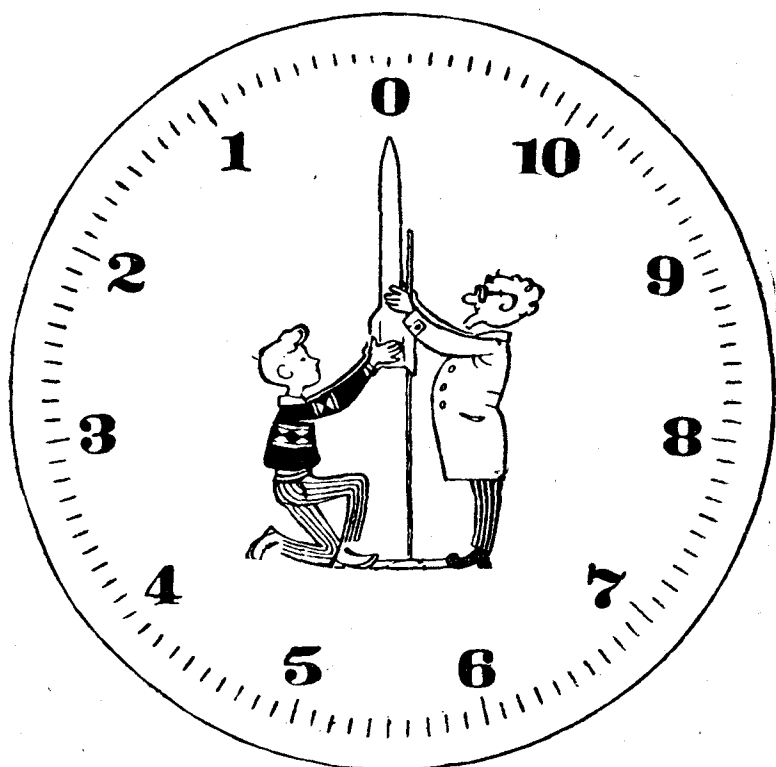


ВСЕВОЛОД КАНАЕВ





КЛЮЧ-НА СТАРТ!

Поворот ключа, и все готово к старту. Модель ракеты слегка покачивается на тонком стержне направляющей. Ракетомоделист занес руку над кнопкой пуска и внимательно слушает последние секунды счета, обратного счета, как это принято в настоящей ракетной технике:

Десять, девять, восемь... три, два, один... пуск!

10

Лунные координаты космических первопроходцев. — Модели ракет, какие они? — Чья модель лучше? — Почему летит ракета? — От лодки без весел до модели. — Осторожно: ракеты! «Нельзя» в ракетном моделизме



Человек начал мечтать, как только стал «разумным и мыслящим». Мечтал о торжестве полета, глядя на парящих птиц и порхающих насекомых. Мечтал о крыльях, изобретая все новые и новые машины. Мысль его становилась все отважнее и смелей. И вот он сделал ракету, которая несколько не похожа на птичье крыло. У кого же впервые мелькнула дерзкая мысль — «оседлать» огонь? Кто превратил фантазию в научный расчет, а расчеты в космический корабль?

Имена тех, чьей мечтой и чьими трудами начался космический век, получили постоянную прописку на карте Луны. Ими названы кратеры и кратерные цепочки, моря и обширные впадины — талассоиды. Память о них человечество сохранит на вечные времена.

Кратер «ВАН ГУ»

Китай, начало XVI века. Здесь уже известны порох и ракеты. «Огненные стрелы» еще в XIII веке спасли осажденный монголами гарнизон города Пьен-Кинг. А сейчас изобретатель Ван Гу испытывает невиданный аппарат, который должен поднять его в воздух. Ван Гу разместился на сиденье посреди двух коробчатых змеев, к которым крепятся сорок семь ракет. По команде сорок семь слуг зажигают их. Раздается взрыв и... Изобретатель погибает. Так печально закончилась одна из первых попыток приручить огненную стрелу.

Кратер «СИРАНО де БЕРЖЕРАК»

Прошло еще сто лет. Французский писатель Сирано де Бержерак вновь возвращается к идее ракетного по-

лета. На этот раз он предлагает совершенно невероятную вещь: снабдить порохowymi двигателями колесницу для путешествия к Луне. Даже для фантастической литературы такое предложение необыкновенно — пройдет еще целых два столетия, но соотечественник Бержеерака гигант фантастики Жюль Верн так и не решится отправить своих героев к Луне на ракете.

Талассоид «КИБАЛЬЧИЧ»

— Встать! Суд идет!..

На скамье подсудимых шестеро. 1 марта 1881 года они привели в исполнение свой приговор ненавистному самодержцу Александру II. Дает показания бывший студент Института инженеров путей сообщения Николай Иванович Кибальчич. Он рассказывает об устройстве изобретенной им бомбы. Военные эксперты удивлены, они нигде не встречали такой оригинальной и простой конструкции. Они задают вопросы, интересуются деталями. Приходится вмешаться судье: вся процедура больше напоминает университетскую лекцию, чем суд над царевубийцей.

Ученый или революционер?.. Кибальчич предпочел бороться против тиранов. Способности ученого он направил на то, чтобы изобрести бомбу, которой был казнен российский император. Работая со взрывчатыми веществами, Кибальчич пришел к мысли использовать силу взрыва для полета человека. Но революционные дела не позволяли ему всецело отдаться науке. И только в камере смертников Николай Иванович находит время составить свое завещание родине и человечеству — проект ракетного воздухоплавательного аппарата.

Кратер «ЦИОЛКОВСКИЙ»

Керосиновая лампа отбрасывает резкие тени на стены комнаты и освещает чернильный прибор и листы, разбросанные по столу. Перо бежит по бумаге, оставляя за собой слова!

«В качестве исследователя атмосферы предлагаю реактивный прибор, т. е. род ракеты, но ракеты грандиозной и особенным образом устроеной. Мысль не новая, но вычисления, относящиеся к ней, дают столь замечательные результаты, что умалчивать о них было бы недопустимс».

Константин Эдуардович Циолковский устало откидывается на спинку стула и долго смотрит в окно на краешек бледнеющего утреннего неба. Он еще не знает, что книга «Исследование мировых пространств реактивными приборами», которую он пишет, станет программой его большой и нелегкой жизни. Пройдут годы, и в скромном учителе из провинциальной Калуги весь мир признает основоположника современной ракетной техники и космонавтики.

Кратер «КОНДРАТЮК»

Фашистские полчища рвутся к столице. Отступать некуда — позади Москва. Плечом к плечу с бойцами Красной Армии сражаются отряды народного ополчения. В одном из них Юрий Васильевич Кондратюк.

Еще в 1916 году девятнадцатилетний Кондратюк, не зная трудов Циолковского, провел оригинальное исследование, доказывающее возможность полета в мировые пространства на ракете. «Я хотя и был отчасти разочарован тем, что основные положения открыты мной вторично, — говорил впоследствии Юрий Васильевич, — но в то же время с

тельность взлета от момента запуска до момента падения — 18 секунд. Высота вертикального подъема около 400 метров...»

Это выдержка из акта, составленного 17 августа 1933 года. В нем запротоколирован старт первой советской ракеты 09 с жидкостным двигателем. Создали ее в Группе изучения реактивного движения (сокращенно: ГИРД), организованной на общественных началах при Осоавиахиме. В то время некоторые острословы шутили, что ГИРД это «группа инженеров, работающих даром». Космическое настоящее Советского Союза говорит, что «не даром» поработали замечательные энтузиасты ракетной техники.

Кратер «ЦАНДЕР»

«Встреча закончилась поздно ночью. Выйдя во двор, все невольно остановились. Небо было звездным-звездным. Настроение у нас было приподнятое. Хотелось немедленно приступить к делу. Кажется, больше всех радовался Фридрих Артурович Цандер. Вскинув голову к небу, он неожиданно для нас громко воскликнул:

— Вперед, на Марс!»

Таким в день создания ГИРД вспоминает Цандера один из его соратников М. К. Тихонравов.

В 1908 году, когда Цандеру пошел двадцать второй год, он сделал первые расчеты, относящиеся к области космических путешествий. С тех пор и до конца жизни он ни разу не изменил своей звездной мечте.

Кратерная цепочка РНИИ

28 февраля 1940 года. Над заснеженным аэродромом самолет Р-5 буксирует планер. Обычная картина.

Вот планер отделяется от буксировщика и плавно парит в безоблачном небе. Почему же так напряжены лица людей внизу. Вдруг из хвоста планера начинает хлестать пламя. Пожар? Но странное дело, планер вдруг почти вдвое увеличивает скорость и круто идет в набор высоты. Это продолжается почти две минуты. Пламя гаснет. Планер, а точнее ракетопланер, и во в хвостовой части его был установлен ракетный двигатель, идет на посадку.

Так летчик В. П. Федоров на ракетопланере РП-318-1 положил начало практическому применению ракетных двигателей для полета. Планер и его двигатель были созданы в Реактивном научно-исследовательском институте (РНИИ), ставшем наследником ГДЛ и ГИРД.

Талассоид «КОРОЛЕВ»

4 октября 1957 года. На стартовой площадке космодрома собрались ученые, конструкторы, инженеры, рабочие... С импровизированной трибуны выступает конструктор ракетно-космической системы академик Сергей Павлович Королев.

«Сегодня совершилось то, о чем мечтали лучшие сыны человечества, и среди них наш замечательный ученый Константин Эдуардович Циолковский. Он гениально предсказал, что человечество не останется вечно на Земле. Спутник — первое подтверждение его пророчества. Штурм космоса начался. Мы можем гордиться, что его начала наша Родина».

Академик скромно умалчивает о своем личном вкладе в космический триумф Страны Советов и о том, что этому триумфу предшествовали почти тридцать лет его напряженного труда и поисков.

Кратер «ГАГАРИН»

«Я услышал свист и все нарастающий гул, почувствовал, как гигантский корабль задрожал всем своим корпусом и медленно, очень медленно оторвался от стартового устройства... Гул был не сильнее того, который слышишь в кабине реактивного самолета, но в нем было множество новых музыкальных оттенков и тембров, не записанных ни одним композитором на ноты и которые, видимо, не сможет пока воспроизвести никакой музыкальный инструмент, ни один человеческий голос. Могучие двигатели ракеты

создавали музыку будущего, наверное еще более волнующую и прекрасную, чем величайшие творения прошлого».

Первым слушателем космической симфонии стал наш советский человек Юрий Алексеевич Гагарин. А через восемь лет первые земляне на Луне, американские космонавты Армстронг и Олдрин, в районе Моря Спокойствия оставили медали с изображением космонавтов, отдавших жизнь исследованию вселенной. На одной из этих медалей был портрет первооткрывателя звездных трасс гражданина вселенной Ю. А. Гагарина.

* * *

Сегодня подвиг таких людей вдохновляет тысячи советских ребят, которые, думая о будущем, поднимают к небу пытливые глаза.

Аэродромное поле под Калугой. Сто пятьдесят ребят со всех концов страны приехали сюда, чтобы участвовать во II Всесоюзных соревнованиях школьников по ракетному моделизму. Команды построены для торжественного открытия соревнований. Звучит голос Циолковского. Он записан 36 лет назад, но кажется, что Константин Эдуардович видит застывшие в молчании колонны команд:

«У нас в Советском Союзе много юных летателей — так я именую детей-авиамodelистов, детей-планеристов, юношей на самолетах. Их у нас десятки тысяч. На них я возлагаю самые смелые надежды. Они помогут осуществить мои открытия и подготовят талантливых строителей первого межпланетного корабля».

При жизни Циолковского еще и

слова такого — «ракетомodelист» — не знали. Как в «большой», так и в «малой» модельной технике ракеты строили только отдельные энтузиасты. Казалось, еще далеки те годы, когда человек покинет свою «колыбель разума» — Землю. И надо удивляться прозорливости Циолковского, который увидел в modelистах будущих строителей межпланетных кораблей.

Когда ушла в небо первая космическая ракета, для modelистов ее грохот прозвучал как призыв: «От модели — к ракете, от ракеты — к космическому кораблю». Начало эры космических полетов стало днем рождения ракетно-космического моделизма.

Сначала модели ракет делались чисто познавательной целью, но вскоре возникла потребность оценить совершенство сделанной модели, узнать, чья модель лучше. Так ракетный моделизм стал техническим видом спорта. Через год после исторического полета Ю. А. Гагари-

на Международная авиационная федерация (ФАИ) обобщила правила соревнований, существовавшие к тому времени в различных странах, и утвердила Спортивный кодекс ракетного моделизма. В соответствии с этим кодексом и проводятся сейчас соревнования моделей.

Как же узнать, чья модель лучше?

Для этого используют две летные характеристики, которые сравнительно легко замерить — высоту подъема и продолжительность полета.

В состязаниях на высоту подъема участвуют три вида моделей: высотные, «грузовые» и копии. Высотные модели и копии не несут никакого полезного груза, а «грузовые» обязаны поднимать один или более стандартных грузов ФАИ. Модель-копия, кроме того, должна в определенном масштабе копировать существующую ракету или космический корабль. За качество выполнения и соответствие образцу она получает дополнительные очки.

Модели, соревнующиеся на продолжительность полета, могут снижаться на парашюте или планировать по-самолетному. Последние называют ракетопланами — их особенность заключается в том, что использовать крылья для полета им разрешено только на участке спуска.

Очевидно, что тяжелые модели с более сильными двигателями будут иметь преимущество на соревнованиях. Значит, нужно установить предел веса модели и «мощности» двигателей, подобно тому, как это делают в спорте: борцов и боксеров делят на весовые категории, а в автомобильных гонках у моторов ограничивают рабочий объем цилиндров. Правила ФАИ также предусматривают деление видов соревнований на классы (рис. 2). Для каждого

класса моделей указаны предельные значения стартового веса и суммарного импульса двигателей, отражающего энергетические возможности ракеты. Подробнее об этом мы еще поговорим.

Иногда ракетомodelисты проводят интересные соревнования и по таким видам, которые не предусмотрены правилами ФАИ. Так, в Советском Союзе в программу соревнований часто включаются экспериментальные модели. Они получают очки не только за продолжительность полета, но и за установленную на них измерительную аппаратуру или устройства, улучшающие летные данные модели.

За рубежом распространены соревнования на точность приземления. В этом виде модель должна подняться не менее чем на 30 м, раскрыть парашют на высоте не ниже 15 м и приземлиться как можно ближе к обозначенной точке.

Бывают и такие состязания — на мягкость посадки. Оценивается мягкая посадка с помощью... куриного яйца, которое заранее помещается в модель. Конечно, эти соревнования можно проводить только для забавы: уж очень трудно будет определить победителя, да и «крепость» отобранных для полета куриных яиц может явиться предметом спора участников и судей!

* * *

Познакомимся теперь с теми «ки-тами», на которых стоит ракетный моделизм и вся ракетная техника вообще. Спросим себя: как и почему ракеты летают? Наверное, вам не раз приходилось слышать шуточный ответ на вопрос: «Почему летит самолет?» — «По воздуху». А вот для ракеты такой ответ не годится — ведь она, в отличие от самолета, мо-



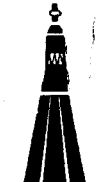


Вид соревнований	Класс	Полный импульс двигателей, н.сек.	Допустимый стартовый вес Г.	Число полезных грузов Ф А И
	1	0 – 5,0	60	
	2	5,01 – 10,0	120	нет
	3	10,01 – 40,0	240	
	4	40,01 – 80,0	500	
	одинарный	0 – 10,0	90	
	двойной	10,01 – 40,0	180	2
	открытый	40,01 – 80,0	500	4
	0	0 – 2,50	60	
	1	2,51 – 5,00	90	нет
	2	5,01 – 10,00	120	
	3	10,01 – 40,00	240	
	4	40,01 – 80,00	500	
	нет	0 – 10,0	85	
		0	0 – 2,50	60
1		2,51 – 5,00	90	нет
2		5,01 – 10,00	120	
3		10,01 – 40,00	240	
4		40,01 – 80,00	500	

Рис. 2. Виды и классы спортивных моделей ракет.

жет лететь и в безвоздушном пространстве. И все-таки самолет и ракета совершают полет в соответствии с одним и тем же физическим законом. Это всем известный третий закон Ньютона: два тела действуют друг на друга с равными и противоположно направленными силами, одна из которых называется действием, а другая — противодействием.

Сфера действия третьего закона Ньютона чрезвычайно многообразна. Любое механическое перемещение основывается на нем. Например, при ходьбе: отталкивая Землю ногой (действие), мы ощущаем толчок от Земли (противодействие), продвигающий нас вперед. Крыло самолета, перемещающаяся горизонтально, отбрасывает прилегающий к нему воздух вниз и испытывает противодействие — подъемную силу, удерживающую весь самолет. Ну а как же быть в космическом пространстве, где никакой опоры нет? За что хвататься там?

«Очевидно, — писал Циолковский еще в 1903 году, — прибор для движения в пустоте должен быть подобен ракете, то есть содержать не только энергию, но и опорную массу в самом себе».

Итак, секрет ракеты прост: она выбрасывает вещество, запасенное в нем заранее, а сама при этом движется в сторону, противоположную направлению выброса.

То, что было ясно Циолковскому, не всегда понимали другие, даже весьма ученые люди. Им движение ракеты в пустоте напоминало попытку барона Мюнхгаузена вытащить себя из болота за собственные волосы. Так, лет через двадцать после того, как были написаны приведенные выше слова Циолковского, профессор Райм утверждал, что ракета не может работать вне атмосферы,

так как ей «не от чего отталкиваться». А, между прочим, в возможности движения по-ракетному легко убедиться на очень простых примерах-опытах.

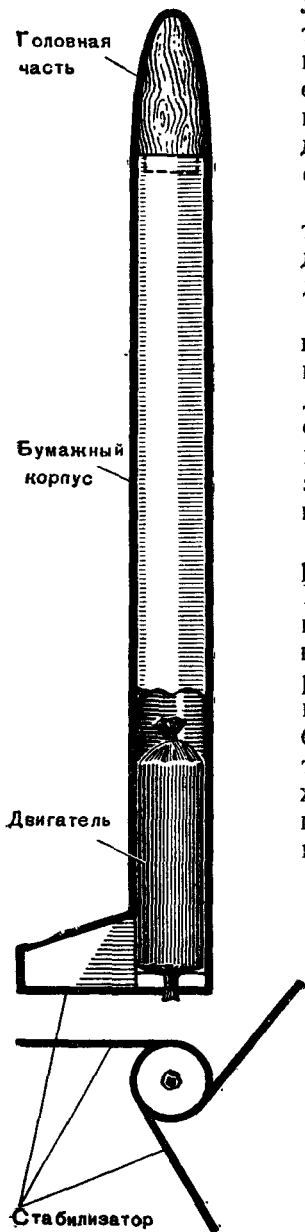
Допустим, в один из зимних дней вы пришли на каток. Возьмите в руки ком снега и, стоя на коньках, отбросьте его от себя прочь. И тотчас, даже не пошевелив ни одной ногой, вы начнете скользить по льду в сторону, противоположную направлению броска.

Второй опыт можно проделать легко. Заключите с товарищем пари — смело утверждайте, что вы заставите лодку двигаться с помощью весел, но... не черпая ими воду. Пары будет выиграно: резким движением бросьте весла назад, и лодка стронется с места.

Для третьего опыта постройте реактивный кораблик. Особых хлопот вам это не доставит. Все очень просто. На кораблике нужно укрепить плотно завинченную металлическую банку с водой и отверстием в задней стенке. Под днищем банки оборудуйте «топку» — место для таблетки сухого спирта или огарка свечи. Теперь зажгите огонь и смотрите, что получится. Вначале кораблик будет мирно стоять на месте. Но вот вода нагрелась, и начал образовываться и выходить наружу пар. И что же, кораблик тихо, а потом все быстрее заскользит вперед. Так он будет двигаться до тех пор, пока в банке не выкипит вся вода.

Последний опыт — простейшая модель ракеты. Как ее сделать, видно из рисунка 3. Начинать постройку модели следует с двигателя. Топливом послужит горючая киноплёнка.

Пленку длиной около 30 см нужно очистить от эмульсии и высушить. Затем ее туго сворачивают и заклеивают полоской бумаги. Ролик плен-



ки снаружи обматывают десятью слоями станиоля. Лента станиоля должна быть сантиметра на три шире пленки. С одной стороны станиоль наглухо перевязывают ниткой, а с другой так, чтобы оставалось небольшое отверстие — сопло для выхода газов; для этого к торцу топливного заряда прикладывают кусок проволоки диаметром около 2 мм.

Корпус модели клеится из плотной бумаги на трубке, диаметр которой чуть больше диаметра двигателя. Головку ракеты можно вырезать из дерева, а стабилизаторы — из картона.

Для запуска нужны направляющие. Их роль выполняют три полуметровых стержня, воткнутые в землю вертикально. Модель должна свободно двигаться между ними. Зажигают пленку через сопло раскаленной проволокой длиной не менее метра. Теперь наблюдайте за стартом: газы, образующиеся при сгорании пленки, будут с силой выбрасываться вниз, а ракета устремится вверх.

Вещество, отбрасываемое при движении поракетному, в технике называют рабочим телом. Ком снега, весла, пар, газ от сгоревшей пленки — все это были рабочие тела. Но если поразмыслить над первыми опытами и последним, с моделью ракеты, то нетрудно заметить, что в первых энергия подводилась к рабочему телу извне (рука, бросающая снег или весло, таблетка сухого спирта, нагревающая воду), а в ракете энергия содержалась в самом рабочем теле, которое до превращения его в газ было твердым топливом — пленкой.

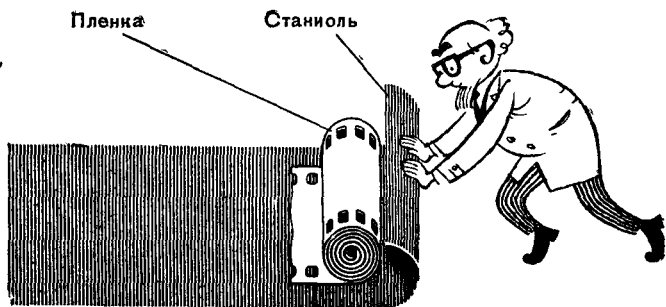


Рис. 3. Модель на кинопленке.

Чем больше энергии содержит топливо, тем с большей силой выбрасывается рабочее тело и быстрее движется ракета. Поэтому уже на первых ракетах топливом служили вещества, способные выделять много энергии — пороха.

В двигателях ракет топливо горит сравнительно медленно. Но возможно и быстрое горение ракетных топлив — взрыв. Это происходит при отказах техники и при неправильном обращении с ракетой.

История знает немало случаев, когда опыты кончались весьма трагически. Вот только три из них, которые произошли в Германии за короткий отрезок времени с 1929 по 1933 год.

...Известный ученый Оберт экспериментировал с жидкими топливами, подбирая наиболее подходящие для ракеты составы. Во время одного из опытов произошел взрыв, который привел Оберта к почти полной потере зрения на один глаз.

...Конструктор ракет Макс Валье проводил испытательные запуски своего двигателя. Он стоял рядом с двигателем, регулируя его работу. Внезапно двигатель взорвался, и стальной осколок, перерезав легочную артерию, вонзился конструктору в грудь. Валье истек кровью, прежде чем кто-либо смог прийти ему на помощь.

...В ракетной лаборатории инженера Тиллинга занимались прессованием пороховых зарядов. В самом разгаре работы порох взорвался, разбив тяжелый пресс и разрушив здание лаборатории. Тиллинг и два его сотрудника погибли.

Итак, ракетная техника требует осторожного и почтительного обращения. Как говорят, с нею нужно обращаться на «вы».

А ракетный моделизм? Он не

исключение. Ведь и в нем используют двигатели со взрывоопасными зарядами.

А потому, юный друг, всегда неукоснительно соблюдай правила ракетного моделизма. Какие же это правила?

Во-первых, модель должна быть безопасной сама по себе. Запомните четыре главных «нельзя»:

— нельзя изготавливать основные части модели из металлических материалов;

— нельзя делать модель тяжелее 500 Г (имеется в виду стартовый вес модели);

— вес топливных зарядов всех двигателей модели не должен превышать 125 Г;

— нельзя использовать самодельные двигатели.

Во-вторых, модель должна быть безопасной при запуске. Прежде всего следует правильно выбрать место для запуска: подальше от зданий, построек, легковоспламеняющихся предметов. Не забудьте посмотреть и вверх — модель может представить угрозу для низколетящих самолетов и вертолетов. Необходимо учитывать и погодные условия. Небезопасно стартовать при ветре: если его скорость более 10 м/сек, то запуск следует отложить. И самое важное — пусковое оборудование. Оно должно обеспечивать электрический запуск модели с дистанции не менее 10 м и запускать модель с отклонением от вертикали не более 30°.

В-третьих, нужно обеспечить безопасность модели в полете. Она должна точно следовать выбранной траектории, или, как говорят, должна быть устойчивой в полете. Для этого ее снабжают стабилизирующими устройствами. Поскольку устойчивость многоступенчатых мо-

делей обеспечить трудно, то в ракетном моделизме запрещают делать модели с числом ступеней более трех.

В-четвертых, модель должна быть безопасной при посадке: в ракетном моделизме запрещено использовать модели без парашютов или других устройств, замедляющих падение. Чтобы обеспечить безопасность при посадке, нельзя в качестве полезного груза применять взрывчатые и пиротехнические вещества, а также стрелять по наземным целям.

Запомнив эти простые правила, можно готовиться к своим первым ракетно-модельным стартам.

Чтобы сделать модель ракеты, не нужны сложная оснастка, хитрые инструменты и дефицитные материалы. Однако, приступая к работе, необходимые вещи нужно иметь под рукой.

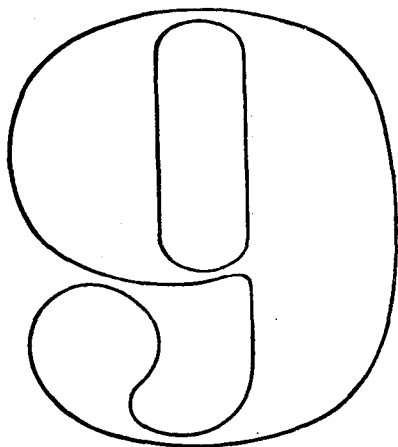
Что потребуется для изготовления корпуса модели ракеты?

Чаще всего корпус модели дела-

ют цилиндрическим. Склеивают его на навойнике — круглом стержне или трубке. Запаситесь трубками различных размеров: диаметры от 10 до 40 мм и длина от 0,5 до 1 м. Чтобы не замерять все время диаметр трубки, вставьте в ее торцы деревянные пробки, на которых напишите цифры, соответствующие диаметру. Наиболее ходовой диаметр навойника 21 — 22 мм — под стандартный двигатель модели.

Материал корпуса — бумага. Обычно используют чертежную бумагу: ватман или полуватман. Для склейки применяется любой бумажный клей: клейстер, декстрин, столярный, казеиновый, эмалит.

Нужны будут также ножницы, угольник и карандаш для выкройки бумажной заготовки корпуса. Не забудьте запастись и мелкозернистой шлифовальной шкуркой: она пригодится, чтобы зачистить края бумаги перед склеиванием, а после того как корпус высохнет, для очистки его от клея и для шлифовки.

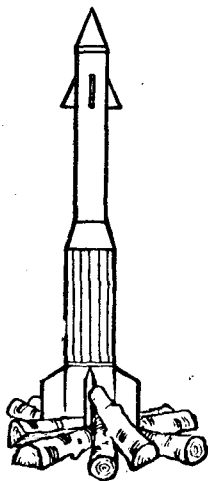


**Двигатели гулливеры и
лилипуты. — ЖРД или
РДТТ? — Формула тяги. —**

**Нельзя ли обойтись без
формул? — РДТТ большой
техники. — Сопло Лавая. —**

**Насадки или эжектор? —
Скорость истечения. —**

**Секреты суммарного
импульса. — Ракетная
техника — дело
коллективное**



Посмотрите, как выглядит настоящий ракетный двигатель (рис. 4). Его краткое обозначение РД-107, а устанавливался он на первой ступени прославленной советской ракеты «Восток». Как устроен РД-107? В нижней части его в виде четырех больших и двух маленьких перевернутых вытянутых бокалов размещены камеры сгорания. Большие — это основные, а маленькие — рулевые. Сверху находится агрегат, который подает топливо к камерам. Он имеет насосы, вращаемые турбиной, и поэтому называется турбонасосным. Топливо, применяемое на РД-107, — керосин и кислород. Керосин — это горючее, а кислород — окислитель. Кислород охлажден до жидкого состояния, и поэтому весь двигатель носит название жидкостного ракетного двигателя (сокращенно: ЖРД). Содержится топливо в баках на самой ракете. Баки на рисунке не показаны. Сгорая в камере и превращаясь в газ, топливо с огромной скоростью выбрасывается из сопла и создает внушительную тягу — 102 т!

А вот и обычный двигатель для ракетной модели (рис. 5). Он настолько мал, что художник не решился изобразить его вместе с РД-107 в одном масштабе — модельный двигатель потерялся бы на фоне своего гигантского соседа. По размерам и тяга — у стандартного модельного двигателя она в сто тысяч раз меньше — около одного килограмма.

Но не только размеры отличают оба двигателя. Двигатель модели принципиально другой — это двигатель на твердом топливе. Такие двигатели сокращенно называют РДТТ — ракетные двигатели твердого топлива. Конструктивно

РДТТ проше ЖРД: заряд твердого топлива находится в самой камере сгорания (камера одновременно служит топливным баком). Естественно, что сложная система подачи топлива в камеру такому двигателю не нужна.

Но не только простота конструкции послужила причиной того, что РДТТ принят моделистами на «вооружение». Топливный заряд, прилекая к стенкам камеры, предохраняет ее от воздействия высоких температур горящего топлива, и поэтому для изготовления корпуса стандартного двигателя используют картонную гильзу охотничьего патрона. Единственная металлическая часть гильзы — днище, капсюльное отверстие которого служит в качестве сопла двигателя. Через верхнюю часть запрессовывается заряд «пороховой мякоти» — измельченного дымного пороха. Затем заряд закрывается прочным картонным пыжом, образующим переднюю стенку камеры. Края гильзы, чтобы давление газов не вырвало пыж, завальцовываются.

Несмотря на конструктивные различия, у ЖРД и РДТТ много общего: они относятся к двигателям одного типа — химическим. В таких двигателях химическая энергия топлива последовательно преобразуется сначала в тепловую, а затем в механическую энергию газообразных продуктов сгорания, «вытекающих» из сопла. Все это происходит в наиболее напряженной части двигателя, в его камере. Именно здесь совершаются сложные процессы, в результате которых ракета получает движущую ее силу — тягу.

Как можно, хотя бы упрощенно, представить себе процесс образования тяги?

Для этого воспользуемся такой

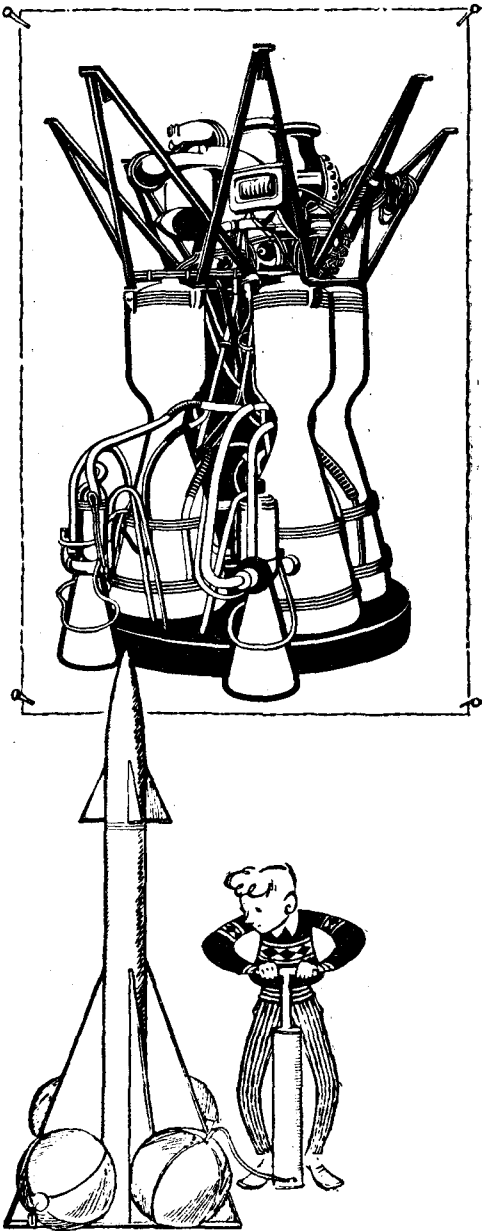


Рис. 4. РД-107 — двигатель первой ступени ракеты «Восток».

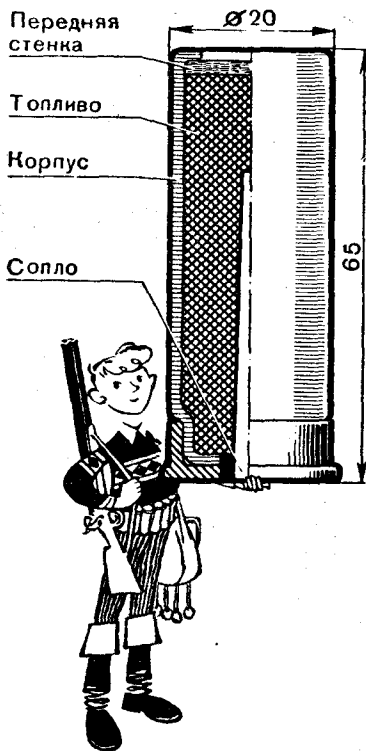


Рис. 5. Стандартный двигатель модели.

моделью. Допустим, что каждую секунду из камеры под действием упругих сил давления расширяющегося газа выбрасывается какая-то масса рабочего тела. На рисунке она обозначена буквой m . Изобразим газ, находящийся в камере в виде сжатой пружины. Распрямляясь, пружина давит одним концом на «массу», m , а другим — на переднюю стенку камеры. Сила, действующая со стороны пружины на камеру, не что иное, как тяга P . Точно такая же сила действует на рабочее тело, которое под ее действием получает некоторую скорость W (ее называют скоростью истечения газа из двигателя). На основе зако-

нов физики легко доказывается, что сила тяги P равна произведению секундного расхода массы газа m на скорость его движения W , то есть

$$P = mW.$$

Формула тяги первая, но не последняя формула, с которой мы встретимся в этой книге. А нельзя ли, говоря о ракетном моделизме, вообще обойтись без формул? Для чего они нужны?

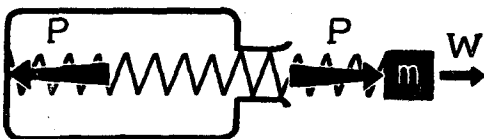
Во-первых, для расчетов. Какому моделисту с помощью простого расчета не интересно «предугадать» характеристики своей модели, особенно если она еще не создана, а существует пока лишь на бумаге, в эскизах или чертежах?

Во-вторых, для «ориентировки» при конструировании модели. Ведь любая формула ракетной техники — это закон, нарушать который нельзя, но можно, хорошо зная его, использовать в своих интересах, для дела.

Для примера определим по фор-



а) Пружина сжата



б) Пружина освобождена

$$P = mW - \text{Формула тяги}$$

Рис. 6. Так создается тяга в ракетном двигателе.

муле средней тягу стандартного двигателя. Не забывайте, пользуясь формулой, подставлять в нее численные значения в одной и той же системе единиц!

В Международной системе единиц СИ массовый расход топлива измеряется в *кг/сек*. Для модельного двигателя он равен примерно 0,015 *кг/сек*, а скорость истечения составляет 300 *м/сек*. Следовательно, тяга будет равна:

$$P = 0,015 \cdot 300 = 4,5 \text{ н.}$$

Размерность полученной тяги — ньютоны (*н*). В дальнейшем мы иногда будем использовать техническую систему и выражать тягу в килограмм-силах (*кг*). Соотношение между единицами измерения силы в указанных системах таково:

$$1 \text{ н} = 0,102 \text{ кг}.$$

Чтобы правильно использовать законы, выраженные формулой тяги, проведем ее анализ. Из формулы сразу же видно, что увеличить тягу двигателя можно двумя путями: увеличивая секундный расход массы топлива или повышая скорость истечения газов.

Какой же из этих двух путей наиболее выгоден? Очевидно, второй, поскольку он не связан с увеличением запаса топлива на ракете. А как можно увеличить скорость истечения газа из двигателя? Один из способов — конструктивный. Сама конструкция двигателей должна быть такой, чтобы топливо использовалось наиболее эффективно, или, как говорят, чтобы коэффициент полезного действия был высоким. Что же подскажет моделисту устройство современного твердо-топливного двигателя, двигателя большой техники?

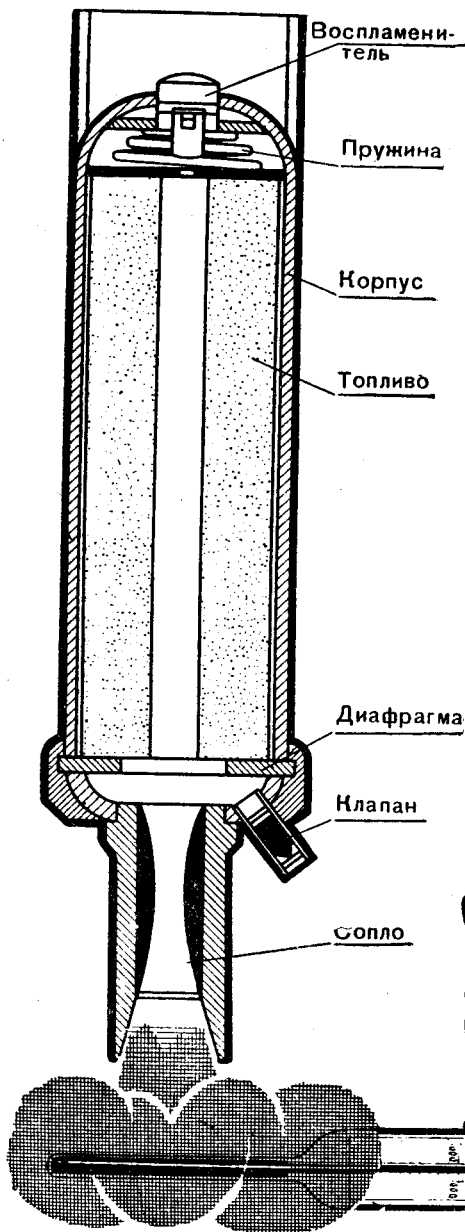
Вот рисунок одного из таких двигателей (см. рис. 7). Он значи-

тельно сложное стандартного, но все же проще ЖРД. Так же как и у модельного двигателя, его корпус выполняет роль топливного бака и камеры сгорания. Иногда корпус двигателя является естественным продолжением корпуса самой ракеты. В этом случае его называют несущим, так как он несет нагрузки, действующие не только на двигатель, но и на ракету в целом. Чем больше нагрузка, тем прочнее должен быть материал корпуса. Еще до недавнего времени основным материалом корпусов РДТТ была легированная сталь. А теперь все чаще применяют титановые и алюминиевые сплавы и даже специальные пластмассы. В последнем случае на помощь корпусу приходит топливный заряд, который плотно прилегает к нему и предохраняет его от громадных тепловых нагрузок. (Сравни с двигателем модели!) Благодаря новым материалам в современных РДТТ удалось получить поистине фантастическое отношение веса топлива к общему весу двигателя: 0,85—0,90. Укажем, что отношение веса содержимого куриного яйца ко всему его весу равно 0,896!

Топливный заряд, расположенный в корпусе, поджимается пружиной к диафрагме, назначение которой — задерживать несгоревшие куски топлива, не допуская их выброса из камеры сгорания.

Если по каким-либо причинам давление в камере сгорания превысит допустимое, то сработает предохранительный клапан. На рисунке он изображен в виде одноразового предохранительного устройства — «вышибной пробки».

Для запуска двигателя служит специальный воспламенитель, он находится в передней части корпуса и зажигается электрозапалом.



В задней части корпуса расположено сопло. Оно работает в очень тяжелых условиях: по соплу с огромной скоростью движутся горячие газы, их температура достигает 4000°C . Поэтому сопло делают из жаропрочных материалов и применяют специальную облицовку — тугоплавкие вкладыши, например графитовые.

Сопло — важнейшая часть двигателя. Именно в нем заложен секрет высоких скоростей истечения. Обратите внимание на его форму: сопло сначала сужается, затем расширяется. На первый взгляд это противоречит нашему повседневному опыту. Действительно, поливая цветы из шланга, мы сплющиваем его конец, чтобы получить скорость струи побольше. Казалось бы, и для газа, чтобы разогнать его, следует использовать сопло сужающейся формы. Это правильно, но только до тех пор, пока скорость газа не достигнет звуковой. А вот дальше, как бы мы ни уменьшали сечение струи, увеличить скорость не удастся: при сверхзвуковой скоро-



Рис. 7. РДТТ большой техники.

сти газ можно разогнать только в расширяющемся канале. Впервые это свойство газа использовал в паровых турбинах шведский ученый Лаваль. Поэтому и сопла такой формы часто называют его именем.

К сожалению, стандартный двигатель имеет лишь сужающееся сопло, однако сопла Лавалья в последнее время начинают использоваться и на модельных двигателях.

Ну а как же преодолеть основной недостаток стандартного двигателя — отсутствие сопла сужающейся-расширяющейся формы?

Один из простых выходов — добавить насадку к его соплу. Конструкция такой расширяющейся насадки показана на рисунке 9. Основной ее недостаток — большой вес, так как, чтобы насадка не прогорала, ее делают металлической.

Другой выход подсказывает нам

большая техника, на этот раз не ракетная, а авиационная.

Реактивные двигатели многих самолетов тоже имеют сужающееся сопло. Конструкторы авиационных



Рис. 8. Сопло Лавалья.

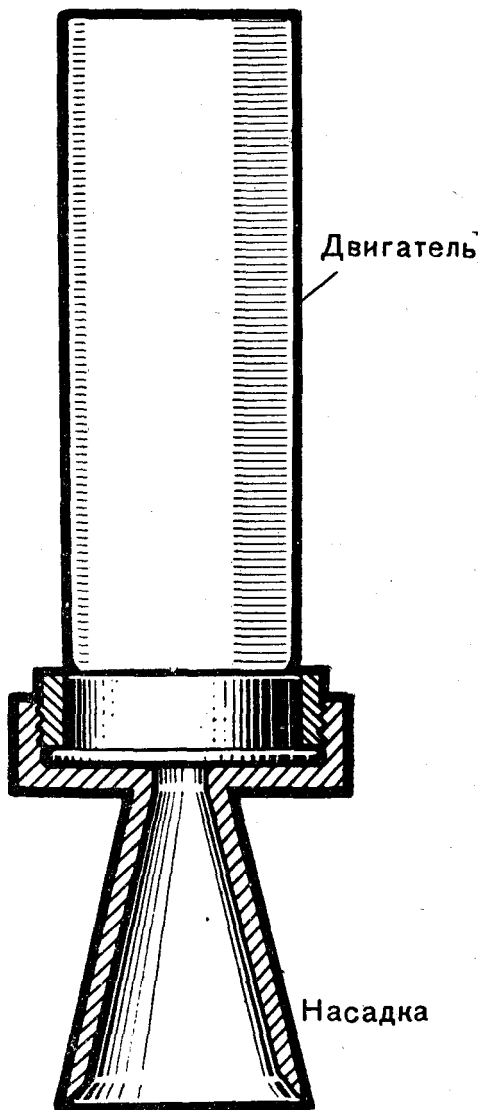


Рис. 9. Модельный двигатель с расширяющейся насадкой.

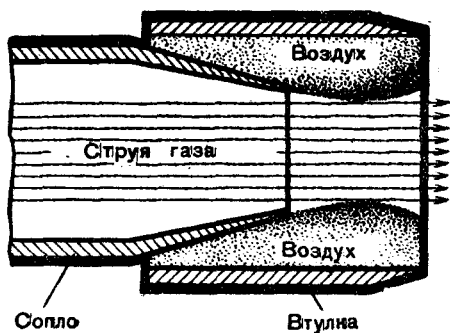


Рис. 10. Эжекторное сопло.

двигателей не прочь бы поставить на самолет сопло Лавалья — выгоды такого сопла им хорошо известны. Но сделать это трудно: авиационный двигатель многорежимен — в крейсерском полете он создает сравнительно небольшую тягу, а вот на взлете и при маневрировании от него требуется полная, максимальная тяга. Для многорежимных двигателей нужно регулируемое сопло — сопло, изменяющее свои формы. Выполнить регулируемое сопло Лавалья чрезвычайно сложно, и поэтому приходится применять простейший тип сопла — сужающийся. Чтобы компенсировать недостатки сужающегося сопла, конструкторы нашли оригинальный выход. Его идею просто понять из рисунка 10.

В зоне сопла снаружи устанавливается кольцевая втулка. Реактивная струя газа подсасывает (эжектирует) в узкую щель между втулкой и соплом воздух, который и образует недостающую, расширяющуюся часть сопла.

Эжекторное сопловое устройство применяют в своих конструкциях и моделисты. Обычно оно выглядит в виде бумажного кольца, располо-

женного в зоне сопла стандартного двигателя. Вот посмотрите, как выполнили сопло-эжектор моделисты Московского Дома пионеров (рис. 11). Они применили его для двигателей, расположенных в боковых блоках модели-копии ракеты «Союз». Для подвода воздуха к двигателю в верхней части блоков вырезались специальные окна — заборники. Через них воздух подсасывался струей двигателя и вместе с пороховыми газами отбрасывался вниз. Так московские ракетомоделисты попытались улучшить характеристики двигателя, не применяя тяжелую металлическую насадку.

Ну а теперь допустим, что нам удалось создать идеальный по своей конструкции ракетный двигатель. Используя различные по химическому составу топлива, мы убедимся, что тяга двигателей будет различной. Установлено, что лучшими топливами будут те, которые более калорийны и обладают способностью образовывать большее по объему количество газов. Сжигая топливо в идеальном двигателе и сравнивая скорости истечения газов, можно оценить качество ракетного топлива.

Какие же скорости истечения могут обеспечить современные химические топлива? Предельной для них считается скорость 4000—5000 м/сек. И ближе всего к этой границе подходят жидкие топлива. Например, топливо, используемое в РД-107, дает скорость истечения более 3000 м/сек. А вот лучшие твердые топлива имеют скорость всего 2500 м/сек. Именно поэтому конструкторы космических ракет-носителей остановили свой выбор на жидких топливах. Это, конечно, не значит, что твердым топливам недоступны космические высоты.

Так, первый японский спутник «Осу-ми» был выведен на орбиту твердотопливной четырехступенчатой ракетой-носителем.

Скорость истечения газов 4—5 км/сек считается предельной для двигателей на химическом топливе, но не будет предельной для реактивного двигателя вообще. Осенью 1970 года в Советском Союзе был испытан прототип новой силовой реактивной установки, которым оснащалась ионосферная лаборатория «Янтарь». Эта лаборатория с помощью мощной геофизической ракеты выводилась в верхние слои атмосферы. Сначала она двигалась по инерции, а затем включался электрореактивный плазменно-ионный двигатель, и лаборатория «Янтарь» совершала управляемый полет в ионосфере, достигая высоты 400 км. В эксперименте была получена рекордная скорость истечения реактивной газовой струи из двигателя — 140 км/сек. Это в 30—40 раз больше, чем способны дать двигатели, работающие на химическом топливе.

Для РДТТ, так же как и для ЖРД, атмосферный кислород не нужен: твердый заряд содержит в себе и окислитель и горючее. Например, в модельном двигателе часто применяют дымный порох: в нем смешан твердый окислитель (калийная селитра) и горючее — древесный уголь. В отличие от охотничьего пороха, состав ракетного заряда «ослаблен»: в нем больше древесного угля, и поэтому он горит медленно. Дымный порох — самое древнее топливо для ракет. Он сильно отстал от топлив космического века: действительно, скорость истечения в стандартном двигателе всего 300 м/сек — в 8 раз меньше, чем у лучших твердых

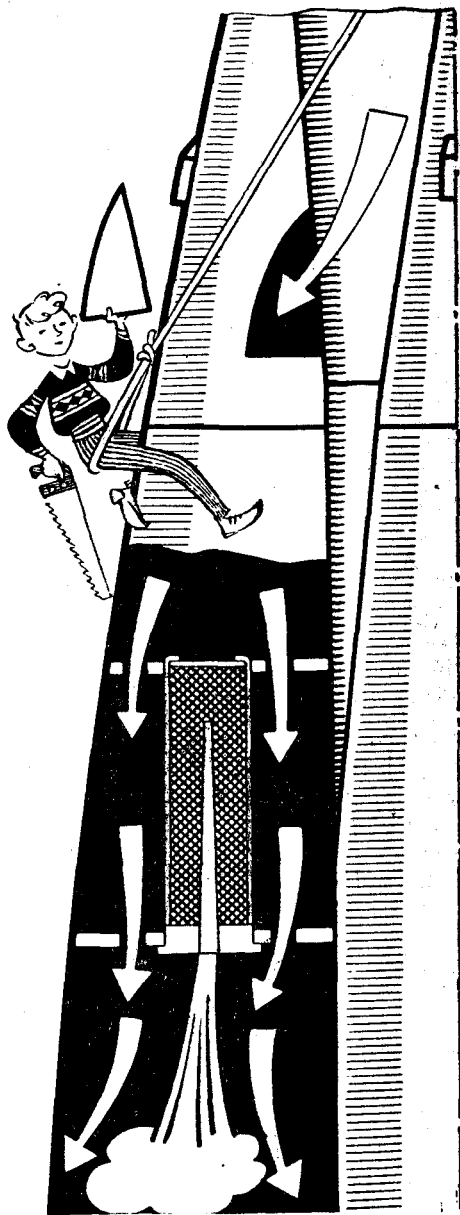


Рис. 11. Сопло-эжектор на модели ракеты «Союз».

топлив! Однако темпы нарастают и в ракетном моделизме — уже изготавливаются, хотя и опытными партиями, двигатели со скоростью истечения более 1000 м/сек.

Когда у моделлистов появится возможность выбора двигателей, то лучше взять тот, который имеет большую скорость выброса газов. А можно ли самому измерить эту скорость?

Конечно, в струю раскаленных газов никакой прибор не поставишь. Да это и не нужно. Моделисты, а намного раньше их ракетчики, давно научились измерять скорость истечения, но не прямым, а косвенным путем. Понять этот путь нам поможет уже известная формула тяги.

Сначала, для простоты, будем считать, что наш двигатель создает постоянную тягу. График его рабо-

ты получится в виде прямой линии (см. рис. 12).

А теперь посмотрим на формулу тяги. Если умножить обе части формулы на время работы двигателя t , то получим новое равенство:

$$Pt = mtW.$$

Снова смотрим на график: площадь, заштрихованная на нем, это и есть произведение тяги на время, которое стоит в левой части равенства. Теперь справа: секундная масса выбрасываемых газов, умноженная на число секунд горения заряда, очевидно, даст всю массу топлива M_T .

Из последнего равенства получаем очевидную формулу для скорости истечения:

$$W = \frac{P \cdot t}{M_T}$$

Например: двигатель в течение двух секунд создает тягу в 5 н, а

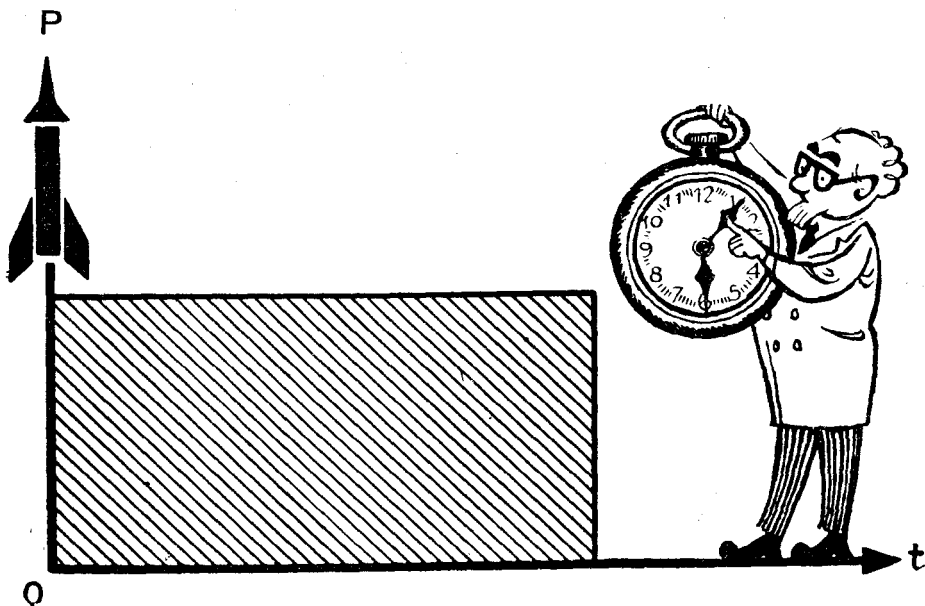


Рис. 12. График работы двигателя с постоянной тягой.

весь заряд имеет массу 0,02 кг. Получаем для такого двигателя:

$$W = \frac{5 \cdot 2}{0,02} = 500 \text{ м/сек.}$$

Да, скажете вы, массу топлива можно найти, сравнивая хотя бы массы целого и использованного двигателя, но как же получить график работы двигателя, как найти произведение $P \cdot t$?

Прежде чем искать неизвестное произведение, дадим ему имя. Зовут его суммарный (или полный, говорят и так) импульс.

Вспомните, мы уже встречались с этим названием: модели ракет делятся на классы для соревнований именно по величине суммарного импульса. Значит, теперь у нас двойная необходимость раскрыть секрет суммарного импульса: во-первых, он поможет нам определить скорость истечения и выбрать лучший двигатель, а во-вторых, он подскажет, допустят ли этот двигатель к соревнованиям в данном классе.

Секрет суммарного импульса просто не дается: здесь уже нужно поработать не только головой, но и руками. Несложный прибор, изображенный на рисунке 13, сам заставляет двигатель чертить график его работы. Как он устроен?

Втулка, в которой просверлено отверстие по диаметру двигателя, закреплена на подвижном вертикальном штоке. Двигатель вставлен во втулку соплом вверх, а шток опирается на пружину, так что при работе двигателя пружина сжимается. Со штоком связано перо или карандаш, которые чертят кривую тяги на подвижном, равномерно вращающемся барабане. Барабан приводится во вращение электромотором или часовым механизмом.

Допустим, что прибор готов. На-

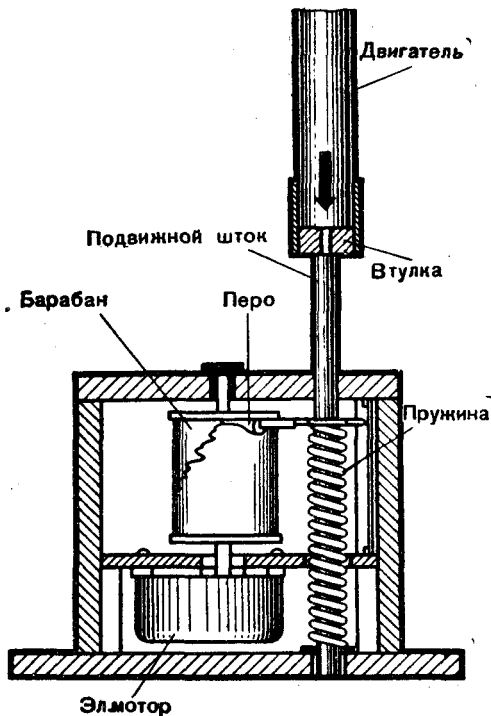


Рис. 13. Прибор для снятия характеристик двигателя модели.

ступило время провести испытания. В технике их, эти испытания, называют стендовыми (двигатель не летит вместе с ракетой, а остается в приборе, на стенде) и огневыми — двигатель работает в полную силу, как на ракете.

Конечно, по сложности и размерам наш прибор отличается от настоящего стенда примерно так же, как дамба колхозного пруда от плотины Братской ГЭС. В целях безопасности испытательные станции строятся в малонаселенных местностях, оборудуются автоматической, дистанционным управлением да и измеряют не только тягу, а десятки других параметров: дав-

ления, температуры, расходы топлива и т. д.

Но хотя наш прибор много меньше, не стоит забывать о безопасности и при работе на нем. Здесь правила должны быть такие же, как и при старте модели: электрический дистанционный запуск, свободная площадка, — и обязательно под руководством взрослых. Для испытаний долгоживавших или новых типов двигателей нужно подумать и о специальном укрытии.

Но вот с соблюдением всех правил безопасности испытания проведены. Характеристика двигателя получена. И первое, что бросается в глаза, — график тяги не прямая линия, а кривая. Не спешите обвинять прибор, он не виновен. Действительно, тяга двигателя никогда не бывает постоянной.

Почему? Во-первых, нельзя мгновенно зажечь весь заряд и сразу же его потушить.

Во-вторых, иногда нужно преднамеренно менять тягу по времени. Зачем это нужно — вопрос другой,

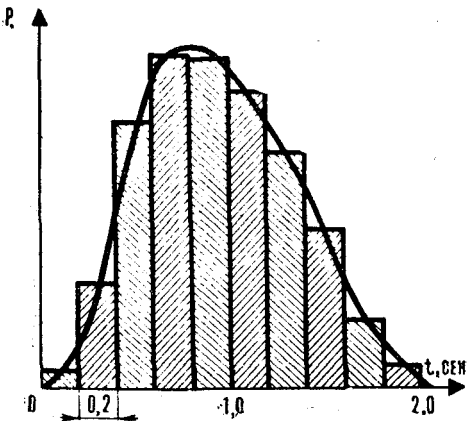


Рис. 14. Определение суммарного импульса, по графику.

на нем мы остановимся дальше. Сейчас же нам нужно разобраться с тем, как найти суммарный импульс, если тяга скачет по оси времени, словно необъезженный мустанг.

Оказывается, суммарный импульс и в этом случае будет равен площади между кривой тяги и горизонтальной осью времени. А подсчет этой площади надо проводить, разбив кривую изменения тяги по времени на ряд участков с одинаковым промежутком времени, например, 0,2 сек. (см. рис. 14).

Тогда площадь, ограниченную кривой тяги за 2 сек работы двигателя, мы заменим десятью прямоугольниками, в каждом из которых тяга как бы не меняется.

Импульс за 0,2 сек на каждом участке будет равен произведению этого времени на среднюю для данного участка тягу. Суммарный импульс за все 2 сек будет равен сумме площадей всех десяти прямоугольников.

Еще проще определить площадь под кривой тяги с помощью планиметра. Планиметр — это прибор, который измеряет площадь фигуры после того, как кривая, ограничивающая ее, очерчена острием планиметра.

Итак, площадь найдена. Но это еще не все. Ведь площадь измеряет импульс в определенном масштабе. Нужно знать этот масштаб. Допустим, что определена площадь под кривой — 40 см². Теперь нужно знать цену 1 см по осям тяги и времени. Цену 1 см по оси тяги можно узнать, если перед испытанием нагрузить пружину гирькой, вес которой известен. Допустим, под грузом в 5 н пружина сжалась на 5 см. Значит, 1 см соответствует 1 н тяги. Масштаб времени найти еще проще — для этого

нужен точный секундомер. Если за 1 сек перо прибора прочертит 5-сантиметровую линию, то 1 см по оси времени соответствует 0,2 сек. Теперь импульс найти легко: умножьте площадь в 40 см² на произведение масштабов 1 н/см и 0,2 сек/см и вы получите импульс 8 н·сек.

Итак, мы уже умеем испытывать двигатель. Осталось только ответить на вопрос: где же достать модельный ракетный двигатель? Здесь уж без кружка ракетного моделизма не обойтись, так как в свободную продажу двигатели не поступают. Они изготавливаются в пиротехнических мастерских или на заводах ДОСААФ и организованно распределяются по кружкам дворцов пионеров, станций и клубов юных техников. Так что ракетный моделизм, как и ракетно-космическая техника, — дело коллективное, хотя простейшие модели вполне можно изготовить и дома. Ну а запуск их придется отложить до очередного занятия кружка.

Двигатели стандартного типа изготавливаются в нашей стране давно: еще в 1939 году энтузиаст ракетного моделизма Е. Л. Букш написал книгу «Ракетные двигатели для авиамodelей», где была предложена конструкция двигателя с корпусом, сделанным из охотничьей гильзы.

Наиболее распространен сейчас двигатель типа ДБ-1-М0,6.

Вот его данные:

Суммарный импульс	6 н·сек
Время работы	1,2 сек
Максимальная тяга	1,5 кг
Средняя тяга	0,5 кг
Вес двигателя	28 Г
Вес топлива	20 Г

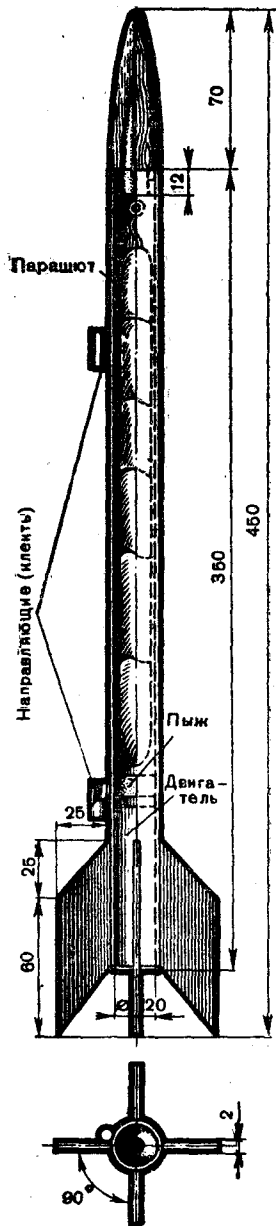


Рис. 15. Модель на стандартном двигателе.

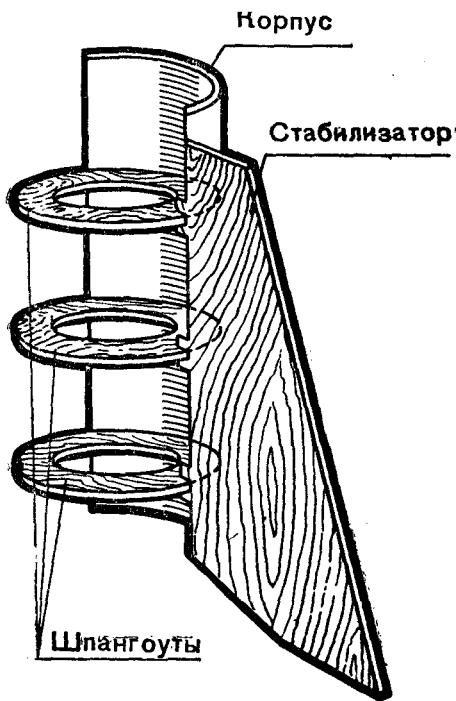


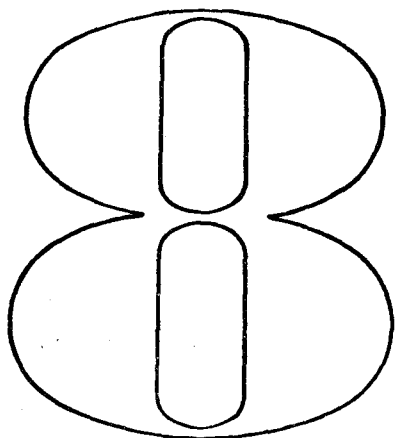
Рис. 16. Крепление шпангоутов в корпусе модели.

Этот двигатель выпускается и со встроенным «вышибным» зарядом: такой тип двигателя имеет на-

веску быстрого горящего охотничьего пороха на верхней крышке, в которой проделывается узкое отверстие. Когда топливо в двигателе сгорает, через отверстие воспламеняется вышибной заряд и выбрасывает парашют, находящийся в трубке — корпусе ракеты.

Попробуйте подготовить теперь модель под стандартный двигатель. Ее устройство понятно из рисунка 15, размеры тоже указаны. Парашют сделайте произвольной формы, но так, чтобы он легко выбрасывался из корпуса.

Если двигатель слишком свободно входит в корпус модели, намотайте на него две полоски изоляционной ленты. Когда же диаметр корпуса значительно больше диаметра двигателя, для установки двигателя используют более сложную конструкцию: по размеру двигателя делают бумажную втулку, снаружи к ней приклеивают кольца из тонкой фанеры или картона (эти детали конструкции называют шпангоутами), а затем уже к шпангоутам приклеивают корпус (рис. 16). Понятно, что наружный диаметр шпангоута должен соответствовать внутреннему диаметру корпуса.



Мир ракет. — Откуда и куда летит ракета? —

Первая задача Циолковского. — Формула, на которой зиждется космонавтика. —

«Летающие ведра» и «летающие бутылки». —

Ракетные поезда и эскадрильи ракет. — Тайны твердотопливных зарядов

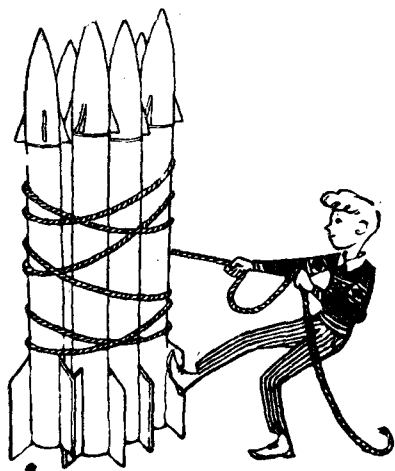
Мир ракет... Да, мы живем в мире ракет. Ракеты пиротехнические, метеорологические, исследовательские, боевые, космические и даже противоракетные. Зенитные, авиационные, противотанковые и даже противораковые. Одноступенчатые и многоступенчатые. Спасательные и разрушительные, несущие добро и зло. В моделизме их тоже много: высотные и «грузовые», парашютирующие, планирующие и копии.

Как же разобраться во всем этом ракетном разнообразии? Метод тут один, такой же, какой, например, использовал Брем, описывая мир животных: разбить ракеты на группы, отряды, виды — другими словами, классифицировать.

Боевые ракеты часто классифицируют по месту старта и цели. Например, ракеты класса «земля — земля» имеют старт и цель на земле, противоздушные ракеты называются «земля — воздух», авиационные — «воздух — воздух» или «воздух — земля». От того, откуда и куда летит ракета, зависит и путь, по которому она летит, — ее траектория. Траектории некоторых боевых ракет показаны на рисунке 17.

Спортивные модели ракет можно по этому признаку отнести к классу «земля — земля»: они стартуют с земли и возвращаются на землю, неподалеку от места старта. Но если посмотреть на их траекторию (рис. 18), то ближе всего модели к ракетам высотным, ракетам-зондам, применяемым для исследования атмосферы и разведки погоды. Действительно, для модели невыгодно отклоняться от вертикали: чем большую высоту она наберет, тем лучше любой ее результат — и по продолжительности и по высоте.

И еще. Есть ракеты управляемые,



ЗЕМЛЯ — ЗЕМЛЯ

СТАРТ

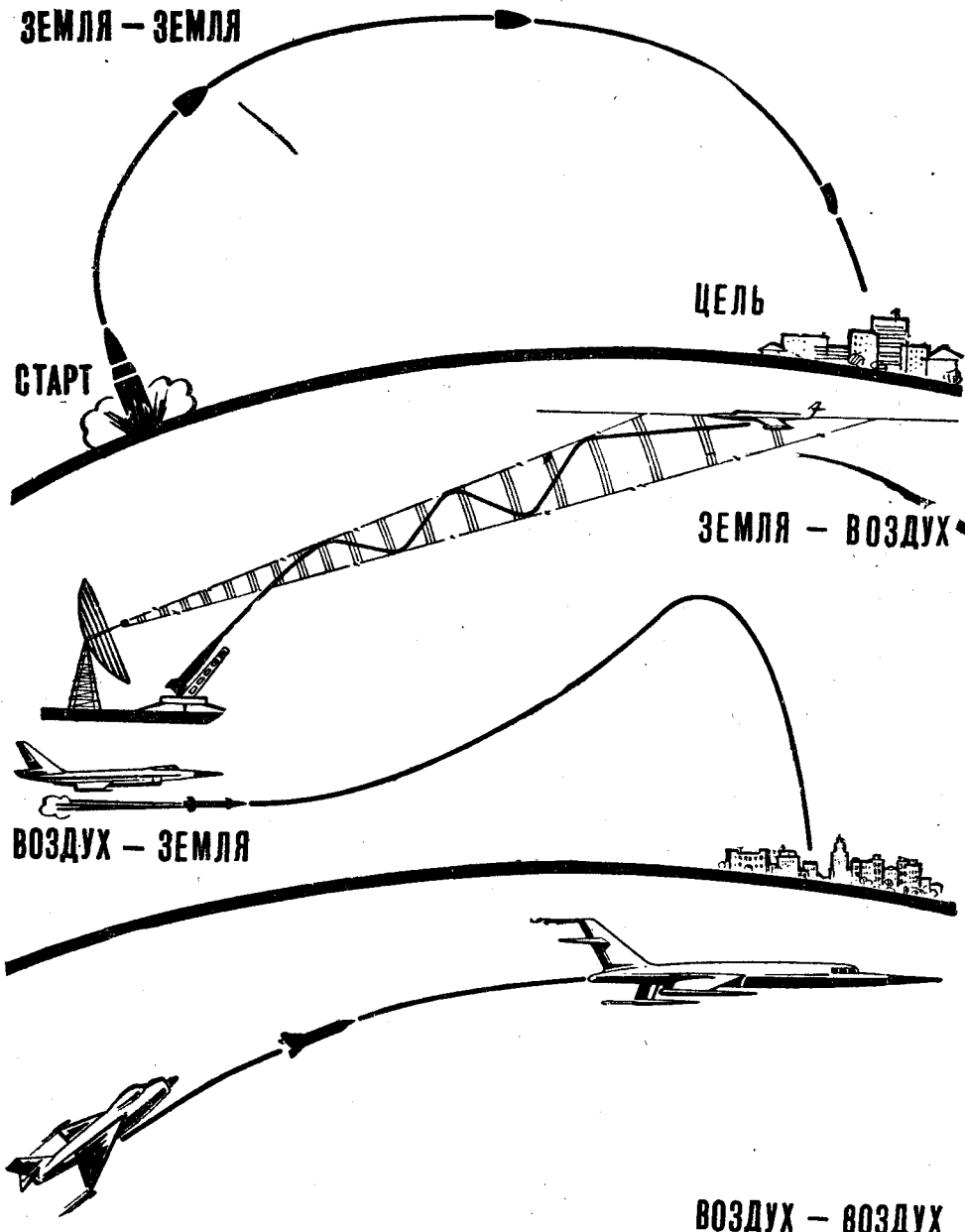
ЦЕЛЬ

ЗЕМЛЯ — ВОЗДУХ

ВОЗДУХ — ЗЕМЛЯ

ВОЗДУХ — ВОЗДУХ

Рис. 17. Классы боевых ракет.



двигатель которых работает все время, от начала до конца, и неуправляемые, баллистические (от греческого слова «бросаю»). Дальность, продолжительность или высота пассивного (без двигателя) полета этих ракет зависит от того, как быстро разгонится ракета на участке с работающим двигателем, то есть на активном участке. На рисунке 18 активный подъем ракеты обозначен буквами OA , а пассивный — AB . Таким образом, модель ракеты относится к баллистическому типу: все-ее показатели зависят от скорости в конце активного участка, от так называемой конечной скорости. Сравните модель с камнем: чем сильнее его бросишь, тем выше он летит. А можно ли найти конечную скорость ракеты?

Интересно, что это был первый вопрос, который задал себе Константин Эдуардович Циолковский. Он хорошо понимал, что ракетный летательный аппарат станет спутником лишь тогда, когда его скорость превысит первую космическую.

Циолковский поставил перед собой задачу: определить конечную скорость ракеты. Правда, сначала для идеальных, неземных условий. Он предположил, что ракета летит в безвоздушном пространстве, вдали от Земли, других планет и звезд, то есть вне гравитационных полей, создаваемых небесными телами.

Циолковский решил эту задачу уже в 1897 году. Ее теперь называют первой задачей Циолковского, а скорость, которую нашел Константин Эдуардович, назвали идеальной конечной скоростью. Формула, выведенная Циолковским, устанавливает связь между скоростью самой ракеты, скоростью истечения газов из сопла ракетного двигателя, массами ракеты на старте и в конце

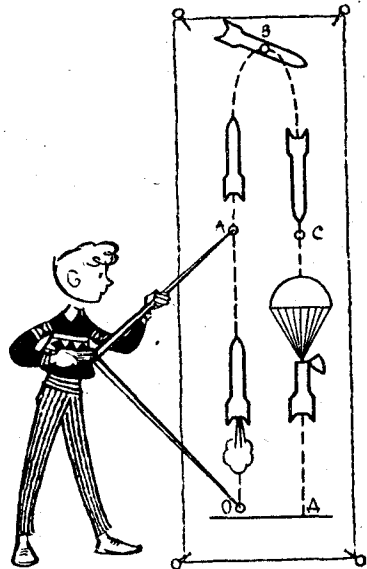


Рис. 18. Траектория полета модели ракеты.

активного участка полета. Ныне эта формула носит имя Циолковского и является краеугольным камнем всей современной космонавтики. Зависимость, устанавливаемая формулой Циолковского, графически изображена на рисунке 19. Буквой V_k обозначена идеальная конечная скорость ракеты, обозначение для скорости истечения W нами уже применялось, а буквами M_0 и M_k отмечены начальная и конечная массы ракеты. Здесь же, на графике, приведена и сама формула Циолковского, правда, не в обычном логарифмическом виде, а в показательном, чтобы эта формула была понятна читателю, не знакомому с логарифмами. В формуле буквой e обозначена постоянная величина — иррациональное число, широко используемое в математике и равное примерно 2,72.

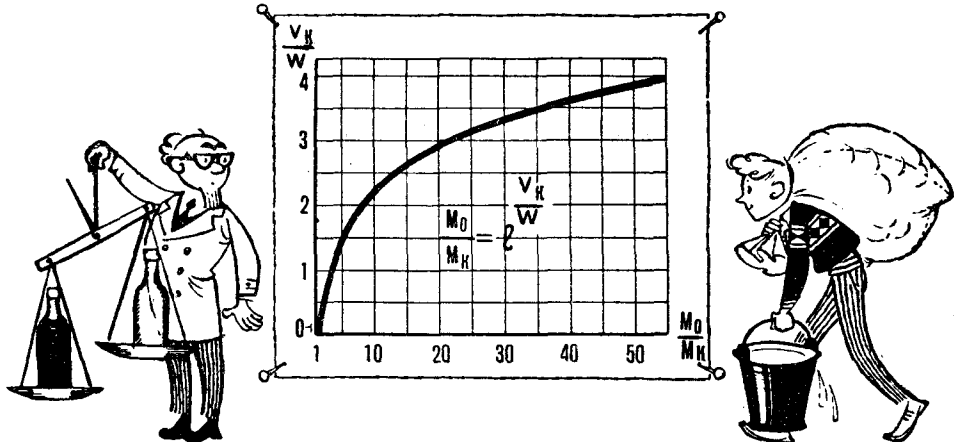


Рис. 19. Формула Циолковского и ее графическое изображение.

Что же позволяет выяснить формулу Циолковского? Посмотрим на график. Если после сгорания топлива масса ракеты уменьшится вдвое, то конечная скорость станет равной трем четвертям от скорости истечения газов. Когда отношение масс достигнет 10, то конечная скорость в 2,3 раза превысит скорость истечения, а при $\frac{M_0}{M_k} = 100$ отношение

$\frac{V_k}{W} = 4,6$ (последней точки на графике нет, ее можно получить расчетным путем). Чтобы наглядно представить, какими должны быть ракеты с указанным соотношением масс, заметим, что отношение масс $\frac{M_0}{M_k} = 2$ соответствует отношению массы бутылки с водой и без нее, $\frac{M_0}{M_k} = 10$ — отношению масс полного и пустого ведра, а цифре 100 соответствует отношению массы мешка с картошкой и без нее.

Отношение $\frac{M_0}{M_k}$ является конструк-

тивным параметром ракеты. Для современного уровня развития техники одноступенчатая ракета в конце полета может быть примерно в десять раз легче, чем на старте — по равенству отношений масс ее можно назвать «летающим ведром».

Насколько велики достижения сегодняшнего ракетостроения, может убедиться любой моделист: попробуйте изготовить модель с отношением масс, равным 2. Это значит, что вес одноступенчатой модели со стандартным двигателем должен в два раза превышать вес топлива, то есть при весе топливного заряда 20 Г вес всей ракеты будет не более 40 Г. Если учесть, что вес пустого двигателя 8 Г, то на долю корпуса стабилизатора, головной части и парашюта придется всего 12 Г. Действительно, «летающая бутылка» не такое уж обидное прозвище для модели ракеты!

Итак, формула Циолковского помогает оценить конструктивное совершенство ракеты. От моделиста

же она требует, чтобы вес всей конструкции был как можно меньше по сравнению с весом топливного заряда, или, как говорят в технике, должна быть «культура веса».

Если в ракетном моделизме требуется «культура веса», то без весов никак не обойдешься. Несложные рычажные весы можно сделать самому, конструкция весов ясна из чертежа (рис. 20). Противовес весов закрепляется винтом в одном из пяти фиксированных положений. Каждому положению противовеса соответствует своя шкала. Градуировка шкал проводится с помощью набора нестертых медных монет, которые имеют вес, соответствующий их достоинству: копейчная монета весит один грамм, двухкопейчная — два и т. д. Перед взвешиванием нужно установить стрелку весов на «0», регулируя винты в основании конструкции.

Так как идеальная скорость, рассчитанная по формуле Циолковского, зависит не только от параметров конструкции, но и от скорости истечения, то ею можно характеризовать совместные качества конструкции и двигателя. Высокое значение идеальной скорости — первое условие успеха модели на соревнованиях.

С помощью формулы Циолковского легко пояснить идею многоступенчатой или составной ракеты, которую он предложил в 1929 году.

Обратимся к расчетам. Чтобы одноступенчатая ракета получила первую космическую скорость (напомним, что для малых высот эта скорость равна 7900 м/сек), отношение масс на старте и в конце полета следует довести до 14—25, то есть запас топлива на ракете должен составлять 93—96%, а конструкция 7—4% общего веса ракеты. Создать

столь легкую конструкцию ракеты, включая ее корпус, двигательную установку и аппаратуру управления, пока не представляется возможным.

Предположим, что в нашем распоряжении имеется трехступенчатая ракета (рис. 21). После срабатывания первой, самой нижней ступени вся ракета получит скорость $V_{к1}$, а масса ее изменится от M_{01} до $M_{к1}$. Теперь происходит отделение первой ступени, масса ракеты уменьшается в результате отбрасывания ненужных уже частей первой ступени — корпуса, оперения, двигателей, топливных баков — и становится равной M_{02} (так мы будем обозначать массу ракеты в момент включения двигателей второй ступени). Когда закончат работу двигатели второй ступени, масса ракеты станет $M_{к2}$, а ракета получит дополнительную скорость $V_{к2}$. Третья

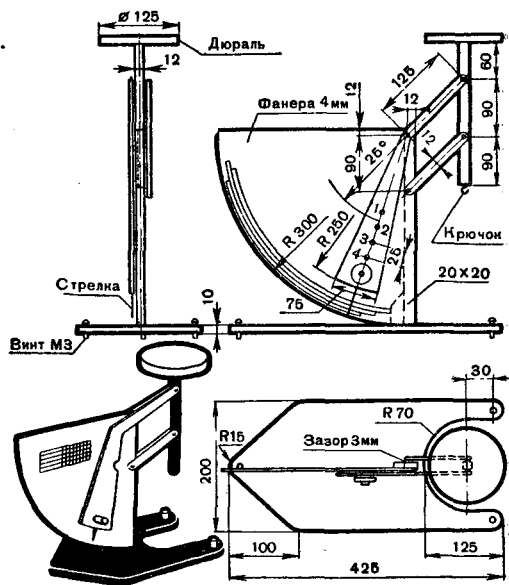


Рис. 20. Рычажные весы для моделей.

ступень начнет работать, имея массу M_{03} , меньшую чем $M_{к2}$, на величину массы конструкции второй ступени. В момент выработки топлива третьей ступени ее масса будет $M_{к3}$, а скорость увеличится на $V_{к3}$.

Для каждой ступени ракеты справедлива формула Циолковского, что позволяет рассчитать $V_{к}$ для каждой ступени, — сумма всех конечных скоростей и дает идеальную скорость многоступенчатой ракеты.

На простом численном примере легко показать эффект многоступенчатости. Возьмем для каждой из ступеней отношение масс $\frac{M_0}{M_k} = 3$ — намного меньшее, чем наибольшее значение конструктивного параметра одноступенчатой ракеты. Тогда прирост скорости, даваемый каждой ступенью, будет одинаков и определится соотношением $\frac{V_k}{W}$, которое для $\frac{M_0}{M_k} = 3$ легко находится из

графика: $\frac{V_k}{W} = 1,1$. Если на всех

ступенях стоят однотипные двигатели (с одинаковой скоростью истечения W), то в конце работы третьей ступени отношение скоростей станет равным:

$$\frac{V_k}{W} = \frac{V_{к1}}{W} + \frac{V_{к2}}{W} + \frac{V_{к3}}{W} = 1,1 + 1,1 + 1,1 = 3,3.$$

По графику находим, что такому отношению скоростей соответствует одноступенчатая ракета с конструктивным параметром $\frac{M_0}{M_k} = 27$ —

цифра, пока недостижимая для ракетостроения! Вот наглядное доказательство преимущества многоступенчатости! Именно поэтому только составным ракетам стали подвластны космические просторы.

Не забывайте использовать эффект многоступенчатости и в ракетном моделизме. Но не спешите, потренируйтесь сначала на одноступенчатых. Чем больше ступеней,

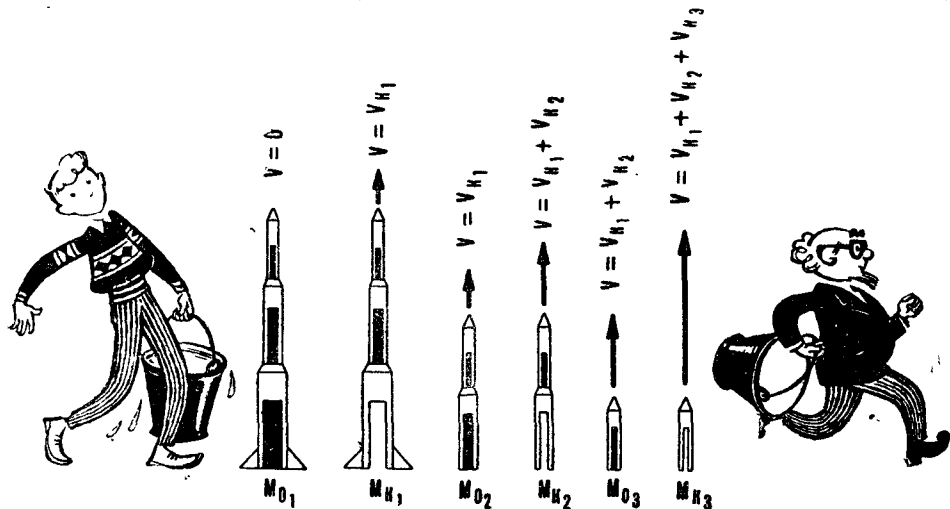


Рис. 21. Последовательность разгона трехступенчатой ракеты.

тем пакета сложнее. Поэтому даже в космической технике число ступеней ракеты-носителя редко превышает три. Каковы же конструктивные схемы соединения ступеней?

Циолковский предложил два типа составных ракет. Один тип он назвал «ракетным поездом», а второй — «эскадрилей ракет». Различие между этими типами состояло в способе соединения ступеней.

Ступени «ракетного поезда» соединялись последовательно, подобно вагонам железнодорожного поезда. Один за другим вагоны-ступени освобождались от груза — топлива и отсоединялись от всего состава, все сильнее и сильнее разгоняя последний вагон.

«Эскадрилья ракет» предусматривала параллельное соединение ступеней в виде целого «пакета» ракет. Подобная схема позволяла включать двигатели всех ступеней одновременно.

Деление многоступенчатых ракет на «ракетные поезда» и «эскадрильи ракет» сохранилось и до наших дней, однако терминология несколько изменилась. Конструктивную схему типа «ракетный поезд» принято сегодня называть многоступенчатой ракетой с поперечным делением, а схемы типа «эскадрилья ракет» называют многоступенчатыми ракетами с продольным делением (см. рис. 22).

Советскому Союзу принадлежит первенство не только в создании теории многоступенчатых ракет: первый в мире запуск такой ракеты был осуществлен в нашей стране. 19 мая 1933 года двухступенчатая ракета конструкции И. А. Меркулова успешно стартовала на станции Планерная, под Москвой.

Если число ступеней больше двух, возможно применение систем с ком-

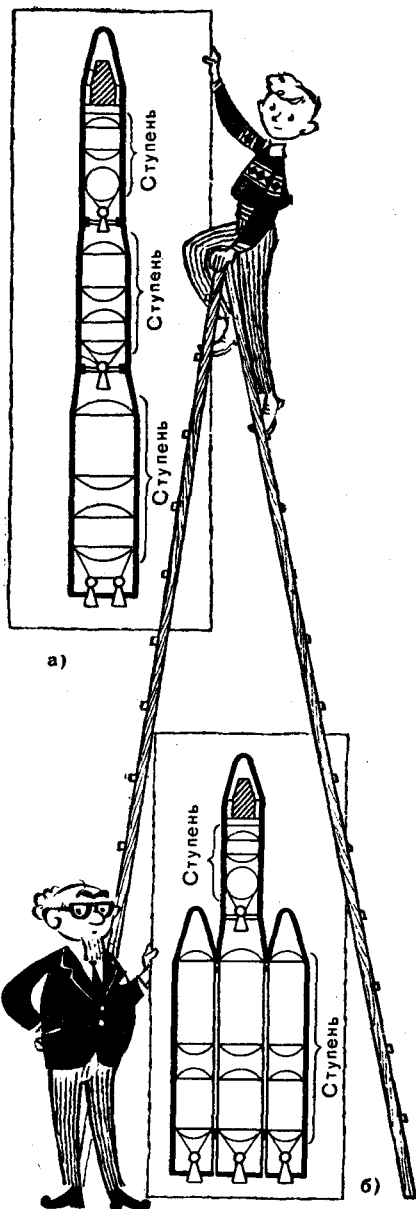


Рис. 22. Многоступенчатые ракеты: а) с поперечным делением; б) с продольным делением.

бинированным продольно-поперечным делением. К такому комбинированному типу относится известная советская трехступенчатая ракета-носитель «Восток».

Определив идеальную скорость ракеты, Циолковский поставил перед собою вторую задачу: найти скорость ракеты, если она взлетает с Земли, лишенной атмосферы, вертикально. Посмотрите на траекторию полета модели: вторая задача Циолковского совсем близка к условиям ее старта. Здесь, на активном участке, учтены уже все силы (тяга P и сила тяжести G), кроме силы сопротивления Q , создаваемой воздушной средой.

Решая эту задачу, Циолковский нашел, что для вертикально стартовой модели конечная скорость будет тем больше, чем быстрее сжигается топливо на ракете. Да это и очевидно: поднимаясь под действием силы-друга P , она «падает» под действием другой силы G с постоянным ускорением $9,8 \text{ м/сек}^2$! Чем больше сила P , тем быстрее ракета наберет нужную скорость и тем меньше ее движение замедлится под действием тормозящей силы земного тяготения.

С другой стороны, воздушная среда делает поправку к выводу второй задачи Циолковского: сила сопротивления, как мы увидим в следующей главе, растет пропорционально квадрату скорости, и поэтому на определенном этапе полета выгоднее несколько замедлить движение ракеты, чтобы ослабить влияние второй тормозящей силы, сопротивления Q .

Таким образом, мы приходим к выводу, что при активном подъеме ракеты величину тяги желательно изменять в зависимости от этапа полета. Это можно делать, сжигая

в одну секунду большее или меньшее количество топлива. В ЖРД это сделать просто — прикрыл кран подачи топлива, и расход его уменьшается, открыл — увеличивается. А как же поступить в случае РДТТ? Один из наиболее распространенных способов регулирования тяги по времени в твердотопливных двигателях — изменение площади поверхности горения заряда. Твердое топливо горит с открытой поверхности и выгорает параллельными слоями. При постоянном давлении скорость горения или скорость проникновения фронта горения в глубь заряда является величиной постоянной. Следовательно, если величина поверхности горения не изменяется, то в каждую секунду будут сгорать одинаковые массы топлива. С увеличением поверхности горения расход топлива увеличивается, с уменьшением — уменьшается. В первом случае тяга двигателя постоянна на все время его работы, и топливный заряд называется зарядом с нейтральным горением, во втором тяга все время увеличивается — горение является прогрессивным, в третьем тяга падает — горение депрессивное.

Простейшим примером заряда с нейтральным горением может служить так называемый «сигаретный» заряд (рис. 23 а): он подобно сигарете горит только с торца, и площадь его поверхности горения постоянна.

Полый цилиндрический заряд (рис. 23 б), горящий с внешней и внутренней поверхностей, также дает постоянную поверхность горения, так как уменьшение внешней поверхности горения компенсируется увеличением внутренней. Такая форма заряда впервые была предложена русским изобретателем ракет XIX века генералом К. И. Кон-

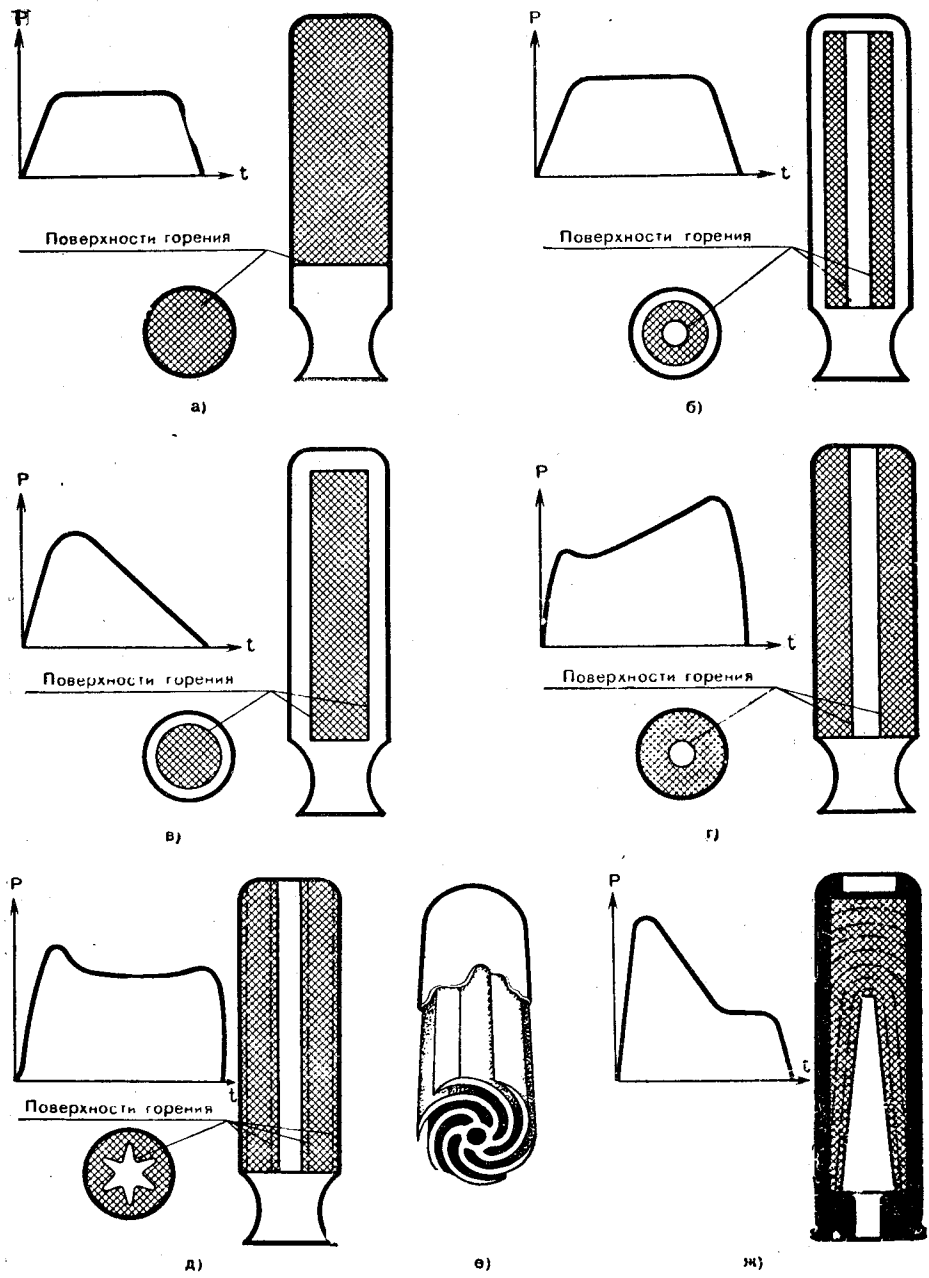


Рис. 23. Формы топливных зарядов и законы их горения.

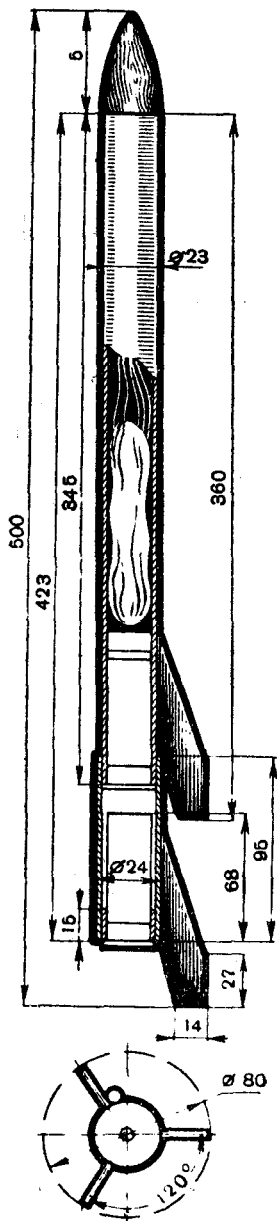


Рис. 24. Двухступенчатая модель Ю. Салдатова.

стантиновым. Заряд с уменьшающейся поверхностью горения — цилиндр, горящий извне (рис. 23 в). У полого цилиндрического заряда, имеющего форму трубки и горящего изнутри, поверхность горения увеличивается (рис. 23 г). Такой заряд с внутренним горением выгодно использовать в РДТТ: он защищает корпус камеры сгорания от нагрева.

Чтобы обеспечить определенный закон изменения тяги по времени, внутренний канал может иметь не цилиндрическую форму, а сложную, профилированную. Например, широко применяются звездообразные каналы, которые дают примерно постоянную поверхность горения (рис. 23 д). На рисунке 23 е изображен еще более сложный тип заряда твердого топлива: несколько пластин топлива изогнуты по спирали и могут гореть одновременно с верхней и нижней поверхностями изогнутых плоскостей. Заряд такой формы имеет огромную поверхность горения, что позволяет создать большую тягу за малый промежуток времени.

В отечественном стандартном двигателе (рис. 23 ж) со стороны сопла в заряде сделано конусное отверстие. Топливо может гореть только изнутри — внешняя поверхность заряда плотно прилегает к картонным стенкам корпуса. На рисунке штрих-пунктиром отмечены последовательные положения фронта горения через равные промежутки времени. Наблюдая за движением фронта горения в заряде, мы можем сделать вывод, что вначале поверхность горения достаточно велика, затем она уменьшается, а в конце заряд становится «сигаретным», то есть горит с торца. Соответственно поверхности должна изменяться и тяга, график изменения тяги по

времени показан на рисунке. В действительности получить подобный график для стандартного двигателя на черном порохе трудно: малейшие трещины, неоднородность состава, вызванная недостаточным перемешиванием топлива при изготовлении, могут нарушить закон изменения тяги по времени.

Как показывают специальные исследования, оптимальная программа подъема высотной ракеты-зонда выглядит следующим образом: вначале под кратковременным действием большей тяги ракета быстро разгоняется до некоторой скорости, на которой ее аэродинамическое сопротивление не очень велико, а затем она совершает длительный подъем под действием примерно постоянной тяги. Впоследствии мы еще поговорим о том, что на моделях ракет (и вообще на ракетах, стартующих с направляющих) тяга в начале полета должна быть большой, в частности, и для того, чтобы скорость в момент схода с направляющей была бы достаточной для аэродинамической стабилизации ракеты.

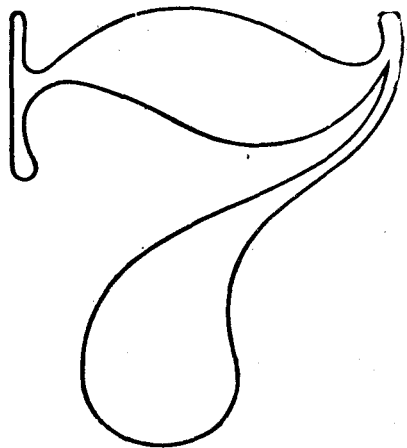
Стандартный двигатель благодаря форме порохового заряда имеет характеристику изменения тяги по времени, соответствующую оптимальной программе. Подобное изменение тяги наилучшим образом удовлетворяет конструктора одноступенчатой модели.

Для многоступенчатых моделей ракет на первых ступенях желательно использовать заряды с большой поверхностью горения и большими значениями тяги (так называемые стартовые двигатели), а на последующих ступенях — двигатели с постоянной тягой (маршевые).

Если же в распоряжении моделиста имеется один тип двигателя, то наиболее правильное распределение двигателей будет таким, чтобы число двигателей на первой ступени было больше, чем на последующих. Так, при числе стандартных двигателей, равному шести, правильному распределению двигателей по трем ступеням соответствует схема 3—2—1 или 4—1—1, а неправильному 1—2—3 (1—1—4).

Попробуйте построить теперь первую многоступенчатую модель (рис. 24). Ее конструктор — чемпион 1-х Всесоюзных соревнований ракетомоделстов Юрий Солдатов. Модель двухступенчатая, с баллонами стабилизаторами большой площади и высоким расположением центра тяжести (150 мм от нижнего среза стабилизаторов второй ступени). Корпус выклеен на буманке из двух слоев чертежной бумаги; диаметр второй ступени — 22 мм, первой — 24 мм. Бумажные направляющие кольца приклеены эмайлтом к корпусу второй ступени. Головка ракеты изготовлена из березы и загружена свинцом (10 Г). Модель снабжена ленточным парашютом. Корпус модели хорошо отполирован, покрашен в черно-желтый цвет и покрыт сверху лаком. Вес модели без двигателей — 40 Г.

При снаряжении модели двигателями особое внимание нужно обратить на надежную передачу огневого импульса от нижнего двигателя к верхнему. Для этого на нижнем двигателе (он без вышибного заряда) в верхней крышке делается небольшое отверстие, а в сопло верхнего двигателя вставляется кусочек стопина — фитиля, пропитанного горючим составом.



Друзья и враги ракеты. —

Аэродинамическое сопротивление, что это такое? — Трение и давление. — Формула сопротивления. — Как найти коэффициент C_x ? — Обтекаемость. — Звуковой барьер. — Формы ракет. — Как бороться с воздушным противником?



При подъеме модели ракеты у нее есть друзья и враги. Разгоняет ракету сила тяги, а препятствуют разгону две силы: сила притяжения Земли и сила аэродинамического (дословно: воздушно-силового) сопротивления. Велики ли силы, тормозящие ракету? Силен ли враг?

Обратимся к космической технике. Установлено, что при выведении космического аппарата на круговую орбиту, высота которой 500 км, потери скорости вследствие аэродинамического торможения составляют 0,4 км/сек, а гравитационные потери (потери, вызванные действием силы притяжения Земли) — 1,1 км/сек. Как видим, потери значительные.

Еще большие потери сопутствуют полету модели, особенно потери аэродинамические: полет космической ракеты лишь частично происходит в плотных слоях атмосферы (напомним, что 75% всей массы атмосферы содержит десятикилометровый нижний ее слой), а полет модели полностью совершается в плотной среде.

Расчеты показывают, что у модели ракеты потери высоты, вызванные аэродинамическим сопротивлением, могут быть равны, а иногда и больше гравитационных. Поэтому моделисту особенно важно изучить «воздушного» противника, чтобы успешно бороться с ним.

Какова же природа аэродинамического сопротивления?

Сопротивление, которое действует на модели раке и сами ракеты, на самолеты, автомобили, корабли, — в общем, на все, что передвигается в жидкой или газообразной среде, — создается двумя силами: трением и давлением.

Сопротивление трения возникает благодаря «вязкости» среды, в ко-

торой происходит движение. Двигаясь в атмосфере, тело «сдвигает» слои воздуха, очень близко прилегающие к его поверхности. Напряжение сдвига появляется потому, что частицы воздуха на самой поверхности движутся вместе с телом, а на сравнительно небольшом расстоянии от тела воздух неподвижен. В этом отношении сопротивление трения подобно тем силам, которые возникают, например, при скольжении какого-нибудь предмета по столу.

Сопротивление давления возникает потому, что воздушная среда обладает инерцией, мерой которой служит ее масса или массовая плотность. Когда тело движется в атмосфере, частицы воздуха должны раступаться, освобождая пространство для тела. При этом они ускоряются и в соответствии с физическими законами Ньютона оказывают противодействие движущемуся телу. В результате такого противодействия и возникает сопротивление давления.

Велики ли силы сопротивления и давления при полете модели? Какова их сравнительная роль в создании общего сопротивления?

Расчеты показывают, что для модели длиной около четверти метра и диаметром 25 мм силы трения могут достигать величины 4 Г, а силы давления — 60 Г. Как мы видим, силы давления играют большую роль в создании аэродинамического сопротивления. Однако при некоторых условиях, о них мы скажем дальше, силы трения могут быть значительно больше.

Аэродинамическое сопротивление ракет и моделей рассчитывают по формуле:

$$Q = c_x \frac{\rho V^2}{2} S,$$

где Q — полное аэродинамическое сопротивление;

ρ — массовая плотность воздуха;

V — скорость полета;

S — площадь наибольшего поперечного сечения (мидела) ракеты.

Буквами c_x (читается: цэ-икс) в формуле обозначен безразмерный поправочный коэффициент, называемый коэффициентом лобового аэродинамического сопротивления. Итак, лобовое сопротивление модели или ракеты будет тем больше, чем плотнее среда, в которой происходит полет (чем больше массовая плотность воздуха ρ). Сопротивление также очень сильно зависит от скорости полета: если, например, скорость увеличивается вдвое, то сопротивление возрастает вчетверо, при тройном увеличении скорости сопротивление возрастает в 9 раз!

Особое внимание моделисту следует обратить на коэффициент лобового сопротивления — именно с помощью этого коэффициента можно в значительной мере повлиять на величину аэродинамической тормозящей силы, а значит, и на летные свойства модели.

Для одноступенчатой модели коэффициент аэродинамического сопротивления будет где-то около 0,4—0,5. Обычно его определяют опытным путем, продувая модели в аэродинамических трубах.

Простейшая аэродинамическая труба изображена на рисунке 25. Воздух засасывается в трубу вентилятором, который приводится во вращение электромотором. Во входной части трубы находится спрямляющая решетка. Она создает в рабочей части равномерный поток. За рабочей частью, в которой устанавливается испытываемая модель, тру-

ба плавно расширяется. Если выход трубы соединить каналом со входом, то получится труба с замкнутым потоком. У труб такого типа при одних и тех же размерах рабочей части и при одной и той же мощности мотора скорость в рабочей части будет больше, чем у трубы с незамкнутым потоком.

Коэффициент лобового сопротивления характеризует важное качество летящего тела — его обтекаемость. Посмотрите на рисунок 26. На нем изображены различные по своей форме тела: простые — пластина, цилиндр, шар и более сложные — сочетание полусферы и конуса, каплеобразное тело. Все они имеют разные коэффициенты сопротивления, причем самое меньшее у последнего, так как оно имеет обтекаемую форму. Обтекаемое тело, как показывает само название, имеет контуры, которые точно следуют пути частиц воздуха у его поверхности, причем движение частиц

происходит плавно, без резких изменений их траектории. Разнообразные примеры обтекаемых тел дает нам природа. Понаблюдайте, как быстро разрезает толщу воды рыба или обыкновенный головастик, как стремителен полет птицы, — все это возможно лишь потому, что природа позаботилась, чтобы их тела были обтекаемыми.

Итак, идеальное обтекаемое тело имеет закругленную головную часть, продолговатое «туловище», плавно переходящее в удлиненную, сильно сужающуюся хвостовую часть.

Обтекаемая форма была бы наилучшей и для модели ракеты. К сожалению, мы не можем точно следовать мудрым указаниям природы: закругленную головную часть и продолговатый корпус сделать еще можно, но вот для кормовой части ракеты сужающаяся, сходящая на нет форма не подойдет: если сделать хвост ракеты такой формы, то

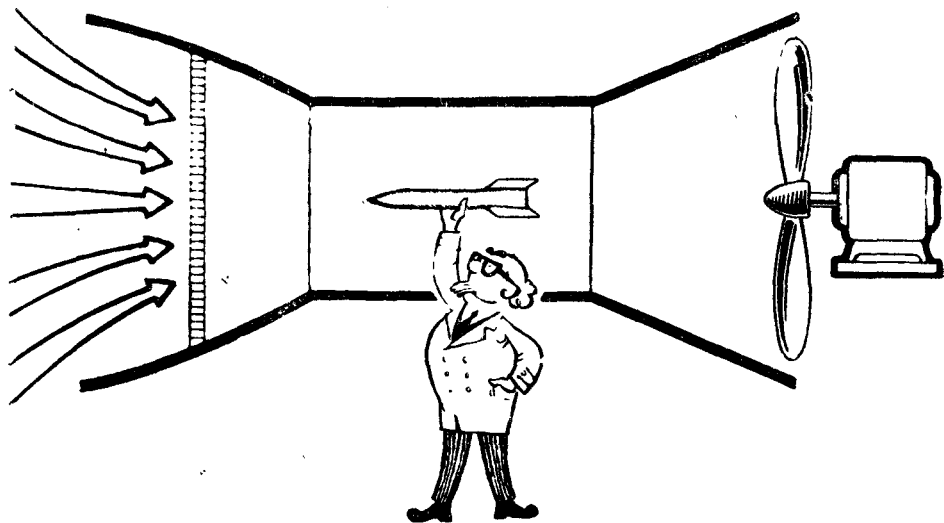


Рис. 25. Устройство аэродинамической трубы.

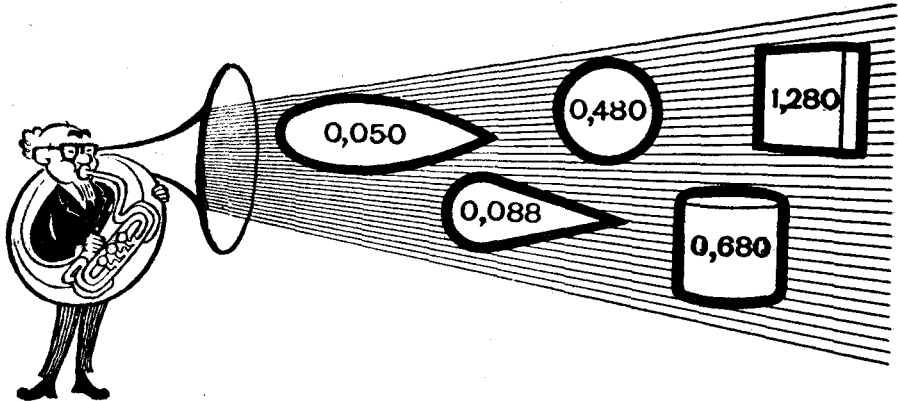


Рис. 26. Коэффициенты сопротивления различных тел.

негде будет разместить двигатель, обеспечивающий продвижение ракеты вперед.

В аэродинамике скорость движущегося тела принято сравнивать со скоростью распространения в воздухе звуковых колебаний. Когда скорость полета станет приближаться к скорости звука, то картина обтекания тела резко изменится. Доступны ли такие скорости моделям? Конечно, доступны, и особенно, многоступенчатым. А вот природе такие скорости не по плечу, и поэтому мы не сможем найти подходящего живого примера, который бы подсказал нам, какой должна быть форма тела при около- или сверхзвуковых скоростях. Что же происходит при движении со скоростями, близкими к скорости звука?

Вспомним, что звук есть процесс распространения в воздухе слабых возмущений давления и плотности. Каждая точка поверхности летящей ракеты является генератором звуковых возмущений. Если скорость ракеты меньше-звуковой, то эти возмущения обгоняют ракету и «пред-

упреждают» частицы воздуха, находящиеся перед ней, о приближении летящего тела. Частицы воздуха заблаговременно перестраиваются и плавно обтекают ракету. Точно так же расступается толпа на людной привокзальной площади, когда носильщик предупреждает ее криком «Поберегись!».

А теперь представим, что ракета летит со скоростью звука или быстрее (для воздуха скорость звука при нормальных атмосферных условиях равна 340 м/сек). Частицы воздуха не получают предупреждающего сигнала (ракета догоняет звуковое возмущение) и как бы «на-тыкаются» на преграду, создавая значительно большее сопротивление движению ракеты. При этом в воздушном потоке возникают скачки уплотнения — тонкие слои очень сильно сжатого воздуха, в которых происходят резкие изменения температуры, давления и плотности. Используя специальные приемы съемки, скачки можно даже сфотографировать: на рисунке 27 изображена фотография скачков уплотне-

ния, полученная при испытании сверхзвуковой модели самолета. По виду эти скачки очень напоминают клинообразные волны, возникающие при движении катера по поверхности воды.

Для сравнения скорости потока со скоростью звука в аэродинамике используют специальный показатель — число M , отношение скорости полета к скорости звука. Чем ближе скорость полета к скорости звука, тем ближе число M к единице. На сверхзвуковых скоростях оно, естественно, больше единицы. При около- и сверхзвуковых скоростях формула для расчета аэродинамического сопротивления не меняется, однако коэффициент c_x в этой формуле изменяется очень сильно. На рисунке 28 показана его зависимость от числа M для одной из баллистических ракет. На этом же рисунке, сбоку, показано, как на

теле ракеты возникают и усиливаются с ростом числа M скачки уплотнения. Условно весь график можно разбить на три зоны. В первой зоне c_x постоянен и не зависит от числа M . На нашем графике первая зона заканчивается при числе $M = 0,6$. Режим обтекания в этой зоне называется чисто дозвуковым.

Во второй зоне c_x растет. Чем же объяснить рост коэффициента сопротивления при числах M , меньших единицы? Дело в том, что струйки воздуха, обтекающие тело, поджимаются им, и воздух вблизи поверхности ракеты разгоняется. При этом местная скорость воздуха может стать равной или даже большей скорости звука, что приведет к образованию скачка уплотнения еще на дозвуковой скорости полета!

С увеличением числа M полета интенсивность скачков возрастает, и

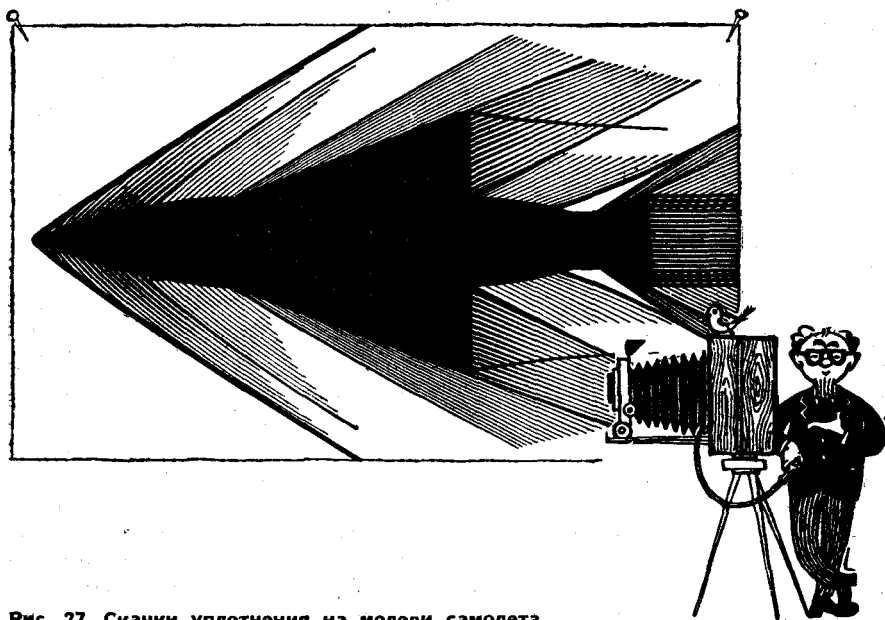


Рис. 27. Скачки уплотнения на модели самолета.

при скорости несколько большей скорости звука коэффициент сопротивления становится самым большим.

В третьей зоне c_x постепенно падает — в этой зоне скачки все больше наклоняются к поверхности тела, а интенсивность наклоненных скачков, как это доказывается в аэродинамике, снижается.

Взгляните еще раз на график. Не напоминает ли он по виду препятствие, барьер, который надо преодолеть, чтобы достичь большой сверхзвуковой скорости? Может быть, именно поэтому в технике и появился такой термин: «звуковой барьер». Что ж, теперь можно и малым моделям пожелать успеха в штурме этого барьера!

В авиации и ракетной технике научились выбирать наиболее вы-

годные формы летательного аппарата. Какие же формы присущи современным ракетам?

Ракета или модель, как правило, состоит из двух основных частей: корпуса и оперения (не забывайте, что это деление ведется с точки зрения формы ракеты).

Корпус типичной ракеты (рис. 29) делится на переднюю головную (носовую) часть, среднюю цилиндрическую и заднюю кормовую (или хвостовую) части.

Наиболее распространенными формами головной части являются коническая, оживальная и парабо-

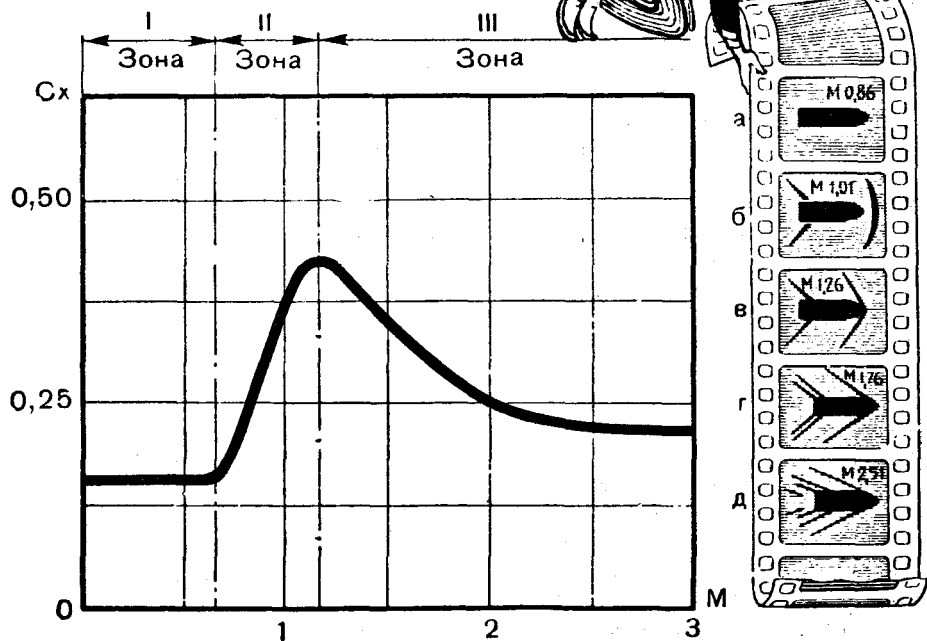


Рис. 28. Зависимость коэффициента сопротивления от числа M .

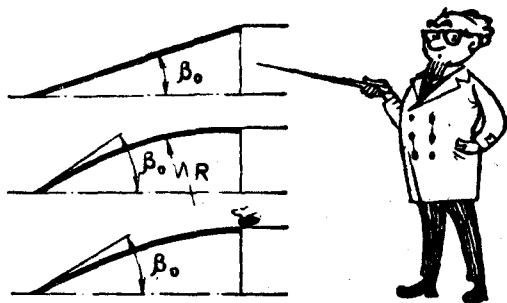
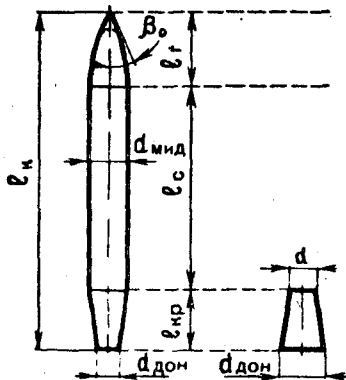


Рис. 29. Формы корпуса ракеты.

лическая. Образующей конической головной части является прямая, оживальной — дуга окружности, а параболической — дуга параболы. Касательная к образующей головной части в точке пересечения образующей с осью ракеты составляет с осью угол, называемый углом конусности. На рисунке 29 этот угол обозначен буквой β_0 . Иногда носик головной части выполняют закругленным (как это показано пунктиром на рисунке).

Что потребуется для изготовления носовой части ракеты?

Большинство «головок» модели вытачиваются на токарных станках из дерева — сосны, березы, бука, липы. Заметьте, что не всегда выгодно делать головку из легких пород дерева: более тяжелая головка способствует устойчивому полету. Если возникнут затруднения с токарным станком, можно склеить носовую обтекатель из бумаги. Как это сделать, видно из рисунка 30.

Формы кормовой части корпуса в значительной мере влияют на величину так называемого донного сопротивления. Оно представляет собой часть сопротивления давления

и является следствием разрежения за кормой: кольцевая струя воздуха на срезе кормы стремится отсосать его из-за кормы — подобное отсасывающее (эжектирующее) действие струи воздуха можно наблюдать в обычном пульверизаторе или струйном насосе. С целью уменьшения донного сопротивления кормовую часть делают сужающейся, но встречаются кормовые части цилиндрической и даже расширяющейся конической формы.

Геометрические показатели корпуса ракеты в целом принято характеризовать двумя основными данными: диаметром сечения миделя $d_{мид}$ и удлинением λ (отношение длины корпуса l к диаметру миделя)

$$\lambda = \frac{l}{d_{мид}}$$

Корпус большинства спортивных моделей ракет выполняется по схеме, изображенной на рисунке 29, а иногда даже проще — без конической кормовой части. Формы «больших» ракет отличаются огромным разнообразием и могут быть значи-

тельно сложное формы типичной ракеты. Рисунок 31 показывает несколько схематизированную форму второй и третьей ступеней космической ракеты «Восток». Головная часть ракеты с закругленным носиком состоит из двух конусов с различными углами конусности. Средняя и кормовая части третьей ступени представляют собой цилиндр, а на второй ступени они составлены из трех тел вращения: расширяющегося конуса, сужающегося конуса и цилиндра.

Немалую роль в создании аэродинамического сопротивления играет оперение. Более половины сопротивления всей ракеты может быть вызвано оперением. Геометрические формы оперения, так же как и формы крыла самолета, принято классифицировать по виду профиля и по виду оперения в плане.

Форма профиля оперения может быть дозвуковой и сверхзвуковой. В любом случае для оперения при-

меняются симметричные профили, средняя линия такого профиля является осью его симметрии. Отрезок прямой линии, соединяющей две наиболее удаленные точки контура профиля, называется хордой (обозначен буквой b на рисунке 32).

Очень важной геометрической характеристикой профиля является его относительная толщина (\bar{c}), которая определяется путем деления максимальной толщины профиля c (см. рис.) на длину хорды

$$\bar{c} = \frac{c}{b}$$

Профиль дозвуковой формы напоминает каплевидное тело вращения. Он имеет большую относительную толщину, равную 10—12%, закругленный носок и плавные обводы контура. Профиль сверхзвуковой формы характеризуется острым носком и малыми значениями относительной толщины ($\bar{c} = 3—5\%$). Его контур образован либо дугами кри-

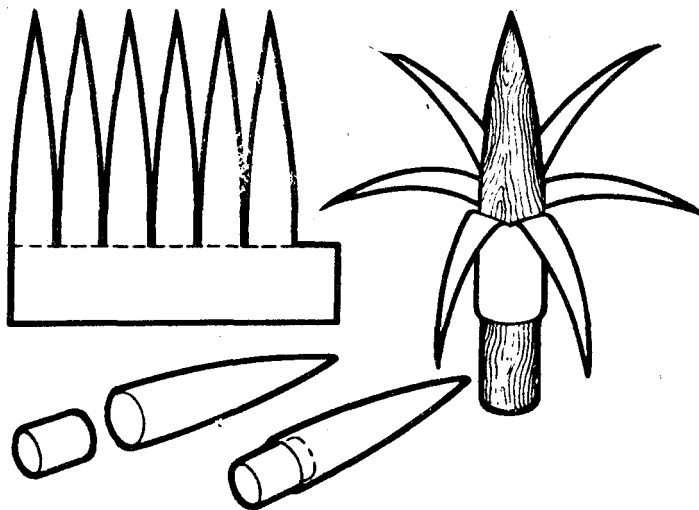


Рис. 30. Головную часть модели ракеты можно изготовить из бумаги.

вых линий с малой кривизной, либо отрезками прямых. На рисунке показаны два наиболее распространенных профиля: чечевицеобразный (контур образован дугами окружности или параболы) и ромбовидный.

Для характеристики формы оперения в плане следует указать размеры концевой ($b_{\text{конц}}$) и корневой хорды ($b_{\text{корн}}$), размах оперения (на рис. 32 показан полуразмах оперения $l/2$) и угол стреловидности χ (угол между передней кромкой и поперечной осью ракеты). В зависимости от выбора линейных и угловых размеров изменяется и форма оперения в плане. Наибольшее распространение получили прямоугольная, трапециевидная, стреловидная и треугольная

формы. Так же как и корпус ракеты, оперение реальной ракеты или модели может быть значительно более сложной формы, чем описанные нами. Могут быть ракеты, вообще не имеющие оперения, — все это зависит от выбора способа стабилизации ракет в полете. Если же вы решили применить на ракетной модели оперение, не забывайте придать ему обтекаемую форму. Не упускайте из виду интересный факт: круглый провод миллиметрового сечения создает такое же сопротивление, как и обтекаемый профиль сантиметровой толщины. А несущие свойства такого профиля (под этим термином понимается способность профиля создавать подъемную силу — это очень важно для стабилизации ракеты!) значительно лучше, чем у непрофилированной.

Теперь необходимо подвести итог всему, что мы узнали о «враге ракеты номер два» — аэродинамическом сопротивлении, и дать некоторые советы по выбору форм наименьшего сопротивления для моделей.

Наружная поверхность модели должна быть гладкой. Шероховатость способствует увеличению сопротивления трения, а в этом случае (при грубой обработке модели) общее сопротивление может увеличиться почти на 20%! Установлено, что выступы на модели не должны превышать 0,1 мм, то есть толщину листа обычной писчей бумаги.

Отрыв пограничного слоя и вихреобразование увеличивают лобовое сопротивление — форма должна способствовать обтеканию модели без срыва, то есть должна быть хорошо обтекаемой.

Перед тем как выбрать форму любой части модели, следует знать,

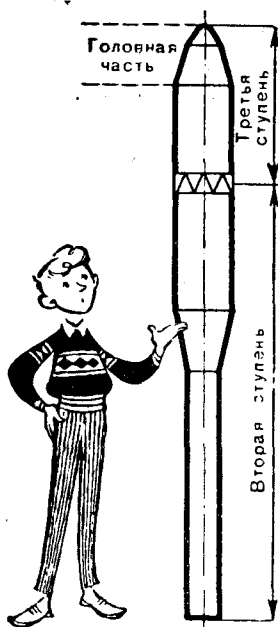


Рис. 31. Формы второй и третьей ступеней ракеты-носителя «Восток».

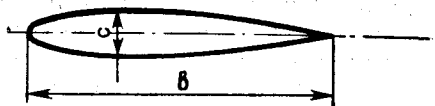
на какой же скорости, или, точнее, с каким числом M она полетит. Современные ракеты достигают огромных значений чисел M и разгоняются до космических скоростей. Число M полета моделей ракет пока меньше единицы. Но скорость звука — это далеко не предел скорости модели, особенно многоступенчатой. Рассчитать скорость полета проектируемой модели или прикинуть ее величину с помощью экспериментальной ракеты — вот путь к наиболее правильному выбору формы модели.

На дозвуковых скоростях более выгодна форма головной части с закругленным носиком, а на сверхзвуковых — заостренная головная часть. Угол конусности головной части выбирают в пределах $10\text{--}45^\circ$. Не забывайте, что сильно удлиненная и заостренная головная часть способствует увеличению сопротивления трения, а на дозвуковой скорости — срыву и возмущению потока.

Иногда выбору формы головной части способствуют соображения, не связанные с уменьшением сопротивления. Так, при полете на числах $M = 5\text{--}10$ и более ракета подвергается интенсивному аэродинамическому нагреву. Ракетчики в этом случае делают своеобразную «жертву фигуры»: применяют затупленную головную часть, которая образует мощный скачок уплотнения. При этом сопротивление увеличивается, но значительная часть тепловой энергии рассеивается в атмосфере и нагрев ракеты уменьшается.

Подумайте, может быть, и вам стоит пожертвовать пешку, а то и ферзя, чтобы получить удачную конструкцию: не всегда требование наименьшего сопротивления будет

ПРОФИЛИ ОПЕРЕНИЯ



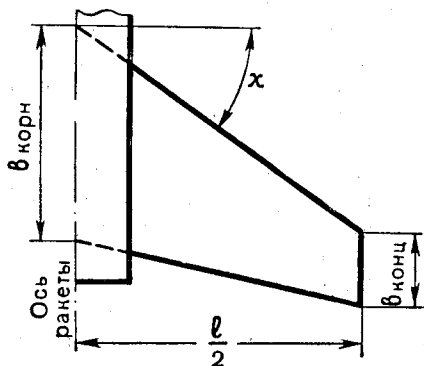
Дозвуковой



Сверхзвуковой



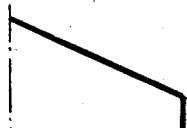
ФОРМЫ ОПЕРЕНИЯ В ПЛАНЕ



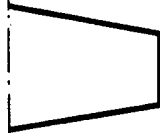
Прямоугольная



Стреловидная



Трапецевидная



Треугольная

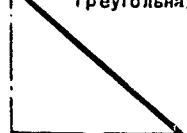


Рис. 32. Геометрические характеристики оперения.

основным для успеха модели на соревнованиях.

Форма кормовой части модели должна способствовать уменьшению донного сопротивления. Как мы уже знаем, донное сопротивление меньше, если кормовая часть сужающейся формы. Замечено, что увеличение удлинения корпуса ракеты уменьшает донное сопротивление. Однако большое удлинение корпуса невыгодно с точки зрения сопротивления трения. Оптимальным значением удлинения для оперенной ракеты считается $\lambda = 8-15$. Донное сопротивление значительно меньше при работе двигателя: газы реактивной струи заполняют застойную зону и уменьшают донное сопротивление. Так, испытание немецкой ракеты «фау-2» показало, что работающий двигатель на 50% снижал донное сопротивление.

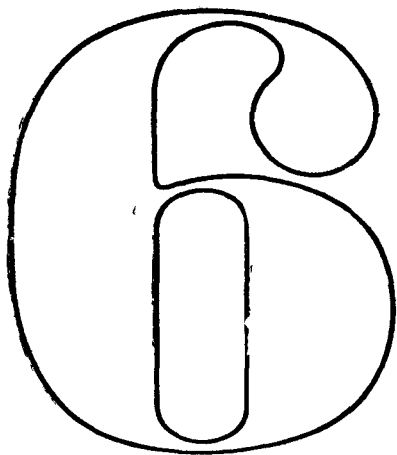
Мидель модели должен быть минимальным — нужно всячески стремиться уменьшать поперечные размеры модели.

Форму профиля оперения также нужно выбирать в соответствии с ожидаемой скоростью полета модели. Следует, однако, отметить, что при сверхзвуковой скорости профиль оперения может быть дозвуковым, — все зависит от формы оперения в плане. Так, при стреловидности в 60° дозвуковой характер обтекания профиля оперения сохраняется до чисел M полета, равных

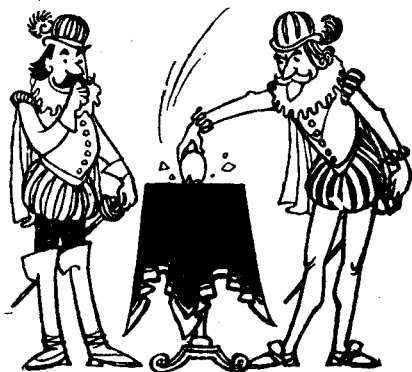
примерно двум. По этой же причине стреловидные крылья получили широкое распространение в современной авиации: дозвуковой профиль крыла обеспечивает безотрывность обтекания на малых скоростях полета, а стреловидность — малое сопротивление при больших числах M .

Аэродинамики уже давно столкнулись с таким фактом, что сумма сопротивлений, создаваемых каждой частью летательного аппарата в отдельности, не равна сопротивлению всего летательного аппарата. Этот факт объясняется интерференцией или взаимным влиянием частей летательного аппарата. Интерференция бывает полезной — в этом случае сумма сопротивлений частей ракеты, замеренных при изолированном испытании каждой части, больше сопротивления всей ракеты, — и вредной, приводящей к увеличению сопротивления ракеты.

Таким образом, недостаточно выбрать составные части ракеты так, чтобы их сопротивления были минимальны, нужно их соответствующим образом соединить, компоновать. Следует заметить, что аэродинамическая компоновка ракеты определяется не только требованием минимума сопротивления всей ракеты, но и другими требованиями, в частности, требованием аэродинамической устойчивости полета.



Неудачи на «Пенемюнде-Ост». — Ракета-канатоходец. — Находчивость «могущественного сеньора дон Христофора Колумба». — Загадки ц. т. и ц. д. — Волан и ракета. — В поисках ц. д. — Испытания на устойчивость. — Перо или кольцо? — Летящий «волчок». — Жонглер-автомат



«На испытательной станции «Пенемюнде-Ост» кипела работа. С 1938 года были проведены сотни испытаний ракеты А-5. Однако гитлеровские ракетчики не были удовлетворены, ибо полностью стабилизировать ее полет не удалось. Точность попадания была никудышной. Аэродинамические проблемы оставались нерешенными.

Первые образцы ракеты А-4 также оказались неудачными: она была неустойчивой в полете, головка отваливалась. Одним словом, подчинить себе ракету не удавалось».

Так описывает немецкий публицист Юлиус Мадер неудачные попытки конструктора фашистских ракет Вернера фон Брауна в борьбе с врагом ракеты «номер три» — неустойчивостью в полете. «Чудо-оружие», словно сопротивляясь бредовым идеям гитлеризма, никак не хотело подчиниться ракетным фанатикам нацистского рейха.

Сегодня с неустойчивостью ракет научились бороться, но стабилизация полета все еще остается сложной задачей ракетной техники. Ракетомоделистам особенно важно знать способы стабилизации ракетных моделей, так как от этого в первую очередь зависит безопасность запусков.

Ракету в полете можно сравнить с канатоходцем: она балансирует, двигаясь по невидимому «канату» траектории. Уже в самом начале, при проектировании модели, важно заложить в нее «чувство равновесия» — обеспечить стабилизацию ее полета. Какие же способы стабилизации ракет известны современной технике?

Понять их поможет нам одна любопытная задача, правда, связанная не с ракетами, а с равновесием куриного яйца, поставленного на один

из его концов, как говорят, на попа, торчком. Любому ясно, что в таком положении яйцо неустойчиво — оно стремится повалиться набок. А вот знаменитый мореплаватель Христофор Колумб выиграл пари, заставив встать яйцо на кончик: он стукнул его по столу, скорлупа надломилась, и яйцо осталось стоять на столе.

Конечно, Колумб воспользовался оплошностью своего противника, который не оговорил условие задачи: нельзя менять форму яйца, нарушать его целостность. А разрешима ли задача Колумба и при этом условии?

Да, мы находим ее решение в одном старинном сборнике фокусов, где предлагают сильно встряхнуть яйцо — при этом более тяжелый желток сместится вниз и центр тяжести всего яйца опустится. Яйцо станет более устойчивым: вспомните детские игрушки «неваляшку»

или ваньку-встаньку — их устойчивость как раз и объясняется очень низким расположением центра тяжести.

Еще одно решение Колумбовой задачи предложил известный популяризатор науки Я. И. Перельман. Он посоветовал быстро, «волчком» закрутить яйцо, и оно, подобно юле, останется некоторое время «стоять» на остром конце.

Если бы задачу Колумба предложили решать не фокуснику, а жонглеру, то он дал бы свое, профессиональное решение. Поставив яйцо, например, на блюдце, он, передвигая блюдце, попытался бы балансировать им так, чтобы оно оставалось в «стоячем» положении.

Интересно заметить, что все четыре решения Колумбовой задачи о яйце, описанные здесь, похожи на те способы, которые применяют в ракетной технике для стабилизации полета.

Начнем с очень важного для моделей способа аэродинамической стабилизации. Как мы увидим дальше, этот способ связан с изменением формы ракеты (сравните с Колумбовым решением) и с положением ее центра тяжести (решение фокусника).

Посмотрим на модель в момент ее вертикального подъема (рис. 33 а): направление ее движения совпадает с продольной осью ракеты. Другими словами, ее угол атаки (так называют угол, который составляет продольная ось с направлением полета) равен нулю. Если бы ничто не мешало полету ракеты, нулевой угол атаки сохранялся бы в течение всего полета. Однако на самом деле так не бывает: порыв ветра, неравномерная работа двигателей и неизбежная несимметрия самой модели — все это стремится возмутить

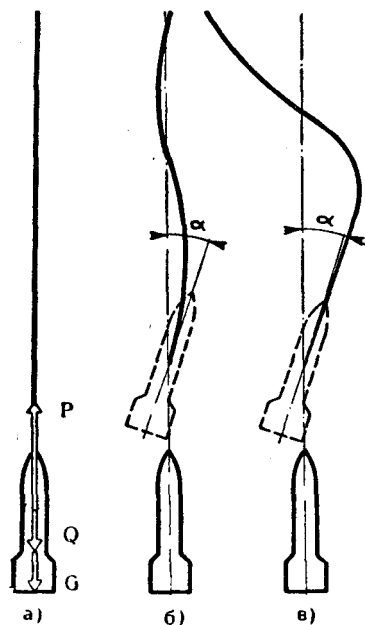


Рис. 33. Полет устойчивой и неустойчивой ракет.

движение ракеты, опрокинуть ее, изменить угол ее атаки.

Допустим, что под действием случайных возмущений модель повернется на некоторый угол атаки α . Устойчивая ракета сама возвратится к нулевому углу атаки (рис. 33 б). Неустойчивая ракета не возвратится к начальному углу и даже увеличит его, все больше и больше отклоняясь от заданной вертикальной траектории (рис. 33 в). В итоге она начнет терять скорость, кувыркаться и падать. Наверное, многие из модельистов наблюдали подобную картину неустойчивого полета.

Таким образом, конструкция устойчивой ракеты должна быть выполнена так, чтобы при случайном изменении угла атаки возникали силы, возвращающие ее к первоначальному углу. Другими словами, она должна быть стабилизированной по углу атаки. Как же добиться устойчивого полета модели?

Многие отвечают: установить специальные поверхности — стабилизаторы. И они будут правы. Такой способ придания ракете устойчивости носит название аэродинамического, поскольку при этом изменяются аэродинамические силы, действующие на ракету. Но какие должны быть стабилизаторы, где их лучше установить и можно ли в некоторых случаях вообще обойтись без стабилизаторов — на такие вопросы ответят немногие. Значит, с причинами и условиями аэродинамической устойчивости нужно познакомиться поближе и поподробнее.

Аэродинамическая устойчивость зависит от взаимного расположения двух важных точек ракеты: центра тяжести и центра давления. Для краткости будем обозначать их дальше буквами ц. т. и ц. д.

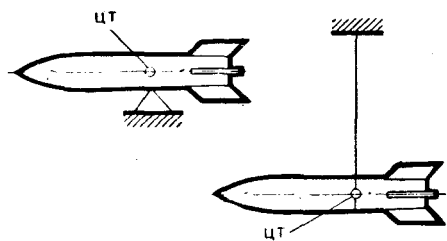


Рис. 34. Так можно найти ц. т. модели.

Понятие ц. т. хорошо известно всем из школьного курса физики. Известны и простейшие способы определения ц. т. — путем балансировки тела на остроугольном предмете или подвешенной нити (рис. 34). Интересно, что вращение тела, находящегося в полете, всегда происходит вокруг оси, проходящей через ц. т. В этом легко убедиться, проделав следующий несложный опыт. Возьмите, например, обыкновенную битку для игры в городки. Найдите ее ц. т. и отметьте его положение на бите, приклеив к ней бумажное кольцо или начертив на ней колечко мелом. Какими бы способами ни бросали битку, она будет вращаться вокруг отмеченного ц. т.

Понятие ц. д. связано с аэродинамическими силами, действующими на ракету в полете. Сумма всех аэродинамических сил называется равнодействующей аэродинамических сил, а точка пересечения этой равнодействующей с продольной осью ракеты называется ц. д.

Предположим, что в нашем распоряжении имеются две ракеты. Первая (рис. 35 а) выполнена таким образом, что ее ц. д. находится впереди ц. т., а у второй (рис. 35 б) ц. д. расположен сзади ц. т. Допустим, что под действием возмущающих сил эти ракеты повер-

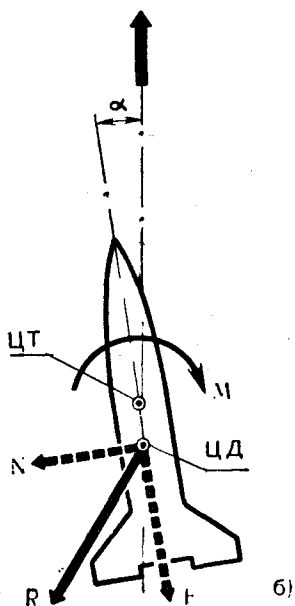
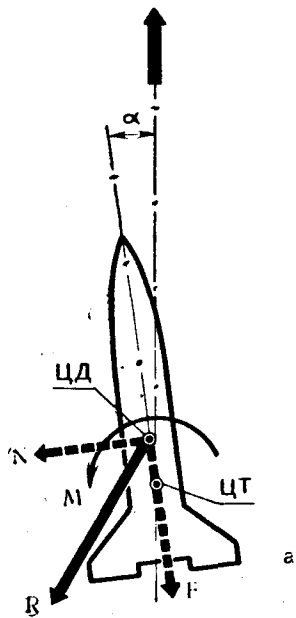


Рис. 35. Влияние взаимного расположения ц. т. и ц. д. на устойчивость ракеты.

нулись вокруг ц. т. на одинаковый угол. Рассмотрим, как будет вести себя каждая из взятых нами ракет. При изменении угла атаки ракеты в ц. д. появится аэродинамическая сила R , которую можно разложить на две силы: осевую — F и нормальную N . Так как осевая сила F проходит через ц. т., то никакого момента относительно ц. т. она не создает. Нормальная сила создает относительно ц. т. момент M , действие которого для первой ракеты направлено на увеличение угла атаки. Такой момент называется дестабилизирующим, ракета в полете будет неустойчивой.

Нормальная сила второй ракеты создает момент M , который, как это видно из рисунка, стремится уменьшить угол атаки до начального невозмущенного значения. Таким образом, момент M будет стабилизирующим, а ракета, изображенная на рисунке 35 б, устойчивой.

Итак, можно сделать следующий важный вывод: аэродинамическая стабилизация обеспечивается только в том случае, когда ц. д. расположен сзади ц. т. ракеты.

В справедливости нашего вывода можно убедиться с помощью простого опыта. Для него нам понадобятся волан для игры в бадминтон и пара бельевых прищепок. Известно, что волан очень устойчив в полете. Как бы мы его ни бросали — рукой или ракеткой, — в любом случае полет волана стабилизирован: он летит головкой вперед, оперением назад. Очевидно, что ц. т. волана находится в его массивной резиновой головке, а равнодействующая аэродинамических сил приложена к легкому разветвленному оперению: ц. д. волана находится сзади ц. т. Попробуем доказать, что именно в таком взаимном расположении ц. т.

и ц. д. заключается причина высокой устойчивости волана. Прикрепим к оперению волана бельевые прищепки. Ц. т. сместится назад, волан потеряет свою устойчивость: он будет лететь вращаясь, то головкой, то оперением вперед.

Таким образом, для ответа на вопрос, будет ли ракета обладать аэродинамической устойчивостью полета или нет, нужно определить положение ц. т. и ц. д. Чем дальше назад будет смещен ц. д. относительно ц. т., тем большей устойчивостью будет обладать ракета. Отношение расстояния от ц. д. до ц. т. к длине ракеты называется запасом устойчивости. Для ракет со стабилизаторами величина запаса устойчивости обычно составляет 5—15%.

Положение ц. т. довольно просто найти или рассчитать. Значительно сложнее обстоит дело с определением положения ц. д. Обычно его находят путем продувки ракеты в аэродинамической трубе. Расчетные формулы для нахождения ц. д. довольно сложны и применимы только для ракет достаточно простых форм. Как же, хотя бы приближенно, прикинуть местоположение ц. д. модели? Существуют ли достаточно простые методы отыскания этой точки ракеты? Да, существуют. Вот один из них.

Предположим, что ракета под действием случайных возмущающих сил получила значительное отклонение, так что угол атаки стал равным 90° (рис. 36 а). Как видно из рисунка, ракета теперь обдувается воздушным потоком сбоку. Рассмотрим продольное сечение ракеты, перпендикулярное потоку воздуха. Будем считать, что на каждый квадратный сантиметр сечения приходятся одинаковые аэродинамические силы (рис. 36 б). Возьмем теперь

листовой материал, квадратный сантиметр которого имеет вес, равный величине аэродинамической силы, приходящейся на квадратный сантиметр выбранного сечения. Если из такого материала вырезать фигуру по контуру сечения ракеты (рис. 36 в), то нетрудно догадаться, что ц. т. вырезанной фигуры, представляющей собой точку приложения равнодействующей сил тяжести каждого квадратного сантиметра плоской фигуры, будет совпадать с точкой приложения равнодействующей аэродинамических сил, приходящихся на квадратный сантиметр продольного сечения ракеты, иначе говоря с ц. д. ракеты. Положение ц. т. листового материала не зависит от его толщины. Главное, чтобы толщина материала была одинаковой. Отсюда следует такой практический метод определения положения ц. д. при боковом обтекании ракеты: из картона, фанеры или другого листового материала вырезается фигура по контуру ракеты и находится ц. т. вырезанной фигуры (рис. 36 г). Это и будет искомым ц. д.

Кстати сказать, условие аэродинамической стабилизации и описанный способ определения ц. д. издавна известны русским ракетчикам. Вот что писал об этом конструктор военных ракет XIX века генерал К. И. Константинов:

«Ракете можно придать полет довольно правильный одним надлежащим расположением центра тяжести; для этого нужно только, чтобы центр тяжести... снаряженной ракетной гильзы находился по направлению движения впереди центра фигуры... и чтобы через выгорание состава центр тяжести всей системы, перемещаясь, не перешел бы за центр фигуры и даже не совпал бы

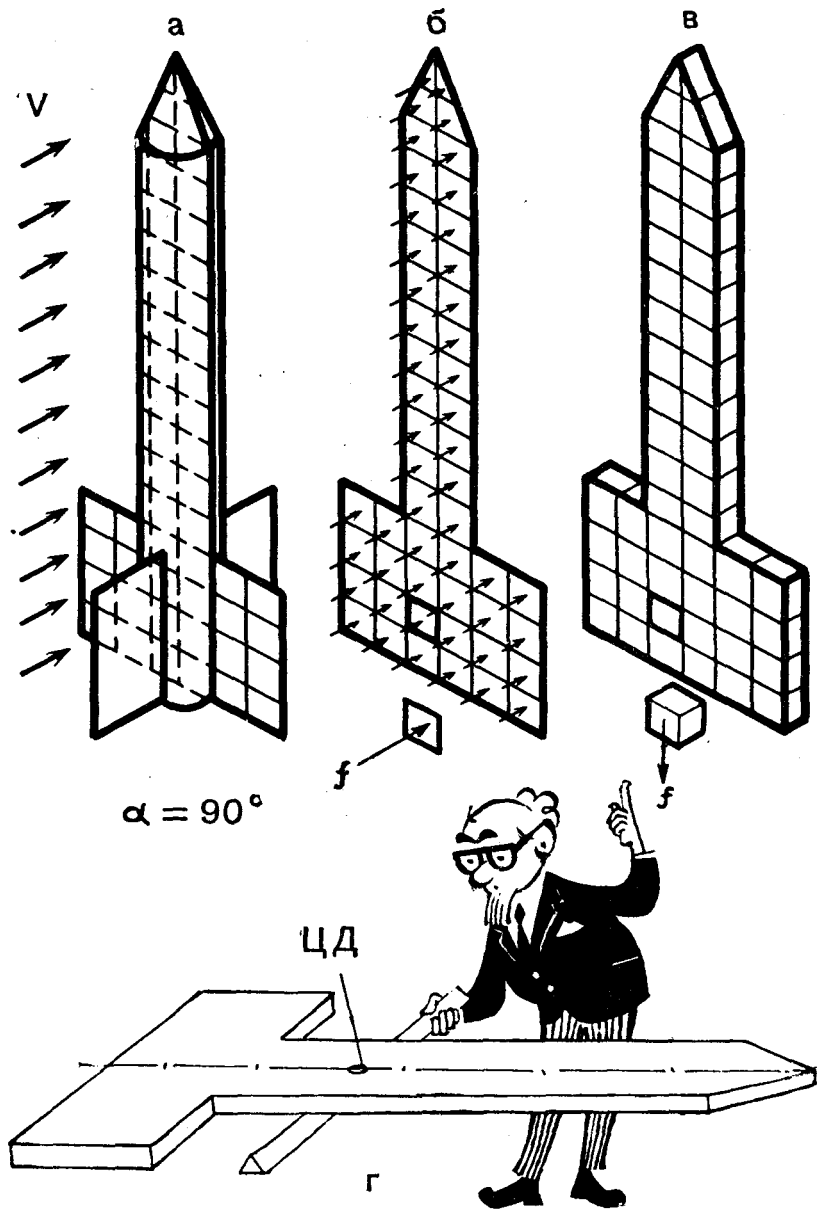


Рис. 36. Один из способов определения ц. д.

с ним. Если бы одно из этих обстоятельств случилось во время полета, то ракета вместо правильного полета приняла бы полет швермера».

Швермерами в те времена называли фейерверочные шутихи — ракеты, которые для забавы специально делали неустойчивыми в полете.

В полете на ракету действуют достаточно слабые возмущения; ее угол атаки изменяется незначительно и не достигает углов, равных 90° . На малых углах атаки положение ц. д. не соответствует ц. д. при боковом обтекании ракеты, поэтому к найденному значению координаты ц. д. нужно относиться осторожно. В какой-то степени несоответствие положения ц. д. при малых углах атаки и при боковом обтекании можно учесть, выбирая большие значения запаса устойчивости.

Так как мы практически лишены возможности найти точное положение ц. д., нужно испытать ракету на устойчивость после ее изготовления. Испытывают модель в полностью укомплектованном виде.

Для испытания ракеты на устойчивость полета требуется кусок шпагата длиной 2—3 м и немного изоляционной ленты. На одном конце шпагата сделайте самозатягивающуюся петлю-удавку, вденьте в эту петлю модель ракеты и подвесьте ее так, чтобы она находилась в горизонтальном положении. Закрепите в таком положении петлю изоляционной лентой. Таким образом петля будет укреплена в ц. т. ракеты. Если ц. т. находится в зоне, занятой стабилизаторами, то петля устанавливается по диагонали, захватывая стабилизатор и корпус. Чтобы петля не съезжала, можно закрепить ее дополнительно булавкой, воткнув булавку в корпус ракеты.

Испытывать ракету на устойчивость можно несколькими способами. Для испытания первым способом ее нужно раскрутить над головой на шпагате (рис. 37). Если ракета устойчива, то она при движении сама установится по потоку. При малом запасе устойчивости (ц. т. очень близок к ц. д.) ракета может не установиться по потоку. Чтобы испытать такую ракету, ее нужно сначала раскручивать на вытянутой руке, удерживая ее по потоку и вращаясь всем корпусом, а затем понемногу отпускать шпагат. Ракеты с малым запасом устойчивости требуют дополнительной проверки. Эта проверка проводится также раскруткой на шпагате, но предварительно модель следует разбалансировать, сдвинув петлю шпагата назад, чтобы ее нос наклонился вниз на угол около 10° от горизонтального положения. Для тяжелой ракеты с несколькими двигателями наклон должен быть больше, примерно 15° . Если модель при раскрутке не будет вращаться вокруг ц. т., то она обладает достаточным запасом устойчивости.

Для испытания вторым способом проденьте шпагат через тонкую трубку так, как это показано на рисунке 38. Затем поместите сбалансированную ракету в воздушный поток, поставив ее носом по потоку. Наиболее равномерный поток создается в аэродинамической трубе, но можно проводить испытания на ровном ветру, скорость которого не менее 20—30 км/час. Трубка необходима, чтобы удерживать ракету в потоке воздуха. Отклоните ракету пальцем примерно на 10° от положения по потоку. Если модель возвращается в исходное положение, то она достаточно устойчива для полета.

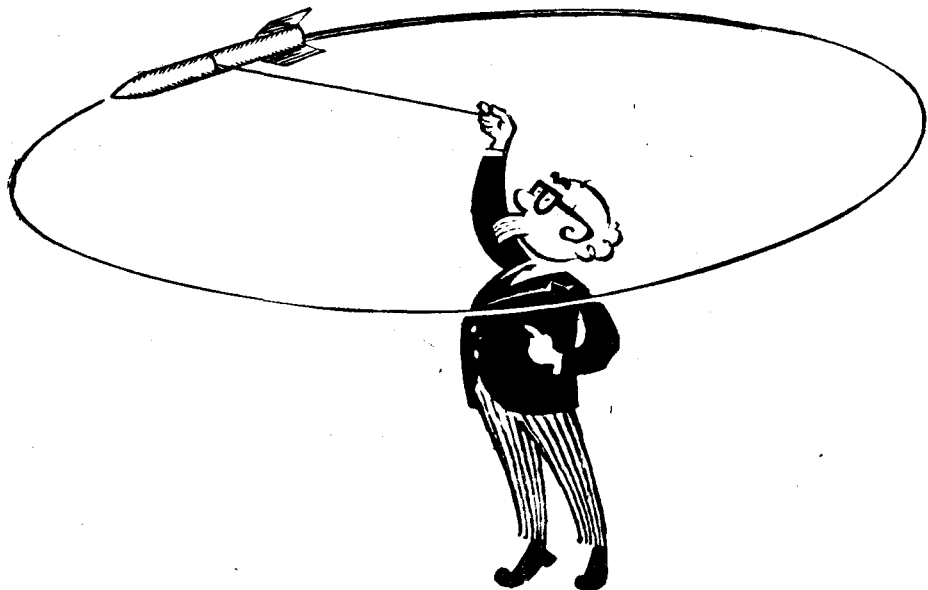


Рис. 37. Испытания модели на устойчивость.

Многоступенчатые ракеты испытываются на устойчивость последовательно: сначала верхняя ступень, затем к верхней ступени добавляется следующая и т. д. Таким путем удастся определить, какая из ступеней будет неустойчивой в полете. Добиться устойчивости многоступенчатых ракет сложнее, чем одноступенчатых, так как двигатели, расположенные в хвостовой части, сильно сдвигают ц. т. назад. Для компенсации этого сдвига первые (нижние) ступени должны иметь большие стабилизаторы. Как правило, площадь стабилизаторов первой ступени двухступенчатой ракеты должна быть в 2—3 раза больше площади стабилизаторов второй ступени.

При известном опыте конструктор моделей может примерно, на глазок, оценить, будет ли ракета устойчива в полете или нет. Однако,

чтобы гарантировать безопасность запуска и хорошие показатели ракеты на соревнованиях, нужно обязательно предварительно ее проверить. Для такой проверки можно воспользоваться одним из приведенных выше методов.

Если испытания модели показали, что она неустойчива, необходимо внести изменения в ее конструкцию. Цель конструктивных изменений состоит в том, чтобы сместить ц. т. несколько вперед, а ц. т. сдвинуть назад. Для смещения ц. т. вперед меняют внутреннюю компоновку модели — более тяжелые детали (стандартные грузы, приборные контейнеры) размещают ближе к ее носу — или увеличивают вес головки ракеты. Сдвигу ц. т. назад способствуют: большая площадь стабилизаторов, более нижнее размещение стабилизаторов, расширенная кормовая часть ракеты.

Возможность устойчивого полета без стабилизаторов и доказательство того, что расширяющаяся часть создает стабилизирующий момент, демонстрирует модель «грузовой» ракеты, в шутку названной «подсвечник». Устройство ее отличается от простой одноступенчатой ракеты немногим: вместо стабилизатора установлена конусная «юбка», а в носовой части расположен стандартный полезный груз (рис. 39). Чтобы обеспечить жесткость конуса, к нему снизу приклеено картонное доннышко. Сбоку к конусу крепится балловый пилон с направляющей трубкой для пуска модели.

Значительно увеличивает стабилизирующий момент вынос стабилизаторов за дно ракеты. На рисунке 40 показаны сравнительные размеры оперения, необходимого для стабилизации одной и той же ракеты

в случае расположения их на разных расстояниях от вершины ракеты.

Кроме перьевого стабилизатора, используют стабилизаторы кольцевой формы. Вот результаты испытаний ракет со стабилизаторами перьевого и кольцевой формы, которые даны в одном фундаментальном труде по внешней баллистике ракет.

«1. Для стабилизаторов из перьев, не выступающих за дно ракеты, момент (имеется в виду стабилизирующий момент. — В. К.) увеличивается очень быстро с увеличением внешнего диаметра; момент быстро возрастает с увеличением длины стабилизатора до длины, равной приблизительно одному калибру (калибром ракеты называют диаметр ее миделя. — В. К.), и возрастает медленно по мере увеличения длины свыше 1,5 калибра.

2. Для кольцевого оперения, не выступающего за дно ракеты, момент возрастает очень быстро с увеличением внешнего диаметра кольца; он также растет, когда длина кольца увеличивается до длины, приблизительно равной половине его



Рис. 38. Испытать на устойчивость можно и так.

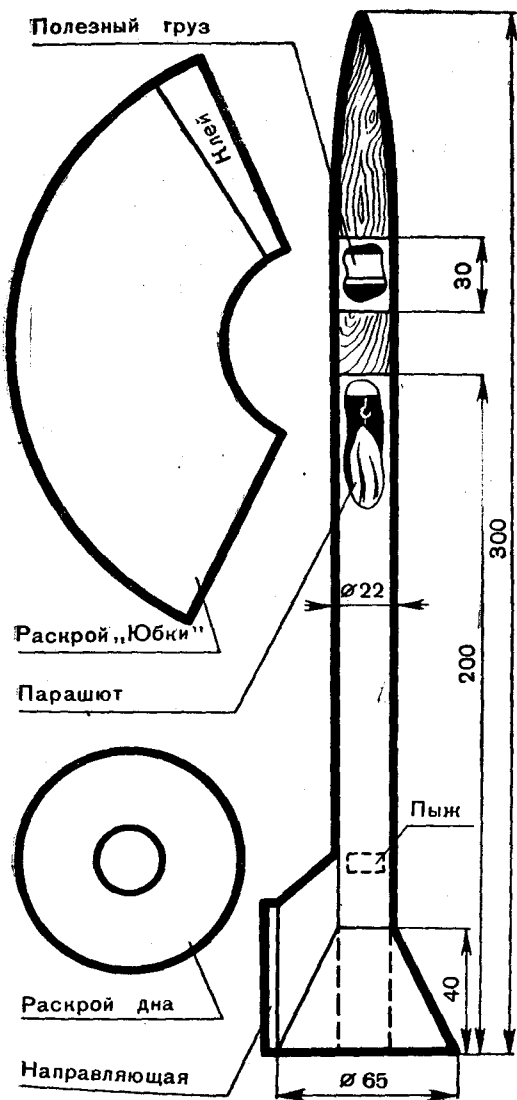


Рис. 39. Модель «подсвечник».

диаметра. При дальнейшем увеличении длины кольца момент если и увеличивается, то незначительно.

3. При одних и тех же размерах стабилизирующий момент кольцево-

го оперения намного больше, чем у стабилизатора из перьев».

Помимо аэродинамического, существуют и другие способы придания ракете устойчивости в полете. Применимы ли они в ракетном моделизме? Прежде чем ответить на этот вопрос, посмотрим, в чем они заключаются.

Один из них напоминает Перельманово решение задачи о равновесии яйца. Оц тоже был хорошо известен русским ракетчикам прошлого века. «Другой способ направления ракет без хвостов заключается в придании ракетам во время их полета вращательного движения около оси» — так записано в одной из работ русского артиллериста К. И. Константинова.

Стабилизация вращением артиллерийских снарядов начала применяться с момента появления нарезных орудий: винтообразные каналы ствола закручивали его, когда он выталкивался газами из ствола. А как же раскрутить ракету?

Для этого использовались различные способы: косо расположенные сопла двигателей, винтовые поверхности, укрепленные в струе истекающих газов, наклоненные стабилизаторы и даже принудительное раскручивание ракет перед пуском.

Стабилизация вращением используется и в настоящее время для небольших пороховых ракет, которые носят название турбореактивных снарядов (ТРС). Вращение их создается многосопловым блоком, сопла которого косо направлены к продольной оси снаряда (рис. 41). Угол наклона сопла 10—20° обеспечивает скорость вращения снаряда 3800—19 000 об/мин.

Придать такую скорость вращения ракетной модели очень трудно,

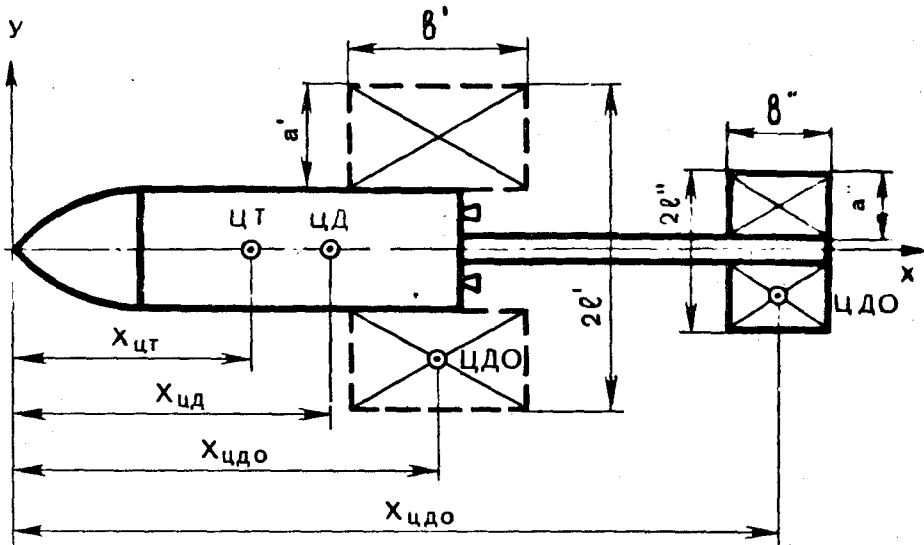


Рис. 40. Влияние размещения стабилизаторов на их размеры.

поэтому стабилизация вращением в ракетном моделизме не используется.

Управляемые ракеты и ракеты-носители космических летательных аппаратов используют для стабилизации полета специальные устройства — автоматы стабилизации.

Работа автомата стабилизации подобно действию жонглера, пытающегося удержать неустойчивый предмет (например, то же самое

яйцо в задаче Колумба) в состоянии равновесия. Заметив, что предмет, которым он манипулирует, теряет равновесие, жонглер прикладывает к неустойчивому предмету усилие, восстанавливающее положение равновесия.

Чувствительными элементами (сравните с глазами жонглера), реагирующими на угловые перемещения ракеты, в автоматах стабилизации являются гироскопические при-

Вид по стрелке А

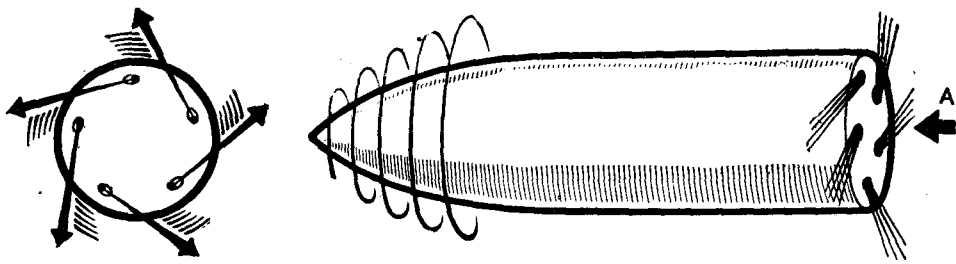
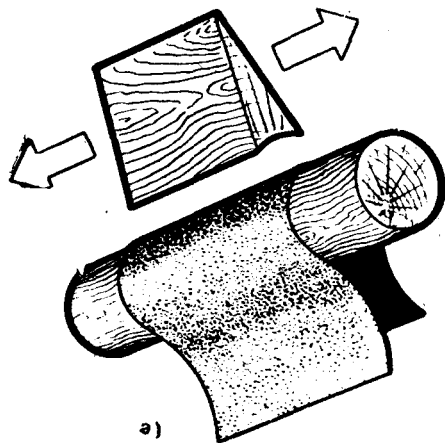
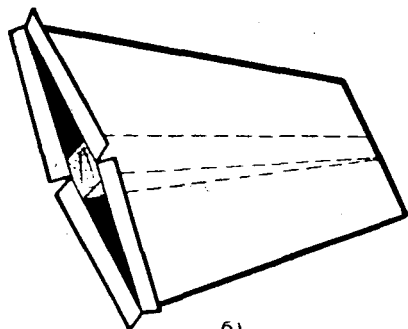


Рис. 41. Турбореактивные снаряды стабилизируют вращением.



а)



б)

Рис. 42. Обработка сплошного стабилизатора и устройство бумажного стабилизатора с лонжероном.

боры, использующие свойство «волчка» сохранять неизменным направление оси вращения в пространстве. Для силового воздействия на ракету, когда она отклоняется от заданного направления, используют те же устройства, которые служат для управления ракетой: аэродинамические и газовые рули, рулевые двигатели или устройства, изменяющие наклон самого двигателя или его сопла.

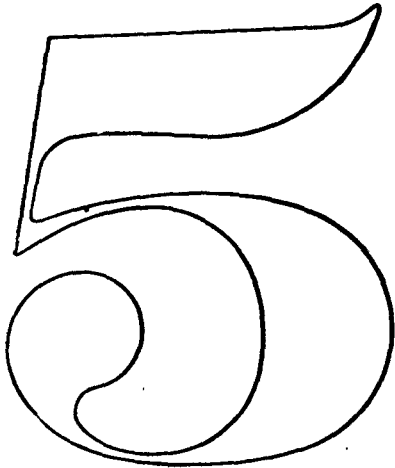
Сложное устройство автоматов препятствует применению их на ракетных моделях. Не следует, однако, забывать, что в моделизме, как и в технике, невозможное сегодня может стать возможным завтра. Кстати, на авиамоделях уже применяют гироскопические приборы. А читателям этой книги, может,

быть, удастся создать и первую ракетную модель с гироскопом.

Что потребуется для изготовления стабилизаторов?

Первые стабилизаторы лучше всего делать из бальзы. Если бальзы нет, можно использовать пенопласт. Профиль стабилизатора сделайте обтекаемым. Чтобы стабилизатор лучше приклеился к корпусу, обработайте его корневую часть наждачной бумагой, как показано на рисунке 42а. Учтите, что пенопласт нельзя приклеивать эмали-том — он растворяет пенопласт.

Неплохая конструкция стабилизатора получается из бумаги. Для большей прочности бумажного стабилизатора в него закладывается лонжерон — тонкая рейка из дерева или пенопласта (рис. 42 б).



С чего начать? — Ни одной модели без эскиза. — Как разместить двигатели? — «Связка» двигателей. — Самая заветная мечта — высота, высота! — Где раскрыть парашют? — «Вес рыжего таракана я увеличивал в 300 раз». — Планшет для замера высоты



Что нужно уметь конструктору? Прислушаемся к советам создателя Останкинской телевизионной башни Н. В. Никитина:

«Во-первых, нужно много считать! Считать даже без линейки, чувствуя работу конструкции. Уже в процессе предварительного подсчета конструктор должен осязать размеры сооружения, пропорцию его частей.

Во-вторых, надо уметь воображать. Я имею в виду профессиональное нацеленное воображение. Благодаря ему из простых, первоначальных навыков вырабатывается со временем нечто гораздо большее, чем просто опыт».

Как перекликаются эти советы с известными словами Циолковского: «Сначала неизбежно идут: мысль, фантазия, сказка. За ними шествует научный расчет. И уже в конце концов исполнение венчает мысль».

С чего же начинать? Не спешите строгать, кроить и клеить одну модель за другой, бесполезно расходуя силы и материал. Вспомните еще одно крылатое изречение. На этот раз основоположника марксизма-ленинизма — теории, открывшей новую эпоху в истории человечества. Маркс говорил, что всякий архитектор отличается от пчелы тем, что, прежде чем построить здание, он идеально, в голове строит его. Значит, начинать нужно с идеи, с «задумки». Правда, долго в голове новую мысль не удержишь, нужны бумага и карандаш, которые, как известно, лучше всякой, даже феноменальной, памяти. Постепенно «задумка» новой модели трансформируется в простейший чертеж от руки, эскиз. В технике этот этап работы конструкторского бюро так и называется: эскизный проект. Далее эти предварительные наброски эскиз-

ного проекта уточняются, обрастают деталями, а некоторые узлы выполняются в виде моделей или готовых действующих изделий, проводятся длительные испытания отдельных агрегатов и узлов, и только после доводок, прикидок, расчетов и выполнения подробных чертежей изготавливают опытный образец.

Так обстоят дела в технике. Для моделиста не обязательно выполнение всех этапов кропотливой работы конструкторского бюро: модель намного проще и дешевле настоящей ракеты. Но первым условием грамотного конструирования модели должно быть правило — ни одной модели без рисунка, эскиза или чертежа!

Прообразом внешней формы (или, как говорят, аэродинамической схемы) модели могут быть рисунки, фотографии и схемы уже существующих ракет и моделей, такие, как, например, изображенные на рисунках 43, 44. Выбор аэродинамической схемы — очень важный этап конструирования. Его цель — обеспечить минимальное сопротивление при достаточной устойчивости полета модели. Будущий успех модели на соревнованиях во многом зависит от удачно выбранных форм.

Далее выбранной форме нужно придать внутреннее содержание, то есть начинить модель двигателями, парашютами, приборами и другими устройствами. Иногда части ракеты, расположенные внутри, не вписываются, не подходят к облюбованной моделистом схеме. Содержание не соответствует форме — придется изменять либо форму, либо конструкцию заполняющих ракету устройств. Весь этот процесс взаимной подгонки деталей называют конструктивной компоновкой ракеты. Как правило, «лицо» компонов-

ки модели определяет число и способ размещения двигателей. Правильный выбор места для двигателя — шаг не менее важный, чем выбор внешней формы. Остановимся на этом вопросе подробнее.

Когда двигатель один, вариантов для выбора места не так уж много: можно разместить двигатель внизу, и тогда мы неизбежно вернемся к «классической» схеме, но можно попытаться установить двигатель в верхней части, и тогда мы будем вынуждены вспомнить схему, преимущественно использовавшуюся пиротехниками прошлого (рис. 45). «Хвостатые» ракеты, изображенные на рисунке, тяжелее «оперенных», так как деревянная рейка, обеспечивающая устойчивость, должна быть в несколько раз длиннее остальной части ракеты. Вес рейки можно уменьшить, прикрепив к ней стабилизаторы, но в этом случае конструктору необходимо подумать о том, как предохранить оперение от уничтожающего воздействия горячей струи газов, вылетающих из сопла двигателя. Все эти соображения в однодвигательной схеме склоняют моделиста в пользу классической компоновки.

Если в одной ступени находятся два и более двигателей, или, как говорят, связка двигателей, то правильное расположение РДТТ на модели приобретает еще большее значение. Два одновременно работающих двигателя нельзя установить так, чтобы их оси совпали с продольной осью ракеты. Поэтому при неравномерной работе двигателей, что для РДТТ практически неизбежно, возникает опрокидывающий ракету момент: он будет тем больше, чем дальше разнесены двигатели относительно оси ракеты (рис. 46).

Из ракетной техники известно, что, когда используется несколько одинаковых, совместно работающих двигателей на твердом топливе, желательно соединить их камеры сгорания, чтобы получить наиболее сходные условия процесса горения. В случае, если скорость горения топлива в одном из двигателей будет больше, чем в другом, газы по соединительному каналу перетекают в другой двигатель, выравнивая давление и тяги двигателей. Соединительный канал обеспечивает почти одновременное воспламенение и прекращение горения (отклонение будет всего лишь около 0,01 сек.). При одинаковой работе двигателей в связке опрокидывающего момента не возникает и установка нескольких двигателей не приводит к ухудшению устойчивости ракеты.

На рисунке 47 дан чертеж устройства, объединяющего камеры четырех двигателей связки. Устройство такой конструкции применялось московскими - моделистами в экспериментальных моделях ракет. Двигатели зажаты между двумя алюминиевыми крышками, стянутыми по оси ракеты шпилькой. В нижней крышке сделано четыре отверстия для выхода газов из сопл, а в верхней крышке соответствующие отверстия для соединения камер двигателей. Соединительная полость образуется верхней крышкой и завальцованной в нее металлической мембраной.

Другой способ соединения камер двигателей в связке можно продемонстрировать на примере ракеты моделиста И. Мятлева (рис. 48). Он объединил три двигателя связки единым соплом, ось которого совпадает с осью ракеты. Естественно, что в такой конструкции все три двигателя работают как один, не

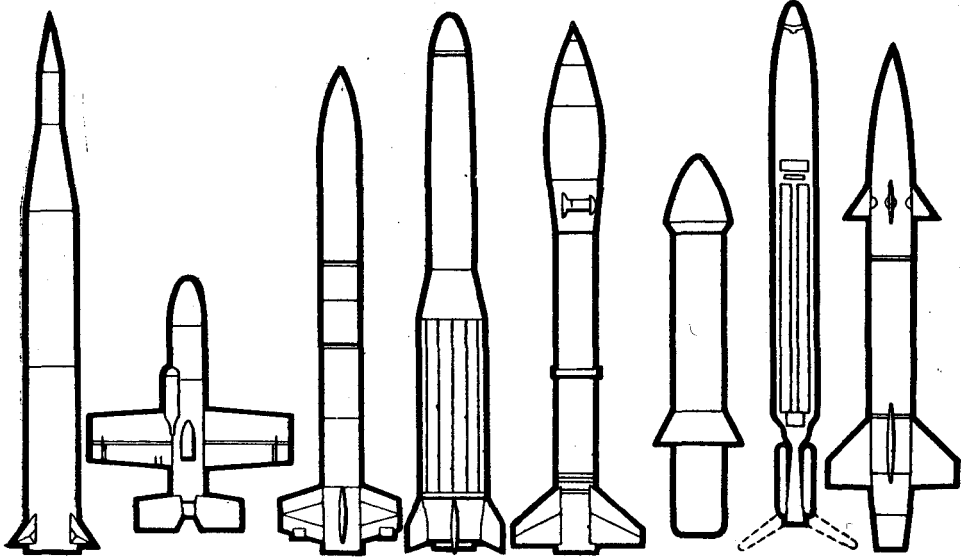
создавая опрокидывающего момента.

Недостаток конструктивных решений вопроса о равномерности работы двигателей в связке, представленных рисунками 47 и 48, — значительное увеличение веса двигательной установки. На модели участника 6-х московских областных соревнований по ракетному моделизму И. Беляева был применен другой способ борьбы с опрокидывающим моментом двигателей связки. Дадим объяснение этого способа, используя чертеж модели (рис. 49).

Модель И. Беляева двухступенчатая. На первой ступени установлено четыре двигателя, а на второй — один. Три боковых двигателя первой ступени наклонены к оси ракеты так, чтобы их оси пересекались точно в ц. т. ракеты. При таком их наклоне ракете не страшна неравномерная работа двигателей — линия действия силы тяги любого из них проходит через ц. т. и не изменяет угла атаки во время полета модели. Разнос двигателей в нижней части ракеты (для соответствующего наклона их) создавал нечто подобное стабилизирующим поверхностям, что дало возможность конструктору отказаться от оперения. Устойчивость ракеты при пусках была вполне удовлетворительной, чему, по-видимому, способствовал сдвиг и ц. т. вверх, вызванный размещением тяжелого прибора в носовой части ракеты.

Перед конструктором моделей ракет стоят свои цели. Они зависят от назначения модели. При ее создании никогда не следует забывать о цели предстоящего полета. Мы уже знаем, что для любой спортивной модели важна высота. Как поется в популярной песне о лети-

О Д Н О С Т У П Е Н Ч А Т Ы Е Р А К Е Т Ы



О Д Н О С Т У П Е Н Ч А Т Ы Е Р А К Е Т Ы

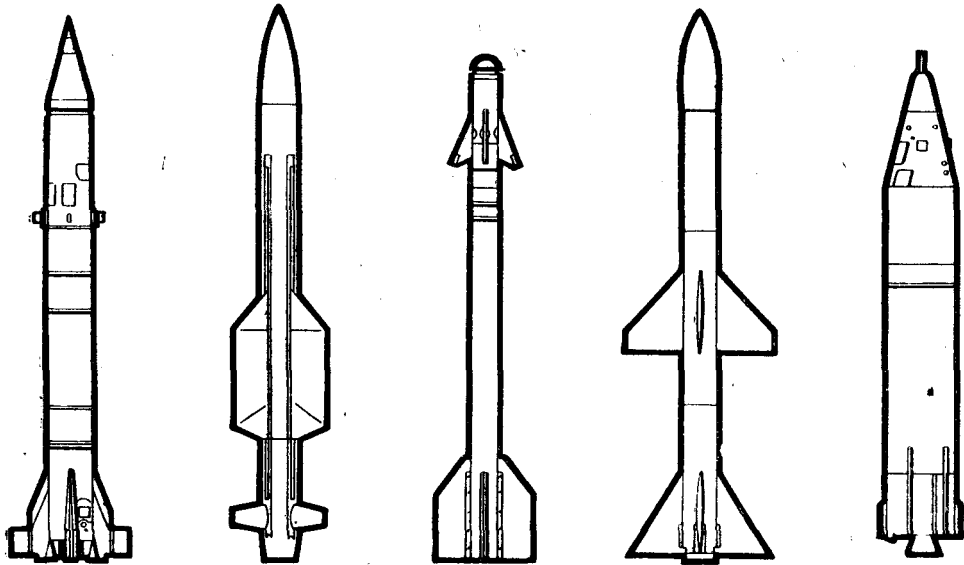
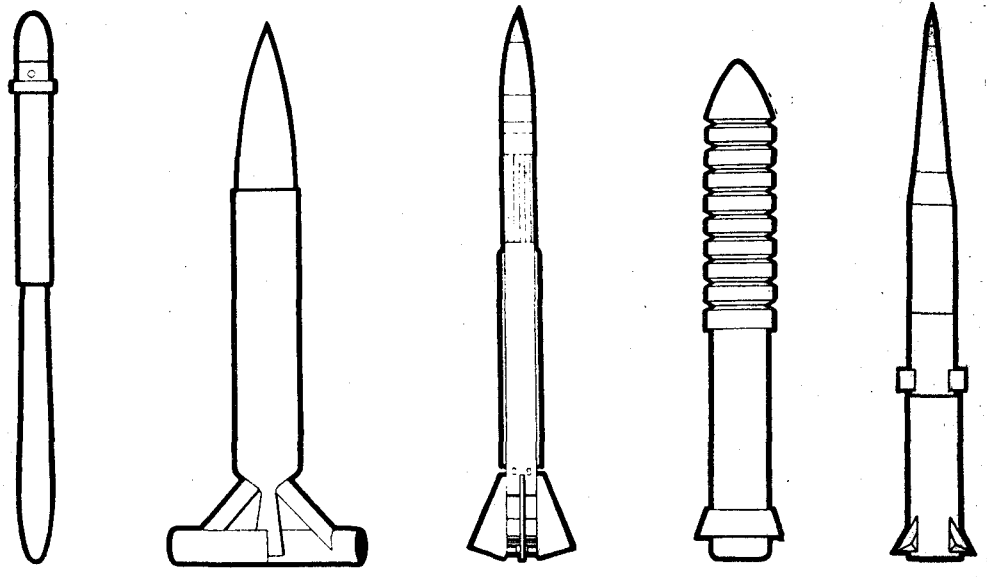
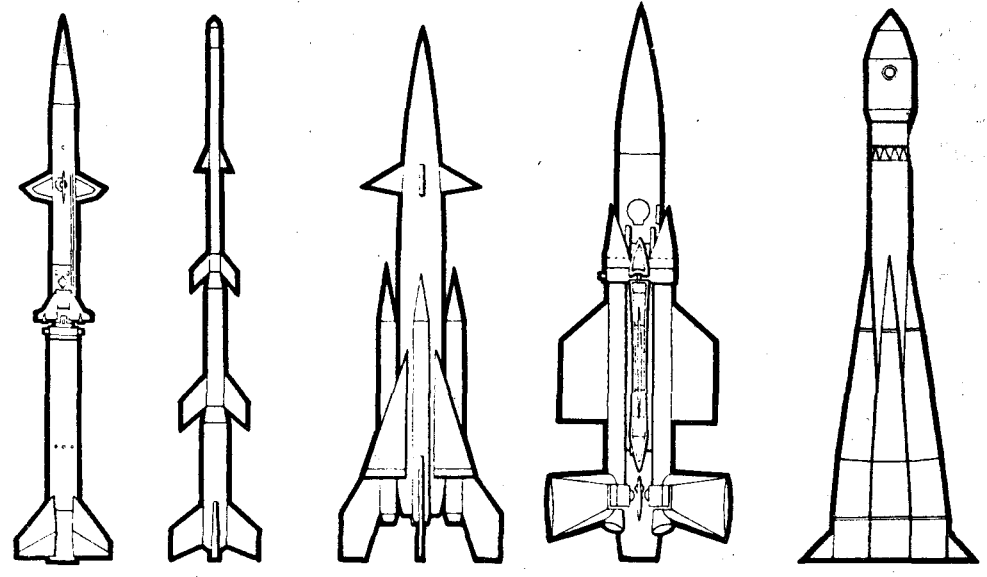


Рис. 43, 44. Примеры аэродинамических компоновок ракет.

О Д Н О С Т У П Е Н Ч А Т Ы Е Р А К Е Т Ы



М Н О Г О С Т У П Е Н Ч А Т Ы Е Р А К Е Т Ы



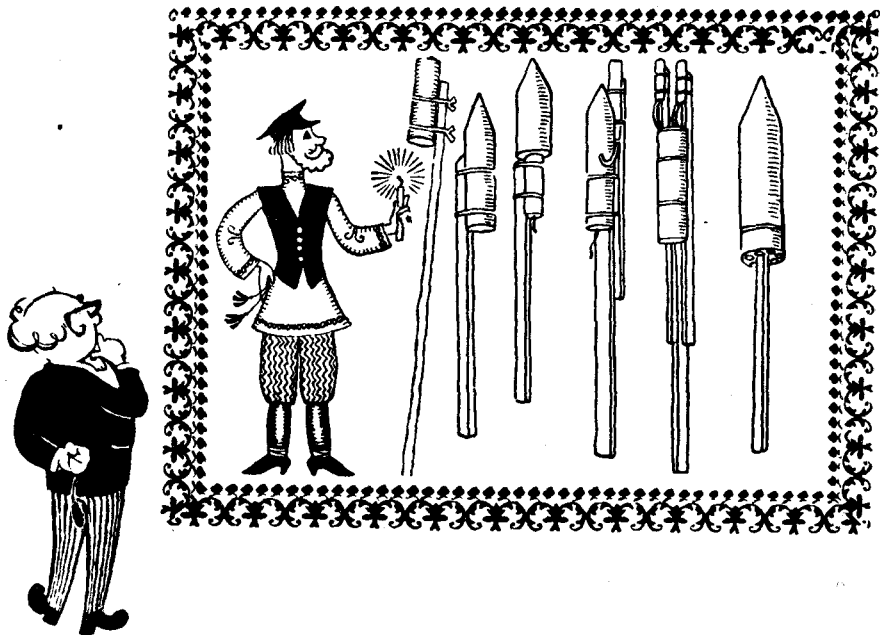


Рис. 45. «Хвостатые» ракеты прошлого.

ках: «самая заветная мечта — высота, высота!» Но особенно важны высотные качества для тех моделей, которые соревнуются на высоту полета. К таким моделям относятся высотные, «грузовые» и копии.

Высотные делятся на четыре класса в зависимости от стартового веса и суммарного импульса двигателей (см. рис. 2). На этих моделях разрешено использовать любое количество двигателей, но так, чтобы их общий суммарный импульс не превышал допустимого.

«Грузовые» модели делятся на три класса, и отличие классов не только в величине суммарного импульса и стартового веса, но и в числе поднимаемых стандартных грузов. Что это за стандартный груз?

Стандартный полезный груз ФАИ (так он именуется полностью) пред-

ставляет собой цилиндр диаметром 19 мм, отлитый из свинца или его сплава. Вес стандартного груза не менее 28,3 Г. Такой вес соответствует несколько уже устаревшей единице веса — унции. Но в спорте эта единица используется и сейчас — в унциях, например, измеряют вес боксерских перчаток или теннисных ракеток. Стандартный полезный груз должен находиться внутри модели и свободно выниматься из нее, но не должен отделяться от модели в полете. В нем запрещено делать сверления или крепить к нему какие-либо другие детали.

Следует обратить внимание и на наиболее правильное размещение стандартного груза на модели: соображения устойчивости подсказывают, что наиболее правильно устанавливать груз в носовой части

модели. В этом случае аэродинамическая стабилизация будет наиболее эффективной.

Ракетомоделист, делающий высотную модель, не должен забывать и о парашюте: умение раскрывать парашют в точке, близкой к вершине траектории полета, таит в себе солидный резерв высоты. Насколько разумно мы будем использовать кинетическую энергию движения, полученную ракетой при активном полете, зависит от нас самих: стоит только раскрыть парашют сразу же после выключения двигателя, и купол парашюта погасит скорость и уменьшит более чем вдвое вполне достижимую для данной ракеты высоту. Открывать парашют сразу, без задержки явно невыгодно. Оптимальной величиной задержки выброса парашюта следует считать такую, которая позволит раскрыть парашют в точке максимального подъема модели или несколько позднее.

Простейшим способом задержки является установка на ракете временного механизма. Время подбирают опытным путем, засекая продолжительность подъема модели, на которой не установлен парашют, и вычитая из него время работы двигателя. В качестве замедлителей применяют часовые механизмы или особые заряды.

Заряды-замедлители в силу их простоты нашли наибольшее распространение в ракетном моделизме. Иногда заряды-замедлители включаются в конструкцию двигателя, и в этом случае выброс парашюта происходит с постоянной задержкой. Для многих моделей постоянное время задержки не обеспечивает открытия парашюта в нужный момент. Поэтому наиболее удобны заряды-замедлители, время задержки которых можно изменять.

Заряды-замедлители относятся к воспламенительным средствам. Их назначение — передать очаг огня от двигателя к вышибному заряду. В пиротехнике, подрывном деле и артиллерии издавна пользовались воспламенительными средствами, замедляющими зажигание основного состава. К таким воспламенительным средствам относятся стопин, бикфордов шнур и фитиль.

Для целей замедленного воспла-

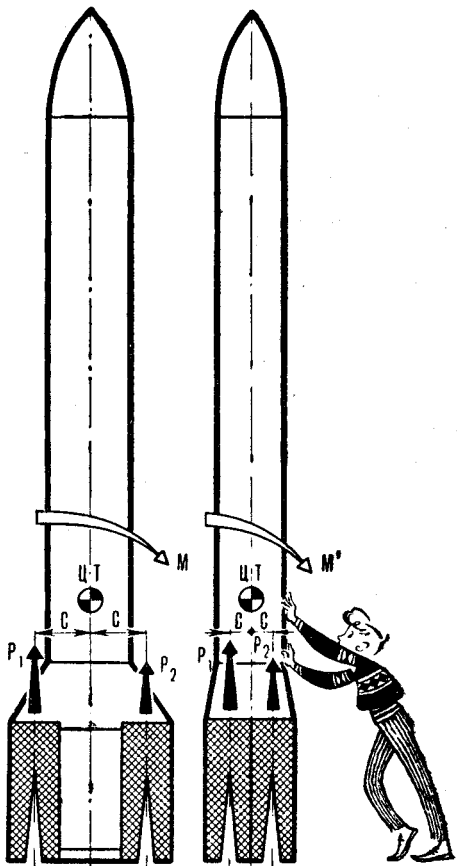


Рис. 46. Двигатели в связи выгоднее размещать как можно ближе к оси модели.

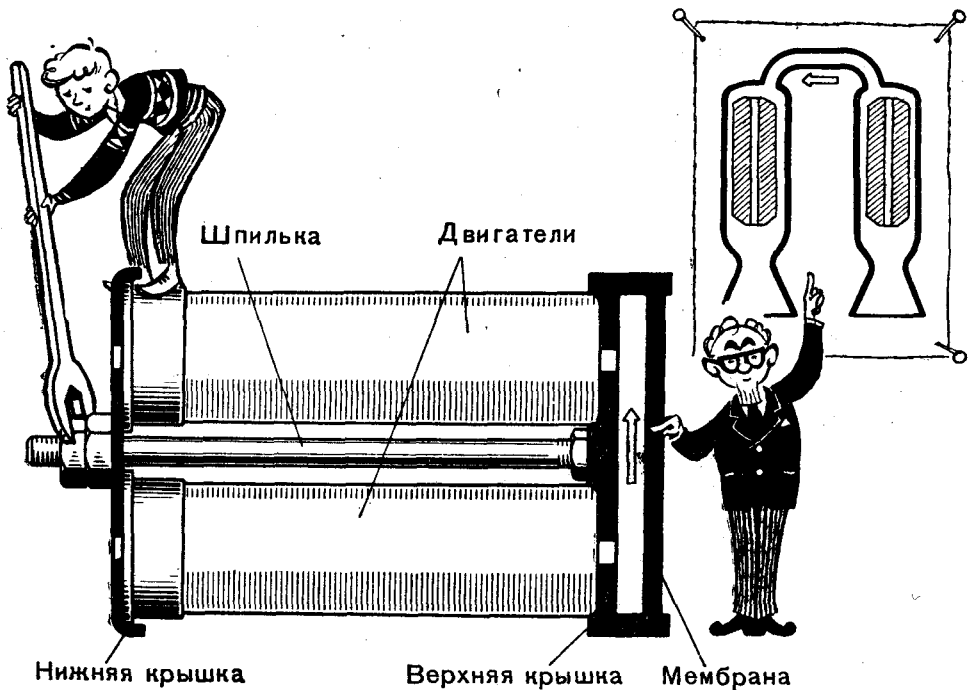


Рис. 47. Соединительные каналы выравнивают тягу двигателей в связке.

менения вышибного заряда можно использовать дистанционные трубки. Дистанционные трубки применяются в артиллерии и служат для подрыва боевого заряда снаряда на нужном участке траектории его полета. Простейшая дистанционная трубка — узкий канал, заполненный пороховой мякотью. Дистанционные трубки такой конструкции наиболее часто встречаются в ракетном моделизме (рис. 50).

Недостаток временных механизмов состоит в том, что практически невозможно подобрать время задержки воспламенения вышибного заряда таким образом, чтобы раскрытие парашюта происходило в верхней точке траектории. Это время не является постоянным ввиду

большого разброса характеристик двигателей с твердотопливным зарядом и зависимости их от атмосферных условий, качества производства и условий хранения. К тому же скорость горения зарядов-замедлителей тоже не является постоянной. Поэтому более заманчивы другие способы открытия парашюта в нужный момент, основанные на замере изменяющихся параметров движения ракеты. В качестве таких параметров мы рассмотрим два — перегрузку и скорость. Ввиду простоты прибора для замера перегрузки ракетомоделисты очень часто устанавливают его на экспериментальные модели. Однако не все достаточно четко представляют, что же такое перегрузка. Поэтому от-

влечемся немного от высотных моделей и поговорим о невесомости, перегрузках и ощущениях, которые они вызывают у летчиков и космонавтов.

Интересно отметить, что перегрузка — понятие больше земное, чем космическое. Если человек сидит, стоит или лежит, он ощущает со стороны пола, стула, кровати или любой другой опоры силу, равную по величине весу его тела. В этом случае говорят, что человек испытывает единичную перегрузку: отношение давления опоры к весу тела равно единице. Ощущение невесомости связано с давлением опоры. Чем больше это давление, тем тяжелее кажется нам свое собственное тело. Чувство усиленной тяжести бывает нам знакомо: вспомните, как тяжелеет и вдавливается в кресло автомобиля наше тело, когда он резко трогается с места. Если бы нам удалось замерить силу давления кресла в момент страгивания с места, то она была бы по величине больше веса нашего тела, то есть перегрузка превысила бы единицу. В еще большей степени перегрузки знакомы летчику: при выходе, например, самолета из пикирования летчик оказывается прижатым к сиденью с силой, в несколько раз превышающей его вес.

Для тренировки космонавтов с целью подготовки организма к перенесению больших перегрузок используется давно известный способ «увеличения» веса — способ раскрутки на центрифуге. Вот как описывает этот аппарат и свои ощущения во время тренировки первый космонавт Ю. А. Гагарин.

«Схематически его (аппарат. — В. К.) можно представить в виде коромысла, насаженного на ось. На одном конце коромысла устрое-

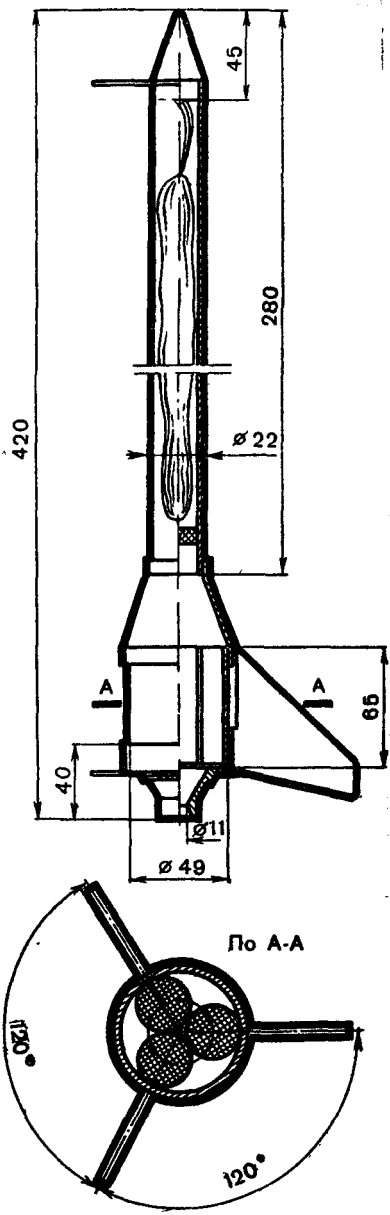


Рис. 48. Ракета моделиста И. Мятлева.

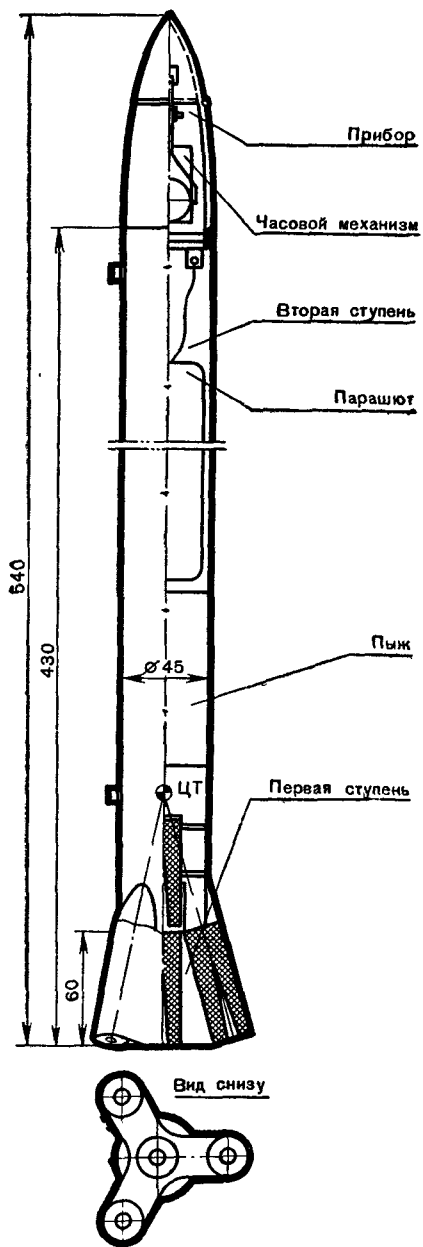


Рис. 49. Модель И. Беляева с наклонной установкой двигателей.

на кабина для человека, на другом размещается уравнивающий груз. Чем быстрее вращается коромысло вокруг оси, тем больше возрастают ускорения в организме, тем большую он испытывает перегрузку.

Я довольно часто тренировался на центрифуге, с каждым разом ощущая все более возрастающую тяжесть собственного тела. Нечто подобное уже приходилось испытывать во время полетов, когда самолет резко выходит из крутого пикирования. Тогда на меня навалилась неимоверная тяжесть, она словно вдавливала в сиденье кабины, нельзя было пошевелить пальцем, будто туманом застилало глаза. Это и есть действие перегрузки, когда вес человека возрастает в несколько раз».

Думая о будущих космических полетах, К. Э. Циолковский искал ответ на вопрос, какова способность живого организма переносить большие перегрузки. Еще в 1879 году, задолго до выхода в свет книги «Исследование мировых пространств реактивными приборами», он построил центробежную машину — предшественницу современных центрифуг для тренировки космонавтов. «Помнится, вес рыжего таракана, извлеченного из кухни, — пишет Константин Эдуардович, — я увеличивал в 300 раз, а вес цыпленка — раз в 10; я не заметил тогда, чтобы опыт принес им какой-нибудь вред».

Сегодня в результате многочисленных опытов над испытуемыми-добровольцами известны возможности человека по перенесению перегрузок. Так, в направлении «голова — таз» (сиденье давит снизу) человек в течение долей секунды может переносить перегрузку, рав-

ную примерно двадцати, а при длительном воздействии перегрузки — значительно меньшую величину.

Намного труднее оказалось в земных условиях определить возможность по пребыванию человека в состоянии «ослабленной тяжести» — невесомости. При невесомости давление опоры на тело отсутствует, отсутствует и перегрузка; ее численное значение равно нулю. В какой-то степени представление о безопорном состоянии нам дают не те короткие мгновения морского или воздушного путешествия, когда кресло «проваливается» вниз, — эти секунды для некоторых настолько неприятны, что надолго отбивают охоту к прогулкам по морю и полетам на самолете.

Более длительное время удастся создать состояние невесомости при полетах на реактивных самолетах по так называемой баллистической траектории Кеплера. Подобные полеты специально совершаются для тренировки космонавтов и определения их способности работать в условиях невесомости. Для полета по кривой Кеплера самолет сначала разгоняется со снижением, затем под большим углом к горизонту взмывает вверх и в течение 20—60 сек совершает баллистический полет. Только таким коротким промежутком времени располагает космонавт для отработки тех или иных действий в будущем космическом полете.

Оказалось, что состояние невесомости вызывает у разных людей разные ощущения. Исследования показали, что не для всех космос может стать родным домом. Вот, например, записи некоторых из испытанных состояний невесомости: «В начале невесомости ничего не видел», «У меня внезапно возникло

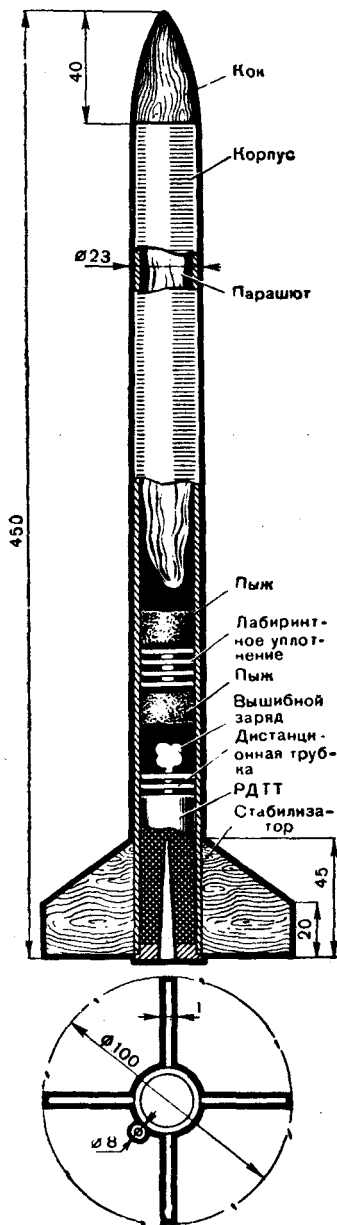


Рис. 50. Одноступенчатая модель М. Пантелеева с дистанционной трубкой.

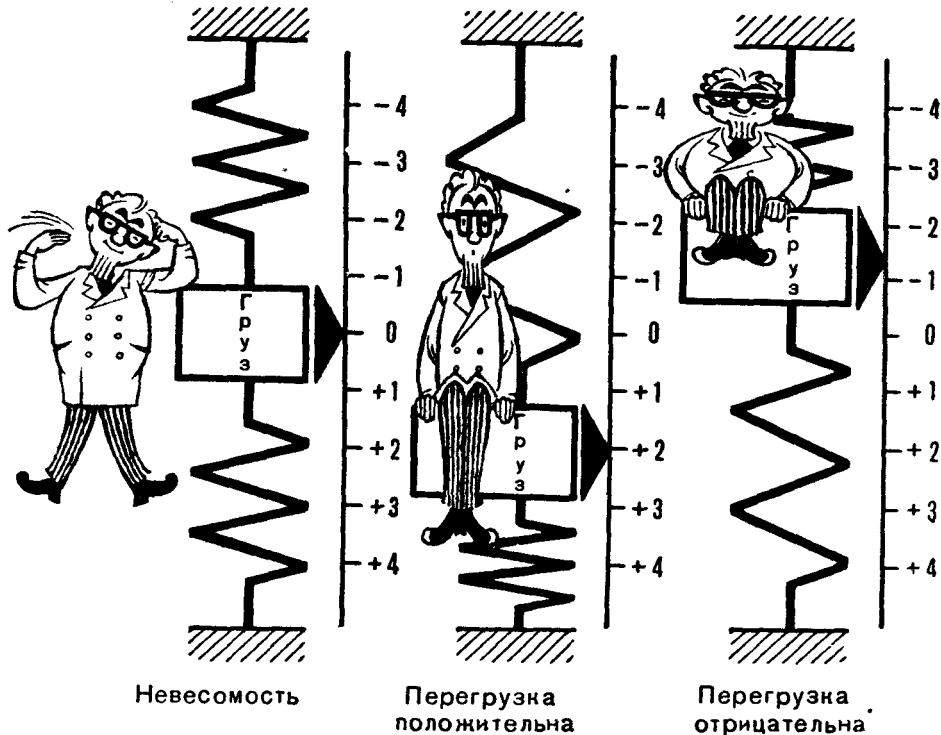


Рис. 51. Принцип действия акселерометра.

ощущение стремительного падения вниз, и мне показалось, что все кругом рухнет, разваливается и разлетается в стороны», «...Почувствовал, будто голова начинает распухать и увеличиваться в размерах». А вот Ю. А. Гагарин после первого полета на самолете с воспроизведением невесомости оставил такую запись:

«Посмотрел на прибор: показывает невесомость. Ощущение приятной легкости. Пробовал двигать руками, головой. Все получается легко и свободно. В пространстве ориентировался нормально. Все время видел небо, землю, красивые кучевые облака». Точно так же, без заметного ухудшения общего самочув-

ствия и потери работоспособности переносили состояние кратковременной невесомости все советские космонавты.

Обратим внимание на начало приведенной записи Ю. А. Гагарина. Что же это за прибор, который позволял судить космонавту о том, что наступила невесомость? В авиации давно используются подобные приборы. Они называются указателями перегрузок, или акселерометрами.

Чувствительный элемент акселерометра — грузик, подвешенный на пружинках (рис. 51). К грузику напрямую или через систему рычагов крепится стрелка. В состоянии невесомости груз не давит на пружинки и стрелка устанавливается

на нулевой отметке шкалы. В спокойном состоянии на земле — верхняя пружинка растянута, а нижняя сжата грузом — стрелка установится на единице. Если создать перегрузку больше единицы — это можно сделать, резко подняв прибор, — стрелка сдвинется вниз. Быстро опуская прибор, можно сдвинуть стрелку вверх за нулевую отметку: перегрузка будет отрицательна.

Конструктивная схема простейшего авиационного акселерометра дана на рисунке 52. Груз находится в корпусе прибора и соединен с пружиной, стрелкой и штоком демпфера. При изменении перегрузки груз перемещается и связанная с ним стрелка отмечает на шкале величину перегрузки. Чтобы исключить колебания груза и обеспечить стабильность показаний прибора, в конструкцию введено демпфирующее устройство.

Перегрузку можно не только измерить, но и рассчитать заранее. Наши предыдущие рассуждения о физической природе перегрузки позволяют подсказать путь для расчета ее величины: сначала следует определить равнодействующую сил, приложенных со стороны опоры на тело, а затем разделить величину этой равнодействующей на вес тела. Перегрузка, так же как и сила, характеризуется не только численным значением ее величины, но и направлением. Направление перегрузки совпадает с направлением равнодействующей опорных сил.

Определение перегрузки применимо не только для живых организмов, но и для самих летательных аппаратов.

Для летящей ракеты поверхностными опорными силами будут две силы: аэродинамическая и сила тяги. В начале движения ракеты по

направлению ввиду ее малой скорости можно считать, что аэродинамическое сопротивление ничтожно и поверхностная сила создается только двигателем. В этот момент перегрузка $n = \frac{P}{G}$. Так, если на модели

установлен стандартный двигатель, создающий в начальный момент $P = 1,5 \text{ кг}$, а вес модели 120 Г , то $n = \frac{1,5}{0,12} = 12,5$. В момент выключения

двигателя из поверхностных сил остается только аэродинамическое сопротивление и перегрузка $n = -\frac{Q}{G}$.

Знак минус указывает на то, что сопротивление направлено против полета ракеты. Если считать, что величина сопротивления в точке А (см. рис. 18) равна 150 Г , а вес ракеты за счет выгорания топлива уменьшился до 100 Г , то

$$n = -\frac{0,15}{0,10} = -1,5.$$

При подходе к точке максимальной высоты полета скорость падает до

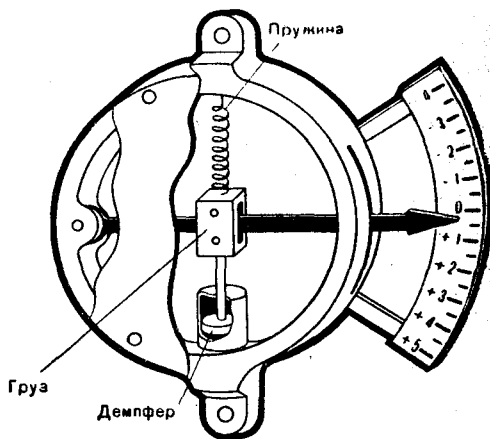


Рис. 52. Авиационный указатель перегрузок.

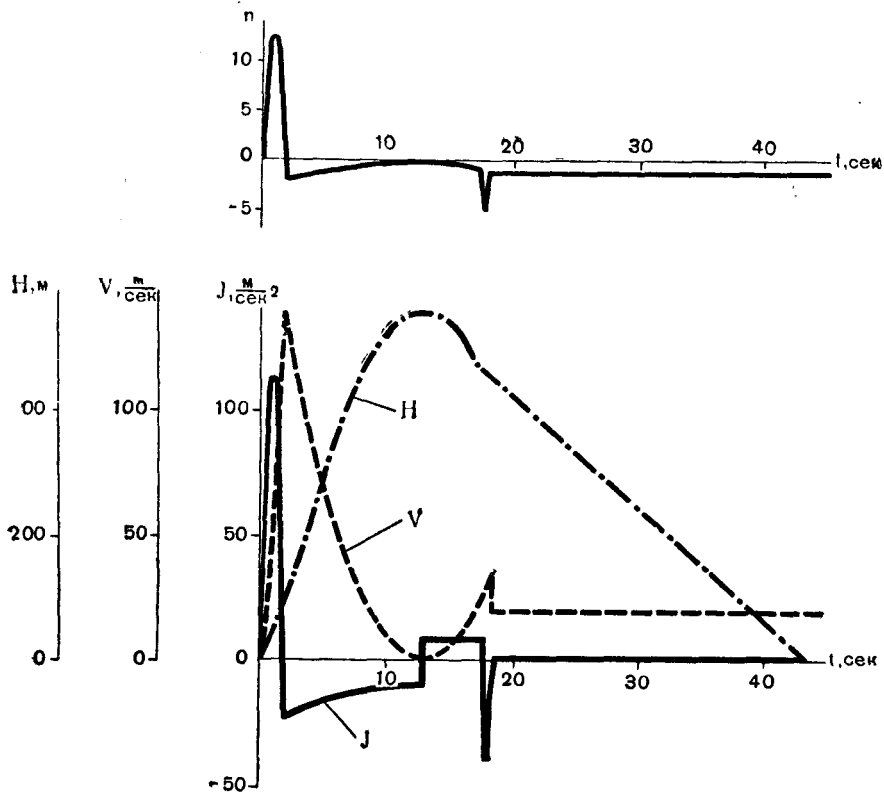


Рис. 53. Изменение по времени полета параметров движения одноступенчатой модели.

нуля (аэродинамические силы тоже равны нулю) и ракета поворачивается на снижение. В точке В на ракету не действуют поверхностные силы, и перегрузка в центре тяжести равна нулю. Таким образом, и модели ракет, хотя бы на доли секунды, попадают в космические условия невесомости.

Возвратимся вновь к высотным моделям и попробуем заставить невесомость «работать».

На расчетном графике для одноступенчатой модели (рис. 53) показан характер изменений по времени t ее параметров движения: пере-

грузки n , ускорения j , скорости V , высоты H .

В интересующей нас верхней точке траектории, соответствующей максимальной высоте H_{max} , скорость полета становится равной нулю, аэродинамическое сопротивление при отсутствии скорости исчезает, продольная перегрузка, вычисляемая на пассивном участке траектории как отношение $\frac{Q}{G}$, также становится равной нулю. Если привести в действие парашют ракеты с помощью чувствительных элементов, реагирующих на n или V , то

выброс парашюта необходимо производить при $n=0$ или $V=0$. Правда, параметры n и V достигают нулевого значения не только в наивысшей точке траектории: скорость отсутствует при старте ракеты, а n проходит через нулевое значение в конце активного участка при $P=Q$. Однако не представляет сложности включить соответствующие чувствительные элементы только в момент окончания работы двигателя последней ступени. Как это можно осуществить практически, показывается ниже, при описании двух принципиальных схем механизмов для выброса парашюта в верхней точке траектории полета.

На рисунке 54 а приведена схема механизма с чувствительным элементом, реагирующим на перегрузку, а на рисунке 54 б — с элементом, измеряющим скорость полета. Оба механизма находятся в носовых частях ракет. Для большей четкости схем механизмов носовые части ракет на рисунках увеличены.

Чувствительный элемент механизма (см. рис. 54 а) представляет собой акселерометр, выполненный в виде подвижного груза, находящегося между двумя пружинками в цилиндрическом корпусе. При подъеме груза на пассивном участке $n < 0$ груз находится в верхнем положении. В момент достижения максимальной высоты $n=0$ и груз занимает среднее положение. При этом шток отжимается своей пружиной и вводит в действие пружинный усилитель. Пружинный усилитель позволяет создать достаточно большие усилия для непосредственного выброса парашюта или, как это сделано в данной схеме, для приведения в действие вышибного заряда с помощью бойка и капсюля.

Вышибной заряд выбрасывает парашют вместе с двигателем через кормовую часть ракеты. Крепление груза акселерометра осуществляется при верхнем положении груза собачкой и нитью, натянутой снаружи корпуса ракеты. Нить протянута над отверстием в передней крышке двигателя и при окончании

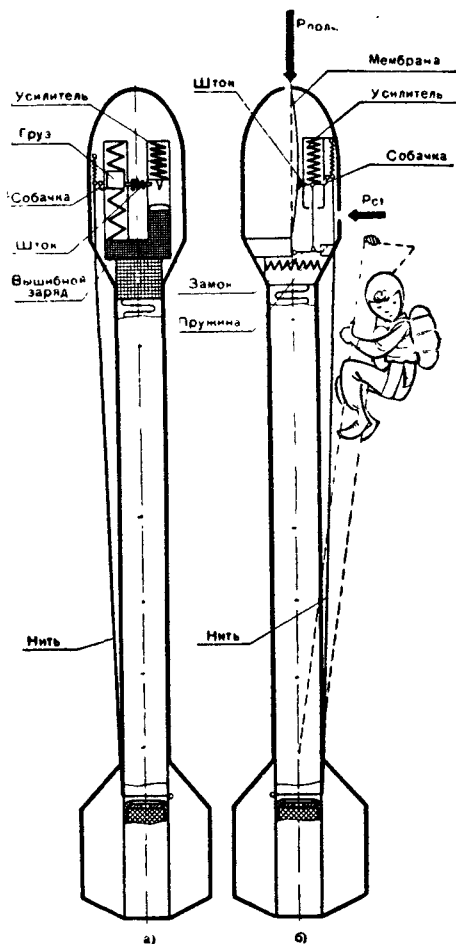


Рис. 54. Принципиальные схемы механизмов для выброса парашюта в верхней точке траектории полета.

его работы пережигается, освобождавая собачку и груз акселерометра.

На рисунке 54 б чувствительный элемент реагирует на изменение скорости полета. Он представляет собой резиновую мембрану, которая при наличии скорости под действием разности полного $p_{\text{полн}}$ и статического $p_{\text{ст}}$ давлений прогибается вправо и штоком удерживает пружину усилителя во взведенном состоянии. Для того чтобы пружина усилителя не сработала на старте при $V=0$, эта пружина удерживается в верхнем положении собачкой и нитью до тех пор, пока не закончит свою работу двигатель, пережигая нить. В данной схеме корпус ракеты разрезан вдоль. Две по-

ловинки корпуса снизу крепятся шарниром, а сверху замком. При срабатывании пружины усилителя замок раскрывается, и пружина откидывает правую половину корпуса, вводя парашют ракеты в действие в верхней точке траектории полета.

Приведенные принципиальные схемы механизмов для выброса парашюта в верхней точке траектории полета ракеты могут иметь различные конструктивные решения. «Какое из этих решений лучше?» — на этот вопрос даст ответ практическое испытание выполненных механизмов.

В любом случае механизмы для выброса парашюта в верхней точке траектории позволят достичь лучших результатов как по высоте подъема ракеты, так и по продолжительности спуска с парашютом или планировании ракетоплана.

Ну а как же измерить высоту полета модели?

Для этого используют приборы, позволяющие замерять углы в вертикальной плоскости. Основание прибора устанавливается строго по горизонту, а сам прибор относят от места старта на определенное расстояние, обычно не менее 300 м.

По своему принципу приборы, измеряющие высоту, напоминают морской навигационный инструмент — квадрант, используемый для определения высоты стояния небесных светил, или эклиметр — геодезический прибор, измеряющий наклон местности к горизонту. Эти приборы сложны и не всегда доступны модельстам, но их с успехом заменяют простейшие самодельные устройства. Вот устройство одного из них (рис. 55).

Обычный транспортёр крепят

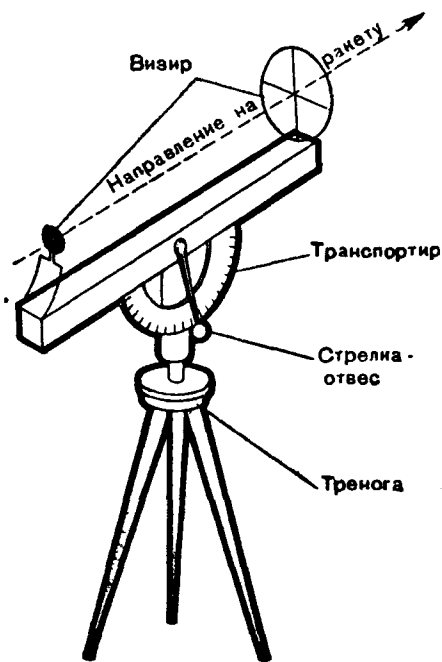


Рис. 55. Прибор для замера угла возвышения.

к визирному устройству, которое свободно поворачивается в вертикальной плоскости. В нулевой точке транспорта подвешивается маятник — отвес. Когда визирное устройство направлено на ракету, отвес отмечает на транспорте угол возвышения модели. С помощью этого угла при известной мерной базе можно определить высоту полета.

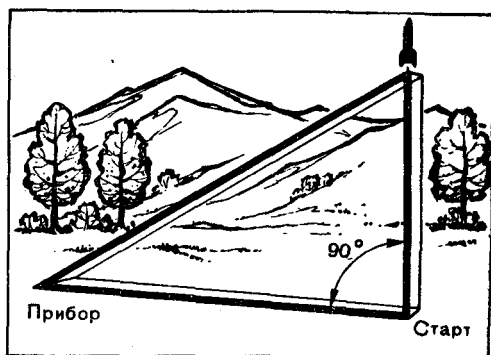
Расчет высоты проводится по тригонометрическим формулам. Но можно обойтись и без них. Так, на 3-х Всесоюзных соревнованиях ракетомоделистов с успехом использовался специальный планшет, на котором высота без всяких расчетов определялась в считанные секунды. Последовательность определения высоты с помощью планшета зависит от того, пользуетесь ли вы одним или двумя приборами.

Допустим, что пуски моделей проводятся в безветренный день. Тогда модель поднимается почти вертикально и для замера высоты достаточно, как видно из рисунка 56, одного прибора. Но вот подул ветер. Здесь тоже можно обойтись одним прибором, только поставить его нужно так, чтобы ошибка в замере высоты была наименьшей. Из рисунка видно, что более точным будет замер высоты, когда прибор поставлен перпендикулярно направлению ветра.

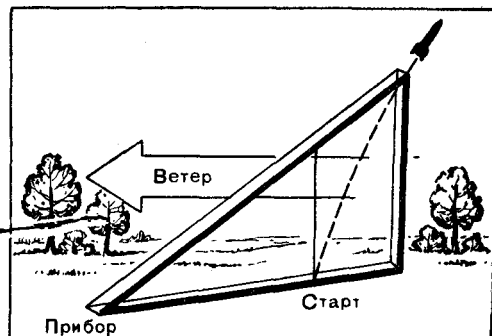
На соревнованиях обычно используют два прибора, причем ставить их нужно параллельно направлению ветра. Для расчета высоты используют специальный планшет.

Устройство планшета видно из рисунка 57. Чертят его на миллиметровой бумаге. В центре — шкала высот, каждый миллиметр ее соответствует одному метру высоты. Снизу, влево и вправо, в таком же

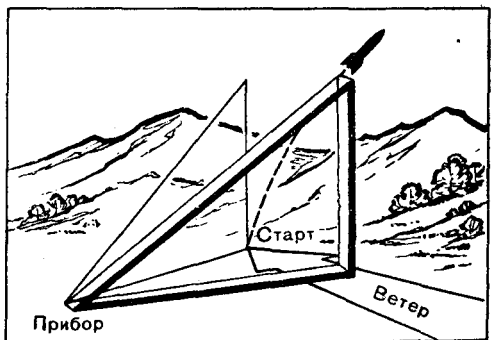
масштабе отложены мерные базы. В крайних точках горизонтальной шкалы закреплены оси, к которым привязаны нити. Здесь же имеются



а)



б)



в)

Рис. 56. Замер высоты одним прибором.

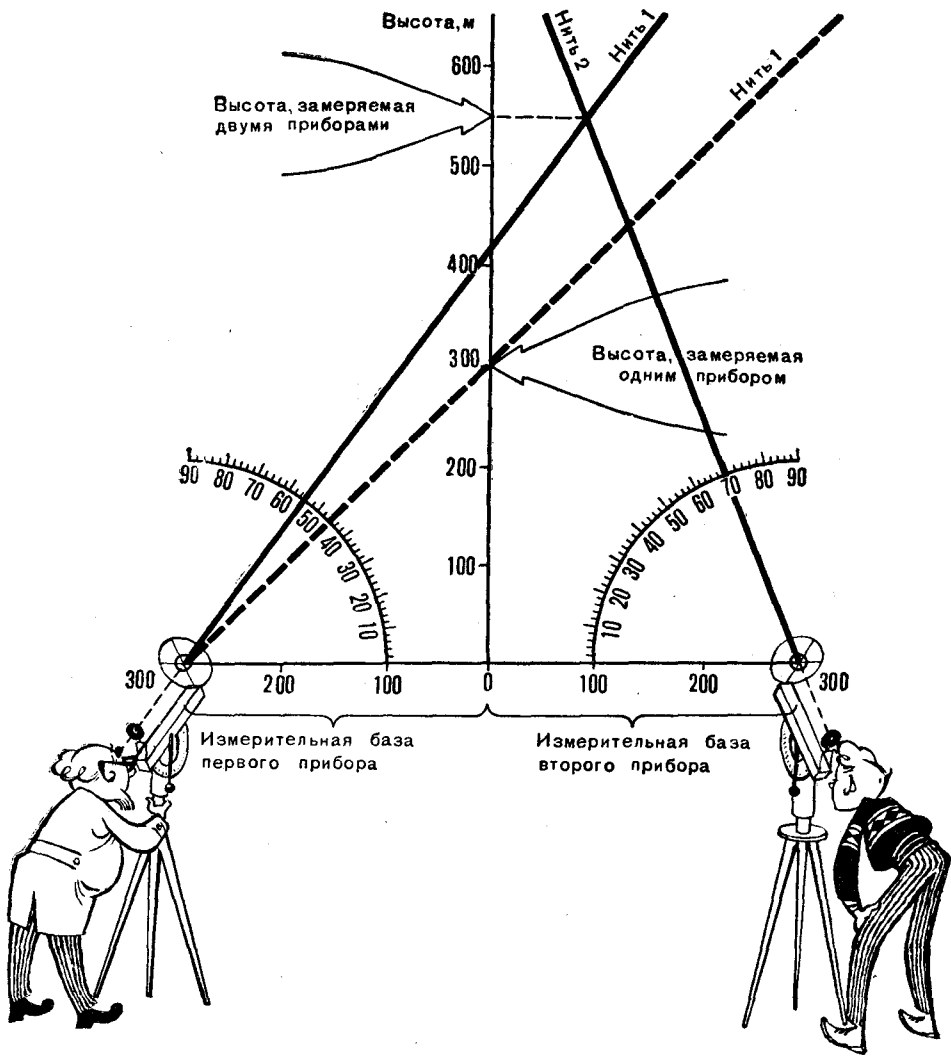
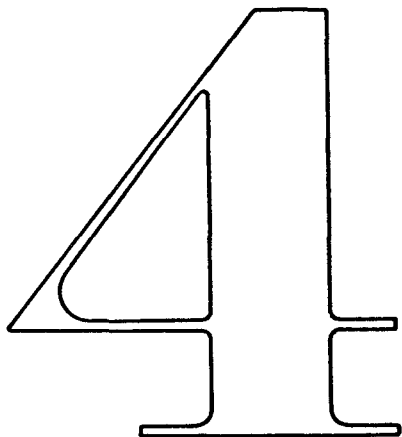


Рис. 57. Планшет для расчета высоты полета.

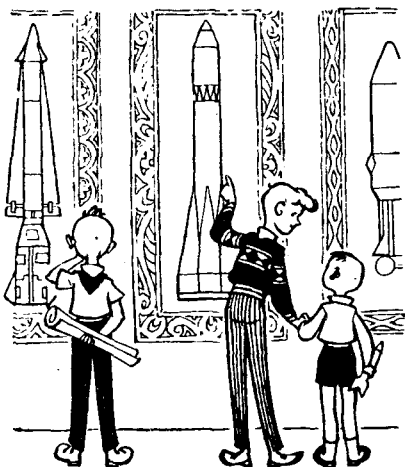
градусные шкалы углов возвышения.

Допустим, у нас есть один прибор и он замерил угол в 45° . Натягивая нить так, чтобы она проходила через деление 45° , на шкале высот

сразу же получаем высоту полета. Если прибора два, то углы возвышения отмечаются двумя нитями и точка пересечения нитей сносится на шкалу высот, как это показано на рисунке 57.



А что, если сделать модель такой ракеты? — «Невысотные» качества копий. — Мастерство и поиск. — Безопасность превыше всего! — Последовательность работы над копией. — Музей стартующих моделей. — От первой жидкостной до «Востока»



Наш век — век космонавтики и ракетной техники. Эта фраза стала уже привычной. Она никого не удивляет и в силу своей обыденности, как говорят, не несет никакой информации. Но обыденной и привычной эта фраза стала как раз благодаря обширной и повседневной информации печати, радио и телевидения об успехах ракетной техники, о достижениях современной космонавтики, о смелых и захватывающих перспективах, открывающихся перед ракетной техникой как на Земле, так и в космосе. Рассматривая картинки ракет и космических аппаратов в книгах, газетах и журналах, многие моделисты, наверное, не раз говорили себе: «А что, если попробовать сделать модель такой ракеты, запустить ее, испытать в полете!» Вероятно, так и появился увлекательнейший вид соревнования — соревнования моделей-копий.

Модели-копии относятся к высотным моделям. Но на соревнованиях первое место может получить не та модель, которая поднялась выше всех, а другая, сделанная более тщательно, более масштабно, более «копийно». Внешний вид модели оценивается не в полете, а заранее, как говорят, «на стенде». За «невысотные» качества модели присваивается до 1000 дополнительных очков, из них на долю стендовой оценки приходится большая часть — 900. 100 очков могут присудить в полете, но не за высоту, а за красоту полета: судьи учитывают плавность и устойчивость взлета, своевременный переход на парашютирующий спуск, мягкость и безаварийность приземления.

Заработать 900 очков на стенде — не такая уж простая задача. Прежде всего моделисту нужно знать, какие качества учитываются оценоч-

ным листом судей и какова «цена» этих качеств. Максимальное количество очков можно получить за следующие достоинства модели-копии.

50 очков. Они присваиваются не за саму модель, а за достоверность и качество исходных данных, собранных моделистом для ракеты — образца будущей копии. Очевидно, что чем больше знает моделист о той ракете, которую он собрался копировать, тем большего соответствия можно ожидать у модели. Кроме того, исходные данные по модели, основанные на официальных (печатных) материалах, нужны и судьям для дальнейшей оценки копии.

350 очков — это цена масштабности модели. Если размеры модели в выбранном масштабе будут более чем на 10% отличаться от размеров прототипа копии, то модель вообще не может считаться копией. Масштаб следует соблюдать как для всей модели в целом, так и для основных ее частей: корпуса, головной части, стабилизаторов. В масштабе должны делаться надписи, имеющиеся на ракете-образце, масштаб у должны соответствовать размерам зон поверхности ракеты, окрашенные в различные цвета.

300 очков. Здесь учитывается качество изготовления: аккуратность, точность соблюдения форм, отделка.

200 очков. Можно выбрать ракету простую и сложную, копировать которую намного труднее. Конечно, судьи должны это учесть и отдать предпочтение модели более сложной, с большим количеством внешних надстроек, с необычной, трудной для копирования формой. Но бывают сложности не только внешние, но и скрытые, внутренние. Например, конструкция модели усложнена

наличием в ней приборов и устройств, предназначенных для улучшения характеристик полета, устойчивости, приспособляемости к условиям полета. Эти качества тоже учитываются указанной суммой стендовой оценки.

Искусство изготовления моделей-копий ракет объединяет в себе мастерство и поиск. Оно доставляет огромное чувство удовлетворения, когда миниатюрная копия, на которой отражены мельчайшие подробности ракеты-образца, совершает стремительный взлет, плавный подъем и безукоризненный спуск. Модели-копии строятся с таким скрупулезным вниманием к деталям, что они во всех отношениях могут считаться музейными экспонатами, способными в то же время летать.

Трудность изготовления копий ракет заключается не только в том, что они делаются в точном масштабе, аккуратно и тщательно, но и в том, что формы модели неизменны, они определены формами ракеты, взятой за образец. Поэтому достижение высоких летных данных возможно лишь путем изменения внутренней компоновки и устройства модели. Правда, бывают и отступления: если, например, устойчивость модели обеспечить не удастся (вспомним, что многие настоящие ракеты вообще не имеют аэродинамических средств стабилизации), разрешается приклеивать к модели прозрачные (например, из оргстекла) стабилизаторы, отсутствующие на копируемой ракете. Это ни в какой мере не снижает стендовую оценку модели: безопасность полетов в ракетном моделизме превыше всего!

Практика постройки моделей-копий подсказывает следующую последовательность работы над моделью:

- выбор ракета-образца и сбор всех необходимых сведений о ней;
- выбор числа ступеней, двигателей и масштаба модели;
- изготовление рабочего чертежа, расчет веса, положения центра тяжести и центра давления, летных характеристик модели;
- постройка грубой модели для летных испытаний;
- устранение конструктивных недостатков модели;
- изготовление окончательного варианта модели-копии;
- испытание модели-копии перед соревнованиями.

Чтобы обеспечить высокие летные показатели модели, диаметр ее корпуса следует выбрать в соответствии с диаметром стандартного двигателя и уже затем определить масштаб копии. Однако в этом случае размеры самой модели получаются небольшими, на ней трудно отразить все детали и особенности конструкции ракеты. При оценке копийности модели крупномасштабная копия получит больше очков. Поэтому выбор масштаба должен делаться с учетом возможности отражения наибольшего числа деталей, не упуская из виду и другое требование — требование высотности полета.

Один из великих землян сказал когда-то: «Я взобрался на плечи своих предшественников, чтобы лучше увидеть будущее».

«...От первых ракет до современных космических аппаратов». Так назвали свою экспозицию ракетомodelисты Центральной станции юных техников Таджикистана на I-м Всесоюзном конкурсе «Космос». Огненные стрелы X века, русские пиротехнические ракеты Константинова с пусковыми станками, первые ракеты ГИРД и, наконец,

«Космос», «Восток», «Восход», «Союз»... Настоящий ракетный музей. Да, модели-копии позволяют создать музей стартующих моделей, изучить славную историю отечественной ракетной техники.

...17 августа 1933 года был осуществлен запуск ракеты ГИРД-09 положивший начало полетам советских жидкостных ракет. Ракета ГИРД-09 была разработана 2-й бригадой ГИРД под руководством М. К. Тихонравова и имела двигатель смешанного агрегатного состояния, работающий на жидком кислороде и отверженном бензине, который размещался непосредственно в камере сгорания. Двигатель развивал тягу 52 кг и работал в течение 15—18 сек. При весе топлива 5 кг и полезного груза (приборы и парашют) 6,2 кг полный стартный вес ракеты составлял 19 кг. Геометрические характеристики ракеты таковы: длина — 2405 мм, диаметр — 180 мм. Ракета запускалась с вертикальных направляющих. При первом полете она достигла высоты около 400 м, в последующих полетах она поднималась на 1500 м.

Ракета ГИРД-09 имеет простую форму (рис. 58): корпус цилиндрический с сужающейся хвостовой частью, стабилизатор состоит из четырех перьев, которые оттянуты вниз, за донный срез ракеты. По форме ГИРД-09 близка к обычным одноступенчатым моделям ракет и поэтому изготовление ее модели-копии не вызовет затруднений у ракетомodelиста.

...Вторая советская ракета с чисто жидкостным ракетным двигателем — ГИРД-X (рис. 59), так же, как и 09, удобна для копирования.

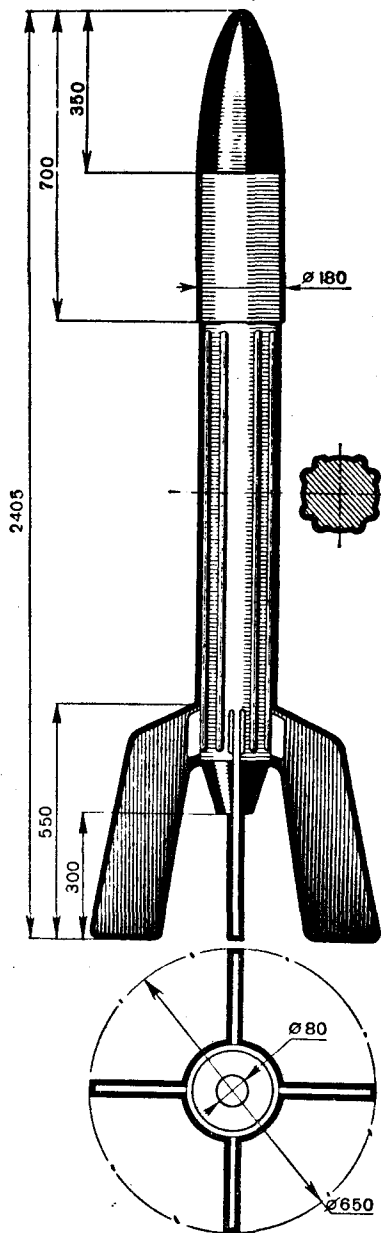


Рис. 58. Первая жидкостная ракета ГИРД-09.

Ее запуск состоялся 25 ноября 1933 года. Ракета ГИРД-Х была построена под руководством Ф. А. Цандера, в работе над ней принимали участие С. П. Королев, Л. С. Душкин, Л. К. Корнеев и А. И. Полярный.

Ракета имела сигарообразную форму с заостренной головной частью. В хвостовой части ракеты были установлены четыре продолговатых дюралевых стабилизатора, достигающих почти до половины корпуса ракеты. Она имела длину 2165 мм, диаметр — 140 мм, стартовый вес — 29,5 кг, вес топлива — 8,3 кг, вес полезного груза — 2 кг. Ее двигатель работал на этиловом спирте и жидком кислороде и развивал тягу 70 кг. Время работы двигателя на ракете составляло 22 сек. Расчетная высота, подъема 5500 м. Для спуска на землю ракета ГИРД-Х была снабжена парашютом.

...24 апреля 1936 года состоялся первый запуск ракеты 05 «Авианито» — самой большой и мощной ракеты своего времени (рис. 60). Ее длина была равна 3225 мм, диаметр — 300 мм, стартовый вес — 89 кг. Двигатель ракеты 05 работал на жидком кислороде и этиловом спирте и развивал тягу до 300 кг. Ракета во время полетов поднимала полезный груз около 10 кг на высоту 2400 м.

Сложность копирования ракеты 05 заключается в трудности изготовления ее корпуса, поперечное сечение которого выполнено не в форме круга, а в форме четырехугольника с закругленными по радиусу углами и вдавленными внутрь сторонами. Снизу к закругленным выступам корпуса крепится стабилизатор, состоящий из четы-

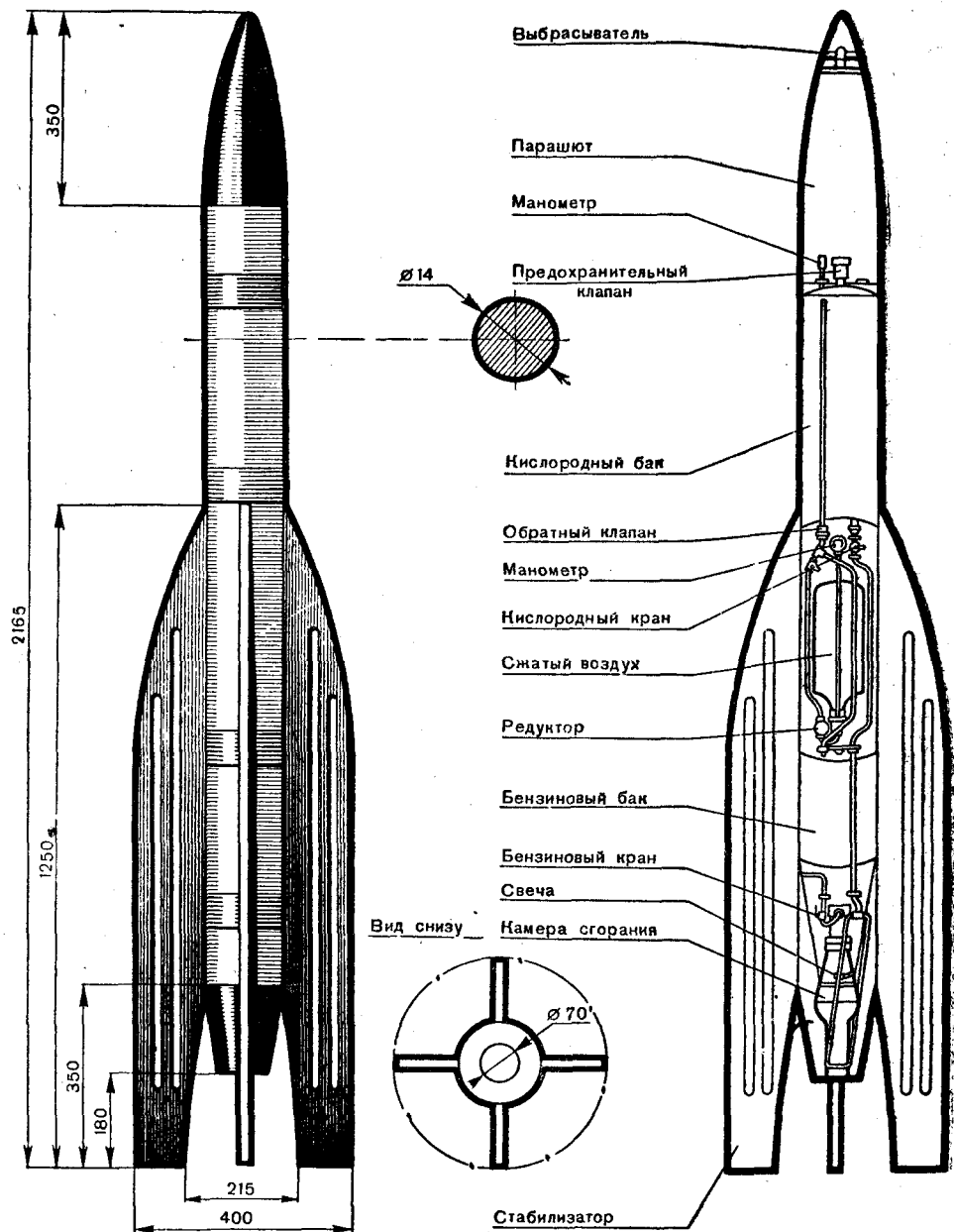


Рис. 59. Ракета ГИРД-Х и ее внутреннее устройство.

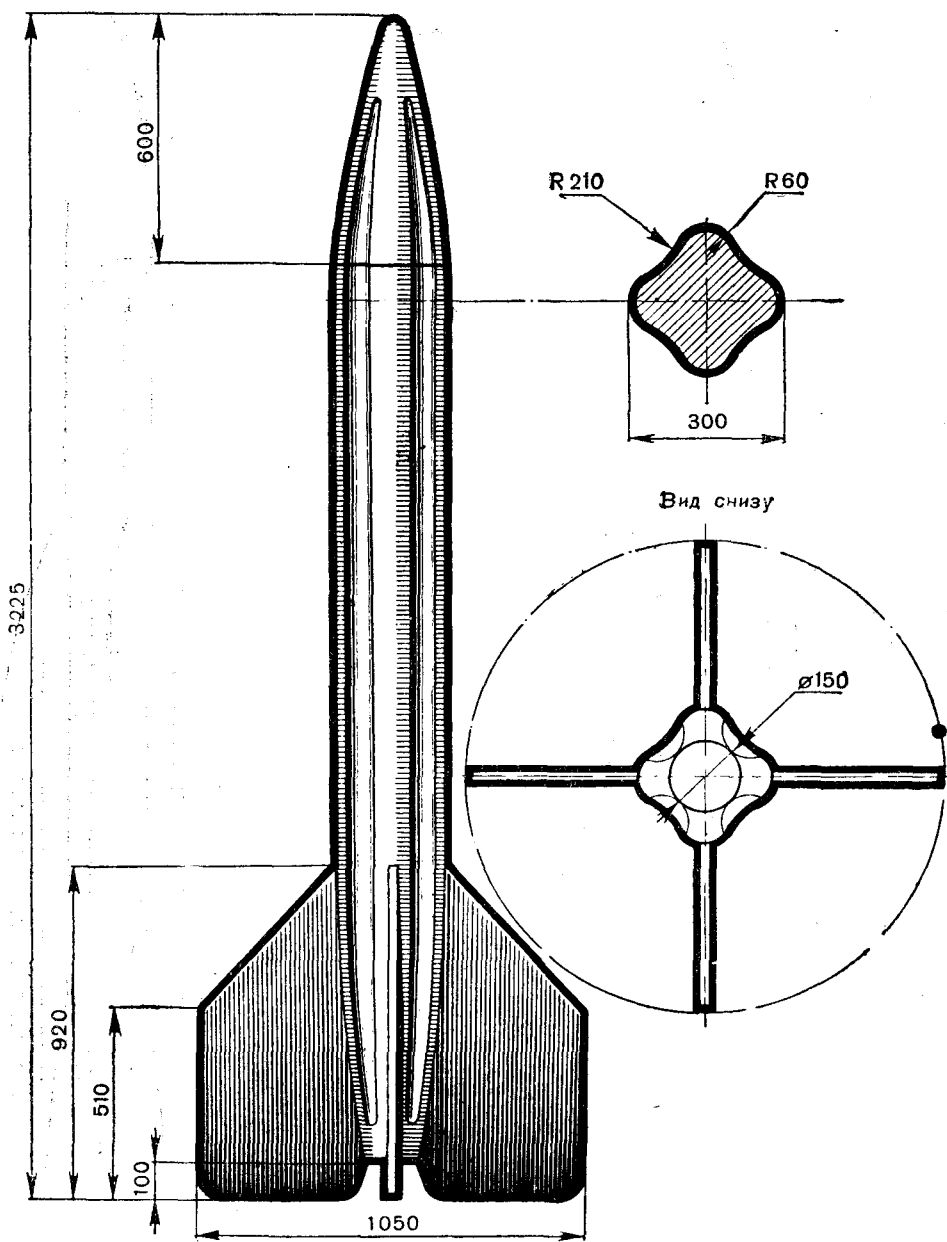


Рис. 60. Ракета 05 «Авианито».

рех перев с сравнительно простой формы.

...В 1937 году коллектив конструкторов, выделившийся из ГИРДа, провел летные испытания стратосферной ракеты Р-03 (рис. 61). Она имела длину 2190 мм, диаметр — 200 мм, стартовый вес — 30,1 кг. Жидкостный двигатель ракеты (топливо — жидкий кислород и спирт) развивал тягу 120 кг. Оригинальным нововведением в конструкции ракеты было применение неметаллических материалов. В полете ракета Р-03 достигла высоты 5000 м.

Метеорологическая ракета Р-06 (рис. 62), созданная в 1937—1938 годах, поднималась на высоту до 4500 м. В момент выхода из пускового станка ее скорость достигала 25 м/сек. При длине ракеты 1645 мм и диаметре 126 мм стартовый вес ее составлял 9—10 кг, ЖРД, установленный на ракете, работал на жидком кислороде и спирте и развивал тягу в 42,5 кг. Время работы двигателя 11 сек.

...Общий вид и компоновка снаряда М-13 легендарной «катюши» даны на рисунке 63. Снаряд является боевой ракетой с двигателем твердого топлива. Длина снаряда около полутора метров, калибр — 132 мм, стартовый вес — 42,5 кг. Развивая максимальную скорость 355 м/сек, снаряд поразил цели, находящиеся на расстоянии примерно 8 км. Конструкция снаряда М-13 более проста, чем у жидкостной ракеты ГИРД-Х. Он скомпонован из двух частей: головной и ракетной.

Головная часть снаряда, боевая, состоит из корпуса с очком, куда ввинчивается взрыватель, дна и

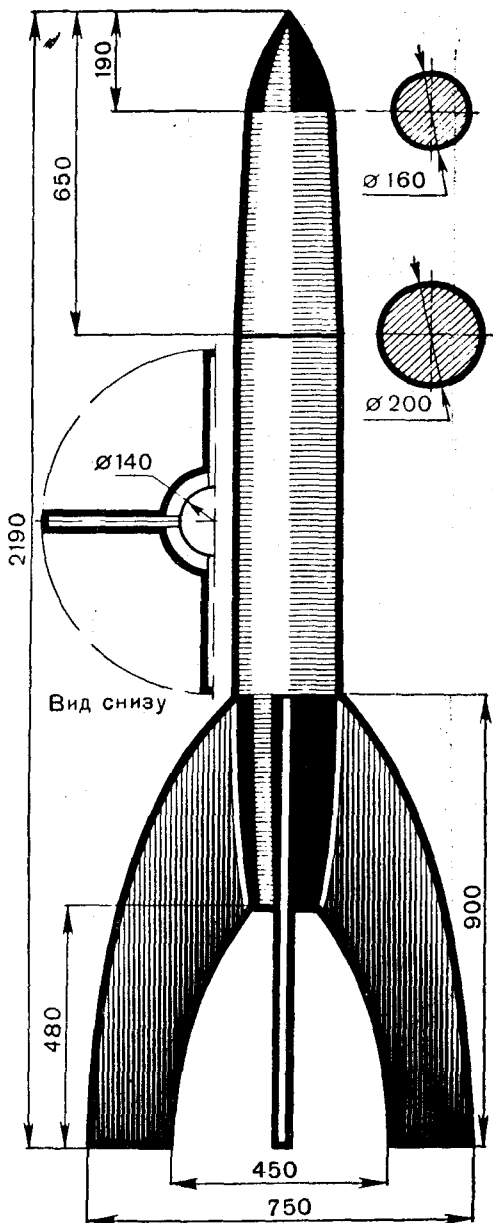


Рис. 61. Стратосферная ракета Р-03.

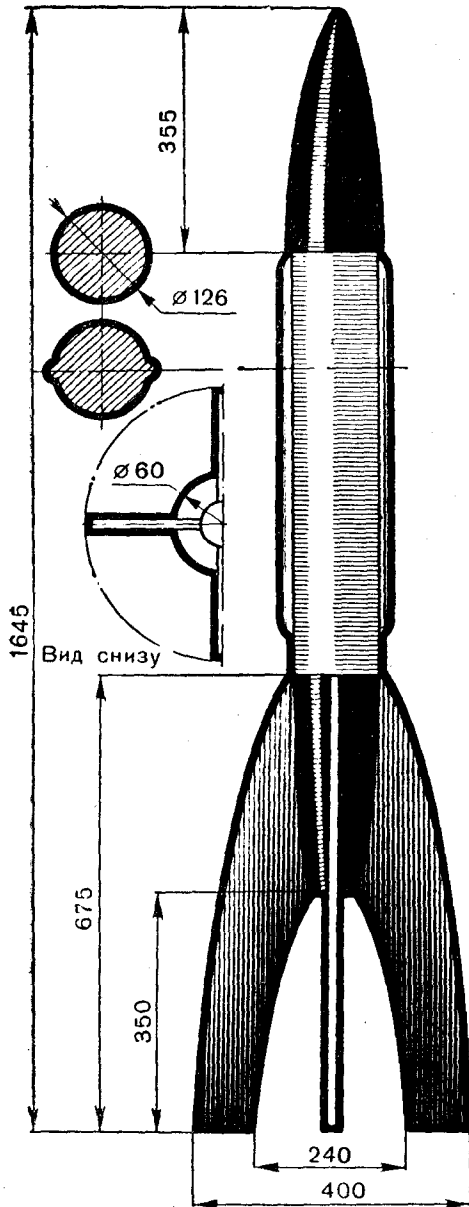


Рис. 62. Метеорологическая ракета Р-06.

разрывного заряда с дополнительным детонатором.

...Советская геофизическая ракета В-2-А (рис. 64) предназначена для исследования верхних слоев атмосферы, фотографирования спектра Солнца, проведения медико-биологических, научных экспериментов. Вес головного приборного отсека 1340 кг, геофизических контейнеров 860 кг; длина 20 м, наибольший диаметр корпуса 1,66 м. Максимальная высота подъема 212 км при весе полезного груза 2200 кг. Для управления ракетой в полете используются газовые и аэродинамические рули. Относительно большая площадь стабилизаторов облегчает задачу аэродинамической стабилизации модели.

...Ракета типа В-5-В (рис. 65) использовалась для астрофизических, геофизических, биологических и ионосферных исследований. На ракетах В-5-В была проведена широкая программа медико-биологических исследований, в основном на собаках; при полетах в космос отработывалась парашютная система спасения животных и аппаратуры при возвращении на Землю. Спасение осуществлялось как плавным спуском герметизированных кабин, так и катапультированием с различных высот и спуском на парашюте собак, помещенных в герметизированные скафандры. Вес полезного груза 1300 кг, длина 23 м, наибольший диаметр корпуса 1,66 м. Максимальная высота подъема 512 км.

Подобно ракете В-2-А, ракета снабжена газовыми и аэродинамическими рулями. Однако небольшие относительные размеры стабилизаторов могут усложнить задачу обеспечения устойчивости модели-

копии — на это моделисту следует обратить особое внимание.

...Двухступенчатая ракета-носитель «Космос» используется с 16 марта 1962 года для выведения на орбиту искусственных спутников Земли типа «Космос». Она имеет последовательное расположение ступеней, ее общая длина 30 м, диаметр 1,65 м, длина цилиндрической части головного обтекателя 1,23 м. Последняя ступень ракеты снабжена двигателем РД-119 с тягой 11 т. Искусственный спутник Земли размещается на последней ступени под головным обтекателем, сбрасываемым на участке выведения после прохождения плотных слоев атмосферы. В конце участка выведения производится отделение спутника от последней ступени. Спутники, запущенные с помощью ракеты-носителя «Космос», проводили научные исследования верхней атмосферы и околоземного космического пространства.

Копирование ракеты-носителя «Космос» представляет значительную трудность: на ней отсутствует оперение, и поэтому она может стать неустойчивой в полете.

Посмотрите, как выполнил модель ракеты «Космос» опытный моделист М. Кулашев (рис. 66). Длина модели 900 мм, диаметр 50 мм. Модель, как и ее прототип, — двухступенчатая. Три из четырех стандартных двигателей установлены на первой ступени и один — на второй. Стартовый вес ракеты получился 350—400 г.

Двигатели первой ступени зажигают двигатель верхней ступени через двойную стопниновую нить, проложенную в бумажной трубке. На центрирующую трубку, в которой расположен двигатель второй ступени, надевается стакан, обес-

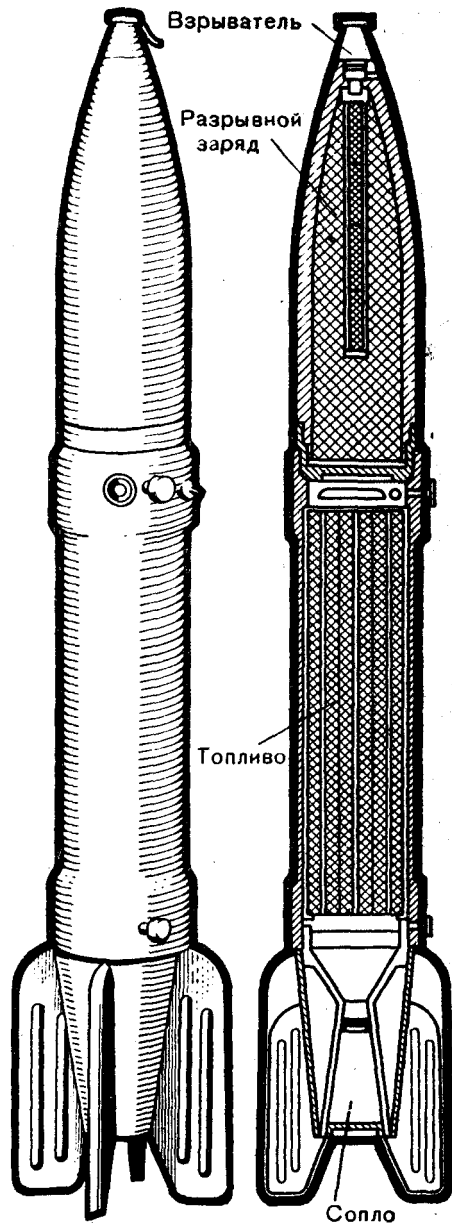


Рис. 63. Ракетный снаряд М-13.

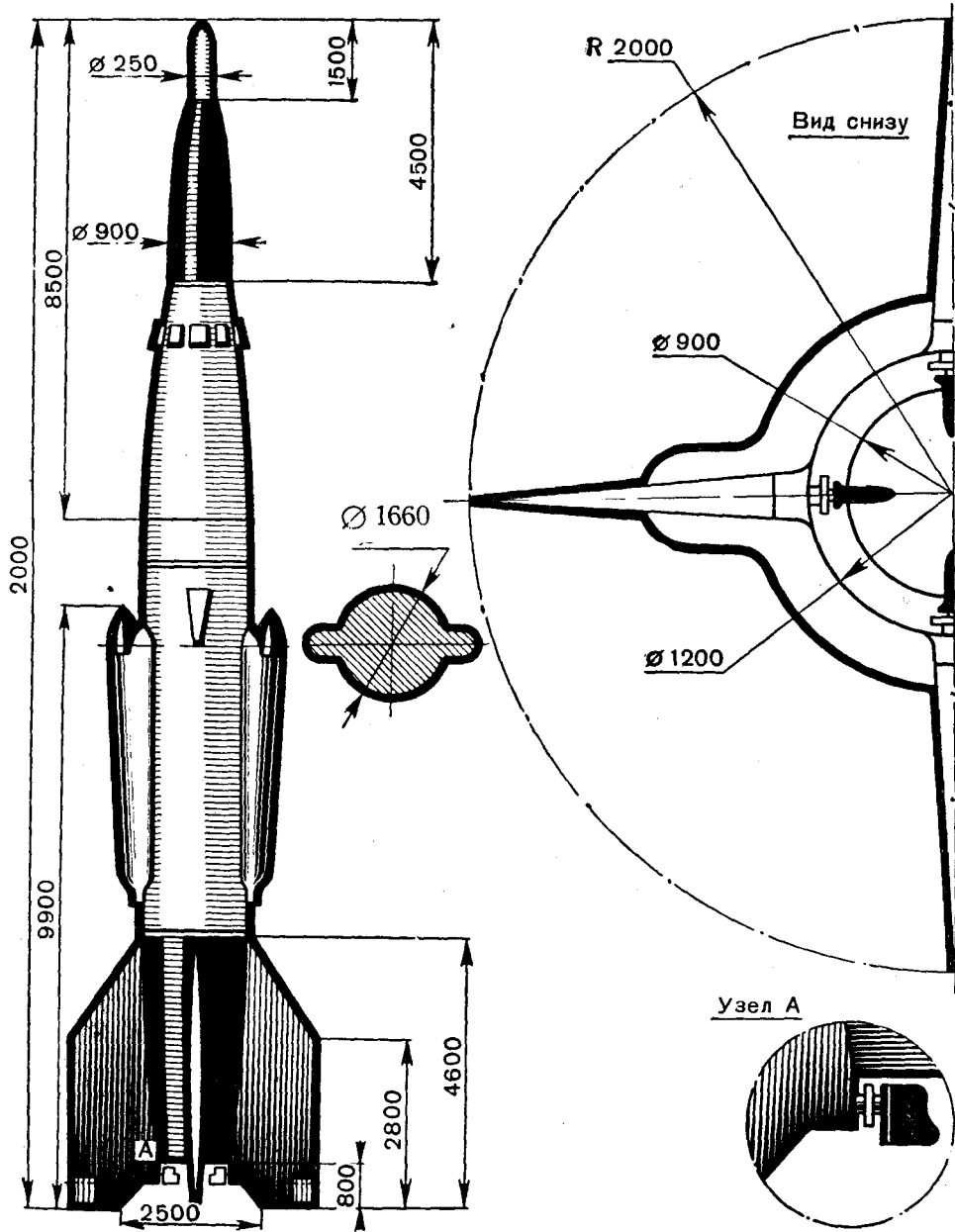


Рис. 64. Советская геофизическая ракета В-2-А.

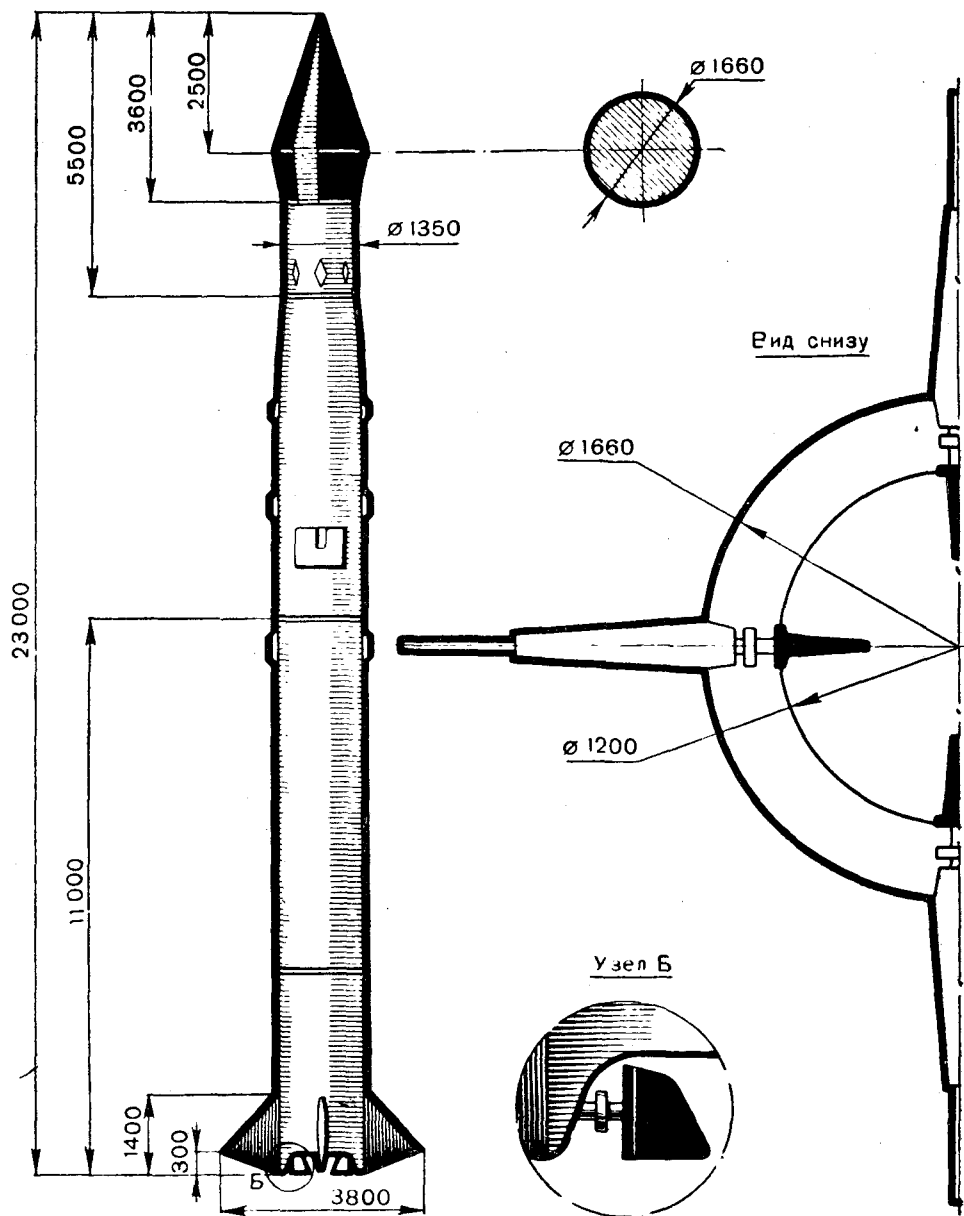


Рис 65. Исследовательская ракета В-5-В.

Вторая ступень

Первая ступень

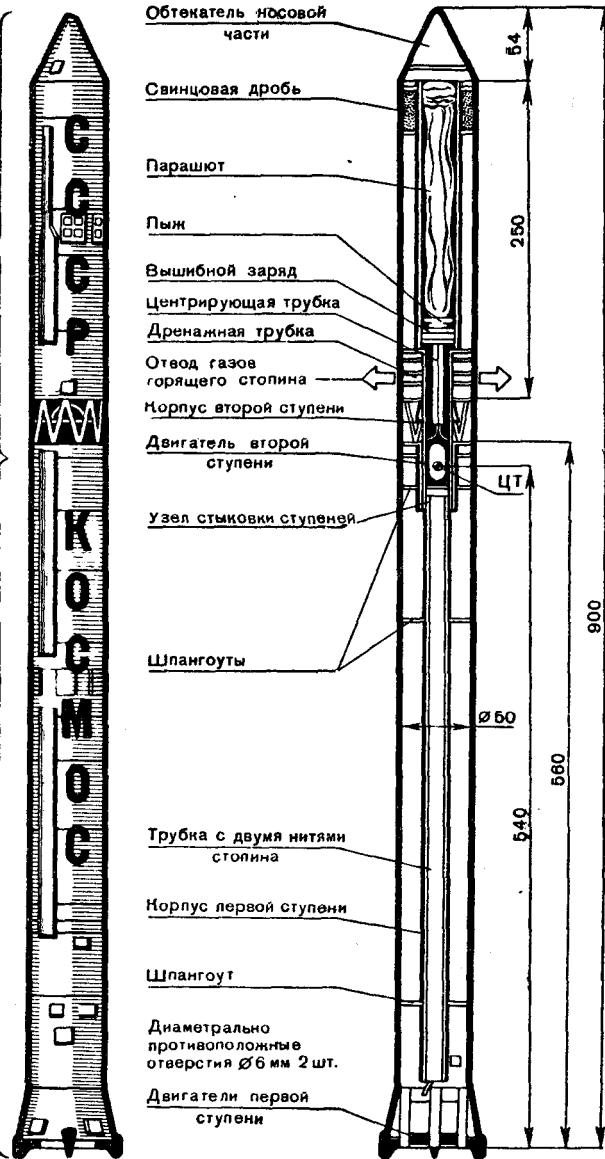


Рис. 66. Модель-копия двухступенчатой ракеты «Космос», выполненная М. Кулашевым.

печивающий надежную и плотную стыковку ступеней. Вышибной заряд отделен от верхнего двигателя и зажигается одинарной нитью стопина. Когда он срабатывает, пых выталкивает парашют.

Парашют сделан из парашютного шелка и имеет диаметр 0,87 м. Это обеспечивает скорость снижения модели около 4 м/сек. Носовой обтекатель привязан ниткой к основной стропе парашюта.

Достаточная устойчивость модели в полете достигается загрузкой носовой части свинцовой дробью, вес которой 130 Г.

Сборка модели ведется от внутреннего контура, то есть сначала выполняется весь внутренний набор, устанавливаются шпангоуты, а затем наворачивается обшивка из одного слоя ватмана. Обязательны дренажные отверстия, из которых выходят газы горящего стопина. Внутренняя часть корпуса от двигателей первой ступени до ближайшего шпангоута покрывается алюминиевой фольгой. Снаружи на этом участке подклеивается еще один слой ватмана.

Конструкция наиболее сложных узлов модели показана на рисунке 66 в увеличенном виде.

Ракета-носитель космического корабля «Восток», на котором был впервые совершен космический полет советским летчиком-космонавтом Ю. А. Гагариным, наиболее сложна для копирования. И тем не менее эта копия, так же как и копии ракеты-носителя «Союз», очень популярна на соревнованиях ракетомodelистов.

На рисунке 67 показана модель-копия ракеты «Восток» чемпионки 1-х Всесоюзных соревнований ракетомodelистов Наташи Курастиковой из города Электростали.

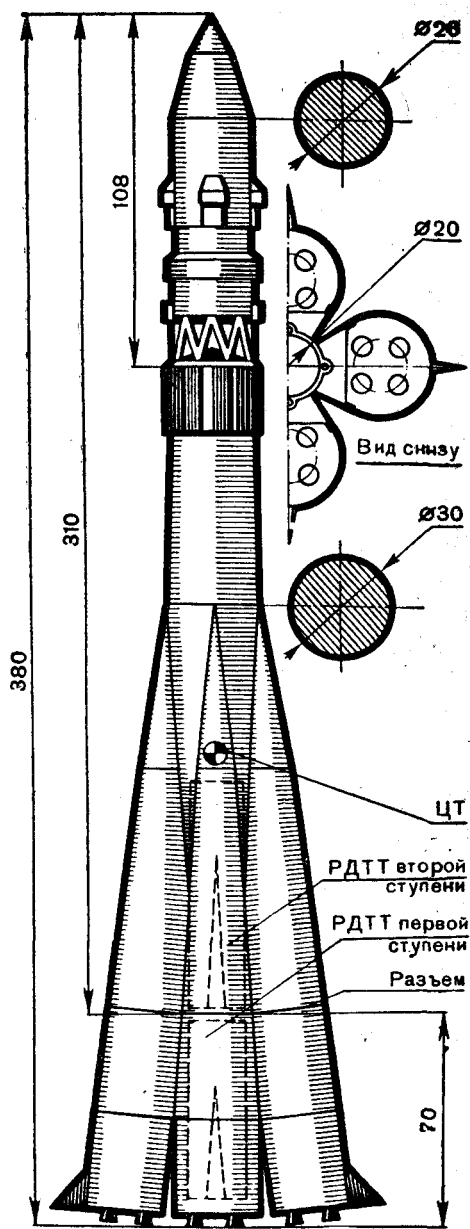


Рис. 67. Модель-копия ракеты-носителя «Восток» Н. Курастиковой.

Модель двухступенчатая, ее масштаб — 1:100. Конструктивно она состоит из верхней и нижней частей.

Нижняя часть включает центральный и боковые блоки, склеенные из двух слоев чертежной бумаги. В хвостовой части центрального блока устанавливаются последовательно два стандартных двигателя — первой и второй ступеней. Боковые ускорители не имеют двигателей, а лишь имитируют их. Головки ускорителей и стабилизаторы изготовлены из бальзы. В собранном виде боковые блоки приклеиваются эмалитом к центральному.

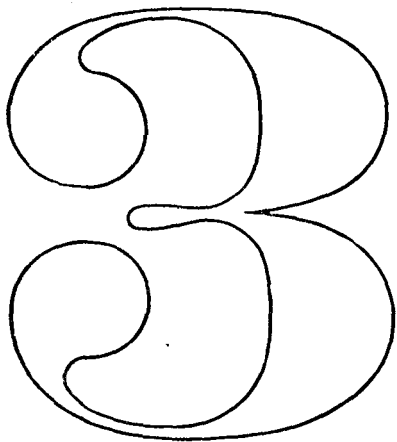
Головка-обтекатель верхней части модели выточена из березы и для центровки загружена свинцом. Она клеивается в бумажный кор-

пус верхней части. Все наружные «надстройки» изготовлены из липы.

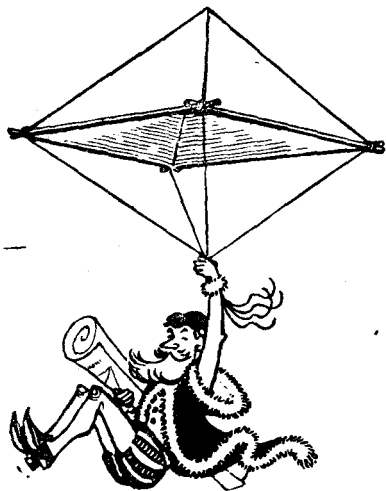
Обе части модели соединяются между собой бобышкой из липы, которая клеена в верхнюю часть. К бобышке крепится парашют из длиноволокнистой бумаги. Сам парашют укладывается в корпус нижней части, соединенной с верхней резинкой-амортизатором.

Центр тяжести модели с двигателями находится на расстоянии 180 мм от нижнего среза сопл. Вся модель без двигателей весит 95 г.

Готовая модель покрывается пятью слоями эмалита, после каждого покрытия она обрабатывается наждачной бумагой. Окрашена модель в белый цвет нитрокраской, а надписи «Восток», «СССР» сделаны красной краской.



Самый напряженный момент лунного путешествия. — Когда враг становится другом. — Парашютирующие модели. — Как выбросить парашют из модели? — Всегда ли нужен парашют? — Отсчет победных секунд



21 июля 1969 года в 5 часов 56 минут 20 секунд по московскому времени нога первого землянина коснулась Луны. Это был американский космонавт командир корабля «Аполлон-11» Нейл Армстронг. Ему и двум его товарищам пришлось многое пережить за восьмисуточный полет, в том числе и волнующий выход на лунную поверхность. И все же, несмотря на богатство лунных впечатлений, отвечая на вопрос журналиста: «Какой момент полета был для вас самым напряженным?» — Нейл Армстронг ответил: «Ожидание раскрытия парашютов».

Любой пилотируемый космический корабль, как бы долго он ни летал в космосе, рано или поздно должен будет вернуться на поверхность Земли. И здесь, на этапе возвращения и посадки, атмосфера и сопротивление, создаваемое ею, становятся уже не врагами, а друзьями. Действительно, не будь на Земле атмосферы, для торможения космического корабля потребовалось столько же энергии (а значит, и столько же топлива), сколько и для выхода его на орбиту. Ученые подсчитали, что для спуска десятитонного корабля на Землю, лишенную атмосферы, пришлось бы использовать трехступенчатую ракету с начальным весом в 170 т!

На последнем, заключительном участке спуска на всех современных космических кораблях используются посадочные парашюты. Парашюты являются и основным средством спасения моделей, а в тех случаях, когда происходит соревнования на продолжительность спуска, парашют — предмет особой заботы моделиста.

По международным правилам

парашютирующие модели не делятся на классы: на них устанавливают по одному ракетному двигателю с суммарным импульсом не более 10,0 н·сек, а стартовый вес

модели ограничивают 85 г. Поскольку двигатель на модели один, то ракета может быть только одноступенчатой.

Основное назначение посадочных устройств, в том числе и парашюта, — уменьшить вертикальную скорость до безопасной величины, обеспечивающей сохранность летательного аппарата и его экипажа. Например, безопасная величина вертикальной скорости приземления для самолетов, допустимая по условиям прочности конструкции, равна 2—4 м/сек. Из опыта прыжков с парашютами известно, что организм человека допускает скорость приземления около 5—8 м/сек, на большей скорости, например 10—12 м/сек, у парашютиста ломаются ноги или повреждается позвоночник.

Испытать качества своего парашюта можно с помощью забавной «ракеты-яйценосителя» (рис. 68). Вместо обычной «головки» модели установите на ракету специальный контейнер, имеющий внутри гнездо по размеру куриного яйца. Контейнер — носовая часть — разрезан поперек в наиболее широкой части. После того как в него заложено яйцо, снаружи (по разрезу) его заклеивают изоляционной лентой.

Если при посадке яйцо не разобьется, то посадочные качества парашюта можно считать хорошими. Безопасную скорость приземления модели можно найти опытным путем, сбрасывая модель с разной высоты и рассчитывая при этом скорость приземления по известной из физики формуле скорости свободного падения тела, — для небольших высот сбрасывания сопротивлением воздуха можно пренебречь. Правила соревнований требуют, чтобы при посадке модель

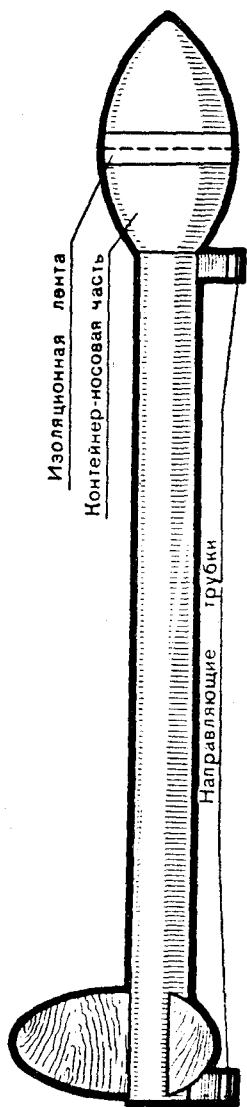


Рис. 68. Модель «яйценоситель».

не имела существенных повреждений: модель ракеты должна быть спроектирована таким образом, чтобы была возможность совершить несколько полетов. Это требование относится как к модели в целом, так и к отдельным ее ступеням.

Для моделей, соревнующихся на продолжительность полета, посадочные устройства служат не только средством уменьшения скорости при посадке, но и средством уменьшения вертикальной скорости на всем участке снижения модели так, чтобы длительность полета была наибольшей.

Все устройства, замедляющие снижение летательного аппарата, можно разделить на следующие три группы:

1) устройства, использующие для замедленного спуска силу аэродинамического сопротивления;

2) устройства, использующие аэродинамическую подъемную силу;

3) устройства, использующие для посадки реактивную силу двигателей.

Наиболее распространенное устройство первой группы — парашют. Основное свойство парашюта состоит в том, что в упакованном виде он занимает небольшой объем, а при необходимости быстро разворачивается, образуя купол значительной площади. Так, современный спасательный парашют укладывается в двадцатилитровую (по объему) компактную упаковку, а будучи введен в действие, образует купол площадью до 50 м². Такая площадь купола обеспечивает парашютисту малую скорость снижения, безопасную при приземлении.

Впервые устройство для благо-

получного спуска человека с высоты было предложено в XV веке известным итальянским художником, архитектором, изобретателем и ученым Леонардо да Винчи. Интересно отметить, что, несмотря на скудные сведения о сопротивлении воздуха, которыми располагал итальянский изобретатель, площадь его парашюта была выбрана около 62 квадратных метров, что соответствует данным современного парашюта.

Слово «парашют» впервые ввел в обиход французский физик С. Ленорман, использовав корни двух французских слов: «parer» — «предотвращать», «парировать» и «chute» — «падение». Парашют самого Ленормана был мало похож на современный — купол его парашюта имел громоздкий жесткий каркас.

В настоящее время парашюты используются не только как средство спасения членов экипажа при авариях летательного аппарата. Парашюты нужны спортсменам и десантникам, на парашютах сбрасывают различные грузы — продовольствие, медикаменты, боеприпасы, оружие и др. — в местах, где посадка самолетов и вертолетов невозможна. Тормозные парашюты сокращают длину пробега скоростного самолета при посадке. С помощью парашютных систем возвращаются на Землю запускаемые в космическое пространство ракеты и космические корабли. Парашют, наконец, является основным средством замедленного снижения моделей ракет.

Самая главная часть парашюта — купол. Именно купол создает аэродинамическое сопротивление, достаточное для его замедленного снижения. Это аэродинами-

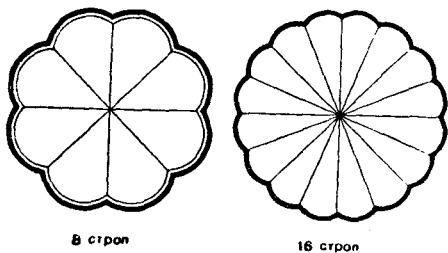


Рис. 69. Чем больше число строп, тем больше мидель парашюта.

ческое сопротивление рассчитывают по общей формуле:

$$Q = c_{xp} \frac{\rho V^2}{2} S_k,$$

в которой c_{xp} — коэффициент аэродинамического сопротивления парашюта, S_k — площадь его купола, а буквой V обозначена скорость снижения модели с парашютом. Заметим, что в формуле лобового сопротивления парашюта используется не площадь миделя, а площадь купола парашюта. Площадь миделя, естественно, меньше площади купола, так как купол при наполнении воздухом приобретает изогнутую, сферообразную форму. Практически более удобно пользоваться площадью купола, а не миделя; при этом коэффициент сопротивления, определенный с помощью продувок в аэродинамических трубах, тоже относят к площади купола.

Формула аэродинамического сопротивления говорит нам о том, что сопротивление, создаваемое парашютом, можно увеличить, взяв купол большей площади. Нужно сказать, что начинающий моделист, строящий модель для соревнований на продолжительность спуска с парашютом, чаще всего идет по этому простому и очевидному пути. Однако для увеличения аэродина-

мического сопротивления парашюта существуют и другие способы. Они связаны с возможностью изменить коэффициент c_{xp} при выборе основных параметров парашюта.

Как показывают исследования, величина коэффициента c_{xp} зависит от формы купола. Моделисты наиболее часто используют купол круглой и квадратной формы. При небольших размерах купола парашют, сделанный в виде квадрата со слегка срезанными углами, имеет коэффициент $c_{xp} = 0,4 — 0,75$, а у круглого парашюта $c_{xp} = 0,35 — 0,6$ (большие значения c_x соответствуют парашютам, площадь которых равна или больше 2 м^2).

Круглый парашют прост в изготовлении, и моделисты часто выбирают парашют круглой формы. Недостаток круглого купола — его неустойчивое снижение в воздухе (снижение с раскачиванием) — легко устраняется, если проделать в центральной части купола небольшое полюсное отверстие.

На величину c_{xp} оказывает влияние число строп парашюта. На рисунке 69 изображены наполненные купола одного и того же размера с 8 и 16 стропами: мидель купола с 8 стропами заметно меньше миделя купола с 16 стропами. Это значит, что коэффициент c_{xp} , отнесенный к одной площади купола, будет больше у парашюта с большим числом строп. Опыт показывает, что увеличение количества строп купола сверх 16 не приводит к заметному увеличению миделя, следовательно, и коэффициента c_{xp} .

На величину миделя купола влияет не только количество строп, но и их длина. Парашюты на рисунке 70 имеют одинаковую площадь купола, но длина строп у них

разная. Короткие стропы сильнее стягивают края парашюта и тем самым уменьшают его мидель. При увеличении длины строп от одного диаметра купола до двух коэффициент сопротивления $c_{\text{пр}}$ увеличивается примерно на 20%. Расчеты, однако, показывают, что вес парашютной системы с длинными стропами будет больше, чем с короткими, и при длине строп, примерно равных одному диаметру купола, выгоднее увеличивать размер парашюта, а не длину строп. Поэтому оптимальным значением длины строп считают длину, равную 0,8—1,0 диаметра купола в раскрое.

Наиболее распространенными материалами для парашютов являются тонкая длинноволокнистая бумага, шелк и синтетические пленки. Бумага наиболее дешевый материал, однако по сравнению с шелком и пленками она недолговечна, легко рвется воздушным потоком, имеющим большую скорость, и медленно разворачивается, так как парашюты размещаются в трубчатых корпусах небольшого диаметра.

Шелк — отличный материал для парашютов, однако и у него есть отрицательные качества: его трудно складывать и упаковывать в ракету, он довольно дорог, спущенная шелковая нитка может вызвать нераскрытие парашюта, поэтому края парашюта нужно обметывать. Стропы пришиваются прямо к шелку.

В ракетном моделизме все большее распространение в качестве парашютного материала получают синтетические пленки. Эти пленки обладают достаточной для парашюта прочностью при малой толщине и незначительном весе. Например, запущенный на околозем-

ную орбиту пассивный ретранслятор «Эхо-1» (США) был изготовлен в виде шара из легкой синтетической (майларовой) пленки с алюминиевым покрытием. При диаметре 30 м (площадь поверхности около 3 тыс. м²) он весил всего 66 кг.

Желательно применять окрашенную или металлизированную пленку. Купол, сделанный из такой пленки, виден на большом расстоянии, что особенно важно при соревнованиях на продолжительность полета: в соответствии с правилами соревнований судья должен остановить секундомер, если он потеряет модель из виду.



Рис. 70. Длина строп тоже влияет на мидель парашюта.

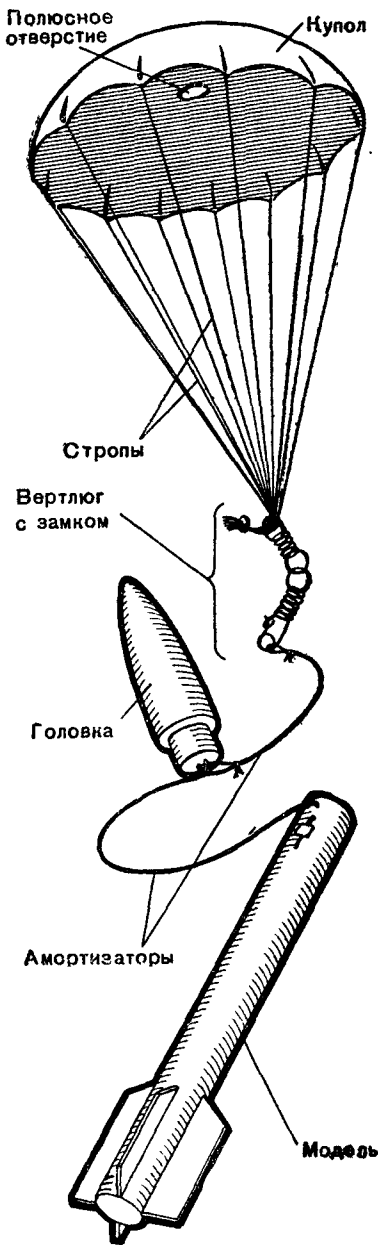


Рис. 71. Купольный парашют для модели ракеты.

Применяя синтетические материалы, следует помнить, что они очень чувствительны к нагреву. Поэтому парашют с пленочным куполом следует особенно хорошо защищать от воздействия горячих газов, образующихся при сгорании вышибного заряда. Для тепловой защиты парашюта между вышибным зарядом и парашютом прокладывается пых, сделанный из огнеупорной ткани, ваты, пенопласта или других материалов. Толщина этой прокладки составляет 1—1,5 диаметра корпуса ракеты. Иногда дополнительным средством защиты материала парашюта от нагрева является специальный конверт, в который предварительно вкладывается парашют.

Недостаток синтетической пленки заключается в том, что пленка может слипаться в корпусе ракеты, а при холодной погоде она склонна к «затвердеванию». Чтобы парашют не слипался, рекомендуется перед его установкой в корпус ракеты слегка присыпать купол тальком. Для надежного открытия парашюта он не должен оставаться в сложенном состоянии более часа в теплую погоду и более 5 минут при отрицательных температурах. Если парашют находится в корпусе ракеты сверх этого времени, следует вынуть парашют, расправить его и вновь вложить в ракету перед полетом.

Простейшая подвесная система парашюта — нить, связывающая стропы парашюта с корпусом модели. Однако практически такая подвесная система не применяется, так как при выбросе купола парашюта в поток воздуха возникают большие нагрузки, которые могут либо оторвать парашют от корпуса, либо порвать сам купол. Если,

например, скорость полета, на которой парашют вводится в действие, принять равной 25 м/сек, то при $c_{xл} = 0,6$ аэродинамическая сила, действующая на купол с площадью $0,5 \text{ м}^2$, будет около 12 кг. Чтобы избежать разрыва нити и купола в момент ввода парашюта, нить подвесной системы заменяют резиновым амортизатором.

Более сложная подвесная система, кроме резинового амортизатора, включает вертлюг и замок.

Назначение вертлюга — препятствовать закручиванию строп парашюта при снижении модели. Закрутка строп парашюта может привести к тому, что купол парашюта сложится и скорость снижения резко увеличится. Устройство вертлюга простой конструкции показано на рисунке 71. Он состоит из двух соединенных цепочкой проволочных колечек. Верхнее колечко связано со стропами, а нижнее с булавочным замком. Замок позволяет в случае необходимости быстро произвести замену парашюта.

Во время соревнований на высоту полета на модели ракеты чаще всего применяют не купольный, а ленточный парашют. Ленточный парашют, устанавливаемый на модели, не следует путать с ленточным парашютом, применяемым в авиации.

В авиации ленточным называют парашют, купол которого состоит из взаимно пересекающихся лент одинаковой ширины. Такой парашют обладает ценным свойством — постепенно наполняться воздухом и снижать нагрузки при открытии парашюта на больших скоростях.

В ракетном моделизме ленточный парашют — обычная ленточка-вымпел (рис. 72), которая одним кон-

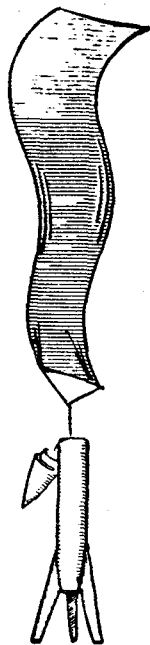
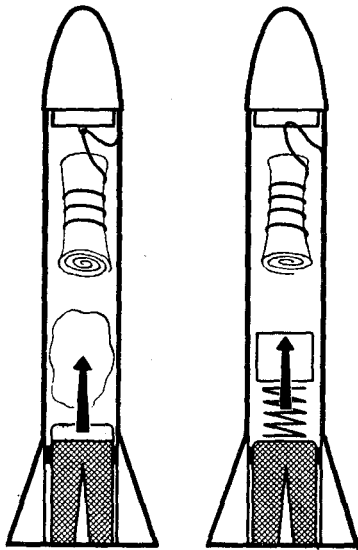
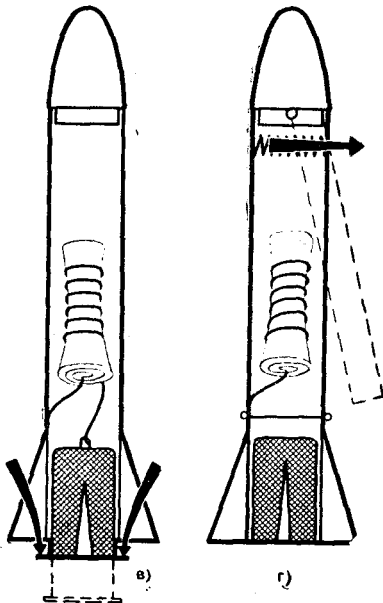


Рис. 72. Ленточный парашют модели.



а)

б)



в)

г)

Рис. 73. Способы выброса парашюта из модели.

дом крепится к подвесной системе. Вибрируя и извиваясь в воздушном потоке, ленточка создает добавочное аэродинамическое сопротивление и тормозит падение модели.

Для ввода парашюта в действие конструктору необходимо применить устройство, которое обеспечивает принудительный выброс парашюта из корпуса ракеты.

Наибольшее распространение в ракетном моделизме получил пиротехнический выброс парашюта: навеска из 0,5—0,7 г зернистого дымного пороха образует вышибной заряд, поджигаемый в нужный для выброса парашюта момент. Этот способ (рис. 73а) использует силу давления образующихся при сгорании пороха газов. Так как газы в одинаковой степени давят на пыж и на двигатель, то для надежного выброса парашюта двигатель должен плотно, с усилием вставляться в корпус ракеты.

Вышибной заряд можно заменить пружиной, которая до выброса парашюта находится во взведенном, сжатом состоянии (рис. 73б). Чтобы удерживать пружину в сжатом состоянии, можно, например, применить нить, которая перед выбросом парашюта пережигается. Такой способ выброса сложен и менее выгоден в весовом отношении, чем способ, использующий вышибной заряд; он редко применяется модельстами.

Не часто можно увидеть и такие конструктивные решения выброса парашюта, которые изображены на рисунках 72 в, г. Плоская шайба, надетая на буртик двигателя, создает в полете аэродинамическое сопротивление, которое стремится выдвинуть из корпуса вставленный в него двигатель. Когда двигатель работает, он прижимается реактив-

ной силой к корпусу. После выключения двигателя аэродинамические силы, действующие на шайбу, выталкивают двигатель из корпуса, а вместе с ним и крепящийся к нему парашют. Естественно, что в этом случае двигатель должен свободно выниматься из корпуса. Недостаток способа состоит в том, что шайба создает все время в полете дополнительное сопротивление, которое снижает скорость и высоту полета модели.

Модель ракеты, у которой для выброса парашюта открывается часть корпуса, изображена на рисунке 73 г. Две половинки разрезанного вдоль корпуса ракеты в верхней части соединены шарниром, а снизу стянуты нитью. При выбросе парашюта нить пережигается и пружина отбрасывает подвижную часть корпуса так, что парашют выпадает в воздушный поток и раскрывается. Несмотря на простоту предлагаемого способа, применить его довольно трудно: разрезанный вдоль корпус ракеты коробится, меняет форму и значительно хуже воспринимает силовые нагрузки, действующие на него в полете.

Для замедленного спуска отдельных ступеней и легких моделей ракет спортсмены-ракетчики иногда не применяют никаких специальных парашютирующих устройств: сама модель (ступень), если она снижается, падая боком или беспорядочно вращаясь, создает достаточно большое аэродинамическое сопротивление, обеспечивающее ее безопасное снижение и приземление без существенных повреждений. Очевидно, что снижаться подобным образом будет модель, не имеющая аэродинамической стабилизации.

Чтобы лишить обработавшую

ступень аэродинамической устойчивости, следует определенным образом расположить на этой ступени стабилизаторы. Прежде чем приклеивать к ступени ракеты стабилизаторы, вставьте в нее использованный двигатель и найдите ц. т. ступени (рис. 74). Затем сбалансируйте стабилизатор так, чтобы ось вращения при балансировке была перпендикулярна корневой кромке стабилизатора (этой кромкой стабилизатор приклеивается к ракете). Точку пересечения корневой кромки с осью вращения обозначим буквой А и отметим на стабилизаторе. К ступени стабилизатор следует клеить так, чтобы точка А была на 5—6 мм впереди ц. т. ступени.

Нестабилизированный спуск модели можно получить путем отде-

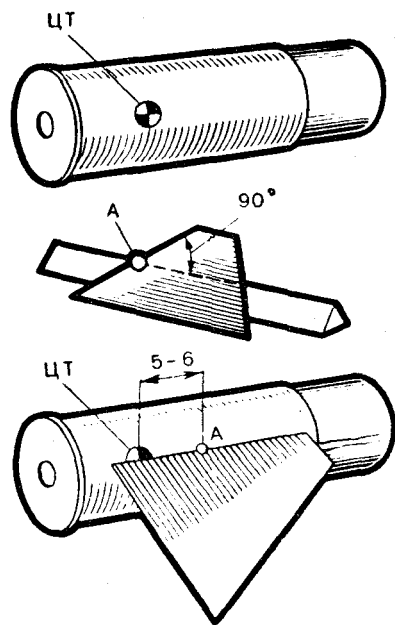


Рис. 74. Установка стабилизаторов для замедления спуска ступени.

ления от нее узла стабилизаторов, обеспечивающих устойчивость ракеты при движении. Стабилизаторы при этом связываются с корпусом ракеты нитью и спускаются вместе со всей моделью. Такой способ снижения применялся при соревнованиях на точность приземления модели.

Вторая группа посадочных устройств использует подъемную силу для замедленного снижения. Именно так снижается ракетоплан, но о нем пойдет особый разговор в следующей главе. Иногда для спуска моделей используют свободно вращающийся винт или ротошют (рис. 75), который во время подъема ракеты находится в сложном состоянии и создает минимальное аэродинамическое сопротивление. На участке снижения он

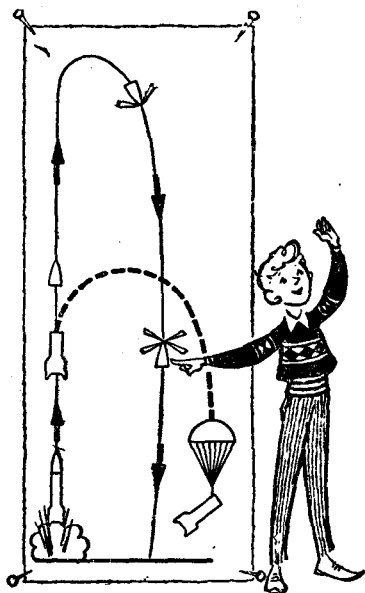
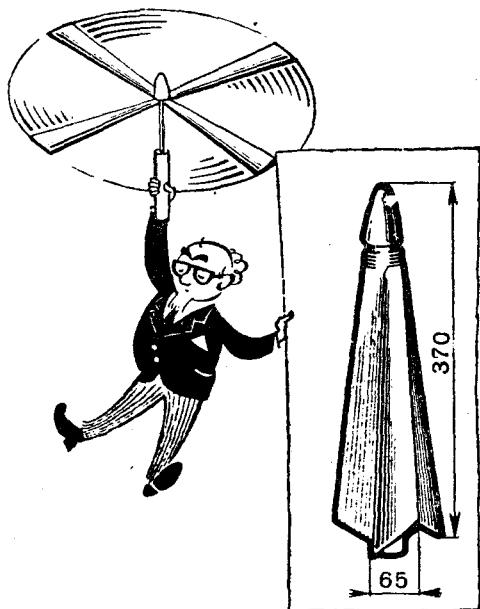


Рис. 75. Ротошют — еще одно устройство для уменьшения скорости снижения.

раскрывается и раскручивается набегающим потоком воздуха. При вращении лопасти несущего ротора создают подъемную силу, замедляющую падение модели.

Свойство ротора с лопастями, вращающимися под действием набегающего потока, создавать подъемную силу — одно из ценных качеств, обеспечивающих безопасность полета на вертолете. Задавали ли вы себе вопрос, что произойдет, если в полете на вертолете откажет двигатель? Оказывается, этот случай не будет неожиданностью для летчика: учебные программы по технике пилотирования вертолета предусматривают обучение посадки вертолета с выключенным двигателем, на режиме самовращения несущего винта.

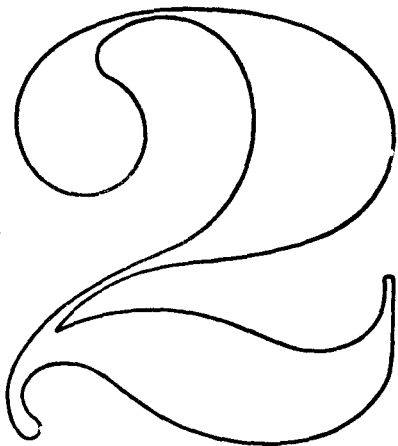
К третьей группе посадочных устройств относятся устройства, использующие при посадке реактив-

ную силу двигателей. Этот способ является единственно возможным для посадки космических летательных аппаратов на планеты, лишенные газовой атмосферы. Впервые подобная мягкая посадка на наш естественный спутник — Луну — была осуществлена 3 февраля 1966 года автоматической межпланетной станцией «Луна-9». Интересно отметить, что тормозные двигатели для уменьшения вертикальной скорости снижения используются и при посадке на Землю: пороховые двигатели мягкой посадки космического корабля «Союз-3» были включены в непосредственной близости от Земли; двигатели, смягчающие удар, используются при десантировании тяжелых грузов с самолетов; наконец, сами самолеты в последнее время стали применять реактивный двигатель для вертикального взлета и посадки.

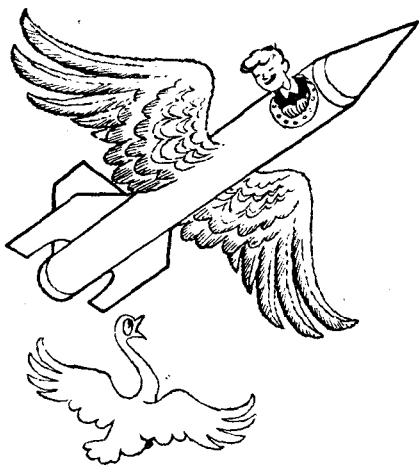
К сожалению, от мягкой посадки с использованием тормозных двигателей в ракетном моделизме следует отказаться: в этом случае модель представляет собой источник повышенной опасности, так как точность приземления моделей невелика и посадочные двигатели могут сработать в местах расположе-

ния легковоспламеняющихся веществ.

Продолжительность полета на соревнованиях парашютирующих моделей измеряется очень просто. Началом полета считается момент, когда модель начнет движение по направляющим. Время засекается двумя судьями-секундометристами, которые находятся на стартовой площадке и не должны покидать ее, чтобы удерживать модель в поле зрения. Судьям не разрешается пользоваться никакими оптическими средствами, кроме солнечных или обычных очков для коррекции зрения. Официальное время полета подсчитывается как среднее от результатов, засеченных каждым судьей и округленных до целого числа секунд в меньшую сторону. Если модель скрывается за каким-либо препятствием и судьям кажется, что она вскоре после этого коснется земли, то секундомеры следуют остановить в тот момент, когда модель скрывается за препятствием. Однако при появлении модели секундомеры включают вновь. Если модель исчезает из поля зрения в небе, то судьи должны остановить секундомеры, когда они упускают ее из виду.



Мечта космонавта номер два. — Орбитальный самолет будущего. — Ракетопланы в моделизме. — Аэродинамическое качество. — За советами к авиамоделистам. — Конструктивные схемы ракетопланов. — Самолет или ракета? — Особенности взлета ракетопланов



«Есть мечта и у меня. Я особенно остро осознал ее как-то на отдыхе, у моря. После трех дней дождей и гроз — снова чистое голубое небо. Проснувшись ночью от свежего морского ветра, я наконец увидел яркие звезды на черном южном небе. По привычке стал искать пролетающие спутники и перед рассветом заметил летящую «звездочку». Мне показалась странной скорость спутника. Родилось подозрение: не ракетоплан ли это? Подобные корабли еще не бороздят космический океан. Но они непременно займут достойное место среди космических и авиационных летательных аппаратов. Идея эта волнует меня давно».

Ракетоплан — мечта космонавта номер два Германа Степановича Титова. Будущее авиации и космонавтики наши космонавты видят в ракетопланах. С появлением таких аппаратов сотрется грань между самолетами и космическими кораблями.

И действительно, космические корабли могут существовать только на больших высотах — более 150—200 км и не могут летать со скоростью меньшей, чем первая космическая — 28 тыс. км/час. А самолеты? Им доступны пока более скромные высоты — около 20 км, а скорости их не превышают 3000—3500 км/час.

Космическая авиация призвана «навести мосты» между воздушным и космическим океанами. Но не только это. Всем известно, что космические полеты очень дорогая вещь: ракеты-носители и корабли, поднимаемые ими, — сложные технические сооружения, а используются они всего один раз. Экономисты подсчитали, что уже сейчас ракетопланы (за счет многообразности их

применения) уменьшили бы стоимость космического полета раз в десять, а в дальнейшем сделали бы такие полеты примерно в одной цене с полетами современных межконтинентальных лайнеров. Заманчивая перспектива!

И еще одно достоинство ракетоплана: большие маневренные возможности. Обладая аэродинамическим качеством, орбитальные самолеты будущего смогли бы использовать аэродинамические силы для маневра в плотных слоях атмосферы. А это оказывается значительно более выгодным, чем маневрирование с помощью ракетных двигателей, осуществляемое в космосе сегодня.

Как же представляют полет ракетоплана ученые и инженеры? Посмотрите на рисунок 76, где показана траектория полета ракетоплана. Весь космический комплекс состоит из двух ступеней. Обе они похожи по своей форме на самолет, но взлетают, как и ракеты, вертикально. Разогнав вторую ступень, первая снижается и садится на обычный аэродром, по-самолетному. Вторая сначала выходит на орбиту, стыкуется там с орбитальной станцией, передает ей грузы, аппаратуру, топливо или сменяет ее экипаж, а затем отстыковывается, входит в атмосферу и садится на нужный аэродром.

Прообразы будущих орбитальных самолетов — модели ракетопланов — стали в моделизме одним из самых увлекательных, а в техническом отношении и наиболее трудных, спортивных видов. Правда, правила соревнований не требуют, чтобы все ступени модели были планируемыми: модели ракет имеют надежную парашютную систему спасения. Более того, самим ракетопла-

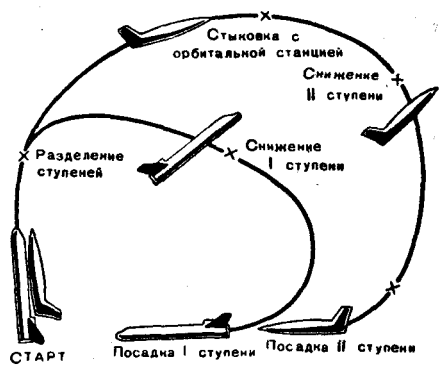


Рис. 76. Транспортное космическое устройство будущего — ракетоплан. (Траектории полета.)

ном может быть только планирующая носовая часть последней ступени. При этом обязательно требуют, чтобы в случае отделения ракетоплана от последней ступени эта ступень снижалась либо на ленточном парашюте, имеющем размеры не менее 300×25 мм, либо на купольном с площадью не менее 4 дм^2 . Для полета ракетоплана в пределах стартовой площадки его разрешают оборудовать радиоуправлением.

Цель соревнований моделей ракетопланов такая же, как на соревнованиях парашютирующих моделей, — продолжительность полета. Время полета замеряется по тем же правилам, что и для моделей на продолжительность парашютирования. По величине суммарного импульса и стартовому весу ракетопланы делятся на пять классов (см. рис. 2).

Подъем ракетопланов должен происходить, как и у всех моделей, — вертикально, и только снижение происходит по-другому — планированием. Значит, основное отличие ракетоплана от других моделей состоит в том, что при снижении он

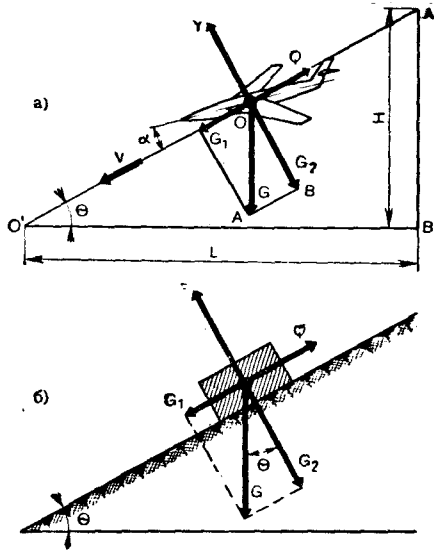


Рис. 77. Планирование подобно скольжению по наклонной плоскости.

использует подъемную силу, подобно обычному планеру или самолету.

Планирующие свойства ракетоплана определяются аэродинамическим качеством: чем оно больше, тем дальше планирует ракетоплан. Покажем это, используя схему сил, действующих на ракетоплан, совершающий установившееся прямолинейное планирование (рис. 77 а).

С точки зрения механики такое планирование аналогично скольжению груза с наклонной плоскости (рис. 77 б). Груз движется по наклонной плоскости под действием силы тяжести, или, точнее, под действием ее составляющей G_1 , параллельной наклонной плоскости. Когда сила трения Q сравняется с составляющей веса G , движение груза станет равномерным. Нормальная составляющая силы тяжести G_2 уравновешивается силой давления

плоскости на груз (в механике ее называют реакцией опоры).

У планирующего с постоянной скоростью ракетоплана составляющая веса вдоль траектории G_1 равна лобовому сопротивлению Q , а составляющая G_2 , нормальная к траектории, уравновешивается подъемной силой Y .

Исходя из определения аэродинамического качества, его можно подсчитать, разделив подъемную силу на лобовое сопротивление:

$$K = \frac{Y}{Q}.$$

Здесь буквой K обозначено аэродинамическое качество. Очевидно, что, так как $Y = G_2$, а $Q = G_1$,

$$K = \frac{G_2}{G_1}.$$

Обозначим угол наклона траектории к горизонту буквой θ , тогда $\angle \theta = \angle AOB$, образованному силой тяжести G и ее составляющей G_2 . Если ракетоплан планирует с высоты H , то он проходит горизонтальное расстояние L . В силу подобия треугольников AOB и $A'O'B'$ (прямоугольные треугольники с равными острыми углами) $\frac{AB}{OB} = \frac{A'B'}{O'B'}$. Но $\frac{AB}{OB} = \frac{G_1}{G_2} = K$, $\frac{A'B'}{O'B'} = \frac{H}{L}$, значит, $L = H \cdot K$ — дальность планирования пропорциональна аэродинамическому качеству.

Один и тот же летательный аппарат может иметь различное аэродинамическое качество, если он совершает полет на разных углах атаки. Установлено, что с увеличением угла атаки качество сначала увеличивается, а затем уменьшается: существует вполне определенный угол атаки, на котором качество максимально. Этот угол называется наи-

выгоднейшим, так как дальность планирования с этим углом наибольшая.

Среди всех летательных аппаратов самое большое качество при полете с наивыгоднейшим углом атаки имеют спортивные планеры (рис. 78). Степень их аэродинамического совершенства характеризуется величиной качества 30 и более.

Максимальное качество современных самолетов, летающих со сверхзвуковыми скоростями, не превышает 10. Еще меньшее значение качества (примерно 2—5) будут иметь ракетопланы будущего: тяжелые условия полета при входе в плотные слои атмосферы с огромной околокосмической скоростью, сопровождающиеся большими аэродинамическими нагрузками, нагревом и даже обгоранием части конструкции, не позволяют придать ракетоплану аэродинамически совершенные формы.

Спортивные модели ракетопланов могут иметь достаточно высокое максимальное качество, близкое к качеству авиамоделей планеров: качество летающих рекордных моделей планеров бывает равным 12—15,

то есть такая модель с 1 м высоты может пролететь около 12—15 м. Следует, однако, помнить, что для моделей ракетопланов главным является не дальность, а продолжительность полета. В аэродинамике доказывается, что наибольшая продолжительность планирования достигается на угле атаки несколько большем, чем наивыгоднейший. Сведения о том, как определить этот угол и как отрегулировать модель для полета с углом, соответствующим максимальной продолжительности полета, содержатся в обширной авиамоделевой литературе. Ракетчик-моделист, занимающийся постройкой ракетопланов, найдет в этой литературе и другие полезные рекомендации (например, рекомендации по обеспечению устойчивости полета планера, его расчету, выбору основных параметров и т. д.), которые являются общим как для модели планера, так и для ракетоплана, и поэтому не приводятся в настоящей книге.

Самая главная, отличительная черта ракетоплана состоит в том, что он совершает вертикальный ракетный набор высоты со сравнитель-

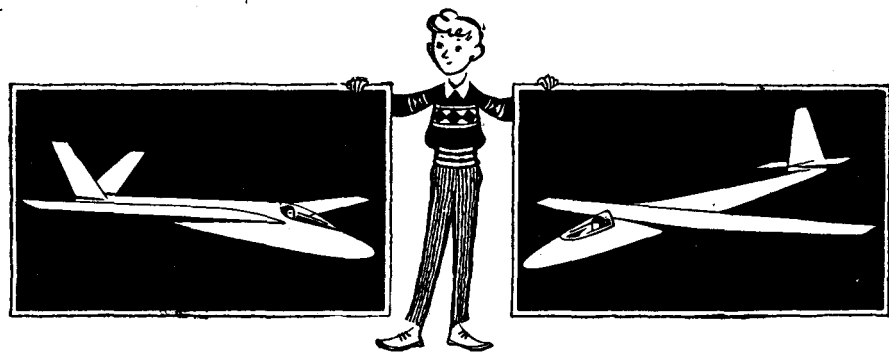


Рис. 78. Наибольшим аэродинамическим качеством обладают спортивные планеры.

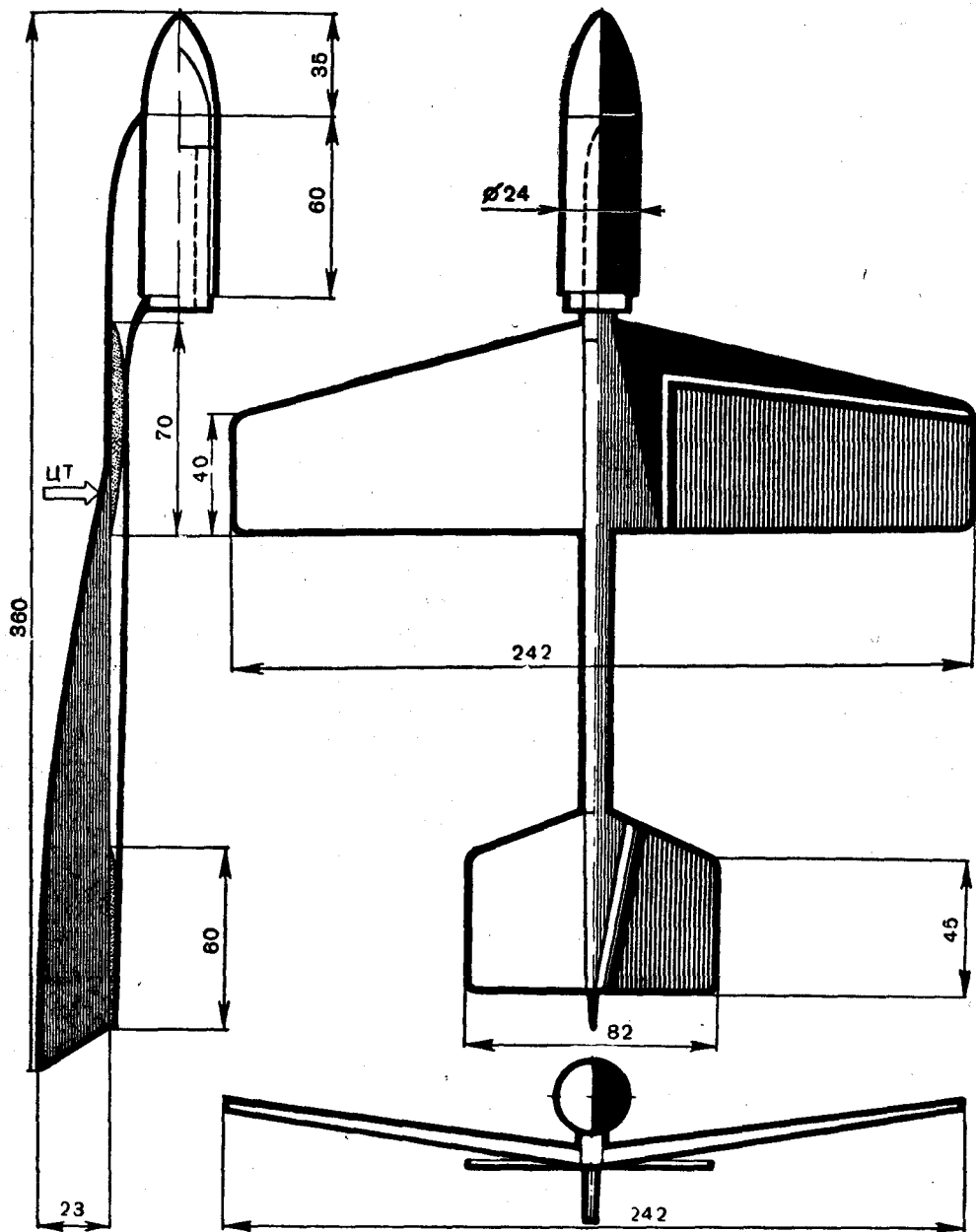


Рис. 79. Модель ракетоплана с жестким крылом.

но большой скоростью, а модель планера набирает высоту плавно, со скоростью ненамного отличающейся от последующей скорости планирования. Ракетный взлет и планерный спуск накладывают на конструкцию ракетоплана характерный отпечаток, заставляют модельста-ракетчика решать более сложные задачи, чем задачи создателя моделей планеров.

В настоящее время в ракетном моделизме выявились три конструктивных компоновки ракетопланов:

— ракетопланы неизменяемой формы с жестким крылом;

— ракетопланы изменяемой формы с жестким крылом;

— ракетопланы с гибким крылом.

Интересно отметить, что все эти компоновки имеют свои подобию в авиационной и ракетной технике.

Модель ракетоплана неизменяемой формы с жестким крылом показана на рисунке 79. Она состоит

из планирующей и ракетной частей. Планирующая часть — изготовленная из бальзы модель планера, Ракетная часть — неоперенная модель ракеты, имеющая пилон и ус для крепления ее на планере. Положение ракетной части выбрано таким, чтобы при подъеме несущие поверхности планера создавали стабилизирующие моменты. Во время работы ракетного двигателя ус ракетной части плотно входит в гнездо на планере и увлекает планер за собой. Когда топливо сгорит и двигатель уже не будет создавать тягу, ракетная часть под действием силы лобового сопротивления отсоединится от



Рис. 80. Самолет с крылом изменяемой стреловидности.

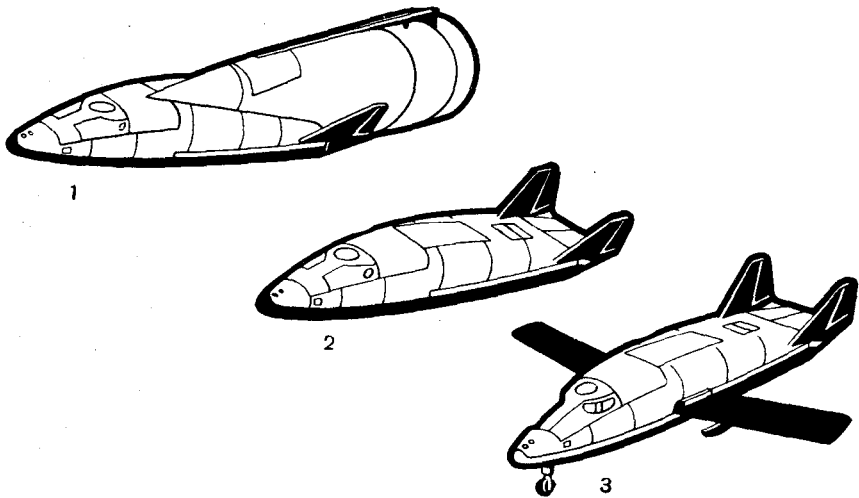


Рис. 81. Проект ракетоплана со складывающимся крылом.

планера и приземлится на парашюте.

В современной авиации получили распространение схемы самолетов с крылом изменяемой стреловидности (рис. 80). На авиационном параде 1967 года в аэропорту Домодедово были продемонстрированы чудесные свойства этих самолетов: с распрямленным крылом они парили в воздухе подобно планеру с небольшой скоростью, а со сложенными крыльями превращались в стремительную ракету.

Планер и ракета. Не эти ли свойства должны быть у модели ракетоплана? Нельзя ли применить идею складывающегося крыла на модели? Нельзя ли сделать ракетоплан изменяемой формы? Тем более что складывающееся крыло считают перспективным и для космических целей (рис. 81). В первом положении изображен ракетоплан на ракете-носителе, во втором — в момент входа в атмосферу, а в третьем — во время посадки.

Попытки выполнить модель ракетоплана со складывающимся жестким крылом уже давно делаются ракетчиками. Одна из таких конструкций показана на рисунке 82.

Крыло ракетоплана в сложенном виде удерживается с помощью иглы, которая вынимается из ушек замка в момент отстрела двигателя. Распрямляет крыло резиновый амортизатор, поворачивая его в шарнирах центропланной части.

В технике давно делают попытки применить особого рода парашютирующие устройства, которые обладали бы способностью планировать в определенном направлении. Все знают, как трудно парашютисту приземлиться в нужной точке, особенно если он не вовремя отделился от самолета. Хорошо бы снабдить парашютиста планером, и эта идея нашла отражение в одном из проектов парашюта (рис. 83), который более точно было бы назвать планером с гибким крылом. Думается, что на таком крыле неплохо спу-

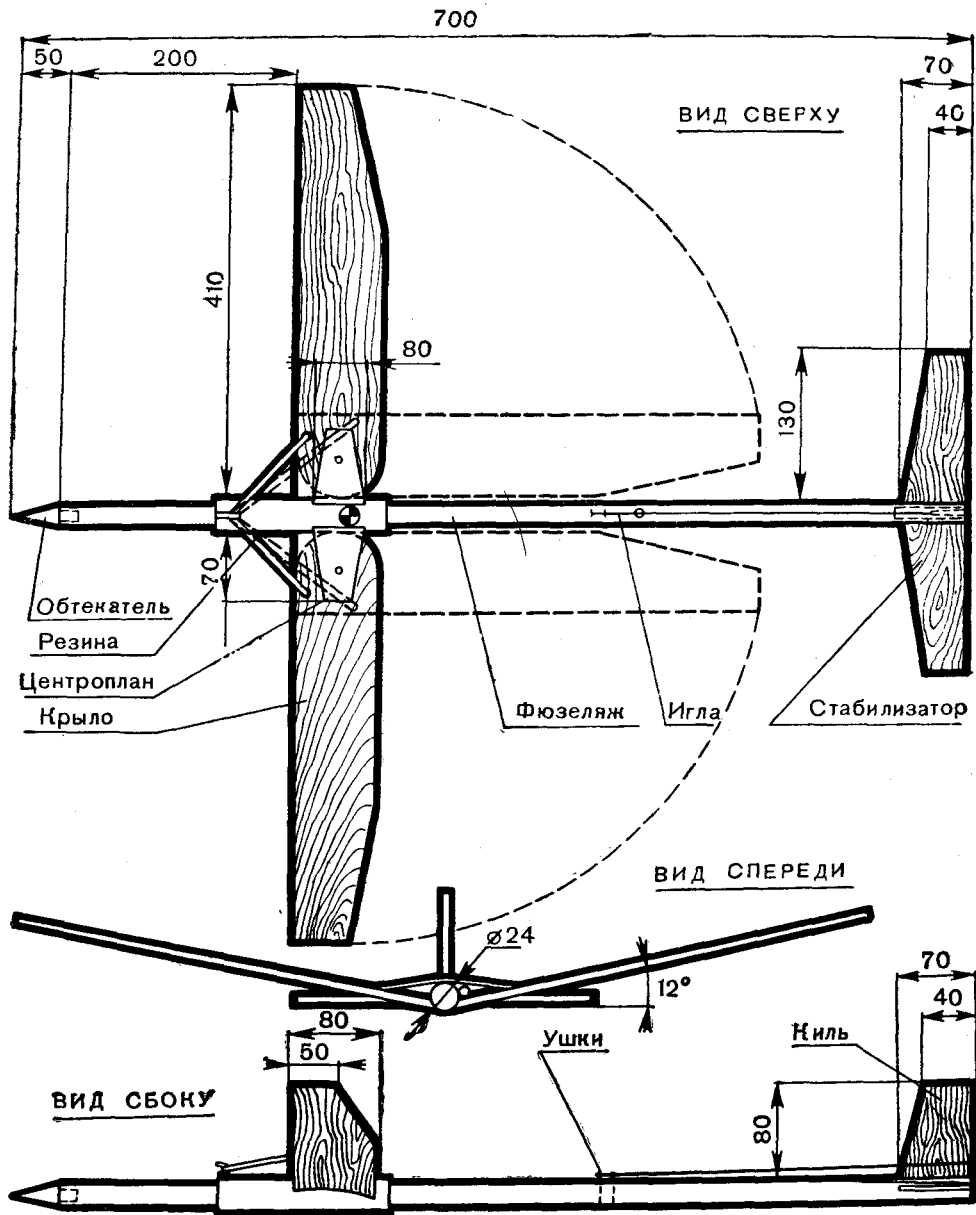


Рис. 82. А это тоже ракетоплан со складывающимся крылом, только модельный.

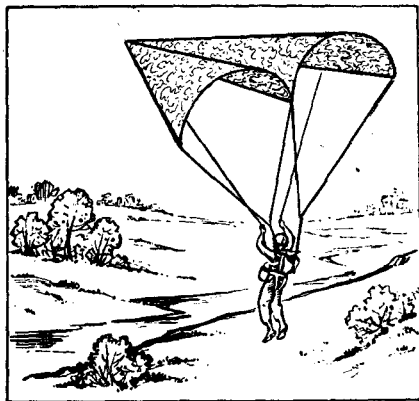


Рис. 83. С таким устройством парашютист становится планеристом.

скать и космические аппараты (рис. 84), и небольшие исследовательские ракеты (рис. 85).

Модели ракетоплана с гибким крылом успешно стартовали на многих соревнованиях по ракетному моделизму. Чаще всего планер с гибким крылом вкладывается в трубчатый корпус ракеты и затем при достижении максимальной высоты, подобно парашюту, выбрасывается из него.

Чертеж сложного трехступенчатого ракетоплана с гибким крылом дан на рисунках 86, 87. Этот ракетоплан

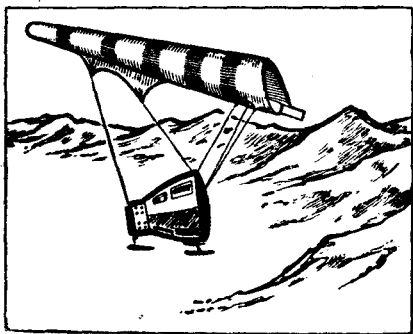


Рис. 84. Гибким крылом думают снабдить и спускаемый космический аппарат.

план разработан в авиамodelьном кружке станции юных техников города Щелково. Ракетная часть ракетоплана (рис. 86) — трехступенчатая модель с тремя стандартными двигателями последовательной компоновки. Носовая часть ракеты вместе с вложенным в корпус гибким крылом образует планер.

Компоновочная схема планера (рис. 87) — «утка». Складывающийся треугольный стабилизатор находится впереди крыла треугольной формы. Каркас стабилизатора и крыла сделан из трех сосновых реек, между которыми натянута длинноволокнистая бумага. Наличие на модели стабилизатора позволяет легко путем изменения угла установки стабилизатора подобрать наилучший угол планирования модели.

Модель ракетоплана, изготовленная по приведенному чертежу Ю. Маркачевым, наблюдалась судьями на Московских областных соревнованиях в течение 6 мин. 15 сек. На 1-х Всесоюзных соревнованиях модель ракетоплана, запущенная Г. Яковлевым, показала результаты 2 мин. 24 сек., что оказалось достаточным, чтобы он стал чемпионом соревнований.

Очевидно, что для ракетоплана с гибким крылом старт не отличается от обычного, ракетного: ракетоплан не меняет формы модели, поскольку он находится внутри ее. Но для модели ракетоплана с жестким крылом устойчивый вертикальный старт гораздо более сложная проблема.

Если двигатель на ракетоплане расположен сзади, то сам ракетоплан можно рассматривать как обычную ракету, оперение которой несколько увеличено в размерах (рис. 88 б).

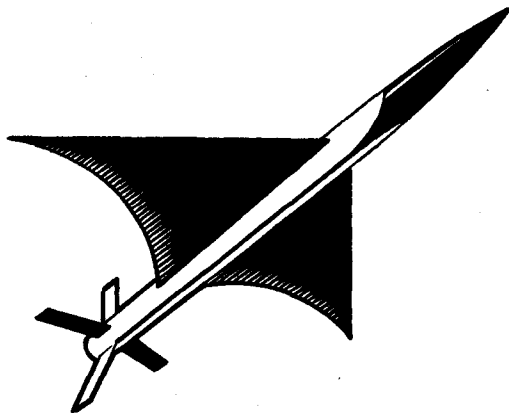


Рис. 85. Исследовательская ракета с гибким крылом.

Сложнее дело с передним размещением двигателей. Линия действия тяги в этом случае не проходит через ц. т., и создается момент относительно него, нарушающий устойчивый полет модели. Мы уже знаем, что ракетоплан балансируется для планирующего полета на определенный угол атаки, близкий к наиболее выгоднейшему. Эта балансировка зависит от скорости, с которой планирует ракетоплан. А при взлете скорость меняется очень сильно, что может привести к большим силам на стабилизаторе, «задирающим» нос модели. Уменьшению этого эффекта способствует сдвиг двигателя как можно дальше вперед, создающий более переднее расположение ц. т. В случае расположения двигателя над фюзеляжем излишние силы, «задирающие» нос, используются для противодействия моменту, создаваемому двигателем (рис. 88 а). Хуже обстоит дело, когда двигатель расположен снизу, под фюзеляжем (рис. 88 в). Такое расположение двигателя требует

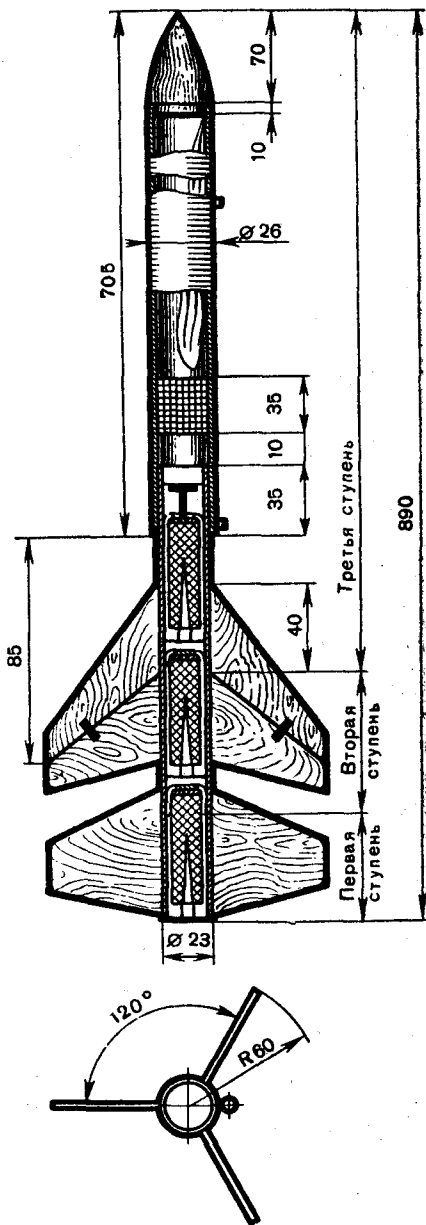


Рис. 86. Ракетная часть трехступенчатого ракетоплана.

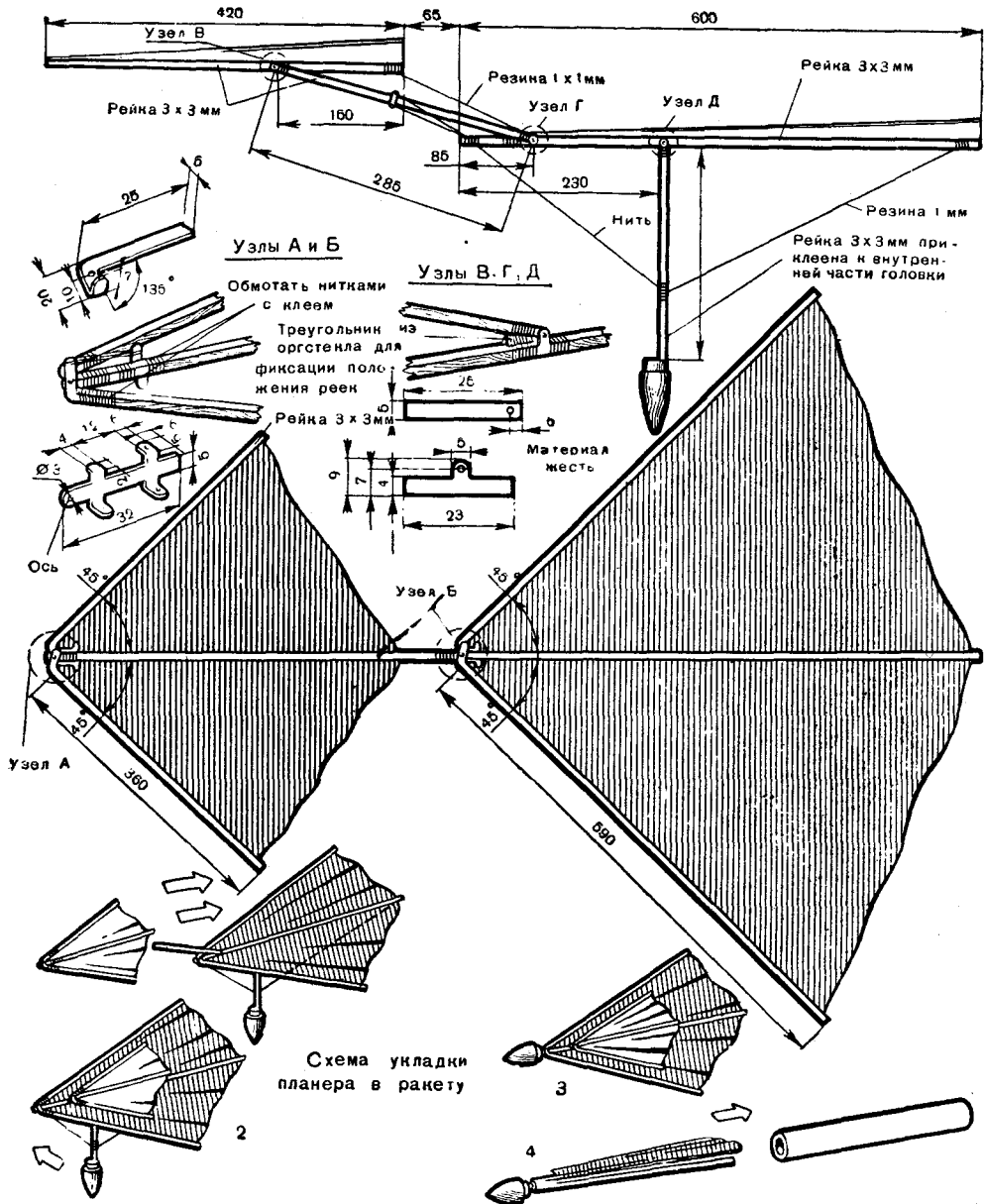


Рис. 87. Ракетоплан «утка» Г. Яковлева.

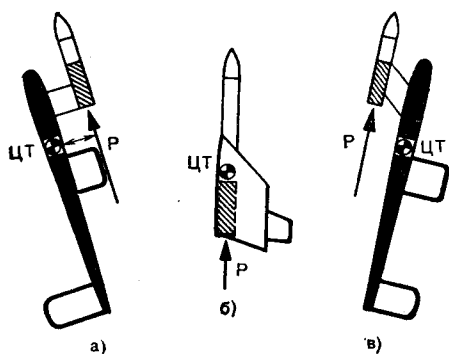


Рис. 88. Влияние размещения двигателей на старт ракетоплана с жестким крылом.

более тщательной балансировки модели или применения стабилизирующего устройства.

В последнее время появились оригинальные модели ракетопланов жесткой конструкции, которые полностью размещаются внутри корпуса ракеты большого диаметра.

Чтобы получить опыт постройки ракетопланов с жестким крылом, попробуйте сделать модель планера из бальзы и установить ее на обычной одноступенчатой модели, как показано на рисунке 89. Планер-«наездник» своим стабилизатором устанавливается в специальные прорези оперения ракеты, а сверху крепится либо обычной английской булавкой, втыкаемой в корпус ракеты под углом около 45° , либо с помощью проволоочного крюка, который одним концом закреплен в носовой части планера, а другим входит в бумажную трубку, приклеенную к ракете. Когда двигатель модели отработает и вышибной заряд выбросит парашют, ракета затормозится, а планер, продолжая двигаться, отцепится от носителя. Помните, что нить, которой носовая

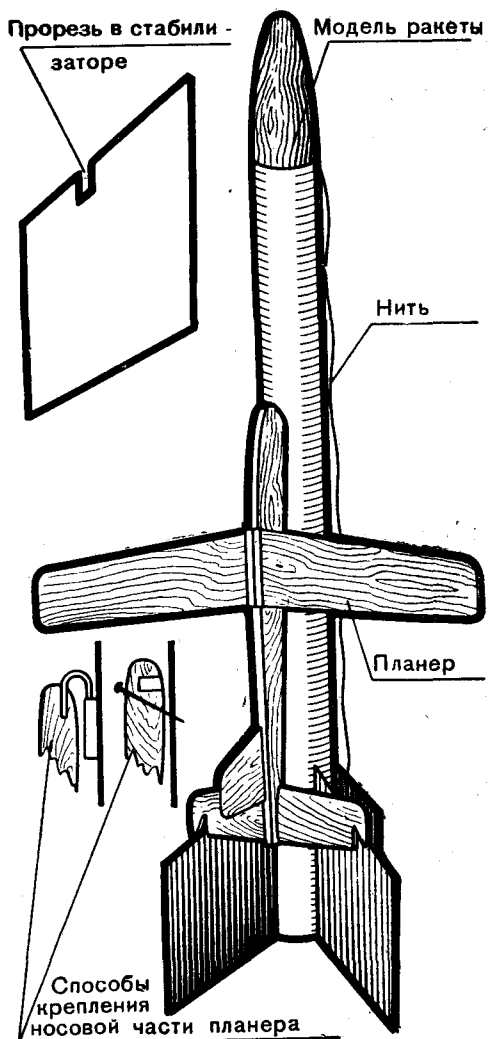
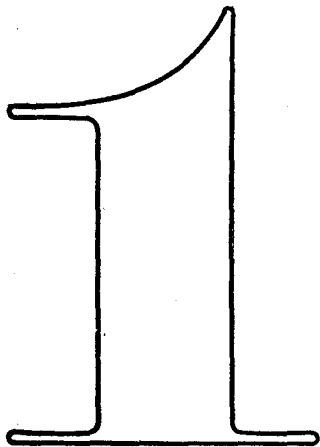


Рис. 89. Планер-«наездник» — переходная модель к более сложным ракетопланам.

часть ракеты связана с корпусом, крепится к свободному, третьему стабилизатору оперения ракеты проложена снаружи.



Отсюда стартуют ракеты. —

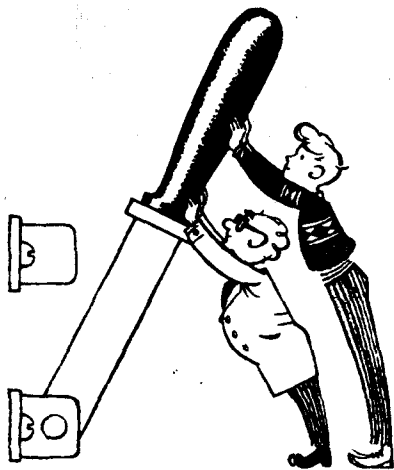
Похож ли модельный старт на космический? — Зачем нужны направляющие? —

Три способа пуска. — Динамо-реактивный. —

Конструкция направляющих. —

С помощью электричества. —

Запалы. — А если двигатель не один? — Космоверфь



Космодром... Отсюда ракеты уносят в звездные дали космические корабли, здесь начинает наматываться клубок космических орбит.

Космодром — это гигантский комбинат, на котором собирают, заправляют топливом, проверяют и запускают ракеты, а затем следят за уже взлетевшими кораблями и их носителями. Сами ракетоносители громадны, они весят сотни тонн. Под стать им и технические сооружения космодрома. Например, здание вертикальной сборки одного из космодромов имеет высоту 160 м, а полезный объем 3 540 000 м³, в два с половиной раза больше, чем «кубатура» главного здания Московского университета!

Десятки тысяч людей обслуживают космодром. А там, где люди, всегда есть жилые дома, школы, больницы, магазины и кинотеатры. Поэтому космодром больше похож на город, город, который живет одной мыслью, одним предстартовым напряжением. День запуска космического корабля — тревожный и праздничный день для всех жителей космодрома. Побываем в один из таких дней на старте...

Над одной из пусковых площадок возвышается ракета, уже собранная и проверенная (рис. 90). Рядом — башня обслуживания и кабель-заправочная башня. От них к космическому кораблю и ракетоносителю перекинута мостик смотровых площадок, протянуты заправочные и дренажные рукава, электрические кабели, пневматические шланги. Идет подготовка к пуску. Как только заканчивается очередная технологическая операция предстартовой подготовки, на командном пункте — в полуподвальном помещении блиндажного типа — зажигается еще один транспарант готовности. Вот

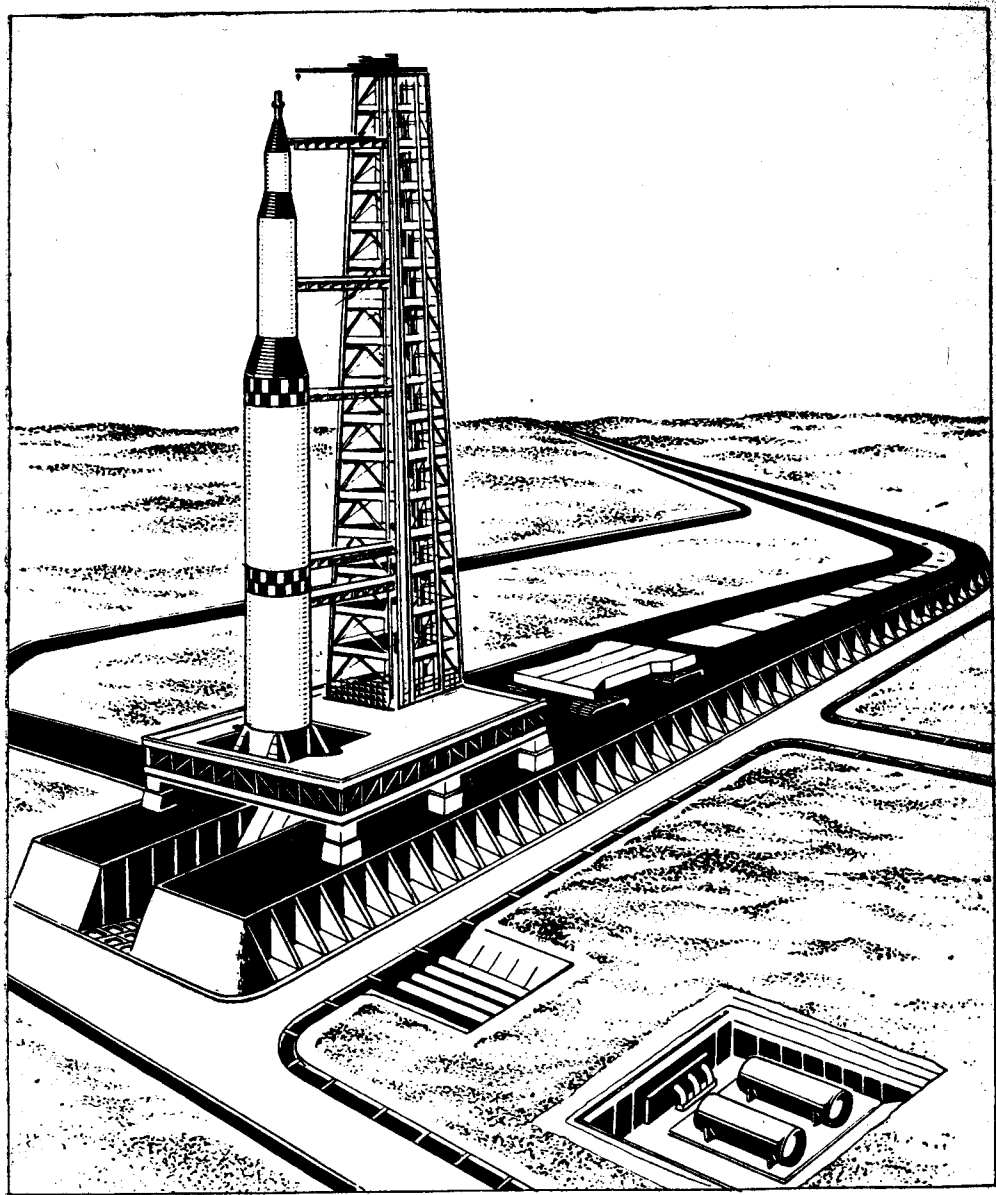


Рис. 90. Ракета на космодроме.

загорелся последний. Оператор поворачивает пусковой ключ в положение «пуск» и нажимает кнопку. Огненный столб, разбиваясь нижним концом о бетонную спину газотражателя, медленно, очень медленно «выжимает» многотонную громаду ракеты.

А теперь перенесемся на ракетный моделедром. Его стартовый комплекс несложен: пусковая установка, которую иногда заменяет просто металлический прут, воткнутый в землю, и пусковой пульт, от которого тянется провод электрического запала. Однако и в этой нехитрой аппаратуре чувствуется веяние космического века — запуск проводится дистанционно, а пусковой пульт обязательно снабжен блокировочным ключом.

Понаблюдаем за стартом модели. Вот модель ракеты установлена на направляющей, и в сопло двигателя вставлен запал. На пульте нажата кнопка проверки контакта. Горит лампочка — контакт есть. Поворот блокировочного ключа — все готово к пуску. Пуск! Раздается свист двигателя, и модель мгновенно срывается с направляющей пусковой установки.

Каковы же отличия старта модели и космической ракеты? Направляющая, это во-первых. Для запуска модели она необходима, а для космической ракеты не нужна. Почему?

Во-вторых, медленное движение космической ракеты и быстрое модели. Зачем модель «спешит» на старте? Нельзя ли скопировать негорючий космический запуск?

Чтобы ответить на эти вопросы, вернемся снова к «большим» ракетам. Ведь и среди них есть такие, которые стартуют с направляющих.

На рисунке 91 изображены раке-

ты на пусковых установках с направляющими. Назначение ракет различно: от зенитных и метеорологических до тактических и противотанковых. Среди них есть и малые по размерам, и большие. Присмотритесь внимательнее к самим ракетам. Все они имеют развитые стабилизирующие поверхности. Устойчивость этих ракет обеспечивается аэродинамическими силами, величина которых зависит от скорости полета: чем больше скорость, тем больше силы. Пока скорость мала и аэродинамическая стабилизация недостаточна, нужны направляющие, они помогают выдерживать заданное направление на старте.

Вспомните, как вы учились ездить на велосипеде. Велосипед тоже неустойчив при малой скорости. Поэтому сначала вам помогали, подерживая велосипед, пока он не наберет нужную скорость. Ну а потом? Потом вы самостоятельно справились на велосипед и ехали, куда хотели и с любой скоростью. Что, велосипед стал устойчивее? Нет, просто вы стали ловчее. Поворачивая в нужную сторону рудь, балансируя телом, вы могли тащиться с черепашьей скоростью медленно идущего человека.

Так и космическая ракета, стартующая без направляющих, ловчее многих своих собратьев — она «балансирует», используя автоматы стабилизации и реактивное управление на малых скоростях взлета.

Модели ракет имеют аэродинамическую стабилизацию, автоматы и реактивные рули на них не устанавливаются: они должны стартовать с направляющих. Направляющая ограничивает движение модели по горизонтали до тех пор, пока не будет достигнута скорость, надежно

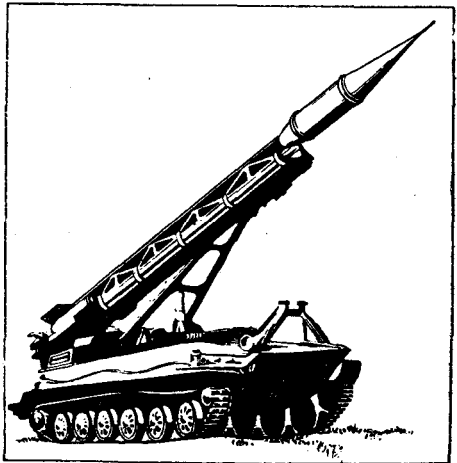
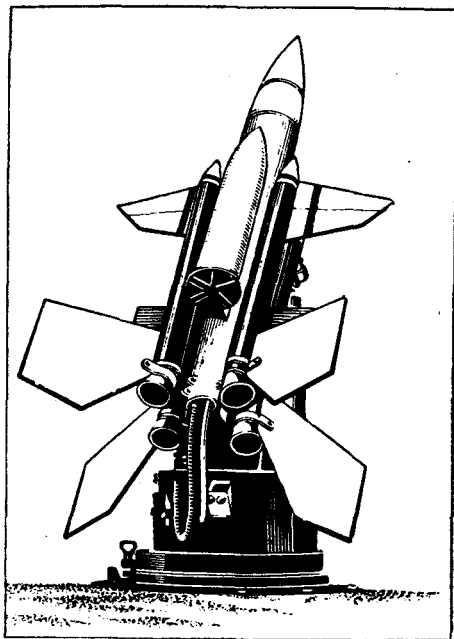
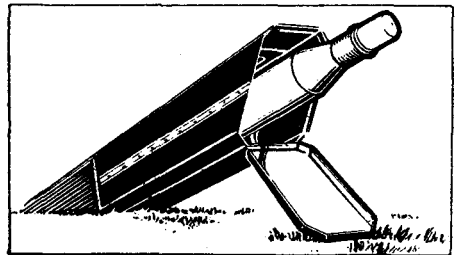
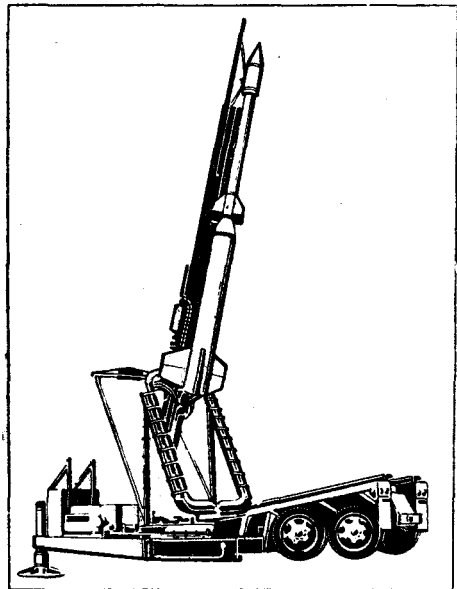
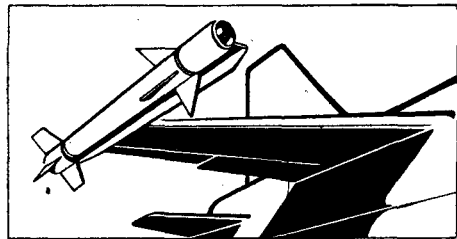


Рис. 91. Ракеты, стартующие с направляющих.

обеспечивающая безопасный полет по заранее намеченной траектории. Какое возмущение наиболее опасно при сходе с направляющей?

Конечно, ветер. Поэтому правилами запрещается запускать модели при скорости ветра более 10 м/сек. Аэродинамически устойчивая мо-

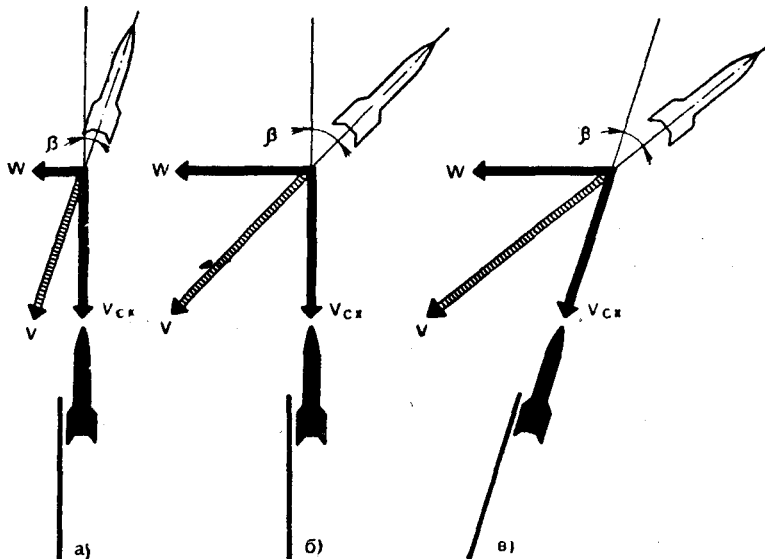


Рис. 92. Ветровые возмущения уменьшаются при наклоне направляющей.

дель, покидая пусковую установку, поворачивается в сторону набегающего воздушного потока, чтобы направление потока совпало с продольной осью ракеты. Скорость набегающего потока V складывается из двух скоростей: скорости ветра W и относительной скорости воздуха V_{cx} , равной скорости схода модели с пусковой установки. Из рисунка 92 видно, что отклонение от заданной траектории будет тем больше, чем больше скорость ветра и меньше скорость схода ракеты с направляющей. С целью уменьшения начального ветрового возмущения модель можно запускать под некоторым углом к вертикали, наклонив направляющую навстречу ветру. Применяя запуск «на ветер», следует помнить правило, которое запрещает отклонять направляющую более чем на 30° от вертикали.

Какой должна быть скорость схода модели, если задаться условием, что при максимальной разрешенной скорости ветра отклонение ракеты от вертикали не превысит 30° ? Из треугольника скоростей для $\beta = 30^\circ$ и $W = 10$ м/сек получаем:

$$V_{cx} = \frac{W}{\operatorname{tg} \beta} = \frac{10}{\operatorname{tg} 30^\circ} = \frac{10}{0,577} = 17,3 \text{ м/сек.}$$

Приведем для сравнения скорости схода с направляющей для советских ракет Р-03 и Р-06, построенных в 1934—1937 годах и имевших аэродинамическую стабилизацию. Стратосферная ракета Р-03 имела скорость схода 12—16 м/сек, а метеорологическая ракета Р-06 вылетала из пускового станка со скоростью 25 м/сек. Как мы видим, эти скорости близки к полученной расчетом для модели.

Еще один расчет. Определим длину направляющей для модели одно-

ступенчатой ракеты с одним двигателем.

Будем считать, что движение модели по направляющей равноускоренное. Тогда по известной из физики формуле

$$l = \frac{V_{\text{сх}}^2}{2a},$$

где l — длина направляющей;

a — ускорение при старте.

Ускорение найдем с помощью второго закона Ньютона, разделив суммарную силу, действующую на ракету при старте, на ее массу $\frac{G}{g}$.

(Здесь масса модели представлена как отношение веса G к ускорению свободного падения $g=9,81$ м/сек².) Суммарная сила есть разность тяги P и веса ракеты G . Аэродинамической силой ввиду малой скорости пренебрегаем. Не будем учитывать и силу трения, возникающую при движении модели по направляющей.

$$\text{Итак, } a = \frac{P-G}{G/g} = g \left(\frac{P}{G} - 1 \right) = \\ = 9,81 \left(\frac{0,750}{1,075} - 1 \right) = 9,81 \cdot 9 = 88,2 \frac{\text{м}}{\text{сек}^2}$$

В формулу подставлены примерные значения веса одноступенчатой модели ($G = 0,075$ кг) и средней тяги двигателя ($P = 0,750$ кг).

Считая потребную скорость схода $V_{\text{сх}} = 17,3$ м, получаем:

$$l = \frac{17,3^2}{2 \cdot 88,2} = 1,7 \text{ м.}$$

Действительно, примерно такую длину направляющей имеют пусковые установки моделей ракет.

Длина направляющей зависит от величины потребной скорости схода с нее. При этом речь идет о воздушной скорости, то есть скорости относительно воздушной массы. Если ракета запускается с подвижной уста-

новки в направлении движения, то длину направляющей можно уменьшить. Так, для запуска ракеты с самолета, поскольку ракета уже имеет скорость относительно воздуха, используются короткие направляющие, а иногда они совсем отсутствуют: ракета подвешивается на пусковой установке типа бомбодержателей. Отсутствуют направляющие и при запуске последующей ступени составной ракеты — достаточно только отделить ее от предыдущей.

Длина направляющей зависит и от того, насколько быстро ракета может набрать скорость, то есть от ускорения ракеты на старте. Очевидно, что на ускорение влияет величина движущей силы: чем больше будет тяга двигателей в момент старта, тем больше будет ускорение и тем меньше потребуются длина направляющей для достижения заданной скорости схода. В то же время не менее очевидно, что при одном и том же двигателе тяжелая ракета потребует для разгона более длинную направляющую, чем легкая. Иначе говоря, длина направляющей обратно пропорциональна отношению тяги двигателей к весу ракеты. Это, кстати, видно и из формулы, по которой проводится расчет длины направляющей.

В момент старта ракеты отношение $\frac{P}{G}$ не что иное, как перегрузка.

Опыт показывает, что при запуске моделей с направляющих длиной 1—2 м надежный старт обеспечивается при перегрузках, близких к 10. Это подтверждает и наш расчет.

При больших перегрузках велико и ускорение: модель как бы «выстреливается» с направляющих. Вот почему модели ракет «спешат» на старте, вот почему им невыгодно да

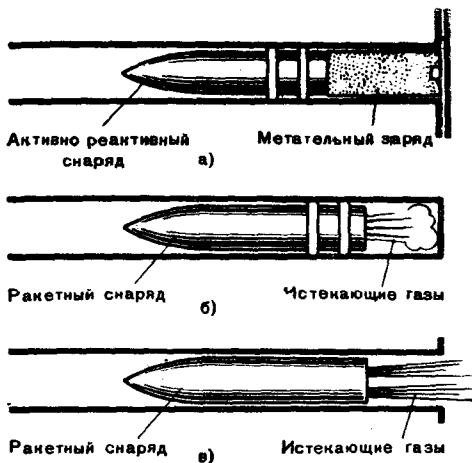


Рис. 93. Три способа пуска ракетных снарядов.

и небезопасно подражать своим космическим коллегам.

Ракетной технике известны три способа пуска ракет: активно-реактивный, динамо-реактивный и ракетный (рис. 93). От способа пуска зависит конструкция как пусковой установки, так и самой ракеты.

Активно-реактивная установка — обычное артиллерийское орудие. Ракеты, которые она использует, называются активно-реактивными снарядами. Они выстреливаются, как и обычные снаряды, путем воспламенения метательного заряда. После вылета из орудия снаряд приобретает добавочную скорость вследствие сгорания заряда ракетного двигателя. Такой прием позволяет заметно увеличить дальность артиллерийской стрельбы.

В динамо-реактивной системе метательный заряд отсутствует, но истечение пороховых газов ракетного заряда происходит в замкнутой объем. Начальный импульс ракеты получает не только в результа-

те тяги двигателя, но и от сил давления, действующих на миделево сечение ракеты. Давление это значительно меньше, чем в случае активно-реактивного запуска, поэтому направляющей не нужна прочность артиллерийского ствола.

В ракетной системе струя истекает свободно. Система не воспринимает прямых сил отдачи. На направляющую действуют только силы трения от движущегося снаряда и газодинамические — от реактивной струи. Подобные системы являются наиболее легкими, простыми и получили в настоящее время наибольшее распространение.

Ракетомоделисты тоже привыкли иметь дело с установками ракетного типа. А можно ли применить для запуска моделей другие системы?

Например, активно-реактивную установку. В нее закладывается заряд, который сообщает ракете-снаряду дополнительную скорость. Но ведь по правилам моделизма источником движения ракеты может быть только ее двигатель. Кроме того, активно-реактивная система требует большой прочности направляющей и при мощном заряде небезопасна. Отсюда единственный вывод: активно-реактивная система не может и не должна использоваться в ракетном моделизме.

Другое дело динамо-реактивный запуск. Он принципиально не противоречит правилам ракетного моделизма. Однако применять его следует осторожно. Особенно опасен соблазн добавить немного пороха под модель, чтобы улучшить ее летные данные. В этом случае запуск превратится из динамо—в активно-реактивный. А это, конечно, недопустимо.

Но стоит ли вообще усложнять пусковую систему и организовывать

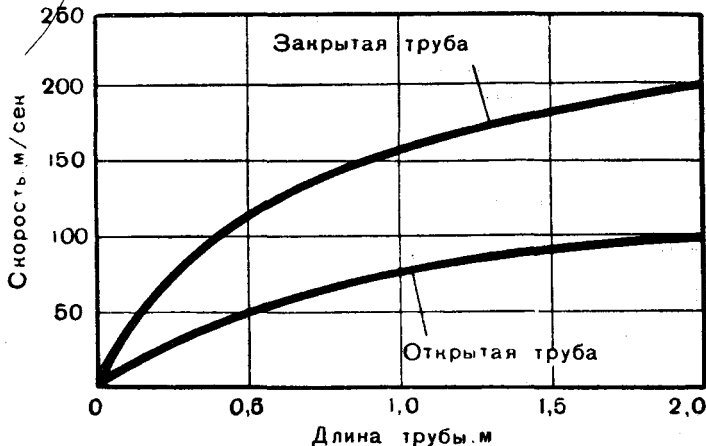


Рис. 94. Сравнение динамо-реактивной (закрытая труба) и ракетной (открытая труба) пусковых систем.

более громоздкий динамо-реактивный запуск вместо привычного ракетного? Стоит ли овчинка выделки? Сравнение систем (рис. 94) показывает, что при одной и той же длине направляющей скорость выхода из динамо-реактивной установки в два раза больше, чем на ракетной!

Таким образом, динамо-реактивная система не лишена интереса. А как она выглядит конструктивно?

Рисунок 95 демонстрирует устройство пусковой системы и отдельные моменты запуска ракеты-зонда «Аркас» (США). Сама ракета одноступенчатая, ее длина — 2,5 м, калибр — 122 мм. При стартовом весе 35 кг она забрасывает полезный груз (около 4,5 кг) на высоту 40 км. На рисунке слева показана ракета в стартовом положении, справа — в момент вылета из пусковой установки, которая представляет собой трубу, наглухо закрытую снизу. Чтобы эффективнее использовать образующиеся при сгорании ракетного топлива газы, промежуток между стенкой трубы и ракетой уплот-

няется поршневыми вкладышами, — они отделяются от ракеты после выхода из пусковой установки. Это хорошо видно на рисунке.

Есть примеры динамо-реактив-

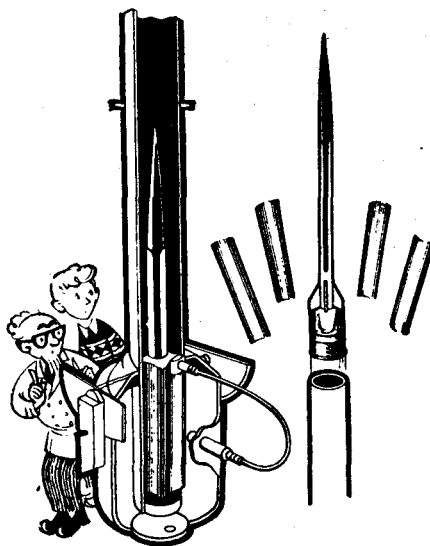


Рис. 95. Динамо-реактивная пусковая система «Аркас».

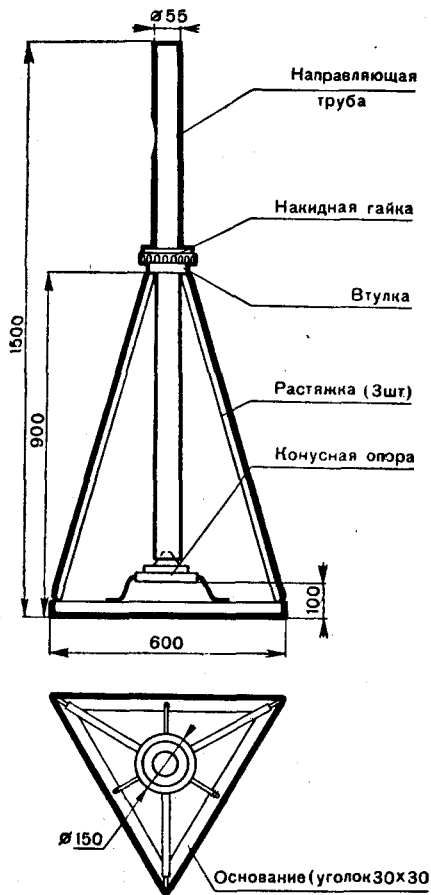


Рис. 96. Модельная установка для динамо-реактивного пуска.

ных установок и в ракетном моделизме. Одна из них копирует некоторые элементы запуска ракеты «Аркас».

Направляющая установки (рис. 96) — дюралевая труба, имеющая внутренний диаметр 52 мм и длину трубы около 1,4 м. Она устанавливается вертикально, опираясь на металлический конус с небольшим центральным отверстием для

подвода запала. Накладная гайка в средней части трубы навинчивается на резьбовую втулку, которая расчалками крепится к треугольному основанию, сваренному из уголков. На основании закреплена и конусная опора трубы. Гайка, навинчиваясь на втулку, прижимает направляющую к опоре и натягивает расчалки, образуя жесткую ферменную конструкцию.

Корпус модели ракеты (рис. 97) состоит из двух цилиндрических частей разного диаметра, связанных коническим переходником. Кольцевое оперение закреплено на корпусе с помощью трех бумажных пилонов. Выступающие за оперение части пилонов служат нижними направляющими узлами. Верхние узлы — три пенопластовые секции. Они одновременно служат уплотнением для газов. Чтобы пенопластовая секция не вылетала преждевременно, нитяная петля, крепящаяся к ней, захлестывается за кормовой выступ пилон. После вылета модели из направляющей трубы пенопластовые секции отделяются от корпуса и падают на землю. При изготовлении модели особое внимание нужно обратить на то, чтобы она вместе с пенопластовыми уплотнителями свободно, без заклинивания, двигалась внутри направляющей. — модель должна выскакивать из трубы, если подуть ртом в нижний конец ее.

Несмотря на некоторые достоинства активно-реактивного запуска, ракетные пусковые системы остаются основными как в технике, так и в моделизме: они проще, легче и позволяют запускать ракеты самых разнообразных форм. Конструктивные особенности ракетных систем определяются выбором направляющей и скользящих по ней узлов ра-

кеты. На рисунке 98 представлены наиболее распространенные типы направляющих.

Длинная шель, в которую входят Т-образные скользящие узлы ракеты, так выглядит направляющая типа А. Знаменитая «катюша» — ее официальное название «боевая машина реактивной артиллерии БМ-13» — имела направляющие такого типа.

Направляющие рельсы «катюши» (рис. 99) соединялись в один узел-пакет, который крепился к трубчатой ферме. Ферма вращалась в вертикальной плоскости на поворотной раме, а рама, в свою очередь, поворачивалась в горизонтальной плоскости. Развороты фермы и рамы позволяли наводить реактивные снаряды на цель. БМ-13 заряжалась шестнадцатью снарядами, которые выстреливались за 8—10 сек и создавали ураганный смерч огня, наводивший панический ужас на фашистов.

Направляющие типа Б и В не требуют ответных скользящих узлов на корпусе ракеты: последняя касается направляющей той частью своей поверхности, которая непосредственно прилегает к ней.

Установка типа Б — четыре параллельных стержня, между которыми движутся стабилизаторы ракеты, — применялась для запуска первых советских ракет с двигателями на жидком топливе: ГИРД-09, ГИРД-Х и других.

Направляющая типа В — труба — широко применяется в военном деле. Например, направляющая ракетного оружия одиночного бойца обычно выглядит в виде трубы.

Для удобства пуска ракет из трубы их стабилизаторы делают складывающимися. Некоторые конструктивные решения складывающегося

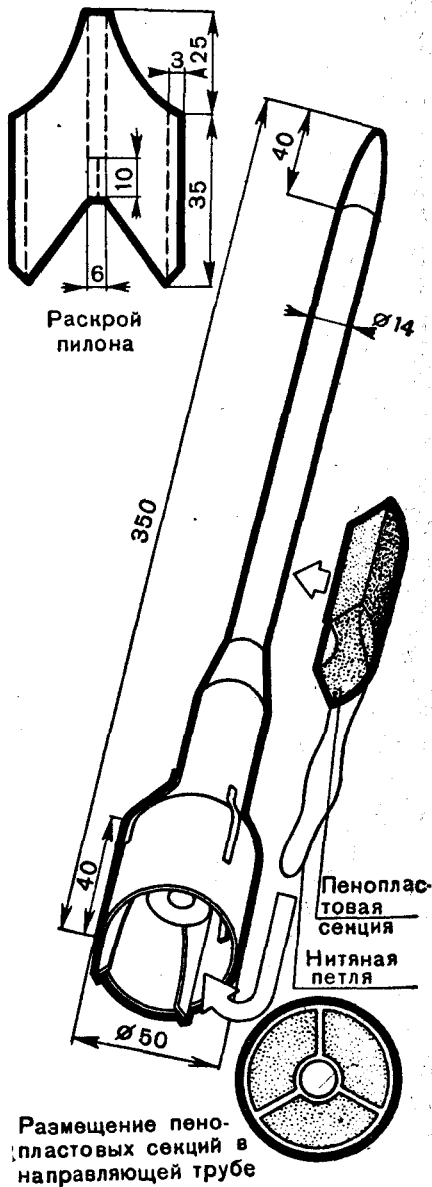


Рис. 97. Модель ракеты для пуска динамо-реактивным способом.

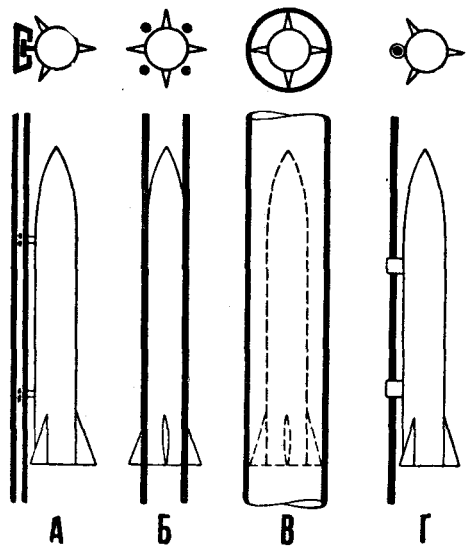


Рис. 98. Наиболее распространенные типы направляющих.

узла стабилизатора показаны на рисунке 100.

Направляющая типа Г в ракетной технике не встречается, но ее широко применяют моделисты. Это наиболее простое устройство: на

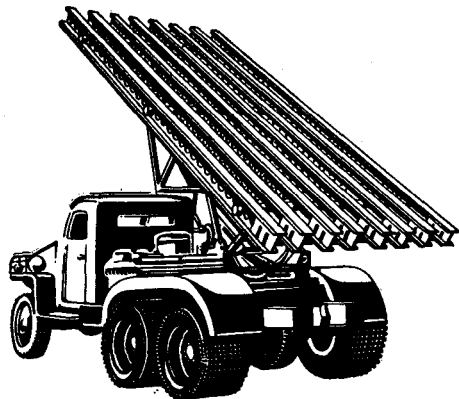


Рис. 99. Боевая машина реактивной артиллерии БМ-13.

стержень или трубку малого диаметра надеты кольца, приклеенные к корпусу модели.

Почему же отказываются от простоты в ракетной технике? Понять нетрудно, тонкий стержень имеет малую жесткость и прогибается под тяжестью ракеты, но держит легкую модель. Правда, не всегда. Большие прогибы стержня возможны при запуске с наклоном «на ветер», а также в непокойную погоду: направляющая раскачивается ветром, что создает дополнительные возмущения во время старта. Вот почему моделисты все чаще копируют установки большой техники.

Особенно привлекательна для моделистов направляющая типа А, как у «катюши». Ее можно наклонять для запуска на ветер, это жесткая, устойчивая конструкция. Конечно, она сложнее в изготовлении, но зато надежна, универсальна и долговечна.

Делались модельстами и направляющие типов Б, В. Достоинство установок такого типа — отсутствие скользящих узлов на модели. Но это, в свою очередь, может стать и недостатком: места касания поверхности ракеты случайны, при взлете могут повреждаться различные детали на поверхности корпуса, надстройки моделей-копий. Применение в моделизме установки с направляющей типа В — трубы большого диаметра — может быть оправдано, по-видимому, только в случае динамометрического запуска.

В один из летних дней 1835 года на полигоне под Красным Селом проводились опытные стрельбы фугасных боевых ракет. Все 128 ракет, запущенных в тот день, поджигались не фитилем, а по проводам, с помощью электричества. Это была первая в мире система электрозапу-

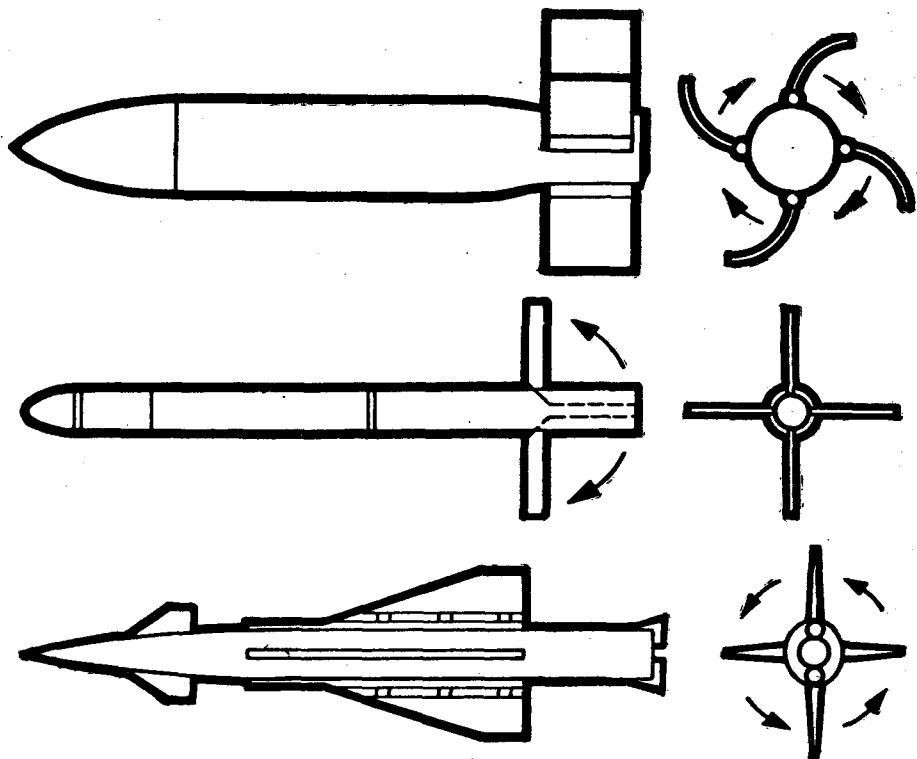


Рис. 100. Некоторые конструктивные решения складывающегося узла стабилизатора.

ска. Ее разработал наш соотечественник генерал Шильдер в содружестве с известным русским физиком академиком Б. С. Якоби. Она применяется для запуска ракет и по сей день. И не только ракет, но и моделей.

Ракетомодельные правила предписывают пользоваться только дистанционным электрическим запуском моделей, все остальные способы зажигания топливного заряда двигателей в моделизме запрещены. Когда запуск твердотопливного двигателя осуществляют электрическим путем, внутрь камеры сгорания, кроме основного заряда, помещают до-

полнительный заряд, содержащий легко воспламеняющееся вещество. Этот дополнительный заряд называют воспламенителем.

Как выглядит воспламенитель современного РДТТ?

Конструктивно воспламенитель состоит из двух частей: пиротехнического заряда в прогорающей укупорке и пиросвечи, которая служит для его поджига (рис. 101). Пиросвеча содержит легко воспламеняющуюся мякоть, в которой находится нить накаливания. Электрический ток разогревает нить, состав пиросвечи воспламеняется, образовавшийся факел пламени прожигает



Рис. 101. Воспламенительное устройство ракеты.

корпус воспламенителя и зажигает основной пиротехнический состав.

Продукты сгорания воспламенителя заполняют камеру двигателя, повышают давление в ней и, двигаясь к соплу, омывают топливный заряд, вызывая его воспламенение.

Воспламенитель содержит небольшое количество горючих химических веществ: так, опытным путем установлено, что при использовании в воспламенителях черного пороха необходимо на каждый литр свободного объема камеры сгорания (объема, не занятого зарядом РДТТ) выделить навеску пороха в 1,5—2 г. Однако для мощных РДТТ воспламенители могут достигать внушительных размеров. Например, для запуска экспериментального американского РДТТ с тягой в 180 т применен воспламенитель «Биг Бой», имеющий длину 50 см при диаметре 12,7 см и способный развивать самостоятельно тягу около 23 т. По сути дела, воспламенитель тако-

го рода представляет собой «двигатель в двигателе».

В большинстве случаев воспламенитель размещается в передней части двигателя. Это обеспечивает при сгорании заряда воспламенителя одновременное зажигание основного заряда по всей поверхности его, как продукты сгорания воспламенителя, направляясь в сторону сопла, омывают всю поверхность заряда.

Для модельных двигателей, имеющих канал не по всей длине заряда, размещение воспламенителя в передней части оказывается неприемлемым. Поэтому воспламенители модельных двигателей вставляются прямо в сопло.

Воспламенитель ракетного двигателя модели представляет собой электрозавал. В простейшем случае он делается в виде спирали из тонкой проволоки диаметром 0,1—0,2 мм. Материал проволоки должен обладать большим омическим сопротивлением. Спираль-завал, помещенная в сопле, при нажатии на кнопку запуска должна выделять количество тепла, достаточное для воспламенения основного заряда топлива. Чтобы усилить начальный тепловой импульс, спираль можно покрыть пороховой мякотью, растворенной в аэролаке, или расположить рядом со спиралью обычную спичечную головку.

Иногда для модельных двигателей используют запалы искрового типа. В них нет спирали накаливания, заряд воспламеняется искрой, которая проскакивает между двумя контактами. Эти запалы, в отличие от спиральных, многократного действия, но менее надежны и нуждаются в источнике тока большого напряжения.

Воспламенитель — только один из элементов системы электрическо-

го запуска. А каковы ее остальные составляющие?

На рисунке 102 показана схема системы пуска ракетных снарядов «катушки». Она состоит из батареи питания, пульта ведения стрельбы, пиросвечи, контактных устройств и электропроводки. По команде «Огонь!» на пульте включается переключатель, в цепи появляется ток, который через пружинные контакты направляющей, совмещенные с контактом снаряда, подается на пиросвечу. Срабатывает мостик накаливания, зажигается воспламенитель, а затем и пороховые шашки основного заряда.

Типовая электросистема запуска моделей (рис. 103) использует обычно в качестве источника тока батарейки от карманного фонаря, соединенные последовательно. На одном из проводников, идущих к запалу, один за другим установлены кнопка пуска и контактное устройство блокировки, которое замыкает цепь только при вставленном и повернутом в положение «пуск» ключе. Очень часто при запуске цепь может разомкнуться в результате плохого контакта в месте подсоединения электрозапала или в результате неисправности самого запала. Для проверки цепи используются лампа контроля и кнопка проверки цепи, работающие от одной батарейки и не вызывающие поэтому зажатия спирали воспламенителя.

Нижние ступени ракет часто снабжаются не одним, а несколькими двигателями.

Вспомните, например, ракету «Восток»: в основном и боковых блоках ее первой ступени находится по четыре камеры сгорания.

Запустить несколько двигателей сразу труднее, чем один: топливо воспламеняется не мгновенно, а с

Совмещенные контакты
снаряда и машины

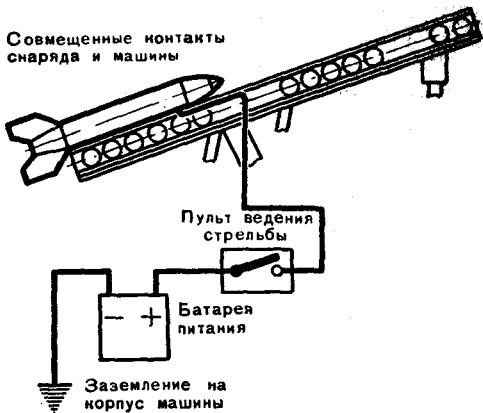


Рис. 102. Схема электрической системы ведения огня боевой машины БМ-13.

некоторой задержкой, и поэтому нельзя гарантировать одновременное начало работы двигателей. Задержка воспламенения в современных твердотопливных двигателях составляет сотые доли секунды. Но и этого достаточно, чтобы при запуске возникли моменты, возму-

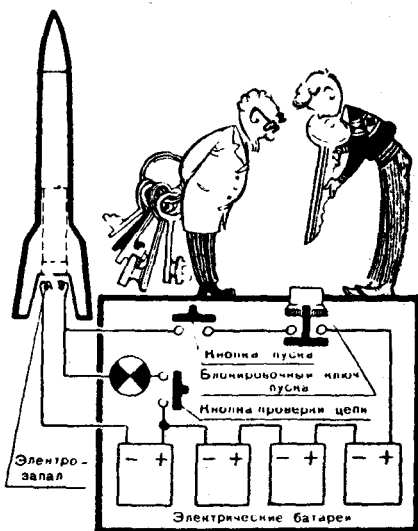


Рис. 103. Электросистема запуска моделей.

шающие движение ракеты. Уменьшить возмущающие моменты можно конструктивными мерами: соединением камер сгорания газовыми каналами, размещением их под углом и ближе к оси ракеты. Много зависит и от самих пусковых систем: они должны быть рассчитаны на запуск нескольких двигателей.

Для моделистов запуск связки двигателей тоже непростая задача. Посмотрим, как они ее решают.

Старейшим способом запуска «связки» двигателей является зажигание их с помощью кусочков стопина одинаковой длины. Одним концом кусочки стопина вставляются в сопла двигателей, свободные концы скучиваются вместе и обматываются вокруг тонкой нихромовой проволокой для электрического зажигания. Иногда для более быстрого горения кусочков стопина они укладываются в специальную конструкцию, которую моделисты называют «крестом». «Крест» представляет собой две картонные или бумажные трубки, вклеенные взаимно перпендикулярно и заклеенные с торцов бумагой. Строго по центру сопел двигателей в «кресте» делают отверстия, через которые кусочки стопина вставляются в двигатели.

Более надежна и современна система зажигания двигателей в связке, использующая несколько электрозапалов. Однако эта система требует большой аккуратности при ее применении.

Электрозапалы — число их равно числу зажигаемых двигателей — соединяются параллельно. Чтобы обеспечить одновременность срабатывания запалов, электрические сопротивления их делают одинаковыми, а мощность источника тока увеличивают. Особенное внима-

ние обращают на зачистку контактов и на то, чтобы не было случайного касания нихромовых проволочек, вызывающего короткое замыкание электрической цепи.

Опыт показывает, что перечисленными способами можно обеспечить практически одновременный запуск до четырех-пяти двигателей.

В ракетной технике, когда имеются сомнения в том, что двигатель связки вступит в работу одновременно, используют специальные механизмы крепления ракеты к пусковой установке. Один из таких механизмов показан на рисунке 104. Он состоит из стального стержня конец которого имеет форму конуса. Стержень вставлен в бронзовую втулку, внутренний диаметр которой несколько больше диаметра стального стержня. Бронзовая втулка крепится к ракете, а цилиндрический конец стержня — к пусковой установке. На рисунке стержень показан в положении, когда его конец находится во втулке (положение *a*). Перед пуском стержень еще дальше вдвигают во втулку (положение *b*), чтобы соединить его с пусковой установкой. Для отделения ракеты от пусковой установки нужно протолкнуть стальной стержень через втулку, преодолевая трение и прилагая усилие, необходимое для деформации трубки. Механизм рассчитывается таким образом, что при невоспламенении заряда или запаздывании в запуске одного из двигателей связки суммарная тяга остальных будет недостаточной для того, чтобы протянуть весь стержень через втулку.

Подобный механизм можно применить и при запуске модели со связкой двигателей. В простейшем случае этот механизм можно сделать в виде нити, которая одним

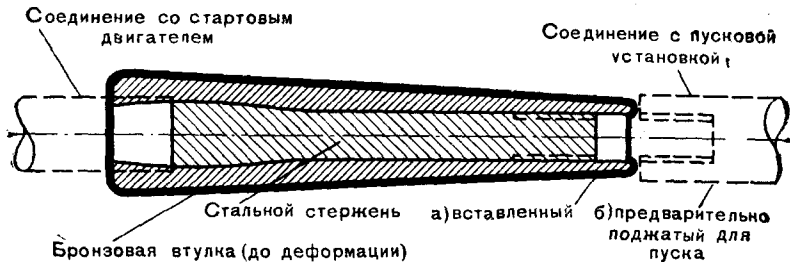


Рис. 104. Механизм крепления ракеты к пусковой установке.

концом крепится к пусковой установке, а другим — к ракете. Толщину нити следует подобрать так, чтобы она разрывалась только при одновременной работе всех двигателей связки.

Все сложнее и грандиознее становятся космические ракеты. Почти три тысячи тонн весит американская ракета «Сатурн-5», с помощью которой удалось осуществить первый полет человека к Луне. А впереди Марс, Венера и другие планеты нашей солнечной системы.

Они потребуют еще более мощных ракет. Уже сейчас размеры носителей космических аппаратов таковы, что доставка их на космодром затруднительна. Поэтому в пер-

спективе на космодроме ракеты будут не только собираться, но и изготавливаться: космодром превратится в космоверфь.

Модельному ракетодрому не грозит перспектива моделиверфи. Но пусковые средства, как и сами модели, обязательно будут совершенствоваться. Уже сейчас появляются сложные подвижные установки, которыми управляют по проводам или радио и которые автоматически выполняют пуск моделей. А что же дальше? Трудно загадывать, но одно несомненно: модельные пусковые комплексы будут развиваться, впитывая в себя достижения многих отраслей техники, и в первую очередь ракетной.

2001 год...

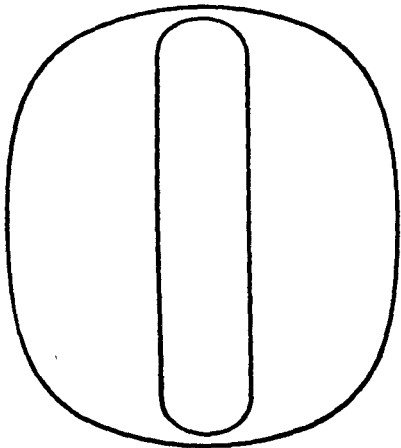
Эта дата часто мелькает в боржурналах участников I-го Всесоюзного конкурса «Космос».

Десятки моделей, макетов, причудливых космических машин, аппаратов, станций на Земле, Луне и других известных и неизвестных планетах, — поистине мир фантазии, мир будущего, но мир реальный, продуманный, опирающийся на последние достижения (еще каких-нибудь 15 лет назад не существовавшей) космической техники. Настоящее и будущее сплелось в один неделимый кристалл, и это единство вселяет твердую веру в то, что все это достижимо, что все это можно сделать. Не только можно, но и есть кому делать!

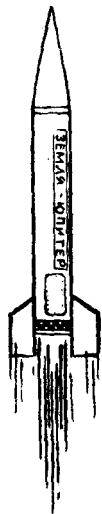
Совершим и мы путешествие на космических экспонатах конкурса.

...Планеты уже близко, а о звездах только мечтают. «Корабль Зодиака» — это тоже пока мечта. Вдали от Земли к неведомым звездам Галактики летит экипаж пятерки отважных из удмуртского города Глазова: Олег Поздеев и Олег Обляпин, Николай Кудрин, Александр Чувашов и Дмитрий Ломцев. Их корабль похож на уютный домик (кто его знает, может, именно так, по-земному, будет выглядеть космоплан 2000-х годов?). В светящихся точках звезд не так-то легко отыскать свой путь. Поэтому и навигация здесь только астрономическая. Вот мелькнула нужная звезда, и корабль послушно поворачивается к ней: система фотоэлементов и ориентация маховиками, которая еще в далеких 70-х годах надежно служила людям на искусственных спутниках Земли, направляет «Корабль Зодиака».

...Луна. Луна не холодная, а теплая, обжитая. Кусочек такой Лу-



ПУСК!



ны привезли с собой из Тбилиси Арсенишвили, Агиков, Сакварелидзе и другие ребята. «Лунодром будущего» — так они назвали свой космический этюд. Это будущее уже не за горами: многие ученые считают, что уже в этом веке на Луне появятся первые поселения селенитов с Земли.

Подземные сооружения, лунные транспортные средства, стартовые комплексы — все здесь продумано, согласовано, расставлено по своим местам. Быть жителем лунного города интересно, но не каждому выпадет счастье стать его обитателем. А как же быть коренным землянам?

...И для них найден выход пионером из Грузии Геннадием Сакварелидзе. Модель туристского лунохода, действующая, преодолевающая кратеры и безводные моря Луны, построена им для любознательных путешественников. ГВС-01 — так назвал луноход юный конструктор (откроем небольшой секрет — это инициалы автора) — для лучшей проходимости снабжен огромными зубчатыми колесами, между которыми расположены прозрачные кабины туристов. К оси лунохода, снаружи одного из колес, крепится полая труба-лаз с кабинами наверху и внизу для экипажа водителей. Оригинально разворачивается луноход Сакварелидзе: из трубы-лаза выпускается опора, вокруг которой и поворачивается весь аппарат. Будем надеяться, что и нам посчастливится совершить круиз в луноходе ГВС-01!

...Орбитальные станции. Это уже совсем близко, это программа ближайших лет. «Россия» — так звучат позывные орбитальной станции, построенной группой студентов Куйбышевского авиационного

института, который носит имя академика Сергея Павловича Королева. Студенты действительно показали, что их институт достоин имени прославленного конструктора космических систем.

Проект «Россия» разработан настолько детально, что может заинтересовать не только фантастов, но и специалистов. Девятнадцать листов сложных чертежей, объемистая пояснительная записка, боржурнал с описанием тридцатидневного полета и, наконец, собранная модель орбитальной станции — вот результат более чем годичной работы будущих инженеров. Все рассчитано, доказано, объяснено: вес 110 т, экипаж 12 человек, ядерный реактор, средства защиты от космического излучения, последовательность сборки на орбите и порядок смены экипажей, искусственная гравитация — действительно предусмотрено все в этом объемном проекте.

«Строить и летать, летать и строить». Эти слова С. П. Королева служили девизом студентам из Куйбышева. Не только мечтать, но и строить, летать, — то, о чем писал Сергей Павлович, воплощено в моделях 1-го Всесоюзного конкурса, особенно в моделях действительно летающих — моделях ракет, ракетопланов, носителей и космических аппаратов.

Так пусть же эти крылатые слова Главного конструктора космических ракет и кораблей послужат девизом всех, для кого ракетно-космический моделизм открывает путь в космос.

СТРОИТЬ

И ЛЕТАТЬ,

ЛЕТАТЬ

И СТРОИТЬ!

Ключ — на старт, дорогие друзья!



10

3

Лунные координаты космических первопроходцев. — Модели ракет, какие они? — Чья модель лучше? — Почему летит ракета? — От лодки без весел до модели. — Осторожно: ракеты! — «Нельзя» в ракетном моделизме.

9

14

Двигатели гулливеры и лилипуты. — ЖРД или РДТТ? — Формула тяги. — Нельзя ли обойтись без формул? — РДТТ большой техники. — Сопло Лавая. — Насадки или эжектор? — Скорость истечения. — Секреты суммарного импульса. — Ракетная техника — дело коллективное.

8

27

Мир ракет. — Откуда и куда летит ракета? — Первая задача Циолковского. — Формула, на которой зиждется космонавтика. — «Летающие ведра» и «летающие бутылки». — Ракетные поезда и эскадрильи ракет. — Тайны твердотопливных зарядов.

7

38

Друзья и враги ракеты. — Аэродинамическое сопротивление, что это такое? — Трение и давление. — Формула сопротивления. — Как найти коэффициент C_x ? — Обтекаемость. — Звуковой барьер. — Формы ракет. — Как бороться с воздушным противником?

6

49

Неудачи на «Пенемюнде-Ост». — Ракета-канатоходец. — Находчивость «могущественного сеньора дон Христофора Колумба». — Загадки ц. т. и ц. д. — Волян и ракета. — В поисках ц. д. — Испытания на устойчивость. — Перо или кольцо? — Летающий «волчок». — Жонглер-автомат.





61

С чего начать? — Ни одной модели без эскиза. — Как разместить двигатели? — Связка двигателей. — Самая заветная мечта — высота, высота! — Где раскрыть парашют? — «Вес рыжего таракана я увеличивал в 300 раз». — Планшет для замера высоты.

5

79

А что, если сделать модель такой ракеты? — «Невысотные» качества копий. — Мастерство и поиск. — Безопасность превыше всего! — Последовательность работы над копией. — Музей стартующих моделей. — От первой жидкостной до «Востока».

4

93

Самый напряженный момент лунного путешествия. — Когда враг становится другом. — Парашютирующие модели. — Как выбросить парашют из модели? — Всегда ли нужен парашют? — Отсчет победных секунд.

3

104

Мечта космонавта номер два. — Орбитальный самолет будущего. — Ракетопланы в моделизме. — Аэродинамическое качество. — За советами к авиамоделистам. — Конструктивные схемы ракетопланов. — Самолет или ракета? — Особенности взлета ракетопланов.

2

116

Отсюда стартуют ракеты. — Похож ли модельный старт на космический? — Зачем нужны направляющие? — Три способа пуска. — Динамо-реактивный. — Конструкция направляющих. — С помощью электричества. — Запалы. — А если двигатель не один? — Космоверфь.

1

132

0

ПУСК!



Канаев В. И.

**Ключ — на старт! М., «Молодая гвардия», 1972.
136 с., с илл. 80 000 экз., 29 коп.**

4 октября 1957 года, пятнадцать лет назад, запуском первого в мире искусственного спутника Земли Советский Союз возвестил миру о начале эры покорения космоса. Этот день можно считать и началом бурного развития ракетного моделизма.

«Тем, кто будет читать, чтобы строить» — так называлась первая научная работа одного из пионеров космонавтики, Юрия Васильевича Кондратюка.

Словами этого замечательного человека автору хотелось бы ответить на вопрос: «Для кого написана эта книга?»

Да, это книга для тех, кто сегодня строит ракетные модели, а завтра будет строить космические корабли.

Канаев Всеволод Иванович

КЛЮЧ — НА СТАРТЕ!

Редактор Ю. Сорокин

Художник Д. Хитров

Художественный редактор Л. Белов

Технический редактор М. Солышко

Сдано в набор 1/II 1972 г. Подписано к печати 9/XI 1972 г. А01314. Формат 70×90^{1/16}. Бумага № 2. Печ. л. 8,5 (усл. 9,94). Уч.-изд. л. 8,8. Тираж 80 000 экз. Цена 29 коп. Б. З. № 43, 1972 г., п. 23. Заказ 2764.

Типография изд-ва ЦК ВЛКСМ «Молодая гвардия». Адрес издательства и типографии: Москва, А-30, Сущевская, 21.