

**В. А. ГОРСКИЙ, И. В. КРОТОВ**

**РАКЕТНОЕ**

**МОДЕЛИРОВАНИЕ**

**В. А. ГОРСКИЙ, И. В. КРОТОВ**

# **РАКЕТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ**

**(модели ракет на время полета)**

**Методическое руководство для внеклассной  
и внешкольной работы**

**ИЗДАТЕЛЬСТВО ДОСААФ**

**МОСКВА — 1973**

Методическое руководство «Ракетное моделирование» предназначено для руководителей кружков ракетного моделирования внешкольных учреждений и общеобразовательных школ.

Руководство подготовлено в соответствии с типовой программой и одобрено Главным управлением школ Министерства просвещения СССР.

Введение, главы 1 и 2 написаны кандидатом педагогических наук В. А. Горским, главы 3 — 10 — судьей республиканской категории, инженером И. В. Кротовым.

## ВВЕДЕНИЕ

В последние годы ракетно-космическое моделирование получило широкое распространение в нашей стране и за рубежом. В ряде областей Советского Союза регулярно проходят соревнования, выставки, конкурсы по ракетно-космическому моделированию; с 1968 года проводятся всесоюзные соревнования среди школьников, в которых принимают участие команды всех союзных республик.

В 1970—1972 годах был организован журналом ЦК ВЛКСМ «Моделист-конструктор» и Звездным городком первый всесоюзный конкурс «Космос». На конкурс школьники представили 120 моделей космической техники настоящего и будущего, лучшие из которых потом экспонировались в павильоне «Юный техник» на ВДНХ СССР.

В феврале 1971 года в Москве на первых соревнованиях по ракетно-космическому моделированию выступили взрослые участники. Этот вид технического спорта с каждым годом привлекает к себе все большее число приверженцев.

В 1970 году в Югославии состоялась VI Международная встреча по ракетно-космическому моделизму с участием команд из стран Европы и Америки. А наши школьники-конструкторы моделей ракет успешно выступили на соревнованиях в Польше и Югославии.

Увлечение молодежи моделированием ракетно-космической техники отражает развитие одного из современных направлений технического прогресса. В процессе работы над моделями ребята знакомятся с основами методики конструирования, получают навыки проведения экспериментальных исследований.

В предлагаемой книге для творческой работы школьников над моделями ракет приведены сведения из теории в объеме, необходимом для работы с объектами в кружке (моделями и другими техническими устройствами), отражающими современный уровень развития техники, и в то же время доступными школьникам.

Главный метод работы в кружке — метод решения проблемных технических задач (конструкторских и технологических). Поэтому в процессе разработки и изготовлении технических устройств кружковцы знакомятся с основами методики моделирования, проектирования, конструирования.

Методические советы и практические рекомендации, приводимые в руководстве, направлены на обеспечение творческой активности ребят.

В книге даны формулы и расчеты, доступные старшеклассникам. Будущие исследователи, в какой бы отрасли знания они ни работали, должны хорошо знать математику. При постройке моделей невозможно обойтись без формул, необходимо уметь уверенно использовать известные школьникам знания, применять эти знания в решении практических задач.

Данное руководство поможет правильно определить основное содержание работы кружка ракетно-космического моделирования, решить некоторые методические вопросы в организации коллективного творчества школьников и тем самым улучшить общую постановку работы в кружках по развитию технического творчества учащихся, по воспитанию активного, гармонически развитого молодого человека.

Авторы выражают искреннюю признательность всем методистам, принявшим участие в обсуждении этой книги.

## Глава 1.

### МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БАЗА КРУЖКА

Помещение для работы кружка должно отвечать главным требованиям санитарно-гигиенических норм и правил техники безопасности. В наиболее удачном варианте оно состоит из трех изолированных комнат (рис. 1), в которых размещаются:

— мастерская по механической обработке материалов, где выполняют и покрасочные работы, связанные с термообработкой. Здесь хранят различный электрофицированный инструмент и часть материалов;

— рабочая комната, в которой проходят теоретические занятия, практические работы по изготовлению моделей ракет и космической техники;

— лаборантская для проведения экспериментальных исследований в аэродинамической трубе, на испытательном стенде и т. д.

В практике работы внешкольных учреждений занятия организуются в одной-двух комнатах, а в условиях школы — в кабинетах физики, химии, учебных мастерских. Школьные кабинеты имеют лаборантские, где можно хранить материалы и готовые изделия. Механическую обработку материалов выполняют обычно в школьных мастерских.

Рабочую комнату оформляют наглядными пособиями, готовыми изделиями кружковцев, фотографиями ученых, космонавтов и т. д.

**Оборудование** кружка ракетно-космического моделирования комплектуют так, чтобы обеспечить все виды выполняемых работ. В каждом случае перечень оборудования определяет руководитель кружка с учетом возмож-

ностей учреждения, при котором работает кружок, и утверждает руководитель этого учреждения.

Приводим необходимый минимум станочного и другого оборудования для кружка ракетно-космического моделирования во внешкольном учреждении.

Станки для механической обработки материалов: токарный ТВ-16 или ТВ-4 (2 шт.), фрезерный (1 шт.),

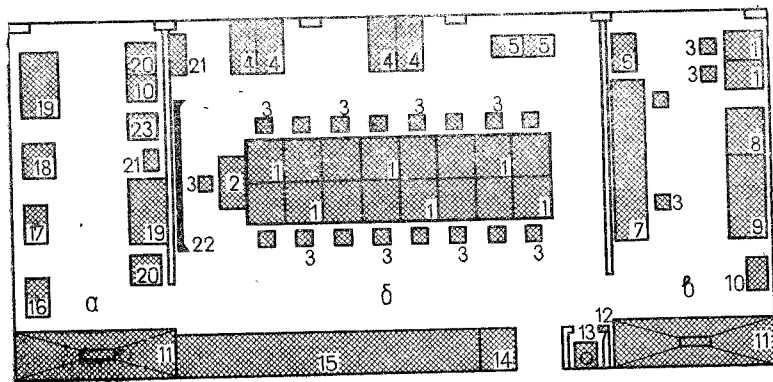


Рис. 1. Размещение мебели и оборудования в помещении для кружка ракетно-космического моделирования:

а — мастерская; б — рабочая комната; в — лаборантская; 1 — стол рабочий; 2 — стол учителя; 3 — стул; 4 — верстак комбинированный; 5 — стол чертежный; 6 — шкаф книжный; 7 — стенд для испытания двигателей; 8 — аэродинамическая труба; 9 — стол для настройки и проверки аппаратуры; 10 — ящик для мусора; 11 — шкаф вытяжной; 12 — электросушитель для рук; 13 — умывальник; 14 — шкаф для одежды; 15 — встроенные шкафы; 16 — сверлильный станок; 17 — фрезерный станок; 18 — муфельная печь; 19 — токарный станок; 20 — шкаф для инструмента; 21 — аптечка; 22 — доска классная; 23 — заточный станок

сверлильный НС-12 (1 шт.), токарный по дереву (1 шт.), комбинированный для обработки древесины (1 шт.), заточный (1 шт.) и электролобзик (1 шт.).

Для термообработки различных материалов нужно иметь муфельную печь. Покрасочные работы желательно проводить в вытяжном шкафу. Покраску изделий чаще всего выполняют пульверизатором (иногда кисточкой), а надписи на моделях — с помощью трафаретов.

В качестве рабочих столов можно использовать школьные лабораторные. В рабочей комнате следует

иметь два-три места для слесарных и столярных работ. Наиболее целесообразно применять комбинированные верстаки.

Для чертежных работ устанавливают два-три кульмана или столько же чертежных столов.

Обычно в кружке ракетно-космического моделирования постепенно накапливается различное самодельное оборудование (аэродинамическая труба, испытательный стенд, стартовые устройства, приборы для замеров различных параметров полета моделей ракет и другое), поэтому необходимо предусмотреть место для его хранения. Постоянное место отводят библиотеке.

Инструмент для работы должен быть предметом повседневной заботы руководителя и кружковцев. Сначала надо заготовить следующий инструмент.

Для работы на станках: резцы разные по металлу и стамески по дереву, сверла разные, фрезы дисковые, пальчиковые и фигурные, зенкеры и развертки, тиски машинные, делительную головку, мерительный и проверочный инструменты, люнеты.

Слесарный инструмент: молотки разные, ножовки по металлу, ножницы по металлу, паяльники электрические (желательно на 36 В), дрель ручную, зубило, кернер, крейсмессель, щаберы, щупы, резьбонарезной инструмент, плоскогубцы, круглогубцы, комплекты напильников, пожовочные полотна по металлу, отвертки разные, надфили, чертилки, линейки металлические, кусячки и другое.

Столярный инструмент: ножовки по дереву разные, лучковые пилы, коловорот, перки, стамески разные, рубанки разных размеров, ножи и скальпели, киянки, шило, лобзики и полотна к ним, буравчики и т.д.

Мерительный инструмент: линейки разные, штангенциркули, штангенглубиномеры, штангенрейсмус, микрометры, радиусомер.

Электрофицированный инструмент: электродрель, электролобзик, электрокраскопульт.

Хранят инструмент в зависимости от конкретных условий работы кружка в специальных шкафах, ящиках, кассетах, пеналах или на специально изготовленных досках.

Материал для работы кружка: бумага ватманская, калька, конденсаторная бумага, клей казеиновый, клей

селикатный, эмалит, клей № 88, ЭД-5 и т. д., резина авиамодельная, бинты резиновые, фанера авиационная разной толщины, древесина различных пород, картон, пресспан, нитки катушечные № 10, наждачная бумага разная, пластмассы разные в листах, оргстекло 1—1,5 мм и другие материалы.

По технике безопасности в помещении для ракетно-космического моделирования необходимо соблюдать следующие правила:

- поддерживать чистоту и порядок;
- отходы горючих веществ, которые накапливаются во время работы, сметать в сосуд с водой, а после окончания работы уничтожать в специально отведенном месте;
- установку для испытания двигателей располагать в месте, обеспечивающем безопасность для окружающих, и соответствующим образом их защищать. В случае несрабатывания двигателя на стенде отключить зажигание и подождать 5 минут, после чего демонтировать двигатель. Эту работу выполняет только руководитель кружка;
- испытательное оборудование, станки и все дополнительные устройства хорошо заземлять, чтобы все металлические части имели одинаковый электрический потенциал;
- для работ с порохами применять инструмент и оборудование только из цветных металлов, пластмасс, фарфора или дерева;
- запрещается брать горючие вещества незащищенными (голыми) руками;
- где проводятся работы с порохами, нельзя входить посторонним лицам. Количество лиц определяет инструкция данного рабочего места.

Помещение обогревается только центральным отоплением. Осветительное оборудование должно иметь противозрывчатое снаряжение. Необходимо установить телефон.

В помещении должно быть противопожарное оборудование и противопожарная инструкция. Опасные места надо обеспечить предостерегающими надписями, воспрепятствующими зажиганию и пользованию огнем.

Микро-РДТТ и пироставы нужно хранить в сейфе (несгораемом шкафу).

В помещении кружка ракетно-космического моделирования должна быть аптечка, расположенная на видном и хорошо доступном месте. Аптечку хранят в небольшом настенном шкафчике (примерные размеры 30×18×8 см). В ней находится набор наиболее часто употребляемых медикаментов, перевязочных средств и медицинского инвентаря. Руководитель кружка лично заботится о пополнении перечисленных ниже материалов по мере их израсходования.

Шкафчик должен запирается, ключ от него находится у руководителя.

#### Состав аптечки

Борная кислота (2% раствор)	1 флакон
Йод (5% настойка) в склянке с притертой пробкой	1 склянка
Марганцевокислый калий (навеска, готовая к разведению водой)	1 флакон
Марганцевокислый калий	10—15 г
Спирт нашатырный	1 флакон
Капли валериановые (или эфирно-валериановые)	1 »
Сода двууглекислая (питьевая) в растворе	1 »
Сода двууглекислая (питьевая) в порошке	50 г
Мазь от ожогов	1 склянка
Вазелин борный в тюбиках	1 тюбик
Пакеты перевязочные индивидуальные	2 пакета
Вата гигроскопическая	1 пачка
Бинты марлевые стерильные двух- и трехвершковые	2—3 шт.
Салфетки марлевые стерильные	2 пакета
Бумага компрессная	1 пачка
Градусник медицинский	1 шт.
Пинцет	1 »
Пипетки капельные	3 »
Ванночка глазная	1 »
Жгут резиновый	1 »
Булавки безопасные	6 »

Целесообразно ввести в кружке рабочую форму, которая может состоять из наруканников, халатов или форменных рубашек.

При работе на станках с клеями и на испытаниях хорошо иметь головной убор: берет, пилотку или сетку.

В кружке должен быть журнал по технике безопасности, в котором школьник расписывается после получения инструктажа. В журнал записывают фамилии ребят, допущенных к тем или иным работам: механической обработке на станках, термообработке и т. д.

## ОРГАНИЗАЦИЯ ЗАНЯТИЙ В КРУЖКЕ

## ПЕРВЫЙ ГОД ЗАНЯТИЙ

**Цели и задачи работы.** Внеклассная работа по технике — одна из форм воспитательной работы с широким привлечением инженерно-технической общественности.

Кружок — это добровольное объединение учащихся, основанное на общем интересе. Его можно рассматривать как своеобразную лабораторию, в которой происходит формирование определенных качеств развивающихся школьников, привитие им навыков и умений, необходимых для успешного участия в творческой деятельности в условиях современного производства.

Иногда, говоря о целях и задачах кружковой работы, организаторы и руководители технических кружков называют большой перечень задач, начиная от простых (некоторые узкопрофессиональные навыки) и кончая такими, как помочь выбрать будущую профессию: стать конструктором, ученым и т. д.

Ценность работы в кружке, видимо, правильнее определять исходя из того, какие навыки, умения (приобретенные в кружке) переносят учащиеся на свою будущую практическую деятельность.

Если говорить об узкоспециальных (слесарные, монтажные, работа с приборами и т. д.), так эти навыки ребята могут получить в школе на уроках труда, на лабораторных занятиях по физике, химии и т. д. Овладение такими навыками само по себе еще не обеспечивает творческого подхода к работе. Главную цель занятий в кружках технического творчества можно сформулировать так: научить целенаправленно применять имеющиеся знания и практические навыки в разработке и изготовлении различных технических устройств. Уровень навыков может быть различным. Но как показывают многочисленные педагогические исследования и наблюдения, суждения людей, уже достигших определенных успехов в техническом творчестве, именно эти показания — реальные результаты работы кружка.

Сегодня нет еще конкретной системы оценок, нет точных критериев, по которым можно судить об уровне раз-

вития навыков творческой работы, затруднительно определить и уровень развития технических способностей. Но точно известно, что навыки творческого труда можно перенести на последующую практическую деятельность. Известно также, что для отработки развития навыков нужны определенные условия. Некоторые из условий примерно такие.

В программу кружка включают: ознакомление с методами и приемами целенаправленного применения знаний; решение технических задач различной степени трудности; поэтапный переход от общей задачи к формулировке ее сути и т. д. до практического изготовления всего технического устройства.

Кроме того:

— поощряется осознанное стремление к переносу известных, освоенных методов и приемов;

— поддерживается постоянный эмоциональный подъем в кружке, поощряются чувства радости, удовлетворения от удачно найденного решения, от правильного применения известных методов, от самого процесса поисков. Испытав однажды чувство радости и удовлетворения от результатов творческой деятельности, школьник стремится испытать это чувство вновь. Со временем это может способствовать выработке привычки работать творчески, с подъемом;

— учитываются возрастные и индивидуальные особенности кружковцев.

Этот перечень можно было бы продолжить. Для овладения методами поисков, методами решения технических задач необходима определенная последовательность развития ума, приучение школьников к самостоятельной продуктивной работе. Здесь мы имеем в виду следующее.

Во-первых, руководитель технического кружка систематически включает в свои сообщения элементы теории познания вообще. Такие «включения» вопросов теории познания в заранее обдуманых местах, с учетом возможностей восприятия детей, подкрепленные яркими фактами из истории техники, науки, способствуют выработке у учащихся современного прогрессивного научного мышления.

Во-вторых, говоря о главных понятиях, идеях в конкретной области знаний, руководитель все время подчер-

кивает значение эксперимента и практики человечества в формировании этих понятий и идей.

В-третьих, руководитель постоянно сообщает сведения о жизни и методах работы крупных ученых, известных специалистов техники, изобретателей, подчеркивает своеобразие манеры их исканий, выявляет их отношение к делу, которому они служили.

Успех занятий кружка во многом зависит не только от того, что вы делаете в кружке, но в большей степени и от того, как вы это делаете. От того, насколько вы владеете техникой, искусством педагога, искусством организатора коллективного творчества. От того, насколько глубоко вы осознаете свою педагогическую задачу, насколько четко вы представляете результаты вашего труда.

Кружок не подменяет учебный курс. На занятиях в кружке желательно не только помочь учащимся глубже понять суть явлений, но и, главное, дать почувствовать вкус к изучению явлений. Дать возможность почувствовать атмосферу творческих поисков, удовольствие от работы в творческом коллективе, объединенном одной идеей.

В кружке ракетно-космической техники, кроме названных широких целей, можно поставить и более узкие:

— глубоко изучить определенные области физики, связанные с реактивным движением (с той глубиной, какая возможна при поисковой работе заинтересованного человека);

— научиться применять некоторые методы исследования и правильно оценивать их возможности (например, метод моделирования);

— дать возможность школьникам почувствовать себя творцами, искателями, открывателями, охотниками за истиной;

— удовлетворить интерес учащихся к ракетно-космической технике.

**Комплектование кружка**, как правило, проходит во второй половине сентября, после того как уже уточнено расписание уроков, распределены общественные поручения, решена большая часть школьных организационных вопросов.

Комплектовать кружок желательно из учащихся примерно одинакового возраста и из одной смены. Как показывает практика, количество ребят в кружке оптимально до 15 человек. Иногда руководитель кружка записывает до 20 человек, с запасом на отсев. Причиной отсева школьников может быть еще несформировавшийся их интерес к определенной практической деятельности, но чаще всего — неудовлетворенность содержанием и организацией работы в кружке. Другими словами, «текучесть» зависит от квалификации руководителя, от подготовленности материально-технической базы кружка. Причины отсева необходимо в каждом случае анализировать и принимать меры на будущее. Иногда причина отсева — следствие возрастных особенностей учащихся. Школьники ищут «дело по душе», пробуют себя в различных доступных для них направлениях деятельности — спорте, технике, искусстве, т. е. там, где быстро можно показать свою силу, ловкость, знания и умения.

В 13—15 лет у детей все более активизируется формирование своей точки зрения на окружающую их жизнь. У ребят происходят существенные изменения в развитии мотивов и воли. Школьники готовы принять участие и в сложной деятельности, включающей в себя малоинтересную подготовительную работу. Заметно углубляется интерес к науке, современной технике. В своих коллективных делах они способны к большой активности и заинтересованности. Чем насыщеннее, напряженнее их жизнь, тем больше она им нравится. Вместе с этим все более настойчиво они требуют уважения к себе, своим мнениям и взглядам и особенно ценят серьезный, искренний тон взаимоотношений.

Имеются заметные индивидуальные различия как в направлении, так и в стиле конструктивно-технической деятельности учащихся. Одни целеустремленно вынашивают какую-то идею, не распыляя свое внимание, мучаются и, если им не помочь, не справившись с задачей, теряют веру в свои силы. Другие школьники не сосредоточиваются на чем-то определенном. У них всегда полно идей, но ни одну они сами довести до конструктивного выражения не могут. Это делают обычно их товарищи. По стилю работы также выделяются ребята со спокойным, размеренным темпом работы и ребята с



большим эмоциональным подъемом во время работы некоторой стихийностью.

Как показывает опыт, учащихся, пришедших в кружок, можно условно разделить примерно на такие группы:

— школьников, имеющих готовые чертежи простейших моделей. Они знают уже основные размеры будущего технического устройства, из каких основных частей оно будет состоять; материалы, нужные для изготовления отдельных деталей, правильно определяют количество, расход его. Им надо помочь определить порядок изготовления устройства, подобрать инструмент и приспособления, необходимые в работе, составить технологическую карту;

— школьников, которые на словах объясняют, что они хотят сделать. Они показывают примерные размеры будущей модели (разводят руки в ширину, определяют высоту от стола и примерную длину), т. е. эти ребята зрительно представляют будущую модель, «видят» ее примерные размеры и некоторые особенности ее конструкции. Им необходимо помочь разработать, сконструировать желаемое техническое устройство от общей идеи до готового изделия;

— школьники, только желающие построить «что-то такое двигающееся»: модель ракеты или ракетоплана, планетохода или космического корабля. Эти дети склонны к длительным беседам на фантастические темы, охотно рассказывают о себе, но их бывает трудно мобилизовать на длительную работу. Они охотнее помогают другим кружковцам, особенно тем, у которых работа идет более успешно, без особых сожалений бросают начатую работу. Такие учащиеся требуют постоянного внимания руководителя кружка к своим идеям, но редко доводят начатое до конца. Зато, выполнив какое-либо даже простое дело, задание, они с восторгом говорят об этом с друзьями, рассказывают об этом дома, в школе.

Несмотря на отмеченные различия, в целом для детей этого возраста (12—15 лет) характерны эмоциональные переживания по случаю удач и неудач в работе. Они охотно говорят с руководителем кружка о школьных делах. Вместе с тем ребята еще не могут достаточно полно проанализировать свои поступки, поэтому нередко склонны переоценивать свои возможности и, как

следствие, в случае неудач глубоко переживают. Особенно привлекает их работа, в которой можно проявить свою самостоятельность, смекалку, свои умения, силу и т. д. Учет этих особенностей способствует правильной организации занятий в кружке.

**Вводное занятие.** Что главное на первом вводном занятии? На первом занятии нужно дать четкий ответ на вопрос: «Что и как мы будем делать?».

При подготовке ответа очень важно сформулировать принцип работы. Ваш ответ в определенной мере определит настрой учащихся на дальнейшую работу. Например, вы ответили так: «Будем строить модели ракет». Другой вариант ответа: «Будем решать проблемы, связанные с полетом моделей ракет, с работой реактивного двигателя». Второй вариант ответа содержательнее и по форме он более импонирует школьникам. Решение проблем, а не только изготовление бумажных моделей! Работа над моделями ракет в этом случае выступает не как самоцель (сделать модель ракеты), а как путь, как необходимый этап в решении конкретной проблемы, связанной с полетом модели ракеты.

В процессе беседы руководитель знакомит учащихся с некоторыми направлениями поисковой работы. Если кружок работает не первый год, то вновь пришедшим интересно узнать о том, что уже сделали кружковцы, увидеть образцы изделий.

При первой встрече следует рассказать детям несколько интересных фактов из истории развития отечественной ракетно-космической техники. Но говорить только об истории техники нецелесообразно. Учащиеся еще не представляют сути вопроса и потому не всегда могут воспринять историю этой проблемы.

Первая беседа часто во многом определяет характер будущих взаимоотношений руководителя и кружковцев. Их правильное взаимодействие на занятиях — гарантия будущих успехов кружка. В процессе работы над каким-либо техническим устройством, в процессе решения проблемы складывается отношение школьника к данному предмету, данному методу исследований, отношению к процессу познания вообще.

В заключение вводного занятия полезно продемонстрировать полет заранее подготовленной модели ракеты.

**Планирование работы.** В процессе подготовки к учебному году руководитель кружка тщательно изучает существующую примерную программу работы кружка ракетно-космического моделирования. При необходимости он вносит в нее соответствующие изменения и коррективы с учетом возможностей материально-технической базы. По мере знакомства с учащимися, пришедшими в кружок, руководитель вносит дополнительные поправки в намеченную программу уже с учетом индивидуальных особенностей конкретных детей. Составляет учебный план. На основе учебного плана и уточненной программы разрабатывает план каждого занятия.

При подготовке к любому занятию руководитель кружка продумывает содержание работы каждого школьника, готовит оборудование, приспособления, рабочие материалы и т. д. Только тщательная подготовка занятий обеспечит высокую творческую активность учащихся, поможет более эффективно использовать оборудование.

Если материальная база кружка позволяет сразу же проводить экспериментальные исследования (имеется испытательный стенд, аэродинамическая труба, теодолиты и т. д.), желательно привлекать наиболее подготовленных ребят к учебному эксперименту.

Если возможности материально-технической базы ограничены, рекомендуем строить работу в кружке как решение проблемных технических задач по конструированию. Необходимо с первых занятий приучать детей к работе с технической литературой, с журналами «Моделист-конструктор», «Юный техник», «Крылья Родины», с зарубежными детскими журналами по технике. При планировании работы кружка следует предусмотреть выступление школьников на праздниках, на товарищеских встречах с юными ракетчиками из других кружков, экскурсии к военным ракетчикам, встречи со специалистами по ракетно-космической технике, инженерами, учеными, рабочими-передовиками.

Наиболее продуктивный вариант организации работы в кружке возникает обычно тогда, когда руководитель сам активно трудится над какой-либо моделью, выступает на соревнованиях. Активный руководитель часто находит больше тем, направлений работы, чем может реально выполнить. Поэтому такому ищущему руководи-

телю всегда нужны помощники, и это закономерно приводит к необходимости организации поисковой работы по нескольким направлениям.

Заканчивают первый год занятий обычно итоговой выставкой, квалификационными соревнованиями. Затем подводят итоги работы за год.

Примерный учебный план кружка ракетно-космического моделирования (1-й год занятий).

Состав кружка — учащиеся 4—6 классов.

Задачи работы:

- 1) Формирование и развитие интереса учащихся к ракетно-космическому моделированию.
- 2) Повышение творческой активности школьников.
- 3) Формирование и развитие навыков работы с контрольно-измерительной аппаратурой, имеющейся в кружке.
- 4) Подготовка к выполнению спортивных нормативов по ракетному моделизму.

В плане педагогического исследования можно поставить такие задачи:

— изучение вопросов содержания форм и методов работы с учащимися 4—6 классов в кружке ракетно-космического моделирования;

— определение оптимального объема информации по теории реактивного движения для учащихся 4—6 классов.

Задачи работы в кружке более конкретизируют и уточняют, зная возможности работы в нем, подготовленность учащихся и самого руководителя.

Ориентировочный расчет часов

№ темы	Наименование темы	Всего часов	Теоретических	Практических
1	Вводное занятие . . . . .	2	2	—
2	Классификация моделей, правила проведения соревнований по ракетно-космическому моделизму . . . . .	2	2	—

Продолжение

№ темы	Наименование темы	Всего часов	Теоретических	Практических
3	Организация метеослужбы в кружке . . . . .	2	1	1
4	Основы теории реактивного движения . . . . .	8	8	—
5	Изготовление моделей (сюда же входит и стартовое оборудование) . . . . .	84	4	80
6	Организация запусков моделей ракет . . . . .	10	—	10
7	Проведение соревнований . . . . .	10	—	10
8	Техника безопасности . . . . .	4	4	—
9	Экскурсия в воинскую часть, на завод или в НИИ . . . . .	6	—	6
10	Подготовка к выставке технического творчества . . . . .	6	—	6
11	Участие в выставке . . . . .	6	—	6
12	Подведение итогов работы кружка.	4	—	4
	Итого:	144	21	123

Помесячный план работы (примерный)

**Октябрь**

- Тема 1. Вводное занятие (2 часа).
- Тема 2. Классификация моделей (2 часа).
- Тема 5. Изготовление модели ракеты по образцу с применением шаблонов, оправок и т. д. (10 часов).
- Тема 8. Техника безопасности при работе в кружке (2 часа).

**Ноябрь**

- Тема 3. Организация метеослужбы (2 часа).
- Тема 4. Основы теории реактивного движения. Понятие о реактивной силе. Реактивные двигатели в природе (8 часов).

- Тема 5. Изготовление парашюта для моделей ракет (4 часа).
- Тема 8. Техника безопасности при работе с двигателями для моделей ракет (2 часа).

**Декабрь**

- Тема 5. Проектирование и изготовление одноступенчатой модели ракеты (14 часов).
- Тема 6. Запуск модели, изготовленной по образцу (4 часа).

**Январь**

- Тема 5. Изготовление одноступенчатой модели ракеты (12 часов).
- Тема 6. Запуск одноступенчатых моделей ракет в дни зимних каникул (4 часа).

**Февраль**

- Тема 5. Изготовление моделей ракет. Учащиеся, закончившие изготовление одноступенчатых моделей, переходят к выполнению двухступенчатых и простейших моделей-копий (метеорологические, геофизические); (10 часов).
- Тема 7. Проведение кружковых соревнований, посвященных Дню Советской Армии (6 часов).

**Март**

- Тема 5. Изготовление моделей для участия в соревнованиях по ракетно-космическому моделизму. Разработка и изготовление новых образцов стартового оборудования (работает отдельная бригада) (16 часов).

**Апрель**

- Тема 5. Изготовление моделей для участия в соревнованиях по ракетно-космическому моделизму (16 часов).
- Тема 7. Проведение или участие в соревнованиях, посвященных Дню космонавтики.

**Май**

- Тема 5. Доделка, доводка, ремонт моделей ракет (2 часа).
- Тема 8. Техника безопасности при работе с двигателями на старте (2 часа).
- Тема 10. Подготовка к выставке технического творчества (6 часов).
- Тема 7. Проведение отборочных соревнований (4 часа).

**Июнь**

- Тема 9. Экскурсия в воинскую часть, на завод или в НИИ (6 часов).
- Тема 11. Участие в выставке технического творчества (6 часов).
- Тема 12. Подведение итогов работы кружка. Поощрение лучших (4 часа).

**Некоторые особенности работы.** Прошло лето. К вам в кружок снова пришли дети. Теперь вы уже лучше знаете их характер, ближе знакомы с их семьями, с классными руководителями. Школьники привыкли к вам. Ваше слово для них авторитетно.

Подготовка к работе повторяет те же основные этапы: изучение программы второго года занятий, уточнение ее, составление учебного плана и тщательная подготовка к каждому занятию.

Теперь некоторые наиболее подготовленные учащиеся пробуют выполнять несложные теоретические расчеты своих моделей, шире применяется метод учебного эксперимента, ребята более глубоко и систематизированно знакомятся с методом моделирования как способом научного познания.

Изучение правил ФАИ способствует более целенаправленной деятельности кружковцев. Ознакомление с правилами происходит обычно путем самостоятельного чтения их школьниками с последующим комментарием руководителя, с ответами на возникшие вопросы.

На тренировочных запусках оценка полета идет уже строго по правилам. Учащиеся пробуют выполнять разрядные нормы с различными классами моделей.

Расширяется календарь спортивных мероприятий. Это, в свою очередь, стимулирует возрастание темпов работы в кружке.

Одновременно можно заметить определенное разделение по характеру деятельности школьников в кружке. Одних привлекает спортивная сторона соревнований, связанные с ними волнения, поездки и т. д.; других больше влечет спокойная работа на испытательном стенде, продувки в аэродинамической трубе, т. е. экспериментальные исследования. Модели ракет все более выступают как средство достижения какого-то более значимого результата: получение спортивного разряда, проведение экспериментального исследования.

В кружке второго года занятий уже складывается состав основной команды и состав дублеров.

Для участия в соревнованиях необходимо не только уметь сделать модель ракеты, но и иметь высокую физическую и психологическую подготовку. Поэтому руко-

водитель кружка и напоминает учащимся об этом, и активно добивается повышения этих качеств у каждого кружковца.

Для работы во втором году занятий необходима более высокая техническая и теоретическая подготовка учащихся. Часто для удовлетворения интереса ребят, для ответа на конкретный вопрос руководителю приходится сообщать им теоретические сведения с некоторым опережением школьной учебной программы. При этом руководителю полезно встретиться с учителями школы, в которой учится кружковец, уточнить особенности преподавания там физики, химии, математики. Наметьте методику занятий, на которых он планирует сообщить эти теоретические сведения. Сообщают такие сведения обычно перед проведением расчетов параметров полета конкретных моделей ракет, при расчете сопла для двигателя и др.

Подробнее эти вопросы рассматриваются в соответствующих разделах данного пособия.

Теоретические сведения нужны учащимся в объеме, который позволил бы им правильно понять значение тех или иных технических требований. Это, в свою очередь, помогает более осознанно направлять их внимание на каждом этапе работы над моделью.

Значительно возрастают и требования к качеству изделий, разработанных и изготовленных в кружке. Школьники более широко знакомятся с технической эстетикой. Желательно организовать экскурсии на выставки образцов современной техники, провести беседы по технической эстетике. Большую помощь в этом могут оказать материалы журнала «Техническая эстетика».

Программа второго года занятий предлагает новые объекты работы в кружке: модели ракетопланов и ракетно-космической техники. При подготовке к занятиям по разработке и изготовлению моделей ракетопланов полезна консультация опытного авиамоделиста, руководителя авиамодельного кружка по таким вопросам, как расчет поляры крыла, технологическая оснастка для выполнения отдельных частей модели планера (ракетоплана) и т. д.

Запуск модели ракетоплана имеет свои особенности: ее полет чаще, чем полет модели ракеты, может быть не-

устойчивым. Поэтому еще раз обращается внимание на технику безопасности.

При подготовке к занятиям по разработке и изготовлению моделей космической техники желательно уточнить отдельные вопросы методики конструирования, отметить основные этапы решения конструкторских задач. Особое внимание необходимо уделить выработке у кружковцев следующих умений:

— определять, формулировать суть технической задачи по конструированию;

— намечать возможные варианты решения конструкторской задачи;

— анализировать и определять оптимальный вариант достижения цели, с учетом конкретных возможностей кружка.

Практические умения и навыки, которые учащиеся получают в школе на уроках труда, на практических занятиях в кабинетах физики, химии, постоянно совершенствуются и развиваются на занятиях в кружке.

**Формы организации работы кружка.** Работа в кружке может быть коллективной и индивидуальной: необходимость коллективной работы неоспорима, но и труду каждого кружковца придается определенное значение.

Глубокое продумывание и обоснованная выработка решения — в большинстве случаев задача отдельных исполнителей. Но при обсуждении остальные учащиеся дополняют решение новыми идеями, замечаниями. Разделение труда при коллективной работе должно определяться не только руководителем, желательно, чтобы и каждый кружковец беспокоился о разумном распределении работы.

В решении технических, конструкторских задач коллективные поиски могут осуществляться в разных формах. Нам представляется очень эффективным коллективный метод поиска идей. Когда задача сформулирована, но еще неясно, как ее решить, способов может быть много, но вначале их нужно найти, собрать, а потом уже перейти к анализу и определению оптимального.

Например, были организованы поиски идей для решения задачи: найти надежный способ мягкой посадки модели ракеты. Учащихся попросили называть возможные, известные им способы решений (без критики). Они предложили:

— утяжелить головную часть модели ракеты, так как большая масса сильнее дернит парашют;

— поставить вышибной заряд в голову модели, а из двигателя вынуть такой заряд совсем. Головной обтекатель наверняка вылетит, и парашют не обгорит;

— направить газы по трубке от вышибного заряда прямо в головной обтекатель. Удар получится точным, и газы не будут обжигать парашют;

— выдергивать парашют не головным обтекателем, а сбросом корпуса отработавшего двигателя. Он тяжелее головного обтекателя, сам себя вышибить сможет, а значит, выдернит и парашют. Кроме того, парашют, вылетающий вниз, не будет мешать полету модели ракеты еще чуть-чуть вверх;

— поставить вышибной заряд в головной обтекатель и пусть он срабатывает при переворачивании модели ракеты, т. е. после достижения наивысшей точки. Электрическую энергию подать от батарейки «Сириус». Замыкание сети обеспечит ртутный переключатель;

— выдергивать парашют головным обтекателем, но он будет отделяться не вышибным зарядом, а с помощью маленького вытяжного парашюта, уложенного поверх головного обтекателя под колпаком. Разъемный колпак сбрасывается резинкой. Когда перегорит нитка, резинка сбросит колпак, раскроется вытяжной парашют и выдернет головной обтекатель, а за ним и основной парашют;

— сделать рассыпающийся на части корпус. Пусть вышибной заряд развалит модель ракеты, тогда парашют наверняка раскроется;

— парашют отделить от корпуса с двигателем в отдельный дополнительный контейнер, который можно сбрасывать без парашюта;

— наполнять газами воздушный шар и затем медленно стравливать газ из шара. Это и обеспечит плавный спуск корпуса ракеты...

Идей было высказано много.

Получив ряд вариантов решения задачи, необходимо ответить на вопрос, какой вариант лучше и в данных условиях является оптимальным. Работа эта требует объективности и от руководителя и от кружковцев, участвующих в обсуждении. Обычно намечают несколько вариантов для экспериментальной проверки. Материалы экс-

периментов и расчетов тщательно исследуют. Результаты обычно рассматривают сами кружковцы.

Проверки бывают двух видов: математические и физического смысла. Арифметическая и алгебраическая проверки школьникам уже известны, их выполняют, чтобы исключить ошибки при арифметических и алгебраических вычислениях. Такую работу целесообразно делать на каждом этапе разработки модели.

Существует несколько видов этих проверок:

- повторение последовательности операций;
- обращение последовательности операций;
- применение другого способа получения результата.

Например, если решается система двух уравнений относительно  $x$  и  $y$ , то вначале исключают  $x$  и находят  $y$ , но для проверки полученного результата вначале исключают  $y$ , затем находят  $x$ . Арифметические проверки целесообразно проводить методом взаимопроверки, т. е. учащиеся контролируют результаты работ друг у друга.

Проверка размерностей на чертежах — работа менее интересная, но руководитель должен проявить настойчивость, чтобы школьники привыкли делать ее.

Более сложно организовать проверку исходя из физического смысла. Известно несколько способов.

Чаще применяют проверку пределов. Ребята определяют, как с изменением одних пределов изменяются другие. Такая работа наиболее важна при установлении разумности результатов, полученных расчетами. В другом случае выясняют, все ли существенные факторы учтены при получении результата. Контролируют физический смысл числовых результатов.

Например, однажды учащийся, проведя расчет, заявил, что его модель ракеты может развить скорость около 2400 км/ч, но при бумажном корпусе это нереально, не хватит прочности. Корпус же из другого материала значительно утяжелит модель, и двигатель не обеспечит такой скорости.

Во время проверок руководитель формирует у школьников направленное внимание, сосредоточенность, целеустремленность, аккуратность. Особое внимание он уделяет борьбе с небрежностью, встречаются два ее вида. Один вид — это небрежность, связанная с оформлением материалов. Сюда относятся неразборчивые записи и неаккуратные рисунки, использование случайно попавших

под руку листков бумаги, бессистемный учет данных. Другой вид небрежности обусловлен психологическими особенностями ребенка, недостатками воспитания в семье. Борьба с небрежностью тем легче, чем яснее представляешь, что делается и почему.

Получив некоторый числовой результат, ему необходимо дать оценку. Кроме того, надо установить, можно ли сделать обобщения, которые дадут нечто большее, чем просто решение конкретной задачи. Этот этап очень важен для развития у школьников умения обобщать, видеть в частном результате часть общей проблемы. Наличие самооценки результата своей работы, как части целого и оценки целого, также важный компонент творческих технических способностей.

Когда расчеты по нескольким вариантам выполнены, нужно сравнить их и провести анализ. Анализ идей решения можно проводить по схеме рис. 2.

В практике работы конструкторских кружков эта последовательность часто нарушается, этапы перекрывают друг друга, очередность их не совпадает по времени. Чтобы уверенно решать технические задачи, необходима хорошая практика.

В кружке часто бывает так, что от высказанной идеи и до ее материального воплощения работу делает один школьник или один коллектив учащихся. На отдельных этапах им помогают другие ребята, коллективы других кружков. Результатом работы, как правило, является готовая вещь, готовое техническое устройство.

**Оформление технической документации** производится для представления экспоната на выставку, соревнования и т. д. Очень часто школьники не понимают значения правильного оформления технической документации на изделие и поэтому небрежно и даже часто неграмотно исполняют необходимые чертежи и описания.

В большой технике, в условиях современного производства, когда результаты разработки технического устройства получены, работа еще не считается завершенной. Полученные результаты нужно сообщить другим людям, поэтому составляют соответствующие рекомендации. Подготовка и изложение этой информации — еще один очень важный этап разработки решения конкретной технической задачи. Кроме того, очень часто люди (взрослые и дети), хотя и понимают то, о чем думают расска-

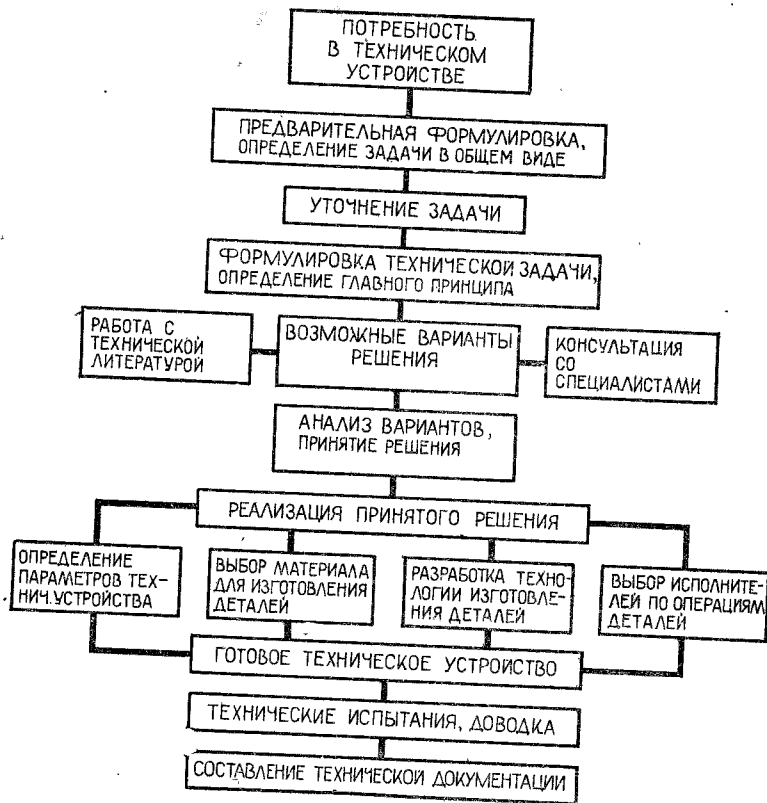


Рис. 2. Примерная последовательность этапов решения технической задачи с последующим изготовлением технического устройства.

зять, не умеют выразить свои мысли. Умение четко сформулировать свои мысли также необходимо привить школьникам.

С этой целью в практику работы кружка желательно ввести этап оформления технической документации. Эта работа сводится к следующему. Школьник должен уметь изложить существо полученных им результатов в такой форме, чтобы читатель или слушатель мог легко и быстро понять его. Составлять такие четкие, ясные и короткие отчеты гораздо труднее, чем говорить обо всем подряд. Для выработки у учащихся этого умения иногда прово-

дят устные отчеты отдельных школьников по результатам их работ, или они оформляют письменные отчеты. Объем отчета можно установить заранее, например двести страницы рукописного текста вместе с рисунками и чертежами. При этом обращают внимание на чистоту, грамотность, аккуратность отчета. Умение грамотно оформить свои отчеты графически (чертежи, графики, схемы, рисунки и т. д.) является ценным качеством творческого работника в технике. Оформление чертежей должно соответствовать ЕСКД (Единой системе конструкторской документации).

**Подготовка к соревнованиям.** Во втором году занятий соревнования по ракетно-космическим моделям часто ставят школьника в условия, существенно отличающиеся от тех, в которых он находился в кружке, на испытательных запусках. Обстановка состязаний заставляет учащегося глубже переживать ответственность за результат выступления. Соревнования, как правило, связаны с сильными эмоциональными ощущениями, переживаниями. Все это иногда мешает ребенку собраться, сосредоточиться и может отрицательно сказаться на результате и, как следствие, привести к уменьшению интереса к занятиям; иногда появляется чувство неуверенности в своих силах.

Для того чтобы школьник чувствовал себя уверенно, необходимо развить у него смелость, решительность, настойчивость, целеустремленность, самообладание, т. е. качества, помогающие противостоять внешним мешающим факторам. Тренировочные запуски и состязания в кружке сами по себе еще не развивают волю. Соревнования и тренировочные запуски должны выступать как форма воспитательной работы с учащимися.

Необходим систематический анализ выступлений кружковцев, разбор полетов моделей ракет для выявления причин ошибок. Школьник должен сознательно преодолевать трудности, возникающие в процессе работы, а для этого ему нужно четко представлять причины, их порождающие.

Воспитание волевых качеств — процесс длительный, и только силами кружка вряд ли обойтись. Надо проводить эту работу совместно со школой, с родителями.

Комплектование команды бывает предметом долгих раздумий руководителя кружка. Иногда это

обсуждают в кружке. Дело не только в том, что нужно отобрать лучших, более подготовленных ребят, но при этом важно не обидеть, не оттолкнуть от дальнейших занятий других школьников.

Внешние признаки, по которым определяют кандидатов в команду, следующие:

— устойчивые, стабильные результаты полетов их моделей ракет;

— хорошая теоретическая и практическая подготовка по ракетно-космической технике;

— эмоциональная уравновешенность;

— физическая подготовка, волевые качества.

Разумеется, успеваемость и дисциплина в школе — решающие факторы. Иногда соревнования связаны с поездками, поэтому надо знать мнение родителей. Чем выше уровень состязаний (районные, городские, областные, республиканские и т. д.), тем больше нервное напряжение, поэтому учащихся с повышенной утомляемостью не следует включать в состав команды.

Необходимо продумать состав дублеров. К ним предъявляются те же требования. При сложившемся, сработавшемся, дружном, деловом коллективе кружка комплектование команды поручают самим школьникам.

**Организация и проведение соревнований** руководителем планируется еще до начала занятий в кружке. За основу он берет план городских, областных мероприятий по технике с учащимися школ и составляет календарь состязаний, в которых будут участвовать школьники данного кружка. В календарь включают следующие виды:

— соревнования, в которых принимает участие команда кружка (районные, городские и т. д.);

— традиционные внутрикружковые состязания или показательные выступления в дни народных праздников, посвященные Великой Октябрьской социалистической революции, Дню Советской Армии, Дню космонавтики, Дню рождения пионерской организации им. В. И. Ленина, 1 Мая, Дню авиации, ракетных войск и т. д.;

— квалификационные соревнования;

— товарищеские встречи.

При составлении такого календаря обязательно учитывайте мероприятия школ, в которых учатся кружковцы. Когда календарь составлен, его можно обсудить в

кружке или ограничиться информацией о сроках проведения соревнований.

Помимо состязаний, целесообразно проводить турниры, конкурсы на лучшую модель, лучшую отделку модели, лучшую документацию на модель.

### ТРЕТИЙ ГОД ЗАНЯТИЙ

**Организация экспериментальных исследований.** Для кружка третьего года занятий не предлагаем даже примерной программы. Приводим только тематику возможных экспериментальных исследований, которую можно расширить, отдельные вопросы взять более узко и изучить глубже.

Цели и задачи кружка ракетно-космического моделирования третьего года занятий руководитель уточняет при определении конкретной темы работы. Рекомендовать брать не более двух-трех тем на год. Большое количество тем не способствует глубокому изучению каждой из них. Уточняя конкретные темы, следует воспользоваться помощью местных учреждений. Если в вашем микрорайоне или в вашем городе по этим проблемам работает НИИ, КБ и т. д., то постарайтесь пригласить специалистов в кружок в качестве консультантов. Возможно, они вам разрешат поставить какие-то опыты или хотя бы посмотреть их лаборатории. Организуйте встречу ученых с кружковцами.

Выясните, работает ли в городском Дворце пионеров научное общество учащихся, есть ли там секция ракетно-космического моделизма. Если дворец проводит подобную работу, вам окажут организационную и методическую помощь. Если такой работы не ведется, вы можете стать ее зачинателем. Школьникам обычно импонируют большие общественно-значительные дела, которые начинаются ими впервые.

С приобретением опыта работы в кружке целесообразно создать исследовательский совет для обсуждения трудностей и методов работы. Исследовательский совет поможет планировать экспериментальные работы, более правильно осуществлять разделение труда в кружке. Периодически надо проводить обсуждение, коллективные поиски идей, критику различных вариантов и т. д. Орга-



низовать обсуждение целесообразно после получения предварительных опытов, накопления определенных данных, необходимых для принятия решения. Обсуждения способствуют выработке у учащихся самостоятельности суждений. Школьники готовятся к таким занятиям, читают техническую литературу, консультируются со специалистами.

В ходе обсуждения вы выявите школьников, оригинально мыслящих. Иногда такие обсуждения помогают найти новый подход к решению известной задачи.

### *Планирование экспериментальных исследований*

Это непереносимое условие успешной работы.

Необходимое условие для планирования экспериментов — хорошее знание теории и существа исследуемого вопроса (проблемы). Учащиеся должны понять, для чего проводят они исследования и какие результаты хотят получить. Желательно планировать получение результатов этапами. В связи с этим следует из конкретной проблемы выделить составные вопросы, на которые прежде всего надо найти ответ, и только после этого можно приступить к проведению экспериментов с целью разрешения общих и более трудных проблем.

Учащиеся должны знать, что во время выполнения экспериментов возможны ошибки. Редко бывает так, что для получения ожидаемого результата достаточно провести один опыт. Для проверки истинности результата требуется многократное повторение эксперимента. Это обстоятельство необходимо учитывать при планировании работы кружка третьего года занятий.

При планировании нужно учитывать и возможности имеющегося оборудования, аппаратуры, инструментов и т. д. Выбор и соответствующий подбор исследовательских приборов зависит от принятого метода измерений, а это, в свою очередь, зависит от рода и характера измеряемой величины, затем от требуемой точности и скорости выполнения измерений.

### *Выбор методов измерения*

Для определения искомой величины применяют измерения непосредственные, косвенные и смешанные. Измерения непосредственные — очень быстрые и наиболее простые. Они заключаются в том, что сравнивают

какую либо величину данного параметра с соответствующим эталоном или измеряют ее с помощью прибора, откалиброванного в единицах той же самой величины. Косвенные измерения дают возможность увеличить точность оценки исследуемой величины. Чтобы определить сопротивление электрической цепи, можно воспользоваться законом Ома, для этого в формулу подставляют величины напряжения и силы тока, которые находят с помощью измерительных приборов. Смешанные измерения применяют, когда искомую величину определяют на основе ряда измерений, выполняемых в различных условиях, иногда даже разными методами.

В каждом процессе измерения можно выделить следующие операции: вступительные (подготовительные); собственно измерение (измерения); обработка результатов и завершающие.

Вступительные операции охватывают такие элементы, как выбор метода измерения, измерительного оборудования, определение измерительной системы вместе с условиями измерений, а также монтаж и контроль измерительной системы (цепи).

Собственно измерение охватывает следующие операции:

- определение значения измеряемой величины;
- выбор пределов измерений;
- количественное сравнение измеряемой величины с эталоном;
- считывание (снятие показаний) результата сравнения;
- регистрация результата измерения.

Обработка результатов и завершающие операции охватывают:

- математическую обработку результатов;
- определение точности измерений;
- расшифровку результатов измерений;
- обработку документации измерений;
- демонтаж измерительной установки.

Самая трудная и самая существенная из этих операций — расшифровка результатов, которая основывается на физическом анализе явлений, сопутствующих измерению.

Во время исследований пользуются как эталонами, так и различными приборами. Эталоном может быть

любое физическое тело, составляющее меру какой-нибудь величины с определенной точностью. Измерительные приборы представляют собой определенные механизмы. Те, которые позволяют непосредственно считать измеряемую величину, носят название приборов непосредственного измерения, в отличие от косвенных, которые для определения меры (величины) требуют применения эталонов.

В зависимости от того, является ли измеряемая величина постоянной или переменной во времени, используют следующие типы приборов: индикаторные, контрольные (приборы управления), регистрирующие и суммирующие.

Определив метод измерения, а тем самым и приборы, входящие в состав измерительной установки, можно приступить к следующему этапу — **проектированию установки для испытаний**. Эта установка должна гарантировать полную безопасность в работе, быть доступной, обеспечивать легкость монтажа и демонтажа, а также возможность переделок. Кроме того, ее снабжают необходимой аппаратурой и инструкцией по правилам эксплуатации.

В практике работы многих технических кружков часто приходится конструировать и изготовлять приборы и аппаратуру для снятия фактических характеристик конкретного технического устройства. Разработка и изготовление таких приборов, аппаратов может быть темой конкретного направления работы в кружке ракетно-космического моделирования. В данном пособии приводится несколько примеров подобных разработок.

**Проведение экспериментальных исследований.** После завершения подготовительных работ необходимо определить кружковцев, которые будут проводить конкретные эксперименты. Ясно, что более точные результаты в равных условиях получит тот моделист-экспериментатор, который лучше понимает суть происходящего процесса, более аккуратен и внимателен. Кроме этого, надо четко установить, какой параметр (какую величину) измеряет данная аппаратура, чтобы избежать ошибки. Нужно стремиться также к тому, чтобы испытания проходили постоянно в одинаковых условиях. Каждый новый прибор в измерительной аппаратуре должен быть

проверен и испытан, а затем приведен в рабочее состояние. Моделист-экспериментатор, пользующийся данным прибором, должен хорошо знать его технические данные, чтобы в будущем можно было обнаружить какие-либо изменения настройки прибора.

Большую помощь в проведении испытаний оказывают систематически выполняемые записи. Записывать желательно в толстую тетрадь, а не на отдельных листах, и обязательно чернилами. На тетради для записей необходимо указать фамилию делающего записи и ставить даты их выполнения. В ней можно также делать примерные чертежи и рисунки (диаграммы и пр.). Данные следует записывать в их непосредственном виде, а не как результат вычислений или изменения формы (вида). Если вас интересует отношение двух наблюдений, причем с точностью до двух знаков, то нужно написать оба эти знака. Кроме этого, записывают результаты вычислений и величины тех независимых переменных, которые непосредственно связаны с испытаниями. Также необходимо записывать данные и названия приборов, чтобы по истечении некоторого времени можно было бы знать, какой применялся прибор и в каких условиях.

Такие документы, как фотоснимки, спектры, заметки, сделанные сразу, наспех, должны иметь полное название или обозначение.

При организации экспериментальных работ в кружке нужно учитывать и психологические особенности учащихся. Одни из них имеют медленное восприятие, другие же энергичны и самоуверенны. В то же время одни, так и другие, посвятившие себя исследованию, обладают обычно двумя чертами: энтузиазмом и верой в свои силы. У некоторых вера в себя достаточно развита, у других ее нужно формировать и воспитывать. Эта черта характера развивается по мере получения правильных результатов экспериментов. Большую помощь может оказать поощрение (одобрение), широкое отношение или совет со стороны руководителя. Очень важно, чтобы в начальный период исследований школьник взялся за посильную для него проблему, которая не превысила бы его возможности. Если она окажется непосильной, следует предложить ему для решения более легкую задачу.

Экспериментальную работу чаще всего организуют как коллективную. Польза ее очевидна. Люди, привыкшие трудиться коллективно, умеют объединять свои усилия. Кроме того, это дает дополнительные возможности приобретения знаний и умений. Не надо только допускать различных неправильных действий. Часто, например, случается, что один школьник выполняет работу не только за себя, но и за своего товарища, который становится пассивным наблюдателем и следит только за получением результатов. Это приводит к ослаблению доверия к самому себе и односторонне развивает способности. Если, например, один кружковец паяет лучше другого, то обычно всю пайку выполняет тот, кто лучше паяет.

К другим, часто встречающимся ошибкам относится отсутствие упорства в работе, а также наличие стремления, не окончив одного эксперимента, приступать к новым, которые в данный момент кажутся более интересными. Это часто бывает следствием того, что новая мысль нравится больше и школьник еще не видит трудностей, связанных с ее реализацией.

*Некоторые принципы экспериментальных исследований.*

Независимо от того, как различны могут оказаться проблемы, они имеют определенные общие черты. Во время проведения опытов надо придерживаться следующих принципов:

- знать как можно больше об исследуемом предмете;
- определить, если это возможно, существует ли экспериментальный предмет в области, в которой вы работаете;
- применить наиболее эффективный метод исследований;
- убедиться, правильно ли работает устройство (установка), достаточна ли ее чувствительность;
- выяснить чувствительность аппаратуры, чтобы очень большая ее чувствительность не приводила к частым фальшивым тревогам;
- проводить работы систематически, а не хаотически;
- обдумывать, если это возможно, на каждой стадии исследований способ определения направления работ и возможные отклонения в ходе испытаний;

проводить задачи с многими неизвестными, используя только одну переменную;

— определить, если это возможно, момент завершения работы (момент, в котором мы получим действительное решение проблемы, значение искомой величины и т. п.);

искать решение данной задачи прежде всего в том направлении, которое наиболее перспективно;

— распределить располагаемое время, средства и материалы в определенных пропорциях в общем объеме испытаний;

— предусмотреть возможные влияния, которые могут оказать метеорологические условия на ход работ.

**Отработка результатов экспериментальных исследований.** Завершением работы школьника-экспериментатора является подготовка отчета, обработанного сразу в виде, пригодном для публикации. Встречается очень много работ, выполненных при больших затратах средств и времени, но не изданных. Записанные в записных книжках (тетрадах), они находятся там так долго, пока не утратят ценность. Поэтому нужно стремиться быстрее опубликовать выполненную работу.

Существуют различные формы изданий. Одни могут быть использованы в масштабах клуба, Дворца пионеров, станции и т. д. в виде оформленного реферата, другие — напечатаны в виде статьи, например, в журналах «Моделист-конструктор», «Юный техник» и т. д. Кроме того, следует помнить, для кого предназначена публикация, и с этой точки зрения приблизить ее уровень к уровню читателя, на которого она рассчитана.

Каждую работу следует излагать просто, кратко и понятно. Статья должна содержать вступление, общее описание применяемого метода, сведения, относящиеся к исследовательской аппаратуре, результаты измерений, анализ результатов измерений, выводы частные (т. е. отдельные, детальные) и общие, заключение, библиографию и, конечно, там, где это необходимо, краткое изложение работы целиком (ход эксперимента).

Во вступительной части указывают, что является темой работы и из какой необходимости она вытекает. Кроме того, дают дополнительные сведения к названию работы и ее изложению, но они не должны повторять на-

звание темы работы. В конце статьи приводят краткое изложение выводов.

В следующей части статьи говорят о методе исследования в общем виде, а затем более подробно, чтобы помочь другим исследователям освоить этот метод. Описание метода должно дать возможность правильно оценить его.

Результаты измерений представляют чаще всего в виде рисунков, графиков или таблиц, причем следует отличать результаты измерений от результатов вычислений. Анализ результатов измерений содержит анализ ошибок, определенных как эмпирическим методом, так и физической оценкой исследуемых зависимостей.

Подробные (частные) выводы касаются самой темы, в то же время общие выводы касаются других проблем или сравниваются с гипотезами. В заключение приводят краткий обзор работы в целом и ее главных результатов. Можно здесь же сказать и о том, что еще надо сделать, ориентировочно предсказать направления дальнейших исследований.

В библиографию включают перечень литературы, которой пользовались или на которую ссылаетесь. Перечень составляют в хронологическом или в алфавитном порядке.

Необходимо еще помнить о соответствующем подборе материалов иллюстративного характера (рисунки, чертежи, фотографии). Рисунки должны быть достаточно выразительны. В связи с этим их выполняют в масштабе 2:1 или 5:1 на кальке.

Чертежи бывают двух видов. Одни делают небольшого формата (содержат форму кривой, когда речь идет о графиках и диаграммах), другие — значительно большего формата — снабжают соответствующей сеткой координат (дают возможность считывания точных значений). Лучшее решение — сведение экспериментальных данных в обобщающие таблицы, дополненные сравнительно небольшими графиками.

Фотографии выполняют контрастными, чтобы можно было увидеть отдельные части аппаратуры в различных цветах, или с различным уровнем тени. Для этого тщательно подбирают фон, освещение и время экспозиции.

Определенным украшением могут быть рисунки. Чтобы избежать ошибок и типографских дефектов, их сле-

дует выполнять на кальке тушью. В математических формулах применяют элементарные зависимости или уравнения, происхождение которых показывают. Их дают настолько подробно, чтобы читатель мог следить за ходом рассуждения. Алгебраических преобразований можно не приводить. Окончательные формулы лучше всего писать в таком виде, чтобы их можно было использовать на практике.

Приведенная методика исследований и экспериментов знакомит школьников только в очень общем виде с элементами научно-исследовательской работы. Но даже в этом объеме она поможет им при опытах, проводимых в кружках.

### Техника безопасности при проведении экспериментальных исследований.

#### Общие требования:

1. Все работы с моделями ракет и двигателями проводить только в присутствии руководителя кружка или в присутствии назначенных им специалистов—консультантов.
2. Указания руководителя работ обязательны для всех участников эксперимента.
3. К проведению опытов приступать нельзя, не получив предварительного подробного инструктажа о правилах работы на конкретном рабочем месте.
4. Необходимо постоянно вести учет двигателей для моделей ракет, соблюдать правила хранения горюче-смазочных материалов и топлива.
5. Аппаратуру и инструмент при проведении эксперимента можно использовать только в тех целях, для которых они предназначены.
6. Противопожарное оборудование в кружке должно всегда находиться в состоянии готовности для использования.
7. Каждый школьник обязан уметь оказывать первую помощь при ожогах.
8. Инструкция по технике безопасности должна находиться на видном месте.
9. Руководителю кружка необходимо помнить, что здоровье и безопасность детей зависят и от того, насколько четко организована работа в кружке.

10. Ответственность за соблюдение техники безопасности при работе в кружке полностью лежит на руководителе кружка.

**Рекомендации.** Здесь невозможно осветить все вопросы организации и проведения экспериментальных исследований в кружке. Для руководителей, организаторов творческой работы ограничимся лишь некоторыми рекомендациями:

— не ищите решения сразу, вначале проанализируйте несколько возможных вариантов;

— классифицируйте требования к устройству по степени их важности (функция, потом все остальное);

— подвергайте критике выбранные варианты;

— комбинируйте различные элементы решения (принцип действия, принцип оформления и т. д.);

— комбинацию осуществляйте по возможности следующими способами: в уме (лишь в простейших случаях) или в виде таблиц, расчетов, рабочих эскизов.

При этом важно отметить:

— следует искать коллективу (или отдельным юным техникам) не какую-то «озаряющую» идею, а способ изменения конкретных условий для достижения конкретной цели, решения конструкторской задачи;

— поиски вести по определенной рациональной системе. Общей формулы пока нет, но есть приемы, достаточные для большинства случаев;

— процесс научного познания вести от простого к сложному, опираясь на знания, умения и практические навыки, полученные учащимися в школе. Решение конкретных конструкторских задач доводить до материального воплощения в виде технических устройств;

— элемент новизны при этом может носить субъективный характер, т. е. новое в большой технике каждый школьник открывает для себя по-своему. Решая конструкторскую задачу, он идет тем же путем, что и настоящий изобретатель, испытывая при этом те же эмоции, те же чувства подъема и удовлетворения от успеха, закаливая волю при неудачах;

— успех творческой деятельности ребят в большинстве случаев зависит от подготовки руководителя—организатора этой работы;

— успех зависит от достаточно высокого уровня раз-

вития у школьников качеств, определяющих их технические способности, от умений: правильно определить и поставить техническую задачу; наметить возможные варианты решений, приемлемые в данном случае; принять решения;

— обязательно вести учет реальных материально-технических возможностей кружка. Целесообразно использовать реальную помощь консультантов-специалистов из числа инженерно-технической общественности, возможности шефствующего предприятия;

— всю работу планировать. Определять на каждом этапе примерные сроки выполнения заданий.

Один этап творческого процесса может не закончиться, но уже начинается другой, а иногда приходится возвращаться на исходные позиции. В каждом случае следует добиваться от учащихся ясного понимания необходимости предпринимаемых шагов;

— поощрять инициативу и добиваться дисциплины;

— методику рассматривать не как ритуал, догму, а скорее как средство для самопроверки и руководства к действию;

— максимально использовать подсобные материалы (таблицы, справочники и т. д.);

— учитывать возрастные и индивидуальные особенности кружковцев.

### Глава 3.

## ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О МОДЕЛЯХ РАКЕТ

### КЛАССИФИКАЦИЯ МОДЕЛЕЙ РАКЕТ

Ракета — это летательный аппарат, движущийся за счет реактивной силы, возникающей при отбросе части собственной массы. Все современные ракеты можно разделить на военные и научно-исследовательские.

Для научных и исследовательских работ используются ракеты: метеорологические, геофизические, зондирующие ближнего космоса, ракеты-носители спутников и космических аппаратов, специального назначения.

Военные ракеты классифицируются по таким признакам: принадлежности к видам Вооруженных Сил,

месту расположения пусковой установки и цели, тактическому назначению, конструктивным особенностям.

По принадлежности к видам Вооруженных Сил ракеты делятся на три группы: сухопутных войск, Военно-Воздушных Сил, Военно-Морского Флота. Такое деление обусловлено в основном характером ведения боевых действий каждого из видов Вооруженных Сил, особенностями решаемых ими боевых задач, а также специфичностью условий, в которых действуют ракеты (на суше, в воздухе и на море).

Основные агрегаты (части) ракеты: корпус, головная часть (головной обтекатель) и стабилизаторы.

По конструкции ракеты разделяют на одноступенчатые и многоступенчатые, а по виду топлива, применяемого в двигателях, — на жидкостные и твердотопливные.

Для современных ракет используют химические ракетные двигатели: жидкостные ракетные двигатели (ЖРД) и ракетные двигатели твердого топлива (РДТТ). Иногда на нижних ступенях современных ракет применяют воздушно-реактивные двигатели (ВРД), а на верхних — прямоточные воздушно-реактивные двигатели (ПВРД).

Модель ракеты — это летающая модель, которая:

— поднимается в воздух, не используя аэродинамическую подъемную силу для преодоления земного тяготения;

— приводится в движение с помощью ракетного двигателя модели;

— имеет специальные устройства (систему спасения) для безаварийного и безопасного возвращения на землю на всех ступенях и верхней субракете, чтобы после посадки ее можно было бы запустить вновь;

— изготавливается из неметаллических материалов.

Модель ракеты имеет те же основные агрегаты (части), что и большая ракета.

Модели ракет так же, как и большие тяжелые баллистические ракеты, стартуют вертикально.

Двигатель модели ракеты — это ракетный двигатель твердого топлива (микро-РДТТ), в котором все горючие — химические компоненты — предварительно смешаны и готовы к применению.

Модели ракет имеют свою классификацию, они делятся на спортивные, ракетопланы и модели-копии на время полета (парашютирования, авторотации или планирования) и на высоту полета с подъемом полезного груза и без него.

Таблица 1

Модели ракет

Вид спортивной модели	Класс моделей		Обозначение класса	Допустимый суммарный импульс, Н·с	Максимально допустимый стартовый вес, г	Другие ограничения
	Высотные	Грузоподъемные				
Полет по высоте	Спортивные		Н-1	0—5,00	60	
			Н-2	5,01—10,00	120	
	Грузоподъемные		Н-3	10,01—40,00	240	
Н-4			40,01—80,00	500		
Полет по высоте			Одноразовый G-1	0—10,00	90	1 груз ФАИ
			Двойной G-2	10,01—40,00	180	2 груза ФАИ
			Открытый G-4	40,01—80,00	500	4 груза ФАИ
			Модели-копии	К-0	0—2,50	60
			К-1	2,51—5,00	90	
			К-2	5,01—10,00	120	
			К-3	10,01—40,00	240	
			К-4	40,01—80,00	500	
Полет по высоте	Парашютирующие	Спортивные	П-О	0—2,5	40	Один двигатель и 1 ступень
			П-1	2,51—5,00	60	
	Модели-копии		П-2	5,01—10,00	85	2 ступени макс.
			КП	5,01—20,00	140	
Полет по высоте	Авторотирующие	Спортивные	АР-1	0—10,00	90	1 ступень 2 ступени макс.
			АР-2	10,01—40,00	180	
	Модели-копии		КАР	5,01—20,00	140	2 ступени макс.

Модели ракетопланов

Вид соревнований	Виды ракетопланов	Модель ракетного самолета		Модель космического планера		Допустимый суммарный импульс, Н·с	Максимально допустимый стартовый вес, г
		спортивный I	копия II	спортивный III	копия IV		
	Классы						
На время планирования	Воробей (sparrow)					0—2,50	60
	Стриж (martin)					2,51—5,00	90
	Ястреб (hawk)					5,01—10,00	120
	Орел (eagle)					10,01—40,00	240
	Кондор (condor)	Радиоуправляемые				40,01—80,00	500

## ОБЩИЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ

Для запуска и полета модели ракет должны отвечать следующим требованиям.

Стартовый вес, включая ракетный двигатель (двигатели), не должен превышать 500 г. В момент старта в ракетном двигателе (двигателях) модели должно содержаться не более 125 г топлива.

Разрешается выполнять модель не более чем из трех действующих ступеней. Ступенью модели ракеты называется часть конструкции, отделяющаяся от модели во время полета, на которой находится один или несколько микро-РДТТ. Часть модели, не имеющая микро-РДТТ, не считается ступенью.

Ступени отсчитывают с той, которая начинает работать во время старта модели ракеты (субракеты отсчитывают с последней работающей). Субракетой называется одна ступень или несколько ступеней вместе с

полезным грузом. Полезный груз не рассматривается как часть ступени (рис. 3).

Модель ракеты проектируют таким образом, чтобы она могла совершить несколько полетов. На всех ступенях модели и верхней субракеты должны находиться устройства, замедляющие их спуск на землю, — парашют, ротор, крыло и т. п. (кроме ленты).

При посадке модель ракеты и ее ступени не должны получать существенные повреждения и представлять опасности для людей и материальных ценностей, находящихся на земле. Модели ракет в полете не должны создавать угрозы для самолетов. Производить стрельбу моделями ракет по наземным целям запрещается.

В качестве полезного груза моделей ракет не разрешается использовать взрывчатые и пиротехнические вещества: зажигательные, осветительные и детонирующие, кроме трассеров цветного дыма, чтобы удобно было следить за моделями.

Модели ракет можно изготавливать из дерева, бумаги, резины, небьющейся пластмассы или подобных материалов, без существенных металлических частей.

Выполнять из металла нельзя: головные обтекатели и турбулизаторы, корпуса моделей и направляющие кольца (или другие специальные элементы, предназначенные для скольжения по направляющей), стабилизаторы и штыревые антенны на моделях-копиях (макеты антенн) или другие наружные остронаправленные элементы, а также корпуса пиротехнических систем.

Разрешается изготавливать из металла: электропроводку и другие бортовые электро- и радиоэлементы, шарниры и подшипники в элементах механизации, втулки скольжения и перекося, на моделях-копиях — фермы и рамочные антенны, элементы конструкции и корпуса ИВРДТ (камеры дожигания), если они не являются концевыми стабилизаторами, шпильки и скобы для крепления микро-РДТТ, загрузку для центровки моделей и применять металлизированные синтетические и натуральные материалы. Модель ракеты не должна освобождаться от двигателя (двигателей), если он (они) не включен в ступень, которая имеет систему спасения.

Конструкция модели должна быть такой, чтобы создавались силы, необходимые для удержания модели ракеты на заранее намеченной траектории полета.

## ОСНОВНЫЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ

- Основные геометрические параметры (см. рис. 3) модели ракеты:
- суммарная длина (высота) модели  $L_{\Sigma}$ , мм;
  - длина (высота) головного обтекателя  $l_{г.о.}$ , мм;
  - диаметр модели (диаметр миделевого сечения)  $(d_{мид})$ , мм;
  - размах стабилизаторов  $l_{ст}$ , мм;
  - размах одного пара стабилизатора  $l_1$ , мм;
  - корневая хорда стабилизатора  $v_{корн.}$ , мм;
  - концевая хорда стабилизатора  $v_{конц.}$ , мм;
  - стреловидность передней кромки стабилизатора  $\chi^{\circ}$ ;
  - количество стабилизаторов  $n$ ;
  - площадь стабилизаторов  $S_{\Sigma}$ , мм<sup>2</sup>;
  - удлинение модели  $\lambda = \frac{L_{\Sigma}}{d_{мид}}$ ;
  - удлинение головного обтекателя  $\lambda_{г.о.} = \frac{l_{г.о.}}{d_{г.о.}}$ ;
  - удлинение стабилизатора  $\lambda_{ст} = \frac{l_1^2}{S_1}$ ;
  - конусность головного обтекателя или корпуса модели ракеты  $\phi^{\circ}$ .

## ПЕРВЫЕ ЧЕМПИОНЫ СССР ПО МОДЕЛЯМ РАКЕТ

Всесоюзные соревнования проводились на Черниговщине, на родине талантливого изобретателя Николая Ивановича Кибальчича.

### Результаты чемпионов I Всесоюзных соревнований (1968 год, Чернигов)

Класс модели	Участник	Ко-ман-да	Резу-льтат	Соответствие модели Правилам ФАИ
	М. Пантелеев	Мос-сква	7 мин 39 с	Соответствует
Параплан	Г. Яковлев	Мос-ков-ская обл.	2 мин 24 с	Не соответ-ствует

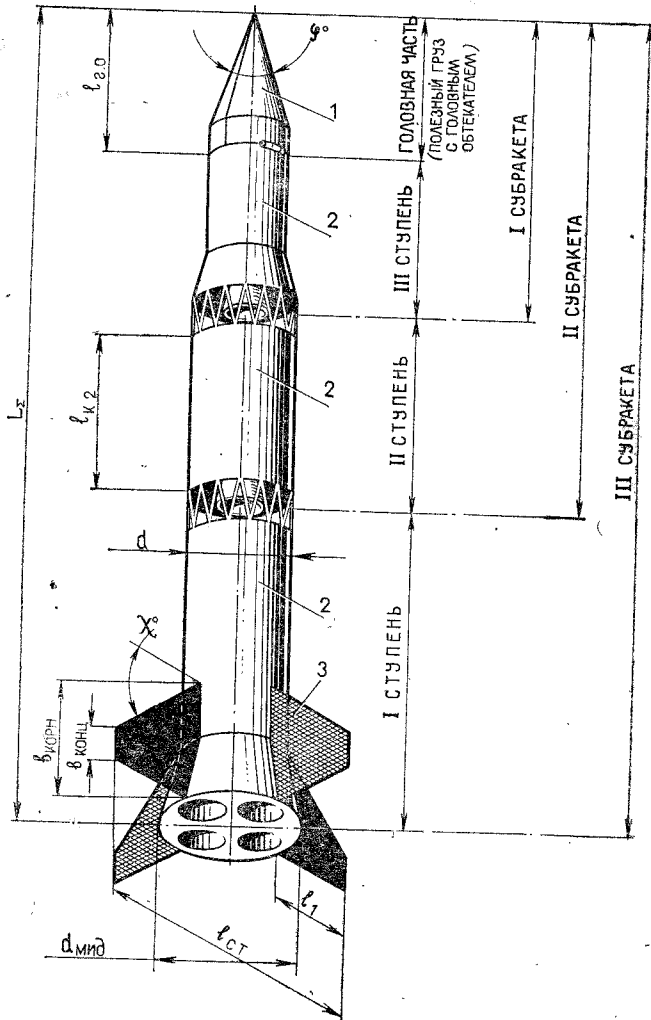


Рис. 3. Основные части модели ракеты и ее геометрические параметры:

1 — головной обтекатель; 2 — корпус; 3 — стабилизатор



Продолжение

Класс модели	Участник	Команда	Результат	Соответствие модели Правилам ФАИ
Двухступенчатая, на высоту	Ю. Солдатов	Московская обл.	427 м	Не соответствует
Копия РН КК*	Н. Курастикова	То же	167 очков	То же

II Всесоюзные соревнования были организованы в Калуге, где прошла жизнь и деятельность выдающегося ученого и изобретателя, основоположника науки об исследовании и завоевании космоса Константина Эдуардовича Циолковского.

Результаты чемпионов II Всесоюзных соревнований  
(1969 год, Калуга)

Класс модели	Участник	Команда	Результат	Соответствие модели Правилам ФАИ
П-2	Ш. Мехтиев	Азербайджанская ССР	9 мин 57 с	Соответствует
Одинарный	Бычков	Московская обл.	330 м	То же
Двойной	Шутибидзе	Грузинская ССР	369 м	Не соответствует
Ракетоплан «Ястреб»	А. Герасимов	Москва	3 мин 11 с	Соответствует
Копия РН КК	К. Бразис	Литовская ССР	3 мин 45 с	Не соответствует

III Всесоюзные соревнования прошли в Житомире, на родине Главного конструктора ракетно-космических систем Сергея Павловича Королева.

\* Ракета-носитель космического корабля.

Результаты чемпионов III Всесоюзных соревнований  
(1970 год, Житомир)

Класс модели	Участник	Команда	Результат	Соответствие модели Правилам ФАИ
П-2	Г. Дабашинкас	Литовская ССР	10 мин 12 с	Соответствует
Ракетоплан «Ястреб»	Б. Перепадя	г. Короп	7 мин 07 с	То же
Ракетоплан «Орел»	П. Дайненко	Белорусская ССР	10 мин 00 с	» »
Бония К-2	А. Шумков	Украинская ССР	320 м 1206 очков	» »
Бония К-3	Р. Вильчинскас	Литовская ССР	283 м 1162 очка	Не соответствует
Бония РН КК	В. Заболоцкий	Житомир	460 м 1365 очков	То же

IV Всесоюзные соревнования проводились на Смоленщине, на родине первого летчика-космонавта Юрия Алексеевича Гагарина.

Результаты чемпионов IV Всесоюзных соревнований  
(1971 год, Смоленск)

Класс модели	Участник	Команда	Результат	Соответствие модели Правилам ФАИ
П-2	Ю. Савин	УССР	7 мин 32 с	Соответствует
Ракетоплан «Ястреб»	Н. Коровин	Москва	2 мин 29 с	То же
Ракетоплан «Орел»	С. Данилов	Латвийская ССР	5 мин 44 с	» »
Бония К-2	А. Балашов	РСФСР-1	624 м 1415 очков	Не соответствует
Бония К-3	А. Гурин	Ленинград	415 м 1298 очков	То же
Бония РН КК	Г. Патек	Житомир	683 м 1560 очков	» »

**Результаты чемпионов II Всероссийских соревнований  
школьников по ракетно-космическому моделизму  
(1971 год, Баксаны)**

Класс модели	Участник	Команда	Результат	Соответствие модели Правилам ФАИ
П-2	В. Дмитриев	Калужская обл.	27 мин 01 с	Соответствует
Ракетоплан «Ястреб»	В. Рыков	Удмуртская АССР	4 мин 10 с	То же
Ракетоплан «Орел»	Е. Аникеева	ЦСЮТ РСФСР	14 мин 40 с	» »
Копия К-2	В. Чернов	ЦСЮТ РСФСР	507 м 1439 очков	» »
Копия К-3	А. Авдеев	Московская обл.	238 м 1139 очков	Не соответствует
Копия РК К-4	Н. Филиппов	ЦСЮТ РСФСР	632 м 1460 очков	Соответствует

**Глава 4.**

**ПРОВЕДЕНИЕ ЗАНЯТИЙ ПО  
АЭРОДИНАМИКЕ ПОЛЕТА МОДЕЛЕЙ  
РАКЕТ**

**Аэродинамика** — это наука, изучающая законы движения воздуха и механическое воздействие, возникающее между воздухом и движущимся в нем твердым или упругим телом. Она является теоретической основой большинства наук, которые изучают природу полета летательных аппаратов различных схем. В ней имеется несколько разделов.

Раздел аэродинамики, рассматривающий воздух как несжимаемую, так называемую капельную жидкость, называется **гидроаэродинамикой**. Рассматривать воздух в виде капельной жидкости можно при малой скорости его движения.

При скорости движения воздуха, близкой и большей скорости распространения звука, появляется сжимае-

мость воздуха, т. е. он ведет себя как газ. Изучением движения газа с большой скоростью занимается **аэродинамика больших скоростей** или **газогидродинамика**.

Обтекание тел при очень больших, так называемых **гиперзвуковых скоростях**, которые в пять или более раз превышают скорость звука, изучается разделом **аэродинамики**, называемым **гипераэродинамикой**.

Обтекание тел сильно разреженным газом, встречающимся на больших высотах, рассматривается **аэродинамикой разреженных газов**.

Модели ракет летают на малых скоростях, поэтому не будут интересовать законы и спектры обтекания гидродинамики.

**ВОЗДУШНЫЙ ОКЕАН И ЕГО МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ  
ПАРАМЕТРЫ**

При полете модели ракеты среди других сил, действующих на нее, действует и сила лобового сопротивления, вызванная сопротивлением среды, в которой движется модель. Чем эта сила меньше, тем выше летит модель ракеты. В формуле силы лобового сопротивления метеорологический параметр — это плотность воздуха. Поэтому нельзя говорить о законах аэродинамики, не рассмотрев среду, в которой происходит полет модели.

Из формулы лобового сопротивления  $X = c_x \frac{\rho V^2}{2} S$  следует, что сила лобового сопротивления прямо пропорциональна плотности воздуха. Следовательно, при увеличении плотности воздуха на 1% сила лобового сопротивления увеличится тоже на 1%.

Плотность воздуха, в свою очередь, зависит от давления атмосферы, температуры воздуха и его влажности. При увеличении давления на 1 мм лобовое сопротивление и плотность воздуха увеличиваются на 0,133%, при увеличении температуры на 1°C лобовое сопротивление и плотность воздуха уменьшаются на 0,347%, при увеличении влажности (при  $t+15^\circ\text{C}$ ) на 1% лобовое сопротивление и плотность воздуха уменьшаются на 0,006%.

Из формулы  $\rho = \frac{p}{gRT}$  видно, что влияние увеличения давления и температуры на величину массовой плот-

ности воздуха противоположно. Поэтому возможны случаи как постоянства плотности воздуха с высотой, так иногда и ее возрастание. Это зависит от вертикального градиента температуры. Под градиентом понимают пространственную быстроту изменения любой величины, но не быстроту изменения этой любой величины во времени. Вертикальный градиент температуры в среднем равен  $0,6^{\circ}/100$  м, при таких условиях плотность воздуха с высотой убывает. При значении градиента  $3,4^{\circ}/100$  м и более плотность воздуха с высотой будет расти. Подобные градиенты температуры наблюдаются только в приземном слое воздуха. В таком случае плотность воздуха резко возрастает с высотой, возникает мощная конвекция (восходящие и нисходящие потоки).

**Атмосферное давление.** Воздух, окружающий земной шар, имеет вес и поэтому оказывает давление на земную поверхность и предметы, находящиеся на ней.

Атмосферное давление — очень изменчивый метеорологический параметр. Иногда оно меняется очень быстро во времени, иногда долго остается постоянным. Колебания давления, не имеющие определенной закономерности в суточном или годовом ходе, относятся к неперiodическим.

В суточном ходе давления обнаруживаются два максимума и два минимума. Максимум давления наступает около 10 и 22 часов по местному времени, а минимум давления — около 4 и 16 часов. В умеренных широтах суточный ход атмосферного давления порядка  $0,3—0,6$  мбар. На рис. 4, а показаны кривые суточного хода атмосферного давления на различных широтах. Дневной минимум выражен резче, чем ночной, а утренний максимум больше вечернего. Наибольшая межсуточная изменчивость давления бывает зимой над океаном, наименьшая — летом над материком.

**Температура воздуха.** Суточный ход температуры воздуха представляет собой простое колебание с одним максимумом и одним минимумом. Максимальная температура наступает в 14—15 часов, а минимальная — перед восходом солнца (рис. 4, б).

Различия в характере растительного покрова на суше оказывают влияние на амплитуду суточного хода температуры воздуха. Над увлажненными местами (растительностью, болотами) суточные колебания сглажены,

умеренны, наоборот, в степях и пустынях (в сухом воздухе) — повышены.

Суточная амплитуда температуры воздуха больше над пыльной почвой, чем над глинистой, и больше над темными и рыхлыми почвами, чем над светлыми и плотными.

В облачные дни величина суточных колебаний температуры воздуха меньше, чем в ясные.

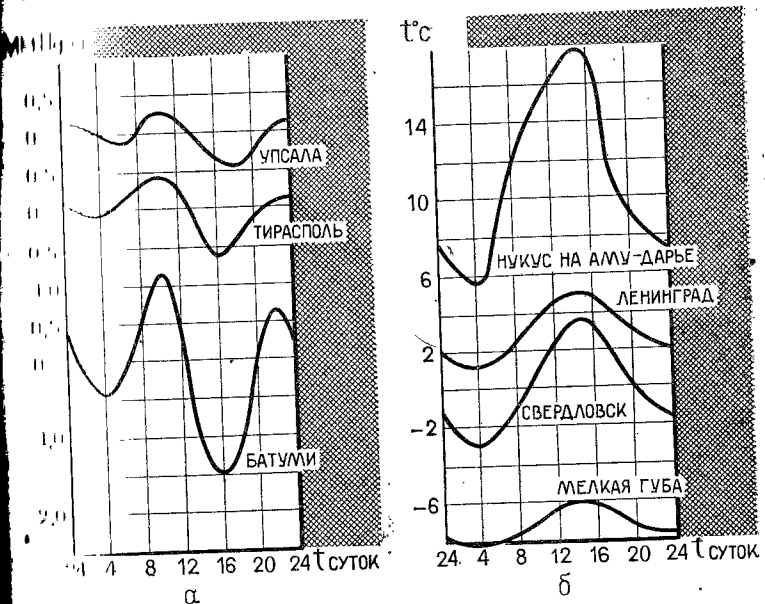


Рис. 4. Суточный ход метеорологических параметров на разных широтах:  
а — давление; б — температура

Существенно отличается тепловой режим города от других мест. В результате ослабленного перемешивания слоев воздуха и повышенной теплоотдачи мостовыми и стенами зданий температура в городе всегда выше по сравнению с окрестностями. Это различие особенно велико вечером, когда здания, сильно нагретые днем, постепенно отдают свое тепло воздуху.

Летом увеличению температуры воздуха в городе способствует еще и то, что затраты тепла на испарение

малы и подстилающая поверхность (крыши, мостовые тротуары) большую часть тепла отдает воздуху. Зимой более высокой температуре воздуха способствует помутнение атмосферы вследствие выбрасывания в воздух большого количества копоти и дыма.

Все эти особенности содействуют тому, что средние годовые температуры воздуха в городах выше, чем в окрестностях на 0,5—1°. Чем крупнее город и больше его застройка, тем выше его температура по сравнению с окрестностями.

Зная и понимая суточные колебания температуры воздуха, можно разобраться в таких атмосферных явлениях, как восходящие и нисходящие потоки. Все рекордные полеты парашютирующих моделей ракет и планирующих ракетопланов на время полета связаны самым непосредственным образом с термическими восходящими потоками.

**Испарение и влажность воздуха.** Суточный ход скорости испарений большей частью параллелен суточному ходу температуры. Наибольшее испарение наблюдается в околополуденные часы, наименьшее — перед восходом солнца. Это объясняется тем, что с повышением температуры увеличивается упругость насыщенного водяными парами воздуха, а следовательно, увеличивается и дефицит влажности, от которого зависит величина испарения.

Также влияет на испарение суточный ход ветра. Днем скорость ветра увеличивается, увеличивается и перемешивание слоев воздуха, возникают условия, способствующие повышению скорости испарения. Ночью перемешивание слоев воздуха уменьшается, воздух у земной поверхности становится близким к насыщению и испарение сильно снижается или же прекращается совсем.

Поэтому там, где резко выражен суточный ход скорости ветра, наблюдаются и значительные колебания испарения. Летом суточный ход испарения выражен более резко, чем зимой.

Заметное влияние на влажность воздуха оказывают большие города. Как упругость насыщенного водяными парами воздуха, так и относительная влажность в городах значительно ниже, чем в окрестностях. Это объясняется тем, что покрытая камнем и асфальтом территория города очень мало удерживает на своей поверхности выпавших осадков: большая часть воды стекает в канали-

зающую сеть и лишь небольшое количество воды остается в воздухе в виде испарения. В течение же времени более высокие температуры способствуют испарению, а следовательно, относительной влажности.

Влажность воздуха влияет на надежность парашютных систем и аэродинамические свойства материалов, а также на производство размеров микроскопических материалов (рис. 5).

**Плотность воздуха.** Плотностью воздуха называется постоянная масса, содержащаяся в единице объема. Из уравнения состояния имеем  $\gamma = \frac{P}{RT}$ , т. е. плотность воздуха прямо пропорциональна давлению и обратно пропорциональна абсолютной температуре.

Для расчетов газовую постоянную  $R$  берут для сухого воздуха при нормальных условиях. В качестве таких нормальных температура +15°C и давление 760 мм Hg столба. Плотность воздуха при низких температурах очень мало отличается от плотности сухого воздуха. При высоких температурах и большой насыщенности воздуха водяным паром разности плотностей сухого и влажного воздуха могут достигать значительных величин.

Заменяя действительную температуру воздуха виртуальной, можно использовать уравнение состояния и другие соотношения, выведенные для сухого воздуха, для влажного воздуха, чтобы рассчитать истинную плотность.

Виртуальной называется температура, которую должен иметь сухой воздух, чтобы его плотность была равна плотности влажного воздуха при том же давлении. Виртуальную температуру определяют по формуле  $t_v = t \left( 1 + 0,378 \frac{e}{p} \right)$ . Из уравнения состояния можно

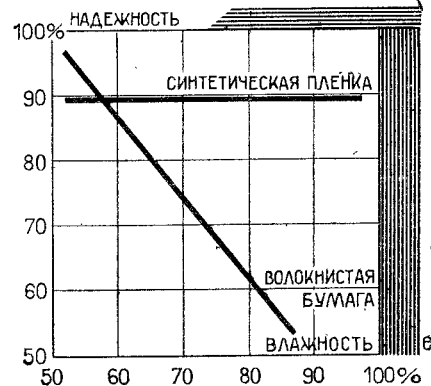


Рис. 5. Зависимость надежности осевого выхода парашюта от влажности воздуха

**Стандартная атмосфера**  
(Изменение метеорологических параметров с высотой)

Высота <i>H</i> , м	Температура		Давление, <i>p</i>		Плотность воздуха $\rho$ $\frac{\text{кг} \cdot \text{с}^2}{\text{м}^4}$	$\Delta = \frac{\rho_H}{\rho_0}$	$\sqrt{\Delta}$	Вязкость		Скорость звука <i>a</i> , м/с
	<i>t</i> °С	<i>t</i> °К	мм. Hg. ст.	м бар				$10^6 \cdot \nu$ , с	$\frac{\text{м}^2}{\text{с}}$	
0	15,0	288,0	760,0	1013,2	0,125	1,000	1,000	14,57	340,3	
25	14,85	287,85	758,0	1010,7	0,1248	0,9985	0,9992	—	340,2	
50	14,7	287,7	756,0	1007,9	0,1245	0,996	0,998	14,575	340,08	
75	14,55	287,55	753,0	1003,9	0,1242	0,994	0,997	—	339,97	
100	14,4	287,4	751,0	1001,2	0,124	0,992	0,996	14,58	339,86	
150	14,1	287,1	747,0	995,9	0,1233	0,987	0,9935	14,62	339,64	
200	13,8	286,8	743,0	990,6	0,1227	0,981	0,9905	14,70	339,42	
250	13,5	286,5	739,0	985,2	0,122	0,976	0,9879	14,77	339,3	
300	13,2	286,2	734,0	978,6	0,1212	0,970	0,9849	14,85	338,98	
400	12,6	285,6	725,0	966,6	0,1196	0,958	0,9788	15,00	338,54	
500	11,8	284,8	716,0	954,6	0,119	0,953	0,9762	15,15	338,10	
1000	8,5	281,5	674,0	898,6	0,113	0,907	0,9524	15,77	336,4	

рассчитать вес 1 м<sup>3</sup> воздуха при нормальных условиях:  
 $\rho = 0,465 \frac{\rho}{T}$ ,  $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ . В аэродинамике используют массовую плотность воздуха  $\rho$ , которая равняется  $\rho = \frac{\gamma}{g} = 0,465 \cdot \frac{\rho}{T} = 0,0474 \frac{\rho}{T}$ . Для нормальных условий массовая плотность воздуха равна  $\rho = 0,0474 \frac{760}{273 + 15} = 0,125 \frac{\text{кг} \cdot \text{с}^2}{\text{м}^4}$ .

Имея фактические замеры температуры (виртуальной) и давления, можно подсчитать фактическую массовую плотность воздуха.

Массовая плотность воздуха входит во все аэродинамические расчеты: в формулы подъемной силы  $Y = c_y \frac{\rho V^2}{2} S$  и лобового сопротивления  $X = c_x \frac{\rho V^2}{2} S$ .

Зная метеорологические параметры атмосферы, можно правильно выбрать место для тренировок, соревнования и время.

Так как с подъемом на высоту метеорологические параметры меняются, то это необходимо учитывать при расчете модели, которая будет летать на заданной высоте (табл. 2).

#### НЕКОТОРЫЕ ПОНЯТИЯ О ГИДРОАЭРОДИНАМИКЕ

**Основные законы гидроаэродинамики.** При изучении движения жидкости и газов и их взаимодействия с твердыми телами аэродинамика не учитывает молекулярного строения среды, а рассматривает жидкости и газы как сплошную среду с непрерывным распределением этого вещества в пространстве.

Закон сохранения массы и закон сохранения энергии — наиболее общие законы физики, распространяющиеся на все физические явления. Эти законы основные в аэродинамике.

Из закона сохранения массы получают уравнение неразрывности для струйки газа: средняя скорость движения газа в струйке обратно пропорциональна площади ее поперечного сечения  $V = \frac{\text{const}}{F}$ . Таким образом, в струйке несжимаемого газа при увеличении поперечного

сечения струйки скорость течения уменьшится пропорционально.

Из закона сохранения энергии выводят уравнение энергии (уравнение Бернулли для струйки несжимаемого газа), которое после ряда преобразований примет вид:

$$p + \frac{\rho V^2}{2} + \rho gh = \text{const},$$

где  $\frac{\rho V^2}{2}$  — кинетическая энергия единиц объема газа (динамическое давление или скоростной напор —  $q$ );

$p$  — потенциальная энергия давления, приходящаяся на единицу объема (статическое давление);

$\rho gh$  — потенциальная энергия единицы объема, возникающая от земного притяжения (весовое давление). В аэродинамике ее, как правило, не учитывают.

Сумма этих величин представляет собой полную механическую энергию единицы объема газа.

Закон Бернулли — это установившееся движение идеального, несжимаемого газа, сумма кинетической и потенциальной энергии объема которого есть величина постоянная во всех сечениях одной и той же струйки.

**Аэродинамическое подобие.** Два явления называются физически подобными, если характеризующие их однородные физические величины находятся в одинаковом отношении в любых сходных точках пространства. Для соблюдения подобия аэродинамических явлений необходимо, чтобы тела были геометрически, кинематически и динамически подобны.

Ракетомodelисту-экспериментатору нужно усвоить основные положения теории подобия, чтобы правильно переносить результаты экспериментов с модели на модель. Важность применения этой теории вызвана тем, что внешние условия среды и параметры (летающего объекта) различны для разных моделей. В силу этого различными оказываются и соотношения действующих сил, и результаты их действия.

В аэродинамике действуют силы разного рода: трения, давления, инерции и другие. Критерием частичного динамического подобия называется отношение двух любых разнородных сил. Число частичных критериев опре-

деляется числом видов действующих сил. При соблюдении этих частичных критериев динамического подобия обеспечивается полное динамическое подобие.

Рассмотрим наиболее важные для нас критерии частичного динамического подобия.

Отношение сил инерции к силам вязкости (условие подобия по силам трения) называется числом Рейнольдса  $Re$ :

$$Re = \frac{Vb}{\nu},$$

где  $V$  — скорость набегающего потока, м/с;

$b$  — размер тела вдоль движения потока, м;

$\nu$  — кинематический коэффициент вязкости среды, м<sup>2</sup>/с.

Английский физик О. Рейнольдс объяснял своим ученикам физический смысл предложенного им критерия подобия. Жидкость можно уподобить отряду солдат, ламинарное течение — четкому походному строю, турбулентное — беспорядочному движению. Скорость жидкости и диаметр трубы — это скорость и величина отряда. Вязкость — дисциплина, плотность — вооружение. Чем больше отряд, чем быстрее маневры, и чем тяжелее вооружение, тем раньше расстраивается походный порядок. И также в жидкости турбулентность возникает тем быстрее, чем жидкость тяжелее, чем меньше ее вязкость и больше скорость и чем больше диаметр трубы».

Отношение сил тяжести к силам инерции называется числом Фруда  $F$ :

$$F = \frac{V^2}{gb},$$

где  $g$  — ускорение силы тяжести, м/с<sup>2</sup>.

Отношение сил давления к силам инерции называется числом Эйлера  $E$ :

$$E = \frac{p - p_\infty}{\rho \frac{V^2}{2}},$$

где  $\rho$  — массовая плотность среды, кг · с<sup>2</sup>/м<sup>4</sup>;

$p - p_\infty$  — давление соответственно в данной точке и вдали перед телом.

При скоростях полета, приближающихся к звуковым, необходимо еще соблюдать условие подобия, связанное с сжимаемостью потока. Условие — число Маха  $Ma$

сводится к следующему равенству:

$$M = \frac{V_\infty}{a_\infty},$$

где  $a_\infty$  — скорость звука в набегающем потоке, м/с.

Для циклических процессов (взмахи крыла модели орнитоптера), происходящих в потоке воздуха, нужно соблюдать условие кинематического подобия, которое требует равенство чисел Струхала  $S$ :

$$S = \frac{VT}{b},$$

где  $V$  — скорость, м/с;

$T$  — период одного цикла, с;

$b$  — характерный размер, м.

В теории роторов критерий подобия Струхала записывается в другой форме и называется относительной поступью ротора  $\lambda$ :

$$S = \lambda = \frac{V}{n_s D},$$

где  $n_s$  — число оборотов ротора, об/с;

$D$  — диаметр ротора, м;

$V$  — скорость осевого потока, м/с.

При равенстве чисел  $\lambda$  характеристики двух различных роторов по  $V$ ,  $n_s$  и  $D$  можно сравнивать между собой.

Удовлетворить равенство по всем критериям подобия практически невозможно. Так, например, если размеры моделей неодинаковы, выполнить равенство чисел  $M$  и  $Re$  одновременно у них нельзя.

Поэтому на практике приходится выдерживать равенство только тех критериев подобия, которые являются самыми важными для данного опыта. Например, при исследовании срывных явлений на малых и средних скоростях полета определяющим считают  $Re$  опыта, а число  $M$  теряет смысл из-за отсутствия сжимаемости.

Разумное сокращение числа критериев подобия, равенство которых необходимо выдерживать при эксперименте, в значительной мере упрощает моделирование сложных процессов.

### ОБ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ СПЕКТРАХ ОБТЕКАНИЯ

При изучении сложных явлений очень помогает наблюдение за линиями тока и траекториями движения

частиц, которые можно фотографировать. Для этого в обтекающий тело поток вводят какие-либо частицы (например, цветной пыль), дающие при съемке с малой выдержкой картину линий тока, а при съемке с большой выдержкой — траектории частиц.

Изучение аэродинамических спектров помогает правильно понять физическую сущность явлений обтекания. На рис. 6 показаны воспроизведенные по фотографии спектры обтекания потоком воздуха тел различных по форме тел. Наиболее плавный спектр обтекания с небольшим завихрением потока за телом имеет каплевидную форму. Такие тела в аэродинамике называются удобообтекаемыми.

Тела неплавной формы (например, плоская пластинка, поставленная поперек потока) вызывают наиболее интенсивный изгиб линий тока и мощное образование за телом вихрей. Такие тела называются плохообтекаемыми. Возникновение за телом области вихрей — одна из причин образования силы сопротивления, возникающей у тела в потоке воздуха. Чем больше и интенсивнее вихре-

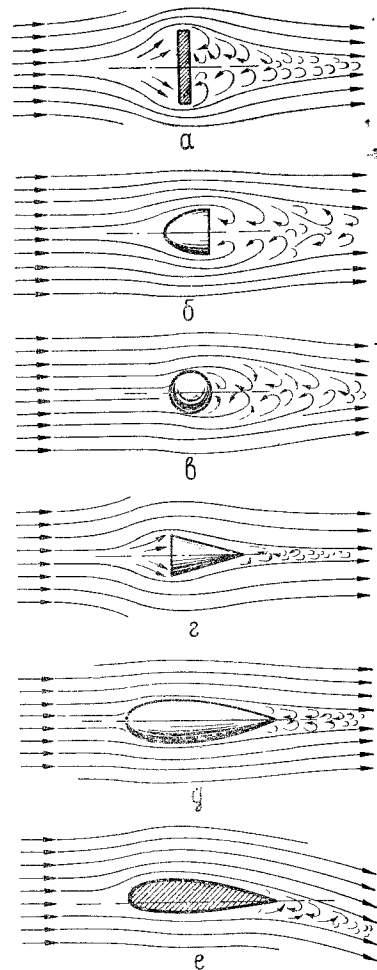


Рис. 6. Аэродинамические спектры обтекания тел разной формы:

$a$  — плоской пластинки;  $б$  — парабоида;  $в$  — шара;  $г$  — конуса;  $е$  — каплевидного тела;  $е$  — несимметричного профиля крыла

образование за телом, тем больше сила его сопротивления.

Спектры обтекания зависят не только от формы и размеров тела, но и от ориентации его по отношению к набегающему потоку, величины скорости набегающего потока и среды, которая обтекает тело.

**Пограничный слой.** Пограничным слоем называется тонкий слой заторможенного воздуха, образующегося на поверхности тел, обтекаемых его потоком.

Рассмотрим образование пограничного слоя при обтекании вязким газом (жидкостью) плоской пластинки, установленной вдоль по потоку (рис. 7). Скорость набе-

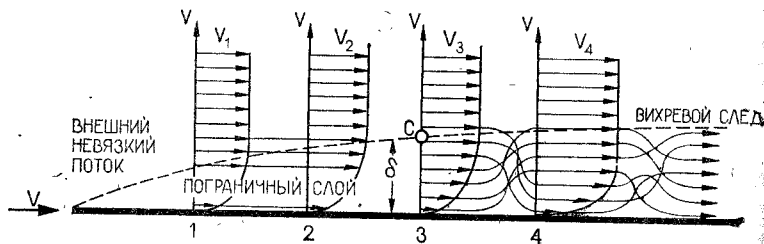


Рис. 7. Схема образования пограничного слоя на плоской пластинке

гающего потока обозначим  $V$ . Частицы воздуха, проходящие очень близко от поверхности пластинки, испытывают сильное торможение ввиду большой разности скоростей между слоями. Измеряя скорость потока в различных точках какого-либо сечения, перпендикулярного пластинке (например, сечение 3), можно установить, что, начиная от некоторой точки  $C$  вблизи поверхности пластинки, скорость потока при приближении к пластинке уменьшается и на самой ее поверхности становится равной нулю. Распределение скоростей и во всех других сечениях совершенно аналогично. Расстояние  $\delta$  по нормали от поверхности пластинки, на котором происходит это уменьшение скорости, называется толщиной пограничного слоя. Толщина пограничного слоя у летающих моделей в среднем составляет:  $\delta = 0,5 - 2$  мм. На поверхности пластинки толщина пограничного слоя непрерывно возрастает по направлению к ее задней кромке. На рис. 7 для наглядности толщина пограничного слоя показана в увеличенном масштабе. Под «границей»

пограничного слоя понимают условную поверхность, на которой скорость частиц пограничного слоя пластинки становится равной скорости набегающего потока. Слово «граница» взято в кавычки, так как реально такой не существует, условно ее принимают там, где  $(V_x/V_\infty)_{y=\delta} = 0,99$ . Скорость частиц пограничного слоя по мере удаления от поверхности пластинки приближается к скорости невозмущенного потока асимптотически. Вне пограничного слоя течение можно считать невязким.

На верхней границе пограничного слоя в разных точках поверхности тела местная скорость обтекания различна. Если известна картина распределения давления вдоль поверхности тела, то величину местной скорости  $V_1$  в сечении  $I$  вне пограничного слоя можно определить, воспользуясь уравнением Бернулли:

$$p_\infty + \frac{\rho V_\infty^2}{2} = p_1 + \frac{\rho V_1^2}{2},$$

где  $p_\infty$  — статическое давление набегающего невозмущенного потока;

$V_\infty$  — скорость этого потока.

Перепишем уравнение Бернулли в следующем виде:

$$p_1 = \frac{\rho V_\infty^2}{2} - (p_1 - p_\infty) \quad \text{или} \quad \frac{\rho \frac{V_1^2}{2}}{\rho \frac{V_\infty^2}{2}} = 1 - \frac{p_1 - p_\infty}{\rho \frac{V_\infty^2}{2}}.$$

Разность давлений  $(p_1 - p_\infty)$  есть не что иное, как избыточное давление на поверхности в сечении  $I$ . Отношение  $\frac{p_1 - p_\infty}{\rho \frac{V_\infty^2}{2}} = \overline{p}_1$  называется коэффициентом

давления в сечении  $I$ . Теперь величину местной скорости можно определить по формуле  $V_1 = V_\infty \sqrt{1 - \overline{p}_1}$ . По этой формуле подсчитывают и величину местной скорости внешнего потока в любом сечении. Чтобы найти эту величину, например, в сечениях 2 и 3, в формулу нужно вместо  $p_1$  подставить соответственно значения коэффициентов давления  $p_2$  и  $p_3$ .

Полученные скорости в сечениях 1, 2, 3 — это скорости на внешней границе пограничного слоя. В самом пограничном слое скорости в этих сечениях будут умень-



шаться от соответствующих величин местных скоростей  $V_1, V_2, V_3$  до нуля.

Таким образом, в общем случае обтекания тела с любой поверхностью под пограничным слоем поднимается непосредственно прилегающий к поверхности тела тонкий слой воздуха, скорость которого изменяется от значения местной скорости внешнего потока на «границе» пограничного слоя до нуля на поверхности тела.

Характер движения частиц воздуха в пограничном слое отличается от характера их движения вне этого слоя. В пограничном слое вследствие разности скоростей частицы приходят во вращательное движение (см. рис. 7, сечение 4). Вращение частиц тем интенсивнее, чем ближе к поверхности тела они находятся. Вне пограничного слоя частицы не вращаются, если поток, обтекающий тело, не завихрен. Пограничный слой всегда завихрен и поэтому его называют также слоем поперечного завихрения.

Частицы воздуха из пограничного слоя уносятся далее потоком в область, расположенную позади обтекаемого тела и называемую спутной струей или вихревым следом. Следовательно, весь поток вокруг тела можно разделить на три области: пограничного слоя, вихревого следа и внешнего невязкого потока. Скорость частиц в спутной струе обычно всегда меньше скорости внешнего потока, так как частицы попадают в вихревой след из пограничного слоя уже несколько приторможенными.

В вихревом следе наблюдается завихренность воздуха, которая сглаживается по мере удаления вихревого следа от тела. Вне пограничного слоя и вихревого следа за телом относительной разницы скоростей между слоями практически нет, и сила внутреннего трения из-за вязкости в области внешнего невязкого потока не проявляется.

Если воздух в пограничном слое течет спокойно в виде отдельных слоев, то такой пограничный слой называется ламинарным (см. рис. 7, сечения 1, 2, 3). Это название не означает, что пограничный слой не завихрен, оно лишь показывает, что движение воздуха упорядочено, слои не смешиваются, частицы вращаются только вокруг осей, перпендикулярных плоскости потока, оставаясь все время в пределах одного и того же беско-

нечно тонкого слоя, перемещения частиц в поперечном направлении нет.

Если в пограничном слое происходит энергичное перемешивание частиц в поперечном направлении и весь пограничный слой беспорядочно завихрен, то такой пограничный слой называется турбулентным (см. рис. 7, сечение 4).

В большинстве практических случаев структура пограничного слоя такова, что у передней части обтекаемого тела, например, у передней кромки пластинки, образуется ламинарный пограничный слой  $a$ , который затем переходит в турбулентный  $b$ . Такой пограничный слой называется смешанным  $в$  (рис. 8).

Переход ламинарного слоя в турбулентное состояние совершается на некотором участке  $AB$  пластинки (см. рис. 8,  $в$ ).

В практических условиях явление перехода несколько схематизируют и считают, что переход ламинарного слоя в турбулентный происходит мгновенно в некоторой точке  $T$ , называемой точкой перехода (рис. 8,  $г$ ).

Положение точки перехода на пластинке (координата  $x_T$ ) зависит от  $Re$ . Если в формулу, определяющую величину  $Re$ , ввести в качестве линейного размера расстояние от точки перехода до носка обтекания  $x_T$ , то  $Re$  остается величиной постоянной. Это  $Re$  характеризует переход ламинарного слоя в турбулентный. Оно называется критическим числом Рейнольдса и обозначается  $Re_{кр}$ .

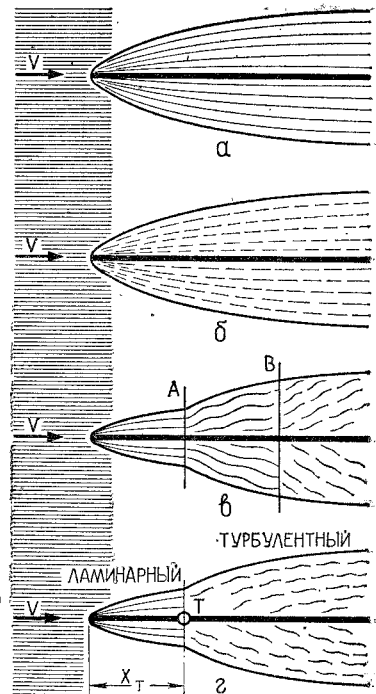


Рис. 8. Схемы пограничных слоев:

$a$  — ламинарного;  $б$  — турбулентного;  $в$  — смешанного (переход ламинарного слоя в турбулентное состояние);  $г$  — мгновенный переход ламинарного слоя в турбулентное состояние

Турбулентный пограничный слой пока не поддается точному теоретическому анализу. Для ламинарного пограничного слоя приближенные решения найдены только для простейших случаев обтекания. В турбулентном пограничном слое возрастание скорости по мере удаленности от поверхности пластинки (по мере увеличения координаты  $y$ ) происходит значительно быстрее, чем в ламинарном, а профиль скоростей получается более полным (см. рис. 7, сечение 4). Толщина турбулентного пограничного слоя вдоль поверхности обтекаемого тела возрастает быстрее, чем ламинарного.

### ОСОБЕННОСТИ АЭРОДИНАМИКИ ПРИ МАЛЫХ ЧИСЛАХ РЕЙНОЛЬДСА ДЛЯ МОДЕЛЕЙ РАКЕТ

Характер обтекания моделей ракет аналогичен характеру обтекания шара. На стороне шара, находящейся под воздействием набегающего потока, в передней критической точке наблюдается избыточное давление — плюс (+), при приближении к экватору шара — пониженное давление — минус (—), вызванное превращением энергии давления в кинетическую энергию. В свободном от трения воздухе (т. е. в воздухе без вязкости) на обратной стороне шара кинетическая энергия потока вновь превращается в энергию давления — плюс (+) там возникает вторая критическая точка повышенного давления. Сопротивление шара равняется нулю, так как в данном случае давление на передней и задней сторонах шара уравнивается. Образование пограничного слоя, вызванное вязкостью воздушного потока, является, как известно, причиной возникновения сопротивления формы и сопротивления трения.

В зависимости от того ламинарен поток или турбулентен оказываются различными сопротивления и картины обтекания.

Ламинарное (докритическое) состояние пограничного слоя не имеет ничего общего с идеальной картиной обтекания свободного от трения воздуха. Срыв потока наблюдается уже на экваторе, так как ламинарный пограничный слой не может преодолеть возникающее там изменение давления от минуса (—) к плюсу (+). В большом вихревом пространстве на задней стороне шара на-

блюдается пониженное давление — минус (—) (рис. 9, а).

При определенной критической скорости и соответственно  $Re_{кр}$  пограничный слой на лобовой поверхности шара ламинарный на небольшом участке, а затем пре-

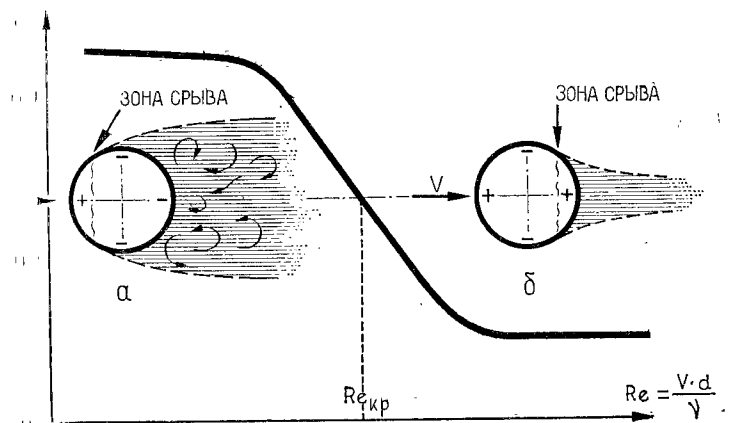


Рис 9. Характер обтекания шара и его  $C_x$

а — при докритическом обтекании (пограничный слой ламинарный); б — при закритическом обтекании (пограничный слой турбулентный)

превращается в турбулентный. Это происходит при ламинарном потоке, обтекающем шар с совершенно гладкой поверхностью при  $Re=410\,000$ . Причем зона перехода расположена перед зоной срыва и ламинарный участок увеличивается с увеличением скорости.

Турбулентный (закритический) пограничный слой (рис. 9, б) имеет такую особенность: он может с помощью небольших вихрей переносить энергию (скорость) внешнего потока в заторможенный слой. Благодаря большой скорости этот слой частично преодолевает понижение давления на задней стороне шара. Отрыв потока прекращается, происходит прилегание потока, в значительно уменьшившейся вихревой зоне устанавливается избыточное давление и  $C_x$  уменьшается с 0,48 до 0,08, т. е. в шесть раз. Это свойство закритического состояния потока называется эффектом турбулентности.

Переход от ламинарного обтекания к турбулентному можно получить при малых  $Re$  с помощью турбулизато-

ра, выполненного в виде проволочного кольца и помещенного перед зоной срыва. Подобное же действие оказывает шероховатость верхней поверхности модели или уже турбулентный сам по себе поток.

Переход ламинарного потока в турбулентный происходит при значительно меньших  $Re$  на модели ракеты, чем на шаре, например уже при  $Re=10\,000$ , которое соответствует полету больших бабочек.

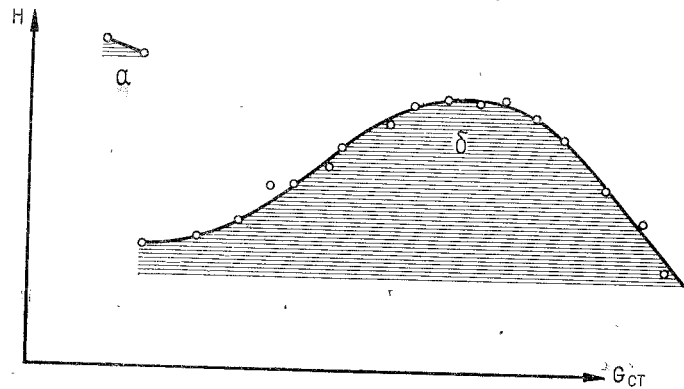


Рис. 10. Баллистическая кривая высоты полета моделей ракет класса К-2 (одноступенчатый вариант): а — с турбулизатором; б — без турбулизатора

Оптимальные летные характеристики можно получить только при закритическом состоянии обтекания, что достигается путем создания искусственной турбулентности.

Анализируя результаты полетов моделей ракет на высоту (модели-копии класса К-2), можно все результаты свести к баллистической кривой оптимального веса модели ракеты в одноступенчатом варианте с суммарным импульсом в  $10\text{ Н}\cdot\text{с}$ . Из этой кривой выпало две точки. Такие модели имели штыревой турбулизатор и малое удлинение корпуса с высокой чистотой поверхности (рис. 10).

**Искусственная турбулизация пограничного слоя.** Наибольшую высоту полета модели ракеты можно получить в том случае, если ее обтекание закритическое. Достигнуть закритического обтекания можно турбулизацией пограничного слоя.

Практические рекомендации. Чтобы получить закритическое обтекание, можно турбулизировать пограничный слой:

- установив штыревой турбулизатор, например, из винипластической присадочной проволоки;
- установив кольцевой турбулизатор на носовом штыре;
- установив турбулизирующее кольцо в виде нити на головном обтекателе;
- изготовив головной обтекатель из шероховатого (пористого) материала, например, из пенопласта, или оклеив его наждачной бумагой;
- спроектировав окна инжектирующей системы, которая, кроме того, будет снижать донное сопротивление.

## СИЛА ЛОБОВОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ

Сила лобового сопротивления — это составляющая общей аэродинамической силы, направленной по оси движения тела в атмосфере, но приложенная в противоположную сторону вектора его скорости.

На рис. 6,а показан спектр обтекания плоской пластинки, поставленной перпендикулярно потоку. Перед передней кромкой поток тормозится и, обтекая ее края, срывается в виде вихрей, образуящих широкий вихревой след.

Вследствие уменьшения скорости перед пластинкой, согласно закону Бернулли, давление на стороне, обращенной к набегающему потоку, повышается, а на противоположной стороне вследствие отсоса воздуха — понижается. В итоге появляется сила, стремящаяся унести пластинку с потоком, и у пластинки возникает сопротивление.

На хорошо обтекаемом теле зона повышенного давления перед телом и пониженного за телом сведена до минимума. Сопротивление при этом падает во много раз. Главную роль в нем начинает играть не давление, а трение поверхности тела о воздух.

По спектру обтекания до некоторой степени судят и о сопротивлении тела.

Измеряя сопротивление тела при различных скоростях, можно составить таблицы и графики. Установлено, что сопротивление тела зависит от определенных его характеристик: формы тела, плотности воздуха и квадрата скорости. Формула сопротивления имеет вид:

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

где  $X$  — сила лобового сопротивления, кг;

$c_x$  — безразмерный коэффициент, характеризующий форму тела и определяемый экспериментально; называется коэффициентом лобового сопротивления;

$S$  — характерный размер тела, за который принимается площадь его наибольшего сечения (м<sup>2</sup>);

$q = \frac{\rho V^2}{2}$  — скоростной напор,  $\frac{\text{кг}}{\text{м}^2}$ .

Для геометрически подобных тел коэффициент  $c_x$  одинаков, если условия работы в разных случаях одинаковы и те же. Последняя оговорка особенно важна для малых скоростей, на которых летают модели.

Если считать, что плотность воздуха у земли постоянна, или, по крайней мере, это величина, на которую мы не можем влиять, то площадь миделевого сечения модели ракеты — это конструктивная величина. И чем меньше она (см. формулу), тем меньше лобовое сопротивление модели. При проектировании модели ракеты необходимо стремиться к ее минимальным абсолютным размерам.

Проектируя модель ракеты, на коэффициент  $c_x$  можно также влиять.

**Конструктивные решения, уменьшающие коэффициент лобового сопротивления.** Прежде чем говорить о конструктивных решениях, необходимо рассмотреть составляющие силы лобового сопротивления для модели ракеты.

Сила лобового сопротивления тела  $X$  независимо от величины угла атаки  $\alpha$  всегда направлена против движения.

Физика возникновения силы  $X$  очень сложна. Лобовое сопротивление — это сумма сил сопротивления, вызываемых различными причинами. Силу  $X$  можно представить как сумму сил  $X$ : профильного, индуктивного и волнового. Коэффициент  $c_x$ , который показывает зависимость лобового сопротивления от угла атаки  $\alpha$ , формы тела (профиля) и его обработки, можно представить в таком виде

$$c_x = c_{xp} + c_{xi} + c_{xw},$$

где  $c_{xp}$  — коэффициент профильного сопротивления;  
 $c_{xi}$  — коэффициент индуктивного сопротивления;  
 $c_{xw}$  — коэффициент волнового сопротивления.

Волновое сопротивление специфично для сверхзвукового движения, которое связано с образованием ударной волны и конусов Маха. Для моделей ракет такие скорости пока недостижимы.

Профильное сопротивление вызывается неравномерностью распределения давления по поверхности тела и трением воздуха о его поверхность. Если пренебречь вязкостью воздуха и считать обтекание абсолютно плавным, то  $X=0$  и тело не будет испытывать ни сопротивления давления, ни сопротивления трения (парадокс Д'Аламбера — Эйлера).

При отсутствии вязкости и срывов потока можно было бы считать, что происходит так называемое теоретическое обтекание тела, когда струи потока сходят с хвостовой его части. При этом поток плавно расширяется в хвостовой части и полностью восстанавливается давление, действующее на носовую часть. Поэтому тело не испытывает разности давления.

Но в случае реального обтекания, ввиду наличия вязкости, абсолютно плавного обтекания не бывает даже у хорошо обтекаемых тел с самой гладкой поверхностью. При расширении струек, обтекающих хвостовую часть, происходят местные отрывы пограничного слоя. В результате этого давление в хвостовой части полностью не восстанавливается, так как образуется зона разрежения и тело испытывает не только трения, но и разности давления. Таким образом, профильное сопротивление складывается из сопротивления трения и давления:  $X_p = X_f + X_{\text{давл}}$ .

#### Сопротивление трения.

Сопротивление трения зависит от формы корпуса, скорости полета, температуры стенки корпуса и шероховатости ее поверхности. Под шероховатостью поверхности обычно понимают наличие выступов или впадин, расстояние между которыми того же порядка, что и их высота или глубина.

При ламинарном пограничном слое шероховатость не оказывает влияния на величину сопротивления трения, так как бугорки шероховатости обтекаются плавно, без образования вихрей.

При турбулентном пограничном слое влияние шероховатости проявляется тем раньше и сильнее, чем боль-

ше относительная шероховатость по отношению к характеру размера тела. При турбулентном пограничном слое сопротивление трения шероховатости в основном будет состоять из сопротивления давления обтекаемых потоком бугорков шероховатостей. Обрыв вихрей, образующийся при обтекании бугорков, способствует смещению точки перехода ламинарного пограничного слоя вперед и, таким образом, увеличению сопротивления трения.

Пограничный слой около корпуса в реальных условиях оказывается смешанным: в передней части ламинарный, в остальной — турбулентный. В соответствии с этим средний коэффициент сопротивления корпуса, рассчитанный по миделеву сечению, равен:

$$c_{xf} = c_{xfk} \cdot \frac{S_{бок}}{S_{мид}} - c_{xfл} \cdot \frac{S_{л}}{S_{мид}} + c'_{xfл} \cdot \frac{S_{л}}{S_{мид}},$$

где  $c_{xfk}$  и  $c_{xfл}$  — коэффициенты турбулентного трения пластинки, первый из которых находят по числу Рейнольдса (подсчитанному по длине корпуса), второй — по числу Рейнольдса, вычисленному по длине ламинарного участка. Величина  $c'_{xfл}$  представляет собой средний коэффициент ламинарного трения пластинки, длина которой равна протяженности ламинарного слоя на корпусе. Величины  $S_{бок}$  и  $S_{л}$  — это соответственно полная боковая поверхность корпуса и часть этой поверхности, соответствующая длине ламинарного слоя.

Практические рекомендации. Чтобы снизить  $c_{xf}$ , необходимо стремиться:

- проектировать модель ракеты с минимально возможной площадью трения модели с набегающим потоком;
- к максимальной чистоте поверхности модели (без шероховатостей).

### Сопротивление давления.

При дозвуковых скоростях распределение давления можно определить с достаточной степенью вероятности экспериментальным путем. При этом для удлиненных корпусов различие между давлениями в несжимаемом и дозвуковом сжимаемом потоках невелико.

Сопротивление давления при малых скоростях полета у хорошо обтекаемых тел, у которых картина обтекания

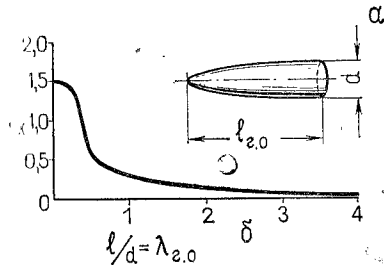
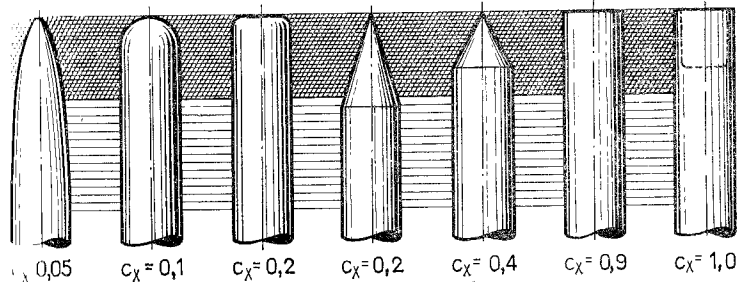
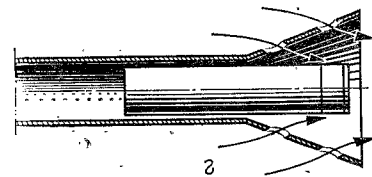
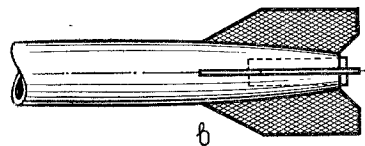


Рис. 11. Конструктивные решения для уменьшения сопротивления давления:

а — формы головных обтекателей; б — удлинение головных обтекателей; в — минимальный донный диаметр; г — проточные каналы в конической части (юбке)



близка к теоретической, составляет незначительную долю всего сопротивления, а у тел с плохо обтекаемой хвостовой частью, имеющих вихревой спектр, может составлять основную часть всего сопротивления (см. рис. 6, б).

Это явление в ракетостроении называется донным сопротивлением, представляя собой составляющую сопротивления давления, и возникает вследствие донного разрыва за кормой.

Практические рекомендации. Чтобы снизить  $c_{х-дав}$ , необходимо проектировать:

- головные обтекатели удобообтекаемой формы (рис. 11,а);
- головные обтекатели достаточного удлинения (рис. 11,б);
- донный срез минимального диаметра (рис. 11,в);
- при расширяющейся конической части (юбке) предусмотреть в ней проточные каналы, через которые идут воздушные потоки (рис. 11,г). Это увеличивает площадь трения о воздух, но в данном случае и в некоторых других — такое решение компромиссное.

Профильное сопротивление подсчитывают по обычной аэродинамической формуле:

$$X_p = c_{xp} \frac{\rho V^2}{2} \cdot S,$$

где  $c_{xp} = c_{xf} + c_{x\text{дав}}$ .

*Влияние струи ракетного двигателя на донное сопротивление.*

Наличие газовой струи работающего двигателя вносит специфические особенности в аэродинамику модели ракеты. В результате действия струи меняются условия образования пограничного слоя, особенно вблизи хвостовой части модели ракеты, и возникает, дополнительный инжектирующий поток вдоль образующей. Степень его влияния на сопротивление давления и трения небольшая и сильно зависит от режима (перерасширения или недорасширения) работы сопла.

Основное влияние оказывает газовая струя на донное сопротивление. За моделью ракеты с работающим двигателем против соплового отверстия нет разреженного пространства. Поэтому в ее сопротивление включается только часть донного сопротивления, соответствующая площади донного среза, окружающего сопло. Картина обтекания существенно меняется (рис. 12, а, б).

Таким образом, при расчетах траектории модели ракеты лобовое сопротивление берется различным в зависимости от того, идет ли речь при всех прочих равных условиях об участках траектории, проходя-

щих моделью с работающим или с неработающим двигателем.

При продувках моделей ракет получают  $c_x$  пассивного участка. Для того чтобы получить  $c_x$  экспериментальным путем для активного участка, нужно провести измер  $c_x$  в аэродинамической трубе с работающим микро-РДТТ или имитировать истечение продуктов сгорания, продувая двигатель воздухом. При этом должно быть соблюдено равенство по критерию подобия Эйлера

$$E = \frac{p - p_{\infty}}{\rho V^2} = \frac{p - p_{\infty}}{\rho V^2}.$$

Практические рекомендации. Чтобы снизить донное сопротивление при влиянии струи микро-РДТТ, необходимо:

- проектировать модель ракеты с сужающейся кормовой частью;
- проектировать модель ракеты с минимальной площадью донного среза;
- подводить дополнительную массу воздуха в донную область (см. рис. 12, в).

Но если дополнительный газ для подвода в донную область брать из набегающего потока, то при получении выигрыша в донном давлении не всегда удастся выиграть в сопротивлении всей модели ракеты.

При постановке связки микро-РДТТ получается сложная картина взаимодействия истекающих струй и набегающего потока. При проектировании моделей ракет воспользуйтесь теми же рекомендациями, что и для одного двигателя, за исключением следующего: если микро-РДТТ расположены по окружности, то целесообразно во внутренней области дна разместить центральное тело (из стеклотекстолита) для улучшения характеристик модели ракеты (см. рис. 12, г).

Индуктивное сопротивление возникает на крыльях или на оперении модели ракеты только в том случае, если происходит полет с углом атаки или на модели установлен несимметричный профиль. Физическая суть индуктивного сопротивления обусловлена разностью перетекания воздуха по концевой хорде из области повышенного давления в область пониженного. Возникающие в результате этого вихри воздуха индуцируют дополнительное сопротивление, которое называется

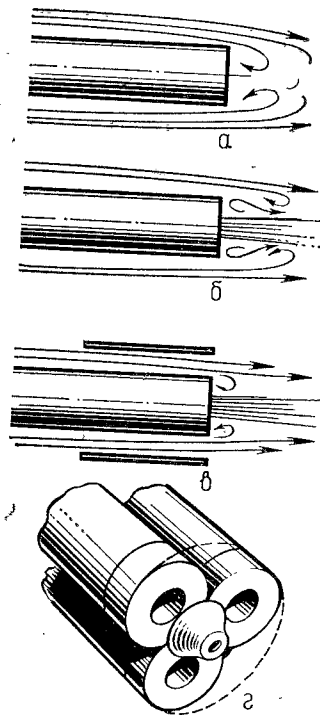


Рис. 12. Картина обтекания на донном срезе: а — без истекающей струи микро-РДТТ; б — с истекающей струей микро-РДТТ; в — с дополнительным подводом массы воздуха; г — с центральным телом при расположении связки микро-РДТТ по окружности

индуктивным:  $c_{xi} = \frac{c_y^2}{\pi\lambda}$  ( $c_y$  — коэффициент подъемной силы;  $\lambda$  — удлинение крыла (оперения).

Как правило, полет модели ракеты происходит при угле атаки  $\alpha=0$ , за исключением тех случаев, когда она недостаточно устойчива и у нее наблюдается рыскание.

Если на модели ракеты стоят стабилизаторы симметричного профиля и  $\alpha=0$ , то и  $c_y = 0$ , следовательно,  $c_{xi} = 0$ .

Практические рекомендации. Чтобы у модели ракеты не возникло индуктивного сопротивления в случае несимметричного обтекания (рыскания модели), можно:

- поставить на оперении аэродинамические шайбы (см. рис. 25);
- соединить стабилизаторы кольцевым стабилизатором (см. рис. 25);
- поставить набор кольцевых стабилизаторов (см. рис. 27, в);
- спроектировать эллипсовидные стабилизаторы (окружность — частный вид эллипса) (см. рис. 24, н).

Индуктивное сопротивление имеет большое значение для крыла ракетопланов.

Сопротивление интерференции. Путем испытаний в аэродинамической трубе установили, что сопротивление всего летательного аппарата не равно сумме сопротивлений его отдельных частей. Это объясняется сопротивлением, вызываемым аэродинамической интерференцией, т. е. взаимовлиянием потоков, обтекающих части летательного аппарата, расположенные близко друг от друга. На моделях ракет такое явление особенно наблюдается в местах соединения корпуса с оперением.

Одна из причин возникновения сопротивления интерференции — разность скоростей струек, обтекающих смежные части, — обусловленных разной кривизной поверхности этих частей. В результате происходит резкое утолщение струй и ранний отрыв пограничного слоя.

Интерференция корпуса с оперением зависит от схемы расположения оперения относительно корпуса (см. рис. 25). Наибольшая интерференция возникает в том случае, когда стабилизаторы выполнены касательными к корпусу, и наименьшая, когда они расположены в плоскости оси модели ракеты (см. рис. 25).

Практические рекомендации. Чтобы снизить сопротивление интерференции, необходимо:

— расположить стабилизаторы радиально к корпусу модели ракеты.

— установить в месте стыка корпуса и оперения специальные заливки (залезы), которые создают плавные обводы на переходе от оперения к корпусу и уменьшают диффузорный эффект;

— выполнить отсос пограничного слоя в месте стыка оперения с корпусом модели ракеты.

Чтобы исключить индуктивное сопротивление (один из способов) — ставят аэродинамические шайбы, но это вызывает сопротивление интерференции. Поэтому при проектировании моделей ракет необходимы оптимально продуманные решения.

### Суммарное лобовое сопротивление моделей ракет.

Когда говорят о составляющих лобового сопротивления, то имеют в виду составляющие, которые получают при наилучшем обтекании модели ракеты.

На самом деле модель имеет ряд погрешностей, возникающих еще на этапах конструирования, заложенных в технологическом процессе, и изготовления.

Интересно знать оптимальные соотношения реальной модели ракеты. Такие соотношения получают опытным путем: прямым — продувкой в аэродинамической трубе и косвенным — летными испытаниями.

Летные испытания для косвенной оценки величины силы лобового сопротивления можно проводить, измеряя высоту полета модели ракеты. Так, определенное оптимальное уд-

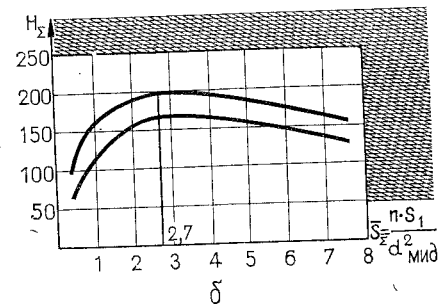
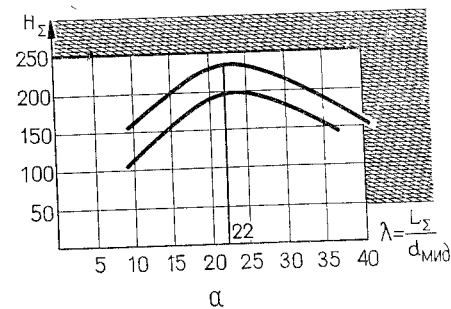


Рис. 13. Оптимальные соотношения геометрических параметров моделей ракет:

$a$  — по удлинению корпуса;  $b$  — по отношению площади стабилизаторов к квадрату диаметра миделевого сечения

линение цилиндрического корпуса модели ракеты с коническим головным обтекателем (рис. 13,а). Аналогичные данные были получены на натуральных образцах.

Для таких же моделей ракет с цилиндрическим корпусом и коническим головным обтекателем были проведены эксперименты, в результате которых нашли оптимальную суммарную площадь стабилизаторов. График (рис. 13,б) построен по относительной зависимости: суммарная площадь стабилизаторов отнесена к квадрату диаметра миделевого сечения модели ракеты. Как видно из графика, несколько завышенная площадь стабилизаторов дает меньшую потерю высоты, чем заниженная на ту же величину. Из-за неустойчивости модели высота теряется в большей степени, чем из-за завышенного лобового сопротивления площади стабилизаторов.

### АЭРОДИНАМИКА И БИОНИКА

Если учесть все требования аэродинамики для моделей ракет, то можно сделать вывод, что идеальной их формой будет форма рыбы, например, быстрой, активной горбуши. Ее тело хорошо обтекаемое, голова спереди заостренная, стабилизаторная группа плавников — в данном случае спинной и анальный — хорошо развита, благодаря чему она имеет достаточную динамическую устойчивость, т. е. способна хорошо сохранять направление движения.

Наблюдение и изучение биомеханики дельфинов навело зарубежных специалистов на мысль использовать полученные данные при проектировании и строительстве летательных аппаратов. Вопросом обтекания дельфинов занимались и ракетчики, а форму головы дельфинов смоделировали на некоторых летательных аппаратах, снизив таким образом лобовое сопротивление последних.

## Глава 5.

### ИЗГОТОВЛЕНИЕ МОДЕЛЕЙ РАКЕТ

#### ГОЛОВНЫЕ ОБТЕКАТЕЛИ

Головным обтекателем называется головная часть модели, которая позволяет уменьшить лобовое сопротивление модели за счет своей совершенной аэродинамической формы.

**Геометрия головных обтекателей.** Геометрия головных обтекателей для спортивных моделей ракет зависит от выбранного вида посадки: головной обтекатель — корпус модели. Посадка головного обтекателя возможна по внутренней поверхности корпуса модели ракеты или же по внешней. Внешняя посадка позволяет несколько сэкономить объем корпуса, но увеличивает миделевое сечение модели.

Используют следующие формы головных обтекателей: коническую, полусферическую, гиперболическую, параболическую, оживальную, состоящую из нескольких конических поверхностей, и различные комбинации этих форм (рис. 14).

Головные обтекатели изготавливают из разных пород древесины: липы, бука, ели, березы, сосны, бальзы, из разнообразных пластмасс — полистирола, винилпласта, эбонита, текстолита и пенопласта различных марок; кроме того, из бумаги, прессшпана, целлулонда и органического стекла.

В зависимости от применяемых материалов головные обтекатели выполняют следующими методами: точения, термической резки, выклейки на оправке, формования.

**Изготовление методом точения.** На токарном станке делают головные обтекатели самых разнообразных форм из всех пород древесины и пластмасс, которые выпускаются промышленностью в виде прутков или плит. Плиту предварительно разрезают на заготовки прямоугольного сечения так же, как и доску древесины. Из нарезанных заготовок выполняют головные обтекатели (рис. 15,а), форму которых контролируют по шаблону.



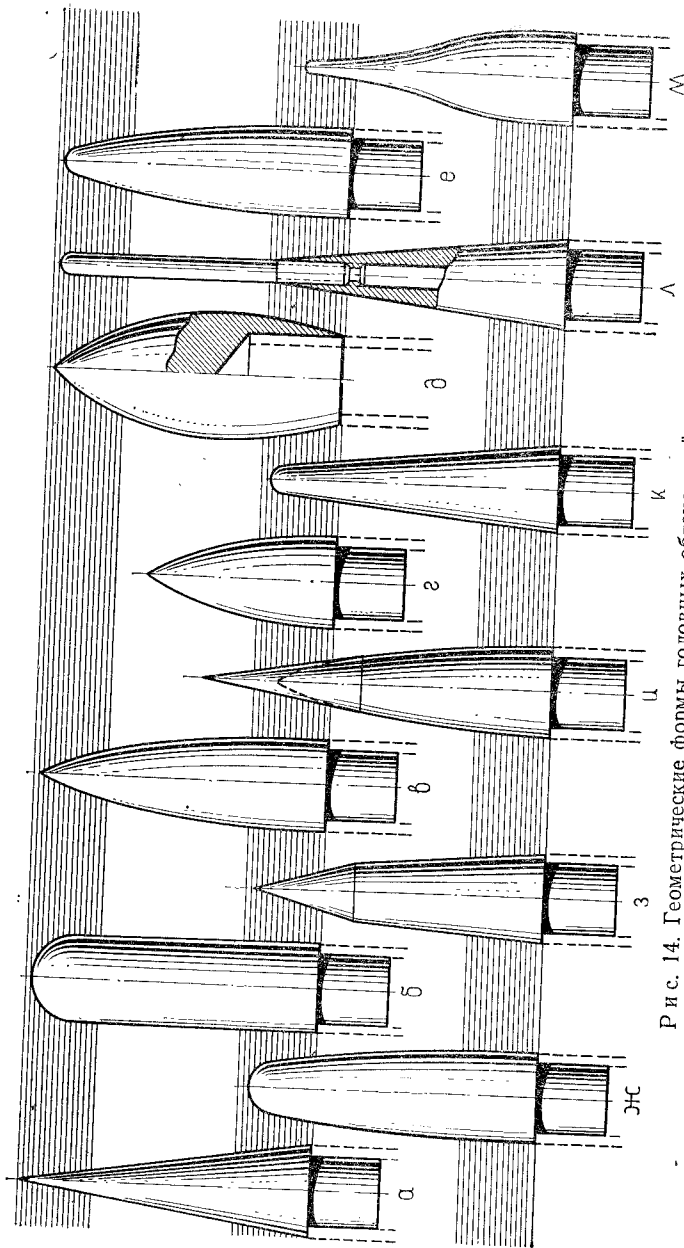


Рис. 14. Геометрические формы головных обтекателей для моделей ракет.

а — коническая; б — полусферическая; в, г, д — оживальная; е — параболоческая; ж — гиперболическая; з — набор конусов; и — оживальная + конус; к — конус + полуфера; л — гипербола + конус; м — гипербола.

После чистовой обработки головной обтекатель целесообразно, не снимая со станка, покрыть (если он из древесины) лаком. Деталь при этом, закрепленная в патроне токарного станка, вращается на малых оборотах.

Наносят лак кистью или тампоном. Тампон — это кусок, оббитая тканью. Вращающаяся деталь покрывается очень ровно. Через 5—10 минут ее можно покрыть краской, используя тот же прием. Причем на более светлый тон наносят более темный кольцами (лучше кистью).

Разновидность токарной обработки мягких материалов — бальзы, коры березы и пенопласта — обработка наждачной бумагой. В последнем случае детали могут получать вращение от ручной дрели (рис. 15,б).

В бальзовую заготовку вклеивают технологический стержень (сосновую рейку) на эмали или на казеиновом клее, а в пенопластовую заготовку — на клее БФ-2, БФ-4, БФ-6 или на клее, в основу которого входит эпоксидная смола: ЭД-5, Э-4020 и др. На эмали или на клее № 88 стержень вклеивать нельзя, так как они содержат ацетон, который растворяет большинство марок пенопласта.

**Изготовление методом термической резки.** Станок для изготовления переходников и головных обтекателей из пенопласта методом термической резки предназначен для выполнения деталей сложной конфигурации, которые трудно или невозможно сделать вручную.

Режущим инструментом служит проволока (нихром), нагретая электрическим током напряжением 6—12 В до температуры 200—300°C.

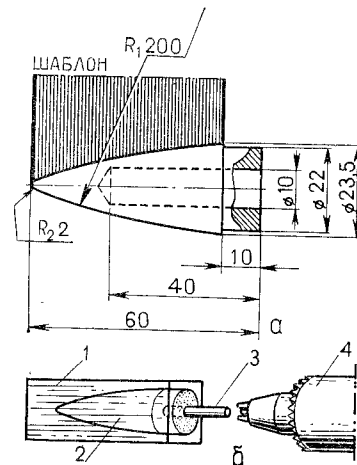


Рис. 15. Способы изготовления головных обтекателей методом точения:

а — на токарном станке; б — на сверлильном станке;  $R_1$  — радиус оживальности;  $R_2$  — радиус носового скругления; 1 — заготовка; 2 — контур головного обтекателя; 3 — ось технологическая; 4 — патрон дрели (сверлильного станка)

На рис. 16 дана кинематическая схема и сборочный чертеж станка. Основанием 1 станка служит плита древесной прессованной стружки. На верхней плоскости плиты размещены детали станка, а к нижней прикреплены ножки. При обработке заготовка, укрепленная наконечнике 26, получает вращение от груза 12.

Направляющие шпильки 5 служат для перемещения ползуна 31 в радиальном направлении относительно оси 17 детали. Оси направляющих шпилек 5 расположены перпендикулярно осям шпилек 4. Однако их установка навливает и в другом положении при помощи винта 33. Положение натянутой проволоки 27 может быть также различным.

Изменяя положение рамы 30 винтом 9 на заданный угол, получают головной обтекатель, образованный цилиндрической и несколькими коническими поверхностями.

**Изготовление методом выклейки на оправке.** Этот метод выполняют головные обтекатели из бумаги, прессшпана, целлулоида и т. д.

Чтобы сделать головной обтекатель из бумаги, необходимо вычертить его, а затем вычертить и изготовить оправку для его производства.

Заготовку вычерчивают следующим образом: радиусом, равным образующей конуса головного обтекателя, проводят окружность, на которой откладывают дугу равную длине окружности верхнего сечения модели ракеты, умноженной на количество слоев (рис. 17,а).

Оправку целесообразно сделать так, чтобы она была пригодна не только для изготовления конуса, но и для сборки всего головного обтекателя. У такой оправки должна быть цилиндрическая часть. При внутренней посадке головного обтекателя в корпус модели ракеты диаметр его цилиндрической части равен наружному диаметру корпуса минус две толщины стенки корпуса:

$$d_{\text{опр.вн}}^{\Delta} = d_{\text{нар.к}} - 4\delta - 0,3; \text{ если } \delta_k = \delta,$$

а при наружной посадке равен наружному диаметру корпуса:  $d_{\text{опр.нар}}^{\Delta} = d_{\text{нар.к}} + 0,3.$

При этом необходимо учитывать допуски на посадку, чтобы головные обтекатели свободно снимались.

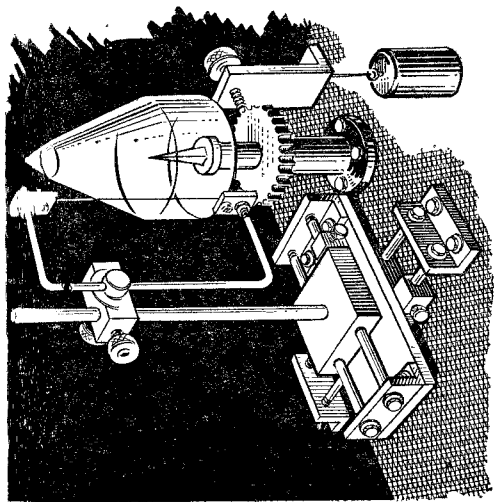
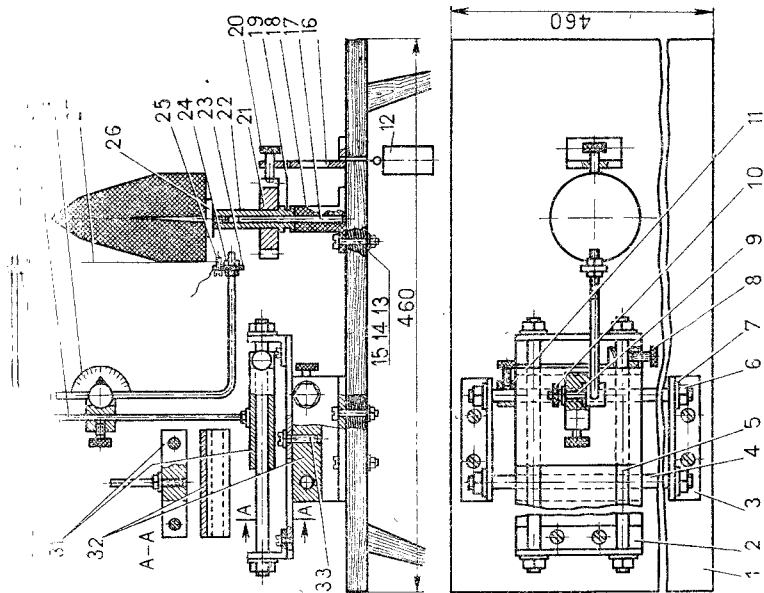


Рис. 16. Станок для изготовления головных обтекателей из пенопласта методом термической резки.

- 1 — основание; 2, 3 — угольники; 4, 5 — направляющие шпильки; 6, 13, 24 — гайки; 7, 14 — шайбы; 8, 9, 11, 15, 25, 33 — винты; 10 — гайка круглая; 12 — груз; 16, 16, 18, 29 — стоек; 17 — ось; 19 — нить; 20 — упор; 21 — зубчатое колесо; 22 — втулка; 23 — держатель; 26 — наконечник; 27 — проволока; 28 — держатель; 30 — рама; 31 — ползун верхний; 32 — ползун нижний

В целом ряде случаев расчет удобнее вести от диаметра оправки корпуса модели ракет. Тогда

$$d_{\text{опр.вн}}^{\Delta} = d_{\text{опр.к}} - 2\delta - 0,3;$$

$$d_{\text{опр.нар}}^{\Delta} = d_{\text{опр.к}} + 2\delta_k + 0,3.$$

Допуск 0,3 нужен при посадке бумаги по бумаге. Технология изготовления самого конуса такая же, как и корпусов моделей ракет. Как правило, такой го-

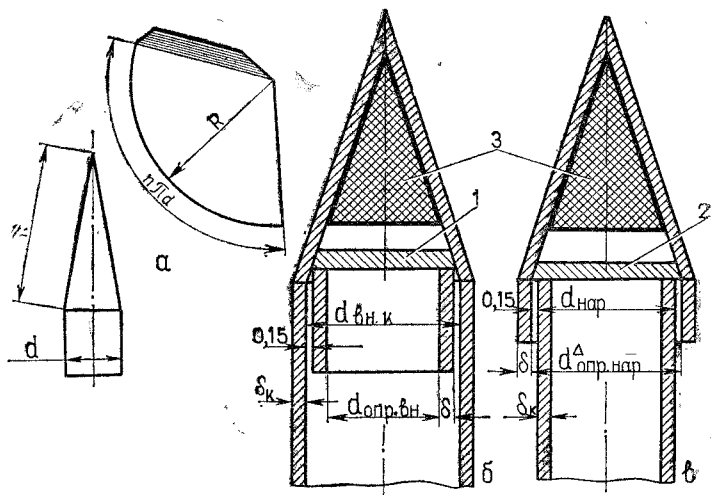


Рис. 17. Изготовление головного обтекателя методом выклейки на оправке:

*a* — оправка и развертка (на развертке нахлестка делается в случае однослойного головного обтекателя); *б* — посадка по внутренней поверхности корпуса; *в* — посадка по наружной поверхности корпуса; 1 — шпангоут; 2 — опорный шпангоут; 3 — загрузка (пластлина), *n* — количество слоев; *R* — радиус развертки (длина образующей конуса головного обтекателя); *d* — диаметр головного обтекателя

ловной обтекатель требует постановки силового шпангоута, к которому крепится парашютный фал. Силовой шпангоут будет упорным, если посадка головного обтекателя по наружной поверхности корпуса, и удерживающим загрузку для центровки модели (чаще пластин), если посадка — по внутренней поверхности корпуса *б* (рис. 17).

Головной обтекатель целесообразно делать прозрачным (целлулоид, органическое стекло), если в нем размещен прибор, показания которого необходимо получать сразу же после посадки модели, не вскрывая ее.

Сварку заготовок из целлулоида можно производить с применением соединяемых поверхностей ацетоном. Соединения более высокого качества получают, применяя присадочный материал, содержащий, помимо растворителя, пластифицированную нитроцеллюлозу и каучуковую смолу. Сварку выполняют в зажимном приспособлении при удельном давлении 0,4 Мн/м<sup>2</sup> (4 кг/см<sup>2</sup>). Длительность выдержки под давлением должна составлять 24 час.

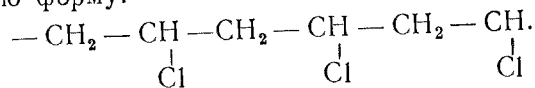
**Изготовление методом формования (штамповки или выдавливания).** Большой ассортимент пластмасс выпускается промышленностью в виде листового материала. Изготовленные из него головные обтекатели, как правило, не нужно красить.

Основанием их может быть не только окружность, но практически любая фигура. Это необходимо, если корпус в своем поперечном сечении имеет сложную фигуру (см. рис. 20,е).

Лучший материал для выполнения головных обтекателей методом формования: поливинилхлорид, полихлорвинил (винипласт) и полимеры стирола (полистирол).

#### Винипласт

Винипласт представляет собой карбоцепный линейный полимер, полученный при полимеризации хлористого винила  $\text{CH}_2=\text{CHCl}$ . Молекула поливинилхлорида имеет цепную форму:



Винипласт по своему фазовому состоянию при комнатной температуре является аморфным.

Используется винипласт как конструкционный материал для изготовления головных обтекателей, диффузоров, рычагов и коромысел системы спасения, подшипников в раскрывающихся системах крыльев, носовых турбулизаторов и приборных отсеков. В наземном обо-

рудования и на борту модели, если есть бортовая электросистема, его применяют как изоляционный материал.

Винипласт формируется, при нагревании штампуется, изгибается по шаблону, сваривается, склеивается, обрабатывается резанием.

Промышленность выпускает винипластовые листы толщиной от 2 мм, стержни  $\varnothing$  от 5 до 45 мм, присадочную проволоку для сварки  $\varnothing$  1—4 мм, трубы профили.

#### *Изготовление деталей из винипласта методом штамповки.*

Общие требования по технике безопасности: формование деталей из винипласта следует производить в помещении при включенной приточно-вытяжной вентиляции, нагрев заготовок — в термощкафу при включенной вытяжной вентиляции, работать необходимо только в асбестовых или двойных хлопчатобумажных перчатках.

Технологический процесс. Заготовки нарезают специальным ножом, затем очищают от пыли грязи и стружки.

Укладывают в термощкаф полотно из стеклоткани толщиной не менее 4 мм. Включают термощкаф и нагревают его до температуры 200°C. Для контроля лучше использовать потенциометр ПСР-1. Помещают термощкаф матрицу и пуансон и нагревают до температуры 100—120°C, которую лучше контролировать термопарой, соединенной с потенциометром ЭПВ2-11А. Вынимают матрицу и пуансон из термощкафа, смазывают машинным маслом (масло индустриальное 20). Подвешивают в термощкаф на зажимах не более двух заготовок. Нагревают заготовки до температуры  $160 \pm 3^\circ\text{C}$ , которую контролируют так же, как и температуру основы. Температура текучести винипласта 180°C, термодеструкции 180—200°C. Поэтому нагревать заготовку выше 163°C не рекомендуется. Вынимают разогретую заготовку из термощкафа и укладывают ее на пуансон, который установлен на прессе. Устанавливают матрицу и опускают верхний прижим прессы. Пуансон в матрицу должен входить без перекоса. Поверхности пуансона, матрицы и винипласта должны плотно при-

легать. Выдерживают отформованную деталь под давлением 5—10 минут. Поднимают верхний прижим прессы и снимают приспособление. Вынимают отформованную деталь из приспособления. Отформовывают вторую заготовку.

При формовании деталей необходимо поддерживать температуру приспособления 100—120°, периодически его подогревая.

После формования деталь не должна иметь складок. Допускают изменения цвета исходного материала, следы от формовочного инструмента и волнистость исходного материала. Эти дефекты устраняют затем обработкой детали и ее покраской.

Пуансон целесообразно спроектировать с учетом возможности закрепления его в патроне токарного станка и обработки отштампованной детали на пуансоне: подрезка торца, проточка посадочной поверхности, механическая полировка, покраска, сверление под нарезку резьбы для постановки стыкуемой детали и т. д.

При проектировании матрицы и пуансона учтите, что должны быть радиус скругления не менее 25 мм, угол наклона боковой поверхности не менее  $0,5^\circ$  при формовании на матрицу, а на пуансон радиус скругления не менее 15 мм, а угол наклона боковой поверхности не менее  $1^\circ$ . Простейшая прессформа для формования головного обтекателя показана на рис. 18.

Последний этап изготовления головного обтекателя — механическая обработка: подрезка, проточка посадочной поверхности, если нужно — полировка, сверление и нарезание резьбы под турбулизатор или под систему крепления на парашютном фале.

При ряде конструктивных и схемных решений головного обтекателя изготовить более сложно, например, если необходимо поставить дно, штангу для крепления фала парашюта или, если головной обтекатель состоит из нескольких частей: конической, оживальной и цилиндрической или их половинок, в этом случае применяют сварку.

#### *Сварка с помощью растворителей.*

Способность растворителя облегчать диффузию молекул аморфных термопластичных полимеров при обычной температуре, а в некоторых случаях и кристал-

лизующихся полимеров при температуре, близкой к температуре плавления кристаллической фазы, находят применение в процессах, которые по своей природе должны быть отнесены к диффузной сварке. С этой целью поверхности, подлежащие соединению, смачивают растворителем до тех пор, пока они не приобретут липкость, характерную для сильно набухшего полимера. За

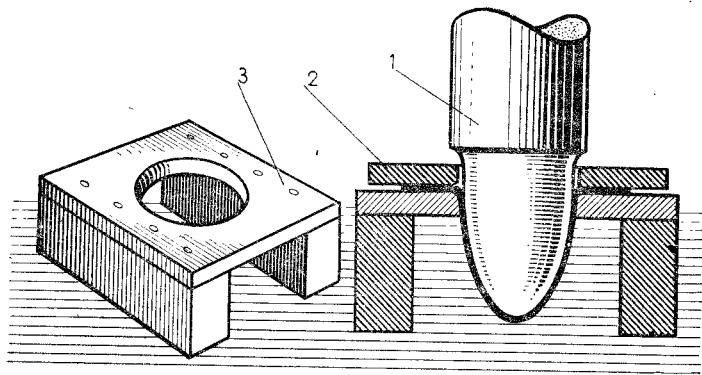


Рис. 18. Простейшая прессформа для формирования головного обтекателя:

1 — пуансон; 2 — прижимное кольцо; 3 — матрица

тем поверхности складывают и, прикладывая небольшое давление, выдерживают под ним для облегчения взаимной диффузии макромолекул в набухших слоях контактирующих поверхностей.

Небольшое количество растворителя, применяемого для смачивания поверхностей, не вызывает высокой степени набухания, поэтому скорость диффузии макромолекул в поверхностном слое значительно ниже, чем скорость диффузии макромолекул того же полимера, нагретого до температуры, превышающей температуру его текучести. Для сварки растворителем нужно значительно больше времени, чтобы образовалось прочное соединение, чем для сварки нагревом. Чтобы ускорить процесс и повысить прочность соединения, сварку растворителем проводят с присадочным материалом. В качестве присадочного материала служит тот же соединяемый полимер, растворенный в органическом растворителе. Присадочный материал, попав на соединяемые

поверхности, быстрее диффундирует в пограничные слои обеих листов полимера, способствуя более быстрому и более полному нарушению поверхности раздела.

Применение в качестве присадочного материала полимера, предварительно растворенного в растворителе, сделало этот способ сварки внешне схожим с процессом склеивания. И несмотря на то, что в основе его лежит явление взаимной диффузии макромолекул пограничных слоев, приводящее к полному уничтожению поверхности раздела, а следовательно, и к отсутствию адгезионного взаимодействия, способ сварки растворителем называют склеиванием. Попавший внутрь полимера растворитель длительное время выполняет функцию пластификатора в околошовной зоне, повышая в ней эластичность полимера, снижая температуру стеклования и прочность материала. С присутствием растворителя связано и некоторое увеличение объема полимера в зоне шва, что приводит к накоплению внутренних напряжений в близлежащих слоях.

Для предотвращения дефектов набухание аморфного термопласта рекомендуется проводить родственным мономером, растворяя в нем присадочный материал — полимер, из которого изготовлены детали свариваемого изделия. После окончания диффузии макромолекул из раствора в поверхностные слои соединяемых деталей и из них в присадочный материал происходит полимеризация мономера, выполнившего функции растворителя во время сварки. Превращение мономера — растворителя в полимер устраняет недостатки сварного соединения, пластифицированного жидким компонентом.

Растворитель или раствор полимера наносят кистью, методом погружения или распыления таким образом, чтобы размягчение произошло по всей поверхности и на достаточную глубину (до 0,5—1,0 мм). Продолжительность открытой выдержки деталей перед запрессовкой должна быть достаточной, чтобы осуществить набухание полимера и удалить избыток растворителя.

Свариваемые заготовки или детали запрессовывают. При запрессовке необходимо следить, чтобы не было перекосов, сдвигов свариваемых деталей и не образовывались пузырьки воздуха в зоне шва. Выдержка под давлением продолжается до образования твердого свар-

ного слоя, только после этого можно производить механическую обработку и отделку.

Сварку поливинилхлорида осуществляют с помощью чистого растворителя или с помощью присадочного материала, в качестве которого используют перхлорвиниловую смолу. Поливинилхлорид набухает или растворяется в ароматических или в галоидосодержащих углеводородах, в простых или в сложных эфирах.

Для соединения деталей из винилпласта используют органические вещества с высокой растворяющей способностью: тетрагидрофуран, циклогексанон, диксан, дихлорэтан, метиленхлорид.

Открытая выдержка деталей после нанесения растворителя производится до появления липкости в поверхностном слое пластика; выдержка под давлением  $0,5—1,0 \text{ Мн/м}^2$  ( $4—10 \text{ кг/см}^2$ ) составляет 24 ч.

Сварка с присадочным материалом значительно ускоряет процесс сборки и не требует такой тщательной подгонки соединяемых поверхностей, которая необходима при сварке растворителем без присадочного материала. Перхлорвиниловую смолу с содержанием связанного хлора около 64% используют в виде 10—20% раствора в дихлорэтане, метиленхлориде или ацетоне. Раствор наносят на обе сопрягаемые поверхности за один-два приема и выдерживают для набухания поверхностного слоя пластмассы и удаления избытка растворителя. Выдержка под давлением  $0,15—0,20 \text{ Мн/м}^2$  ( $1,5—2,0 \text{ кг/см}^2$ ) должна составлять не менее 2 ч. Однако нагружать изделие можно лишь через 24 ч. после снятия давления. Прочность получаемых изделий на сдвиг составляет около  $5,0—7,0 \text{ Мн/м}^2$  ( $50—70 \text{ кг/см}^2$ ).

Сварка растворителем изделий из винилпласта применяется в том случае, если по каким-либо причинам нельзя использовать тепловую сварку.

**Способы крепления головного обтекателя на фале.**  
Деревянные и пластмассовые головные обтекатели, изготовленные механическим путем, крепятся на фале (рис. 19): шурупом или винтом, к головке которого припаяно кольцо *a*; осью, вклеенной в головной обтекатель, имеющий облегчение *б*; через каналы отверстий, просверленных по оси и радиально *в*, и боковые лыски для прохода фала; через кольцевую про-

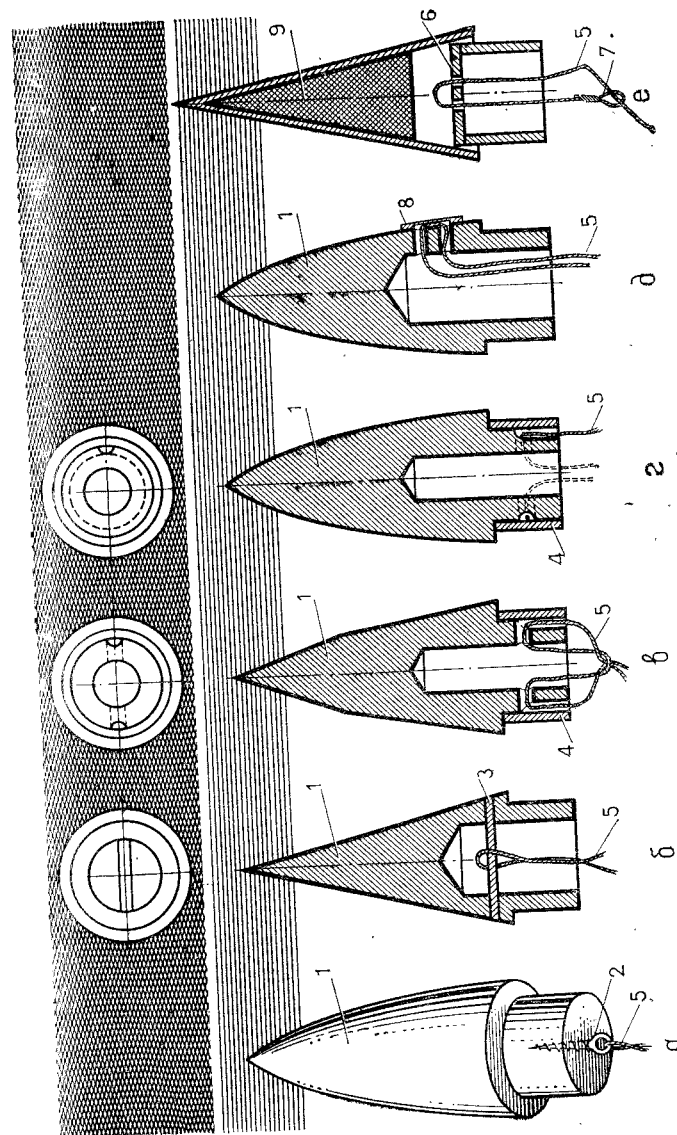


Рис. 19. Схемы крепления головного обтекателя на фале:  
1 — головной обтекатель; 2 — винт; 3 — ось; 4 — стакан; 5 — фал; 6 — шлангут; 7 — серва;  
8 — накладка; 9 — груз (пластидин)

точку и лыску или радиальные и центральные сверления  $g$ ; через два канала, просверленные радиально  $d$ .

**Несимметричное крепление.** Головные обтекатели, изготовленные из пластмассы методом штамповки, и бумажные, выклеенные на оправке, крепятся способами показанными на рис. 19,  $b, d, в, e$ , кроме того, через отверстия, просверленные в дне, которое вклеено в головной обтекатель  $e$ .

Часть фала, которая проходит по наружной поверхности, необходимо заклеить миколентной или папиросной бумагой и сделать накладку  $d$ .

При способах, приведенных на рис. 19,  $в, г$ , целесообразно надеть бумажный защитный стакан. Для этого посадочную поверхность протачивают с учетом посадки защитного стакана.

Фал головного обтекателя, как правило, крепят амортизатору парашюта или к серьге подвески, если она включена в схему подвески парашюта.

## КОРПУСА

Корпусом называется часть модели ракеты, в котором обычно размещаются все основные ее системы. Иногда его разделяют на парашютный контейнер, приборный и двигательный отсеки. Корпус предназначен также для соединения между собой всех частей и деталей модели.

**Геометрия корпусов.** Самая распространенная форма корпусов моделей ракет — цилиндр. Его внутренний диаметр равняется наружному диаметру микроРДТТ, а удлинение  $\lambda = \frac{l}{d} \approx 20$  (рис. 20,  $a$ ).

Желание получить как можно больший объем для парашюта породило корпуса большего диаметра, но с тем же удлинением. Эти корпуса имеют двигательный отсек, выполненный в виде трехслойной обшивки  $b$ . Логическое продолжение развития этой схемы — корпуса, на которых снята наружная обшивка с двигательного отсека. Такие корпуса, кроме цилиндрических частей, бывают с переходным конусом  $в$ .

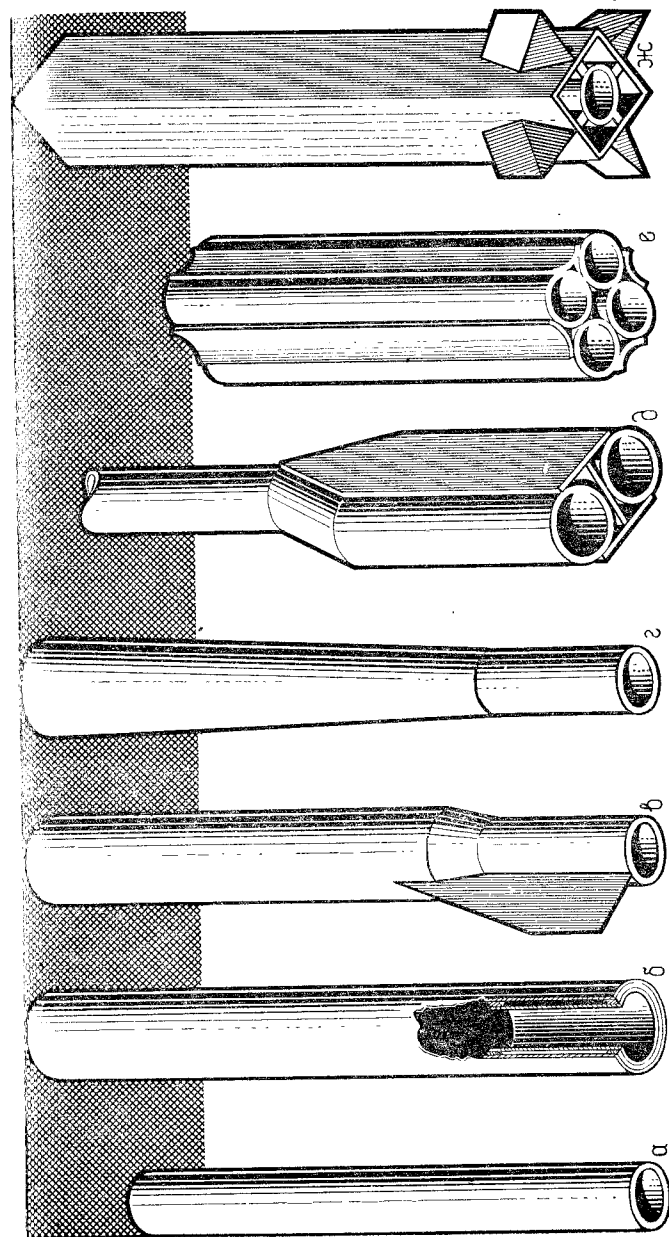


Рис. 20. Формы корпусов моделей ракет.

$a$  — цилиндрический;  $b$  — цилиндрический с двигательным отсеком;  $в$  — с переходным конусом;  $г$  — конический;  $d, e$  — комбинированный;  $ж$  — прямоугольный

При такой схеме корпуса стабилизаторы целесообразно проектировать с корневой хордой, которая бы являлась дополнительным жестким элементом, соединяющим цилиндрические и коническую части корпуса, увеличивая жесткость двигательного отсека.

И, наконец, развивая эту схему дальше, верхний цилиндр полностью заменяется: цилиндрический двигательный отсек переходит в конус с малым углом раствора.

Последняя схема наиболее удачна с точки зрения распределения веса корпуса по длине модели: наиболее тяжелая его часть у головного обтекателя *г*. Встречаются корпуса моделей ракет, образованные в поперечном сечении из нескольких цилиндров, *д*, *е* и даже прямоугольные из пластинок бальзы *жс*.

**Корпуса из бумаги.** Корпус модели ракеты обычно выполняют на оправке вдвоем. Можно это делать и одному, если применить приспособление для навивки корпусов — прижимный столик.

Рабочей поверхностью столика служит прямоуголь-

ная крышка, к нижней стороне которой присоединены две струбины, с помощью которых прижимается планка.

Бумагу кладут на столик и зажимают планкой. При изготовлении корпуса оправку необходимо тянуть на себя. Сделав нужное количество оборотов, лист бумаги обрезают. Приспособление позволяет сделать корпус хорошего качества с небольшим отходом бумаги (рис. 21).

Корпуса моделей ракет можно выполнять не только из целого листа, но и из ленты бумаги или даже из деревянной стружки (рис. 22). Такой корпус лучше изготовить на оправке с отверстиями под центры, чтобы

этим можно было бы его отполировать на токарном станке, не снимая с оправки.

**Корпуса из стеклопластиков.** Изготавливая корпуса моделей ракет методом намотки, получают хорошие результаты. Этот метод дает высокое отношение прочность/вес. Выполненные таким образом корпуса могут достигать предела прочности  $\sigma_{\text{в}} = 140 \text{ кг/мм}^2$ .

Оправку с центровочными отверстиями и нанесенным разделительным слоем вставляют в токарный станок (рис. 23). Разделительный слой — парафин, растворенный в бензине, наносят мягкой кисточкой.

Гладкой блестящей поверхности можно добиться, применяя разделительные слои следующих составов:

1. 50% поливинилового спирта (порошка), 40% этилового спирта, 10% воды.

2. 10% полиизобутилена (смола), 20% этилацетата, 70% бензина Б-70.

Эти разделительные слои наносят или кистью, или с помощью пульверизатора.

Стеклоленту или стеклоткань, разрезанную на полоски, пропитывают смолой и при небольших оборотах станка замотывают на форму до необходимой толщины стенки корпуса.

Можно также для намотки корпуса:

— вырезать заготовку из металлизированной полиэтиленерефталатной пленки;

— протереть пленку марлевым тампоном, смоченным ацетоном;

— уложить пленку на оправку металлизированной стороной с нахлестом 2—3 мм;

— намотать один слой из двух-трех нитей или ленты, нарезанной из ткани шириной 10 мм вдоль основы, пропитанной связующим; обеспечить плотную укладку наматываемых витков друг к другу;

— намотать второй слой, укладывая витки крест-накрест к первому. И так до получения нужной толщины.

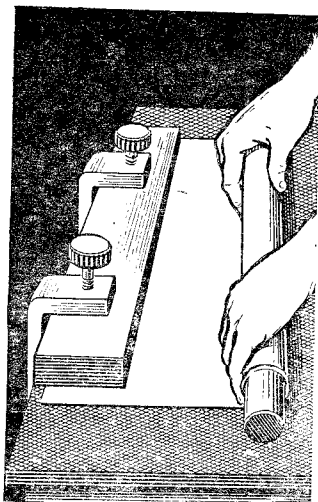


Рис. 21. Изготовление корпуса модели ракеты из листового материала

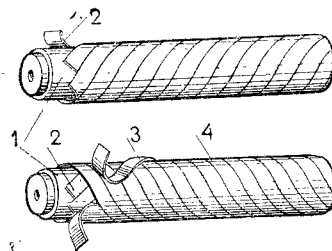


Рис. 22. Технология изготовления цилиндрического корпуса типа «монокок» из ленты бумаги или из деревянной стружки:

1 — слой кальки; 2 — первый слой ленты; 3 — третий слой ленты; 4 — второй слой ленты



Режим намотки: число оборотов оправки 100—500 об/мин, натяжение на одну нить 300—400 г, температура связующего 45—55°C, содержание связующего в ленте 22—32%.

Содержание связующего в ленте проверяют взвешиванием 5—7 м ленты до пропитки и после нее.

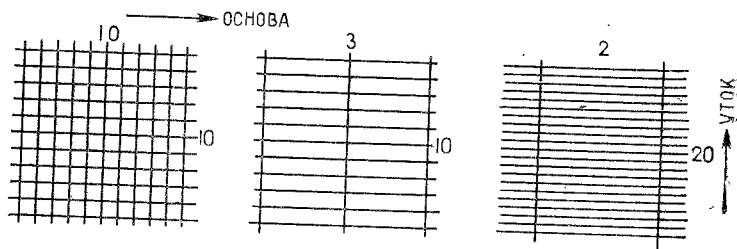
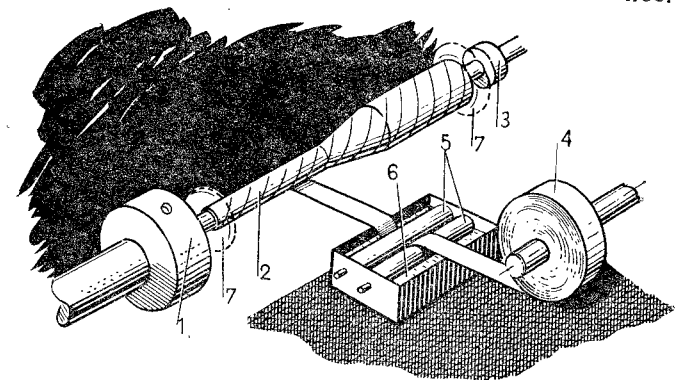


Рис. 23. Намотка корпуса модели ракеты из стеклоткани и ее структура:

1 — патрон станка; 2 — оправка; 3 — вращающийся центр; 4 — стеклоткань; 5 — резиновые валики; 6 — связующая масса; 7 — опорные шайбы.

Расчет содержания связующего определяют по формуле:

$$\frac{g_2 - g_1}{g_1} \cdot 100,$$

где  $g_1$  — вес сухой ленты;

$g_2$  — вес пропитанной ленты.

Чтобы избежать гофров на полиэтиленерефталатной пленке, намотку начинают с середины в направлении к концам стержня. Ткань для нарезки лент лучше брать толщиной 0,06 мм.

Чтобы хорошо снималась отвердевшая оболочка, цилиндрические оправки должны иметь небольшой уклон (конусность). Делать их лучше стальными, отшлифовать и отхромировать. При таком технологическом процессе изготовления оправки корпус снимают с нее почти без усилия.

Если корпус выполняют сложной конфигурации, то после отверждения смолы его разрезают ножом или мелкорезной шлицовкой вдоль по оси, а затем склеивают.

#### Вытравливание оправки.

Если корпус достаточно сложной формы и его снять с оправки нельзя, а продольная разрезка нежелательна, то после механической обработки оправку, изготовленную из сплава на алюминиевой основе, можно вытравить.

Для этого необходимо нанести на наружную поверхность детали защитное покрытие, состоящее из слоев эмали ХСЗ-101, ХВ-16 и ХСП. Общая толщина защитного покрытия должна быть не менее 0,15 мм. Затем высверливают большую часть тела оправки.

Алюминиевую оправку вытравляют в щелочной ванне по следующему режиму: концентрация щелочи (едкий натрий) 350—400 г/л, температура ванны 60—70°C. Время травления определяют по прекращению реакции (на поверхности ванны перестают выделяться пузырьки газов, образующиеся в процессе травления).

Корпус промывают в ванне с проточной водой при комнатной температуре. Затем снимают защитное покрытие и корпус промывают при температуре, не превышающей 60°C.

Следите, чтобы щелочь не попадала на кожу рук. Деталь опускают в ванну на подвесках из проводов, имеющих фторопластовую оплетку.

Чтобы получить гладкую наружную поверхность после намотки стеклоткани, сверху наматывают слой из полиэтиленерефталатной пленки металлизированной стороной наружу.

#### Склейка стеклопластиков.

Отвердевшие стеклопластики дорабатывают напильником и наждачной бумагой. В практике ракетно-кос-

мического моделирования стеклопластики необходимо склеивать между собой, а также с другими материалами: древесиной, металлами, пластмассами.

Применяют следующие составы и клеи для склеивания стеклопластиков с различными материалами.

Полиамидный клей ЭД-9 предназначен для склеивания стеклопластиков между собой, с пластмассами, порошками, металлами и др.

Состав клея: 100 весовых частей эпоксидной смолы ЭД-5; 8 весовых частей полиэтиленполиамиона, 15—20 весовых частей дибутилфталата.

Клей отвердевает в течение 6—8 часов.

Полиамидный клей Л-4 предназначен для склеивания стеклопластиков между собой, с анодированным дюралюминием, сталью, титановыми сплавами и др.

Состав клея: 100 весовых частей эпоксидной смолы ЭД-40, 8 весовых частей полиэтиленполиамиона, 15 весовых частей дибутилфталата.

Перед склеиванием стеклопластиков с легкими сплавами на основе Al и Mg поверхности обрабатывают смесью бихромата натрия с серной кислотой при 60°C в течение 20 мин.

Клей отвердевает в течение пяти суток.

Эпоксидный клей К-153 предназначен для склеивания стеклопластиков между собой, с пластмассами, порошками, металлами и др.

Состав клея: 100 весовых частей эпоксидного компонента К-153, 8—12 весовых частей полиэтиленполиамиона, 10—12 весовых частей дибутилфталата.

Клей отвердевает в течение 6—8 часов.

Кремнийорганический клей ВКТ-2 предназначен для склеивания стеклопластиков с нержавеющей сталью и титановыми сплавами.

Температура отвердения 20—30°C. Клей отвердевает в течение 8—10 часов.

Для качественного склеивания стеклопластиков между собой и с другими материалами склеиваемые поверхности зачищают напильником или наждачной бумагой, тщательно обезжиривают спиртом или бензином и только после этого наносят слой клея. Если позволяет конструкция, желательно создавать давление 5—10 кг/см<sup>2</sup>.

Стабилизаторами называются аэродинамические поверхности, предназначенные для обеспечения продольной и поперечной балансировки, устойчивости, а в ряде случаев и управляемости модели.

**Геометрия стабилизаторов.** Наиболее часто стабилизаторы встречаются таких форм, которые показаны на рис. 24. В плане стабилизаторы могут быть расположены тоже по-разному (рис. 25).

Устойчивого вертикального взлета добиваются и за счет точного выполнения стабилизаторов. Невозможно сделать даже две совершенно одинаковые детали, и стабилизаторы, конечно, получаются разные. Стабилизаторы

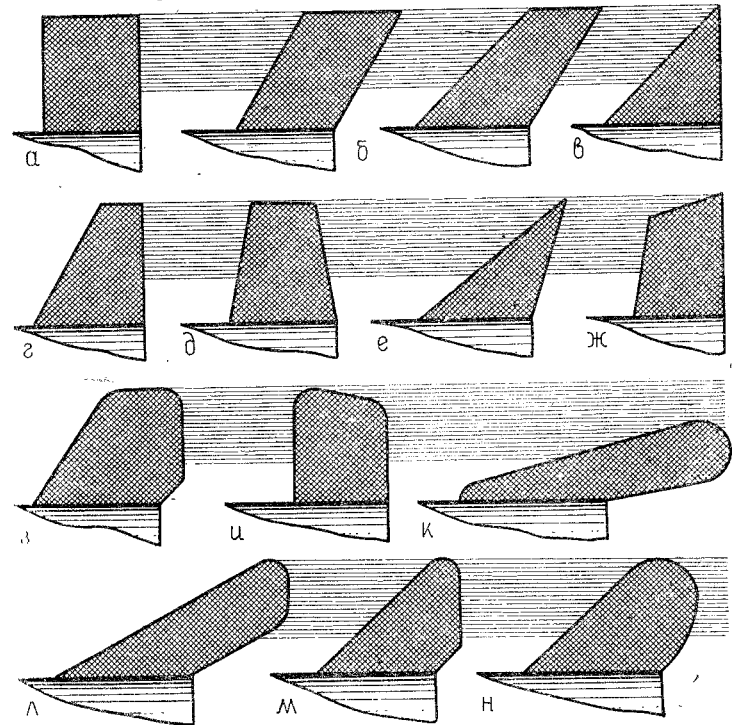


Рис. 24. Формы стабилизаторов для моделей ракет:

а — прямоугольная; б — стреловидная; в — треугольная; г, е, ж, з, и, к, л, м — комбинированные; д — трапециевидная; н — эллипсовидная

затор, имеющий большее лобовое сопротивление, создает опрокидывающий момент. Поэтому чем больше поставлено стабилизаторов (при постоянной их суммарной площади), тем более вероятно, что погрешности изготовления взаимно компенсируются.

Единственная армейская ракета «Найк-Аякс», да то уже снятая с вооружения, имеет на стартовом ус

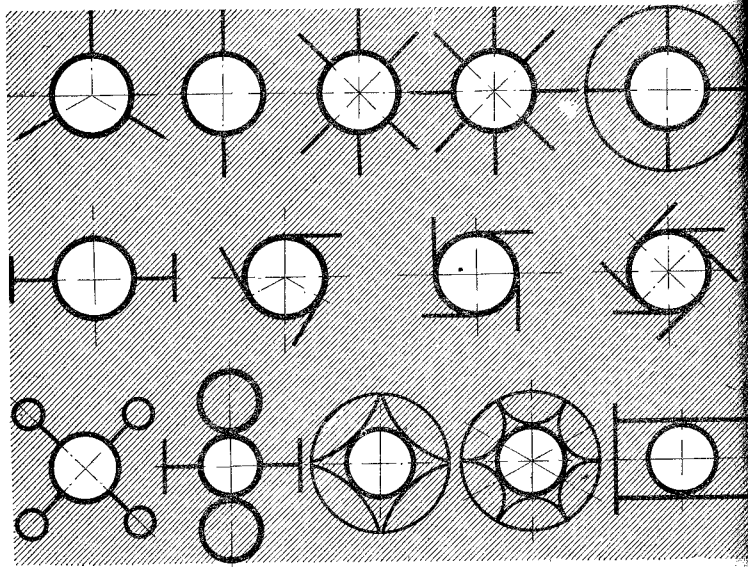


Рис. 25. Формы стабилизаторов в плане

рителе три стабилизатора, а все остальные ракеты — четыре стабилизатора и более. Ракетой управляют в взаимно перпендикулярных плоскостях, отсюда расположение стабилизаторов и рулей на них.

Ставить три стабилизатора и на моделях ракет не целесообразно. Это очень распространенная техническая и методическая ошибка.

**Стабилизаторы из листовых материалов.** Самый распространенный и лучший материал для стабилизаторов — миллиметровая авиационная фанера, липа и бальза. Применяют и более толстую фанеру, но это не всегда оправдано по весу так же, как и использование листе

вых пластмасс. Стабилизаторы из пластмасс (кроме пенопластов), вследствие их большего удельного веса по сравнению с фанерой, увеличивают вес по крайней мере в три раза.

Пластинчатые стабилизаторы вырезают из деревянных пластинок, фанеры или из листовой пластмассы,

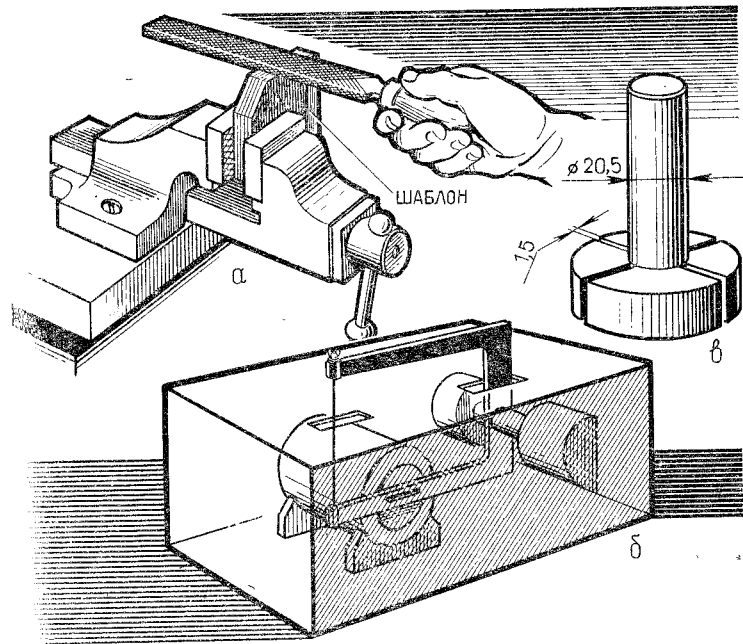


Рис. 26. Изготовление пластинчатых стабилизаторов: а — пакетом по шаблону; б — на механическом лобзике; в — стапель для установки пластинчатых стабилизаторов

собирают в пакет и обрабатывают в пакете на всю длину моделей (по шаблону). Затем каждую пластинку обрабатывают отдельно в зависимости от выбора аэродинамического профиля.

Для точной установки стабилизаторов применяют приспособление, которое по своему назначению в большой технике называется стапелем. Стапели могут быть спроектированы для центровки корпуса с посадкой по наружной или по внутренней поверхности (рис. 26).

Прорези под установку стабилизаторов делают на фрезерном станке в делительной головке под четыре, шесть и восемь стабилизаторов.

**Стабилизаторы из бумаги.** Получают некоторый выигрыш в весе, если изготавливают стабилизаторы с ромбовидным профилем или же в виде кольцевых, расположенных несоосно к корпусу модели (рис. 27). Та

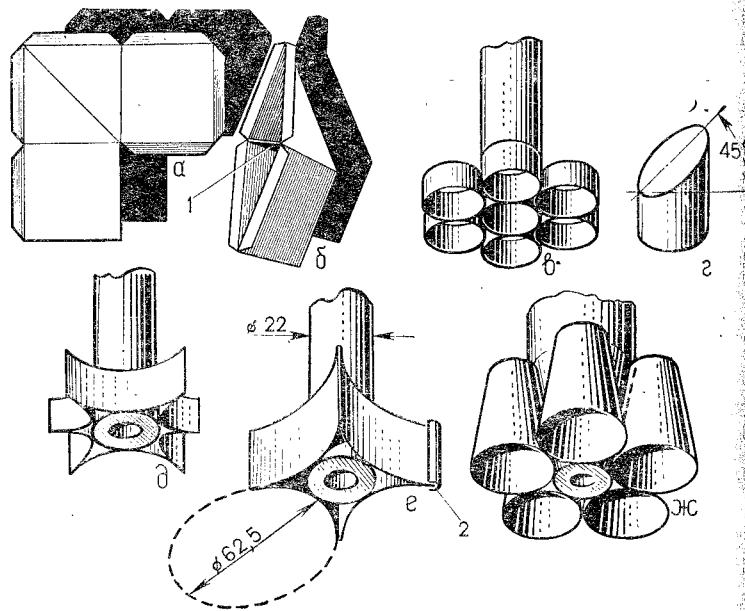


Рис. 27. Изготовление стабилизаторов из бумаги:

*a* — раскрой ромбовидного; *б* — сборка ромбовидного; *в* — несоосные кольцевые; *г* — оправка для подрезки «на угол» кольцевых; *д* — из шести дуг; *е* — из четырех дуг; *жс* — конические; 1 — картонный лонжерон; 2 — обкладка

кое конструктивное решение позволяет использовать один материал — бумагу.

Набор кольцевых стабилизаторов выполняют в следующей последовательности. Наматывают цилиндр того же диаметра (на той же оправке), что и корпус для этой модели. Разрезают цилиндр на три цилиндрические заготовки по разметке. Если кольцевые стабилизаторы цилиндрические, то сразу на шесть. На оправке, которая представляет собой цилиндр, разре-

занный секущей плоскостью с наклоном в  $45^\circ$ , три заготовки режут по этой плоскости (см. рис. 27, *г*).

Для приклейки шести кольцевых стабилизаторов делают ступень, так как их ставят плотно по окружности, если все семь диаметров равны. Получается самоцентрирование. Это второе технологическое преимущество данного конструктивного решения.

Можно использовать не только целые кольца, но и их части. Если эту задачу решают для равных диаметров корпуса и стабилизатора, то кольцо стабилизатора режут на три равные части (под  $120^\circ$ ) по продольной образующей. Затем шесть дуг кольца собирают, как показано на рис. 27, *д*. По стыкуемым кромкам целесообразно проложить обкладку из миколентной или из калькированной бумаги.

При четырех дугах кольца соотношение диаметров корпуса и стабилизатора будет  $2\sqrt{2} d_k = D_{ст} \approx 2,83 d_k$ , а само кольцо цилиндра режут на четыре части (под  $90^\circ$ ). Сборка четырехсекционного варианта показана на рис. 27, *е*. Если шестилепестковый вариант требует опрaвку одного диаметра, то четырехлепестковый — две оправки разных диаметров. В частности, для  $d_k = 22$  мм,  $D_{ст} = 62,5$  мм.

Если корпус модели ракеты выполнен с конической тормовой частью, а следовательно, для изготовления этой части корпуса была сделана коническая оправка, то на этой оправке можно выполнить конические стабилизаторы.

Такие стабилизаторы располагают по окружности. Оси этих усеченных конусов находятся параллельно оси модели. При постановке четырех стабилизаторов  $D_k \leq 2,83$  кормы, т. е. для  $d$  кормы = 22 мм —  $D_k \leq 62,5$  мм. При  $D_k = 2,83 d$  кормы четыре конических стабилизатора будут по нижнему срезу касаться друг друга, что увеличивает жесткость конструкции.

Пять усеченных конусов, равномерно расположенных по окружности и касающихся друг друга по нижнему срезу, требуют соотношения диаметров  $D_k = 2,23 d$  кормы. Для  $d$  кормы = 22 мм,  $D_k = 49,1$  мм.

Модели ракет с набором цилиндрических или конических кольцевых стабилизаторов показали при летных испытаниях высокую устойчивость.

## Глава 6.

### РАСЧЕТЫ, ПРОВЕДЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТОВ И ИЗГОТОВЛЕНИЕ ПАРАШЮТОВ ДЛЯ МОДЕЛЕЙ РАКЕТ

Гениальный итальянский художник и ученый Леонардо да Винчи сделал набросок парашюта в 1495 году и научно обосновал возможность безопасного снижения человека с высоты на землю. Оригинальная идея, высказанная им, не была претворена в жизнь и долгое время оставалась неизвестной. В дальнейшем изобретатели и ученые многих стран пытались решить эту проблему, применяя разнообразные зонтичные поверхности: совершались прыжки с мостов, башен, крыши высоких домов, а позже и с воздушных шаров.

Развитие авиации потребовало создания совершенной, чисто авиационной схемы парашюта, поскольку конструкция воздухоплавательных парашютов была громоздкой и неудобной.

Первый парашют, пригодный для прыжков и спасения человека с летательного аппарата, разработал в 1911 году актер Большого драматического театра изобретатель Глеб Евгеньевич Котельников, а в 1912 году он продемонстрировал первый в мире спасательный парашют, который стал основой всех современных конструкций парашютов.

В наше время все известные космические аппараты возвращаются на землю на парашютной системе спасания.

#### КРУГЛЫЕ В ПЛАНЕ ПАРАШЮТЫ

**Простейшие парашюты (плоские).** Время полета моделей ракет парашютирующих классов складывается из времени подъема модели и времени ее спуска на парашюте. Если первое составляет несколько секунд, то второе — несколько минут. Отсюда понятно, какое значение для моделей ракет парашютирующих классов имеет правильное проектирование и изготовление парашюта. От совершенства его конструкции зависит результат соревнований. Задача, которая стоит перед ракето-

моделистом, проектирующим модель ракеты одного из парашютирующего класса, — увеличить время парашютирования и уменьшить снос ее по ветру.

#### Проектирование парашюта.

Математически и экспериментально доказано, что парашют круглой формы наиболее легкий при равных несущих способностях по сравнению с многогранным.

При конструировании парашюта классической (круглой) формы одно из обязательных условий — необходимость купольного отверстия, которое создает устойчивость, а это особенно важно на переходном режиме раскрытия купола. Купольное отверстие должно иметь диаметр в 50 раз меньше диаметра парашюта:  $d = \frac{D_n}{50}$ .

Практика ракетомодельных соревнований показала, что количество строп нужно не менее восьми, а лучше двенадцать или даже шестнадцать. Длина стропы должна быть не менее 1,5 диаметра купола парашюта.

Простейший парашют для моделей ракет представляет собой круг с купольным отверстием и восьмью стропами. Купол вырезают после складывания восемь раз, каждый раз уменьшая угол сектора вдвое (рис. 28).

#### Сборка парашюта.

К готовому куполу равномерно по окружности прикрепляют стропы. Чтобы они были равные по длине, их лучше намотать между двумя фиксаторами с заданными расстояниями. В простейшем случае — это два гвоздя, вбитые в доску на расстоянии, большем 1,5 диаметра парашюта. К одному из фиксаторов привязывают конец нитки и натягивают между ними нужное количество строп. Хорошо, если диаметры парашютов, а следовательно, и длины строп кружковцы унифицировали, например 300, 600, 1200, 1800 мм. Основной диаметр для моделей ракет парашютирующих классов  $D_n = 1200$  мм (парашют из полиэтилентерефталатной металлизированной пленки). У фиксаторов намотанные нитки обрезают. Как правило, это хлопчатобумажные нитки № 10, но можно применять шелковые или капроновые.

Если купол парашюта сделан из ткани (шелк или капрон), то стропы пришивают, если из миколентной бумаги или синтетической пленки, то — приклеивают. Стropы приклеивают, положив их на край купола крючком, и накрывают накладкой. Для приклейки строп к куполу из миколентной бумаги используют клей казен-

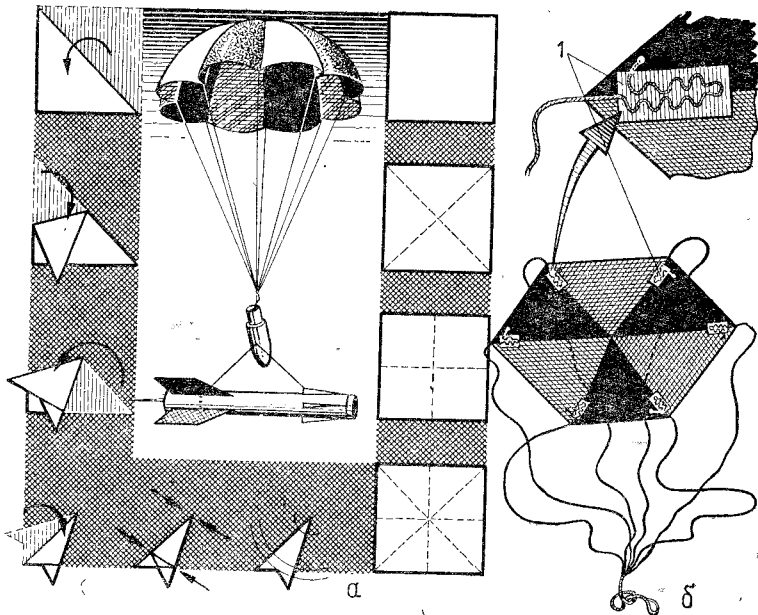


Рис. 28. Технология изготовления простейшего парашюта для моделей ракет:  
а — изготовление купола; б — схема крепления строп к куполу; 1 — накладка

новый, эмалит, силикатный, а лучше синтетический конторский, а если из полиэтилентерефталатной пленки — только клей № 88. Склеивать детали из пленки между собой или со стропами можно только с той стороны, где нет металла. Определяют, с какой стороны находится металл (напыленный алюминий), прибором: омметром карманным типа МБ7Д. Такой прибор легко сделать самим. Он состоит из миллиамперметра, батарейки и двух контактов-щупов. При постановке щупов на металлизированную сторону прибор

покажет, что по цепи идет ток. Если же щупы прислонить к неметаллизированной стороне пленки, то из-за большого электрического сопротивления стрелка прибора останется на нуле. Если синтетическую пленку для купола применяют рифленой, то это исключит слипание парашюта. Кроме того, купол необходимо пересы-

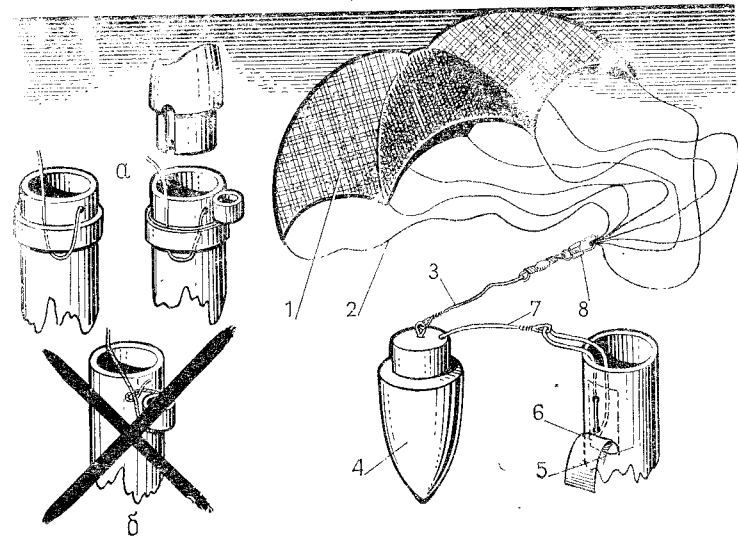


Рис. 29. Крепление парашюта к модели ракеты:  
а — наружное крепление фала на корпусе модели; б — неправильное крепление фала; 1 — купол парашюта; 2 — стропы; 3 — резиновый амортизатор; 4 — головной обтекатель; 5 — корпус модели; 6 — накладка; 7 — фал; 8 — карабин

пать тальком, а стропы, особенно капроновые, патереть тальком. Они становятся однополосно заряженными статическим электричеством и отталкиваются между собой, поэтому уменьшается вероятность их перепутывания.

Стropы подрезают до одинаковой длины и через карабин соединяют с амортизатором и фалом. Карабин — это шарнир, который позволяет модели вращаться в полете, не закручивая стропы парашюта (применяется в рыболовных снастях). Крепят фал к корпусу модели ракеты чаще изнутри, продевая его через два отверстия в корпусе. Концы связывают и подрезают. Снаружи и изнутри на фал наклеивают накладку из папиросной

или миколентной бумаги на эмалите. Этот способ просто в верхней части внутри корпуса модели выше парашюта получается узел, который может помешать выходу парашюта (рис. 29,а).

Лучше, если фал крепят снаружи вдоль корпуса. На корпус наклеивают бумажное кольцо шириной 10 мм. Конец фала подгибают и наклеивают на это кольцо под углом к оси. Сверху наклеивают второй слой кольца. Крепление получается надежное, но требуется лыска в посадочной поверхности головного обтекателя для выхода фала в корпус модели ракеты без деформации корпуса. Практика показала, что крепить фал к направляющему кольцу нельзя, так как по статистике до 50% отрываются кольца или перетирается фал при движении модели по направляющему штырю (рис. 29,б).

**Полусферические парашюты.** Построение секторов купола. В практике ракетно-космического моделирования встречаются полусферические парашюты, состоящие из четырех, шести, восьми секторов. Их изготовить сложнее, но время полета у них больше, так как  $c_x$  такого парашюта больше, чем у плоского.

Рассмотрим геометрическое построение сектора купола парашюта диаметром 750 мм, состоящего из восьми секторов ( $n = 8$ ).

Основание сектора будет равно  $c = \frac{\pi D_{\text{п}}}{n} = \frac{3,14 \cdot 750}{8} = 295$  мм, а высота сектора  $h = \frac{\pi D_{\text{п}}}{4} = \frac{3,14 \cdot 750}{4} = 590$  мм.

Для того, чтобы построить точки, образующей сектора, надо сделать его чертеж. Для этого проведем горизонтальную линию, равную  $c$ , и от ее середины восстановим перпендикуляр, равный  $h$ . В точке их пересечения проведем окружность радиусом, равным  $\frac{c}{2}$ , и четверть этой окружности разделим на шесть одинаковых частей. На такое же количество частей разделим высоту  $h$ . Через эти точки проведем линии, параллельные линии  $c$ . Согласно нумерации на рис. 30 проведем из точек окружности линии, параллельные линии  $h$ , до пересечения с перпендикулярами соответствующего номера. Точки пересечений соединим по лекалу: получится шаблон без припуска на клеевой шов и без ку-

польного отверстия. С учетом припуска на клеевой шов, вырезав восемь секторов и склеив, получим купол полусферического парашюта. Остальные операции такие же, как и с плоским куполом.

**Другие конструкции парашютов с круглым куполом.** Кроме обычных круглых парашютов с купольным отверстием, встречаются в современной технике и моделизме и другие их конструкции.

Через купольное отверстие часть воздуха «вытекает», уменьшая несущие возможности парашюта. Чтобы отказаться от купольного отверстия и сохранить устойчивость, можно изготовить парашюты с «карманами» центральными или боковыми (рис. 31, а, б).

Простейший кольцевой парашют (рис. 31,в) имеет небольшие преимущества в тихую погоду, но даже в небольшой ветер эти преимущества теряются, а двойное количество строп, характерное для этого вида, остается.

Более интересный каскадный парашют, у которого над кольцевым парашютом установлен купольный (рис. 31,г). Основное преимущество: при заданном максимальном диаметре суммарная несущая площадь получается больше, чем у купольного. Недостаток — большее количество строп, чем у купольного, а следовательно, большая вероятность их перепутывания.

Парашюты описанных схем были испытаны и участвовали в соревнованиях.

**Укладка парашюта.** Есть несколько способов укладки. Один из них такой. Парашют складывают пополам так, чтобы одна половина строп легла на другую. Еще раз складывают пополам, оставляя купольное

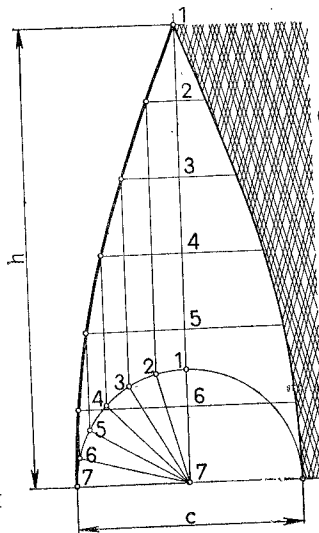


Рис. 30. Построение сектора купола полусферического парашюта

$$c = \frac{\pi D_{\text{п}}}{n}; h = \frac{\pi D_{\text{п}}}{4}$$

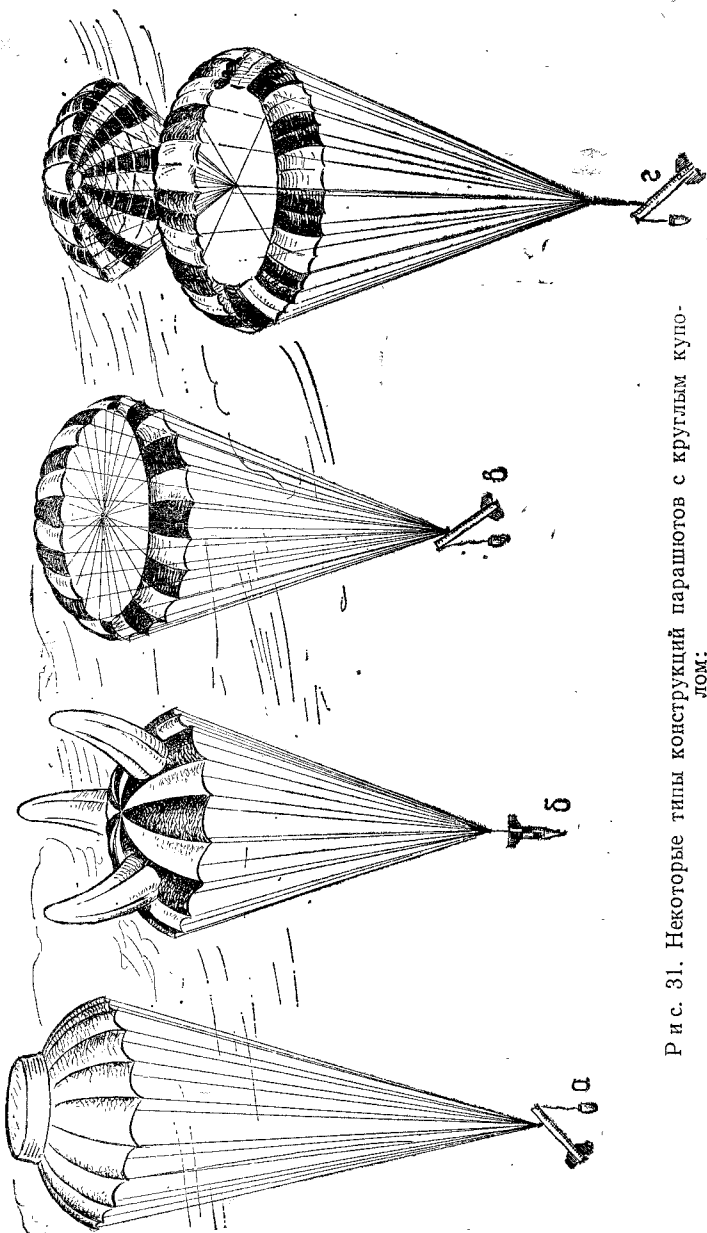


Рис. 31. Некоторые типы конструкций парашютов с круглым куполом:  
 лом: а — самбери; б — крошечные уши; в — кольцевои; г — каскадный

отверстие точкой, от которой уменьшается угол сложенного сектора. Складывать нужно до тех пор, пока все стропы лягут одна на другую. После этого парашют складывают пополам: купольное отверстие к дуге сектора — поперек радиуса. Сложенный парашют разглаживают рукой, удаляя из складок воздух. Затем его еще раз складывают один или два раза (сгибы по радиусу). Надевают чехол и вставляют в корпус модели.

Если контейнер большого диаметра, но малой длины, то лучше сложить парашют поперек радиуса на три части.

При заворачивании парашюта в стропы укладка получается удобной, но теряется высота, пока они разворачиваются после отстрела парашюта, и до 40% запусков давали нераскрывающийся купол. Лучше, если при укладке остается свободный объем, в который помещают стропы, амортизатор и фал кольцами с пальца или с карандаша.

**Чехлы для парашютов.** Чехлы применяют для удобства укладки парашюта, уменьшения коэффициента трения о корпус при отстреле парашюта и дополнительной его защиты от прорвавшихся пороховых газов.

Чехлы, как правило, изготовляют из кальки. Простейший чехол представляет собой диск диаметром 100 мм. Его надевают на оправку и обжимают (рис. 32, а). Такой чехол надевают снизу на парашют и парашют вставляют в корпус вместе с чехлом.

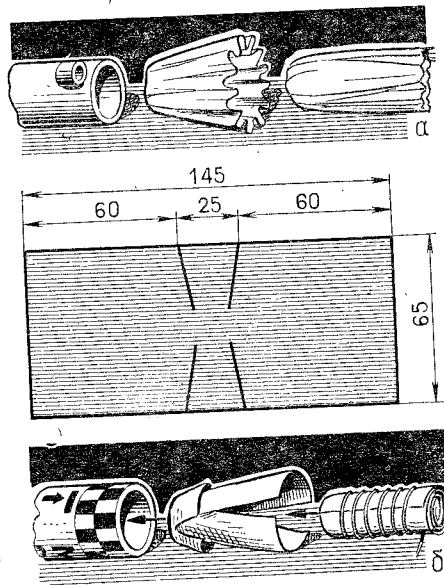


Рис. 32. Чехлы для парашютов:  
 а — дисковый целый; б — разрезной



Второй вид конструкции чехла выполняют в виде полосы, ширина которой  $c = \frac{\pi a_k}{2} + 20$  мм, а длина  $l = 4c$ . На полосе делают четыре прореза под  $60^\circ$  к ее продольной оси и обжимают на оправке (рис. 32, б).

Иногда под чехол надевают еще цилиндр, несклеенный по образующей, тоже из кальки, величина нахлеста у которого  $\approx 10$  мм. Благодаря некоторой упругости кальки чехлы, изготовленные из нее, в момент отстрела парашюта легко спадают.

Чехлы и пыжи разрешается сбрасывать без спасения. Время их полета и момент касания земли не фиксируются.

### ПАРАШЮТЫ С ПРИНУДИТЕЛЬНЫМ РАСКРЫТИЕМ

В большой технике для малых скоростных напоров разрабатываются парашюты с принудительным раскрытием. Такие скоростные напоры могут иметь место при входе в разреженную атмосферу планеты, например Марса, или при раскрытии парашюта в верхних слоях атмосферы Земли.

Скорость спуска на запасном спортивном парашюте у земли доходит до 7,5 м/с, а скорость парашютирования модели ракеты порядка 0,4 м/с. Так как в формулу скоростного напора скорость входит в квадрате  $q = \frac{\rho V^2}{2}$ , то, следовательно, скоростные напоры для натурального парашюта в 100 раз больше, чем для парашюта модели ракеты, а скоростной напор для парашютирующей модели соизмерим со скоростным напором для парашютов со спасаемым космическим аппаратом в разреженной атмосфере.

Один из вариантов конструкции принудительно раскрывающегося парашюта представляет собой четырехугольник с диагональными надувными балками. Для парашютирующего класса целесообразно их заменить жесткими, принудительно раскрывающимися. Такой парашют позволяет не терять высоту во время разворачивания купола.

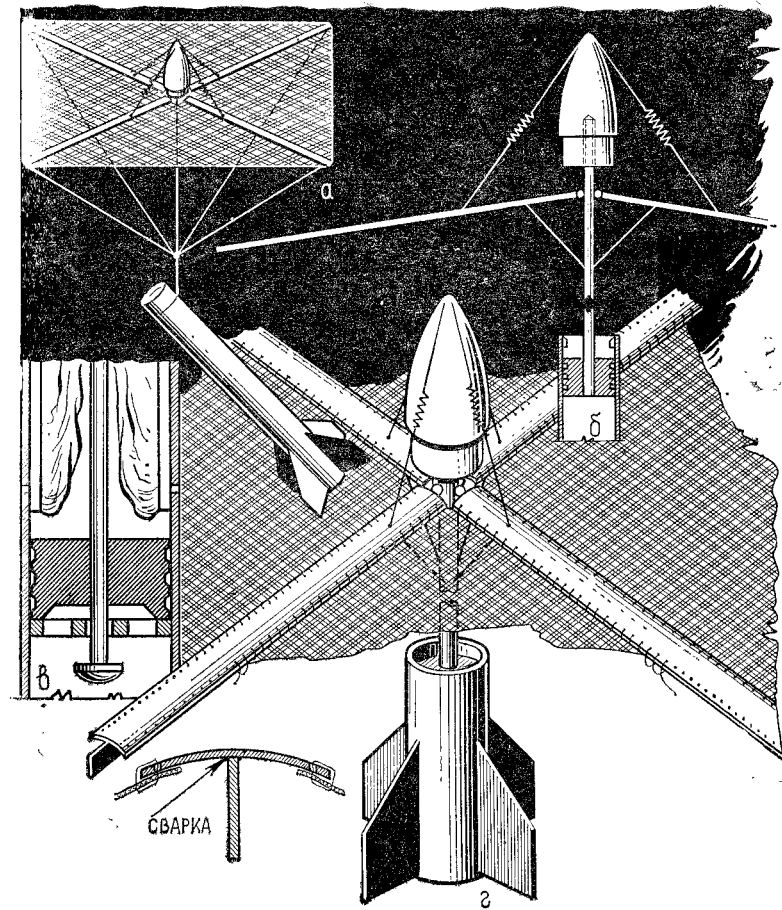


Рис. 33. Парашют с принудительным раскрытием:  
а — на пяти стропках; б — с продольным отстрелом на центральной оси; в — замок освобождения парашюта; г — балки из элементов корпуса

Четырехугольный парашют с четырьмя балками с механизмом принудительного раскрытия зонтичного типа имеет пять строп: четыре по углам и центральную. Головной обтекатель остается сверху парашюта, к которому крепятся резиновые жгуты, раскрывающие балки. Балки раскрываются до упора на головном обтекателе. Лучший материал для балок — каракамыш.

Отстрел — по обычной схеме. Данный парашют вы полняют и без строп. Для этого в головной обтекатель вворачивают ось, нижний конец которой имеет поршень с лабиринтным уплотнением. После отстрела поршень передвигается по корпусу вверх до упора и балки могут свободно раскрыться (рис. 33).

Балками могут быть не только специальные элементы, но и продольные части корпуса. После освобождения нижних концов частей корпуса они раскрываются и выполняют работу балок. Силовым несущим элементом конструкции в данной схеме является центральная ось, соединяющая приборный отсек с головным обтекателем.

Балки освобождаются за счет хода приборного отсека или за счет переплавления капроновой нити. Рассмотренная схема требует, чтобы части корпуса — балки хорошо работали на кручение. Для этого используют балки полутаврового сечения, из полистирола, которые можно изготовить методом сварки: к отформованным частям корпуса — балкам (полкам) приваривают стенку полутавра.

Величина диагонали такого парашюта не более двух длин парашютного контейнера  $2l_{п.к.}$ , если они не складываются. Отсюда несущая площадь этого парашюта  $S_{\max} = (2l_{п.к.} \sin 45^\circ)^2 = 2l_{п.к.}^2$ .

Вместо упоров на головном обтекателе иногда ставят растяжки, ограничивающие угол раскрытия балки, фиксируя его между балкой и несущей осью модели.

\* \* \*

Мы рассмотрели парашюты для спасения моделей ракет с точки зрения их несущей способности и сравнительной надежности системы спасения. Но моделисты решают вопросы не только максимального времени полета и надежности, но и минимального ухода модели, так как ее необходимо догнать и доставить в назначенное судьями время. Отсюда возникает вторая проблема, связанная с парашютами, — добиваются минимального сноса парашютирующих моделей по ветру.

## РАСЧЕТЫ ВРЕМЕНИ СНИЖЕНИЯ ПАРАШЮТОВ БЕЗ АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО КАЧЕСТВА

Скорость снижения, а следовательно, и время можно подсчитать, зная высоту начала парашютирования, если допустить, что режим парашютирования установившийся и нам известны метеорологические параметры:

$$V_{уп} = \sqrt{\frac{2p}{c_x \rho}} = 4 \sqrt{\frac{p}{c_x}},$$

где  $p$  — удельная нагрузка на парашют,  $p = \frac{G_{сух}}{S_{п}}$ ;

$G_{сух}$  — (сухой) вес модели (без топлива);

$S_{п}$  — площадь парашюта,  $S_{п} = \frac{\pi D_{п}^2}{4} = 0,785 D^2$  (для круглого).

Формула  $V_{уп} = 4 \sqrt{\frac{p}{c_x}}$  справедлива, если плотность воздуха возьмем по стандартной атмосфере. Тогда время парашютирования будет:  $t_{п} = \frac{H}{V_{уп}} = \frac{H}{4} \sqrt{\frac{c_x}{p}}$ .

Для того, чтобы определить скорость снижения, кроме плотности воздуха и характеристик модели  $G_{сух}$  и  $S_{п}$ , необходимо знать коэффициент  $c_x$ , характеризующий аэродинамические возможности парашюта.

Парашюты для моделей ракет летают на малых  $Re$  и поэтому их  $c_x$  больше, чем у натуральных парашютов, а чем больше  $c_x$ , тем больше время парашютирования.  $c_x$  выбранного парашюта можно определить по формуле:  $c_x = \frac{16p \cdot t^2}{H^2}$ , проведя его сбросы при постоянной высоте и замерив время парашютирования.

Для плоских куполов, образующихся из диска за счет некоторой вытяжки материала в центре купола и деформации его в месте приклеивания строп, ( $c_x \approx 1,4$ . Для куполов, имеющих форму полусферы (собранных из оживальных секторов),  $c_x \approx 1,6$  (рис. 34).

По номограмме, где скорость снижения парашюта дана в зависимости от удельной нагрузки на парашют и коэффициента лобового сопротивления, зная последние два параметра, определяют скорость парашютирования:  $V_{уп} = f(p; c_x)$ .

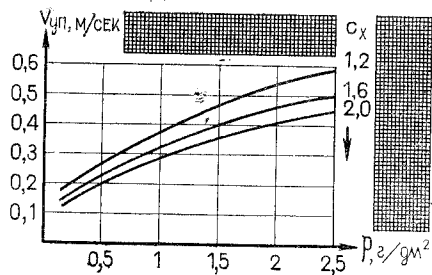


Рис. 34. Номограмма зависимости скорости снижения парашютирующей модели от удельной нагрузки на парашют и коэффициента  $C_x$

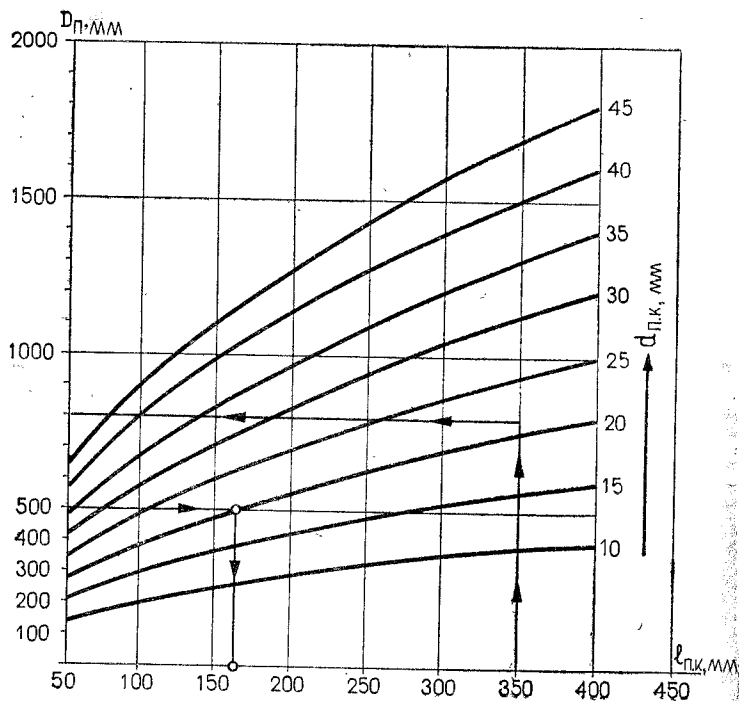


Рис. 35. Номограмма контроля диаметра парашюта  $D_п$  из микролентной бумаги в зависимости от диаметра корпуса модели  $d_{п-к}$  и длины его парашютного контейнера  $l_{п-к}$

Парашют из заданного материала и заданного диаметра укладывают в определенный объем корпуса модели ракеты. Уменьшение этого объема приводит к более плотной укладке парашюта, что снижает надежность его отстрела из парашютного контейнера.

Для парашютов из микролентной бумаги приведена номограмма, по которой можно определить допустимый диаметр парашюта в зависимости от длины и диаметра корпуса (парашютного контейнера):  $D_п = f(l_{п-к}, d_{п-к})$  (рис. 35).

Полиэтиленрефталатная пленка толщиной 5 микрон позволяет увеличить диаметр парашюта при том же контейнере в 1,5 раза. Следовательно, площадь парашюта увеличивается в 2,5 раза, но это получается только при правильной укладке парашюта.

#### ПАРАШЮТЫ С АЭРОДИНАМИЧЕСКИМ КАЧЕСТВОМ

**Парашюты с полутороидальным куполом.** Если проследить историю развития парашюта с аэродинамическим качеством, то можно заметить тенденцию к втягиванию центральной части купола и увеличению количества прорезей, т. е. к образованию предкрылков и закрылков.

Так как площадь боковой проекции у классического купола больше, чем у купола с втянутым центром (полутороидальным), то и аэродинамическое качество у такого парашюта больше.

Даже такая, будто бы незначительная доработка обычного купола парашюта, как постановка центральной стропы, сделала форму купола в виде полутора, а стропы, открывшая тангенциальную реактивную щель, сократила дальность сноса модели по ветру вдвое. Следовательно, и время доставки модели сократилось в два раза, а несущие способности модели с этим парашютом несколько не ухудшились: на внутриклубных соревнованиях (проверка новых схем и решений) она заняла первое место среди моделей одного из парашютирующих классов.

Выигрыш объясняется тем, что боковая щель создавала тягу и момент. Модель на таком парашюте дви-

гается по ветру, совершая движения по циклоиде с периодическим возвратным движением. Если бы ветра не было, то она двигалась бы по окружности. Степень вытянутости или сжатости циклоиды зависит от составляющей, этой векторной задачи — скорости ветра.

Можно сделать две реактивные щели, но тогда необходимо всю систему спроектировать, чтобы парашют имел угол атаки  $\alpha$ , а центр тяжести (ц.т.) был впереди центра давления (ц.д.). Для этого под реактивными щелями ставят килевое полотно и несимметричную подвеску модели ракеты под куполом (будут разноравеликие стропы).

Чтобы купол был «натянут» и не имел пузырей и вмятин, его лучше изготовить не из плоского полотна, а собрать из нескольких секторов.

Построение секторов. Задаемся двумя величинами: площадью парашюта  $S_{\Pi}$  и количеством секторов  $n$ .

Из заданной площади находим диаметр  $D_{\Pi} = 2 \sqrt{\frac{S_{\Pi}}{\pi}}$ .

Определяем длину окружности  $c_{\Sigma} = \pi D_{\Pi}$ , длину дуги

го основания сектора:  $c = \frac{c_{\Sigma}}{n}$  и высоту развертки сектора  $h = \frac{\pi D_{\Pi}}{4}$ .

Проводим построение сектора. Для этого откладываем отрезок, равный  $c$ , и из его середины восстанавливаем перпендикуляр, равный  $h$ .

На отрезке  $c$  строим две окружности диаметром  $d = \frac{c}{2}$ , которые будут касаться друг друга в точке пересечения линии  $c$  и  $h$ . Делим окружности на несколько равных частей  $m$ , а отрезок  $h$  на  $\frac{m}{2}$  равных частей. Нумеруем точки. Восстанавливаем перпендикуляры от линии  $h$ . Из точек, поделивших окружность на равные части, проводим линии, параллельные  $h$ . Пересечение этих линий с линиями  $\perp h$  дадут точки кривой сектора полтораидального парашюта (рис. 36).

**Треугольные парашюты.** Добиться от парашютирующей модели полета по окружности можно, применив треугольные парашюты. Подобные парашюты начинают широко применять в спортивном парашютирова-

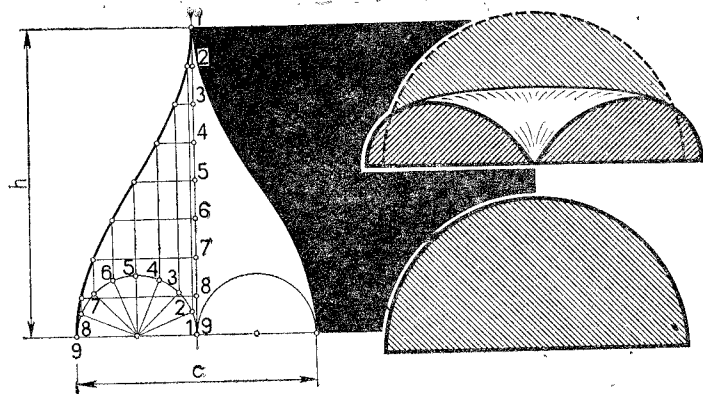


Рис. 36. Построение сектора для полтораидального парашюта

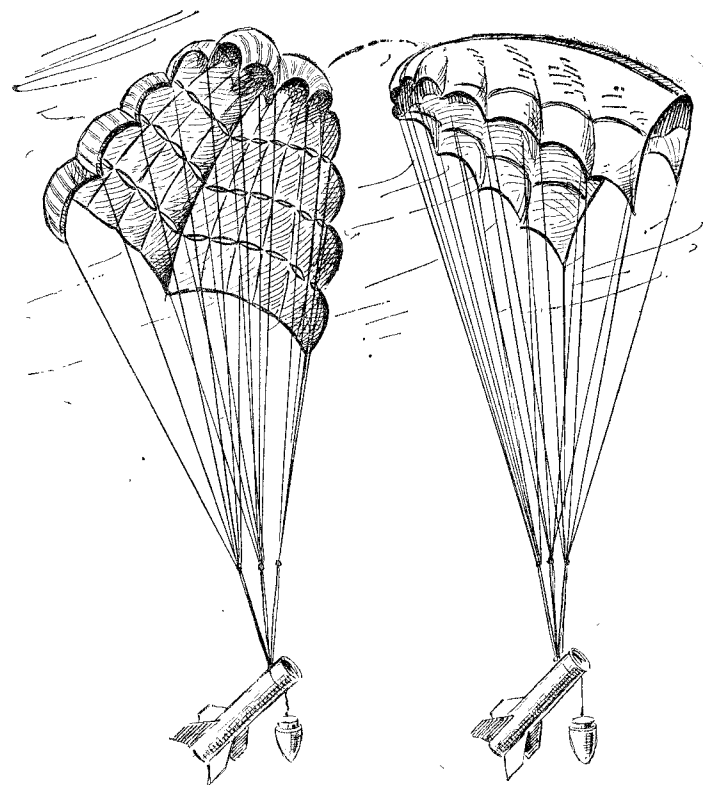


Рис. 37. Треугольные парашюты (планирующие)

ми. Для этого модель регулируется на вираж величиной строп. При ветре она будет двигаться по циклопте (рис. 37).

Вертикальная скорость снижения у этих парашютов почти в два раза меньше, чем у круглых (плоских) парашютов.

**Четырехугольные парашюты.** По своему внешнему виду такие парашюты напоминают крыло планера. Они состоят из трех прямоугольных полотен, имеют четыре голя, сдвигающие ц.д. назад и придающие устойчивость по курсу (рис. 38,а).

Дальнейшим развитием парашютов прямоугольной формы в плане является парашют с закрылком. Кроме закрылка, он имеет треугольные аэродинамические шайбы (рис. 38,б).

Еще один прямоугольный парашют (рис. 38,в) в плане — параглизсер — бипланная коробка из двух полотнищ, соединенных профилированными перегородками. Этот аппарат, поглощая воздух при своем движении, освобождает его с другой скоростью. И так как сечение входного отверстия не равно выходному, у аппарата создается реактивная сила.

Очень интересно планирование парашютчирющей модели против ветра. Причем она должна самоустанавливаться против ветра. Если отрегулировать модель так, чтобы горизонтальная составляющая скорости планирования была равна скорости ветра, то модель будет «стоять на месте» и не будет сноситься. Для соревнований это большое преимущество. Но необходимо знать скорость ветра в данном районе и в данное время года (розу ветров).

## МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПАРАШЮТОВ И ИХ ОКРАСКА

Самый распространенный материал — миколентная бумага. Но гигроскопичность ее приводит к частым отрывам — неотстрелу парашюта. Именно поэтому были разработаны парашюты из синтетической мегаллизированной пленки (полиэтилентерефталатной).

Применяются также тонкие ткани, которые более воздухопроницаемы, чем бумага и синтетическая пленка. Некоторые ткани имеют сочную окраску и хорошо смо-

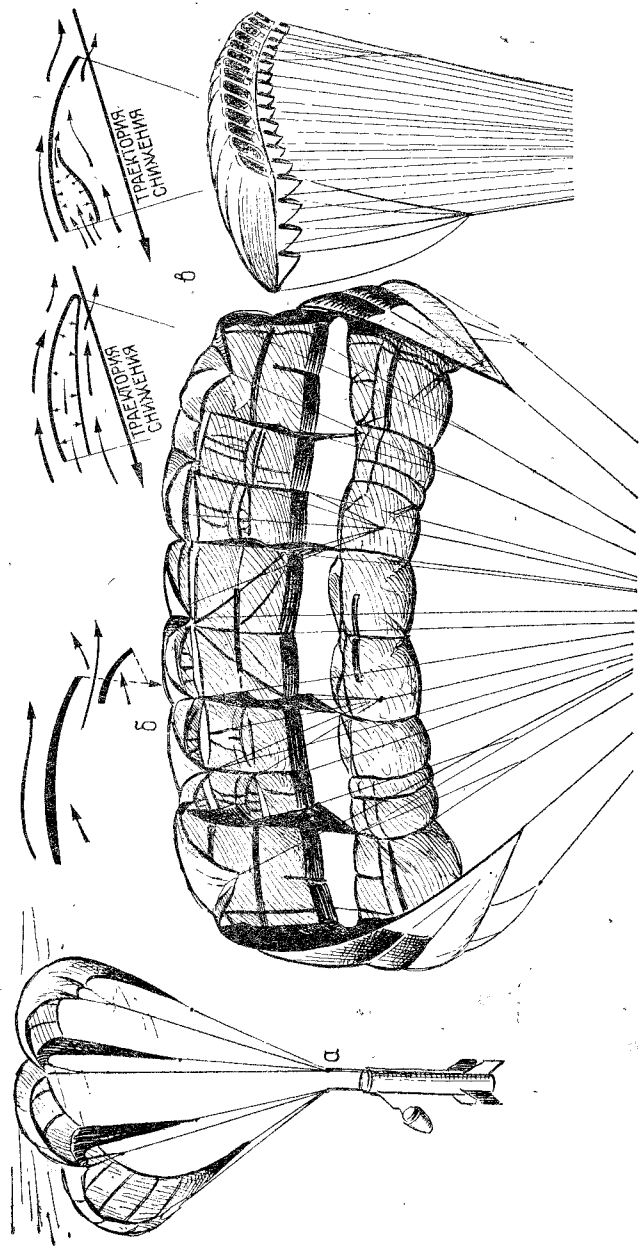


Рис. 38. Четырехугольные парашюты: а — полотнищ; б — с закрылком; в — параглизсер; г — полотнищ.

трятся на фоне неба. Натуральные ткани, хотя и меньшей степени, чем бумага, но все же гигроскопичны. Синтетические ткани имеют тот же недостаток, что пленка: при прорыве пороховых газов спекаются.

Чтобы удобно было следить за парашютирующей моделью ракеты, раскраска ее парашюта должна быть достаточно контрастной на фоне неба. Как показывает практика соревнований, судья-секундометрист наиболее

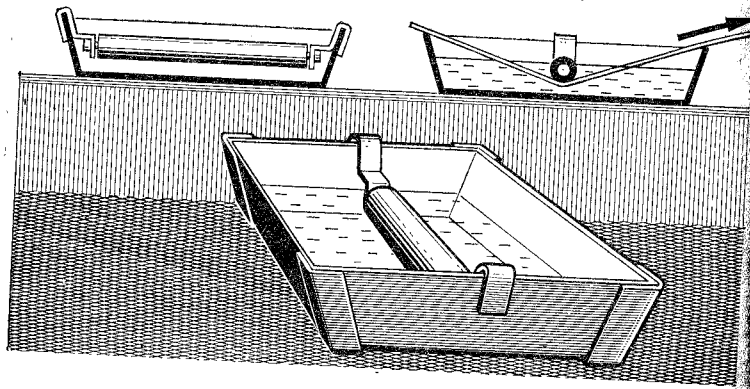


Рис. 39. Ванночка с валиком для окраски миколентной бумаги

долго видит парашют, сделанный из синтетической металлизированной пленки. В солнечную погоду, периодически отражая лучи солнца, такой парашют по зрительному восприятию напоминает пульсирующую яркую лампу.

Для окраски парашютов из миколентной бумаги служат анилиновые краски для тканей, разведенные из расчета 1 пакета краски на 0,5 л горячей воды, или цветные чернила. Чтобы получить ровную окраску, необходимо сделать специальную ванночку с валиком (рис. 39). Когда бумага высохнет, ее проглаживают утюгом. Для склейки куполов секторных парашютов из цветной бумаги не следует пользоваться казеиновым клеем, так как он обесцвечивает краску.

**Подъем парашютирующих систем.** Парашюты в любом случае, а особенно, если они новой конструкции или применены новые материалы, целесообразно испытать в полете, прежде чем ставить на модель. Сбросы нельзя проводить вдоль стен, так как псевдывается несимметричное обтекание и парашют «подсасывается» к стене. Испытания необходимо организовать на открытом месте: лучший способ — заброс парашюта на стреле с помощью лука или арбалета (рис. 40, а). При этом вес стрелы должен равняться весу спускаемой модели ракеты. Стропы парашюта крепят к наконечнику стрелы, а уложенный парашют на этом наконечнике образует мягкий обтекатель.

Лучшие породы дерева для лука — можжевельник, корень ели, рябина, белая акация, яблоня, грецкий орех, бук, клен, ясень или дуб. Минимальная длина заготовки для лука равняется метру, а максимальная, как показано на рис. 40, г. На тетеву идет обыкновенный шпагат, натертый воском или пропитанный лыжной мазью, а лучше — капроновая леска.

Стрелы лучше всего делать из прямослойной ели, сосны, ясеня, клена, березы или тростника, тщательно отполировав их наждачной бумагой или куском стекла. Длина стрелы 710—750 мм. Вес (в зависимости от имитируемой модели) регулируют съемным наконечником, который можно повернуть на стрелу. Изготовленные из материалов с разным удельным весом наконечники являются регулятором веса испытываемой системы.

На заднем конце стрелы (пеньке) вырежьте паз для посадки тетивы. Клеем и нитками прикрепите перья крупной птицы. Это стабилизаторы, которые необходимы для прямолинейного полета. Стрелы натрите воском, предварительно окрасив в яркий цвет. На рис. 40, б показаны три способа натягивания тетивы, применяемые в зависимости от упругости лука.

Чтобы иметь относительно постоянную высоту начала парашютирования испытываемого парашюта, лучше сделать арбалет. Арбалетом называется лук, соединенный с ружейным ложем и спусковым механизмом.

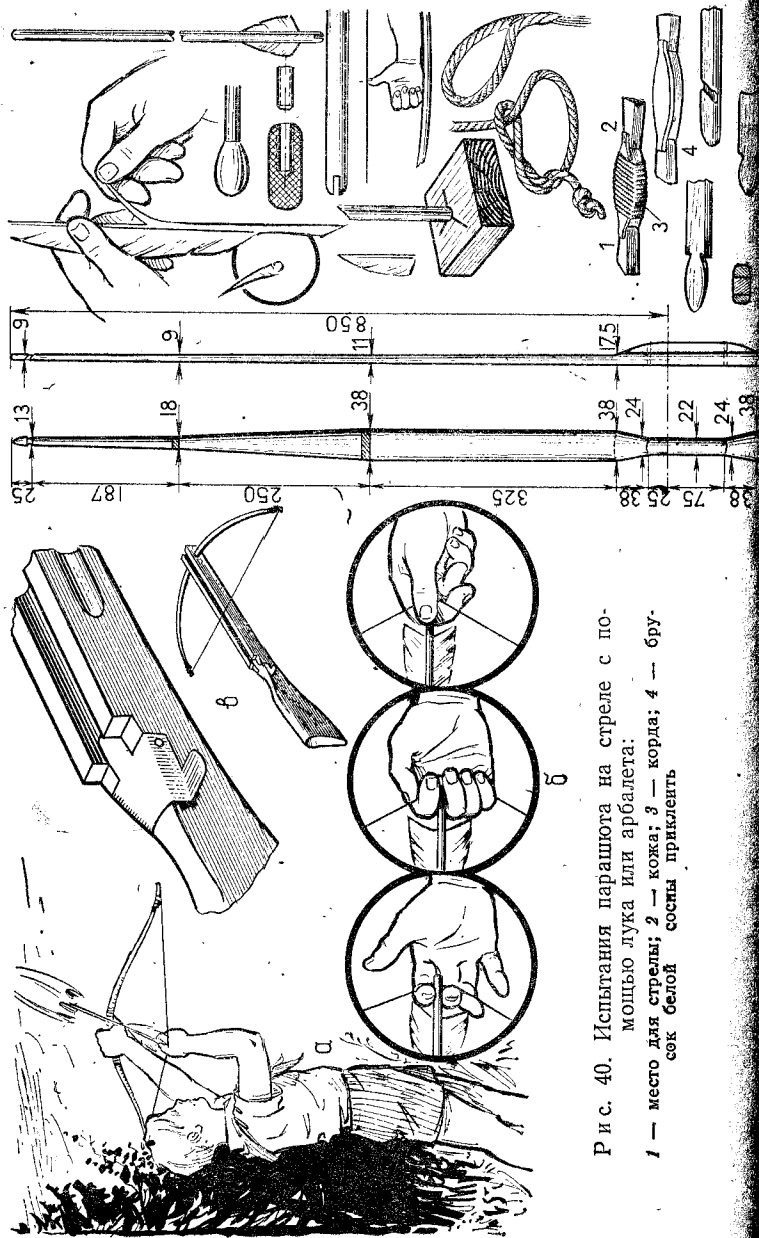


Рис. 40. Испытания парашюта на стреле с помощью лука или арбалета.  
 1 — место для стрелы; 2 — кожа; 3 — корда; 4 — брусок белой сосны приклеить

Ложе арбалета дорабатывают из ложа игрушечного ружья, автомата и т. д., в том числе и пластмассового. Или же делают из доски размером  $700 \times 150 \times 40$  мм. Вдоль ложа сверху выдалбливают корытообразную выемку для стрелы глубиной, равной половине ее диаметра. Сбоку ложа на расстоянии от 400 до 500 мм от спускового механизма (курка) просверливают отверстие для древка лука. При окончательной отделке ложе зачищают наждачной бумагой и покрывают лаком (рис. 40, в).

Спусковой механизм арбалета состоит из металлической пластинки, согнутой по контуру ложа. Крепят его на выемке ложа при помощи оси с головкой. На противоположный конец надевается шайба и навинчивается гайка или же она расклепывается.

Действие спускового механизма заключается в следующем. Тетива натягивается и удерживается выступами корытообразной выемки. При этом выступ спускового механизма должен находиться под тетивой. При нажатии большим пальцем правой руки на спусковой крючок спускового механизма скоба приподнимается, поднимает тетиву, которая ударяется о конец стрелы, и стрела, неся парашют, летит.

Чтобы придать древку лука овальную форму, его надо опустить в горячую воду и распарить. В доску вбивают два ряда гвоздей, расположив их по форме лука. Между рядами гвоздей вставляют распаренное древко. Когда древко высохнет, его продевают в отверстие, сделанное в ложе, и укрепляют сверху винтом, шурупом или заклинивают деревянным клином.

Для небольшого арбалета берут древко длиной 600—700 мм и диаметром 20—30 мм. Длина тетивы должна быть такой, чтобы расстояние от середины натянутого лука до середины тетивы равнялось  $1/10$  длины лука, т. е. высота сегмента равна  $1/10$  длины дуги. На одном конце тетивы делают петлю и наглухо затягивают ее на зарубке древка, на другом — оставляют свободный конец, который завязывают после регулировки длины тетивы. Когда тетива натянута, испытывают прочность лука, осторожно подтягивая тетиву к спусковому механизму. Выгибать древко надо плавно, без рывков, чтобы оно не треснуло.

Парашюты на стреле надо запускать в безветренную погоду, чтобы получить «чистые» аэродинамические характеристики парашюта.

**Расчет  $c_x$  парашюта.** Если для эксперимента используют не только секундомер для замера времени парашютирования, но и приборы для замера высоты, то можно рассчитать коэффициент лобового сопротивления  $c_x$  испытываемого парашюта. Парашюты целесообразно сравнивать по этому безразмерному параметру:

$$c_x = \frac{2G_{сyx}t^2}{\rho H^2 S} = 16 \frac{G_{сyx}t^2}{H^2 S} = \frac{16t^2 p}{H^2},$$

где  $p$  — удельная нагрузка.

Лучше рассчитывать  $c_x$  не по величине плотности воздуха стандартной атмосферы, а по фактической, т. е. плотность воздуха должна быть взята фактической:

$$\rho = 0,0474 \frac{p}{(273 + t^\circ C) \left(1 + 0,378 \frac{e}{p}\right)},$$

где  $p$  — атмосферное давление, тогда  $c_x = \frac{2t^2 p}{\rho H^2}$ .

При испытании парашютов с аэродинамическим качеством необходимы приборы для замера высоты. Этими приборами измеряют точку начала парашютирования и точку посадки  $F$ . Определяют высоту и дальность парашютирования.

**Расчет аэродинамических параметров планирующих парашютов.** Чтобы рассчитать аэродинамические параметры парашюта, необходимо приборы для замера высоты и место запуска расположить в одной плоскости  $ACB$ . Расстояния между местом пуска и приборами должны быть равны между собой  $AC=CB$  (лучше взять эти расстояния равными  $\frac{e}{2} = 100$  м). Приборами нужно измерять углы возвышения  $\beta_1, \beta_2$  и азимутальные  $\alpha_1, \alpha_2$  — начала парашютирования и азимутальные  $\gamma_1, \gamma_2$  — места посадки.

Высоту определяют по формуле:

$$H = \frac{e \cdot \operatorname{tg} \beta_1 \cdot \operatorname{tg} \beta_2}{\operatorname{tg} \beta_1 \cdot \cos \alpha_2 + \operatorname{tg} \beta_2 \cdot \cos \alpha_1}.$$

Дальность планирования лучше определить графическим способом на планшете. Эпицентр начала пла-

нирования определяют пересечением лучей из точек теодолитов  $A$  и  $B$  в точке  $E$ , проведенных под соответствующими углами  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$ . Замеряют угловые размеры точки посадки  $\gamma_1$  и  $\gamma_2$ . Пересечение лучей из точек  $A$  и  $B$  под углами дает точку посадки  $F$  на планшете. Отрезок  $EF$  в масштабе будет дальностью планирования  $L_{пл}$ .

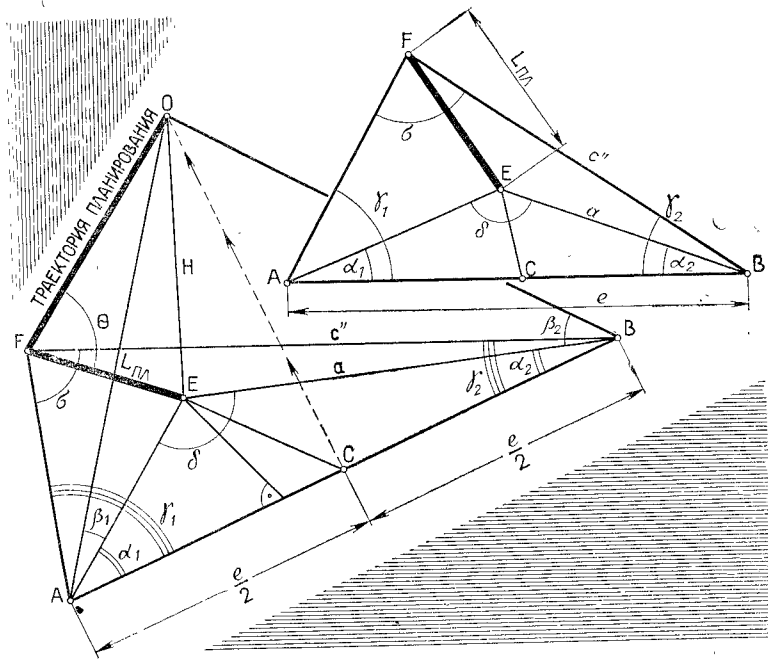


Рис. 41. Определение угла, дальности планирования и аэродинамического качества парашюта

Величину  $EF$  можно определить и аналитическим путем (рис. 41), где точки  $C$  — старта,  $A$  и  $B$  — теодолитов,  $E$  — эпицентра (точка, над которой началось парашютирование),  $F$  — посадки.

$$\text{В } \triangle AEB \angle AEB = 180 - (\alpha_1 + \alpha_2) = \delta;$$

$$\text{в } \triangle AFB \angle AFB = 180 - (\gamma_1 + \gamma_2) = \sigma.$$



Решаем  $\Delta AEB$  и  $\Delta FBA$  по теореме синусов. Сторона  $EB = a = \frac{e \sin \alpha_1}{\sin \sigma}$ , где  $e$  — удвоенная база замера. Сторона  $FB = c'' = \frac{e \cdot \sin \gamma_1}{\sin \sigma}$ .

Таким образом в  $\Delta FBE$  известно две стороны:  $EB = a$ ,  $FB = c''$  и  $\angle FBE = \alpha_2 - \gamma_2$ , который заключен между ними.

Расстояние  $L_{пл}$  находят по теореме косинусов:

$$L_{пл}^2 = a^2 + c''^2 - 2ac'' \cos(\alpha_2 - \gamma_2).$$

Тогда

$$L_{пл} = \sqrt{\left\{ \frac{e \sin \alpha_1}{\sin[180 - (\alpha_1 + \alpha_2)]} \right\}^2 + \left\{ \frac{e \sin \gamma_1}{\sin[180 - (\gamma_1 + \gamma_2)]} \right\}^2 - 2 \frac{e^2 \sin \alpha_1 \cdot \sin \gamma_1 \cdot \cos(\alpha_2 - \gamma_2)}{\sin[180 - (\alpha_1 + \alpha_2)] \cdot \sin[180 - (\gamma_1 + \gamma_2)]}},$$

в формуле все величины известны.

Замерив время полета  $t$ , можно определить составляющие скорости — вертикальную и горизонтальную:

$$V_y = \frac{H}{t}; \quad V_x = \frac{L_{пл}}{t}.$$

Отсюда, в зависимости от фактической высоты полета, можно определить время фактическое  $t_{\phi} = \frac{H_{\phi}}{V_y}$  и фактическую дальность ухода модели  $L_{\phi} = V_x \cdot t_{\phi}$ .

Регулируют модель на  $V_x = U$  ( $U$  — скорости ветра), и если она отбалансирована и устанавливается против ветра, то унос модели будет равен 0.

Регулировать модель следует, изменяя аэродинамическое качество

$$K = \frac{L_{пл}}{H} = \frac{1}{\operatorname{tg} \theta} = \frac{Y}{X} = \frac{c_y}{c_x},$$

где  $\theta$  — угол планирования.

При проектировании нового парашюта необходимо руководствоваться задачей, которую выполняет модель, и результатами расчетов, полученными при предварительных испытаниях парашютирующей системы спасения.

## Глава 7.

### РАСЧЕТ СИСТЕМ МОДЕЛЕЙ РАКЕТ НА ВРЕМЯ ПАРАШЮТИРОВАНИЯ И ИХ ИЗГОТОВЛЕНИЕ

Механизм отстрела системы спасения состоит из двух частей: подачи команды на отстрел парашюта (системы спасения) и источника энергии для отстрела парашюта (системы спасения).

Команду на отстрел системы спасения на моделях ракет можно подать:

— от двигателя или его системы (пиротехническая команда);

— по величине набегающего потока (аэродинамическая команда);

— по величине перегрузки (баллистическая команда).

Источником энергии отстрела системы спасения являются пороховые газы (пиросистема отстрела), или резиновый жгут, или пружина.

Источник подачи команды и вид энергии отстрела комбинируют самым различным образом и получают девять вариантов.

#### Осевой отстрел парашюта

**Отстрел пороховыми газами и лабиринтное уплотнение.** Самая распространенная система отстрела парашюта такая, которая подает команду от двигателя, чаще всего через пиросистему — замедлитель на пороховую навеску, отстреливающую систему спасения (парашют) энергией пороховых газов. Это бортовая система отстрела (рис. 42).

Преимущества системы — простота, легкость, безотказность. Недостатки — возможность прорыва пороховых газов через пыжи, что приводит к прожиганию парашюта, если он сделан из бумаги, шелка или из других натуральных материалов, и к спеканию парашюта, если он изготовлен из синтетических материалов: капроновой ткани, пленки ПЭТФ и т. д.

Эта система становится надежной только в том случае, если имеется надежная система защиты от прорыва

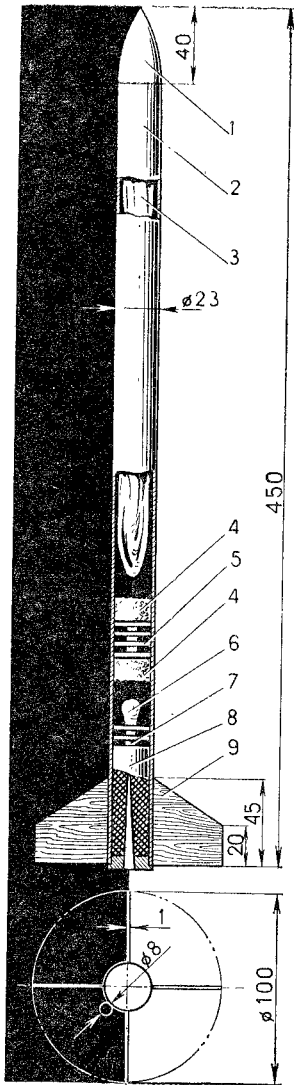


Рис. 42. Одноступенчатая модель ракеты на время парашютирования первого чемпиона СССР по ракетному моделизму М. Пантелеева:

1 — головной обтекатель; 2 — корпус; 3 — парашют; 4 — пыж; 5 — лабиринтное уплотнение; 6 — вышибной заряд; 7 — замедлитель; 8 — микро-РДТ; 9 — стабилизатор

ва пороховых газов. Такая система была отработана и с успехом применялась. Она состоит из лабиринтного уплотнения, ватных пыжей и чехла на парашюте и кальки (см. рис. 42).

Лабиринтное уплотнение. Процесс в лабиринте называется дросселирование. В каждой камере лабиринта осевая скорость газа падает до нуля за счет вихреобразования и ударов стенки. Переходя из камеры в камеру, газ адиабатически расширяется, его давление падает. Так как в лабиринте перепад давления между двумя смежными камерами мал, то уравнение Бернулли, записанное для сечения в камере  $i$  и следующей за ней щели, примет вид

$$P_i = P_{i+1} + \frac{C^2 \gamma}{2g},$$

где  $C$  — скорость по камере. Здесь не учтены гидравлическое сопротивление и эффект сжатости.

Для каждого отношения величины зазора между стенкой модели и лабиринтом  $\delta$  к высоте лабиринта  $h$  существует оптимальное число щелей  $z_{\text{опт}}$ , при котором расход газа минимален:

$$z_{\text{опт}} = 1 + 0,06 \frac{h}{\delta}.$$

Из этой формулы можно определить строительную высоту лабиринта:

$$h = \frac{\delta(z-1)}{0,06}.$$

Наиболее удачная форма гребешков лабиринта показана на рис. 43. Лабиринты изготовляют методом точения на токарном станке из липы или сборные из картонных дисков с пенопластовыми проставками. Па-

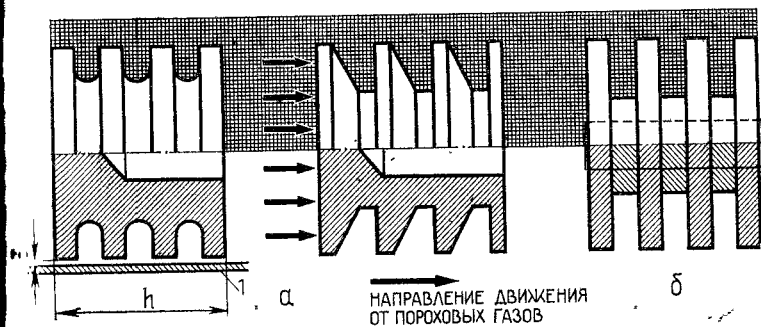


Рис. 43. Формы гребешков лабиринтных уплотнений: а — точеный из дерева; б — сборный из картона; 1 — корпус модели

кет шивают. Диски имеют некоторую свободу передвижения в параллельных плоскостях, что компенсирует неточность сборки.

Отстрел «рогаткой» (резиновым жгутом). Чтобы парашют не отстреливать энергией пороховых газов, применяют систему, которая состоит из подачи команды от двигателя (пирокоманды) и источника энергии от резиновых жгутов, — «рогатки».

Замедлителем в ряде случаев служит пороховая чехла, которая удерживает «рогатку» во взведенном положении.

«Рогатка» представляет собой поршень, выполненный с проточками из липы, как в лабиринтном уплотнении. В поршень сверху вворачивают штангу из основной рейки, на которую укладывают парашют. Штанга сверху имеет обтекатель из бальзы или из пенопласта. Снизу к поршню прикрепляют серьгу, входящую в прорезь шпангоута, ее делают из стали или из сплава на

медной основе. Кроме того, к поршню крепят два резиновых жгута (круглого сечения), являющиеся источником энергии отстрела парашюта. Противоположные концы резиновых жгутов прикрепляют к верхней части корпуса модели ракеты.

Особенность конструкции модели ракеты при данной выбранной системе отстрела парашюта — наличие шпангоута (рис. 44). Этот шпангоут разграничивает приборный отсек с пирочеккой от отсека полезной нагрузки с парашютом (парашютного контейнера). Пирочекку вырезают из пороховой шашки микро-РДТТ, состав кото-

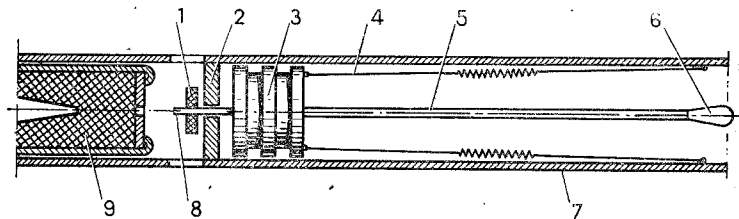


Рис. 44. Отстрел парашюта «рогаткой»:

1 — пирочекка; 2 — шпангоут; 3 — поршень; 4 — резиновые жгуты; 5 — пружина; 6 — обтекатель; 7 — корпус; 8 — серьга; 9 — микро-РДТТ

рой должен быть с относительно низкой температурой горения и, главное, достаточно прочным. С этой точки зрения хорошо зарекомендовали себя микро-РДТТ, в состав пороховой шашки которых входит смола.

Приборный отсек должен иметь два отверстия для симметричного истечения газов из него. Ось этих отверстий перпендикулярна плоскости серьги и находится на одной оси с отверстием в серьге, в которое и вставляют пинцетом пирочекку.

Преимущества системы — почти исключено попадание пороховых газов на парашют, легкость ее, простота изготовления. Недостатки — относительная сложность сборки, а главное, возможность перепутывания парашютных строп со жгутами системы отстрела, а это аварию.

Для удобства монтажа пирочекки приборный отсек целесообразно делать из органического стекла, что позволит видеть сборку (монтаж пирочекки) и частично

ликвидирует один из недостатков системы — неудобство сборки.

**Отстрел пружиной.** Чтобы исключить перепутывание парашютных строп с элементами системы отстрела, была разработана система отстрела пружиной. Пружину крепят к шпангоуту одним концом, а к другому свободному через поршень-лабиринт крепят парашютный фал. В этом случае пружина играет роль не только источника энергии отстрела парашюта, но и амортизатора в момент раскрытия купола и аэродинамического рывка.

Система отстрела парашюта с помощью пружин имеет недостатки:

— сложность расчета и технологического изготовления пружины;

— несколько завышенный вес системы.

Правда, в главе об аэродинамике модели ракеты сказано о наиболее выгодном весе модели, который не равен минимальному (см. рис. 10,б).

### Неосевой отстрел парашюта

В рассмотренных схемах имелся в виду цилиндрический, неразрезанный корпус — отстрел парашюта в трубе.

На практике применяют еще схему выброса парашюта вбок через раскрывающуюся створку. Как правило, корпус модели ракеты разрезают вдоль по образующим (пополам). Такая схема создает более мягкий выход парашюта, чем отстрел. Для реализации ее необходимы шарниры и достаточно жесткие створки корпусов. Лучше, если их выполняют из стеклопластиков (стеклотекстолитов) методом намотки или же формуют из полистирола.

Возможны две схемы раскрытия корпуса: с продольными и поперечными шарнирами (чаще с одним).

Команда на раскрытие корпуса подается от тех же систем, что и при других схемах.

**Раскрывающийся корпус модели ракеты с продольным шарниром.** Источником энергии для раскрытия корпуса служит резиновый жгут, укрепленный на кронштейне. Продольный кронштейн представляет собой стержень с подвижными элементами — усиками. Запи-

рающий элемент — замок-стержень с набором продольных замков, которые выходят из зацепления после передвижения двигательного отсека относительно корпуса, имеющего одну степень свободы, да и то ограниченную (рис. 45). Двигательный отсек может передвигаться относительно корпуса модели ракеты от источника энергии пороховых газов вышибного заряда.

Чтобы ввести парашют в воздушный поток (не надеясь на элемент случайности, — вывалится он сам или

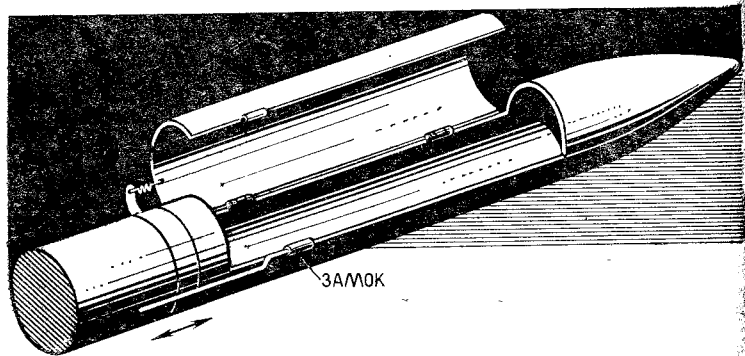


Рис. 45. Раскрывающийся корпус модели ракеты с продольным шарниром

не вывалится), применяют выталкивающий механизм. Источником энергии выталкивающего механизма — резиновые жгуты или пружины.

Резиновые жгуты устанавливают по торцам парашютного контейнера, а пружины могут быть утоплены в наборе ниш. Выталкивающую поверхность делают в виде половины цилиндра или рейки.

Недостатки схемы:

— сложность изготовления шарниров и выталкивающего механизма;

— разрезанный корпус, представляющий собой открытый профиль, который имеет недостаточную жесткость на кручение, когда замок открыт.

**Раскрывающийся корпус модели ракеты с поперечным шарниром.** Так как корпус раскрывается у этой схемы на поперечном шарнире, то его полуцилиндр имеет боль-

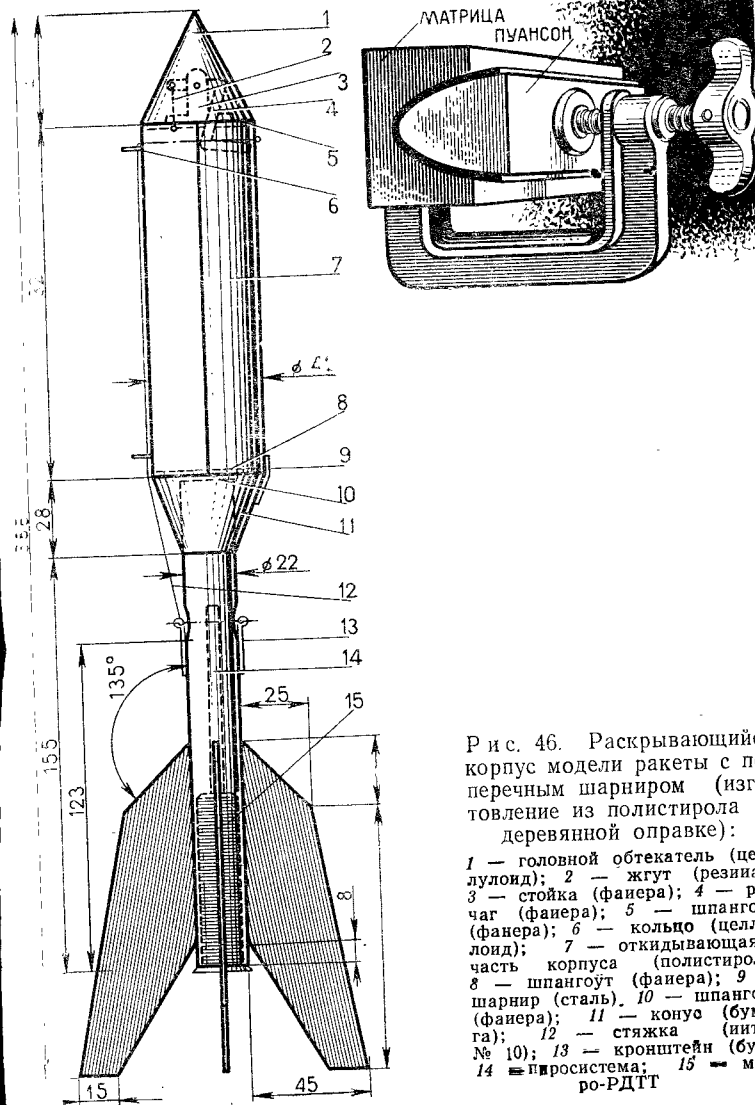


Рис. 46. Раскрывающийся корпус модели ракеты с поперечным шарниром (изготовление из полистирола в деревянной оправке):

1 — головной обтекатель (целлулоид); 2 — жгут (резина); 3 — стойка (фанера); 4 — рычаг (фанера); 5 — шпангоут (фанера); 6 — кольцо (целлулоид); 7 — откидывающаяся часть корпуса (полистирол); 8 — шпангоут (фанера); 9 — шарнир (сталь); 10 — шпангоут (фанера); 11 — конус (бумага); 12 — стяжка (нитка № 10); 13 — кронштейн (бук); 14 — пиростема; 15 — микро-РДТ

шнее плечо. Парашют крепится к створкам на противоположном конце относительно шарнира. Это освобождает модель от выталкивающего механизма. Команда на раскрытие может подаваться так же, как и у модели

с продольным шарниром. Резиновый жгут крепится кронштейну. Кронштейн лучше изготовлять из одного материала с корпусом и, если это пластмасса, то его можно приварить (рис. 46).

По сравнению со схемой с продольным шарниром в данной схеме парашютный контейнер представляет собой открытый профиль на всех этапах полета. Это требует более жесткой конструкции (вплоть до постановки шпангоутов), что увеличивает вес и трудоемкость изготовления модели ракеты. Это недостатки схемы.

Преимущество обеих рассмотренных схем:

— исключается прорыв пороховых газов в парашютный контейнер;

— исключается неполный выход парашюта из корпуса модели ракеты;

— почти отсутствует влияние силы трения на выход парашюта, а следовательно, и ее влияние при поглощении влаги из атмосферы материалом парашюта.

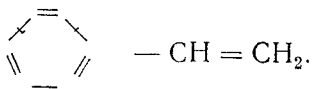
Модели ракет последних схем при высоком качестве изготовления надежнее схем пиротехнического отстрела парашюта энергией пороховых газов.

#### ИЗГОТОВЛЕНИЕ ПОЛУКОРПУСОВ МОДЕЛЕЙ РАКЕТ ДЛЯ НЕОСЕВЫХ ОТСТРЕЛОВ ПАРАШЮТОВ

Конструкции раскрывающихся полукорпусов моделей ракет должны быть повышенной жесткости, поэтому их целесообразно делать из пластмасс методом формования, например, из полистирола. Половинки корпуса шпангоуты, головной обтекатель, кронштейны и другие детали, выполненные из полистирола, лучше всего соединять сваркой.

**Формовка и сварка полистирола. Полимеры стирола.**

Полистирол — высокомолекулярный карбоцепной полимер стирола (винилбензола  $C_6H_5-CH=CH_2$ ). Элементарным звеном полимерной цепочки полистирола служит мономер стирола с заместителем в виде фенильной группы:



Полистирол — термопластический материал, почти полностью водостоек, обладает исключительно хорошими диэлектрическими свойствами. Он стоек к воздействию слабых кислот и щелочей, но разрушается при действии сильных кислот, в бензине и нефтепродуктах. Недостаток его — высокая хрупкость и низкая прочность, подвержен старению.

Из полистирола выполняют детали корпусов моделей ракет и те же детали, что и из винилпласта и органического стекла. Полистирол по своему фазовому состоянию при комнатной температуре аморфен. Технология изготовления корпуса такая же, как и из других пластмасс.

Температура текучести соответствует  $150^\circ\text{C}$ , а термодеструкции  $220^\circ\text{C}$ . Отсюда температура нагрева термощафа при штамповке полистироловых деталей должна быть  $150^\circ\text{C}$ , матрицы и пуансона  $100^\circ\text{C}$ , а заготовок  $125 \pm 3^\circ\text{C}$ . В остальном технологический процесс штамповки деталей из полистирола такой же, как и для винилпласта.

Сварку полистирола производят, применяя в качестве растворителя сложные эфиры, кетоны (ацетон, метилэтилкетон, циклогексанон), ароматические углеводы (бензол, толуол, ксилол), хлоропроизводные углеводородов.

В промышленности детали из полистирола соединяют с помощью дихлорэтана, иногда растворяя в нем 1—5% полистирола. Во многих случаях дихлорэтан, являющийся токсическим растворителем, заменяют. Примером таких составов, которые могут применяться при работе в кружках для соединений полистирола, служит бутилацетат, в который вводят около 4% толуола. Для соединения деталей сложной формы используют раствор полистирола в смеси указанных растворителей, вводя 6% блочного полистирола в смесь из 4% толуола и 90% бутилацетата. Продолжительность запрессовки при комнатной температуре составляет до 20 мин.

#### БАЛЛИСТИЧЕСКИЕ И АЭРОДИНАМИЧЕСКИЕ КОМАНДЫ ДЛЯ ОТСТРЕЛА СИСТЕМЫ СПАСЕНИЯ

Все рассмотренные схемы получают команды на отстрел системы спасения от двигателя через систему замедления или «на прямую». Разновидностью системы за-

медления является пирочека. Но команды могут подаваться не только от пиросистемы, но и от систем, срабатывающих от аэродинамических и баллистических параметров: от скоростного напора  $q = \frac{\rho V^2}{2}$  или по величине перегрузки  $n$ . В общем случае отношение силы взаимодействия с опорой к силе взаимодействия в нормальных условиях называется перегрузкой  $n = \frac{P}{G}$ .

**Аэродинамические команды.** В практике отечественного ракетно-космического моделирования команду по скоростному напору принимает аэродинамическое перо. Во время полета перо удерживается скоростным напором вдоль корпуса модели ракеты. Когда скоростной напор станет равен 0 или близким к 0, перо под действием резинового жгута отбрасывается. Команда пойдет на рычажную систему, которая, в свою очередь, освободит крюк, и система отстрела парашюта сработает. Сама система отстрела может быть в виде «рогатки» и пружины. Возможна схема, когда рычажная система замкнет контакты и сработает пиросистема отстрела парашюта, но это бывает в том случае, если на модели ракеты установлен бортовой источник электрической энергии. По весовым параметрам эта схема удачна для высотных моделей ракет класса Н-4 и копий класса К-4.

На перо необходимо ставить страховочное крепление, которое гарантирует от случайного срабатывания на старте, когда  $q=0$ . Крепление представляет собой капроновую или шелковую нить (капроновая быстрее переплавляется, чем перегорает хлопчатобумажная), которая проходит или над верхней частью микро-РДТТ и переплавляется в конце его работы, или же надевается петлей на его металлическую часть, если она есть, у его сопла и переплавляется в начальном этапе работы микро-РДТТ.

Если тихонько дуть на аэродинамическое перо и оно будет удерживаться под этим скоростным напором, а затем, перестав дуть, перо сработает, то это значит, что система отстрела парашюта работает в верхней точке траектории (апогее).

Одно из возможных конструктивных решений схемы показано на рис. 47: микро-РДТТ по окончании работы пережигает нить 2, которая удерживала аэродинамиче-

ское перо. Под действием резинового жгута 7 перо стремится отброситься, что произойдет при  $q=0$ . Перо 10 на рейке 11 повернется вокруг оси 13 кронштейна, и кронштейн 12 пера перестанет мешать рычагу 5 поворачиваться вокруг оси. Крюк 6 выйдет из зацепления, и рейка 8 выстрелит парашют 9.

В данном механизме необходимо подобрать соотношение плеч рычагов так, чтобы перо сработало почти при нулевом усилии. Сборка системы сложна. Для упрощения приборный отсек модели ракеты изготавливают из органического стекла.

*Раскрывающийся корпус модели ракеты по команде от скоростного напора.*

Одно из возможных конструктивных решений: на неподвижной части корпуса на шарнире устанавливают аэродинамическое перо 1, которое своим зубом входит в зацепление со скобой 2 на открывающейся части корпуса. Зуб входит в отверстие на траверсе и заклинивает полукорпус.

Если зуб пера выйдет из зацепления и отпустит траверсу, то резиновый

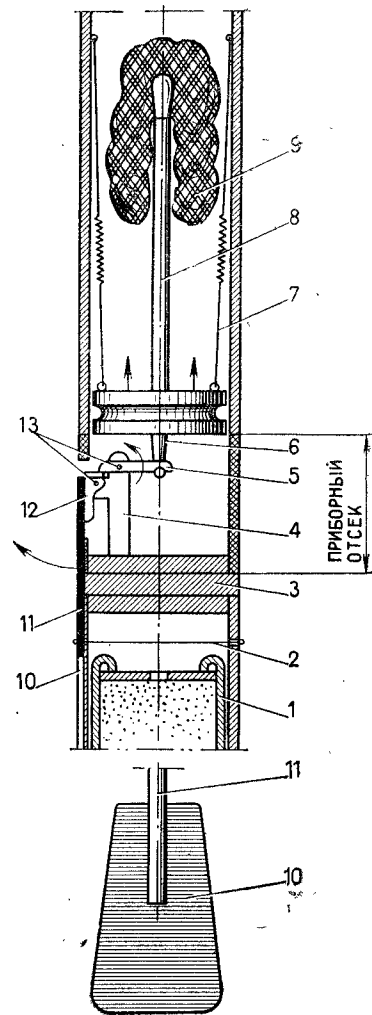


Рис. 47. Аэродинамическая команда, подаваемая на систему спасения с помощью рычагов:

1 — микро-РДТТ; 2 — нить; 3 — шпайгоут; 4 — неподвижный кронштейн; 5 — рычаг; 6 — крюк; 7 — жгут; 8 — рейка; 9 — парашют; 10 — перо; 11 — рейка пера; 12 — кронштейн пера; 13 — ось кронштейна

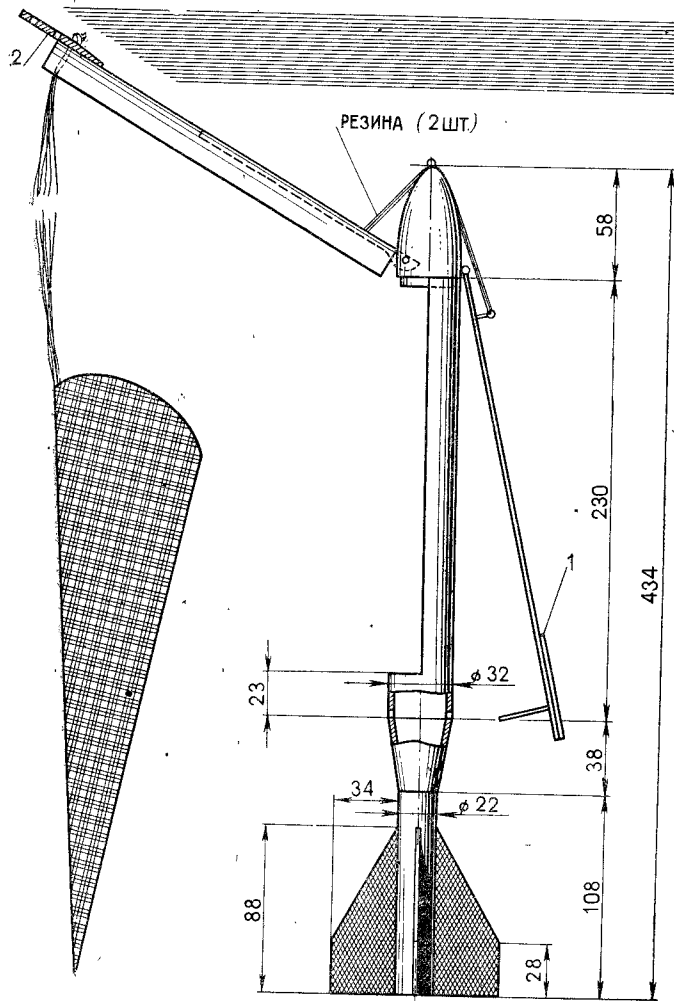


Рис. 48. Раскрывающийся корпус модели ракеты по команде от скоростного напора:  
1 — перо; 2 — скоба, удерживающая корпус

жгут раскроет корпус. Парашют окажется в воздушном потоке и раскроется.

Остальные элементы модели ракеты те же, что и предыдущей: страховочное крепление, конструкция пера и парашюта (рис. 48).

Команда, подаваемая на отстрел системы спасения по величине перегрузки. Впервые величину перегрузки в полете замерил профессор В. П. Ветчинкин в 1918 году с помощью обычных пружинных весов.

В нормальных условиях перегрузка равна единице  $n = \frac{P}{G}$ , так как сила, действующая на опору, равна весу  $P = G$ . Если сила взаимодействия с опорой отсутствует, то перегрузка равна 0. Такое состояние называется

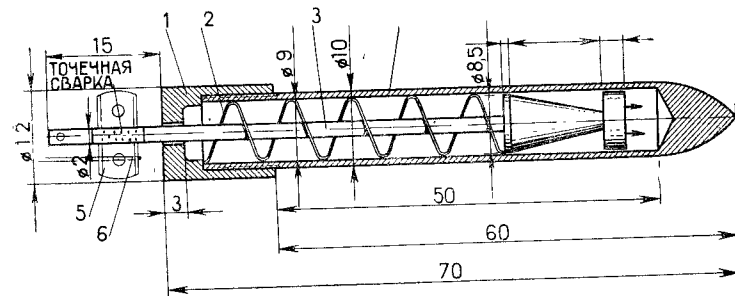


Рис. 49. Акселерометр осевых перегрузок:  
1 — гайка (эбонит); 2 — пружина (внутренний диаметр 3 мм); 3 — шток (сталь 20); 4 — корпус (оргстекло); 5 — лезвие бритвы; 6 — нить (перерезается при  $n=0$ )

невесомостью. Невесомость появляется в апогее полета модели ракеты. На этом принципе и основан механизм подачи команды по величине перегрузки. Сам механизм представляет собой простейший акселерометр.

Такой акселерометр может перерезать нить, удерживающую от срабатывания раскрывающийся корпус, «рогатку» или пружину (рис. 49).

Основные детали в приборном отсеке: пружина, груз, лезвие бритвы, перерезающее нить. Капроновая нить более чувствительна к надразам, чем хлопчатобумажная, поэтому лучше ставить ее. Нить проходит через два отверстия в приборном отсеке. Сам приборный отсек желательно изготовлять прозрачным, а так как он находится далеко от пороховых газов, то его можно делать не только из органического стекла, но и из целлулоида.

Один из характерных отказов в работе при полете модели ракеты — отстрел двигателя. Как правило, это происходит на моделях, которые используют энергию пороховых газов для отстрела системы спасения. Если силы трения парашюта и головного обтекателя о корпус модели ракеты окажутся больше, чем сила трения корпуса микро-РДТТ о корпус модели, то отстрелится двигатель, а не система спасения.

Модель ракеты должна быть многоразового применения, поэтому клеивать двигатель нельзя.

Есть два пути, чтобы избежать отстрел двигателя: повысить коэффициент трения (будем считать, что сила

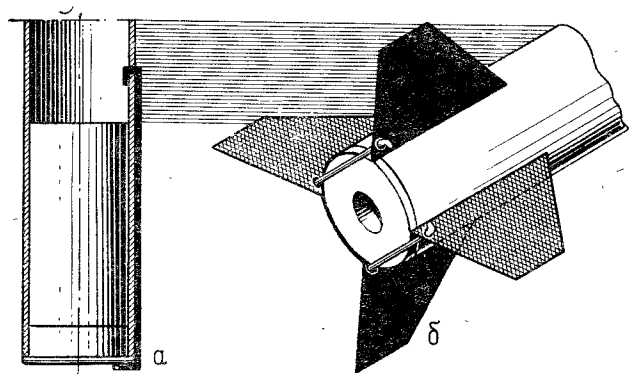


Рис. 50. Крепление микро-РДТТ:  
а — скобой; б — шпильками

нормального давления постоянная — двигатель входит плотно) и закрепить механически.

Для того чтобы повысить коэффициент трения, вдоль корпуса двигателя наклеивают четыре полоски наждачной бумаги. Механически двигатель закрепляют так: ставят легко съемную скобу, которая ограничивает перемещение двигателя по оси, или две шпильки, проходящие через стреловидные стабилизаторы (рис. 50). Практика показала, что это простые и надежные способы крепления двигателей в моделях ракет.

**МОДЕЛИ-КОПИИ СОВЕТСКИХ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ, ГЕОФИЗИЧЕСКИХ И ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РАКЕТ**

История советского ракетостроения начинается с ГИРДа, основанного в апреле 1932 года в Москве. Такие же группы были созданы в Ленинграде (ЛенГИРД и ГДЛ), Харькове и других городах.

В этих маленьких научно-технических ячейках сконцентрировались почти все будущие направления развития ракетостроения и космонавтики. Инженеры работали над конструкциями ракет, жидкостными двигателями и системами подачи компонентов, воздушно-реактивными прямоточными двигателями, отработывали методику испытаний, создавали наземный комплекс обслуживания, продумывали систему наблюдения и контроля за ракетой в полете и способы возвращения ее полезного груза на землю. Они занимались газовой динамикой, теплопередачей, материаловедением, химией горений, автоматикой, аэродинамикой сверхзвукового полета, даже тем, что впоследствии получило название космической медицины. В 1933 году ГИРД и ГДЛ были объединены в РИИИ.

**Модель-копия советской экспериментальной ракеты ГИРД-09**

ГИРД-09 — первая советская экспериментальная жидкостная ракета, созданная в ГИРДе по проекту М. К. Тихомирова и изготовлена под руководством С. П. Королева. Ее стартовый вес 19 кг, вес топлива 5 кг, длина 2405 мм, диаметр 180 мм и размах стабилизаторов 650 мм.

РД с тягой 25—33 кг работал на жидком кислороде, подаваемом в камеру давлением собственных паров, и отвержденном бензине, который размещался в камере сгорания. Запуск производился с вертикальных направляющих. При первом полете 17 августа 1933 года до-



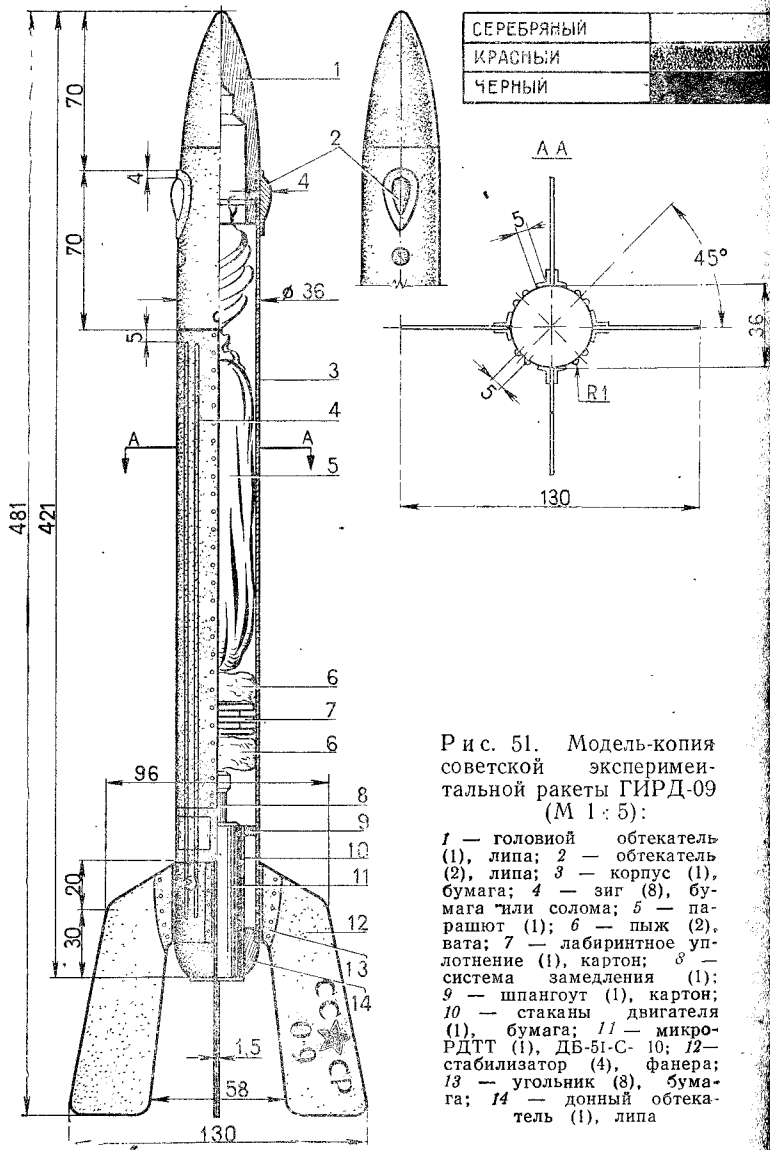


Рис. 51. Модель-копия советской экспериментальной ракеты ГИРД-09 (М 1 : 5):

1 — головной обтекатель (1), липа; 2 — обтекатель (2), липа; 3 — корпус (1), бумага; 4 — зиг (8), бумага или солома; 5 — парашют (1); 6 — пыж (2), вата; 7 — лабиринтное уплотнение (1), картон; 8 — система замедления (1); 9 — шпангоут (1), картон; 10 — стаканы двигателя (1), бумага; 11 — микро-РДТТ (1), ДБ-51-С-10; 12 — стабилизатор (4), фанера; 13 — угольник (8), бумага; 14 — донный обтекатель (1), липа

стигли высоты около 400 м, ограниченной прогаром двигателя. При втором пуске осенью 1933 года после подъема на 100 м взорвался двигатель. В 1934 году ГИРД-09 была изготовлена небольшой серией (под индексом 13) и совершила ряд успешных полетов на высоту до 1500 м.

Модель-копия ракеты ГИРД-09 выполнена в классе КП с двойным корпусом двигательного отсека, который заканчивается картонным шпангоутом. Все остальные конструктивные элементы аналогичны спортивным моделям. Зиги на корпусе имитируют наклейкой полос из толстой бумаги, бальзы, а лучше — из соломы, разрезанной вдоль.

Модель-копию ракеты красят в серебряный цвет, надпись — в черный, звезду — в красный (рис. 51).

Стартовый вес модели-копии ракеты 86 г.

### Модель-копия советской экспериментальной ракеты ГИРД-X

ГИРД-X — одна из первых советских экспериментальных ракет с ЖРД, созданная в ГИРДе. Исходные проработки проекта выполнены Ф. А. Цандером. Изготовлена она под руководством С. П. Королева. Ее стартовый вес 29,5 кг, вес топлива 8,3 кг, длина 2165 мм, диаметр 140 мм, длина головного обтекателя 350 мм и хорда стабилизаторов 1250 мм. РД с вытеснительной подачей топлива (жидкий кислород и этиловый спирт) имел тягу 65 кг. Первый пуск состоялся 25 ноября 1933 года. Ракета взлетела вертикально на высоту 75—80 м, затем вследствие прогара двигателя круто отклонилась от вертикали и упала на расстоянии около 150 м от места старта. Конструкция ГИРД-X получила развитие в более совершенных советских ракетах, созданных в 1935—1937 годах.

Модель-копия ракеты ГИРД-X аналогична предыдущей. Она выполнена в классе КП. Зиги жесткости на стабилизаторах имитируют приклейкой соломы, камыша или полос из толстой бумаги, а если стабилизаторы изготовить из картона или пластмассы, то зиги можно выдавить или отформовать. Модель-копию ракеты красят в серебряный цвет, надпись — в черный (рис. 52).

Стартовый вес модели-копии ракеты 88 г.

СЕРЕБРЯНЫЙ	
ЧЕРНЫЙ	

### Модель-копия советской регистрирующей ракеты с двигателем ЛРД-Д-1

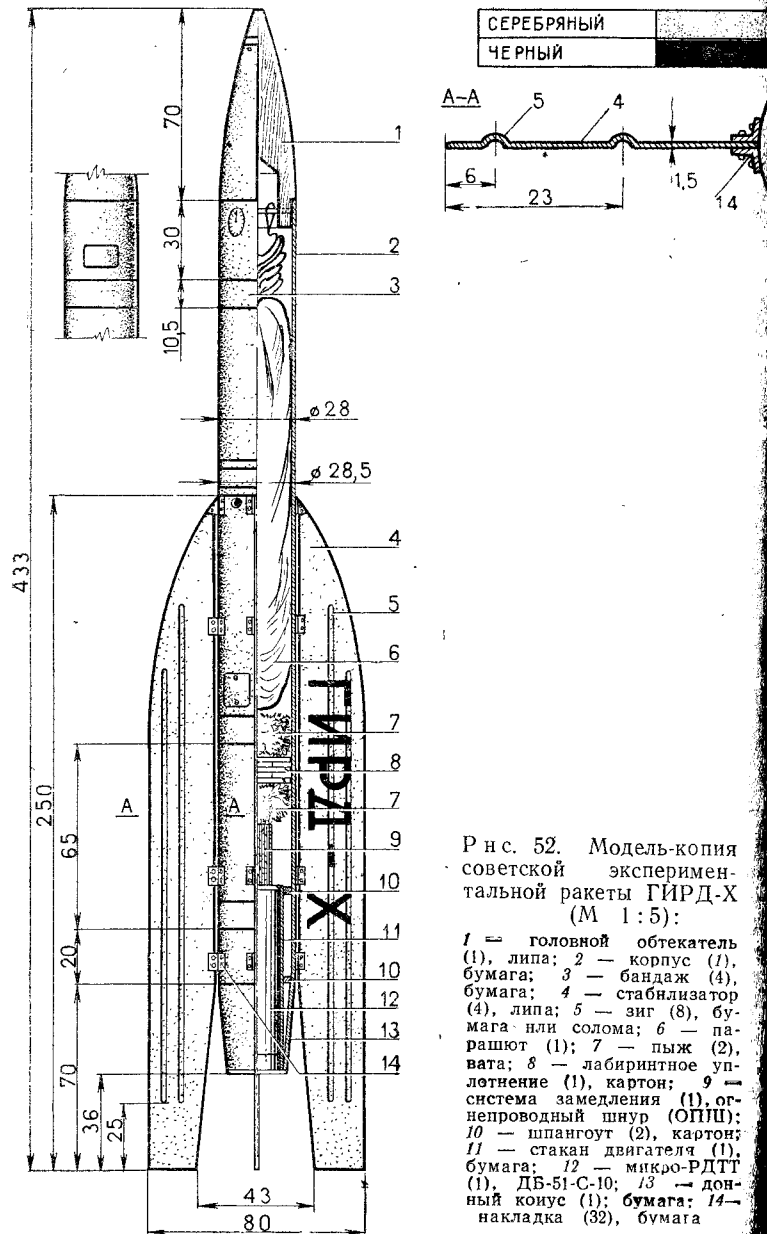


Рис. 52. Модель-копия советской экспериментальной ракеты ГИРД-X (М 1:5):

1 — головной обтекатель (1), липа; 2 — корпус (1), бумага; 3 — бандаж (4), бумага; 4 — стабилизатор (4), липа; 5 — зиг (8), бумага или солома; 6 — парашют (1); 7 — пыж (2), вата; 8 — лабиринтное уплотнение (1), картон; 9 — система замедления (1), огнепроводный шнур (ОПШ); 10 — шпангоут (2), картон; 11 — стакан двигателя (1), бумага; 12 — микро-РДТТ (1), ДБ-51-С-10; 13 — донный конус (1); бумага; 14 — накладка (32), бумага

Регистрирующая ракета спроектирована и построена в ЛенГИРДе по проекту В. В. Разумова с двигателем ЛРД-Д-1, конструкции А. Н. Штерна. Председателем ЛенГИРДа был В. В. Разумов, а заместителем — М. И. Перельман.

А. Н. Штерну не удалось довести до «кондиции» свой ротативно-реактивный двигатель ЛРД-Д-1, у которого горючим был бензин, а окислителем — жидкий кислород. Впоследствии на регистрирующей ракете конструкции В. В. Разумова установили пороховой двигатель, разработанный сотрудником газодинамической лаборатории (ГДЛ) В. А. Артемьевым. С этим двигателем она и стартовала в конце 1934 года. Тем не менее эта ракета вошла в историю ракетостроения как ракета «Разумова — Штерна».

Натурные размеры ракеты: полная длина 2665 мм, длина корпуса 1470 мм, диаметр корпуса 350 мм, размах стабилизаторов 990 мм. Ракета имела стартовый вес — 90 кг, стартовую тягу — 200 кг и поднялась на 5000 м.

Модель-копия ракеты выполнена в классе КП. Корпус ее сделан способом намотки из стеклоткани на опривке. Возможна конструкция из папье-маше. Парашютный контейнер отформован из полистирола.

Стабилизаторов четыре, они изготовлены из пенопласта и покрыты металлизированной бумагой на клею Д-5 (рис. 53). Корпус парашютного контейнера отклеивается вместе с головным обтекателем, обнажая парашют. Модель-копию ракеты красят в серебряный цвет.

Стартовый вес модели-копии ракеты 120 г.

### Модель-копия советской стратосферной ракеты Р-03.

Идею применения ракет для исследования атмосферы и стратосферы впервые высказал К. Э. Циолковский в 1903 году. Осуществить ее удалось советским конструкторам в 1937 году в РНИИ, когда были проведены летные испытания первой стратосферной ракеты Р-03 на жидком топливе (жидкий кислород и спирт). Она имела

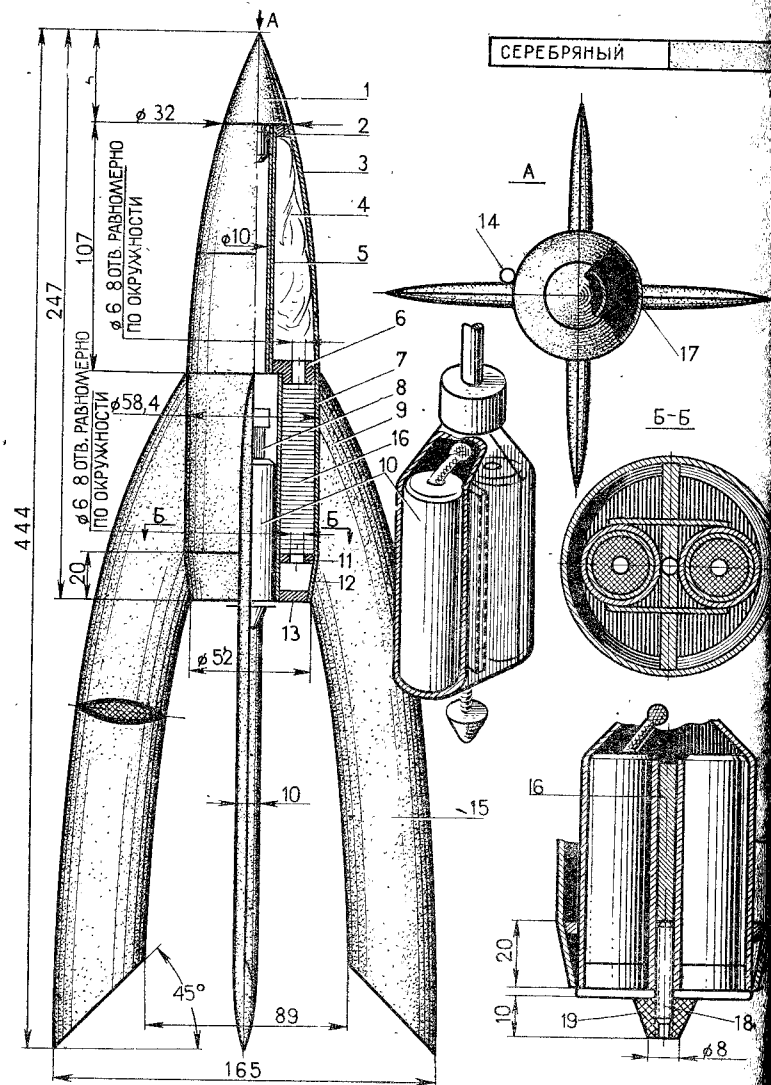


Рис. 53. Модель-копия советской регистрирующей ракеты с двигателем ЛРД-Д-1 (М 1:6):

1 — головной обтекатель (1), липа; 2 — шпангоут (1), липа; 3 — парашютный контейнер (1), бумага, полистирол или папье-маше; 4 — парашют (1); 5 — центральный корпус (1), бумага + асбестовая бумага; 6 — шпангоут (1),

длину 2190 мм, диаметр 200 мм, размах стабилизаторов 750 мм и стартовый вес — 30,5 кг. Ракета Р-03 достигла высоты 5000 м.

В настоящее время стратосферные ракеты используются для изучения состава, температуры и давления воздуха, степени его ионизации, воздушных течений, солнечных и космических излучений, магнитного поля Земли, фотографирования земной поверхности и других целей.

Модель-копия ракеты выполнена в классе КП. Корпус ее сделан по схеме трехслойной обшивки: в местах перехода цилиндрического корпуса в конус поставлены картонные (или фанерные) шпангоуты.

Так, внутренняя обшивка корпуса является осью, по которой производится сборка всех остальных элементов наружной обшивки.

Для увеличения жесткости цилиндрической части корпуса между шпангоутами можно поставить продольные силовые элементы-стрингеры из бальзы, бумаги, картона или шпона.

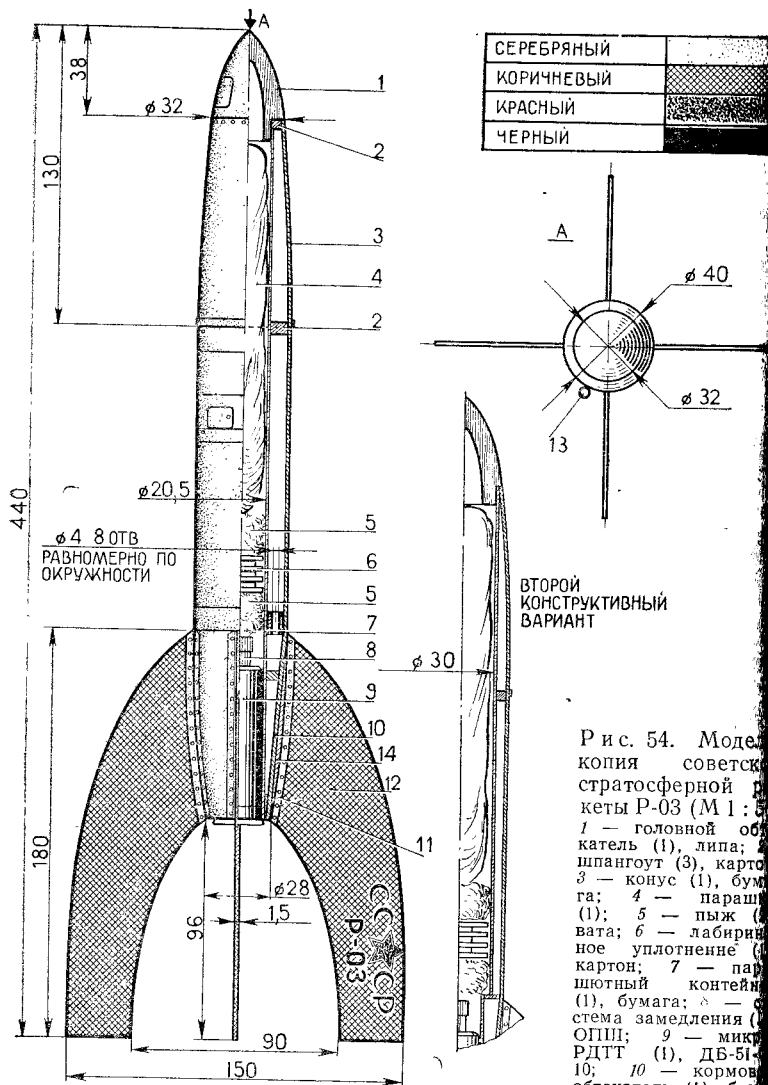
Модель-копию ракеты красят в серебряный цвет, буквы — в черный, звезду — в красный, а стабилизаторы — в коричневый (рис. 54).

Стартовый вес модели-копии ракеты 90 г.

#### Модель-копия советской стратосферной ракеты Р-05 «АВИАВНИТО»

24 апреля 1936 года состоялся первый запуск ракеты Р-05 «АВИАВНИТО» — самой большой и мощной ракеты того времени. Ее длина была равна 3225 мм, диаметр — 380 мм, размах стабилизаторов — 1050 мм и стартовый вес — 89 кг. Двигатель ракеты работал на жидком кислороде и этиловом спирте и развивал тягу до 300 кг. Ракета во время полета поднимала полезный груз около 10 кг на высоту 2400 мм.

1 — липа; 2 — корпус (1), бумага; 3 — система замедления (1), ОПШ; 4 — стабилизатор (4), пенопласт; 5 — микро-РДТТ (2), ДВ-3-СМ-10; 6 — шпангоут (1), картон; 7 — донный конус (1), бумага; 8 — донный шпангоут (1), липа; 9 — направляющие кольца (2), бумага; 10 — покрытие стабилизатора, металлизированная бумага; 11 — ребро жесткости (1), фанера; 12 — крепление стабилизатора, ЭД-5 или Э4020; 13 — шпилька (1), алюминиевый сплав АМг6; 14 — опорный конус (1), стеклотекстолит



(8), бумага; 12 — стабилизатор (4), фанера; 13 — направляющее кольцо (8), бумага; 14 — обкладка кормового обтекателя, балза

Рис. 54. Модель-копия советской стратосферной ракеты Р-03 (М 1): 1 — головной обтекатель (1), липа; 2 — шпангоут (3), картона; 3 — конус (1), бумага; 4 — парашют (1); 5 — пыж (1), вата; 6 — лабиринтное уплотнение (1), картон; 7 — парашютный контейнер (1), бумага; 8 — система замедления (1), ОПИ; 9 — микро-РДТТ (1), ДБ-51; 10; 10 — кормовый обтекатель (1), бумага; 11 — угольный

Корпус ракеты в поперечном сечении имел форму шестигранника с закругленными по радиусу углами и сдавленными внутрь сторонами. Снизу к закругленным выступам корпуса крепился стабилизатор, состоящий из четырех плоскостей сравнительно простой формы.

Модель-копия ракеты выполнена в классе КП. Ее изготовить относительно просто без сложной технологической оснастки. Один из вариантов — оклейка цилиндрического корпуса легко обрабатываемым материалом: бумагой и пенопластом. Наружные контуры модели доводят до необходимых размеров вручную. Выклейка наружного контура из бумаги получается просто, если корпус сделать из четырех продольно расположенных цилиндров.

Красят модель-копию ракеты в серебряный цвет, надписи — в черный, а звезду — в красный (рис. 55).

Стартовый вес модели-копии ракеты 92 г.

#### Модель-копия советской геофизической ракеты В-2-А

Советские геофизические ракеты типа В-2-А запускаются с 1956 года и предназначены для исследования верхних слоев атмосферы, фотографирования спектра Солнца, медико-биологических исследований при подъеме животных (собак) и других научных экспериментов. Высота головного приборного отсека равен 1340 кг, геофизических контейнеров — 860 кг, длина 20 000 мм, наибольший диаметр корпуса 1660 мм, размах стабилизаторов 1000 мм. Максимальная высота подъема 212 км при весе полезного груза 2200 кг.

Модель-копия ракеты выполнена в классе КП. Для простоты изготовления вся головная часть сделана из пенопласта с внутренним сверлением. Газовые рули являются в стабилизаторах, что исключает отстрел корпуса микро-РДТТ.

Модель-копию ракеты красят в белый цвет, тормозные щитки спасаемого контейнера и центральную часть корпуса — в серый, деталь 18 — в коричневый, а газовые и аэродинамические рули — в черный. Кроме того, на эту модель наносят красные полосы (рис. 56).

Стартовый вес модели-копии ракеты 108 г.

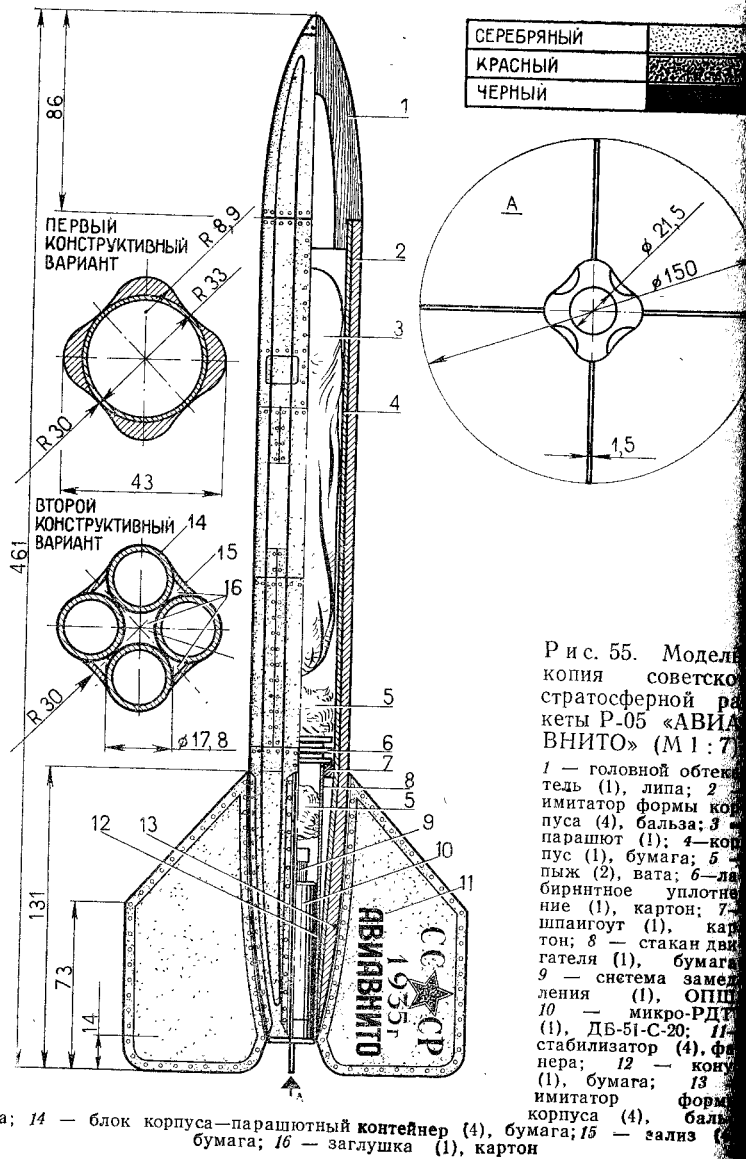


Рис. 55. Модель-копия советской стратосферной ракеты Р-05 «АВИАВНИТО» (М 1 : 7)

1 — головной обтекатель (1), липа; 2 — имитатор формы корпуса (4), бальза; 3 — парашют (1); 4 — корпус (1), бумага; 5 — пыж (2), вата; 6 — лабиринтное уплотнение (1), картон; 7 — шпангоут (1), картон; 8 — стакан двигателя (1), бумага; 9 — система замедления (1), ОПШ; 10 — микро-РДТ (1), ДБ-51-С-20; 11 — стабилизатор (4), фанера; 12 — конус (1), бумага; 13 — имитатор формы корпуса (4), бальза; 14 — блок корпуса-парашютный контейнер (4), бумага; 15 — заглушка (1), картон

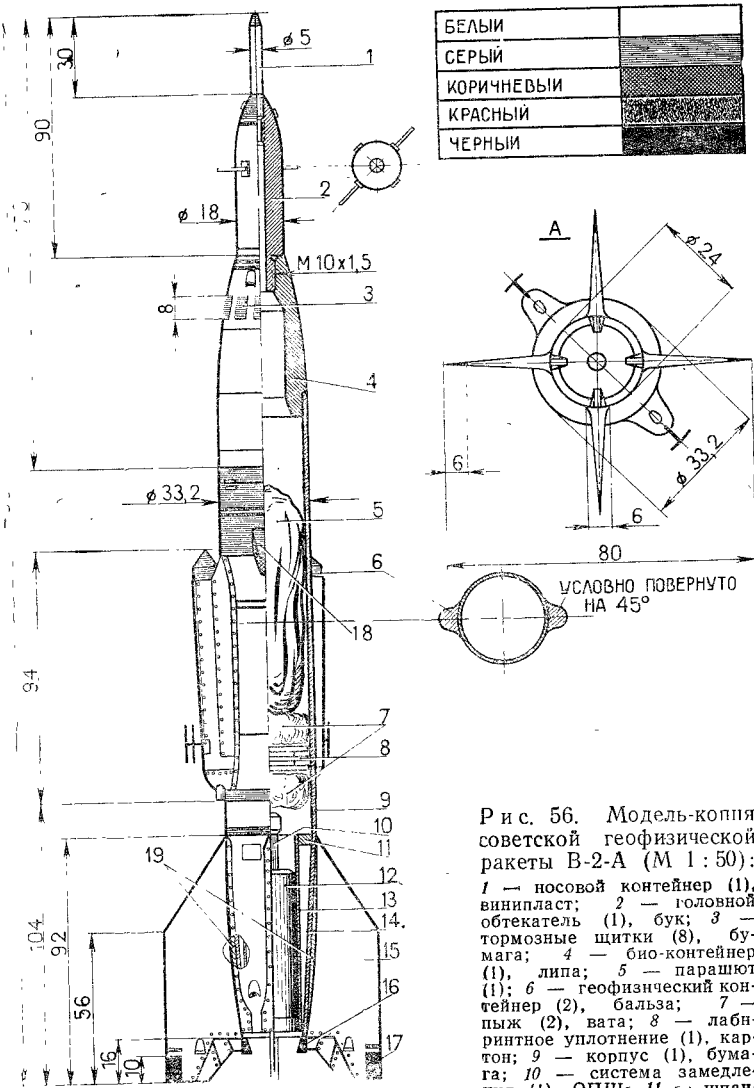


Рис. 56. Модель-копия советской геофизической ракеты В-2-А (М 1 : 50):

1 — носовой контейнер (1), винипласт; 2 — головной обтекатель (1), бук; 3 — тормозные щитки (8), бумага; 4 — био-контейнер (1), липа; 5 — парашют (1); 6 — геофизический контейнер (2), бальза; 7 — пыж (2), вата; 8 — лабиринтное уплотнение (1), картон; 9 — корпус (1), бумага; 10 — система замедления (1), ОПШ; 11 — шпангоут (1), картон; 12 — микро-РДТ (1), ДБ-51-С-10; 13 — стакан двигателя (1), бумага; 14 — кормовой конус (1), бумага; 15 — стабилизатор (4), липа; 16 — газовые рули (4), стеклотекстолит; 17 — аэродинамические рули (4), фанера; 18 — колодка (2), текстолит; 19 — обкладка, бальза

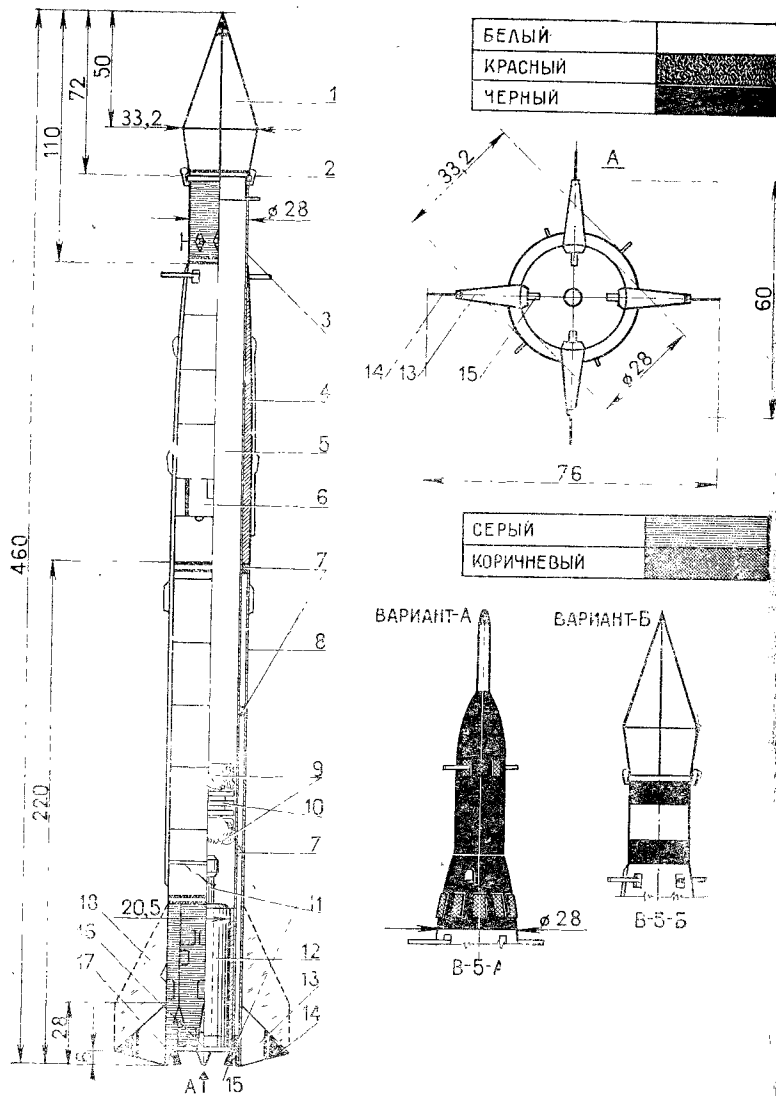


Рис. 57. Модель-копия советской геофизической ракеты В-5-В  
(М 1 : 50):

### Модель-копия советской геофизической ракеты В-5-В

Ракеты типа В-5-В предназначены для астрофизических, геофизических, медико-биологических, ионосферных и других научных исследований. Вес полезного груза такой ракеты 1300 кг, длина 23 000 мм, наибольший диаметр корпуса 1660 мм, размах стабилизаторов 3800 мм. Максимальная высота подъема 512 км.

Запуски советских геофизических ракет позволили получить важные сведения о строении верхней атмосферы и ионосферы, составе космических лучей, исследовать поведение живых организмов в условиях ракетного полета, осуществить фотографирование солнечной короны и ряд других научных экспериментов.

Кроме того, они использовались для отработки средств спуска подопытных животных с больших высот.

Модель-копия ракеты выполнена в классе КИ. Ее корпус сделан по силовой схеме трехслойной обшивки. Внутренняя оболочка по внутреннему диаметру равна 20,5 мм. Внутренний корпус является технологической осью, на которой происходит сборка модели: устанавливаются два картонных шпангоута, по которым устанавливаются цилиндрическую и конические части корпуса модели. Верхняя коническая часть корпуса обклеивается бальзой, бумагой или пенопластом и обрабатывается по заданной кривизны. Для увеличения жесткости и прочности корпуса между цилиндрическими его оболочками, если они бумажные и однослойные, может стоять продольный силовой набор в виде П-образных бумажных профилей.

Газовые рули были впервые предложены К. Э. Циолковским. На модели-копии детали, имитирующие газовые рули, целесообразно делать на шарнирах. Это позволит, отклонив рули, установить микро-РДТТ, а по

1 — головной обтекатель (1), липа; 2 — шарниры раскрытия головного обтекателя (2), липа; 3 — внутренняя обшивка (1), бумага; 4 — обкладка (1), бумага; 5 — парашют (1); 6 — люк приборного отсека (1), бумага; 7 — шпангоут (4), картон; 8 — корпус (1), бумага; 9 — штырь (1), вата; 10 — лабиринтное уплотнение (1), картон; 11 — система замедления (1), ОПШ; 12 — микро-РДТТ (1), ДБ-51-С-20; 13 — стабилизатор (4), липа; 14 — аэродинамический руль (4), фанера; 15 — газовый руль (4), текстолит,  $\delta = 2$ ; 16 — стартовая опора (4), липа; 17 — ось газового руля (4), хлопчаткань; 18 — прозрачный стабилизатор (4), органическое стекло,  $\delta = 1$

ставив их в плоскости стабилизаторов в летное положение, — предотвращать и отстрел корпуса двигателя. Шарнир можно выполнить из стеклоткани. Стабилизаторы модели-копии имеют малую площадь. Поэтому их целесообразно изготавливать из органического стекла толщиной 1 мм, а копируемые стабилизаторы наносить на прозрачные краски.

Короб для прокладки электрокабелей, переходные кольца отсеков, люк приборного отсека и другие выступающие элементы имитируют наклейкой бумаги соответствующей толщины.

Модель-копию ракеты красят в белый цвет, боковые поверхности детали 6 — в коричневый, концевые части стабилизаторов — в черный, а двигательный и приборный отсеки — в серый. Кроме того, на эту модель наносят красные полосы (рис. 57).

Стартовый вес модели-копии ракеты 97 г.

### Модель-копия советской геофизической ракеты «Вертикаль-1»

Ракеты «Вертикаль-1» и «Вертикаль-2» запускались по совместной программе ученых социалистических стран в 1970 году. Это модификации исследовательской ракеты В-5, которая использовалась в СССР для астрофизических, геофизических и медико-биологических экспериментов.

Длина ракеты «Вертикаль» 21,25 м, диаметр корпуса 1,66 м. В головной блок ее входят спасаемый сферический контейнер и приборный цилиндрический отсек, которые перед стартом накрывали термочехлом для поддержания заданной температуры. Общий вес поднятой на ракете научной аппаратуры, радиотелеметрических устройств, источников питания и вспомогательных систем вместе с конструкцией спасаемого и приборного контейнеров составляет 1300 кг. Научная аппаратура установленная в спасаемом контейнере, защищена сферической крышкой, которая открывается на высоте около 90 км. Так создавались необходимые условия для прямого исследования Солнца и микрометеорных частиц. Траектория полета ракеты «Вертикаль-1» близка к вертикальной. На высоте 100 км контейнер закрывается после отделения от ракеты и движется по баллистиче-

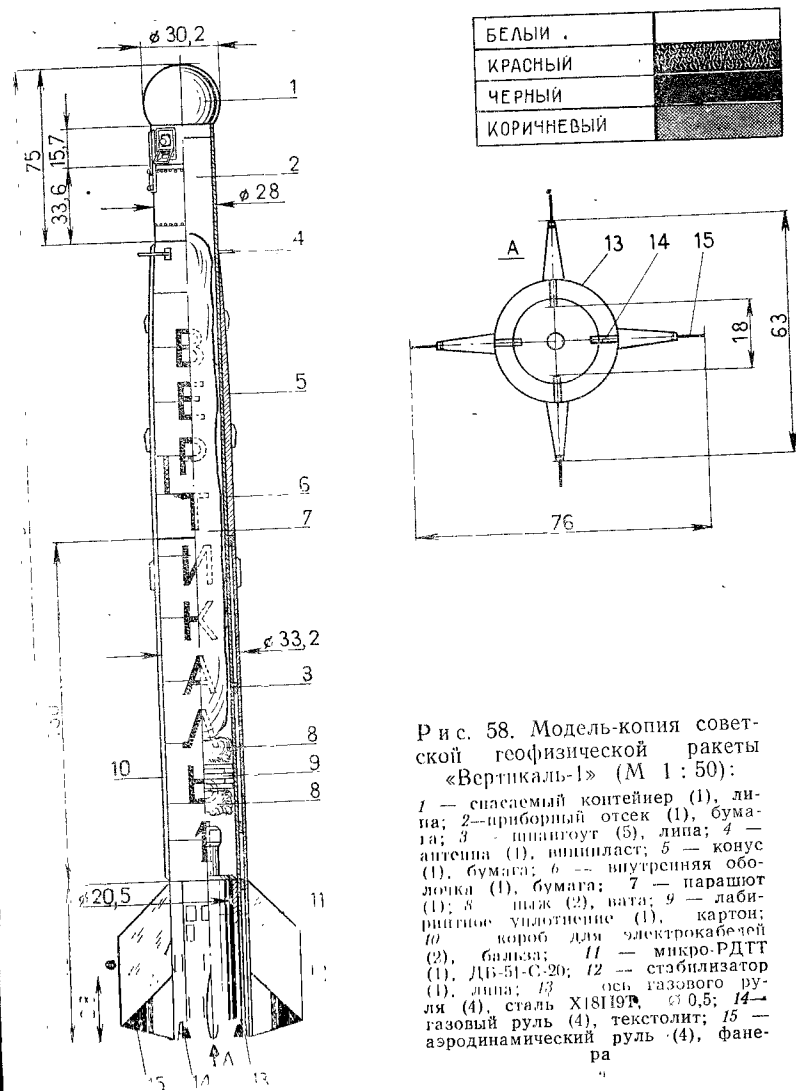


Рис. 58. Модель-копия советской геофизической ракеты «Вертикаль-1» (М 1 : 50):

1 — спасаемый контейнер (1), липа; 2 — приборный отсек (1), бумага; 3 — шлангоут (5), липа; 4 — антенна (1), винилпласт; 5 — конус (1), бумага; 6 — внутренняя оболочка (1), бумага; 7 — парашют (1); 8 — нитка (2), вата; 9 — лабиринтное уплотнение (1), картон; 10 — короб для электрокабелей (2), бумага; 11 — микро-РДТТ (1), ДБ-51-С-20; 12 — стабилизатор (1), липа; 13 — ось газового руля (4), сталь Х18Г19Н,  $\phi$  0,5; 14 — газовый руль (4), текстолит; 15 — аэродинамический руль (4), фанера

ской траектории, тормозится в атмосфере и опускается на парашютной системе спасения.

Модель-копия ракеты «Вертикаль-1» так же, как и В-5-В, выполнена в классе КП. Компоновочное и схемные решения тоже аналогичны.

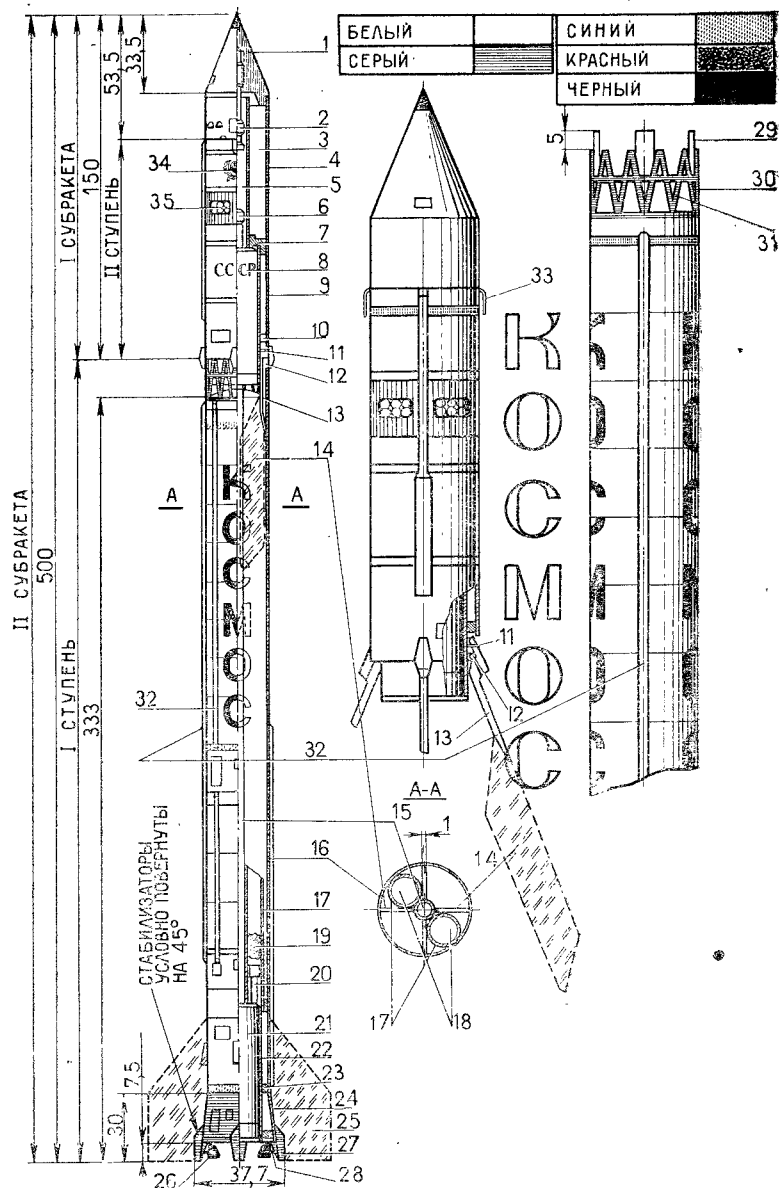


Рис 59. Модель-копия советской ракеты-носителя «Космос» (М 1:50):

Модель-копию ракеты красят в белый цвет, аэродинамические и газовые рули так же, как и на В-5-В, — в черный, боковые поверхности люка приборного отсека — в коричневый, надпись — в красный (рис. 58).  
Стартовый вес модели-копии ракеты 96 г.

### Модель-копия советской ракеты-носителя (РН) «Космос»

РН «Космос» — советская двухступенчатая РН используется с 16 марта 1962 года для выведения на орбиты искусственного спутника земли (ИСЗ) типа «Космос». РН «Космос» имеет последовательное расположение ступеней общей длиной 30 м, диаметром 1,65 м. Первая ступень снабжена двигателем РД-214 с тягой 74 т, работающим на азотнокислотном окислителе и углеводородном горючем, а последняя ступень — двигателем РД-119 с тягой 11 т, работающим на топливе жидкого кислорода и несимметричном диметилгидразине. ИСЗ размещают над последней ступенью под головным обтекателем, сбрасываемым на участке выведения после прохождения плотных слоев атмосферы. В конце участка выведения отделяется ИСЗ от последней ступени.

С помощью РН «Космос» запущено большое число советских ИСЗ, предназначенных для научных исследований околоземного космического пространства, верхней атмосферы и других задач.

Модель-копия РН выполнена в классе КП в двухступенчатом варианте. Нижняя ступень имеет систему сна-

— головной обтекатель (1), бук; 2 — поршень (1), эбонит; 3 — парашют (1); 4 — парашютный контейнер (1), бумага; 5 — цилиндр (1), бумага; 6 — система замедления (1), ОПШ; 7 — шпангоут фигурный (1), текстолит; 8 — микро-РДТТ второй ступени (1), ДБ-3-СМ-10; 9 — корпус второй ступени (1), бумага; 10 — шпангоут (1), липа; 11 — жгут (4), резина; 12 — шарнир (4), сталь Х18Н9Т,  $\varnothing 0,5$ ; 13 — ось стабилизатора (4), сосна; 14 — перо стабилизатора (4), органическое стекло; 15 — пиротрубка (1), бумага; 16 — корпус первой ступени (1), бумага; 17 — парашютный контейнер (2), бумага; 18 — парашют первой ступени (2); 19 — пыж (2), вата; 20 — замедлитель первой ступени (1), ОПШ; 21 — микро-РДТТ (1), ДБ-51-С-10; 22 — стакан (1), бумага; 23 — шпангоут (1), картон; 24 — юбка (1), бумага; 25 — стабилизатор (1), органическое стекло; 26 — газовые рули (4), текстолит; 27 — опора (4), липа; 28 — ось газового руля (4), сталь Х18Н9Т; 29 — зуб стыковочный (4), текстолит; 30 — ферма, десять треугольников (1), проволока контрольная  $\varnothing 1$ ; 31 — припой, ПОС-40; 32 — короб электропроводки (3), картон; 33 — антенна (1), М-2,  $\varnothing 0,5$ ; 34 — герб СССР (2), аппликация; 35 — люк приборного отсека (1), бумага



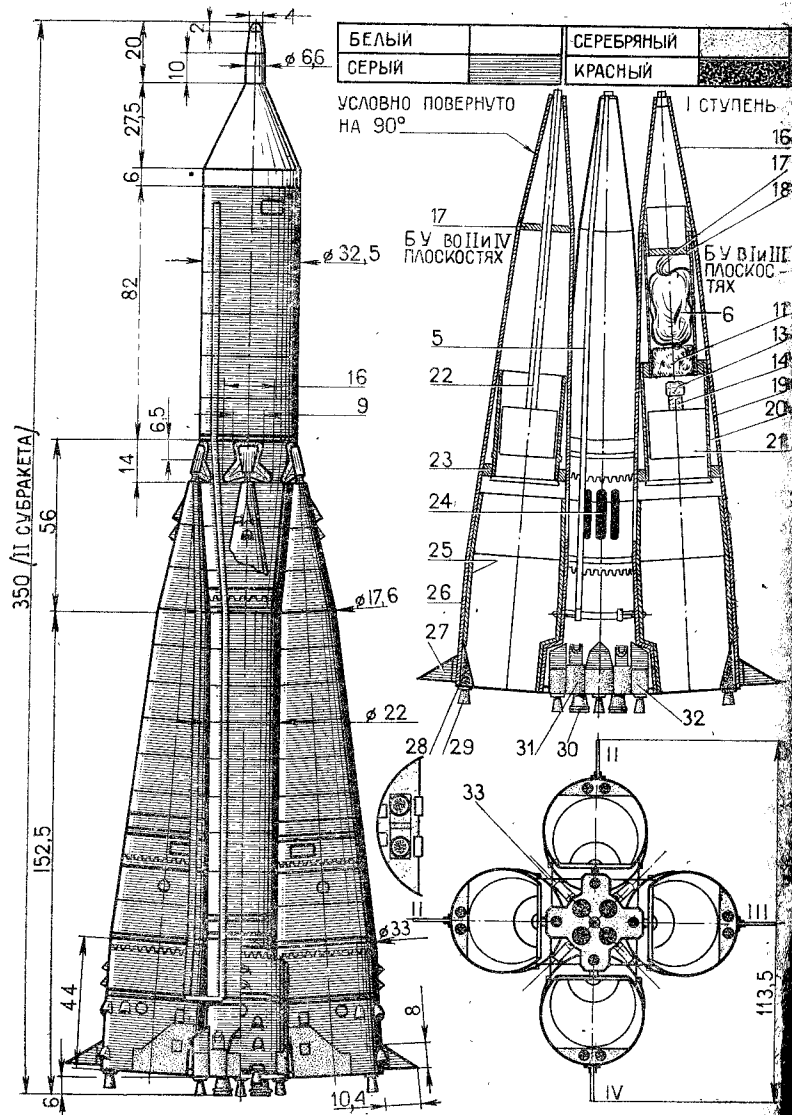


Рис. 60. Модель-копия советской исследовательской ракеты (М 1:91):

1 — головной обтекатель (1), винипласт; 2 — рым-болт (1), сп. АМгб; 3 — переходник (1), бук; 4 — наружная обшивка центрального блока (1), бумага; 5 — короб для электрокабелей (5), бумага; 6 — парашют (3); 7 — шпангоут

сения и пиросистему воспламенения верхнего двигателя, расположенных в параллельных трубах внутри корпуса нижней ступени. Верхняя ступень отстреливает головной обтекатель вместе с корпусом парашютного контейнера, обнажая парашют.

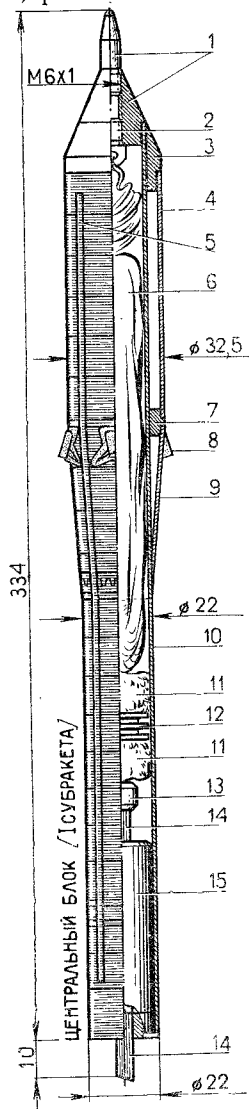
Для устойчивого полета необходимо установить прозрачные стабилизаторы, хотя коническая юбка несколько увеличивает устойчивость модели-копии РН в полете.

На верхней ступени целесообразно установить микро-РДТТ.

Для обеспечения устойчивого полета верхней ступени на ней монтируют раскрывающиеся стабилизаторы. Чтобы модель-копия была похожа на РН «Космос», раскрывающиеся стабилизаторы верхней ступени делают прозрачными (органическое стекло толщиной 1 мм).

Модель-копию РН красят в белый цвет, надписи — в красный, ферму, юбку нижней ступени и Герб СССР — в серый, полосы в синий, газовые рули — в черный (рис. 59).

Стартовый вес модели-копии РН 130 г.



(1), липа; 8 — фитинг (4), бумага; 9 — конус центрального блока (1), бумага; 10 — корпус центрального блока (1), бумага; 11 — пыж (4), вата; 12 — лабиринтное уплотнение (1), картон; 13 — вышибной заряд (3), черный порох; 14 — система замедления (4), ОПШ; 15 — микро-РДТТ (1), ДБ-51-С-10; 16 — верхний конус бокового ускорителя (4), бумага; 17 — шпангоут (4), картон; 18 — стакан посадочный (2), бумага; 19 — основной конус бокового ускорителя (4), бумага; 20 — стакан двигателя (4), бумага; 21 — микро-РДТТ (4), ДБ-3-СМ-2.5; 22 — трубка пирострела (2), камыш; 23 — шпангоут (4), бумага; 24 — диффузор ПВРДТ (12); 25 — термозащита корпуса ПВРДТ (4), асбестовая бумага; 26 — цилиндр бокового ускорителя (4), бумага; 27 — стабилизатор (4), фанера; 28 — вкладыш (4), стеклотекстолит; 29 — сопло рулевое (12), текстолит; 30 — сопло центрального блока (4), липа; 31 — лонная часть центрального блока (1), липа; 32 — короб рулевого двигателя (4), липа; 33 — стяжка (8), бамбук

сопло рулевое (12), текстолит; 30 — сопло центрального блока (4), липа; 31 — лонная часть центрального блока (1), липа; 32 — короб рулевого двигателя (4), липа; 33 — стяжка (8), бамбук

## Модель-копия советской исследовательской ракеты

Советская исследовательская ракета предназначена для изучения верхних слоев атмосферы и ближнего космического пространства. Запускали ее с 1949 года.

Ракета двухступенчатая, ступени выполнены по параллельной (пакетной) схеме.

Модель-копия ракеты спроектирована в классе КП имеет микро-РДТТ в центральном блоке,  $\varnothing 20,5$  мм. Разделение ступеней у этой модели-копии ракеты отличается от натурального образца.

У большой ракеты работают со старта все пять блоков и боковые ускорители (блоки) возвращаются после их отстрела по одному. Полет продолжается на двигателе центрального блока. На модели-копии ракеты одновременно начинают работать четыре боковых ускорителя и огнепроводный шнур (ОПШ), от которого воспламеняется двигатель центрального блока.

Боковые ускорители отстреливаются «пакетом». При этом в двух расположены пиросистемы отстрела, в двух других — системы спасения блока. Эта схема позволяет сохранить летными имитаторы рулевых сопел и основных сопел центрального блока.

Модель-копию ракеты красят в серый цвет, головной обтекатель — в белый, обтекатели термозащиты двигателей — в серебряный, а внутренние поверхности сопел — в красный (рис. 60). Стартовый вес модели 132 г.

### МОДЕЛИ-КОПИИ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ, МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ И ГЕОФИЗИЧЕСКИХ РАКЕТ США

Исследовательские работы в области ракетной техники в США связаны с именем Р. Годдарда. Первый полет его ракеты состоялся 30 декабря 1930 года. Годдард запустил ракету, имевшую около 3 м в длину и весившую немногим более 15 кг. Высота, достигнутая ракетой, составляла 600 м, а максимальная скорость — свыше 800 км/ч. Но сами американцы пишут о нем: «Нельзя установить прямую связь между Годдардом и современной ракетной техникой. Он на том ответвлении, которое отмерло».

## Модель-копия метеорологической ракеты «Викинг»

О ракете «Викинг» было впервые сообщено в 1947 году. В ней использовалось то же топливо, что и в немецкой ракете «Фау-2». «Викинги» с № 1—7 представляли собой узкие цилиндры диаметром 880 мм, что определялось шириной алюминиевого листа американской металлургической промышленности. Длина ракеты 14 700 мм, а размах стабилизаторов — 2810 мм. 3 мая 1949 года состоялся первый полет после ряда отказов дренажного клапана.

Ракета «Викинг» № 8 несколько отличалась от предшествующих этого типа. Она имела диаметр 1150 мм и была короче: 12 600 мм, размах ее стабилизаторов — 4080 мм. 6 июля 1952 года во время стендовых испытаний ракета начала раскачиваться и взлетела. На 120-й секунде полета ракета взорвалась уже на нисходящей ветви траектории.

Обе модели-копии ракеты выполнены в классе КИ по схеме одноступенчатых спортивных моделей копий ракет класса П-2.

Модели-копии ракет красят в белый цвет с красными стабилизаторами, аэродинамические рули — в черный (рис. 61). Стартовый вес модели-копии ракеты 82 г.

## Модель-копия высотной исследовательской ракеты «Аэроби»

Ракета «Аэроби» появилась осенью 1947 года. Это жидкостная ракета со стартовым ускорителем на твердом топливе: длиной 5740 мм без стартового ускорителя и диаметром 381 мм, — одна из немногих ракет с тремя стабилизаторами.

Поскольку в ходе испытаний ракета «Аэроби» пока не показала достаточную надежность и не требовала больших производственных затрат, она стала основной «тяговой силой» по исследованию верхних слоев атмосферы.

Ракета «Аэроби» применялась в работах Международного геофизического года в 1957—1958 годах.

Ее дальнейшей модификацией стала трехступенчатая ракета А-300, у которой третьей ступенью была ракета «Сперроу» с двигателем на твердом топливе.

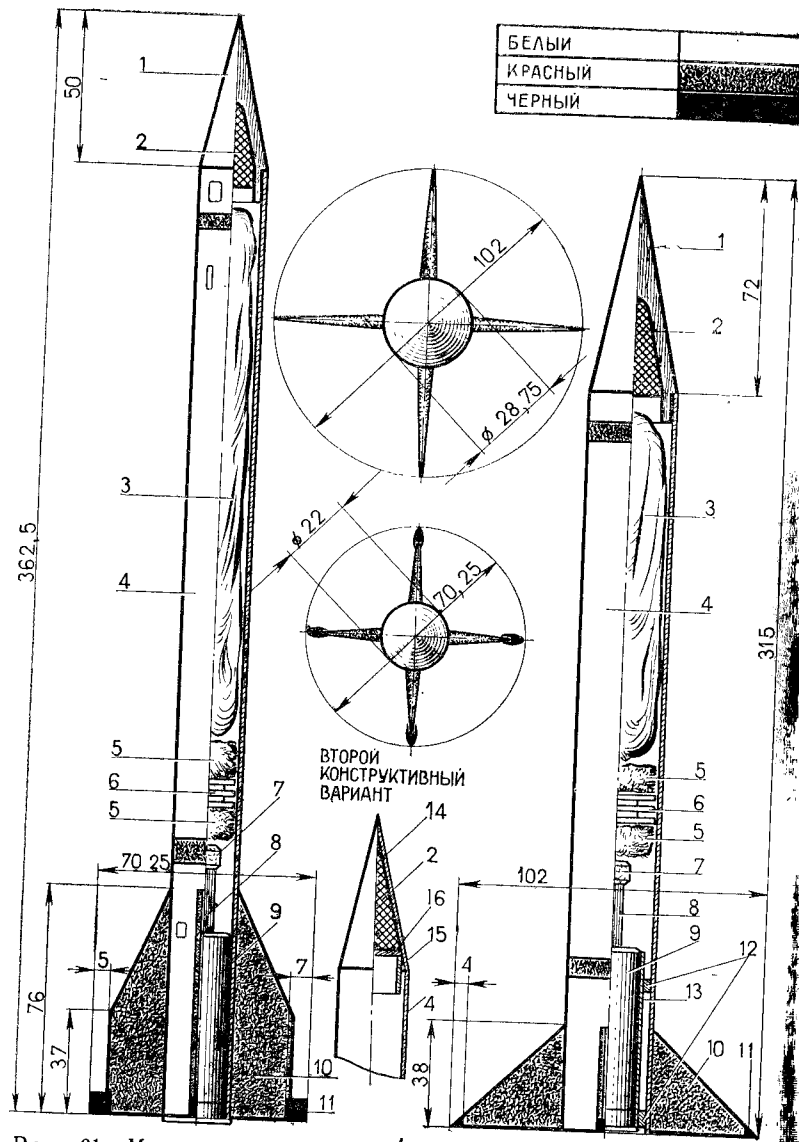


Рис 61. Модель-копия американской метеорологической ракеты «Viking» — «Викинг» (М 1:40):

Модель-копия ракеты выполнена в классе КП в двухступенчатом варианте. Ступени соединены между собой тремя стержнями, которые после разделения остаются на стартовом ускорителе. Эта схема имеет тот недостаток, что неточное изготовление стержней (место их упоров) вызывает несоосность всей модели-копии.

Конструкция модели-копии ракеты и ее пиротехническая схема не отличаются от описанных ранее. Система спасения маршевой ступени выполнена по схеме спортивных моделей-копий ракет класса П-2. Система спасения стартового ускорителя тоже парашютная. Парашют размещают на катушке, которая отстреливается пружиной после перегорания пюти. Пють перегорает после конца работы двигателя от пирочеки (рис. 62).

Модель-копию ракеты красят в белый цвет, стабилизаторы обеих ступеней с одной стороны и кольцо, отделяющее вторую ступень от носового конуса с приборами, — в красный, обтекатель антенны — в серый. Или же верхнюю субракету красят в красный цвет, приборный отсек — от детали 2 до детали 5 — в серебряный, стартовый ускоритель — в черный, обратные поверхности стабилизаторов — в белый, детали 1 и 17 — в серый. Стартовый вес модели 93 г.

## Глава 9.

### РАСЧЕТ И ИЗГОТОВЛЕНИЕ СТАРТОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ЗАПУСКА МОДЕЛЕЙ РАКЕТ

Для обеспечения безопасного запуска изготавливают стартовое оборудование, которое обычно состоит из следующих частей: электрической, механической и пиротехнической.

1 — головной обтекатель (1), липа; 2 — загрузка, пластилин; 3 — парашют (1); 4 — корпус (1), бумага; 5 — пюж (2), вата; 6 — лабиринтное уплотнение (1), картон; 7 — вышибной заряд (1), черный порох; 8 — система замедления (1), ОПШ; 9 — микро-РДТГ (1), ДБ-3-СМ-10; 10 — стабилизатор (4), фанера; 11 — аэродинамический руль (4), фанера; 12 — шлангоут (2), картон; 13 — стакан двигателя (1), бумага; 14 — головной обтекатель (1), бумага; 15 — стакан стыковочный (1), бумага; 16 — шлангоут упорный (1), картон

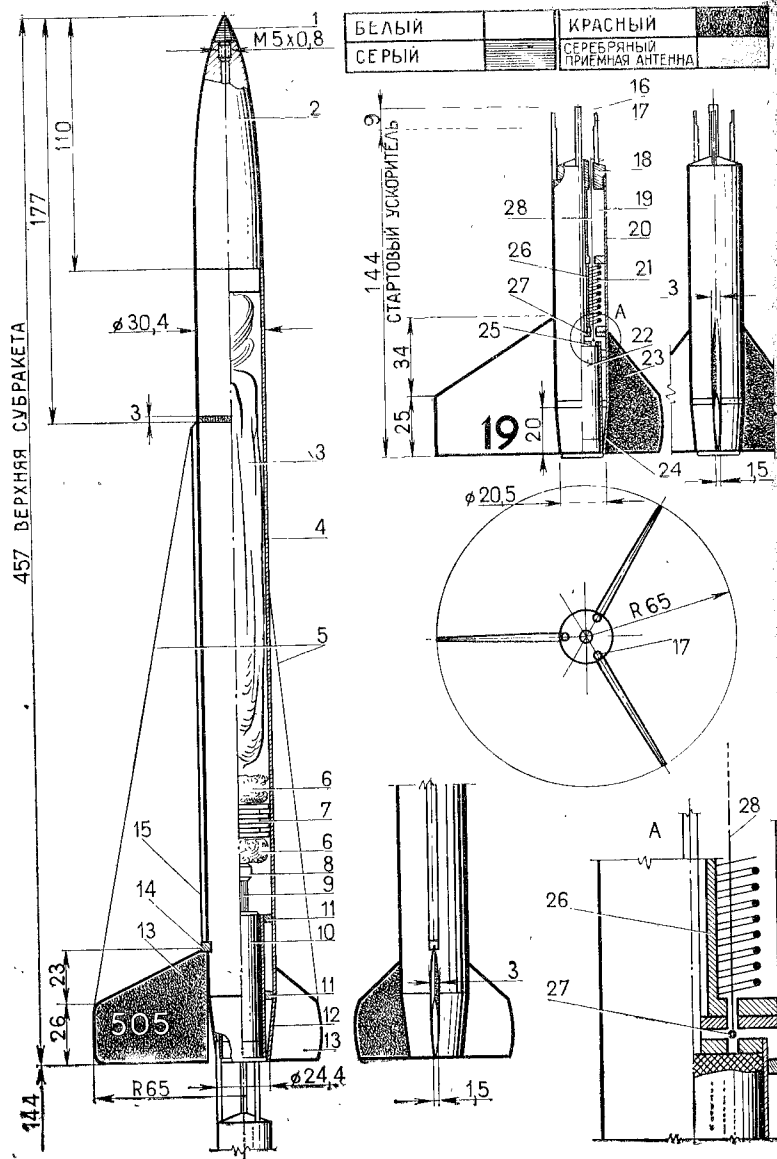


Рис. 62. Модель-копия американской высотной исследовательской ракеты «Аегоби» — «Лэроби» (М 1:12,5):

### ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ СТАРТОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Впервые в 30-е годы XIX века был произведен запуск боевой ракеты с помощью электричества. Этот запуск осуществил военный инженер русской армии, генерал А. А. Шильдер.

В ракетном моделизме запуск разрешается только с помощью электрозапала. Расстояние от места старта — запуска модели ракеты до пульта управления запуском должно быть не менее 10 м.

Простейший пульт управления — это коробка (фанерная или пластмассовая), в которой размещены электрические батареи или аккумуляторы. На коробке установлены: ключ, сигнальная лампочка и кнопка пуска.

Простейшая электрическая схема пульта управления приведена на рис. 63,а. Чтобы привести пульт в рабочее состояние, нужно повернуть ключ в положение «Готовность», а при нажатии кнопки загорится контрольная лампочка, но запал не сработает, так как электрическое сопротивление лампочки во много раз больше сопротивления запала. Горючее в двигателе воспламенится, когда нажмем кнопку (или тумблер) «Пуск»; ток пойдет в запал, минуя лампочку.

Размеры пульта управления зависят от величины батареи питания, ключа, кнопки и лампочки. В данной схеме может быть использована батарея от карманного фонаря типа «Сатурн» (четыре элемента), дающая напряжение 5—6 В, ее хватит на 50—70 запусков. Применяют и обычные батареи КБС-Л.

Для подачи питания служит медный изолированный

1 — телеметрическая антенна (1), винипласт; 2 — головной обтекатель (1), липа; 3 — парашют (1); 4 — корпус (1), бумага; 5 — приемная антенна (3), тон; 6 — вышибной заряд (1), черный порох; 7 — система замедления (1), ОПС; 8 — микро-РДТТ (1), ДБ-3-СМ-10; 9 — шпангоут (3), картон; 10 — кормовой конус (1), бумага; 11 — стабилизатор (3), липа; 12 — фитинг (3), бумага; 13 — корпус для электрокабелей (3), солома; 14 — пиросистема (3), бумага; 15 — стойка (3), бук; 16 — катушка (1), липа; 17 — парашют (1); 18 — корпус стартового ускорителя (1), бумага; 19 — пружина (1), Ст. Х18Н9Т; 20 — микро-РДТТ (1), ДБ-51-С-10; 21 — стабилизатор (3), липа; 22 — донный конус (1), бумага; 23 — шпангоут (2), картон; 24 — чека (1), из шашки дымного пороха; 25 — стяжка (1), текстолит; 26 — чашка (1), капроновая нить

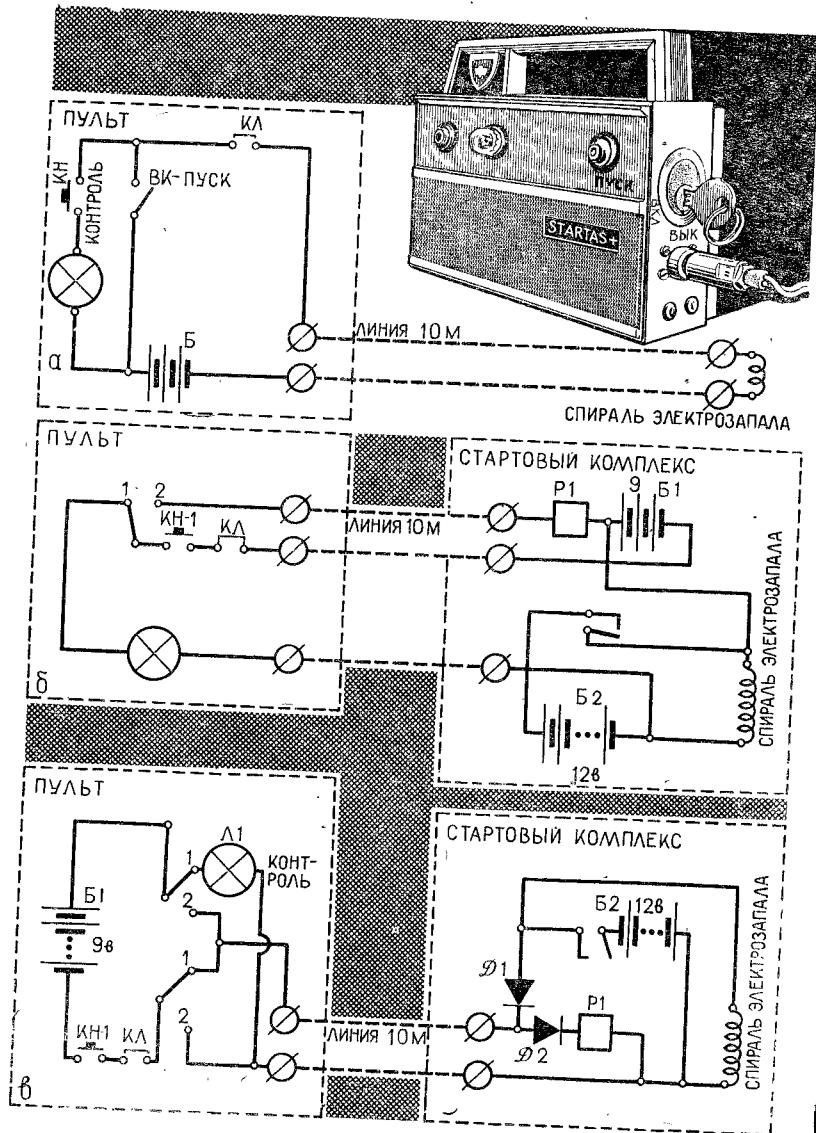


Рис. 63. Возможные схемы пультов управления запуском:  
 а — простейшая схема и пульт управления; б — трехпроводная схема;  
 в — двухпроводная схема с разнесенными источниками питания

двойной провод сечением не менее 0,35 мм во влажной изоляции. Один конец кабеля соединяют штепсельным разъемом с пультом, другой — с запалом.

Наличие одного источника питания, используемого для контроля и запуска, ведет к большим потерям энергии в цепи, делает невозможным многократность запуска, отсюда и вероятность, что установка иногда отказывает в самый ответственный момент.

На рис. 63,в показана двухпроводная схема стартового устройства. Она имеет ряд преимуществ:

- введено два самостоятельных источника питания — B1 и B2, что позволяет использовать B2 только для накала спирали;
- стартовый комплекс можно разместить под стартовым столом (рядом с моделью);
- сведены до минимума потери энергии источника питания в цепи для накала спирали.

#### Работа схемы:

**Режим «контроль» при включении тумблера в положение 1.** Ток от плюса (+) источника подается через лампочку Л1 по линии через спираль (ток через катушку реле на источнике не пройдет, так как диод Д2 ток в данном направлении не пропускает), через диод Д1, по линии через ключ и кнопку КН на источник — лампочка загорается (если спираль исправная).

**Режим «запуск».** Тумблер в положении 2. Ток от плюса (+) источника подается, минуя лампочку Л1, по линии через диод Д2, через реле, снова по линии через ключ и кнопку на источник. Реле Р1 срабатывает, замыкая свой нормально разомкнутый контакт, подключает источник питания B2 и ток подается непосредственно на спираль. Спираль накаляется, происходит запуск модели.

#### Элементы схемы:

1. Источник питания B1, КБС-Л-0,5 (2 шт.).
  2. Д1 и Д2 могут быть Д7Б, Д7В.
  3. Реле Р1, типа РМС-1 (перемотано проводом 0,12 ПЭЛ).
  4. Источник питания B2, элемент 373 МАРС (8 шт.).
  5. Электротапал, нихром 0,09 мм,  $\Omega = 3$  ом.
- Третья схема (рис. 63,б) аналогична схеме, показанной на рис. 63,в. Недостаток ее в том, что для соеди-

нения стартового комплекса с пультом управления необходимы специальные трехконтактные штепсельные разъемы (ШР), кроме того, наличие третьего провода создает некоторое неудобство. Зато отсутствие источника питания в пульте дает возможность сделать его компактным и удобным.

При проектировании электрического и электронного наземного и бортового оборудования необходимо помнить, что сила тока в любой части цепи больше 0,05А опасна для жизни, а напряжение должно быть не более 36 В. Если параметры тока будут ниже указанных, то даже при пробое на корпус или при замыкании цепи система остается безопасной и не требует заземления, кроме вторичных катушек трансформаторов. Поэтому применять магнетон как источник энергии для воспламенения запального устройства двигателей запрещается.

#### МЕХАНИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ СТАРТОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ

(стартовый стол и направляющая)

Пусковое устройство должно ограничивать движение модели до тех пор, пока не будет достигнута скорость, надежно обеспечивающая безопасный полет по заранее намеченной траектории. Угол по горизонту, под которым запускается модель, должен быть более 60°.

Простейшая направляющая — это штырь диаметром 6 мм, который ввинчивается в стартовую плиту или стартовый стол (рис. 64).

Для запуска ракет и моделей ракет существуют и другие виды направляющих. Модель может иметь не кольца, а Т-образные ограничители, как, например, польские метеорологические ракеты «Метеор».

Но все ограничители кольцевые, Т-образные и другие вызывают дополнительное сопротивление у моделей ракет, а главное, несимметричное обтекание и, следовательно, неосевую аэродинамическую силу.

От этого недостатка свободна установка в виде фермы. Ее логическим продолжением является запуск из направляющей трубы — минометный запуск, но изменение скорости и количества движения модели на пусковой установке должно осуществляться только с по-

мощью ракетного двигателя (двигателей). Применять встроенные в пусковую установку механические устройства, помогающие при пуске, запрещается.

При минометном запуске на модель ракеты действует не только реактивная сила микро-РДТТ, но и давление, образующееся в замкнутом объеме ствольной направляющей.

Следовательно, чтобы осуществить запуск из трубы, не нарушая «Правила по ракетно-космическому моделированию», необходимо в нижней части трубчатой направляющей открыть «окна».

Направляющая пусковой установки выполняет две основные задачи: придает модели ракеты определенное направление полета и обеспечивает ей хорошую устойчивость в период схода с пусковой установки (принудительное ведение модели ракеты до момента получения ею соответствующей скорости поступательного движения).

На модель ракеты, находящуюся на пусковой установке, действуют следующие силы: тяга  $P$ , сила тяжести  $G$ , сила трения модели о направляющую пусковой установки  $T$  и сопротивление воздуха. Сопротивление воздуха при движении модели на пусковой установке небольшое. Силу трения можно подсчитать из уравнения:

$$T = fG \cos \theta,$$

где  $f$  — коэффициент трения.

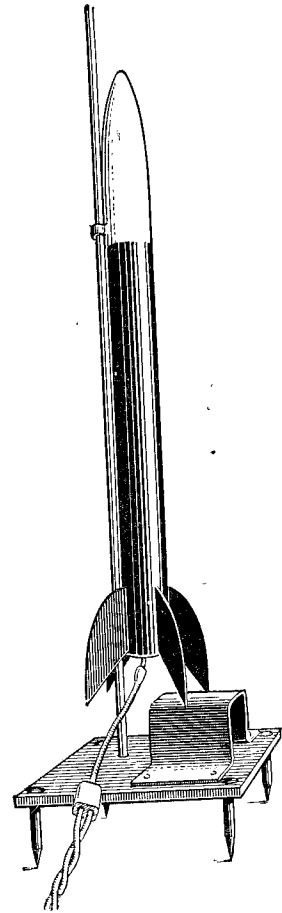


Рис. 64. Направляющий штырь со стартовой плитой

Длина направляющей пусковой установки:

$$l^2_{\text{мин}} \geq \frac{V^2_{\text{мин}}}{2a},$$

где  $V_{\text{мин}}$  — минимальная скорость схода модели с пусковой установки;

$a = \frac{G_T W}{G_{\text{ст}} \cdot t_{\text{дв}}}$  — начальное ускорение модели на пусковой установке;

$W$  — скорость истечения газов;

$G_{\text{ст}}$  — стартовый вес модели;

$G_T$  — вес топлива микро-РДТТ;

$t_{\text{дв}}$  — время работы двигателя.

Пример. Определим длину пусковой установки (направляющей), если известны следующие величины:

$$P_{\text{уд}} = 100 \frac{\text{кг} \cdot \text{с}}{\text{кг}}, \quad G_{\text{ст}} = 0,2 \text{ кг}; \quad G_T = 0,05 \text{ кг}; \quad t_{\text{дв}} = 4 \text{ с}$$

Решение:

$$W = g \cdot P_{\text{уд}} = 9,81 \cdot 100 = 981 \text{ м/с};$$

$$a = \frac{G_T \cdot W}{G_{\text{ст}} \cdot t_{\text{дв}}} = \frac{0,05 \cdot 981}{0,2 \cdot 4} = 61,31 \text{ м/с}.$$

Принимая скорость схода модели ракеты с пусковой установки равной 10 м/с, можно определить длину направляющей

$$l = \frac{V^2}{2a} = \frac{100}{2 \cdot 61,31} = 0,816 \text{ м}.$$

Следовательно, длина направляющей пусковой установки с полуторным запасом будет равна 1,2 м.

### ПИРОТЕХНИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ СТАРТОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Единственно, что связано с пиротехникой в стартовом оборудовании для запуска моделей ракет, — это запуск (воспламенение) микро-РДТТ нижней ступени.

Как правило, это комбинированные пироэлектросистемы, при подготовке которых выполняют следующую работу:

- наносят пиросостав на проволоку накаливания;
- изготавливают стопин (stopping);

— проектируют, изготавливают и используют пирокрестья для одновременного запуска (воспламенения) связки микро-РДТТ.

**Нанесение пиросостава на проволоку накаливания.** Для создания начального давления и температуры, нужной для устойчивого воспламенения микро-РДТТ, на нить накаливания, которая вводится в сопло двигателя, наносят пиросостав. При использовании микро-РДТТ с пороховыми шашками, приготовленными из черного пороха, обычно на нить накаливания наносят пороховую мякоть, взятую из размолотой шашки микро-РДТТ. Для этой цели можно рекомендовать ДБ-1-СМ-6.

Пороховую мякоть наносят таким простейшим способом: обезжиривают нить накаливания у приготовленных электрозапалов, наносят на нить накаливания эмалит кисточкой или методом окунания, присыпают порошком пороховой мякоти и обваливают.

Чтобы получить большую начальную температуру, пороховую мякоть заменяют на гранулы черного охотничьего пороха. Такие воспламенители целесообразно применять, если в состав пороховой шашки микро-РДТТ входит связующая смола: микро-РДТТ типа ДБ-3.

При необходимости дальнейшего увеличения начальной температуры воспламенения гранулы черного пороха заменяют на гранулы охотничьего нитропороха типа «Сокол» или же добавляют в черный порох (пороховую мякоть) 10% пыли магнезия. Пыль магнезия обычно готовят из сплавов на магниевой основе. Этот метод применяют для воспламенения микро-РДТТ типа ДБ-51 и других высокотемпературных порохов. Иногда к нити накаливания прикрепляют стопин. Этот метод изготовления запального устройства имеет недостаток: при неплотном прилегании стопина к нити накаливания воспламенение может запаздывать или не произойти совсем.

**Изготовление стопина.** Стопин применяют не только как промежуточный элемент между нитью накаливания и пороховой шашкой микро-РДТТ, но и используют на борту моделей ракет.

Стопин представляет собой хлопчатобумажную нить, покрытую составом пороховой мякоти с добавлением клея (крахмала, декстрина и т. п.).

Хлопчатобумажные жгуты нитей, толщиной 1—2 мм пропитываются в течение суток в растворе селитры (калиевой): на 10 г селитры 0,5 л воды.

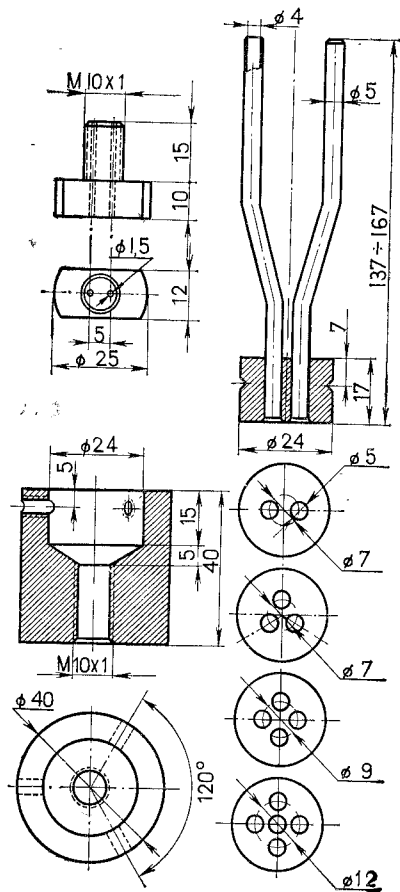


Рис. 65. Пирокресты со сменными крышками, крепящимися боковым стопорным винтом

Пороховую шашку, которая с трудом воспламеняется обычным стопином. В этом случае применяют стопин, приготовленный на хлоратах и перхлоратах калия или аммония с добавлением алюминия и магния. Рекомендуется следующий состав: 70% перхлората аммония

Пропитанные и просушенные нитки погружают на 1—2 часа в жидкую пороховую мякоть. Пороховая мякоть имеет следующий состав: 75% калиевой селитры, 12% серы и 13% соснового угля. Сверху 100% необходимо добавить клей (например, декстрин) — 5 частей по весу. Клей вводят для того, чтобы порошок не осыпался и нитки не прогибалась. Воду добавляют до кашеобразного состояния подмазки. Пропитанные пороховой подмазкой нитки наматывают на рамку и просушивают. Рекомендуется влажный стопин опудрить сухой пороховой мякотью. Готовый и просушенный стопин разрезают на нужную длину. Хранить его рекомендуется в пластмассовых коробках.

Некоторые топлива, например двигатели типа ДБ-51, имеют по

30% алюминия и 5% декстрина. Такой стопин дает достаточную температуру для воспламенения «вяло» воспламеняющегося топлива.

**Пирокрест** — это пиротехническое оборудование, позволяющее практически одновременно воспламенить любое количество микро-РДТТ. Давление и температу-

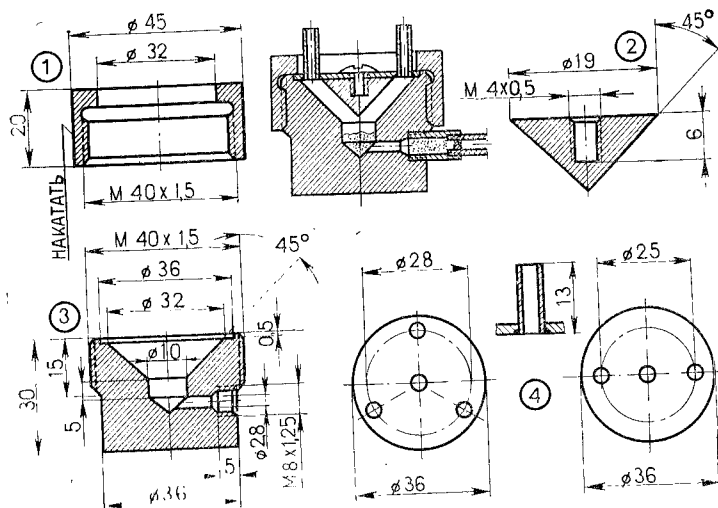


Рис. 66. Пирокресты со сменными крышками, крепящимися накидной гайкой:

1 — накидная гайка (латунь); 2 — расщепитель (латунь, хромированная); 3 — корпус (ст. АМг6); 4 — крышки (латунь, трубки медные, гайка серебряным припоем)

ра в нем при сжигании пороха распространяется равномерно по всему объему.

Пороховая навеска в пирокресте воспламеняется от электрической дистанционной системы.

Простейший пирокрест можно изготовить из бумаги или из картона: делают картонную коробку, в крышку которой вклеивают трубки. Наружный диаметр трубок должен быть меньше диаметра сопла микро-РДТТ. Трубки необходимо располагать так, чтобы двигатели «садились» на них соплами.

В пирокрест засыпают черный порох 1—1,5 объема гильзы от малокалиберной винтовки. Электровоспламенитель лучше выполнять вворачивающимся на резьбе.



Для того, чтобы повысить надежность воспламенения связки двигателей, лучше в каналы пороховых шашек клеивать на капле эмалита по кусочку стопина длиной 10—14 мм. В данном случае стопин будет выполнять

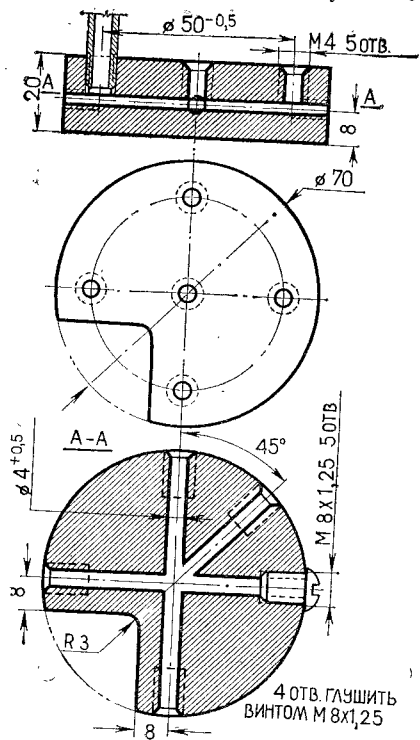


Рис. 67. Пирокрест с боковым выфрезерованием для направляющей (сп. АМгб)

роль промежуточного теплоносителя, но так как он более легко воспламеняется, то общая надежность воспламеняющихся связок микро-РДТТ повышается. Пороховая шашка микро-РДТТ воспламеняется от стопина почти со 100% -й надежностью. В данном случае увеличение последовательных звеньев повышает надежность, а не уменьшает ее.

Второй вид простейшего пирокреста — две бумажные трубки диаметром 20—30 мм. Длина их зависит от расстояния между осями двигателей, толщина стенки трубок, врезанных взаимно перпендикулярно, 1—2 мм. В трубки

Более совершенные конструкции пирокрестов со

менными крышками и воспламенителями показаны на рис. 65 и 66. Крышки можно изготовить из листовой латуни и трубки, вчеканить и впаять. Сборка трубок с точеной крышкой на резьбе иногда более технологична.

Для некоторых моделей-копий ракет необходимы конструкции широкреста с выфрезерованием под направляющий штырь: например, пирокрест для модели-копии советской исследовательской ракеты (рис. 67).

Преимущество конструкции цельноточеной или сточеной крышкой в том, что при компоновке микро-РДТТ на модели ракеты на разной высоте (поднят центральный двигатель или, наоборот, боковые) можно четко сменить трубку и поставить другую нужной длины на резьбе.

Интересен по конструкции пирокрест для модели ракеты, выполненной по тянущей схеме. При этом труба, в которой скользит корпус, является направляющей и заканчивается кольцевым пирокрестом.

Воспламенять микро-РДТТ открытой связкой стопин — «пауком» нельзя, так как скорость горения стопина на открытом воздухе может иметь значительную разность, соизмеримую с самой скоростью горения стопина. А это значит, что время разброса воспламенения микро-РДТТ, находящихся в связке, будет настолько велико, а тяги настолько неуравновешены, что они образуют опрокидывающий момент.

## Глава 10.

### ОРГАНИЗАЦИЯ И ПРОВЕДЕНИЕ СОРЕВНОВАНИЙ

Соревнования — это отчет моделиста о проделанной работе, демонстрация его успехов, удачных находок, открытий, но это и ошибки, и поражения.

Все тренировочные полеты моделей ракет необходимо по возможности максимально приближать к условиям соревнований. Поэтому методику проведения тренировок рассматривать не будем, а разберем вопросы, связанные с соревнованиями, но при любом полете мо-

дели ракеты руководитель должен проанализировать результаты с кружковцами.

Сделаем только одну оговорку: все тренировки в зимнее время в снежных районах нашей страны следует проводить на лыжах. Лыжи — это скорость, проходимость, подвижность, что дает возможность преследования модели по насту.

Запрещаются тренировки зимой кружковцам:

- 10—11 лет при ветре и температуре ниже — 12°C,
- 12—13 » » » » » » — 15°C,
- 14—15 » » » » » » — 18°C.

За основу проведения соревнований взята методика, выработанная на первых четырех всесоюзных и вторых всероссийских соревнованиях по ракетно-космическому моделизму.

### ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ

**Выбор и планировка стартовой площадки.** Место для запуска моделей ракет вообще и для проведения соревнований, в частности, должно быть открытым с радиусом 500 м без жилых и других помещений, линий электропередач и деревьев.

Место старта огораживают рядом флагов, между которыми целесообразно натянуть шнур или канат.

Старт разбивают с учетом направления ветра, чтобы запускаемые модели ракет находились от зрителей по ветру. Максимальная допустимая скорость ветра для проведения полетов моделей ракет 35 км/ч, а видимость не менее 500 м.

**Оборудование.** Опыт проведения ряда больших соревнований на время парашютирования или планирования показывает, что количество стартовых столов (а следовательно, и судейских точек) необходимо один на 6—7 участников (команд).

Кроме секундомеров и документации, на столе судейской точки нужны весы, так как каждый класс имеет ограничение по весу.

Перед стартом проводят контрольное взвешивание стартового веса модели ракеты и пружин ФАИ для грузоподъемных моделей ракет.

Кроме того, перед стартом проверяют соответствие микро-РДТТ данному классу и записи в полетном ли-

сте на модель ракеты. Проверяют по маркировке и форме корпуса двигателя, сопла и канала пороховой шашки.

Те детали на модели ракеты, которые из металла применять не разрешено, целесообразно контролировать не методом царапания лакокрасочного покрытия, что портит вид модели ракеты, а электрическим прибором с двумя щупами-иглолками. Эти щупы прокалывают лакокрасочное покрытие, и, если под ним металл, стрелка прибора отклоняется, а при отсутствии металла — остается на нуле.

### Работа технической комиссии по проверке моделей

Желательно знать вес модели не только стартовой, но и по субракетам. Это позволит определить тяговооруженность субракет, а главное, вероятность их устойчивого полета по положению ц. т. и ц. д. каждой субракеты. По лучше это делать не на старте, а на технической комиссии. Кроме того, техническая комиссия должна проверить не только надежность системы спасения, но и запас устойчивости модели по субракетам. Для чего необходимо найти ц. д. каждой субракеты и, зная положение ц. д., выяснить запас устойчивости. Ц. д. определяют продувкой, но если это сделать невозможно, то устойчивость модели ракеты вызывает сомнение, и судейская коллегия может потребовать от участника соревнований предъявить расчет или боковой вид модели по субракетам.

Все эти данные должны быть в документации на модель ракеты, но проверить их и убедиться в безопасности полета необходимо.

Если у моделиста к модели ракеты один парашют, то площадь его целесообразно измерить на технической комиссии. Зная вес, определяют удельную нагрузку, а если несколько сменных парашютов (на все случаи полеты), то перед стартом (форма 1, см. приложение).

**Запуск моделей ракет.** Во время запусков и полетов моделей ракет за их безопасность на стартовой площадке отвечает во время тренировок руководитель кружка, на соревнованиях — начальник старта, возраст которого должен быть не менее 21 года и который обязан

быть членом аэроклуба, входящего в ФАИ. Заместитель начальника старта (те же требования) может выполнять по распоряжению начальника старта его обязанности, но эта частичная передача ответственности не снимает ее с начальника старта.

Начальник старта или его заместитель на основании тщательной оценки модели ракеты с учетом безопасности в полете разрешает или запрещает ее запуск.

Лицу, осуществляющему запуск, необходимо полностью контролировать процесс запуска, а сам запуск или воспламенение топлива осуществляют с помощью дистанционного электрического устройства на расстоянии не менее 10 м от модели. Блокировочный ключ к пусковому пульту, предотвращающий воспламенение и запуск если он не на месте, то хранится только у начальника старта или его заместителя. Начальник старта или его заместитель, убедившись, что безопасный запуск модели ракеты возможен, вставляет ключ в пусковой пульт, решая тем самым зажигание и запуск. Лица, находящиеся вблизи пусковой установки, обязательно предупреждаются о предстоящем запуске, а перед пуском делается отсчет не менее 5 секунд (5, 4, 3, 2, 1, старт).

Каждый участник регистрирует только две абсолютно одинаковые модели ракеты в любом виде соревнований. Заменять модель ракеты не разрешается: модель совершающая второй полет, должна быть точно такой же, как и первая, которая участвовала в первом официальном полете. С одной и той же моделью ракет нельзя одновременно участвовать в двух или более видах состязаний.

Для начала соревнований в каком-либо виде необходимо, чтобы техническая комиссия официально зарегистрировала и осмотрела по крайней мере две заявки. Заявленная модель ракеты должна пройти технический осмотр.

Судьи имеют право потребовать, чтобы любая модель ракеты, совершающая официальный полет, была доставлена к ним и находилась у них в течение времени, достаточного для осмотра. Если модель ракеты нельзя доставить в определенное время, судьи могут дисквалифицировать полет.

Судьи должны сделать все возможное, чтобы убедиться в том, что участник использует на состязании

модель ракеты собственной конструкции. Для этого могут быть проведены теоретические зачеты и защита модели. Модели ракет, полностью собранные из готовых деталей или требующие для изготовления несколько минут неквалифицированного труда, не допускаются к соревнованиям. Материалы и компоновочную схему модели можно заимствовать из любых источников, включая готовые наборы.

### СОРЕВНОВАНИЯ С МОДЕЛЯМИ РАКЕТ НА ВРЕМЯ ПАРАШЮТИРОВАНИЯ

Модели ракет на время парашютирования имитируют спасение космического летательного аппарата и его ракеты-носителя. Поэтому обрыв головного обтекателя (пускаемого аппарата космического корабля) или корпуса (носителя космического летательного аппарата) от парашюта (системы спасения) на модели ракеты означает катастрофу или невыполнение поставленной задачи. Такой полет участнику не засчитывают. Не засчитывают и полет, если парашют не вышел из контейнера или вышел, но не полностью.

Модель ракеты не должна освобождаться от корпуса двигателя. Отстрел корпуса двигателя означает, что в полете произошло разрушение конструкции и такой полет участнику тоже не засчитывают.

Модель ракеты необходимо спроектировать таким образом, чтобы она совершила несколько полетов.

При посадке модель ракеты не должна иметь существенных повреждений и чтобы после замены двигателя и укладки парашюта ее можно было запустить в следующий полет. Модели снабжают одним или несколькими посадочными парашютами. Цель соревнований — добиться наибольшей продолжительности полета модели ракеты. Время засекают от первого движения модели ракеты на пусковой установке до того момента, когда она любой своей частью (за исключением пыжа и парашютного чехла) коснется земли или скроется из вида.

Участника соревнований, модель ракеты которого нельзя найти и вернуть судьям в течение установленного времени, дисквалифицируют. Необходимый пери-

од времени для возвращения ее определяют судьи до начала первого официального полета.

Время засекают два судьи — секундометриста, находящиеся на стартовой площадке и не покидающих ее, чтобы следить за полетом. Судьям не разрешается пользоваться никакими оптическими средствами, кроме солнечных или обычных очков. Официальное время полета подсчитывают как среднее от результатов, засеченных каждым судьей и округленных до целого числа в меньшую сторону. Если модель ракеты скрывается за каким-либо препятствием и судьям кажется, что она вскоре после этого коснется земли, то секундомеры останавливают в тот момент, когда модель скрылась за препятствием. Если же модель ракеты появляется вновь, секундомеры включают. Если модель ракеты исчезает из поля зрения в небе, то судьи останавливают секундомеры, когда упускают ее из вида.

Третий судья на старте должен быть с оптическим прибором (бинокль, подзорная труба, прибор типа ТЗК и т. п.), чтобы наблюдать за безаварийным полетом модели или решать вопрос о дисквалификации участника.

Соревнования по парашютируемым моделям-копиям ракет целесообразно проводить отдельно по копиям геофизических, метеорологических (противоградовых) и других моделей ракет для исследований верхних слоев атмосферы и ближнего Космоса, с возвращаемыми контейнерами на парашютах.

Все остальные условия соревнований с моделями ракет данного класса — те же, что и класса П-2, а оценка их копийности такая же, как и моделей-копий ракет на высоту полета.

**Официальные полеты.** При благоприятных погодных и временных условиях участникам предоставляется возможность выполнить по два официальных полета, если правила для данного вида соревнований это не исключают.

Полет считается официальным, если модель ракеты отрывается от пускового устройства, теряет с ним контакт или взлетает в воздух.

Участника не дисквалифицируют, если его модель ракеты потерпела аварию, которая, по мнению судей, произошла не из-за плохой конструкции или предполетно-

подготовки. Если в результате такой аварии модель ракеты разрушена и не может совершить дополнительный полет, ее разрешается заменить второй моделью.

**Дисквалификация.** Участника дисквалифицируют в том случае, если модель ракеты, по мнению судей, не соответствует Правилам соревнований, или если начальник старта или его заместитель сделают вывод, что она недостаточно безопасна.

Судьи могут дисквалифицировать любого участника за несоблюдение мер безопасности, за неподчинение приказам начальника старта или его заместителя, за неспортивное поведение или вообще за плохое поведение.

Причиной дисквалификации участника могут быть летные данные модели ракеты. При этом обязательно, чтобы его дисквалифицировали на весь период соревнований, иногда — только на один полет.

Если техническая комиссия соревнований находит, что модели ракет и стартовое устройство не обеспечивают безопасности, то такие модели не допускают к полету.

Дисквалифицируют участника также за следующее:  
— выход парашюта из контейнера модели ракеты или его частичный выход;

— обрыв парашюта, корпуса модели ракеты или его части, головного обтекателя;

— сброс (отстрел) корпуса двигателя;

— поломка модели ракеты при посадке;

— невозможность доставки модели ракеты судьям в установленное для этого время.

**Подготовка и запуск.** Участник соревнований выходит на старт с помощником из числа спортсменов своей команды, который помогает ему проложить электропроводку и держит модель ракеты во время установки воспламенителя. Капитану команды выход на старт может быть разрешен только главным судьей, и это рассматривается как исключительный случай.

Подготовка и запуск производит моделист в течение 3 мин. Когда запал вставлен в сопло двигателя, участник, запускающий модель, проверяет контакт и запал.

Убедившись в исправности электросети, запускающий поднимает руку, сообщая судье, что к старту готов. Судья вручает спортсмену ключ и делает пяти-

секундный отсчет, заканчивая его командой «Пуск». Участник нажимает кнопку «Пуск».

Если двигатель не сработает, моделист обязан перевернуть ключ пульта в положение «Выключено», с разрешения судьи может подойти к модели ракеты, но не раньше чем через 2 мин. после того, как была нажата кнопка «Пуск».

Вынув электрозапал из двигателя модели ракеты и удалив его из вилки кабеля, спортсмен проверяет кабель на короткое замыкание (горит ли лампочка при свободной розетке). Убедившись в исправности электросети, он заменяет электрозапал. При удачном старте участник бежит за моделью ракеты и доставляет ее судьям для осмотра, а его помощник убирает стартовое оборудование, освобождая место для следующей команды.

**Стеновая оценка моделей-копий ракет.** К соревнованиям по моделям-копиям допускают только те модели, которые являются действительными копиями существовавших или существующих управляемых или неуправляемых ракет, ракетных аппаратов или космических летательных аппаратов.

Допускается, чтобы модель-копия многоступенчатой ракеты имела одну или более верхних ступеней в виде бутафорских недействующих макетов. С моделями многоступенчатых ракет не разрешается участвовать в соревнованиях без работающих нижних ступеней.

Например, отечественные ракеты-носители космических кораблей типа «Восток» и «Союз» или польская метеорологическая ракета «Метеор-2К» должны иметь работающие боковые ускорители, как первую ступень или работающие параллельно с основным блоком.

Исключением могут быть только случаи, когда участник предъявит судейской коллегии соревнований авторитетные данные, подтверждающие, что верхние ступени ракеты, копируемой на модели, опираются в полет без нижних ступеней со старта.

Надо стремиться к тому, чтобы копировать четко определенную ракету данного серийного выпуска.

В документации к модели ракеты спортсмену необходимо указать масштабность ее относительно оригинала, соответствие размерам, конфигурации, цвету, характеру окраски оригинала. Чем подробнее эти сведения,

тем лучше. Минимальными являются: длина, диаметр и фотография ракеты-оригинала. Данные о размерах берут из достоверных источников: журналов, альбомов, технических спецификаций и т. д. Фотокопии можно использовать из любого источника.

Представленные данные обязательно должны соответствовать ракете-оригиналу, принятому в качестве образца для моделирования. За недостаточную полноту или неточность сведений о ракете-оригинале судейская коллегия имеет право снизить очки.

Допускается использование различных деталей из наборов для склеивания моделей макетов ракет и игрушек из пластмассы, имеющихся в продаже, если это оговорено в данных о модели, представленных в судейскую коллегию для оценки копийности. Моделист отвечает за соблюдение масштаба модели-копии ракеты, собранной из фабричного набора, и обязан представить авторитетные данные, подтверждающие, что модель, собранная из набора, соответствует оригиналу в определенном масштабе.

На моделях-копиях ракет, управляемых снарядами и космических летательных аппаратах, не оборудованных стабилизаторами, можно устанавливать стабилизаторы из прозрачной пластмассы. Их цель — придать модели устойчивость в полете и это не влияет на оценку копийности.

Стеновую оценку модели ракеты проводят до ее полета, но без двигателей. Для стеновой оценки модель ракеты должна быть представлена в полной готовности, т. е. со стабилизаторами, устройством для запуска и другими необходимыми для полета деталями и приспособлениями. В период между стеновой оценкой и запланированным полетом запрещается снимать и устанавливать какую-либо деталь, кроме двигателя или двигателей и приспособлений для обеспечения безопасного пуска. В оценке копийности участвуют только те детали, которые отправляются в полет с моделью. Крышки сопловых блоков, снимаемые до старта, в оценку не входят. Для получения очков за точную копию сопел последние выполняют так, чтобы микро-РДТТ ставились в них или же сопла были работающими.

За копийность очки начисляют исходя из следующего: за достоверность и точность воспроизведения ос-

новых технических данных присуждают максимум 50 очков. Принимают во внимание качество этих данных, а не их количество. Поскольку модель-копия ракеты воспроизводит определенную ракету-оригинал, необходимо иметь описание или технические данные оригинала, за что получают максимум 25 очков. Если имеются только данные по диаметру и длине оригинала, то максимум 10 очков. Рисунки, эскизы и фотоснимки, предъявленные участником в судейскую коллегию, должны давать представление о внешнем виде основных деталей ракеты-оригинала, за что начисляют максимум 25 очков. Если имеется только одна нецветная фотография — то максимум 5 очков, за цветную — максимум 15 очков. Судейская коллегия сохраняет за собой право снижать очки за неполноту представленных данных, а также за то, что представленные на модели параметры не соответствуют масштабу заявленной ракеты-оригинала.

За стендовую оценку соответствия масштабу начисляют максимум 350 очков. Моделью-копией ракеты считают такую, размеры которой отличаются от истинных размеров ракеты-оригинала, уменьшенных в соответствующем масштабе не более чем на 10% как по габаритным размерам, так и по размерам ступеней. За каждый (один) % отклонения от размера снижают очки на 10%. Этот основной принцип реализуют, начисляя:

— за соблюдение масштаба общего вида модели (габаритные размеры) — максимум 50 очков (длина, диаметр, размах стабилизаторов);

— за соблюдение масштаба корпуса и головной части (правильность форм, их переходов и размерность ступеней) — максимум 100 очков, которые распределяются: максимум 25 очков за головную часть и по 25 очков (максимум) за каждую из ступеней;

— за соблюдение цветов раскраски и маркировки — максимум 100 очков (источники по раскраске могут быть нецветными);

— за соблюдение масштаба стабилизаторов, крыльев и рулевых поверхностей — максимум 100 очков, которые распределяются: максимум 25 очков за стабилизаторы на головной части и по 25 очков (максимум) за стабилизаторы (крылья) на каждой из ступеней.

Если модель ракеты без стабилизаторов или стабилизаторы выполнены из прозрачной пластмассы, то ко-

личество очков за стабилизаторы будет суммироваться с количеством очков за масштабность корпуса и головной части и, таким образом, вместе будет составлять максимум 200 очков, которые распределяются: за головную часть максимум 50 очков и по 50 очков (максимум) за каждую из ступеней.

За качество изготовления начисляют максимум 300 очков, которые можно получить за трехступенчатую модель ракеты, 250 — за двухступенчатую и 200 — за одноступенчатую (работающие ступени). Принимается во внимание аккуратность, точность соблюдения форм и качество отделки. Если модель ракеты выполнена красиво, но с погрешностями в соблюдении масштаба, т. е. наведен лоск лишь для видимости, то такая модель в оценках судей не должна получить преимуществ перед другими.

За степень трудности: максимум 200 очков.

Принимается во внимание степень трудности конструирования модели и ее системы спасения. Степень трудности определяют следующие факторы: сложность в приспособляемости модели к условиям полета, обеспечение устойчивости полета ступеней и соответствие их натурному образцу, симметричность, количество выступающих частей, сложность маркировки и степень детализации на модели в соответствии с натурным образцом. За оригинальное решение приспособляемости к полету можно получить максимум 150 очков, по 50 очков на каждую из ступеней; за сложность наружного изготовления: симметричность, количество выступающих частей, сложность маркировки и степень детализации — можно получить максимум 50 очков, из них первые три — максимум по 10 очков, а степень детализации — максимум 20 очков.

За летные свойства начисляют максимум 100 очков. Принимают во внимание качество выполнения следующих элементов полета: старт, количество работающих сопел двигателей, соответствующих натурному образцу, — максимум 50 очков, устойчивость в полете — максимум 10 очков, маневрирование (если оно применяется) — максимум 10 очков, переход на парашютный спуск и безаварийность при посадке — максимум по 15 очков. Все результаты заносят в таблицу или паспорт — полетный лист.

Всероссийские соревнования школьников  
по ракетно-космическому моделизму

Форма 1

г. \_\_\_\_\_ 197 г.  
Участник \_\_\_\_\_ Стартовый № \_\_\_\_\_  
Команда \_\_\_\_\_  
(АССР, край, область)  
Руководитель (тренер) \_\_\_\_\_  
Модель класса \_\_\_\_\_

Вес по субракетам, г	Субракеты			Сумма
	I	II	III	
Стартовый (полный)				
«Сухой» (без топлива)				
Двигателя (ей)				
Количество и марка двигателей				
Суммарный импульс, Н·с				
Вид системы спасения				
Площадь системы спасения, дм <sup>2</sup>				
Удельная нагрузка, г/дм <sup>2</sup>				
Полезный груз (вид)				
Вес, г				
Схема				
Площадь, дм <sup>2</sup>				
Удельная нагрузка, г/дм <sup>2</sup>				
Результаты полета, с (или м)				
	Модель № 1		Модель № 2	

Очки за эстетическое выполнение модели (макс. 100)  
Очки за теоретический зачет (макс. 70 очков)  
Председатель техкома \_\_\_\_\_  
Судья-статист \_\_\_\_\_ (фамилия)  
Начальник старта \_\_\_\_\_ (фамилия)  
\_\_\_\_\_ (фамилия)

Форма 2

Всероссийские соревнования школьников  
по ракетно-космическому моделизму

г. \_\_\_\_\_ 197 г.  
Участник \_\_\_\_\_ Стартовый № \_\_\_\_\_  
Команда \_\_\_\_\_  
(АССР, край, область)  
Руководитель (тренер) \_\_\_\_\_  
Модель класса \_\_\_\_\_ Масштаб \_\_\_\_\_  
Копия \_\_\_\_\_

Стендовые очки

№ п/п	Макс. очков	Оценка	Основная модель			Запасная модель			Средние очки	
			судья			судья			основн.	за- пасн.
			1	2	3	1	2	3		
1	50	Достоверность и точность вос- произведения технических данных								
2	50	Соблюдение масштаба об- щего вида								
3	100	Соблюдение масштаба кор- пуса и носовой части								
4	100	Соблюдение цветов раскра- ски и марки- ровки								
5	100	Соблюдение масштаба ста- биллизаторов								
6	300	Качество изго- товления								
7	200	Степень труд- ности								
Подписи судей										Сумма очков

При стендовой оценке подобия модели-копии необходимо иметь мерительный инструмент, позволяющий проводить замеры с требуемой точностью; прибор, определяющий отсутствие (наличие) металлических деталей и таблицы-протоколы оценки модели.

Очки за летные свойства

Оценка	Макс. очков 100	1 полет	2 полет	Подпись судьи
Старт	50			
Устойчивость в полете	10			
Нагурное деление по ступеням или маневрирование, если оно применяется	10			
Парашютирование	15			
Безаварийная посадка	15			
(последние два п. — по 5 очков за каждую из работающих ступеней)	Сумма			

Форма 3

Всероссийские соревнования школьников  
по ракетно-космическому моделизму

ПАСПОРТ МОДЕЛИ (полетный лист)

Вид соревнований, место и дата \_\_\_\_\_  
 Класс модели \_\_\_\_\_  
 Класс и название прогопиа \_\_\_\_\_  
 Команда \_\_\_\_\_  
 Фамилия и подпись моделиста \_\_\_\_\_  
 Фамилия и подпись капитана  
 (тренера) команды \_\_\_\_\_  
 День и место регистрации \_\_\_\_\_

Примечание. Этот паспорт заполняют перед регистрацией и предъявляют вместе с моделью.

В течение соревнований паспорт находится у участника и, он его предъявляет при выходе на старт и судье-информатору.

При утере паспорта взамен выдается новый с надписью «дубликат», составляется акт об утере и сообщается в откомандированную организацию

Модель допущена к соревнованиям  
в классе

Подпись председателя  
технической комиссии

Полеты	Класс модели и награждение (место)	Результат				Сумма очков
		Очки за качество полета	Очки за стеновые	Результат полета	Сумма	
I						
Вторая попытка						
II						
Вторая попытка						
Очки за эстетическое выполнение модели						
Очки за теоретический зачет						

Примечание. Здесь отмечаются награждения за первое, второе и третье места, а также поощрительные дипломы.

Подпись главного  
судьи соревнований или их  
организаторов



## Оборотная сторона паспорта модели

Фотография модели  
(формат 9×12 см)

Фамилия \_\_\_\_\_ имя \_\_\_\_\_  
Место жительства: республика \_\_\_\_\_  
город \_\_\_\_\_  
улица \_\_\_\_\_ дом № \_\_\_\_\_  
Профессия \_\_\_\_\_ год рождения \_\_\_\_\_  
Член кружка (клуба) \_\_\_\_\_

Сведения о модели:  
Построена владельцем (моделистом, коллективом)  
Материал корпуса: дерево, пластмасса, бумага, стеклотекстолит, покупной корпус  
Головной обтекатель: дерево, пластмасса, бумага  
Стабилизаторы: дерево, пластмасса, бумага  
Система спасения: шелк, волокнистая бумага, синтетические ткани, пленка  
Система замедления: ОПЩ, пороховая мякоть, стопин

Имя, фамилия, отчество, образование, материал:

Масштаб 1: _____	Прото-тип, м	Модель, мм
Общая длина		
Диаметр		
Размах стабилиза- ра (крыла)		
Количество ступеней		
Система спасения	I суб-ракета	II суб-ракета
Вид системы спасения		
Сухой вес модели, г		
Площадь системы спасения, дм <sup>2</sup>		
Удельная нагрузка, г/дм <sup>2</sup>		
Суммарный импульс, Н·с		
Марка двигателей		
Кол-во двигателей		
Вес топлива, г		
Стартовый вес моде- ля, г		
Прочие данные модели:		
Частота передатчика _____	Мгц.	Супергеретер. (да, нет)
Канал передачи/кварц _____		Число каналов _____
Конструкторская документация: чертежи прототипа, фотографии прототипа, чертежи модели, собственный проект, сборочный чертеж с готовыми деталями. Обоснованные отклонения от прототипа: _____		

## ЛИТЕРАТУРА

- Авилов М. Н. Модели ракет. М., Изд-во ДОСААФ, 1968.  
Алемасов В. Е. Теория ракетных двигателей. М., Оборонгиз, 1968.  
Апенченко О. И., Сергей Королев. М., Политиздат, 1969.  
Букш Е. Л. Основы ракетного моделизма. М., Изд-во ДОСААФ, 1972.  
Васильев А. Я., Куманин В. В. Летающая модель и авиация. М., Изд-во ДОСААФ, 1968.  
Гагарин Ю. А. Дорога в космос. М., Детгиздат, 1963.  
Глинский Б. А. Моделирование как метод научного познания. М., «Наука», 1965.  
Диксон Д. Проектирование систем. М., «Мир», 1969.  
Ермаков А. М. Авиамодельные соревнования. М., Изд-во ДОСААФ, 1970.  
Еськов В. Ф. Как построить модель ракеты. М., Изд-во ДОСААФ, 1967.  
Инженерный справочник по космической технике. М., Воениздат, 1972.  
Канаев В. И. Ключ на старт! М., «Молодая гвардия», 1972.  
Карташов Н. В. Боевые неуправляемые ракеты. М., Воениздат, 1969.  
Кооп П. В., Попович М. В. Логика научного исследования. М., «Наука», 1965.  
Космонавтика. М., «Советская энциклопедия», 1970.  
Платонов В. П. Ракета своими руками. Киев, Изд-во «Веселка», 1970.  
Покорение космоса. М., «Машиностроение», 1969.  
Пронин Л. Н. Баллистические ракеты. М., Воениздат, 1969.  
Лети, модели! М., Изд-во ДОСААФ, 1970.  
Регирер Е. И. Развитие способностей исследователя. М., «Наука», 1968.  
Соколовский В. Н. Ракеты на твердом топливе в России. М., Изд-во АПН СССР, 1963.  
Справочник по космонавтике. М., Воениздат, 1966.  
Ханзон Ф. Основы общей методики конструирования. М., «Машиностроение», 1969.  
Чавканадзе В. Б. Моделирование в науке и технике. М., «Знание», 1966.  
Циолковский Э. К. Ракета в космическом пространстве. М., Изд-во АПН СССР, 1963.  
Яковлев А. Д. Технология изготовления изделий из пластмасс. Л., Изд-во «Химия», 1968.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
ВВЕДЕНИЕ . . . . .	3
Глава 1. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БАЗА КРУЖКА . . . . .	5
Глава 2. ОРГАНИЗАЦИЯ ЗАНЯТИЙ В КРУЖКЕ . . . . .	10
Глава 3. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О МОДЕЛЯХ РАКЕТ . . . . .	39
Глава 4. ПРОВЕДЕНИЕ ЗАНЯТИЙ ПО АЭРОДИНАМИКЕ ПОЛЕТА МОДЕЛЕЙ РАКЕТ . . . . .	48
Глава 5. ИЗГОТОВЛЕНИЕ МОДЕЛЕЙ РАКЕТ . . . . .	77
Глава 6. РАСЧЕТЫ, ПРОВЕДЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТОВ И ИЗГОТОВЛЕНИЕ ПАРАШЮТОВ ДЛЯ МОДЕЛЕЙ РАКЕТ . . . . .	102
Глава 7. РАСЧЕТ СИСТЕМ МОДЕЛЕЙ РАКЕТ НА ВРЕМЯ ПАРАШЮТИРОВАНИЯ И ИХ ИЗГОТОВЛЕНИЕ . . . . .	127
Глава 8. ИЗГОТОВЛЕНИЕ МОДЕЛЕЙ-КОПИЙ РАКЕТ НА ВРЕМЯ ПОЛЕТА . . . . .	141
Глава 9. РАСЧЕТ И ИЗГОТОВЛЕНИЕ СТАРТОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ЗАПУСКА МОДЕЛЕЙ РАКЕТ . . . . .	165
Глава 10. ОРГАНИЗАЦИЯ И ПРОВЕДЕНИЕ СОРЕВНОВАНИЙ . . . . .	175
ПРИЛОЖЕНИЕ . . . . .	186
ЛИТЕРАТУРА . . . . .	191

Владимир Акимович Горский,  
Иван Всеволодович Кротов

## РАКЕТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Художник В. И. Сорокин

Редактор Е. В. Ефремова  
Художественный редактор Г. Л. Ушаков  
Технический редактор З. И. Сароина  
Корректор Р. М. Рыкунина

Г-37073 Сдано в набор 28/VI-73 г.  
Подписано к печати 30/XI-73 г. Изд. № 2/6640 Формат 84×108<sup>1</sup>/<sub>32</sub>  
Бумага типографская № 3 Тираж 37 000 экз.  
Цена 52 коп. Объем физ. п. л. 6,0=10,08 усл. п. л. Уч.-изд. л. 10,21  
Изд-во ДОСААФ. Москва, 107066, Б-66, Новорязанская ул., д. 26

Тип. Изд-ва ДОСААФ. Зак. 349