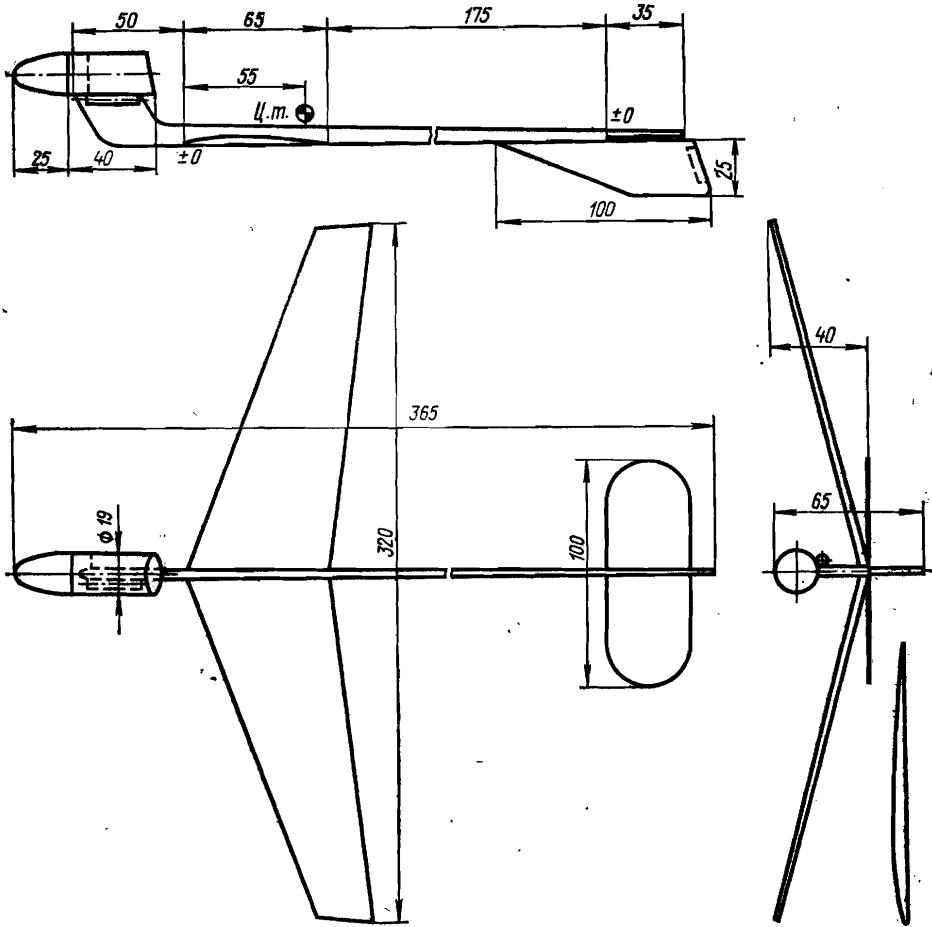


Рис. 10.23. Модель ракетоплана «IRIN-73» Б. Рамбусека (ЧССР).
Справа внизу показан профиль крыла.

жение которого регулируется, что облегчает балансировку модели перед стартом.

Пиропатрон, выбрасывая использованный двигатель из корпуса модели, приводит в действие механизм раскрытия крыла, которое под действием резинового амортизатора принимает необходимое для планирования положение. Эта модель выполнила более ста успешных полетов. Перед каждым запуском необходима регулировка ракетоплана с раскрытыми крыльями и пробные пуски с руки, подобно тому как это делается в случае обычных летающих моделей.

Модель ракетоплана «Стрекоза» с подвижными крыльями (рис. 10.25) — конструктор И. Кротов (СССР). Одна из немногих

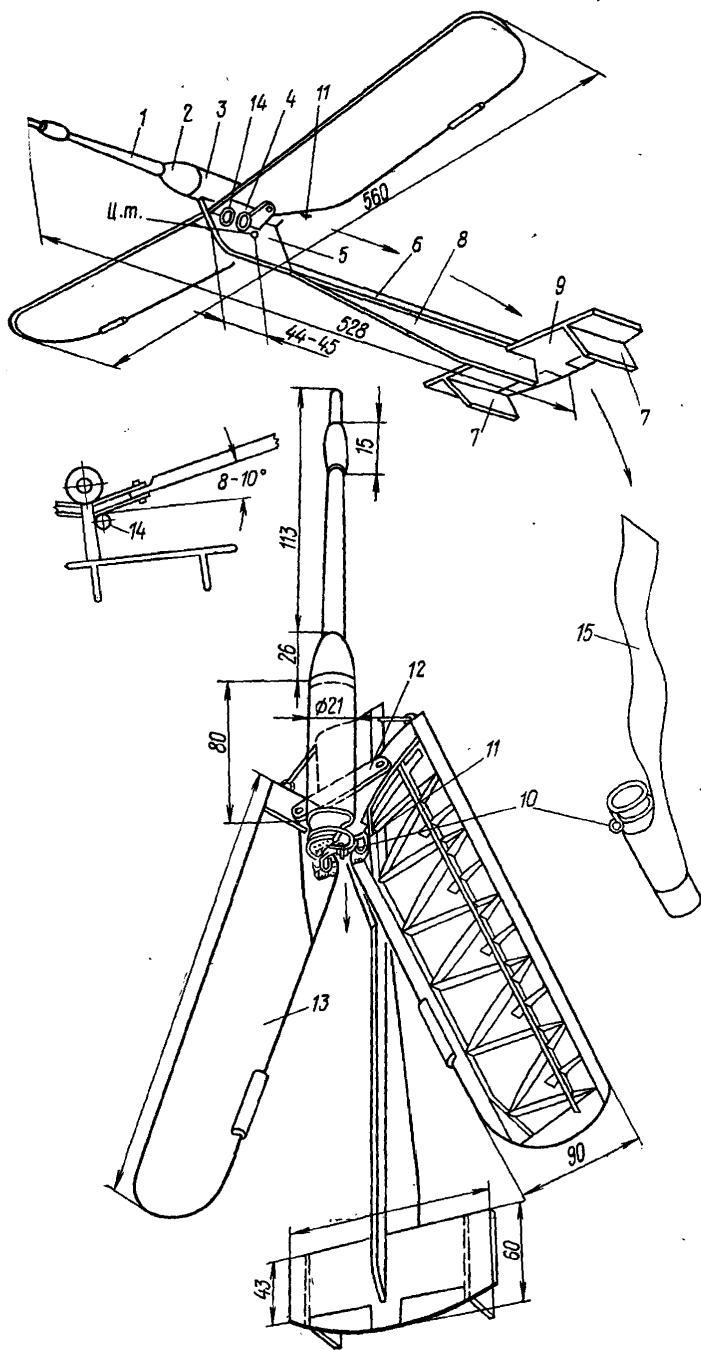


Рис. 10.24.

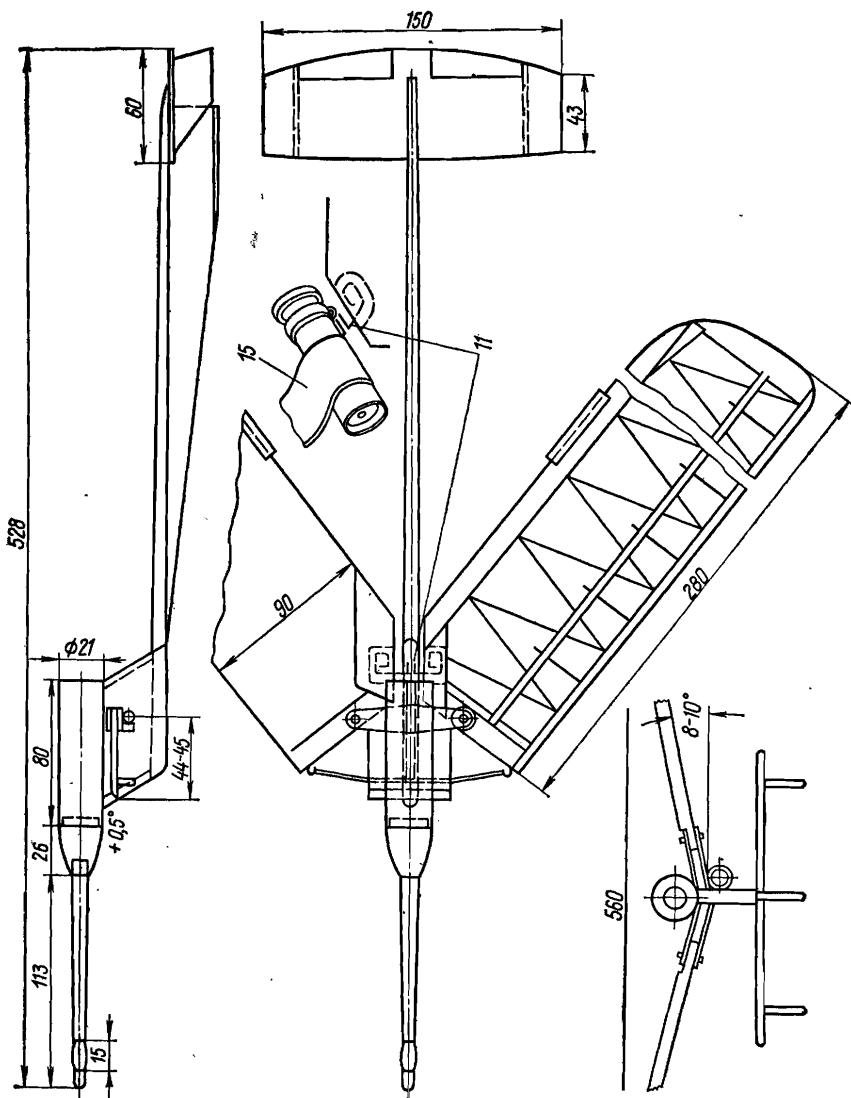


Рис. 10.24. Модель ракетоплана «Чибис» с изменяемой геометрией крыла Н. Куранова (СССР).

1 — носовой штырь (бук); 2 — головная часть (бальза); 3 — двигательный отсек (бумага); 4 — кронштейн крыла (бальза); 5 — кронштейн двигателя (бальза толщиной 1,5 мм); 6 — фюзеляж (сосовая рейка с поперечным сечением 5×8 мм, утоняющаяся в хвостовой части до размеров поперечного сечения 3×4 мм); 7 — кили (бальза); 8 — руль направления (бальза); 9 — стабилизатор (бальза); 10 — фиксатор крыла (проволочная намотка); 11 — стартовые крючки (стальная проволока диаметром 0,5 мм); 12 — узел крепления (дюралюминий толщиной 0,8 мм); 13 — крыло; 14 — направляющие колыца (дюралюминиевые трубы с толщиной стенки 0,8 мм); 15 — тормозная лента.

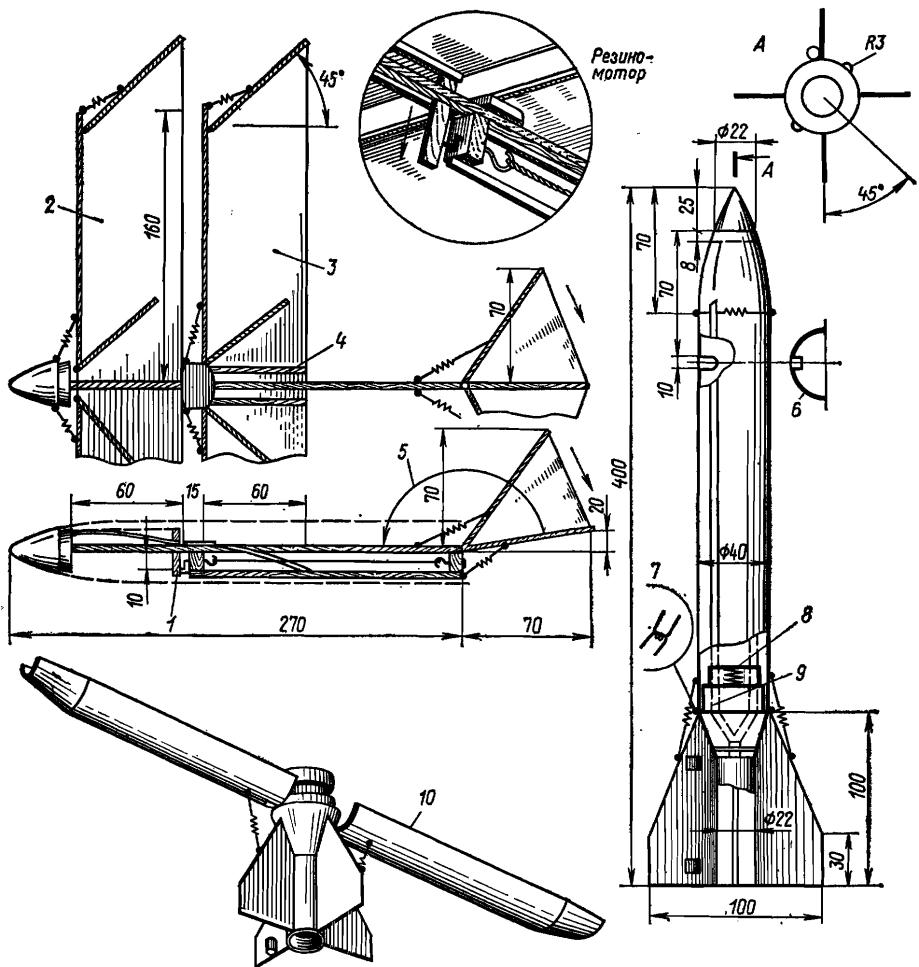


Рис. 10.25. Модель ракетоплана «Стрекоза» контейнерного типа с подвижными крыльями И. Кротова (СССР).

1 — эксцентриковая передача; 2 — подвижные крылья; 3 — неподвижные крылья; 4 — ребра жесткости; 5 — складывание стабилизатора; 6 — два узла крепления эксцентриковой передачи; 7 — шарнир; 8 — пружина; 9 — вышибной заряд; 10 — образование ротора из половинок корпуса.

экспериментальных моделей такого типа. При старте ракетоплан имеет вид обычной одноступенчатой ракеты с увеличенным до 40 мм диаметром корпуса. При достижении максимальной высоты полета корпус разделяется по осевой плоскости, освобождая небольшую модель биплана. Развернутые половинки корпуса с двигателем образуют роторную систему, которая на автогоротации возвращается к земле, а самолет с помощью подвиж-

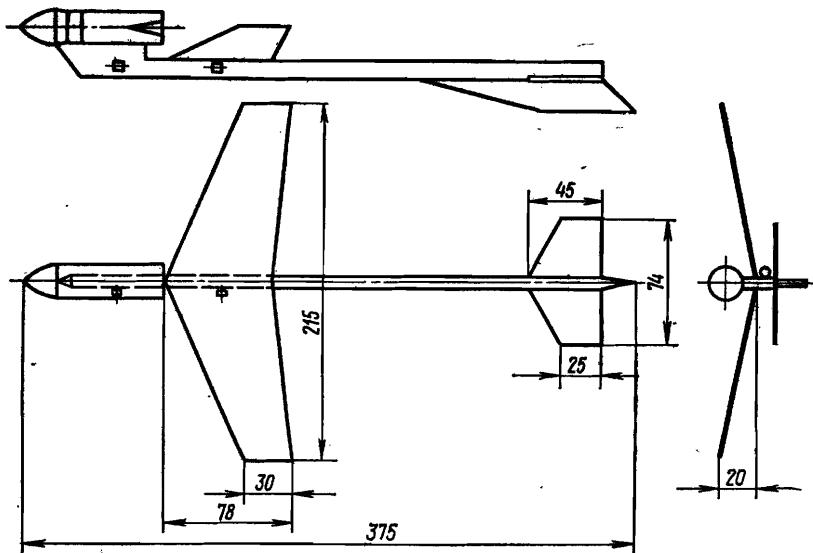


Рис. 10.26. Модель ракетоплана «MX-3» М. Хоря (Румыния).

ной передней пары крыльев может набрать дополнительную высоту. Эта очень интересная, хотя и трудная в изготовлении конструкция. Модель выполнена из бальзы и пенопласта. Крылья обтягиваются калькой или полиэтиленовой пленкой. Для привода небольшого коленчатого вала, соединенного с тыльной стороной двух половин переднего крыла, используется энергия резиномотора. Переднее крыло совершает колебательные движения, создавая достаточную подъемную силу.

Модель ракетоплана «MX-3» (рис. 10.26) — конструктор Михай Хоря (Румыния). Эта модель достигла продолжительности полета 6 мин 23 с, что является мировым рекордом для моделей, снабженных двигателем с полным импульсом 5 Н·с. Схема модели — самолетная с двигательным отсеком, размещенным в передней части фюзеляжа. Крылья из бальзы толщиной 5 мм, стабилизатор и киль из бальзы толщиной 1,5 мм, фюзеляж из твердой бальзы толщиной 5 мм. Двигательный отсек склеен из двух слоев писчей бумаги. Имеются два направляющих кольца, выполненные из алюминиевых трубок. Модель окрашена черной нитрокраской и хорошо видна на фоне неба.

Модель ракетоплана «Геодетика» (рис. 10.27) — конструктор В. Хорват (Югославия). Модель наборной конструкции с крылом неизменной геометрии. Такие крылья обладают высоким сопротивлением на кручение. Вследствие малой удельной нагрузки на крыло ($0,042 \text{ Н}/\text{дм}^2$) модель имеет хорошие летные характеристики. Масса крыла 8—10 г, стабилизатора 1,75 г (площадь стабилизатора $1,06 \text{ дм}^2$), а общая масса модели не превышает 18 г.

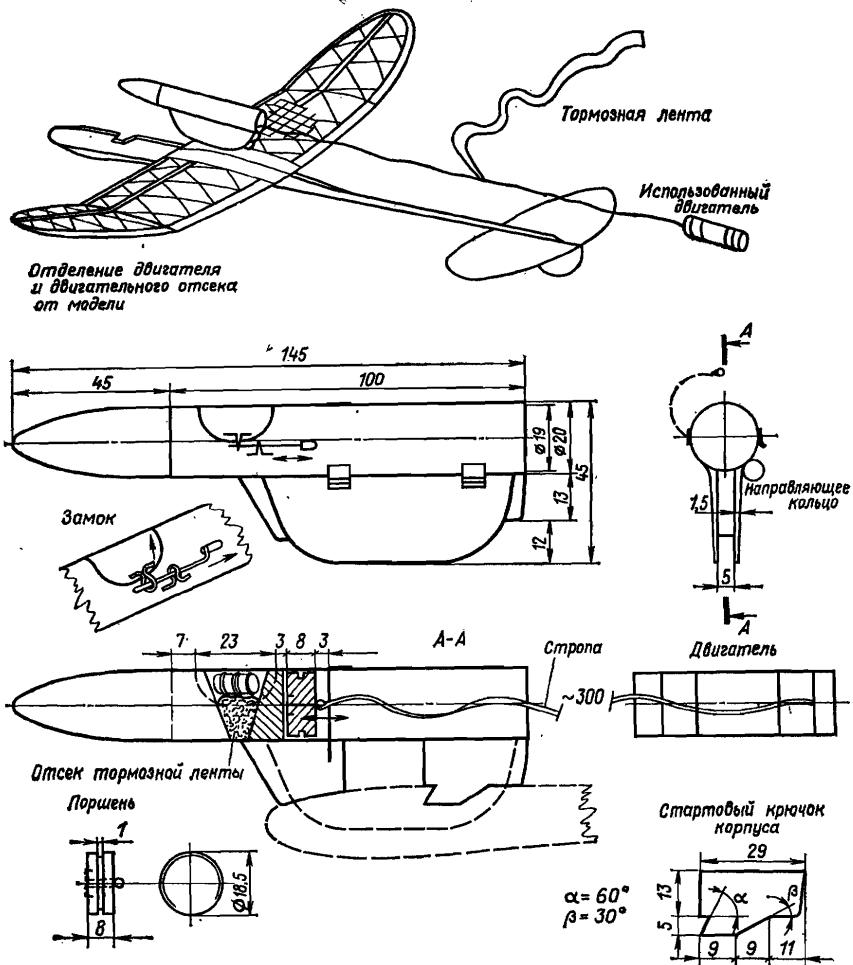
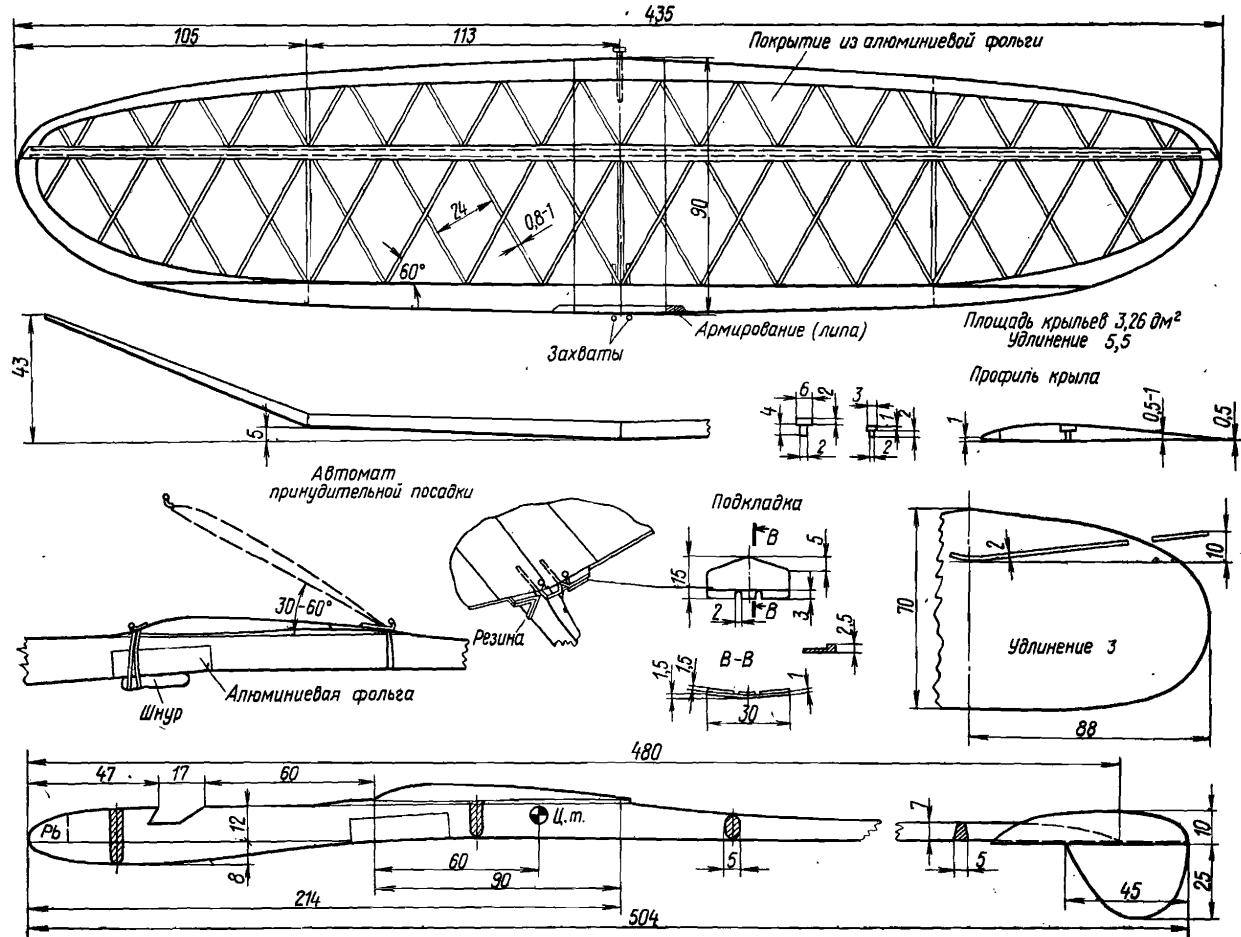


Рис. 10.27. Модель ракетоплана «Геодетика» В. Хорваты (Югославия).

Модель без двигательного отсека при старте с руки летает 30—60 с. Рекорд Югославии 1971 г. для таких моделей составлял 720 с. Модель, сбрасываемая с высоты 80 м, совершает планирующий полет в течение около 180 с. Характеристики могут быть улучшены путем применения маршевого двигателя. Двигатель с тормозной лентой размещен в специальном отсеке, для сбрасывания которого используется механизм такого же типа, как и в модели Г. Стайна. Отметим, что на ракетоплане В. Хорвата предусмотрен автопилот, который эффективно удерживает модель на курсе при действии на нее восходящих теплых потоков и обес-



печивает ее посадку путем поворота на 45° стабилизатора, что осуществляется воспламенительным шнуром, зажигаемым перед стартом.

3. Модели-копии ракет

Конструирование летающих масштабных моделей-копий представляет собой одну из最难的, но и наиболее интересных областей ракетно-космического моделизма. Такая модель должна быть по возможности точной копией настоящей ракеты в определенном масштабе. Среди моделей этого класса встречаются копии зондирующих, метеорологических и геофизических ракет, ракет-носителей искусственных спутников и космических кораблей, а также боевых ракет. Часто конструируются целые ракетные системы, состоящие из стартового стола, транспортера и вспомогательного оборудования. Каждый конструктор модели-копий старается воспроизвести как можно большее число элементов ракеты, сохраняя при этом соответствующие пропорции и окраску настоящей ракеты. Модели-копии тщательно оцениваются специалистами, и даже небольшие отклонения по отношению к оригиналу приводят к потере ценных очков. Учитывая интерес юных конструкторов к ракетам-носителям, названия которых часто появляются в газетах и журналах, ниже даются описания и схемы моделей-копий наиболее популярных из них. Следует отметить, что схемы эти выполнены с достаточной точностью на основании данных соответствующих опытно-конструкторских бюро, а модели, изготовленные по этим схемам, испытаны на различных, в том числе международных, соревнованиях.

Из исследовательских ракет особой популярностью среди юных конструкторов Польши пользуются польские метеорологические ракеты серии «Метеор».

Модель-копия ракеты «Метеор-1» (Польша). Одноступенчатая метеорологическая ракета «Метеор-1» состоит из двух блоков. Модель изготовлена из чертежной бумаги, бальзы и буковой фанеры. Возвращается на землю с помощью тормозной ленты или парашюта. Стартовая масса модели 25—30 г. Полный импульс двигателя 2,5—5 Н·с. В зависимости от размеров двигателя в корпус устанавливается втулка соответствующего диаметра. В полости, образуемой носовым конусом и коническим переходником, находится парашют, который освобождается при достижении максимальной высоты подъема. Схема раскраски модели ракеты «Метеор-1» показана на рис. 10.28.

Хотя на схеме указаны размеры модели, полезно также знать технические данные самой ракеты: полная длина 2,55 м; диаметр 0,12 м; стартовая масса 32,5 кг; масса полезной нагрузки 0,8 кг; максимальная скорость 3950 км/ч; максимальная высота подъема 37 км; время полета на максимальную высоту 80 с.

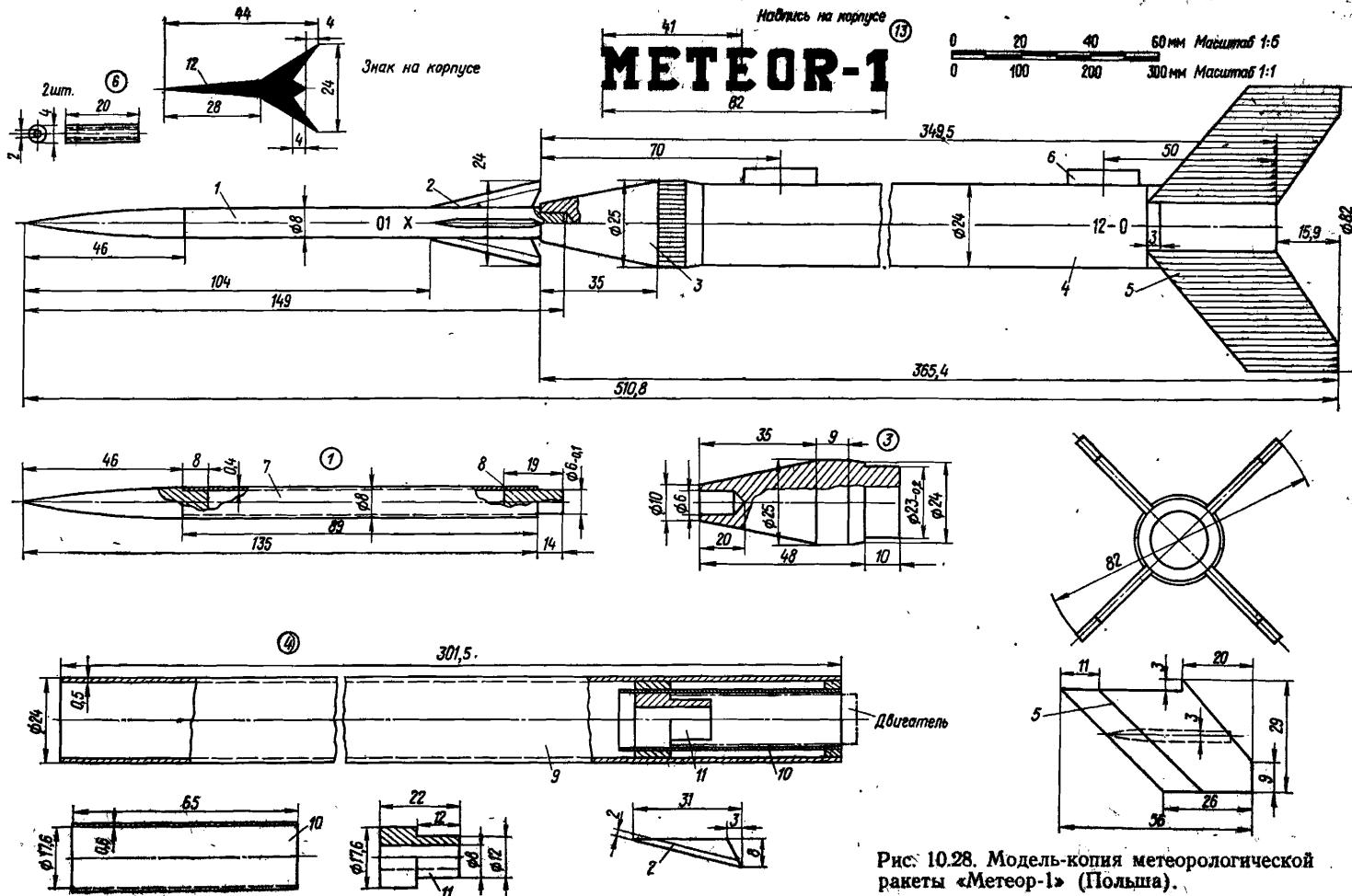


Рис. 10.28. Модель-копия метеорологической ракеты «Метеор-1» (Польша).

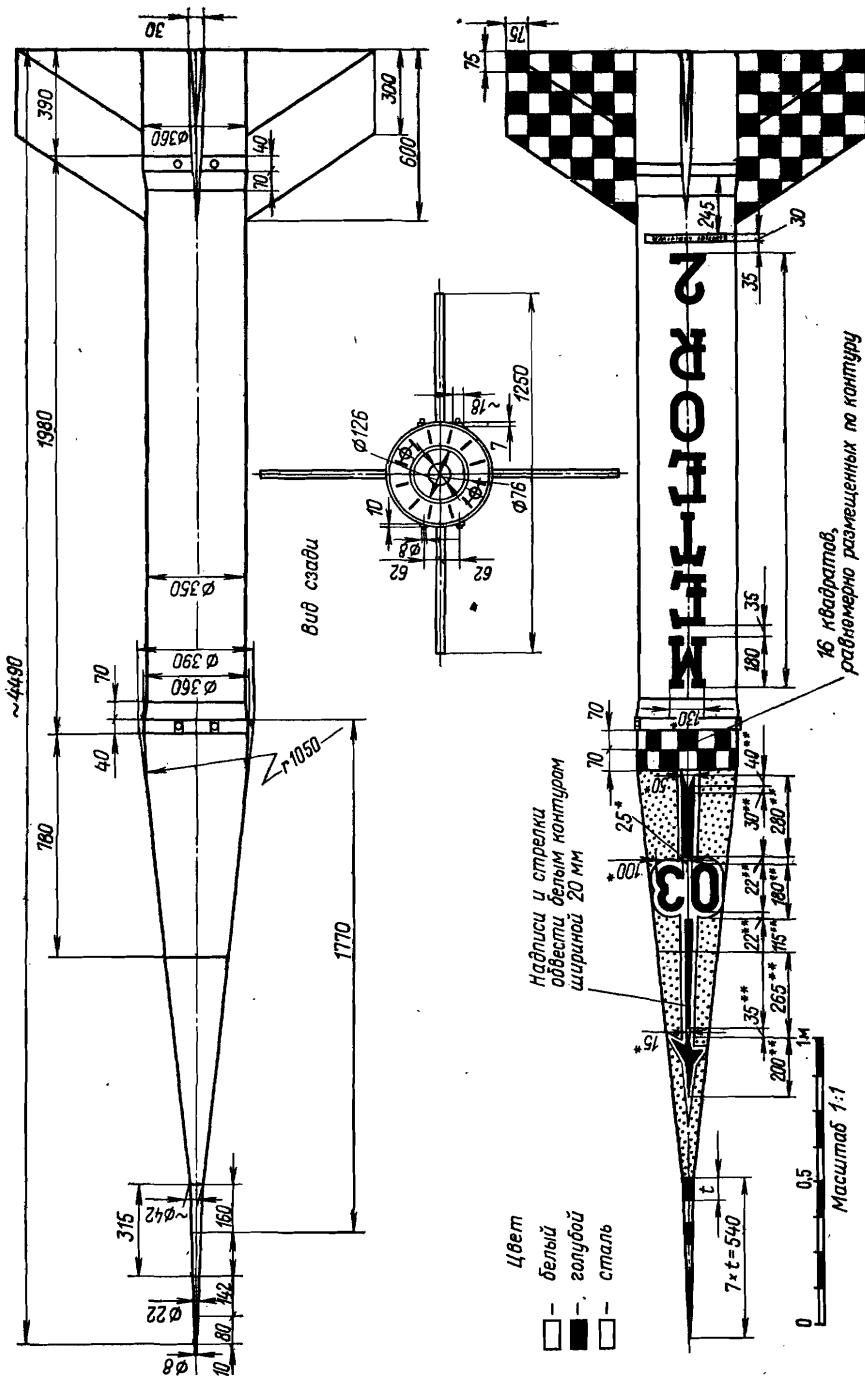


Рис. 10.29. Метеорологическая ракета «Метеор-2» (Польша).

Примечания:

1. Размеры, обозначенные одной звездочкой, соответствуют цилиндрическим и коническим поверхностям.
2. Размеры, обозначенные двумя звездочками, соответствуют осевому сечению.
3. Окраска с обеих сторон ракеты одинакова.

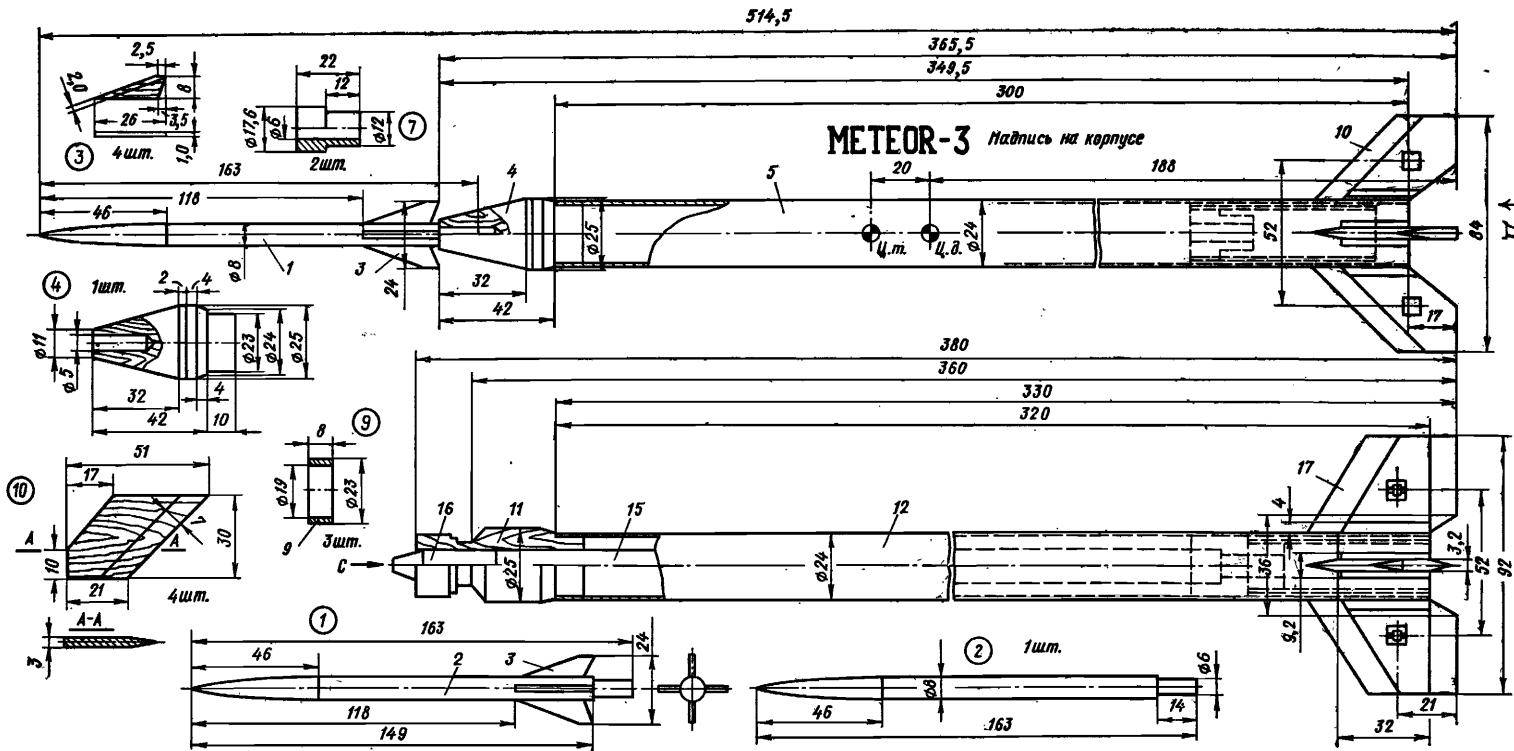


Рис. 10.30. Модель-копия метеорологической ракеты «Метеор-3» (Польша).

Модель-копия ракеты «Метеор-2» (Польша). Одна из самых больших польских исследовательских ракет (рис. 10.29), пользующаяся особой популярностью среди ракетомоделистов. На любых соревнованиях не только в Польше, но и в других странах можно встретить участников с моделью ракеты «Метеор-2». В Болгарии, например, изготавливается набор деталей, предназначенный для сборки миниатюрной модели-копии этой ракеты.

Модель имеет классическую схему и изготавливается из обычных конструкционных материалов: чертежной бумаги, фанеры и бальзы или пенопласта. Основные технические данные ракеты «Метеор-2» таковы: полная длина 4,5 м; диаметр 0,35 м; стартовая масса 380 кг; максимальная скорость 6000 км/ч; максимальная высота полета 105 км.

Летающие модели ракеты «Метеор-2» можно изготавливать в масштабе 1 : 10 или 1 : 5. Окраска наружных поверхностей указана на рисунке.

Модель-копия ракеты «Метеор-3» (Польша) (рис. 10.30). Также пользуется большой популярностью у ракетомоделистов. Получена путем добавления второй ступени к ракете «Метеор-1». Изготовление модели-копии требует определенного опыта, связанного с регулировкой и эксплуатацией двух двигателей. Первая ступень с двигателем, имеющим полный импульс 5 Н·с, выполняет функции ускорителя. После прекращения его работы производится запуск двигателя второй ступени (полный импульс 2,5 Н·с). Как первая, так и вторая ступени снабжены тормозной лентой или парашютом. Двигатель второй ступени запускается с помощью запального шнура соответствующей длины или порохового замедлителя, подобранныго таким образом, чтобы воспламенение топлива происходило непосредственно перед прекращением работы стартового двигателя. На рис. 10.30 указаны размеры модели. Ракета «Метеор-3» имеет следующие техниче-

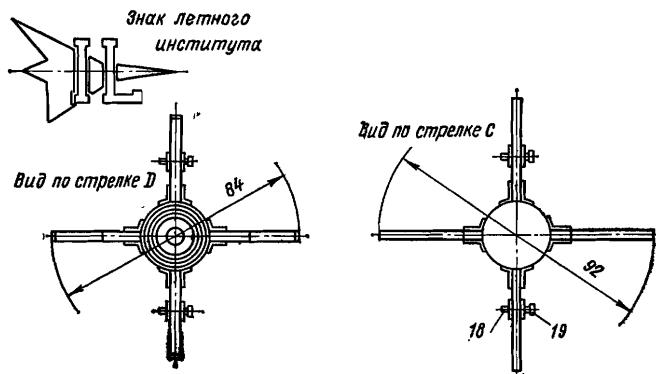


Рис. 10.30 (продолжение).

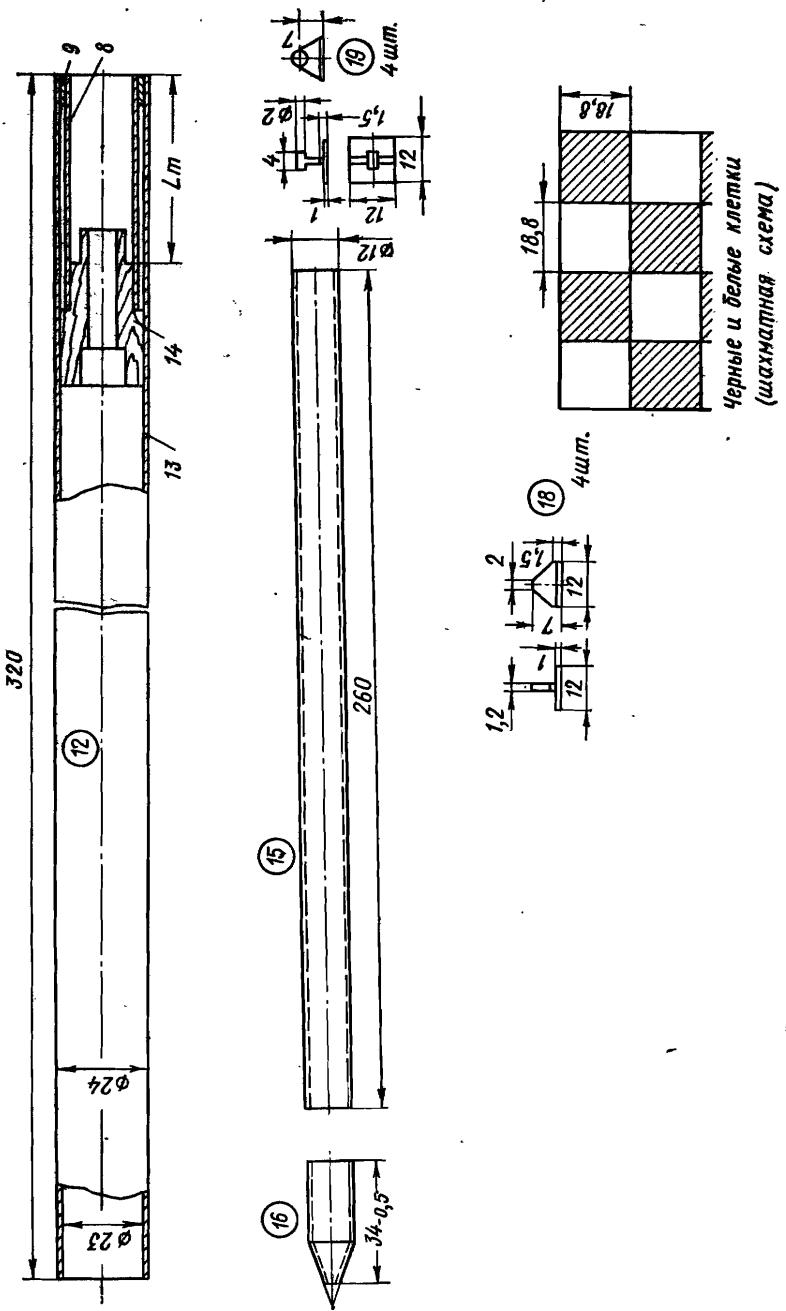


Рис. 10.30 (продолжение).

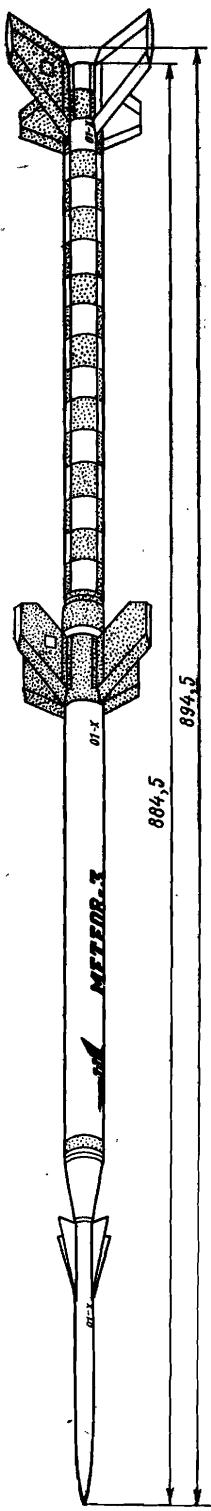
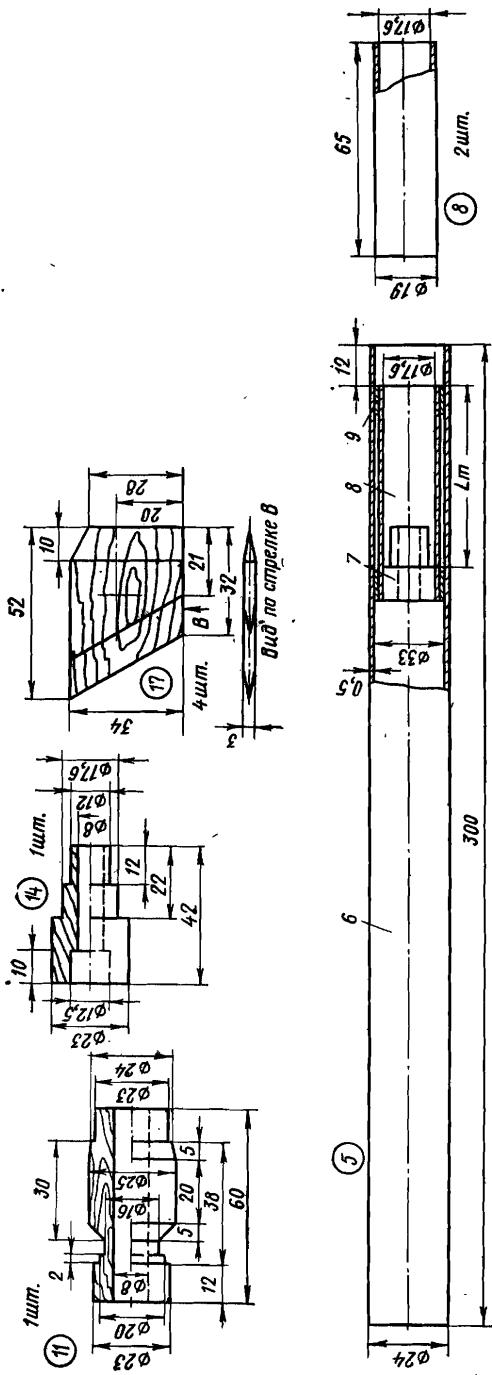


Рис. 10.30 (продолжение).

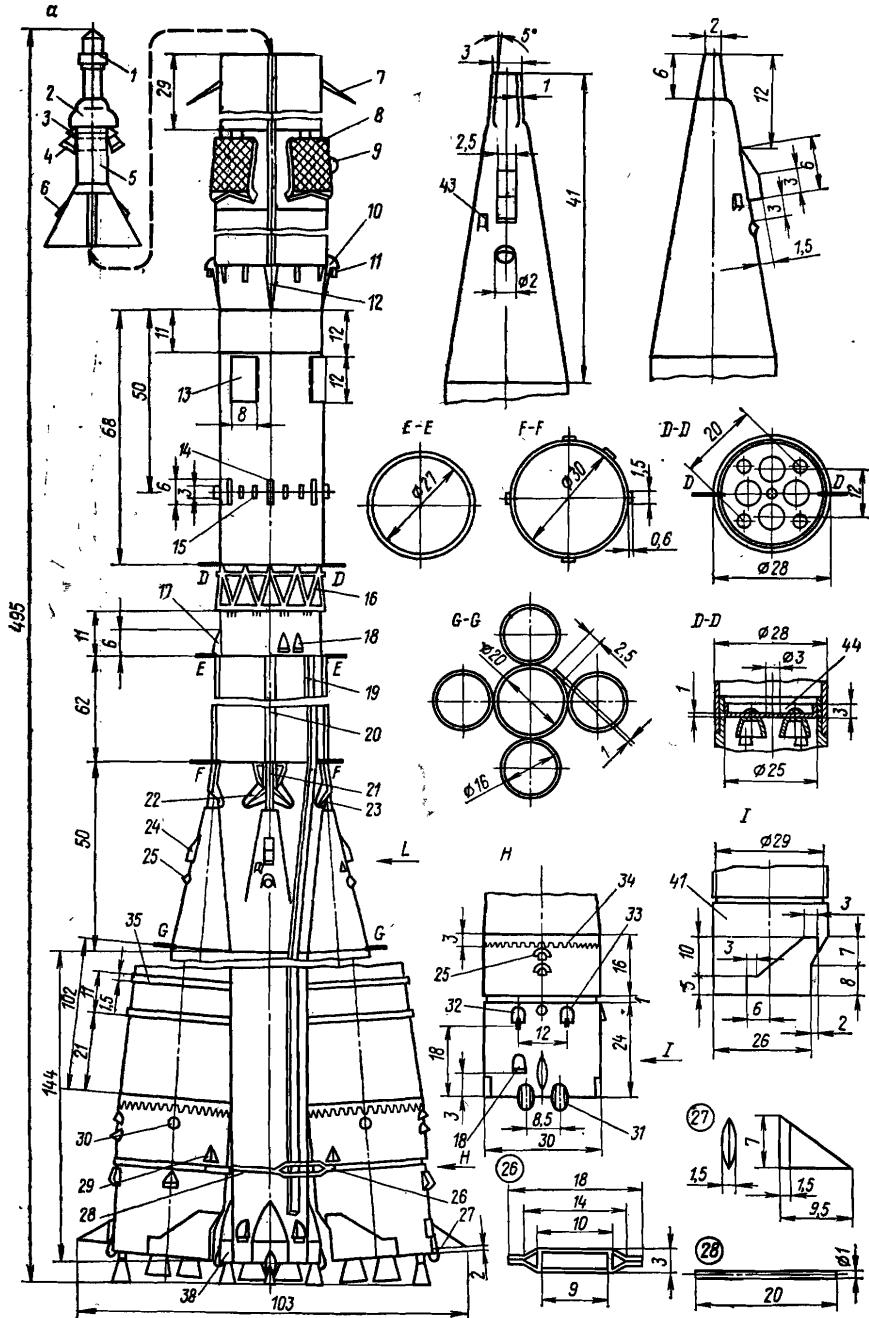


Рис. 10.31, а.

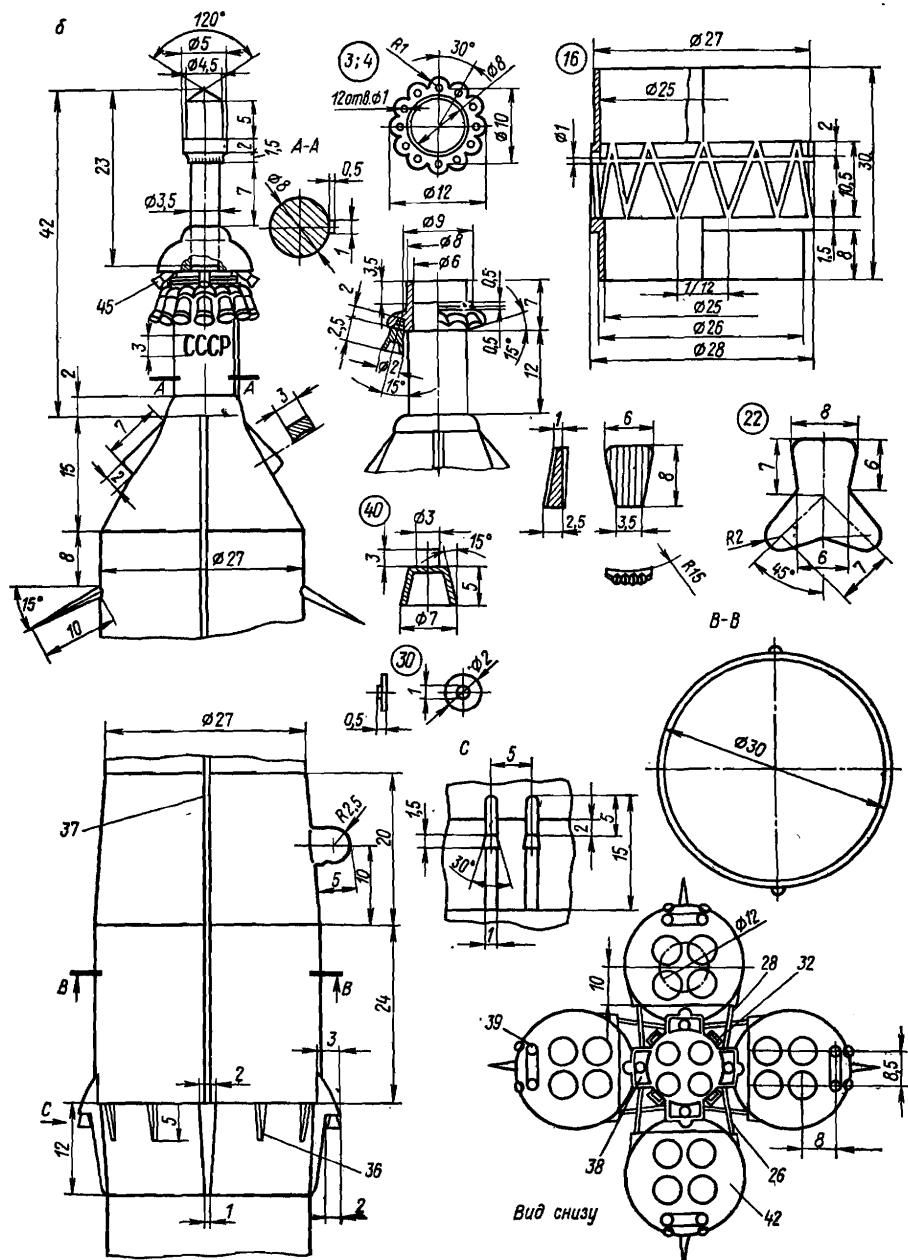


Рис. 10.31, б.

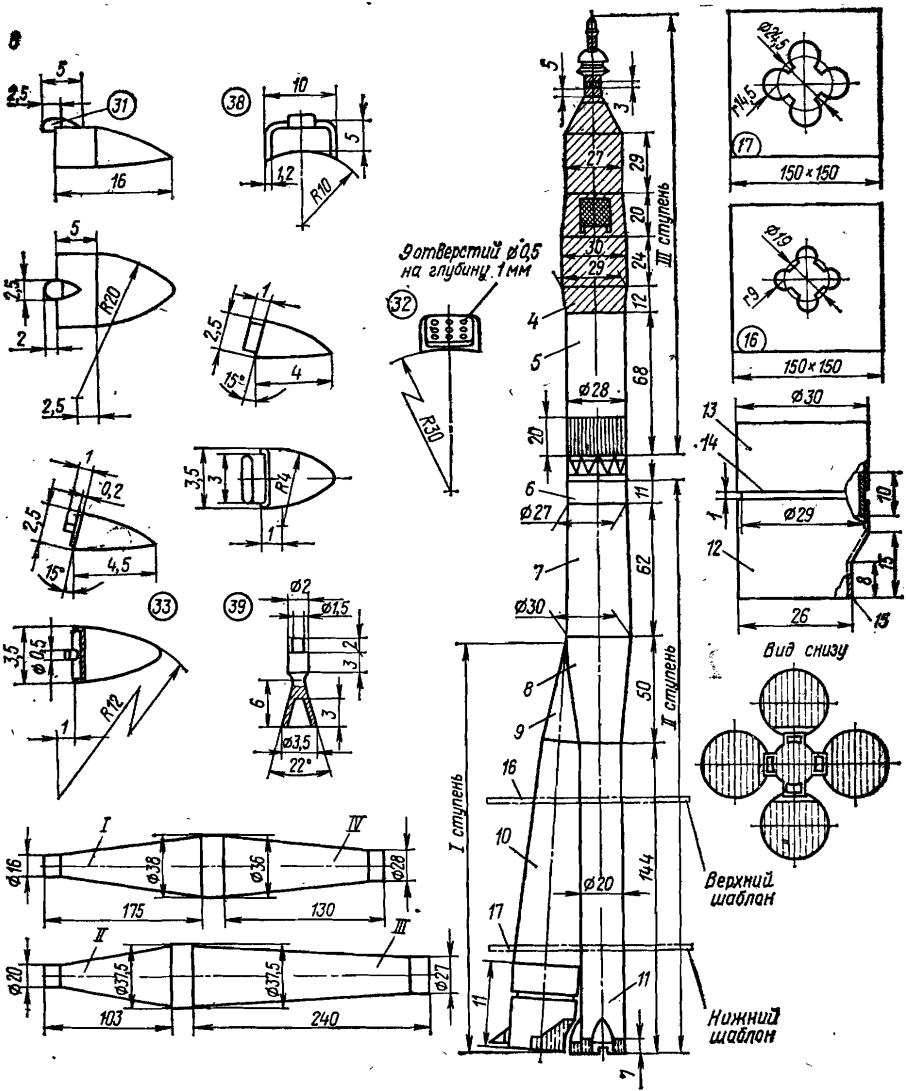


Рис. 10.31, в.

Рис. 10.31. Модель-копия ракеты-носителя космического корабля «Союз».

a — конструкция корпуса; б — конструкция системы аварийного спасения.
1 — регулировочный груз (1 шт., бук, дюралюминий); 2 — обтекатель (1 шт., бук, дюралюминий); 3 — обойма (1 шт., дюралюминий); 4 — сопло (12 шт., текстолит, дюралюминий); 5 — ферма системы аварийного спасения (1 шт., бук, береза); 6 — экран (2 шт., липа); 7 — антенна (2 шт., проволока); 8 — тормозной щиток (4 шт., целлуплонд); 9 — обтекатель (1 шт., липа); 10 — обтекатель (2 шт., липа); 11 — рулевое сопло (4 шт., пластик); 12 — экран (4 шт., липа); 13 — люк (3 шт., бумага); 14 — разъем (6 шт., липа); 15 — разъем (12 шт., липа); 16 — переходная ферма (1 шт., липа, дюралюминий); 17 — обтекатель (1 шт., липа); 18 — обтекатель (6 шт., липа); 19, 20 — имитация электрических кабелей; 21 — разъем (4 шт., липа); 22 — окантовка (4 шт., бумага); 23 — ребро жесткости (8 шт., липа, целлуплонд); 24 — обтекатель (4 шт., липа); 25 — обтекатель (12 шт., бумага); 26 — распорная ферма (4 шт., липа, проволока диаметром 1 мм); 27 — стабилизатор (4 шт., липа); 28 — пробка (12 шт., бумага); 29 — обтекатель (8 шт., бумага); 30 — кольцо (8 шт., бумага); 31 — обтекатель (8 шт., липа); 32 — обтекатель (8 шт., липа); 33 — обтекатель (8 шт., липа, целлуплонд); 37 — имитация разъемного соединения (2 шт., нить толщиной 0,5 мм); 38 — обтекатель (4 шт., пластик); 39 — рулевое сопло (16 шт., дюралюминий); 40 — сопло (24 шт., дюралюминий); 41 — отражатель (4 шт., алюминиевая фольга); 42 — днище (4 шт., дюралюминий); 43 — обтекатель (4 шт., липа); 44 — днище (1 шт., дюралюминий); 45 — сопло (4 шт., дюралюминий).
 Сопла двигателей (поз. 4, 11, 39, 40, 45) и элементы конструкции (поз. 3, 7, 16, 26, 28, 44) должны иметь цвет металла (стали). Эти поверхности могут быть полироваными. Обтекатель 2 во всех вариантах конструкции ракеты имеет черный цвет. Сопла двигателей 4 можно покрасить в коричневый цвет или выточить из текстолита.
б — элементы конструкции и модель в сборе.

№	Название элемента	Количество	Материал	
1	Цилиндр	1	Чертежная бумага (два слоя)	
2	Конус	1	>	
3	Цилиндр	1	>	
4	Конус	1	>	
5	Цилиндр	1	>	
6	Цилиндр	1	>	
7	Конус	1	>	
8	Конус	1	>	
9	Конус	4	>	
10	Конус	4	>	
11	Цилиндр	1	>	
12	Цилиндр	4	>	
13	Цилиндр	4	>	
14	Цилиндр	4	>	
15	Перегородка	4	Чертежная бумага (один слой)	
16	Верхний шаблон	1	Фанера, металл	
17	Нижний шаблон	1	>	

	зеленый	голубой	стальной	зеленый
	белый	белый	белый	белый
	черный	черный	черный	черный
	красный	оранжевый	оранжевый	зеленый
	полированный	полированный	полированный	полированный
	дюралюминий	дюралюминий	дюралюминий	дюралюминий

ские данные: полная длина 4,25 м; диаметр 0,12 м; стартовая масса 65 кг; максимальная скорость 5100 км/ч; максимальная высота полета 72 км.

Модель-копия ракеты-носителя космического корабля «Союз» разработана советским ракетомоделистом И. Романовым. Модель изготовлена в масштабе 1 : 100, что позволяет скопировать все особенности конструкции оригинала при сохранении хороших летных характеристик. Трехступенчатая модель, в которой первая и вторая ступени выполнены по схеме «пакет» с продольным делением и состоят из центрального и четырех боковых блоков, а третья ступень, снабженная одним двигателем, расположена последовательно (поперечное деление) истыкается с центральным блоком второй ступени. В модели, как и у прототипа, на старте начинают работать одновременно двигатели первой и второй ступеней, причем двигатели боковых блоков закачивают работу раньше двигателей центрального блока. Сначала отделяются боковые блоки, а через некоторое время — центральный, после чего включается двигатель третьей ступени. Все блоки модели возвращаются на землю на парашютах с куполами диаметром 500—800 мм. Конструкция комбинированная: чертежная бумага — бальза. Необходимо, чтобы элементы и узлы конструкции были по возможности легкими, для чего используется бальза или пенопласт. Очевидно, что при определенном опыте моделирования для изготовления модели можно использовать и другие материалы. Так, в частности, поступили советские моделисты — конструкторы модели ракеты-носителя «Союз».

На рис. 10.31 представлена ракета в масштабе 1 : 100 и даны ее размеры. Указано также несколько вариантов окраски ракеты.

Приложение

Модели ракет

Модель ракеты «Зенит» (рис. 1). Эта модель сконструирована для соревнований «спуск на ленте», а также на высоту полета.

Корпус склеен из бумаги на оправке диаметром 20,5 мм, стабилизаторы изготовлены из фанеры, а головной обтекатель — из липы. Лента размером 50×500 мм изготовлена из микалентной бумаги. Одной из узких сторон при помощи амортизатора (резиновой нити) она крепится к корпусу. Масса модели без двигателя 20 г.

Одноступенчатая модель с парашютом (рис. 2). Предлагаемая модель может быть рекомендована для соревнований на продолжительность полета.

Корпус склеивают из двух слоев чертежной бумаги столярным kleem на оправке диаметром 20 мм. В нижней его части закрепляют обойму под двигатель. Направляющие кольца изготавливают из четырех слоев чертежной бумаги, оправкой для них служит круглый карандаш диаметром 7 мм. Три стабилизатора из фанеры толщиной 1 мм приклеиваются нитроклеем встык к нижней части корпуса. Головной обтекатель вытачивают на токарном станке из березы и соединяют с корпусом резиновой нитью. Купол парашюта круглый, диаметром 500 мм, из микалентной бумаги. Шестнадцать строп из ниток № 10 прикрепляют к головному обтекателю. Всю модель после сборки покрывают тремя слоями нитролака и окрашивают нитрокраской полосами черного и желтого цвета. Масса модели без двигателя 45 г.

Ракетоплан класса S—4-C «Ястреб» (рис. 3) изготавливается из общедоступных материалов (липы, сосны, бумаги) и обладает хорошими летными качествами как на активном участке (при работающем двигателе), так и в планирующем полете. На модели устанавливается стандартный двигатель с полным импульсом 7—9 Н·с.

Фюзеляж представляет собой сосновую рейку переменного сечения: спереди — 8×5 мм, в хвостовой части — 5×4 мм. Контейнер под двигатель, накатанный из двух слоев чертежной бумаги, приклеивается к пилону (липа). Обтекатель контейнера вытачиваются из липы или сосны. Ось двигателя должна быть расположена на 38 мм выше верхней плоскости фюзеляжа. Это предохраняет модель от обгорания.

Крыло изготавливают из липового шпона переменной толщины: в центре 4,5 мм, на концах 2 мм. Профиль крыла — плоско-выпуклый. Угол $V=7^\circ$. Между собой обе половинки крыла склеиваются эмалитом встык и крепят к верхней плоскости фюзеляжа. Наибольшей толщины профиль крыла достигает на расстоянии $1/3$ хорды от носка крыла. Стреловидность 94° . Стабилизатор

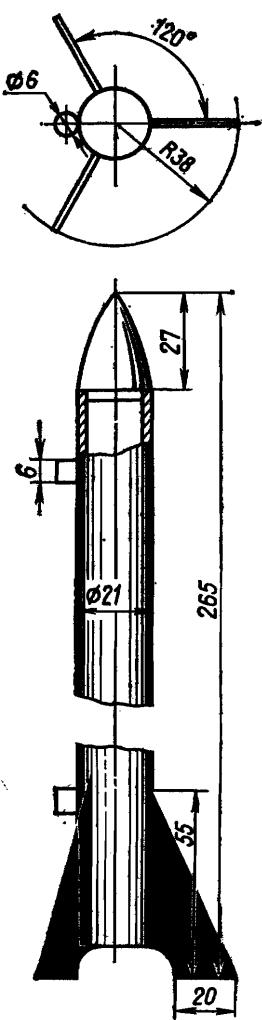


Рис. 1. Модель ракеты «Зенит»
(СЮТ, г. Электросталь).

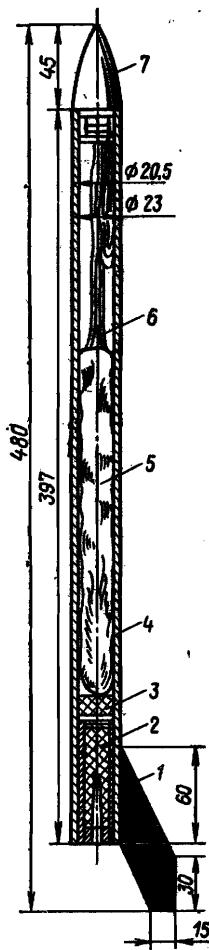


Рис. 2. Одноступенчатая модель с па-
рашютом (СЮТ, г. Электросталь).
1 — стабилизатор; 2 — двигатель; 3 — пыж;
4 — корпус; 5 — парашют (без чехла); 6 —
стропы; 7 — обтекатель.

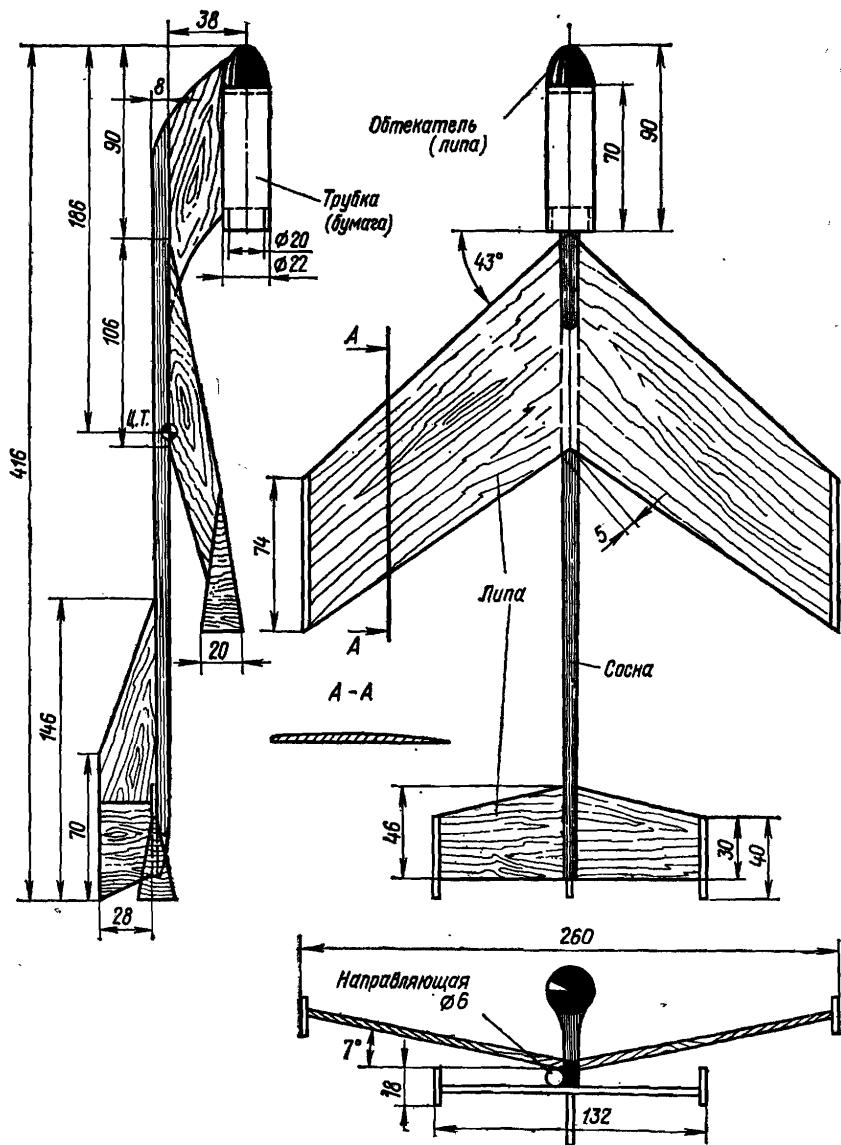


Рис. 3. Модель ракетоплана «Ястреб» (СИОТ, г. Электросталь).

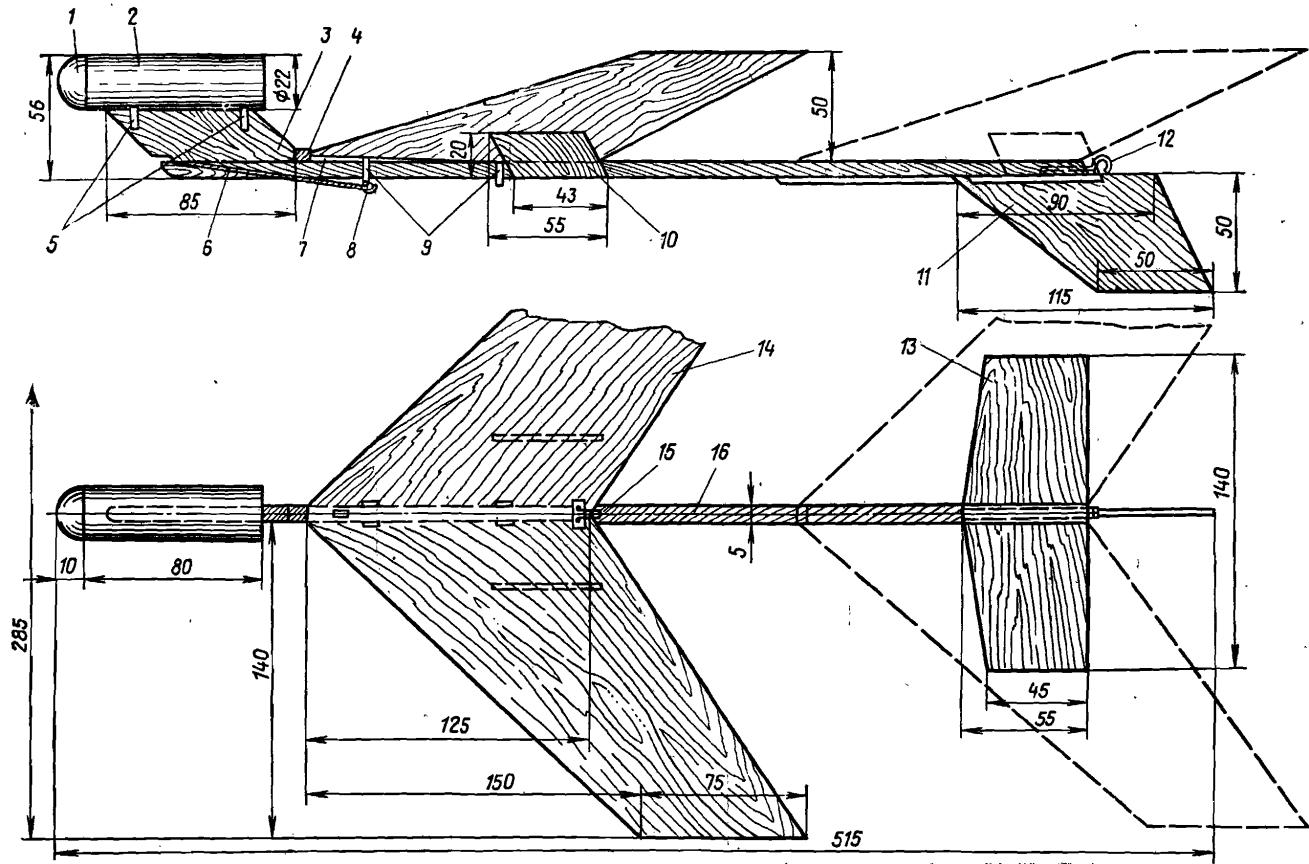


Рис. 4. Модель ракетоплана С. Морозова.

1 — обтекатель (пенопласт); 2 — контейнер (чертежная бумага); 3 — кронштейн (бальза); 4 — упор (резина); 5 — направляющие кольца (жесть); 6 — резинка возврата; 7 — клин (берес); 8 — крючок (жесть); 9 — направляющие скобы (ОВС Ø 1,5 мм); 10 — пластина (бальза); 11 — киль (бальза); 12 — цека (ОВС Ø 1,5 мм); 13 — стабилизатор (бальза); 14 — крыло (бальза); 15 — петля (леска Ø 0,5 мм); 16 — фюзеляж (сосна).

(профилированная пластина из липы толщиной 1,3—1,5 мм) приклеивают эмалитом к нижней плоскости фюзеляжа. Разница в установочных углах крыла и стабилизатора образуется за счет переменного сечения фюзеляжа и составляет 1°. Киль склеен из двух липовых пластин толщиной 1,5 мм с различным направлением волокон. На крыле и стабилизаторе имеются концевые «шайбы», которые обеспечивают взлет модели без спирали. Готовый «Ястреб» дважды покрывают эмалитом и красят в темный цвет. Масса модели без двигателя 50 г.

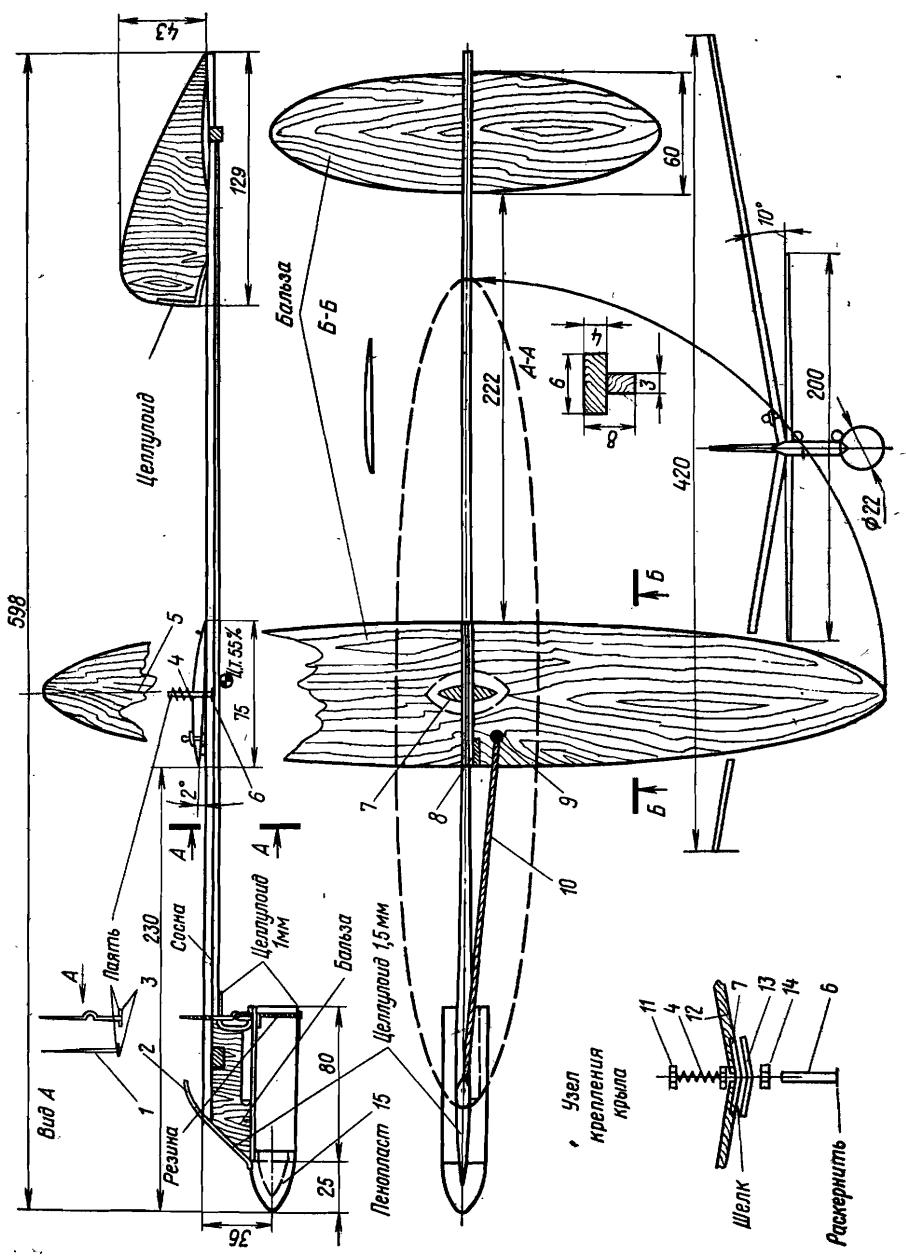
Модель ракетоплана (рис. 4) — конструктор С. Морозов (СССР). Особенностью модели является смещение крыла на взлетном режиме. Так как при этом увеличивается площадь хвостовой части, то смещается и центр давления модели. Она получает большую устойчивость в полете с работающим двигателем.

Фюзеляж — рейка сечением 6×5 мм. В носовой части на кронштейне закреплен контейнер для двигателя, склеенный из двух слоев чертежной бумаги. Крыло изготавливают из бальзовой пластины толщиной 4 мм. Угол $V=10^\circ$. В центральную часть крыла вставляют и вклеивают на смоле ЭД-5 две направляющие скобы для крепления к фюзеляжу. К передней скобе припаивают крючок, фиксирующий резинку, которая возвращает крыло в положение для планирующего полета. Другой конец резинки закрепляют в вырезе кронштейна. К нижней поверхности крыла приклеивают две пластины, которыми оно опирается на стабилизатор при взлете. Упором, ограничивающим движение крыла вперед, служат кусок плотной резины и клин из бересклета. Он же создает и необходимый угол атаки, который подбирается при регулировке модели. Стабилизатор и киль делаются из бальзовых пластин различной толщины. Их приклеивают к нижней стороне хвостовой части фюзеляжа. Готовую модель покрывают двумя слоями эмалита и окрашивают цапонлаком малинового цвета. Масса модели без двигателя 45 г.

Полет модели происходит следующим образом. Перед стартом крыло сдвигается назад. Проволочная чека за петлю из лески удерживает его в стартовом положении (на рисунке показано пунктиром). Стартует модель с вертикальной штанги. После выгорания топлива срабатывает вышибной заряд. Корпус двигателя отделяется от контейнера и выдергивает проволочную чеку, соединенную с ним тягой из стальной проволоки диаметром 0,3 мм. Резинка возвращает крыло в положение для планирующего полета.

Модель ракетоплана (рис. 5) — конструктор А. Гаврилов (СССР). Отличительная особенность модели — поворотное крыло, устанавливаемое вдоль фюзеляжа, что исключает всякую возможность появления спирали при взлете.

Фюзеляж, изготавливаемый из сосновых реек переменного



сечения, имеет Т-образную жесткую конструкцию. Это помогает исключить прогиб фюзеляжа, когда крыло устанавливается во взлетное положение с некоторым напряжением. Стабилизатор и киль выполнены из бальзы, приклеены к фюзеляжу нитроклеем. Контейнер для двигателя — из бумаги, а его обтекатель — из пенопласта. Крыло (из бальзовой пластины) имеет эллиптическую форму в плане; его профилируют, покрывают нитролаком, а затем разрезают. Обе половины соединяют между собой упругой пластиной (дюралюминий толщиной 0,3 мм), в которой просверлено отверстие для оси. Снизу, в месте соединения, приклеивают полоску шелка. Крыло поворачивается на оси, сверху прижато пружиной, а снизу лежит на опорной пластине, выгнутой под углом 10° и создающей угол V крыла. Когда крыло для взлета укладывается вдоль фюзеляжа, то левой консолью оно заходит в вырез киля, а правой — в упор из целлулоида, который является продолжением окантовки пилона. Возвратная резинка стремится развернуть крыло по часовой стрелке, но его удерживает фиксатор, проходящий через стенку контейнера, рейку-фюзеляж и отверстие в крыле. После отделения отработавшего двигателя фиксатор освобождает крыло, и оно возвращается в положение планирования. Чтобы крыло вставало на определенное место, к нижней поверхности его приклеивают упор из целлулоида. Готовую модель покрывают тремя слоями нитролака и слоем цапонлака. Полетная масса модели 40 г.

Модель ракетоплана «Утка» с поворотным крылом (рис. 6). На Московских областных соревнованиях школьников 1974 года Александр Федотов с этой моделью занял первое место.

Конструкция модели состоит из рейки-фюзеляжа с двигателем отсеком в носовой части, V-образного стреловидного стабилизатора, киля, поворотного крыла, а также механизма поворота и фиксации крыла. Фюзеляж изготовлен из сосновой рейки и для увеличения жесткости усилен снизу, от двигательного отсека до стабилизатора, ребром из липового шпона. В месте расположения поворотного крыла фюзеляж дополнительно усилен боковыми накладками из липы и образует вместе с ними опорную площадку для поворотного крыла. Двигательный отсек установлен в носовой части фюзеляжа на пилоне, изготовленном из липы. Он состоит из трубки, склеенной из двух слоев ватмана и вклеенного в нее тонкостенного обтекателя из липы. Места склейки двигательного отсека с пилоном и пилоном с корпусом для уве-

Рис. 5. Модель ракетоплана А. Гаврилова.

1 — шпилька-фиксатор (ОВС Ø 1 мм); 2 — упор (целлулоид); 3 — шайба (латунь толщиной 0,3 мм); 4 — пружина (ОВС Ø 0,6 мм); 5 — отверстие для фиксатора; 6 — ось поворота крыла (латунь Ø 2 мм); 7 — пластина (дюралюминий толщиной 0,3 мм); 8 — упор (целлулоид толщиной 2 мм); 9 — штырь крепления резинки возврата; 10 — резинка возврата; 11 — шайба (жестк толщиной 0,3 мм); 12 — крыло; 13 — опорная пластина (фанера толщиной 1,5 мм); 14 — фюзеляж; 15 — обтекатель (пенопласт).

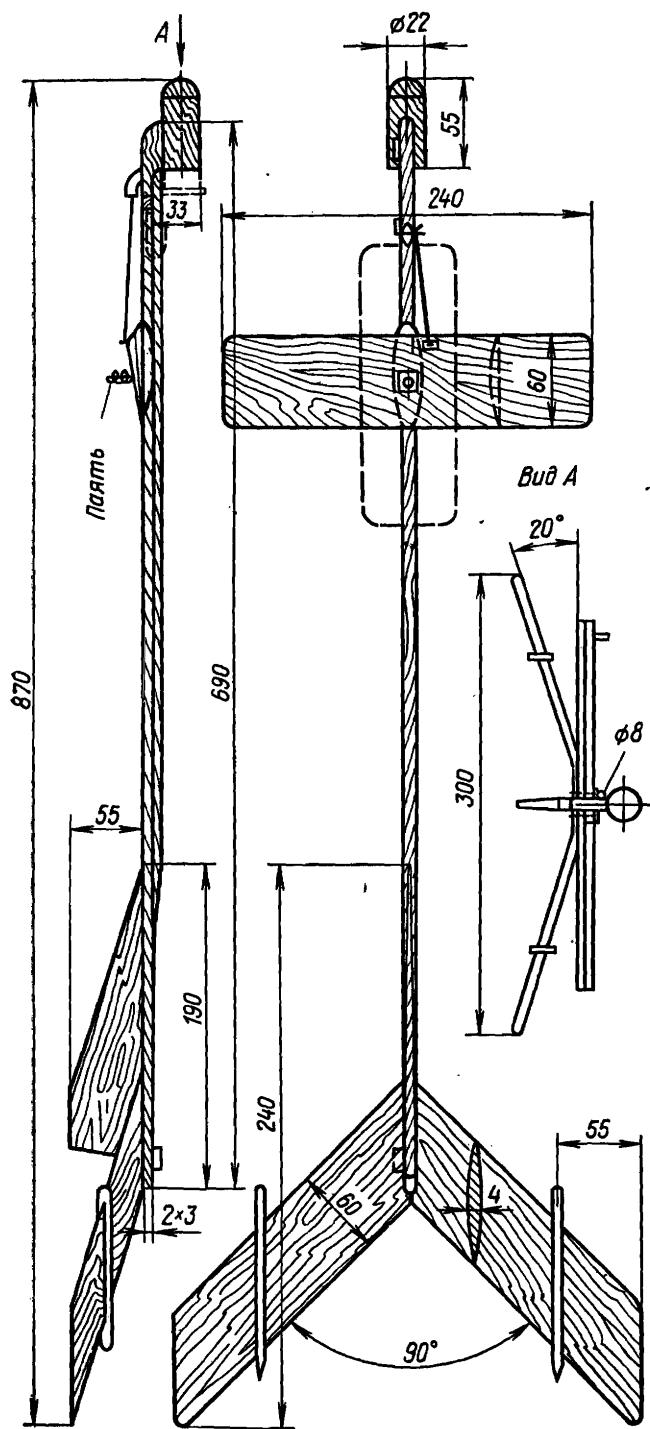
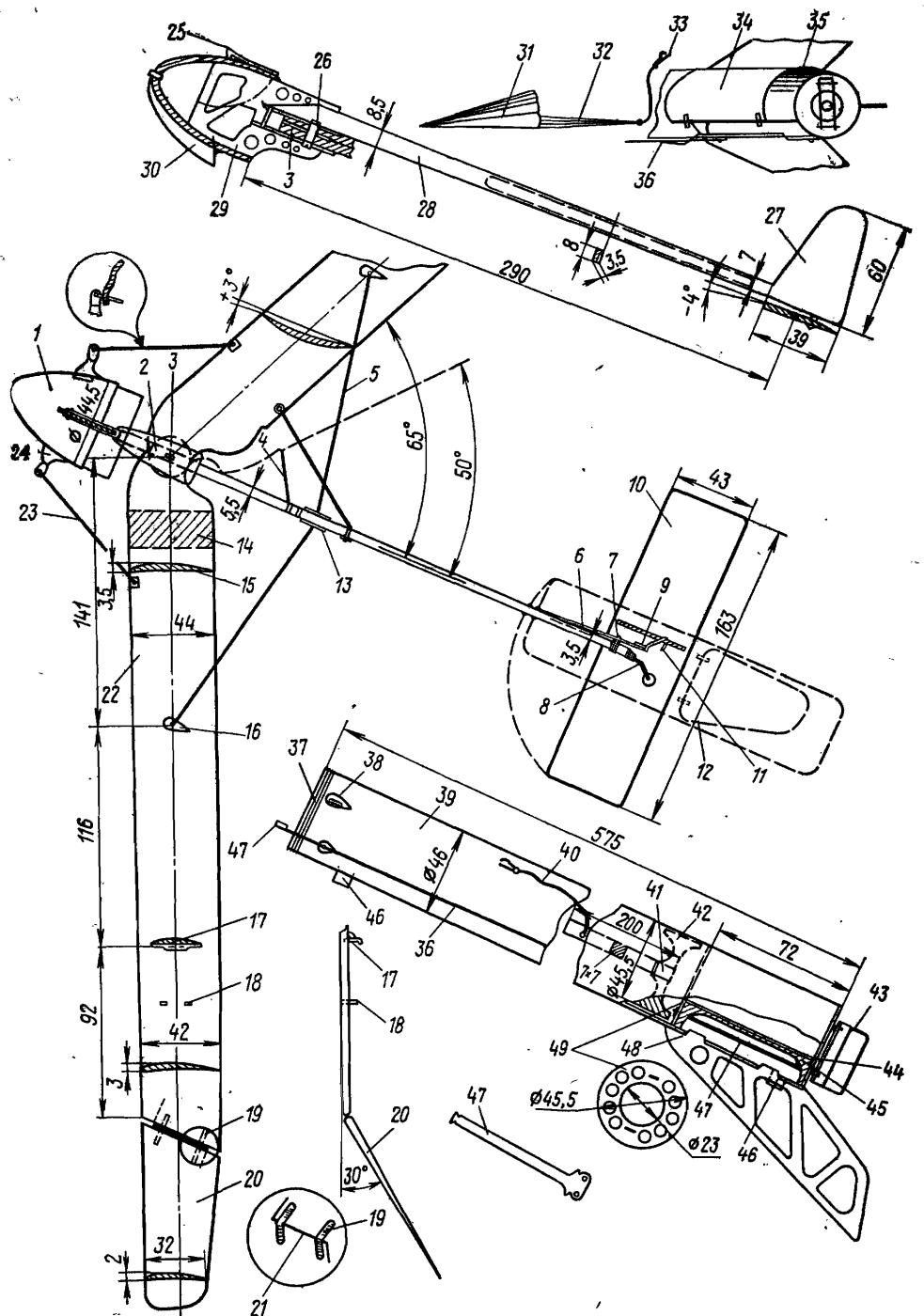


Рис. 6. Модель ракетоплана «Утка» (КИОТ, г. Загорск).

личения прочности дополнительно обклеиваются микалентной бумагой. Стабилизатор, киль и поворотное крыло изготовлены из бальзы, однако их можно сделать также из легкой липы соответственно меньшей толщины, так что проигрыш в весе при этом будет незначительным. Стабилизатор и киль имеют симметричный профиль; их устанавливают под нулевыми углами к продольной оси. Места стыков стабилизаторов с килем и корпусом для увеличения прочности усилены зализами. На передние кромки стабилизаторов (на расстоянии 1/3 от их концов) наклеены противофлаттерные грузики обтекаемой формы, выполненные из липы. Крыло имеет плоско-выпуклый профиль. В центре его сделано отверстие диаметром, несколько превышающим диаметр проволоки оси поворота. В этом месте на верхней поверхности крыла наклеена целлулоидная шайба с отверстием, равным диаметру оси вращения, выполняющая роль подшипника. К нижней поверхности приклеена пластинка клиновидной формы из липы, определяющая угол установки крыла относительно фюзеляжа. Крыло поворачивается на оси, изготовленной из проволоки и вклейенной на эпоксидной смоле в центре опорной площадки. Прижимается крыло к опорной площадке пружиной, верхний конец которой припаян к оси вращения. Крыло в положении вдоль корпуса фиксируется проволочной чекой, привязанной тонкой проволокой ($\varnothing 0,3$ мм) к корпусу двигателя. Чека вставляется через отверстие в целлулоидном кабанчике, при克莱енном к левому торцу крыла, в бумажную трубочку, которую приклеивают к корпусу в носовой части. При переходе модели на планирование двигатель отделяется; при этом он выдергивает чеку и освобождает крыло. Поворот крыла в поперечное положение обеспечивается натяжением резиновой нити, привязанной одним концом к проволочному «ушку», вклейенному в переднюю кромку правого крыла, а вторым — к такому же «ушку», закрепленному в носовой части корпуса. Крыло фиксируется в положении попереек корпуса ограничителем поворота, упирающимся при повороте крыла в рейку-фюзеляж. Упор (из сосны) крепится kleem с нижней стороны передней кромки правого крыла. В носовой и хвостовой частях корпуса приклеены бумажные направляющие кольца для взлета. При планировании для модели характерен ламинарный режим обтекания. Поэтому к качеству отделки поверхности предъявляются повышенные требования.

После двух слоев лака модель надо покрыть либо цветным лаком, либо тонким слоем краски. Для лучшего скольжения крыла по опорной площадке трещищиеся поверхности следует оставить неокрашенными и натереть их мягким графитом.

Регулировка модели сводится к подбору угла установки крыла относительно корпуса и устраниению перекосов крыла и стабилизаторов, как собственных, так и относительно друг друга.



Модель «ракета — ракетоплан» (рис. 7) — конструкторы Б. Абрамов и В. Алексеев (СССР). Рассчитана на моделиста, уже строившего подобные аппараты и знакомого с теорией и практикой их запуска.

Корпус ракеты-контейнера склеен из одного слоя качественной чертежной бумаги на оправке. Сверху корпус укреплен нитяным кольцом. Втулка, выполняющая ряд функций, выточена из плотного пенопласта. В ее внутреннюю полость вклеена трубка из чертежной бумаги; ее внутренний диаметр равен диаметру корпуса стандартного ракетомодельного двигателя. Сверху на стакан наклеено фанерное кольцо; главное его назначение — укрепить пластины, которыми удерживается двигатель при сгорании вышибного заряда. Пластины соединены стопорной чекой. Стабилизаторы ракеты из фанеры толщиной 1 мм (с окнами для облегчения конструкции) оклеены с двух сторон папиросной бумагой. Вырезанная часть стенки ракеты между двумя стабилизаторами превращена в створку парашютного отсека. Отсек вмещает восьмистропный парашют. Он изготовлен из микалентной бумаги. Диаметр купола 380 мм. К стропам парашюта прикреплена авиамодельная круглая резинка с карабином, длина ее 180 мм.

После того как парашют уложен в отсек и створка застопорена чекой, натягивается парашютная резинка, и ее карабин пристегивается к скобе. Для передачи ракетоплану силы вышибного заряда имеется шток. Он состоит из стержня и поршня. Шток округленным концом проходит через направляющие и упирается в скобу левой половины крыла (оно в узле крепления З — нижнее).

Рис. 7. Комплексная модель «ракета — ракетоплан».

1 — носовой обтекатель; 2 — целлулоидная шайба; 3 — пластины крепления крыла (фанера толщиной 1,5 мм); 4 — проволочный упор (OBC Ø 0,4 мм); 5 — фиксатор крыла (харповая нить); 6 — резинка возврата стабилизатора; 7 — фиксатор стабилизатора (целлулоид); 8 — ось вращения стабилизатора (OBC Ø 1 мм); 9 — направляющая стойка; 10 — стабилизатор (бальза); 11 — фиксатор киля (целлулоид); 12 — контур облегчения стабилизатора; 13 — целлулоидная накладка; 14 — место изгиба установочного уголка; 15 — профиль крыла; 16 — целлулоидная накладка; 17 — упор штока (целлулоид); 18 — направляющая штока (целлулоид); 19 — шарнир (жесть); 20 — консоль крыла (бальза); 21 — ось поворота консоли (OBC Ø 0,4 мм); 22 — центроплан (бальза); 23 — резинка возврата крыла в плавнирующее положение; 24 — кронштейн (целлулоид толщиной 1,5 мм); 25 — рычажок включения парашюта (D16, Ø 1,5 мм); 26 — ось шарнира крыла (латунь Ø 4 мм); 27 — киль (бальза); 28 — балка фюзеляжа (бальза); 29 — соединительный шпангоут (фанера толщиной 1 мм); 30 — посадочный полозок (OBC Ø 0,5 мм); 31 — парашют (микалентная бумага); 32 — стропы парашюта; 33 — карабин парашюта; 34 — створка парашютного отсека; 35 — отсек для парашюта; 36 — стопорная чека (OBC Ø 2 мм); 37 — нитяное кольцо; 38 — скоба крепления (целлулоид толщиной 1,5 мм); 39 — корпус модели ракеты (чертежная бумага); 40 — резинка с карабином; 41 — стержень (бальза); 42 — поршень (пенопласт); 43 — стопорная чека (OBC Ø 1 мм); 44 — трубка втулки (бумага); 45 — втулка (пенопласт); 46 — направляющие кольца (бумага); 47 — тяга стопорной чеки; 48 — стабилизатор модели ракеты (фанера); 49 — кольцо (фанера толщиной 1 мм).

Профиль крыла ракетоплана

X, %	0	1,25	2,5	5,0	7,5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Y _B , %	0,0	1,9	3,0	4,6	5,7	6,7	8,3	8,7	8,4	7,8	6,6	5,3	3,8	2,0	0,3
Y _H , %	0,0	-0,6	-0,5	-0,4	-0,2	0,0	1,2	1,6	1,8	1,8	1,5	1,2	0,6	0,3	0,1

Поршень со штоком для многократного использования также снабжен резинкой (длиной 120 мм) с карабинчиком. Перед вкладыванием сложенного ракетоплана в корпус ракеты резинка застегивается на скобе так, что при срабатывании шток вместе с ракетой, как одно целое, опустится на парашюте. Фюзеляж ракетоплана состоит из балки и обтекателя. В обтекатель вклеен узел крепления крыла. Фанерная рамка — основа, соединяющая детали узла. Целлулоидные кронштейны вклеены в соответствующие прорези обтекателя. Они воспринимают значительные усилия двойной резинки, которая раскрывает крыло при вылете ракетоплана из ракеты-контейнера. Посадочный полозок изготовлен из проволоки диаметром 0,5 мм. Фиксатором полетной стреловидности крыла служит капроновая нить, прочно закрепленная в балке и крыле целлулоидными накладками и клиновидными деревянными штырьками с kleem.

Крыло модели изготавливают из бальзовых пластин размером 460×45×5 мм. Придав крылу точную форму в плане, профилируют его верхнюю плоскость. После этого над нагретой металлической пластиной по заштрихованному месту делают изгиб, соответствующий установочному углу +3°, и лишь затем обрабатывают нижнюю вогнутую плоскость профиля крыла. Для уменьшения трения и увеличения прочности центральные части крыла усиливают целлулоидными шайбами. Осью поворота крыла служит латунная трубка. Консоли крыла прикрепляют к концам центроплана на металлических шарнирах, стальные оси ($\phi 0,4$ мм) которых работают как торсион, удерживая консоли под углом 30°. Петельки шарнира обматывают тонкой ниткой и с kleem вставляют в прорези центроплана и консолей. Для облегчения нижнюю часть стабилизатора выдалбливают стамеской и оклеивают конденсаторной бумагой. Киль плоский, шарнирное крепление дает ему возможность сложиться вдоль стабилизатора, а сам стабилизатор на проволочной оси при развороте на 90° вписывается в контур сложенного крыла. В полетное положение все хвостовое оперение устанавливают общей резинкой, продетой через отверстие целлулоидной стойки. Фиксаторы (диаметром 1 мм) стабилизатора и вертикального положения киля также изготавливают из целлулоида. В нижней части ракеты размещен парашютный отсек.

Детали парашютного механизма взаимодействуют следующим образом. При возвратном движении ракетоплана под действием вышибного заряда двуплечий рычажок, находящийся в зацеплении с петелькой стопорной чеки, освобождает створку, и парашют под действием растянутой резинки мгновенно раскрывается. Сам же рычажок, потеряв опору, проворачивается и оставляет чеку на корпусе ракеты в направляющих. Если же (в случае аварии) взорвется двигатель, то втулка и нижняя часть ракеты разрушаются, и ничем не удерживаемый парашют опускает ракету с ракетопланом.

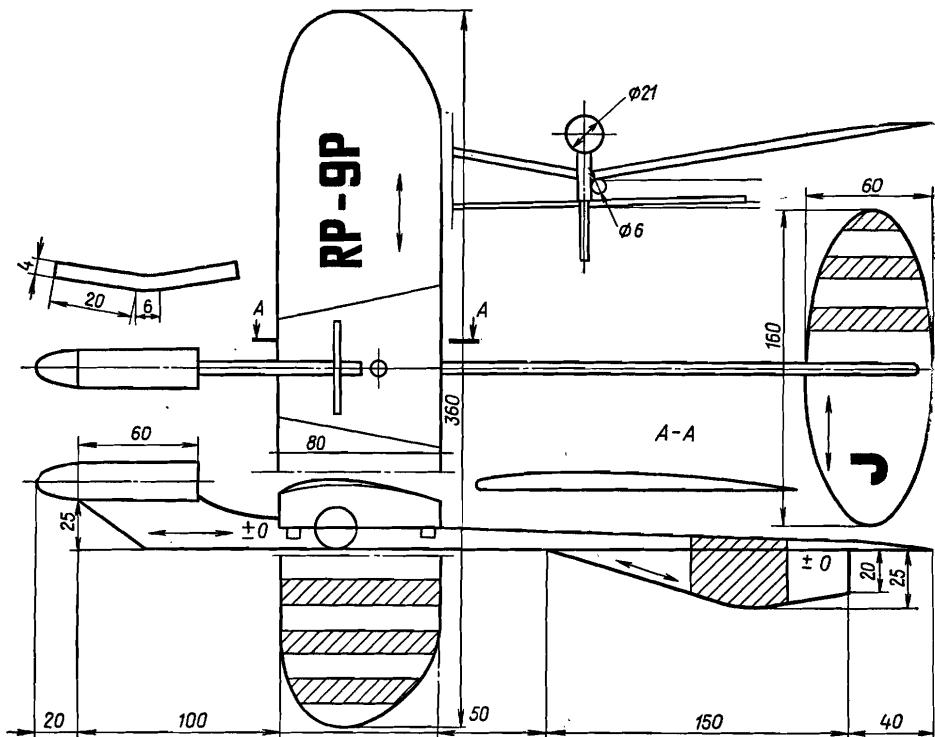


Рис. 8. Модель ракетоплана «Беркут».

Устойчивый планирующий полет ракетоплана при обычных погодных условиях длится 2—3 мин. Во избежание потери модели при восходящих воздушных токах в резиновое кольцо правого крыла центроплана продевают нитку, с помощью которой кольцо крепится к кронштейну. Между нитками вставляют фитилек (хлопчатобумажный шнур, пропитанный в концентрированном растворе марганцовки). Когда до старта остаются секунды, рассчитанный на горение продолжительностью 2,5—3 мин фитилек поджигают. В планирующем полете тлеющий фитилек пережигает скрепляющую нить и резиновое кольцо освобождается, а одинарная резинка отводит правое крыло до проволочного упора, увеличивая тем самым его стреловидность до 50°. Наруженная геометрия крыла вводит ракетоплан в штопор или глубокую спираль. Стартует комплекс с обычной штанги, на которой он удерживается направляющими кольцами.

Склейка всех деталей ведется нитроклеем. Масса ракеты-контейнера с полной детализированной 46 г. Масса планирующего аппарата 40 г. Взлетная масса комплекса 115 г.

Модель ракетоплана «Беркут» (рис. 8) — конструктор П. Павлов (НРБ). Почти вся модель изготавливается из бальзы. С ней можно выступать на соревнованиях в классе S — 4-С. Высокое аэродинамическое качество модели (13—15) обеспечивает хорошие летные показатели. Максимальная полетная масса 28 г.

Модели ракетопланов с изменяемой геометрией крыла советских ракетомоделистов В. Скрипкина и Ю. Солдатова. На модели В. Скрипкина (рис. 9) двигатель с полным импульсом 10 Н·с расположен в хвостовой части и после работы отделяется вместе с контейнером. На модели Ю. Солдатова (рис. 10) — переднее расположение двигателя с импульсом 20 Н·с. Тормозная лента двигателя намотана на корпус.

Модель-копия метеорологической ракеты М-100 (рис. 11) — конструктор В. Минаков (СССР).

Твердотопливная двухступенчатая ракета М-100 используется для зондирования атмосферы. Она может поднять полезный груз массой до 15 кг на высоту до 100 км. Ракета состоит из первой ступени с переходником и второй — с отделяемой головной частью, в которой находятся научное оборудование, вспомогательные системы и парашют для спуска приборов. Метеорологические датчики для измерения температуры и давления находятся в шпиле, который вынесен вперед для уменьшения влияния возмущений воздушного потока, создаваемых самой ракетой.

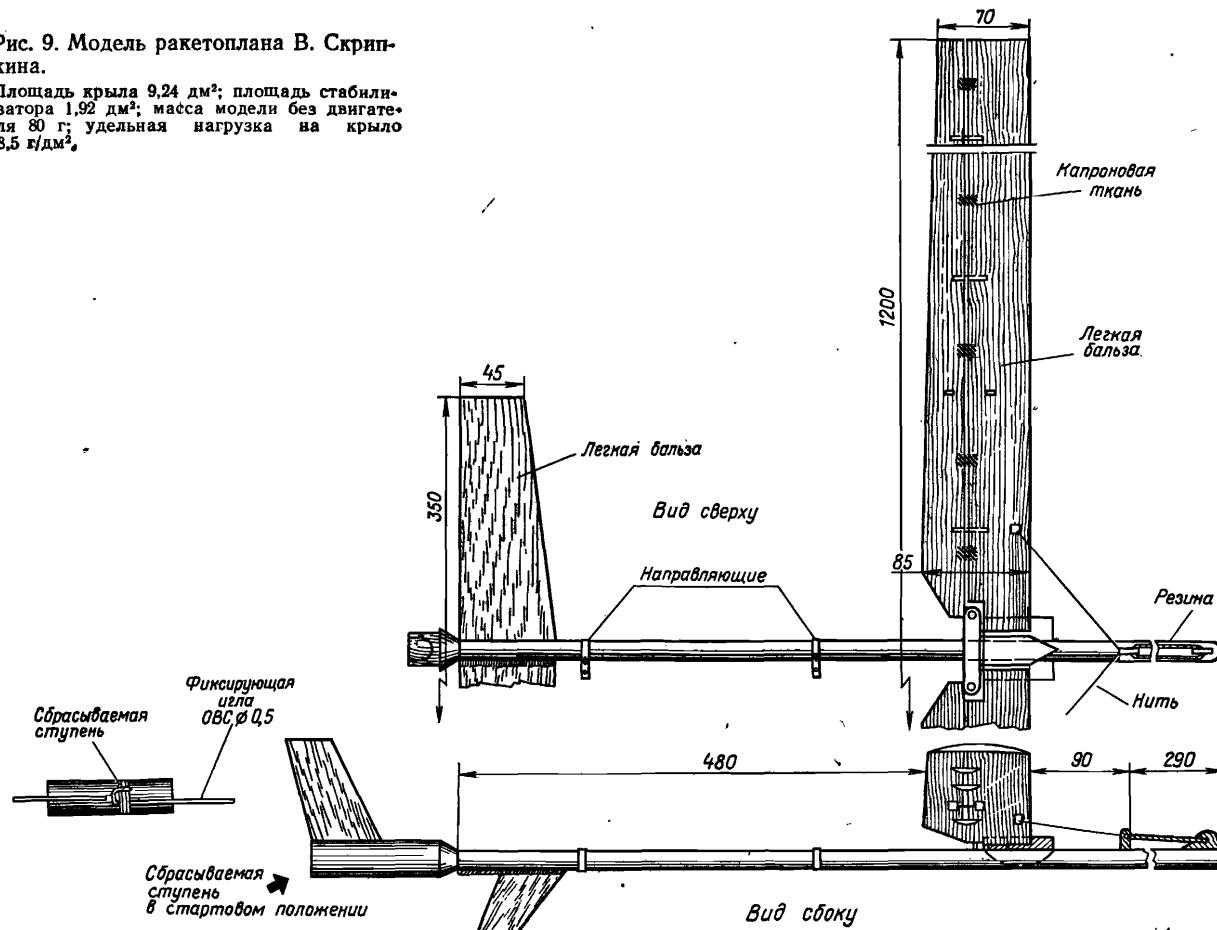
Для устойчивости в полете обе ступени ракеты снабжены стабилизаторами, прикрепленными к корпусу болтами. В переходнике длястыковки ступеней имеется восемь отверстий для отвода газов, образующихся при запуске двигателя второй ступени. Ракета окрашена в белый цвет, места крепления для транспортировки — голубые, болты на стабилизаторах — зеленые.

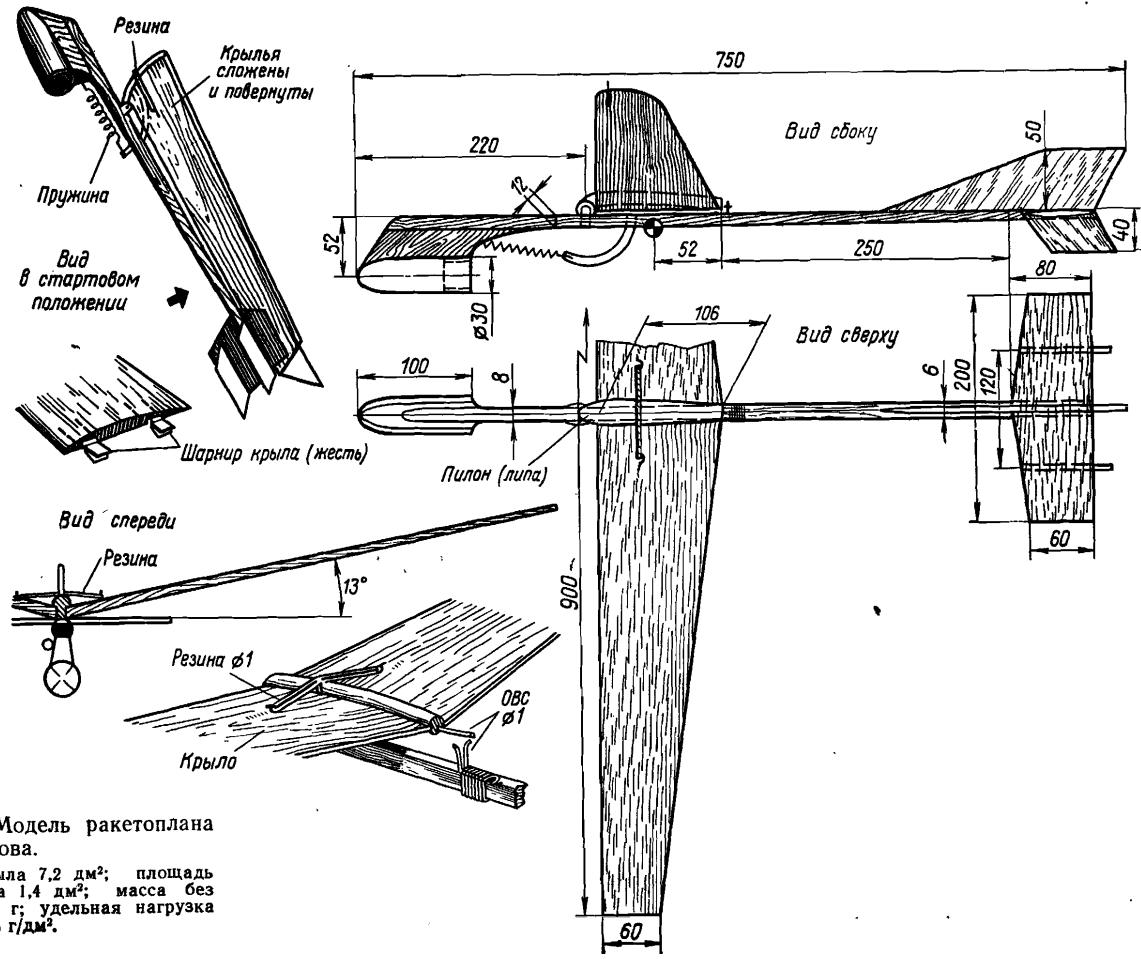
С моделью двухступенчатой ракеты М-100 можно участвовать в соревнованиях по классу S—5-D (копии на высоту полета с суммарным импульсом двигателей до 40 Н·с и максимальной стартовой массой до 240 г). Она выполнена в масштабе 1 : 10 и снабжена двумя новыми отечественными двигателями МРД-20 с полным импульсом 20 Н·с каждый. Корпуса обеих ступеней модели клеят из ватмана в два слоя на оправке диаметром 24 мм. Кормовую часть и переходник вытачивают из липы, а двигательные отсеки изготавливают из ватмана в один слой на оправке диаметром 20,5 мм.

Двигательный отсек первой ступени вклеивают в кормовую часть. Сверху на него устанавливают трубку пиротехнической системы, изготовленную из бумаги или стеклопластика и предназначенную для запуска двигателя второй ступени. Кормовую часть вклеивают эпоксидной смолой в корпус, к которому крепят фал для системы спасения ступени. Стабилизаторы первой и второй ступеней, изготавливают из целлулоида или фанеры толщиной

Рис. 9. Модель ракетоплана В. Скрипкина.

Площадь крыла $9,24 \text{ дм}^2$; площадь стабилизатора $1,92 \text{ дм}^2$; масса модели без двигателя 80 г ; удельная нагрузка на крыло $8,5 \text{ г/дм}^2$.





1 мм; передней и задней кромкам стабилизаторов придают за-кругленную форму. Готовые детали покрывают двумя-тремя слоями нитролака, а затем обрабатывают наждачной бумагой и окрашивают нитроэмалью. Готовую модель покрывают поли-эфирным лаком.

На первой ступени применяется тормозная лента размером 50×500 мм, а на второй — парашют диаметром 500 мм с полюс-ным отверстием $\varnothing 200$ мм. Для изготовления тормозной ленты и парашюта используют бумагу яркого цвета. Для обеспечения устойчивого полета модели в головную часть загружают 25—30 г дроби. Стартовая масса модели 130—140 г.

Двухступенчатая модель-копия ракеты «Аэроби-100» (рис. 12) — конструктор В. Рожков (СССР). Она проста в изготовле-нии и показывает хорошие спортивные результаты.

Двигатель первой (стартовой) ступени натурной ракеты ра-ботает на твердом топливе, а двигатель второй ступени — на жид-ком. Секции двигателевых отсеков изготовлены из нержавеющей стали. Стабилизаторы обеих ступеней дюралюминиевые, их пе-редняя и боковые кромки острые. Алюминиевый обтекатель го-ловной части конструктивно делится на две части. Линия разъе-ма хорошо видна на рисунке. Ее можно воспроизвести на модели.

Окрашена ракета в белый и черный цвета. Корпуса первой и второй ступеней — белые. Стабилизаторы с одной стороны белого цвета, с другой — черного. Надписи «Аэроби 100» и «Jг» черного цвета имеются на обеих сторонах корпуса второй ступени. Завод-ской порядковый номер ракеты (NRL 51) наносится на стабили-заторы: на белом фоне — черного цвета, на черном — белого (на первой ступени с каждой стороны стабилизатора, а на второй — только на белой).

Масса ракеты 637 кг, потолок с грузом 18 кг — 160 км. Полез-ная нагрузка (от 18 до 45 кг) возвращается на парашюте. Наи-большая длина 7,79 м, длина первой ступени (без переходника) 1,66 м, длина второй ступени 5,87 м, длина головной части 2,10 м, размах стабилизаторов 1,60 м.

С моделью двухступенчатой ракеты «Аэроби-100» можно уча-ствовать в соревнованиях класса S—5-C. По требованиям, предъ-являемым к моделям этого класса, стартовая масса модели долж-на быть не более 120 г, а суммарный импульс двигателей — от 5,01 до 10,0 Н·с.

Модель снабжена двумя двигателями импульсом 5 Н·с каж-дый и изготовляется в масштабе 1 : 15 по отношению к прототипу (масштаб уменьшения определяется наружным диаметром дви-гателей).

Корпус первой ступени склеивают на трубке диаметром 21 мм из двух слоев чертежной бумаги. Обойму для двигателя делают из липы, а переходную ферму из дюралюминия. Стабилизаторы профилированные, их изготавливают из бальзовой пластины тол-

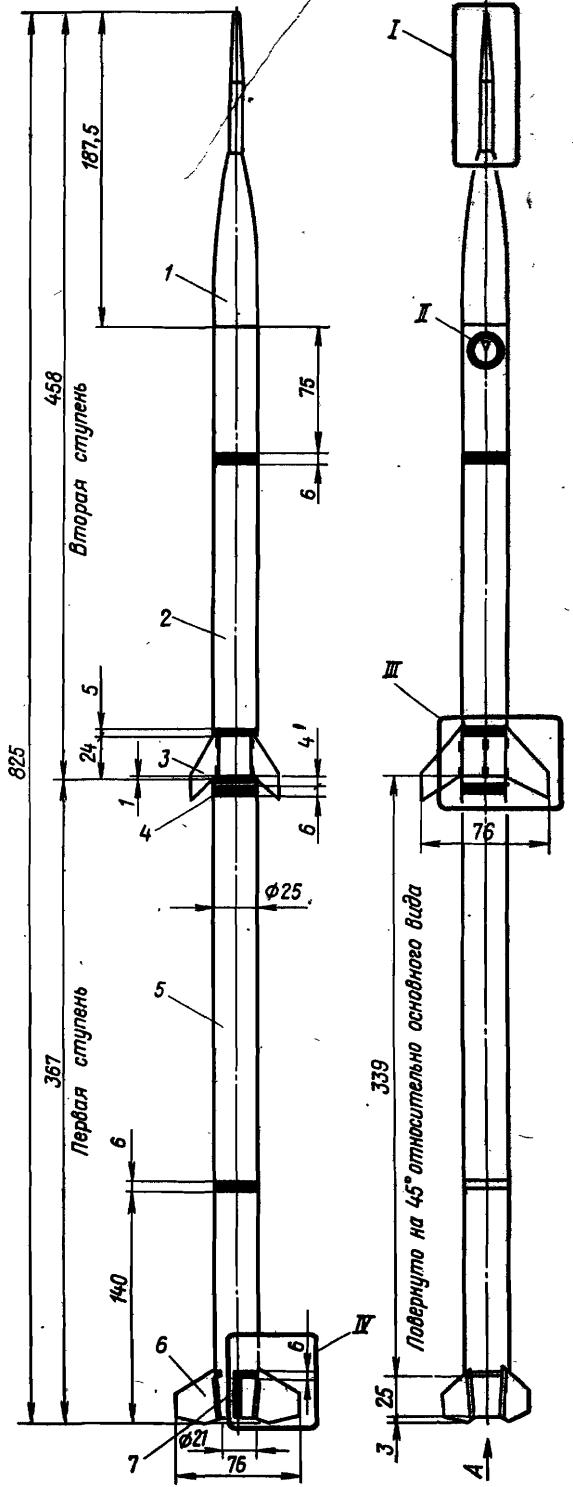


Рис. 11. Модель-копия ракеты М-100.

Основные размеры ракеты М-100: размах оперения 0,76 м; наибольший диаметр корпуса 0,25 м; полная длина 8,25 м; длина первой ступени (с переходником) 3,67 м; длина второй ступени (с головной частью) 4,58 м.
 1 — головная часть; 2 — корпус второй ступени; 3 — стабилизатор второй ступени; 4 — переходник; 5 — корпус первой ступени; 6 — стабилизатор первой ступени; 7 — кормовая часть.

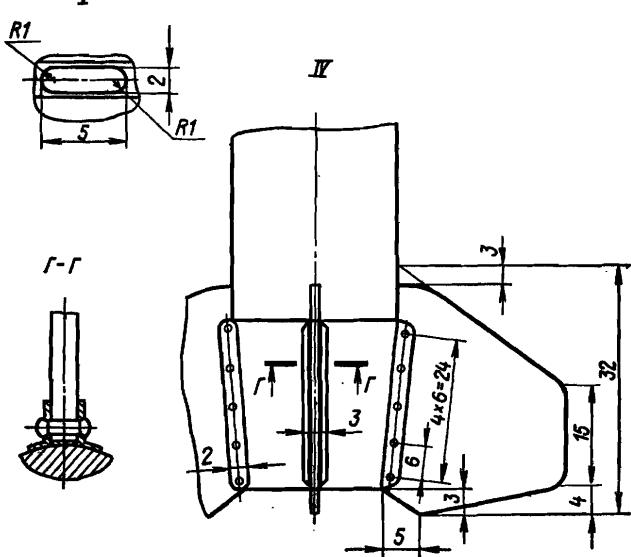
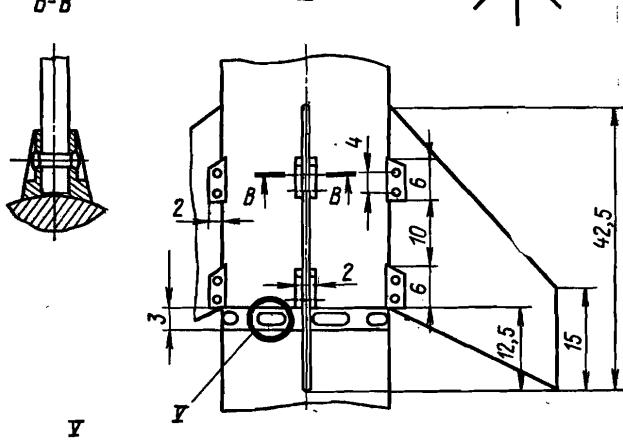
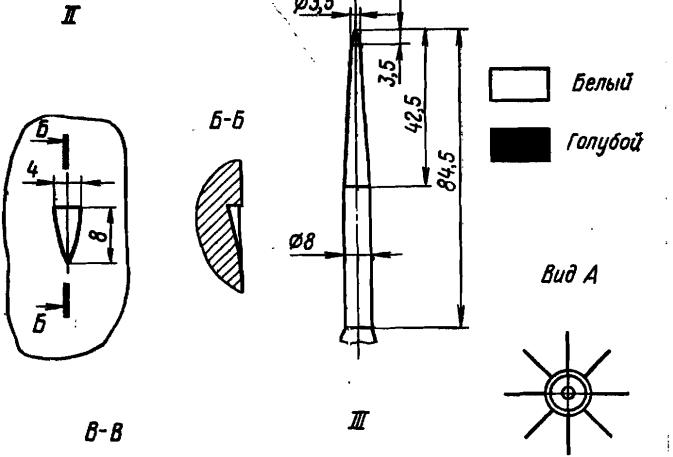
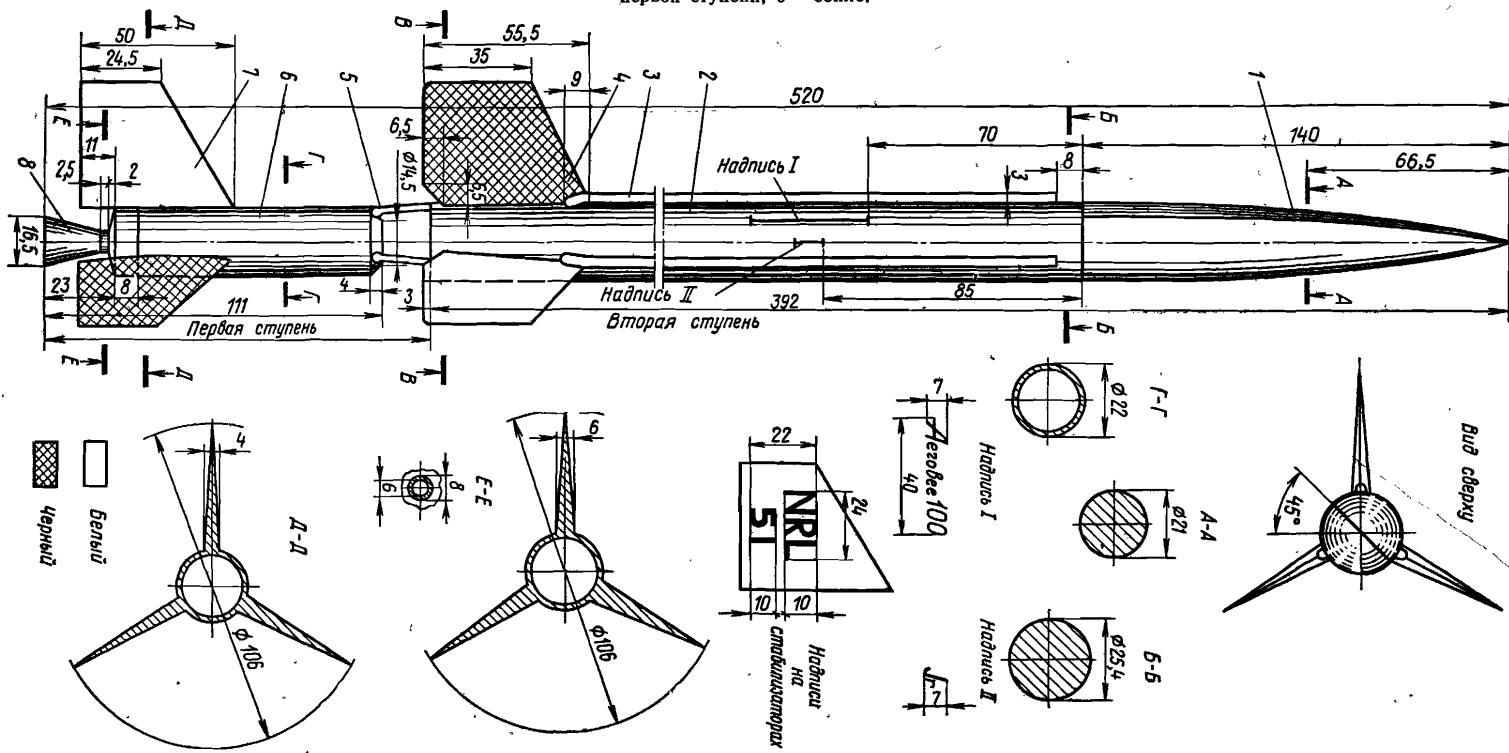


Рис. 12. Модель-копия ракеты «Аэроби-100».

1 — головная часть; 2 — корпус второй ступени; 3 — ребра жесткости; 4 — стабилизаторы второй ступени; 5 — переходная ферма; 6 — корпус первой ступени; 7 — стабилизаторы первой ступени; 8 — сопло.



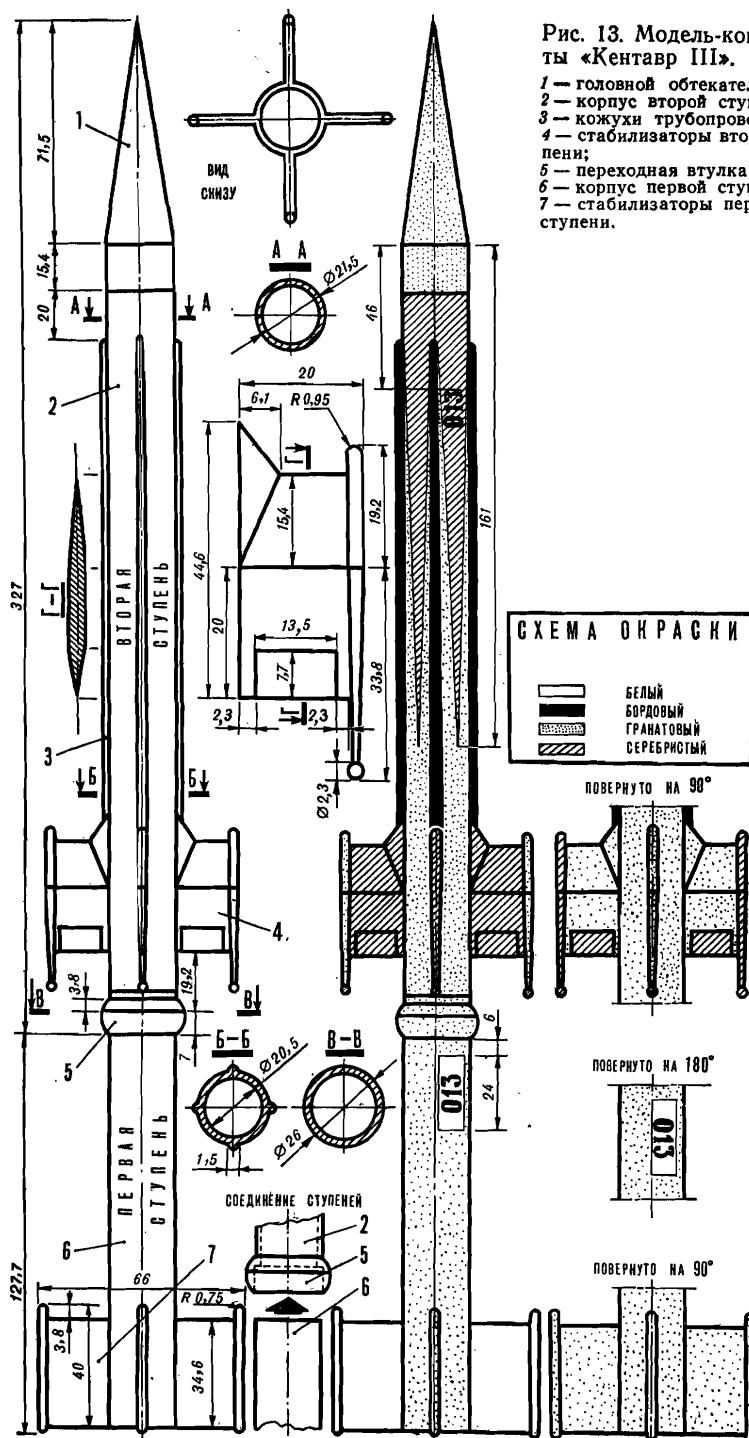


Рис. 13. Модель-копия ракеты «Кентавр III».

- 1 — головной обтекатель;
 - 2 — корпус второй ступени;
 - 3 — кожухи трубопроводов;
 - 4 — стабилизаторы второй ступени;
 - 5 — переходная втулка;
 - 6 — корпус первой ступени;
 - 7 — стабилизаторы первой ступени.

щиной 4 мм и приклеивают встык к корпусу. Масса первой ступени примерно 11 г.

Корпус второй ступени — трубка диаметром 25,4 мм, которая склеивается из двух слоев чертежной бумаги. Стабилизаторы делают из бальзовой пластины толщиной 6 мм, а ребра жесткости из липовых реек сечением 3×3 мм.

Головную часть модели вытачивают из березы. Парашют диаметром 300 мм изготавливают из микалентной бумаги. Масса второй ступени с головной частью и парашютом около 55 г.

Готовую модель окрашивают в белый и черный цвета нитрокраской. Надпись «NRL» лучше сделать по трафарету, а надписи «Аегобе 100» и «Jg» — от руки кисточкой. Стартовая масса модели 116 г.

Модель-копия двухступенчатой ракеты «Кентавр III» (рис. 13) — конструктор В. Рожков. Модель обладает хорошими летными качествами. С ней можно выступать на соревнованиях моделей-копий на высоту (S—5-C) и реализм полета (S—7). Масштаб уменьшения 1 : 13 определяется наружным диаметром двигателя. Модель снабжена двумя двигателями с полным импульсом 5 Н·с каждый.

Двухступенчатая ракета «Кентавр III» работает на твердом топливе. Восемь аэродинамических стабилизаторов (по четыре на каждой ступени) обеспечивают ей хорошую устойчивость в полете. В головном обтекателе размещается измерительная аппаратура с телеметрической системой, предназначенной для передачи информации на землю во время полета. Ракета «Кентавр III» оборудована устройством самоуничтожения при изменении направления полета или каких-либо неполадках. Стартует ракета вертикально со специальной направляющей.

Основные технические данные ракеты: длина 5,91 м, диаметр 0,28 м, размах стабилизаторов I ступени 0,859 м, размах стабилизаторов II ступени 0,80 м. Стартовая масса 437 кг. Полезная нагрузка 30—90 кг, потолок 125—245 км, время полета 180—250 с.

Корпуса первой и второй ступеней модели клеят на оправке диаметром 20,5 мм из двух слоев чертежной бумаги. Переходную втулку вытачивают из липы на токарном станке, а внутри нее рассверливают отверстие диаметром 21,5 мм. После этого готовую втулку приклеивают на нижнюю часть корпуса второй ступени смолой ЭД-5.

Стабилизаторы первой ступени изготавливают из липовых пластин толщиной 1,5 мм; их профилируют и приклеивают к корпусу нитроклеем. Масса первой ступени без двигателя 15 г. Стабилизаторы второй ступени, так же как и первой, изготавливают из липовых пластин. Их профиль показан на рисунке. Обтекатели стабилизаторов вытачивают на токарном станке. Кожухи трубопроводов делают из липовых или сосновых реек.

В головной обтекатель модели, который вытачивается из бе-

резы, загружают 10—12 г свинца для балансировки. Парашют имеет диаметр 300 м, его делают из бумаги. Масса второй ступени 53 г.

После сборки модель покрывают несколькими слоями нитролака, зачищают наждачной бумагой и прошпаклевывают.

Окраска модели (см. рисунок) требует особой аккуратности. Вначале наносят белую краску, затем, закрыв окрашенные места клейкой лентой, — краску другого цвета и, наконец, серебристую. Алюминиевая пудра, применяемая для этого, хорошо перекрывает другие цвета.

«Восток» — так называлась серия одноместных космических кораблей, предназначенных для полетов по околоземной орбите. «Восток» имел сферический спускаемый аппарат, являющийся одновременно кабиной космонавта, и приборный отсек с бортовой аппаратурой и тормозной двигательной установкой. Масса корабля с последней ступенью ракеты-носителя составляла 6,17 т, длина — 7,35 м, масса последней ступени — 4,75 т, масса спускаемого аппарата — 2,4 т, диаметр — 2,3 м. Космические корабли «Восток» выводились на орбиту трехступенчатой ракетой-носителем с шестью двигателями общей мощностью 20 млн. л. с.

Модель-копия ракеты-носителя космического корабля «Восток» (рис. 14) в масштабе 1 : 100 имеет длину 380 мм. Корпус ее изготавливают из чертежной бумаги, переходную ферму — из дюралюминия, носовой конус — из березы, обтекатели и наружные детали модели (трубопроводы, штепсельные разъемы и др.) — из липы, парашют — из микалентной бумаги диаметром 350 мм.

Масса модели без двигателей 135 г. Используется она для соревнований на реалистичность полета (С—7). В одноступенчатом варианте модели применяются три двигателя с полным импульсом 10 Н·с.

Собранную модель покрывают нитроклеем, зашпаклевывают и зачищают мелкой наждачной бумагой, а затем окрашивают белой нитрокраской. Надписи «СССР» и «Восток» наносят красной краской.

При постройке модели особое внимание следует обратить на расположение центра тяжести. Центр тяжести модели в стартовом положении должен находиться на расстоянии 180 мм от нижнего среза сопел. Высота полета модели 250—300 м.

Автомат принудительной посадки (рис. 15) — конструктор мастер спорта СССР А. Гаврилов — позволяет ограничивать время полета в зависимости от условий соревнований.

Размещено приспособление в головном обтекателе. Обтекатель, состоящий из двух частей, нижней и верхней, изготавливают на токарном станке из липы. Внутри нижней части просверливают отверстие диаметром 7 мм и обклеивают его станиолем. В отверстие вставляют фитиль и дополнительный вышибной заряд.

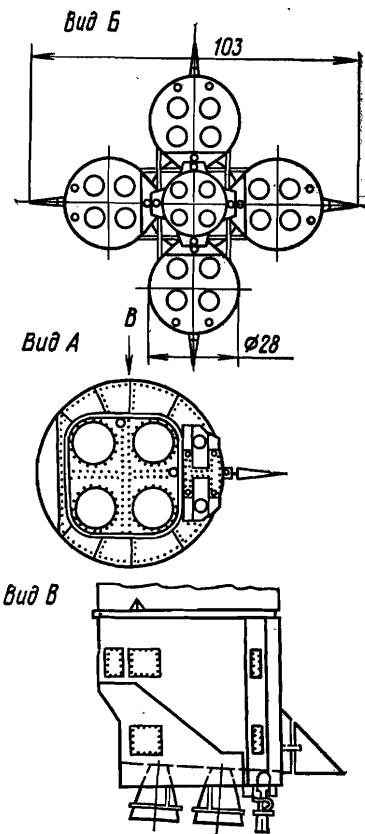
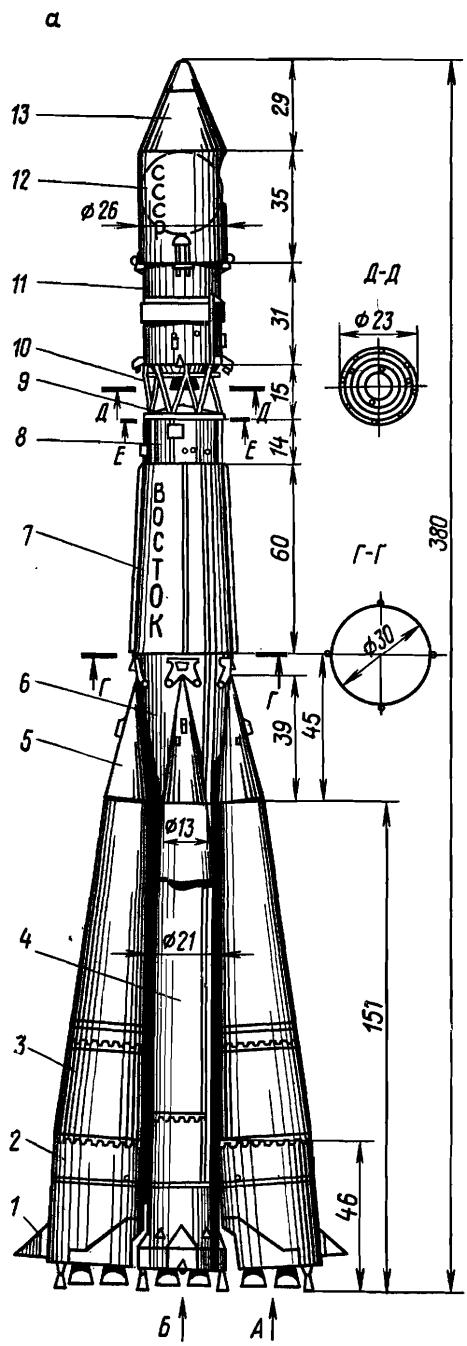
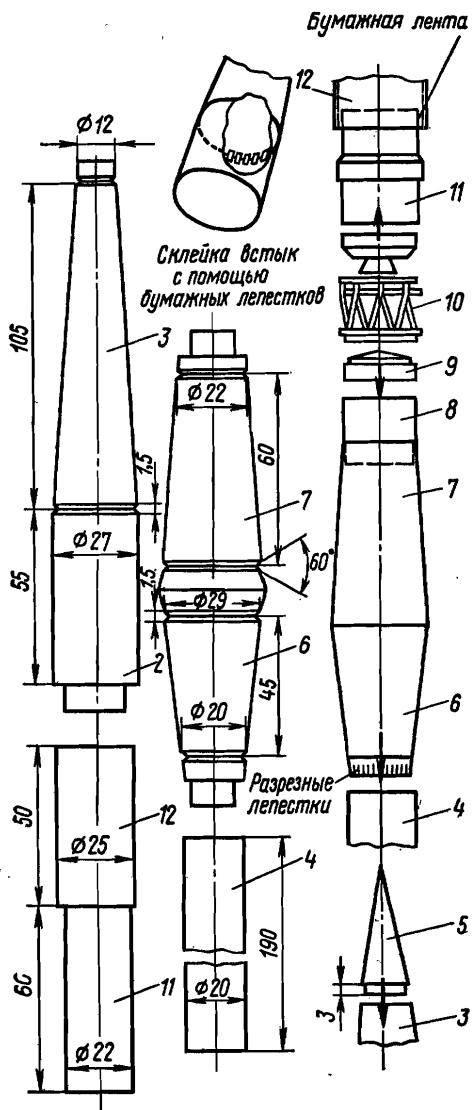


Рис. 14. Модель-копия ракеты-носителя космического корабля «Восток» (СИОТ, г. Электросталь).

a — общий вид; *b* — элементы конструкции и оправки для деталей корпуса.

1 — стабилизатор (4 шт.); 2 — цилиндр бокового блока (4 шт.); 3 — конус бокового блока (4 шт.); 4 — центральный блок; 5 — обтекатель бокового блока (4 шт.); 6 — нижний конус; 7 — верхний конус; 8 — втулка; 9 — бобинка; 10 — переходная ферма; 11 — корпус третьей ступени; 12 — обтекатель космического корабля; 13 — конус обтекателя.



Снизу делают расточку диаметром 15 мм и глубиной 20 мм, куда вклеивают пробку из пенопласта. Через получившуюся петлю продевают стропы парашюта. Две силовые стропы крепят к нижней части. Верхнюю часть обтекателя вставляют в нижнюю, сохранив обтекаемую форму, и крепят их фиксатором.

Длину фитиля подбирают с учетом того, что 1 см фитильного шнуря горит в течение 60 с. Верхнюю часть обтекателя снимают, поджигают фитиль, затем ее закрывают и фиксируют. После

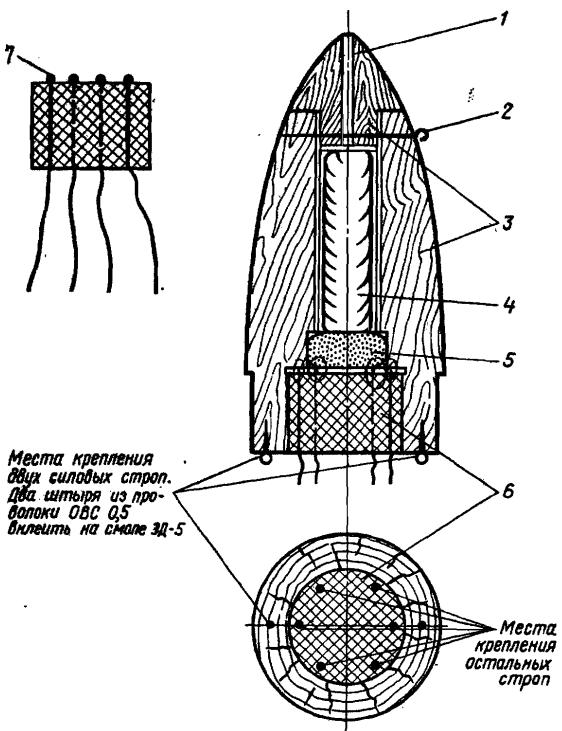


Рис. 15. Автомат принудительной посадки.

1 — отверстие диаметром 1 мм; 2 — фиксатор; 3 — верхняя и нижняя части обтекателя; 4 — фитиль; 5 — вышибной заряд; 6 — пробка (пенопласт); 7 — стропы.

этого модель стартует. Для нормального горения фитиля в верхней части корпуса делают отверстие диаметром 1 мм.

После сгорания фитиля срабатывает вышибной заряд, который пережигает стропы в месте их крепления, и модель опускается на землю.

Разрядные нормы и условия их выполнения

1. Выполнение разрядных норм считается действительным при условии проведения соревнований по правилам, утвержденным Федерацией авиамодельного спорта СССР.

2. Выполнение разрядных норм I разряда считается действительным на соревнованиях не ниже областного масштаба, II и III разрядов — на соревнованиях не ниже районного масштаба, а юношеских разрядов — на любых соревнованиях.

3. Более высокий разряд присваивается только тем спортсменам, которые имеют предшествующий разряд.

4. I, II и III, а также юношеские разряды присваиваются с 12 лет.

Разрядные нормы по ракетомодельному спорту приведены в табл. 1.

Таблица 1

Разрядные нормы по ракетомодельному спорту в СССР

№ п/п	Класс моделей	Характеристика	Разряды					
			Юношеские			I	II	III
			I	II	III			
1	S — 1-A	На высоту полета	400	350	300	250	200	150
2	S — 1-B	(модели ракет), м	500	450	400	350	300	200
3	S — 1-C		550	500	450	400	350	300
4	S — 1-D		650	600	550	500	450	350
5	S — 2-A	На высоту полета с грузом ФАИ (модели ракет), м	400	350	300	250	200	150
6	S — 3-A	На продолжительность полета с парашютом (модели ракет), очки	500	400	300	240	180	120
7	S — 3-B		750	600	500	350	200	180
8	S — 3-C		1150	950	800	600	400	240
9	S — 3-D		1300	1100	900	700	500	300
10	S — 4-A	На продолжительность полета (ракетопланы открытого типа), очки	200	150	100	70	50	35
11	S — 4-B		300	250	200	150	100	60
12	S — 4-C		400	300	200	150	100	60
13	S — 4-D		500	350	200	150	100	60
14	S — 4-E		500	350	200	150	100	60
15	S — 5-A	На высоту полета	950	900	850	800	750	600
16	S — 5-B	(модели-копии), очки	1000	950	900	850	800	680
17	S — 5-C		1150	1100	1050	1000	950	720
18	S — 5-D		1250	1200	1150	1100	1000	780
19	S — 5-E		1350	1300	1250	1200	1150	820
20	S — 6-A	На продолжительность полета с тормозной лентой (модели ракет), очки	200	180	150	100	60	30
21	S — 6-B		350	250	180	120	90	45
22	S — 6-C		450	300	200	150	100	60
23	S — 6-D		500	400	300	200	120	90
24	S — 7	На реализм полета (модели-копии), очки	1300	1200	1100	1000	900	800
25	S — 8	Радиоуправляемый ракетоплан, очки	900	800	700	600	500	400
26	S — 9	Ракетоплан контейнерного типа, очки	900	750	600	450	300	240

Технические данные выпускаемых в СССР двигателей для моделей ракет

В табл. 2 указаны технические данные выпускаемых в СССР ракетомодельных двигателей.

Таблица 2

Технические данные выпускаемых в СССР двигателей для моделей ракет

Маркировка двигателя	Наружный диаметр, мм	Длина, мм	Масса двигателя, г	Масса топлива, г	Максимальный полный импульс, Н·с	Максимальная тяга, Н	Средняя тяга Н	Время работы, с	Время горения зажигателя, с
МРД — 2,5-3-0	13	55	6—7	2,5	2,5	11	3	0,7	0
МРД — 2,5-3-3	13	55	6—7	2,5	2,5	11	3	0,7	3
МРД — 2,5-3-6	13	55	6—7	2,5	2,5	11	3	0,7	6
МРД — 5-3-0	13	55	9,5—11	5	5	11	3	1,4	0
МРД — 5-3-3	13	55	9,5—11	5	5	11	3	1,4	3
МРД — 5-3-6	13	55	9,5—11	5	5	11	3	1,4	6
МРД — 5-8-0	18,6	70	17—19	5	5	18	8	0,6	0
МРД — 5-8-4	18,6	70	17—19	5	5	18	8	0,6	4
МРД — 10-8-0	18,6	70	23—25	12	10	18	8	1,3	0
МРД — 10-8-4	18,6	70	23—25	12	10	18	8	1,3	4
МРД — 10-8-7	18,6	70	23—25	12	10	18	8	1,3	7
МРД — 10-10-0	20,25	70	25—27	12	10	25	10	1,0	0
МРД — 10-10-4	20,25	70	25—27	12	10	25	10	1,0	4
МРД — 10-10-7	20,25	70	25—27	12	10	25	10	1,0	7
МРД — 20-10-0	20,25	85	37—40	25	20	25	10	2,5	0
МРД — 20-10-4	20,25	85	37—40	25	20	25	10	2,5	4
МРД — 20-10-7	20,25	85	37—40	25	20	25	10	2,5	7

КРАТКИЙ ТОЛКОВЫЙ СЛОВАРЬ РАКЕТОМОДЕЛИСТА

Акселерограф — прибор, служащий для регистрации значений ускорения полета ракеты.

Акселерометр — прибор для измерения ускорений.

Асбест — изоляционный жаростойкий и кислотоупорный материал (минеральное волокно). Используется для теплоизоляции ракетомодельных двигателей.

Атмосфера техническая — единица давления, соответствующая действию силы 1 кГ на 1 см². Сокращенные обозначения: ат = кГ/см²) (даН/см²) и 1 ат = $0,981 \cdot 10^5$ Н/см².

Атмосфера физическая — единица давления, равная 1,033 технической атмосферы (ат). Сокращенное обозначение: 1 атм = 760 мм рт. ст. = 101 325 Н/м².

Аэродинамика — один из разделов гидромеханики, в котором изучаются законы движения воздушной среды и ее силового взаимодействия с движущимися в ней твердыми телами.

База — известное расстояние между двумя точками; используется для расчетов высоты полета моделей.

Балласт — дополнительный груз, предназначенный для регулирования положения центра тяжести ракеты.

Баллистика — наука о движении твердых тел (в том числе ракет) в газообразной среде. Применительно к ракетной технике внутренняя баллистика занимается процессами, протекающими внутри ракетного двигателя, а внешняя баллистика — закономерностями движения ракеты в воздушной среде и космическом пространстве. Тела, перемещающиеся в пространстве свободно, без действия силы (например, брошенный мяч, спутник), движутся по баллистическим траекториям.

Баллистическая кривая — траектория, по которой движется ракета с неработающим двигателем, не оборудованная несущими поверхностями.

Бальза — тропическое древовидное растение, распространенное в Южной Америке, очень легкое (удельный вес от 0,15 до 0,25 г/см³). Широко используется в авиа- и ракетомоделизме. Применяется в виде реек и шпона. Отдельные сорта бальзы различаются цветом, твердостью и прочностью.

Бункер управления — укрытие для обеспечения безопасности обслуживающего персонала, управляющего подготовкой к запуску и стартом ракеты.

Буссоль — прибор для отсчета азимутов. Используется в прицелах для угловых измерений.

Воспламенение — распространение пламени по всей поверхности горения топлива.

Воспламенитель — устройство (обычно электрическое), обеспечивающее воспламенение топлива в камере сгорания.

Вывешивание (балансировка) — совокупность операций, связанная с регулированием центра тяжести ракеты.

В(ы)ключатель — механическое или электрическое устройство, обеспечивающее включение или выключение электрической цепи, отделение ступеней ракеты, срабатывание парашюта и т. п. Чаще всего используются безынерционные (например, ртутные) выключатели.

Головная часть — передняя часть ракеты, спроектированная так, чтобы при ее полете обеспечивалось минимальное сопротивление. Головная часть модели ракеты обычно используется для размещения полезной нагрузки, в том числе измерительных приборов.

Горение неустойчивое — неравномерная работа ракетного двигателя, который периодически работает нормально, потом гаснет и снова возвращается к нормальной работе.

Горение резонансное — быстрое и резкое периодическое изменение величины давления в камере сгорания (отклонения достигают примерно 50% от среднего значения), что часто приводит к разрушению двигателя. Это явление связано с резонансом колебаний высокой частоты.

Дальность полета — расстояние, пролетаемое ракетой от точки старта до точки падения.

Динамометр — устройство для измерения силы (например, силы тяги).

Дистанционное управление ракетой — последовательность операций по передаче радиосигналов на приемное бортовое устройство ракеты с последующим управлением через реле различными бортовыми устройствами и механизмами (например, включением объектива фотоаппарата). Инициирование воспламенителя с помощью радиосигналов не рекомендуется в связи с опасностью случайного запуска от посторонних сигналов.

Длина полная — длина ракеты от передней точки носового обтекателя до хвоста (донного среза ракеты или торцевой поверхности стабилизаторов).

Длина пусковой установки эффективная — длина пусковой установки, на которой происходит контролируемый разгон ракеты.

Зажигание — процесс инициирования воспламенения топлива в результате передачи теплового импульса топливу от воспламенителя.

Имитатор — наземное механическое или электронное устройство, моделирующее процессы, протекающие при старте и полете ракеты. Может использоваться для тренировок или проверок ракет новой конструкции.

Импульс полный — произведение средней тяги на время работы двигателя. Измеряя тягу в кГ (Н), а время работы двигателя в с, полный импульс определяют в кГ·с или Н·с.

Импульс удельный — импульс силы тяги, который можно получить при сжигании 1 кг топлива в течение 1 с; измеряется в кГ·с/кг или Н·с/кг.

Калибр — максимальный диаметр корпуса ракеты.

Камера сгорания — полость ракетного двигателя, в которой происходит воспламенение и сгорание топлива.

Кинетодолит — прибор для измерений траектории ракеты и ее ориентации в пространстве, а также для наблюдений, например, отделения ступеней ракеты.

Компрессор — устройство, предназначенное для сжатия воздуха до заданного давления. Простейшим компрессором может быть велосипедный насос, используемый для подготовки к запуску игрушечных гидропневматических моделей ракет.

Коробление — искривление тонкостенной конструкции, например, стабилизаторов или корпуса ракеты. Оказывает неблагоприятное влияние на полет ракеты.

Корпус ракеты — часть конструкции ракеты, объединяющая ее элементы в одно целое и обеспечивающая крепление двигателя, головной части, топливных емкостей и т. д.; обычно имеет форму трубы или цилиндрической тонкостенной обшивки, подкрепленной шпангоутами.

Критическое сечение сопла (горловина) — площадь минимального попечечного сечения сверхзвукового сопла.

Лента тормозная (стример) — полоса ткани, пленки или бумаги (с отношением сторон $\sim 1:10$), применяемая для безопасного возвращения моделей ракет на землю.

Масса — физическая характеристика материи, являющаяся выражением и мерой одновременно гравитационных свойств материи и ее инерционных свойств, проявляющихся и в состоянии невесомости. Выражается отношением силы тяжести (например, ракеты) к ускорению земного тяготения.

Масса полезная (полезный груз) — полезная нагрузка, которую в состоянии нести ракета.

Масса полная — масса ракеты с топливом и оборудованием.

Масса собственная — масса конструкции ракеты (без топлива).

Масса стартовая — масса ракеты, готовой к старту.

Моделизм ракетный — изготовление в определенном масштабе моделей ракет с использованием соответствующих материалов, например дерева, бумаги и т. д.; участие в соревнованиях с моделями ракет в соответствии с правилами ФАИ.

Обшивка — поверхностное покрытие ракеты, в частности корпуса, имеющего несплошную конструкцию. Типовым примером такой конструкции является корпус ракеты, выполненный из чертежной бумаги, свернутой в трубку и склеенной без использования дополнительных силовых элементов.

Окислитель — обычно кислород или кислородсодержащее вещество, которое вступает в реакцию окисления с другими веществами. Наряду с горючим входит в состав топлива.

Отделение (разделение) — процесс отbrasывания использованных ступеней или других элементов ракеты.

Отношение масс — отношение начальной массы, которую ракета имела при старте, к конечной массе, соответствующей полному выгоранию топлива.

Отражатель пламени — стальной лист, размещаемый под ракетой на пусковом столе.

Отсек (контейнер) — место внутри ракеты, предназначенное для размещения оборудования, например сложенного парашюта.

Парашют — приспособление, снижающее скорость падения удерживаемого им объекта. Используется для благополучного возвращения на землю ракеты или приборного контейнера.

Пенопласт — синтетический твердый пористый материал. Удельный вес различных сортов 0,02, 0,075, 0,13 г/см³. Применяется вместо бальзы для изготовления корпусов моделей ракет. Обладает низкотемпературной устойчивостью; может быть использован до температуры 65°C.

Пиротехника — дословно «искусство получения огня»; включает методы получения и использования пиротехнических составов для создания световых, тепловых, дымовых и т. п. эффектов.

Пиротехническая смесь — смесь неорганического окислителя и органического горючего. Горючее является связующим элементом, в котором распределен окислитель. Обычно представляет собой тестообразный материал.

Плечо управления — расстояние от центра управляющей поверхности до оси управления ракеты.

Полигон ракетный — площадка, на которой проводятся летные испытания ракет.

Порох — взрывчатый материал фугасного действия. Типовой состав пороха — 75% калиевой селитры, 15% древесного угля и 10% серы.

Потолок — максимальная высота, на которую может подняться ракета; зависит от различных параметров, в том числе от тяги двигателя.

Ракета — летательный аппарат, который может двигаться как в земной атмосфере, так и в космическом пространстве под действием силы тяги, создаваемой ракетным двигателем, в котором сжигается топливо.

Ракета любительская — ракета упрощенной конструкции, снабженная разнообразным оборудованием для измерения различных характеристик. Ракеты такого типа используются в учебных целях и для выполнения простейших исследований.

Ракета многоступенчатая — ракета, состоящая из нескольких блоков, каждый из которых имеет собственную двигательную установку. Самый мощный (запускаемый первым) из блоков называется первой ступенью или ускорителем. Благодаря лучшему отношению масс такой ракеты ее последняя ступень достигает значительно большей высоты полета, чем аналогичная одноступенчатая ракета.

Ракета модельная (модель ракеты) — простейшая небольшая ракета, снабженная двигателем.

Ракета опытная (исследовательская) — ракета, предназначенная для испытания новой конструкции, топлива и т. п. или для проведения специальных исследований в полете, например для измерения характеристик приземного или высотного ветра.

Ракетоплан — летательный аппарат с ракетным двигателем, снабженный поверхностями, создающими подъемную силу. Стартует как ракета, а на землю возвращается с использованием несущих поверхностей, например крыльев.

Рассеивание точек падения — каждая неуправляемая ракета вследствие разброса характеристик ветра, собственных характеристик и др. падает на землю в точке, обладающей случайными характеристиками. В соответствии с теорией вероятности Гаусса возможные точки падения образуют эллипс рассеивания с продольной осью, направленной вдоль траектории полета или перпендикулярно к ней в зависимости от угла запуска ракеты.

Реле — управляющее устройство, позволяющее с помощью слабых сигналов управлять контурами большой мощности. Используются реле электромагнитные, электронные, пневматические и др.

Решетка сопловая (колосяник) — разделительная сетка, удерживающая топливо в камере сгорания и предотвращающая застревание кусков топлива в горловине сопла.

Связующее — вяжущий материал, используемый в качестве добавки при изготовлении пиротехнических составов. Обычно в качестве связующего вещества используется смола природная (шеллак, битум, канифоль) либо синтетические материалы (бакелит).

Селитра калиевая (KNO_3) — нитрат калия, индийская селитра, одна из составляющих пороха.

Сера (S) — минерал яркожелтого цвета, служащий для приготовления черного пороха и пиротехнических составов. Используется сера кусковая и порошкообразная. Атомное число 16; атомная масса 32,066; температура плавления 112,8°C; плотность 2,00 г/см³.

Скорость горения — скорость, с которой горит топливо в зависимости от его состава, плотности, начальной температуры и давления окружающей среды. Самую большую скорость горения имеют магний и черный порох.

Скорость истечения — скорость частиц продуктов сгорания на выходе из сопла двигателя. Скорость истечения равна произведению удельного импульса на ускорение силы тяжести.

Сопло (сопло Лаваля) — выходная часть ракетного двигателя, через которую истекают продукты сгорания.

Стабилизаторы — неподвижные плоскости определенной площади, размещаемые на корпусе ракеты и обеспечивающие ей необходимую устойчивость в полете.

Стекло жидкое — водный раствор кремниекислого натрия. Бесцветная густая жидкость, используемая для пропитки корпусов моделей ракет с целью придания им жаростойкости.

Стенд испытательный — сооружение, используемое для статических (огневых) испытаний ракет и двигателей с целью определения их характеристик, например тяги, времени горения топлива и т. д.

Стопин — хлопчатобумажный шнур, пропитанный зажигательной смесью; применяется для воспламенения топлива двигателей ракетных моделей.

Струя выхлопная (струя реактивная) — поток продуктов сгорания (газообразных и других), истекающих из сопла ракетного двигателя.

Телеметрия — техника выполнения измерений на расстоянии или передачи их результатов.

Тензометр сопротивления — датчик, наклеиваемый на исследуемую поверхность, например камеру сгорания ракеты. Позволяет измерять силы, дав-

ления, ускорения и т. п. Тензометр сопротивления состоит из нескольких проволочных сопротивлений, соединенных проводами с электронной аппаратурой. Тензометрические измерения проводятся с помощью преобразующих устройств. Например, для измерения силы, действующей в сжатом, растянутом или изогнутом элементе конструкции, измеряют соответствующие напряжения. Тензометры широко используются в ракетной технике.

Теодолит — оптический прибор, предназначенный для измерения углов в горизонтальной и вертикальной плоскостях.

Теплота сгорания — тепло, выделяющееся при сгорании одного кг жидкого или твердого топлива.

Топливо ракетное — вещество или несколько веществ (горючее и окислитель), химическая энергия которых в результате реакции горения в ракетном двигателе преобразуется в энергию реактивной струи.

Траектория баллистическая — часть траектории полета ракеты после прекращения работы двигателя, когда на ракету действуют только сила тяжести, собственное количество движения и атмосфера. Например, траектория полета пули после ее выхода из ствола представляет собой баллистическую траекторию.

Траектория полета — линия, соединяющая точки в пространстве, последовательно занимаемые ракетой при ее полете от точки старта до точки падения.

Трасса баллистическая — участок пространства вдоль возможных траекторий полета, в котором производится измерение летных характеристик ракет, таких, как скорость, дальность, высота, устойчивость и т. п.

Трассер — приспособление, устанавливаемое на ракете и выпускающее дым (либо порошок, жидкость и т. п.) во время полета. Облегчает слежение за траекторией полета.

Тяга — сила, создаваемая продуктами сгорания, истекающими из двигателя и вызывающая движение ракеты; выражается в кГ или Н.

Угол старта — угол, под которым устанавливаются направляющие пусковой установки по отношению к горизонтальной плоскости. С точки зрения безопасности, а также для обеспечения максимальной высоты и дальности оптимальными являются углы старта в диапазоне 70—80°.

Удлинение — отношение длины ракеты к ее диаметру (калибру). Оказывает влияние на устойчивость и лобовое сопротивление ракеты. Большему удлинению ракеты соответствует меньшее сопротивление.

Ускорение — приращение скорости в единицу времени. Размерность м/с².

Установка пусковая — наземное приспособление, с помощью которого производится старт ракеты. Состоит из направляющих, по которым движется при старте корпус ракеты, платформы (стола) и рамы, обеспечивающей жесткость.

Фототеодолит (баллистическая камера) — прибор, обеспечивающий детальные измерения траектории ракеты с помощью стереоскопических снимков. Измерения обычно производят ночью, при этом ракета должна быть оборудована источником света.

Целлулоид — синтетический легковоспламеняющийся материал (получается при воздействии азотной кислоты на целлюлозу с добавлением камфорного пластификатора); используется в моделях ракет, например для изготовления смотровых окон и стабилизаторов.

Число Macha — безразмерная величина, представляющая собой отношение скорости движения к скорости звука в этой же точке.

Шнур запальный — плетеный хлопчатобумажный шнур, используемый для зажигания топлива. Для лучшего горения может быть пропитан водным раствором соли или селитры.

Эжектор — приспособление для увеличения тяги ракетного двигателя. Представляет собой дополнительное кольцевое сопло, в котором ускоряются истекающие из двигателя газы.

УВАЖАЕМЫЙ ЧИТАТЕЛЬ!

Ваши замечания о содержании книги, ее оформлении, качестве перевода и другие просим присыпать по адресу: 129820, Москва, И-110, ГСП, 1-й Рижский пер., д. 2. Изд-во «Мир».

ИБ № 1959

П. Эльштейн

КОНСТРУКТОРУ МОДЕЛЕЙ РАКЕТ

Редактор Ю. Воронов

Художник С. Стуликов

Художественный редактор В. Бисенгалиев

Технический редактор Е. Потапенкова

Корректоры А. Рыбальченко, М. Смирнов

Сдано в набор 21.10.77. Подписано к печати 25.04.78.
Формат 60×90^{1/16}. Бумага типографская № 2. Гарни-
тура латинская. Печать высокая. Объем 10 бум. л.,
20 печ. л., уч. изд. л. 19,89. Тираж 85 000 экз.
Зак. 819. Цена 1 р. 50 к.

ИЗДАТЕЛЬСТВО «МИР»

Москва, 1-й Рижский пер., 2

**Ярославский полиграфкомбинат Союзполиграфпрома
при Государственном комитете Совета Министров
СССР по делам издательств, полиграфии и книжной
торговли. 150014. Ярославль, ул. Свободы, 97.**