

О. К. Гаевский

МОДЕЛЬНЫЕ
САМОЛЕТЫ

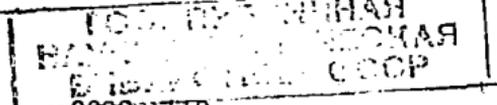
О. К. ГАЕВСКИЙ,
мастер спорта

АВИАМОДЕЛЬНЫЕ

ДВИГАТЕЛИ

Издание второе, исправленное и дополненное

ИЗДАТЕЛЬСТВО ДОСААФ • МОСКВА • 1973



0692—ТТ0

Г БЗ—40—44—73

072(02)—73

14

1480

73-35433a

В книге рассказывается о поршневых микродвигателях внутреннего сгорания, работающих по двухтактному циклу, о их конструкциях, изготовлении и эксплуатации. Кроме того, даются советы по технике сборки и наладки серийных двигателей и двигателей, изготовленных самостоятельно, описываются приемы повышения мощности и методика подготовки к соревнованиям.

Книга рассчитана на авиа-, авто- и судомоделистов, занимающихся в кружках школ, домов пионеров и на станциях юных техников.

КЛАССИФИКАЦИЯ АВИАМОДЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Авиамodelисты, а также строители моделей судов и автомобилей почти исключительно применяют поршневые двигатели внутреннего сгорания, работающие по двухтактному циклу. Это объясняется тем, что двухтактные двигатели проще по конструкции, имеют меньше деталей и более быстроходны. Экономичность — основное преимущество четырехтактных двигателей — в условиях эксплуатации на моделях не имеет существенного значения.

Поршневые авиамodelьные двигатели разделяются на три спортивные категории:

- I — с рабочим объемом до 2,5 см³;
- II — » » » » 5 » ;
- III — » » » » 10 » ;

Разделение двигателей по рабочему объему цилиндра позволяет точнее сравнивать летные качества различных моделей и создает единообразные условия соревнований. Учитывая это разделение, наши конструкторы и промышленность создают двигатели с рабочим объемом, близким к указанным пределам. Однако многие фирмы не ограничиваются производством указанных выше трех категорий двигателей и выпускают двигатели с рабочим объемом 0,8; 1,5; 1 см³ и другие.

По способу зажигания рабочей смеси современные авиамodelьные двигатели делятся на три вида:

- калильные с зажиганием от калильной свечи;
- компрессионные с самовоспламенением топливной смеси от сжатия;

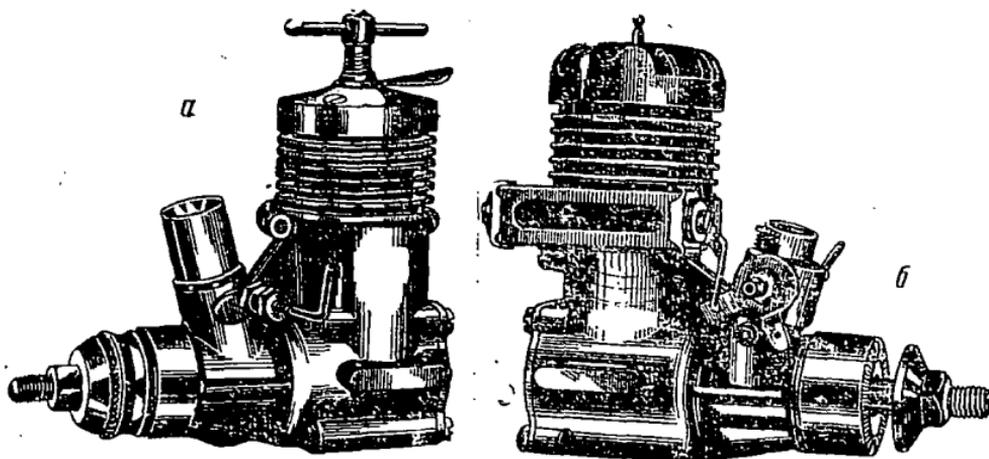


Рис. 1. Общий вид современных авиамодельных двигателей:
 а — компрессионного; б — калильного

— бензиновые с высоковольтным искровым зажиганием.

Общий вид компрессионного и калильного авиамодельных двигателей показан на рис. 1.

ДЕЙСТВИЕ ДВУХТАКТНОГО ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

РАБОЧИЙ ПРОЦЕСС

Рабочий процесс в двигателе, работающем по двухтактному циклу, протекает в следующем порядке. При движении поршня вверх в картере создается разрежение, благодаря чему рабочая смесь засасывается через карбюратор в полость картера. При движении поршня вниз смесь в картере сначала сжимается, а затем перепускается по каналу в камеру сгорания. При следующем ходе поршня вверх, который происходит под действием сил инерции масс вращающихся деталей, находящихся на валу двигателя, рабочая смесь в цилиндре сжимается. Одновременно происходит всасывание в картер из карбюратора новой порции рабочей смеси.

При положении поршня, близком к верхней мертвой точке (в.м.т.), под воздействием сжатия, нагрева от спирали, находящейся в свече, или искры, происходит

воспламенение рабочей смеси, образуются газы, которые начинают давить на поршень. Под действием этих сил поршень перемещается вниз. При движении поршня вниз открывается выхлопное окно (рис. 2) и газы устремля-

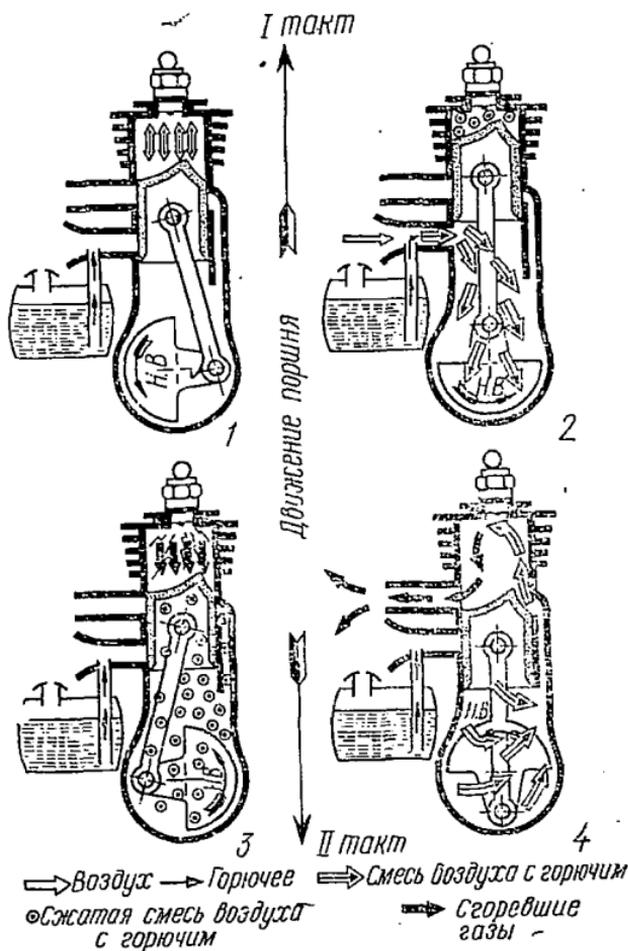


Рис. 2. Схема действия двухтактного калильного двигателя с газораспределением поршнем

ются наружу. Давление в цилиндре падает почти до атмосферного. Перемещаясь далее вниз, поршень открывает перепускное окно, и горючая смесь поступает в цилиндр. Происходит перепуск и продувка, затем сжатие, и цикл повторяется.

Повторение цикла возможно лишь при условии, что силы инерции деталей, находящихся на валу, будет до-

статочно для того, чтобы вернуть поршень в в.м.т. и повторить сжатие. В противном случае двигатель остановится. Для того чтобы гарантировать повторение цикла при малых оборотах, на двигателях внутреннего сго-

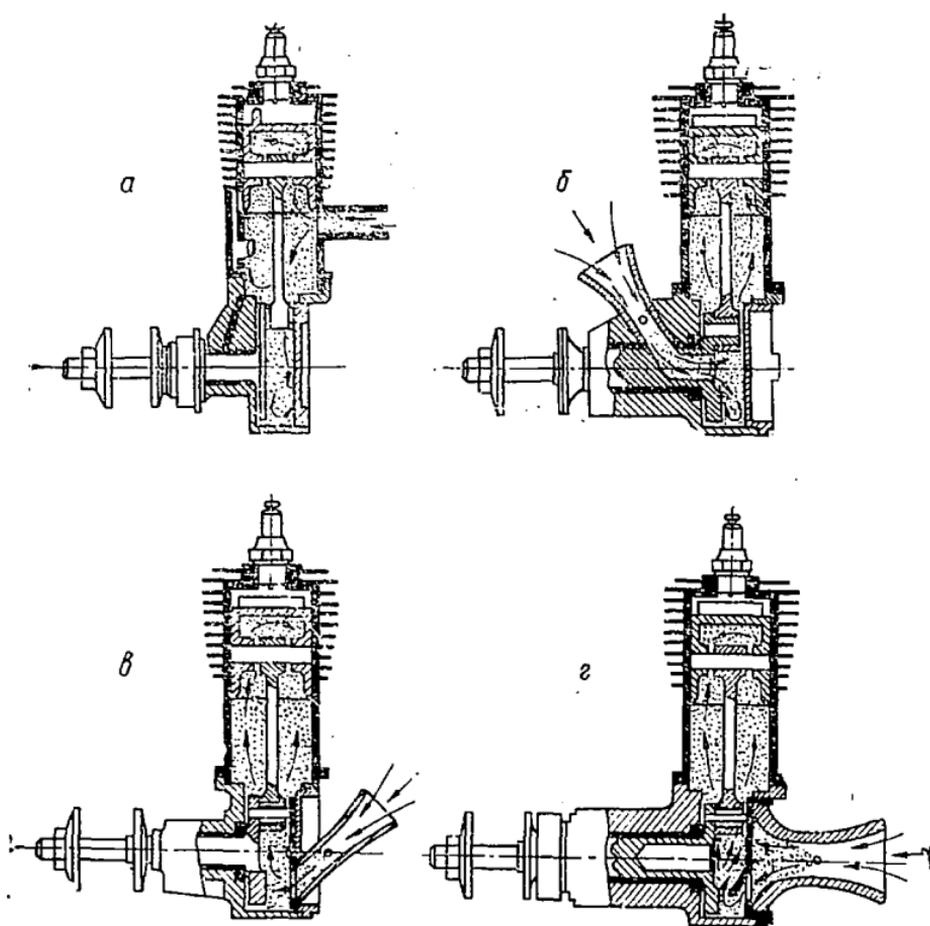


Рис. 3. Устройство двухтактных авиамодельных двигателей с различными конструкциями газораспределения: а — поршнем; б — валом; в — дисковым золотником; г — резонансным пластинчатым клапаном

рания применяется маховик — тяжелый металлический диск, обладающий значительной инерцией.

У авиамодельных двигателей маховиком служат пропеллер, вал, кок и втулка, т. е. все детали, вращающиеся вместе с валом двигателя.

В с а с ы в а н и е м называется процесс заполнения картера двигателя горячей смесью воздуха с топливом.

Протекает этот процесс так. Поршень при движении вверх создает разрежение в картере. Через трубку, называемую всасывающим патрубком, в картер устремляется воздух. На пути движения воздуха имеется поперечная трубка — жиклер, подающий топливо. Протекающий воздух захватывает частицы топлива, распыляет их и уносит в полость картера. Величина отверстия жик-

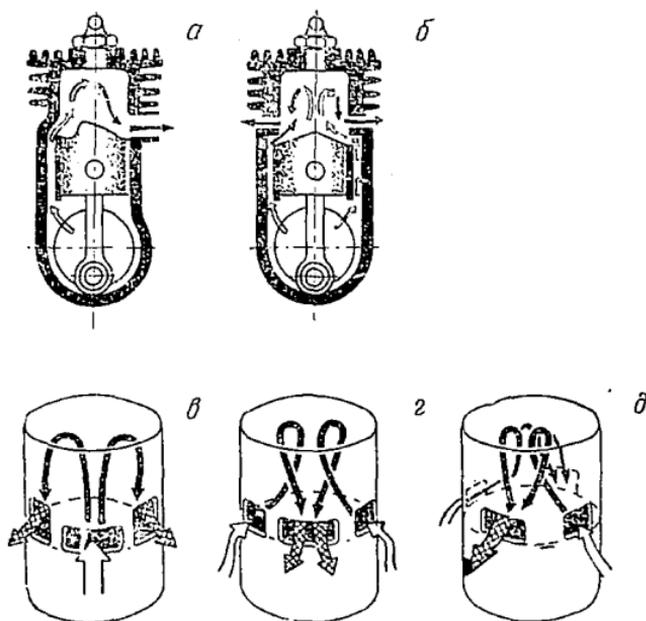


Рис. 4. Схемы продувок двухтактных авиамодельных двигателей:

а — поперечная; *б* — встречная кольцевая; *в* — поперечно-петлевая с двумя выпускными и одним продувочным окном; *г* — поперечно-петлевая с двумя продувочными и одним выпускным окном; *д* — перекрестная

лера, сквозь которое протекает горючее, регулируется иглой. Впуск горючей смеси в картер регулируется поршнем, валом, золотником или клапаном (рис. 3).

Перепуском называется процесс перемещения горючей смеси в цилиндр. Происходит перепуск потому, что в картере двигателя при перемещении поршня вниз давление ранее поступившей туда смеси превышает давление в цилиндре. Под действием этой разности давлений смесь перетекает из картера в цилиндр.

Продувкой цилиндра называется процесс заполнения цилиндра свежей горючей смесью и движение продуктов сгорания топлива к выхлопным окнам.

Выпуском называется процесс выхода продуктов сгорания топлива из цилиндра. Процессы перепуска и продувки решающим образом влияют на быстроходность и мощность двигателя.

Движение газов при перепуске и продувке происходит у различных двигателей не одинаково и зависит от

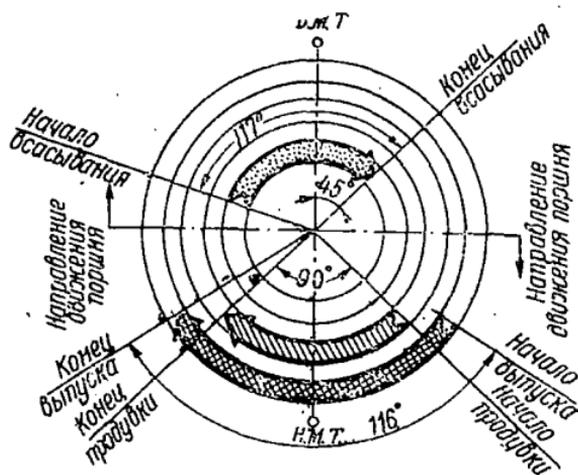


Рис. 5. Круговая диаграмма фаз газораспределения двухтактного двигателя с золотниковым распределением всасывания

того, как расположены по отношению друг к другу перепускные и выхлопные каналы и какую они имеют форму и направление. В зависимости от того, как протекают газы, различают следующие виды продувок: поперечную, поперечно-петлевою, встречную кольцевую, перекрестную (рис. 4).

На современных быстроходных авиамодельных двигателях лучшие результаты пока получены при поперечной и поперечно-петлевой продувках. Длина каналов, их форма и сечение влияют на гидродинамические потери движения горючей смеси. Чем короче путь течения газов и чем меньше препятствий встречает на своем пути их поток, тем быстроходнее и мощнее может быть двигатель.

Углы поворота вала, соответствующие всасыванию, выхлопу и перепуску, называют фазами газорас-

пределаения двигателя. Фазы газораспределения на схемах изображают в виде круговой диаграммы (рис. 5). Диаграмма дает представление только о том, скольким градусам угла поворота вала двигателя соответствуют процессы газораспределения. На развернутой диаграм-

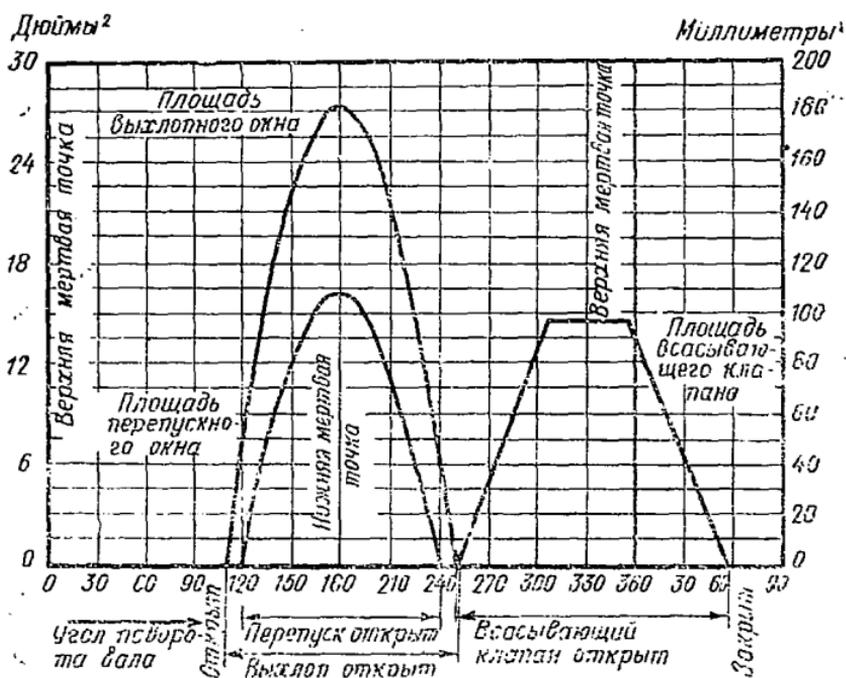


Рис. 5. Развернутая диаграмма фаз газораспределения двухтактного двигателя с распределением всасывания дисковым золотником

ме (рис. 6) показаны также площади проходных сечений, сквозь которые протекают газы, поэтому она дает более полную картину газораспределения.

ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДВИГАТЕЛЯ

Основными геометрическими характеристиками являются рабочий объем V , диаметр цилиндра D , ход поршня S , их отношение $\frac{S}{D}$ и степень сжатия e .

Рассмотрим их влияние на работу двигателя в отдельности.

Объем, вытесняемый поршнем, выраженный в кубических сантиметрах, при движении от в.м.т. до нижней мертвой точки (н.м.т.) носит название рабочего объема двигателя (V_h) или его кубатуры.

Объем, вытесняемый поршнем при движении от в.м.т. до начала выхлопа, называется эффективным рабочим объемом ($V_{эф}$).

Для иллюстрации влияния изменения диаметра цилиндра и хода поршня на механизм движения при неизменном рабочем объеме можно взять три примера с хо-

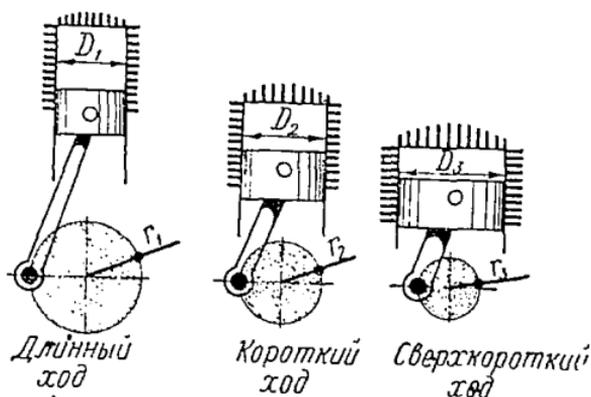


Рис. 7. Виды соотношений диаметра цилиндра и хода поршня

дом поршня: значительно большим, чем диаметр цилиндра; равным диаметру цилиндра и намного меньшим диаметра цилиндра (рис. 7).

Уменьшение хода поршня или уменьшение отношения хода поршня к диаметру цилиндра для данного объема имеет два очевидных эффекта: расстояние, пройденное поршнем за один оборот, уменьшается, а нагрузка на шейку коленчатого вала увеличивается. Такой двигатель более компактен, что позволяет значительно уменьшить его вес. На высокооборотных двигателях это дает уменьшение трения и износа благодаря меньшей скорости движения поршня, что выгодно отличает этот тип от двигателей с длинным ходом поршня. Однако при этом увеличивается утечка газов вокруг поршня (благодаря увеличению диаметра).

В свое время считали, что преимущество короткого хода поршня для быстроходных двигателей не ясно. Однако сейчас для большинства быстроходных двигателей

почти всегда выбирают величину хода поршня, близкую к диаметру цилиндра.

Поскольку скорость поршня пропорциональна числу оборотов и ходу поршня, то при равных оборотах короткоходный двигатель имеет меньшие скорости поршня,

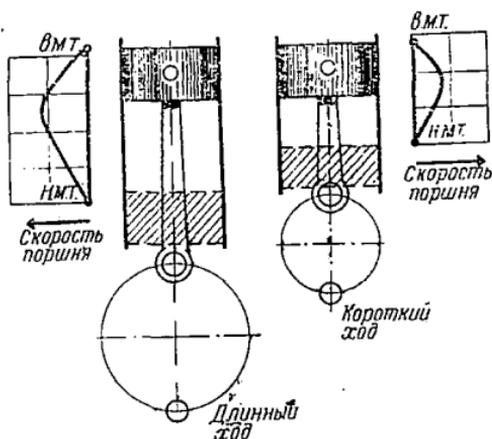


Рис. 8. Диаграмма скоростей движения поршня при длинном и коротком ходах

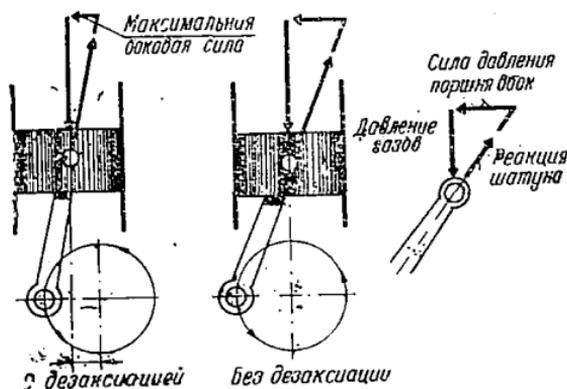


Рис. 9. Схема влияния дезаксиации цилиндра двигателя на боковую силу давления поршня

чем длинноходный. Скорость поршня равна нулю в в.м.т. и достигает максимума при $70-80^\circ$ поворота вала от в.м.т. (рис. 8).

Смещение оси цилиндра относительно оси коленчатого вала известно под названием дезаксиации. Эта система не может действовать одинаково эффективно при изменении направления вращения. Следовательно, двигатель с дезаксиальным цилиндром будет иметь более благоприятное направление вращения в сторону смещения цилиндра (рис. 9, по стрелке).

Дезаксиальное расположение цилиндра уменьшает боковое давление поршня на цилиндр во время рабочего

хода (движение поршня вниз). Как только поршень отойдет от в.м.т. (при симметричной конструкции цилиндра), давление газов на поршень передается под углом через шатун, заставляя поршень двигаться прижатым к одной стороне цилиндра. Дезаксиация цилиндра уменьшает боковое давление, а боковое давление поршня при ходе вверх увеличивается, но так как давление газов при рабочем ходе больше, а при сжатии (ходе вверх) меньше, то сумма потерь на трение поршня о стенки цилиндра уменьшается.

Для создания лучшего уплотнения и меньшего износа поршня не рекомендуется делать высоту поршня менее длины его хода. Двигатель с коротким или почти равным диаметру цилиндра ходом поршня при длине шатуна, составляющей 1,7—1,8 хода (в среднем), наиболее распространен. В двигателях массового выпуска ход поршня обычно несколько больше, чем диаметр цилиндра. Такие двигатели легче запускаются и имеют более продолжительный срок службы.

Эффективной степенью сжатия ϵ называется отношение суммы эффективного рабочего объема и объема камеры сгорания к объему камеры сгорания. Степень сжатия характеризует величину предварительного геометрического сжатия рабочей смеси в цилиндре, т. е. показывает, во сколько раз уменьшен первоначальный объем рабочей смеси в цилиндре перед ее воспламенением. В целях повышения мощности степень сжатия выгодно иметь возможно большую. На современных авиамодельных двигателях величина степени сжатия находится в пределах 6—9 для калильных и 18—25 для компрессионных. Увеличению степени сжатия препятствует способность рабочей смеси детонировать.

ИНДИКАТОРНАЯ ДИАГРАММА

На индикаторной диаграмме двухтактного двигателя показывается давление в цилиндре в зависимости от положения поршня. На рис. 10 дана типовая индикаторная диаграмма двухтактного двигателя. Для большей наглядности давление в цилиндре и давление в картере приведены на одной диаграмме. На оси ординат отложен объем цилиндра в зависимости от положения в нем

поршня. Положение поршня в в.м.т. соответствует минимальному объему камеры сгорания цилиндра и обозначается V_c .

Проследим изменение давления в цилиндре. При движении поршня вверх от н.м.т. до закрытия выхлопного окна давление в цилиндре остается атмосферным. Как только окно закроется, давление начинает расти и достигает в точке P_c величины степени сжатия. Затем происходит вспышка рабочей смеси и мгновенный рост давления до величины P_z , соответствующей положению поршня, близкому к в.м.т. После этого начинается движение поршня вниз и расширение газов. Давление при этом понижается до величины P_b . В точке P_b открывается выхлопное окно, и давление в цилиндре постепенно падает до атмосферного.

В это же время в картере при движении поршня вверх от н.м.т. создается разрежение (смесь заполняет картер). Затем при движении поршня от в.м.т. вниз давление в картере повышается до начала перепуска. После начала перепуска давление в картере постепенно уравнивается с атмосферным и цикл повторяется.

Практическая индикаторная диаграмма будет отличаться от теоретической вследствие утечки газов, а также из-за смещения фаз газораспределения, которое необходимо, чтобы ускорить протекание газов.

ИНДИКАТОРНАЯ МОЩНОСТЬ ДВИГАТЕЛЯ

Индикаторная мощность двигателя — это работа, которую производят газы давлением на поршень в цилиндре двигателя за единицу времени. Рабо-

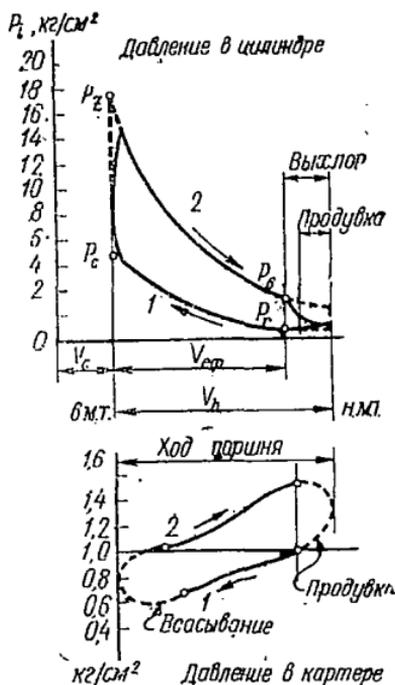


Рис. 10. Типовая индикаторная диаграмма двухтактного двигателя

та A измеряется в кгм , обороты n_s — в сек , мощность N_i — в кгм/сек , среднее индикаторное давление P_i — в кг/см^2 , площадь поршня F — в см^2 , ход поршня S — в м .

Зная среднее индикаторное давление, площадь поршня и число оборотов вала двигателя, можно подсчитать развиваемую индикаторную мощность двигателя.

Средняя сила давления газов на поршень P :

$$P = F \cdot P_i, \text{ кг.}$$

Работа поршня двухтактного двигателя за один оборот:

$$A = P \cdot S, \text{ кгм.}$$

Работа в секунду, т. е. мощность, будет равна:

$$A \cdot n_s, \text{ кгм/сек.}$$

Зная из физики, что одна лошадиная сила равна 75 кгм/сек , можно вычислить теоретическую мощность двигателя в лошадиных силах:

$$N_i = \frac{A \cdot n_s}{75}, \text{ л.с.}$$

или

$$N_i = \frac{0,785 D^2 \cdot P_i \cdot S \cdot n_s}{75}, \text{ л.с.,}$$

где D — диаметр цилиндра, см .

Полученная формула указывает, что чем больше обороты, среднее индикаторное давление, площадь и ход поршня, тем большую мощность разовьет двигатель. Произведение $0,785 D^2 S$ — рабочий объем нашего двигателя, который не может превышать величину, установленную для соответствующей категории двигателей.

Отсюда ясно, что влиять на мощность можно за счет увеличения числа оборотов двигателя и увеличения среднего индикаторного давления P_i .

ЭФФЕКТИВНАЯ МОЩНОСТЬ ДВИГАТЕЛЯ (КОЭФФИЦИЕНТ ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ)

Известно, что расчетная индикаторная мощность N_i больше эффективной мощности N_e , которую мы получаем практически на валу двигателя. Значительная часть

мощности затрачивается на преодоление сил механического трения движущихся деталей механизма двигателя. Сумма всех потерь на трение даже в совершенных двигателях колеблется в пределах 10—30%.

Число, показывающее, какую часть индикаторной мощности нам удастся получить на валу двигателя, называют механическим коэффициентом полезного действия двигателя η_m :

$$\eta_m = \frac{N_e}{N_l}.$$

Отношение тепла, превращенного в полезную работу на валу двигателя, ко всему теплу, выделившемуся из затраченного топлива, называется эффективным коэффициентом полезного действия двигателя η_e , у авиамодельных двигателей он достигает 0,3.

ЛИТРОВАЯ МОЩНОСТЬ ДВИГАТЕЛЯ

Максимальная мощность двигателя, отнесенная к рабочему объему цилиндра, выраженному в литрах, называется литровой мощностью. По количеству лошадиных сил, которые приходятся на один литр объема, судят о качестве двигателя.

Литровая мощность подсчитывается по формуле:

$$N_l = \frac{N_e}{V_h},$$

где N_e — максимальная эффективная мощность по внешней характеристике;

N_l — литровая мощность;

V_h — рабочий объем цилиндра.

Лучшие авиамодельные двигатели развивают мощность до 200 л. с. с литра. Достигается это главным образом за счет повышения числа оборотов двигателя.

УДЕЛЬНЫЙ ВЕС ДВИГАТЕЛЯ (ВЕС НА ЛОШАДИНУЮ СИЛУ)

Об удельном весе двигателя судят по тому, сколько килограммов его веса приходится на одну лошадиную

силу при работе на максимальной мощности. Вес на одну лошадиную силу g_n подсчитывается по следующей формуле:

$$g_n = \frac{g}{N_e},$$

где g — вес двигателя с электрооборудованием без горючего, кг;

N_e — максимальная эффективная мощность двигателя, л. с.

Удельный вес лучших образцов наших авиамодельных двигателей составит 250—350 г на одну лошадиную силу.

УДЕЛЬНЫЙ РАСХОД ТОПЛИВА

Удельным расходом топлива поршневого двигателя называется количество топлива в граммах, расходуемое им на каждую лошадиную силу в течение часа работы:

$$C_e = \frac{G_r}{N_e t}, \text{ г/л.с. час,}$$

где C_e — удельный расход топлива, г/л.с. час;

G_r — количество израсходованного топлива, г;

N_e — эффективная мощность двигателя, развиваемая им во время замера G , л. с.,

t — время работы двигателя, час.

ХАРАКТЕРИСТИКА ДВИГАТЕЛЯ (ДРОССЕЛЬНАЯ И ВНЕШНЯЯ)

Мощность двигателя проще и точнее всего можно замерить на балансирном станке (процесс замера мощности описан в разделе «Испытание авиамодельных двигателей»). При помощи балансирного станка замеряют крутящий момент, создаваемый двигателем при различных числах оборотов. Если замерить мощность двигателя с одним каким-либо винтом при различных числах оборотов, изменяя их дроссельной заслонкой и иглой жиклера, то получают диаграмму в виде кривой (рис. 11).

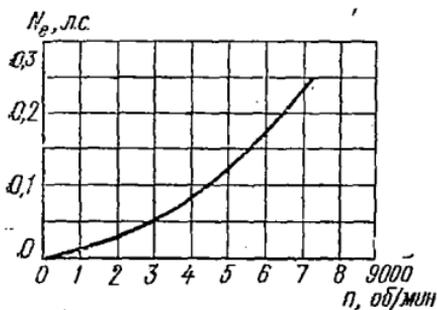


Рис. 11. Диаграмма дроссельной характеристики двигателя

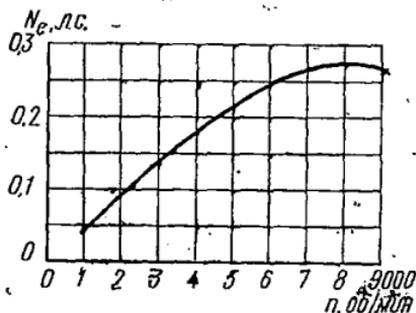


Рис. 12. График внешней характеристики двигателя

Если менять нагрузку на двигатель, устанавливая на него различные винты, и добиваться путем регулировки двигателя максимальной мощности на каждом из винтов, получают ряд точек, образующих кривую внешней характеристики двигателя (рис. 12).

Полной внешней характеристикой двигателя называют кривую мощности внешней характеристики, нанесенную на диаграмму в сочетании с кривой расхода горючего (г/час) на соответствующих мощностях.

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ БАЛАНС И ПОТЕРИ В ДВИГАТЕЛЕ

Источником энергии в поршневом двигателе внутреннего сгорания является топливо, которое сгорает в цилиндре. При полном преобразовании тепла в механическую работу одна большая калория эквивалентна 427 кгм. Однако двигатель преобразует в механическую работу только часть этой энергии — около 30%. Приблизительно 30—40% тепла, выделяемого при сгорании рабочей смеси в цилиндре, уходит с выхлопными газами, 27—30% тепла уходит на охлаждение двигателя воздухом и механические потери и лишь оставшиеся 27—30% преобразуются в механическую энергию двигателя.

Задачи моделиста, стремящегося увеличить мощность двигателя, заключаются в том, чтобы уменьшить эти потери и найти способы для более полного использования рабочего объема цилиндра.

ТРЕНИЕ

Трение — это сопротивление движению относительно друг друга соприкасающихся деталей. На трение частей механизма двигателя затрачивается некоторая мощность, оно вызывает износ и нагрев трущихся поверхностей. Трение бывает сухое — без смазки и жидкостное — со смазкой.

Трение смазочных поверхностей значительно меньше, чем сухих, оно также зависит от сочетания материалов. Лучшие сочетания материалов следующие: бронза—сталь; сталь твердая—сталь мягкая; металлокерамика—сталь; сталь твердая—чугун.

Наименьшее трение при вращении вала создают шарикоподшипники. Трение вала, вращающегося на шарикоподшипниках, в два-три раза меньше, чем на подшипниках скольжения. Исключения составляют специально прессованные бронзы — металлокерамики, которые в паре с полированной твердой стальной поверхностью имеют коэффициент трения, приближающийся к коэффициенту трения шарикоподшипников.

Другим достоинством этих бронз является их свойство самосмазываться тем маслом и графитом, которые находятся в порах бронзы.

СМАЗКА

Масла являются смазывающими веществами, уменьшающими трение. Смазка поршневых авиамодельных двигателей осуществляется путем добавления масла к топливу. Внутри двигателя топливо испаряется; масло, оседая на стенках, попадает между трущимися деталями и смазывает их. При этом очень важно, чтобы смазка попадала туда непрерывно и в достаточном количестве. Масло, вводимое для смазки в подшипники, не только уменьшает трение, но и отводит тепло от трущихся поверхностей.

В зависимости от величины и характера нагрузки на трущиеся детали и температуры, при которой они работают, подшипники требуют различных смазок. В качестве смазок в авиамодельных двигателях служат масла

минеральные (добываемые из нефти) и растительное (касторовое). В зависимости от типа двигателя и его режима работы количество масла и его качество должны быть различны. С точки зрения отдачи двигателем мощности масла в рабочей смеси выгодно иметь как можно меньше. Однако при увеличении числа оборотов и повышении температуры двигателя смазку всех трущихся частей необходимо улучшить, что требует увеличения количества масла в смеси.

Недостаточность смазки приводит к быстрому износу деталей и в первую очередь поршневых колец, шейки кривошипа и подшипников коленчатого вала. При недостатке смазки шатун нагревается более чем на 300°. Под действием такой температуры дюралюминий теряет свою прочность и разрушается.

В хорошо подобранной горючей смеси на рабочем режиме двигателя топливо должно сгорать почти полностью, а небольшая часть несгоревшего масла выбрасывается с выхлопными газами. Это легко проверить, приложив во время работы двигателя к выхлопному патрубку листок чистой бумаги. Если на бумаге рядом с прогаром от выхлопных газов будут заметны следы масла, значит, масла достаточно и смазка верхней части цилиндра и поршневых колец осуществляется нормально.

Составляя горючее для двигателя, всегда следует иметь в виду: чем быстрее ходит двигатель, тем больше должно быть масла в рабочей смеси.

СМАЗОЧНЫЙ МАТЕРИАЛ — МАСЛА

Не всякое масло будет хорошим смазочным материалом для авиамодельных двигателей. Достоинство масла оценивается по его способности создавать между трущимися деталями устойчивую масляную пленку при больших скоростях движения и высоких температурах. Последнее свойство определяется вязкостью масла, измеряемой в условных единицах — сантистоксах при температуре 100°. Чем выше температура нагрева двигателя, тем более густое масло следует применять. Марки масел в зависимости от способа их очистки имеют приставку «С» или «К», что обозначает способ их очистки (се-

лективный или кислотный). Лучшими качествами обладают масла селективной очистки, например МС, которым следует отдавать предпочтение перед маслами МК и АК.

В табл. 1 приведены масла, которые мы рекомендуем применять при составлении горючих смесей для авиамодельных двигателей.

Таблица 1

Наименование масла	Стандарт	Температура испытания, С°	Условная вязкость в сантистоксах (ССТ)
МС-20	ГОСТ1013—49	100	Не менее 20
МК-22	»	»	22
МС-14	»	»	14
АС-9,5 (с присадкой)	5303—50	»	9,5
АС-5	»	»	5
АК-9,5	»	»	9,5
Касторовое	ОСТ ИКПП466	50	130
ДП-8	ГОСТ 5304—54	100	8—9
Д-11		»	10,5—12,5

Содержание масла в горючей смеси подбирается опытным путем и зависит от конструкции двигателя, его числа оборотов, температурного режима, степени сжатия и компонентов, входящих в состав топлива.

Проверенные рецепты горючих смесей приводятся в табл. 3. Следует заметить, что минеральные масла не смешиваются со спиртовыми горючими, а касторовое масло не смешивается с бензином, поэтому в таких комбинациях эти масла в чистом виде не применяют.

ТОПЛИВО

Смесь топлива, масла и присадок, улучшающих свойства топлива, называют топливной смесью. Смесь воздуха с парами топлива и капельками масла называ-

ют горючей смесью. Соединение горючей смеси с остатком выхлопных газов в цилиндре двигателя называют рабочей смесью.

Топливные смеси для поршневых авиамодельных двигателей содержат жидкое топливо, в состав которого входят в разных соотношениях углерод, водород и кислород.

Топливо добывается: путем перегонки нефти — керосин, бензин, соляровое масло; путем перегонки каменного угля — бензол, толуол; из злаков и овощей — винный спирт (этиловый); путем сухой перегонки древесины — древесный метиловый спирт.

Кислород для сгорания топлива поступает из воздуха. Количество воздуха, необходимое для полного сгорания одного килограмма топлива, называют теоретически необходимым количеством воздуха.

Спиртовые топлива содержат связанный кислород, поэтому при их сгорании требуется меньше воздуха.

Для авиамодельных двигателей применяются средние и легкие топлива. Средние топлива: керосин осветительный, керосин А, керосин тракторный, топливо ТС-1 и Т-2 для реактивных самолетов. Легкие топлива: эфир, этиловый (винный) спирт, метиловый (древесный) спирт, бутиловый спирт, бензин.

Керосин — самое распространенное топливо для компрессионных двигателей. В СССР изготавливается несколько видов керосина. За рубежом керосин имеет различные названия. Так, например, в США он именуется ламповым маслом, в Англии — парафиновым.

Легкость запуска, надежность и мощность двигателя во многом зависят от состава топлива.

Качество топлива характеризуют следующие показатели.

Теплотворность топлива — количество тепла в больших калориях, выделяемое 1 кг топлива при полном сгорании.

Испаряемость — способность топлива переходить из жидкого в газообразное состояние.

Антидетонационные свойства, которые определяют условным октановым числом, характеризующим способность топлива правильно сгорать при разной степени сжатия в цилиндре. Средние величины допустимой

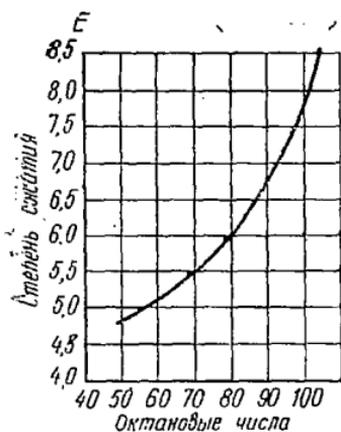


Рис. 13. График зависимости предельной величины эффективной степени сжатия от октанового числа топлива

степени сжатия в зависимости от октанового числа топлива показаны на графике (рис. 13).

Скорость горения имеет чрезвычайно важное значение и влияет на быстроходность двигателя. Желательно, чтобы топливо сгорало возможно быстрее, но так, чтобы это не носило характера взрыва.

Скрытая теплота испарения — количество тепла в больших калориях, необходимое для испарения 1 кг топлива. Чем больше тепла требуется для его испарения, тем лучше, так как процесс испарения будет охлаждать двигатель. Желательно,

чтобы смесь поступала в цилиндр более холодная, так как это увеличивает энергетический заряд, а следовательно, и мощность двигателя. Наибольшей скрытой теплотой испарения обладает метиловый спирт.

На скорость горения и на его антидетонационные качества можно влиять и в некоторых пределах улучшать свойства топлива путем добавления в его состав специальных веществ — присадок.

В табл. 2 даны основные топлива, применяемые для авиамодельных двигателей.

Таблица 2

Наименование топлива	Скрытая теплота испарения, б. кал/кг	Теплотворная способность, б. кал/кг	Теоретически необходимое количество воздуха для сгорания 1 кг топлива, кг	Октановое число
Керосин	—	10 000	14,7	40
Бензин	75	10 500	15	66—100
Этиловый спирт	200	6475	8,4	99
Метиловый спирт	260	5322	6,53	98

ПРИСАДКИ

Воспламенители — вещества, обладающие способностью воспламеняться при относительно низких давлениях и температурах. Например, пары серного эфира самовоспламеняются при степени сжатия 18—20. Это свойство эфира используется в компрессионных двигателях, где зажигание смеси происходит от присутствия в рабочей смеси паров эфира.

Присадкой, ускоряющей и стабилизирующей горение спиртового топлива, является нитрометан. Это редкий и дорогой химический продукт — ядовитая прозрачная жидкость, способствующая ускорению реакции горения; добавляется в спиртовые топливные смеси до 40% при скоростных рекордных полетах. Горит медленно, голубоватым пламенем, дает прирост мощности двигателя до 30%. Допускает значительное изменение качества смеси.

Амилнитрит — сложный химический продукт. Продается в аптеках как одно из сердечных средств, добавляется к топливам компрессионных двигателей до 2% для улучшения и ускорения сгорания топлива. Добавление амилнитрита в топливо дает увеличение мощности до 25%.

ТОПЛИВНЫЕ СМЕСИ

Топливные смеси состоят из топлива (горючего), смазочного материала (масла) и присадок.

Применяемые в настоящее время топливные смеси разделяются на две группы: для компрессионных и калильных двигателей.

На всех видах соревнований летающих моделей для калильных двигателей разрешается применять только смеси, указанные в табл. 3.

Обычно заводы или фирмы, изготовляющие двигатели, подбирают наиболее универсальную топливную смесь и дают ее рецепт вместе с инструкцией по обращению с двигателем.

Кроме того, для специальных рекордных целей существуют топливные смеси, в той или иной степени повышающие мощность двигателя.

Топлива	Смеси для компрессионных двигателей						Смеси для двигателей калильных				
	короткоходных и быстроходных		длинноходных и тихоходных			универсальная	с плохой компрессией		с хорошей компрессией	универсальные, принятые для соревнований	
№ рецепта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
компоненты, %											
Легкое соляровое топливо	—	25	—	—	—	—	—	30	—	—	—
Эфир этиловый (серный)	50	45	40	33	30	50	40	40	25	—	—
Амилнитрит	1,5	—	—	—	—	1,5	—	—	—	—	—
Керосин тракторный	23,5	—	30	34	30	23,5	30	—	45	—	—
Спирт винный (этиловый)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Метиловый спирт	—	—	—	—	—	—	—	—	—	75	75
Масло касторовое	—	—	—	—	—	10	30	—	30	25	25
Масло МК или МС	25	—	—	33	—	15	—	30	—	—	—
Масло автэл 10	—	30	—	—	40	—	—	—	—	—	—
Масло автэл 5	—	—	30	—	—	—	—	—	—	—	—

КАРБЮРАЦИЯ

Для того чтобы топливо могло сгорать в цилиндре двигателя, оно должно быть соответствующим образом подготовлено — обращено в пар или мелко распылено, т. е. превращено в горючую смесь.

Горючая смесь, поступающая в цилиндр авиамодельного двигателя, должна состоять из воздуха и паров жидкого топлива, хорошо смешанных в определенной пропорции. Так, на 1 кг бензина должно быть 15 кг воздуха, на 1 кг метилового спирта — 9 кг воздуха. Если эту пропорцию нарушить и отклониться от нее на 20—25%, то двигатель не удастся запустить.

В зависимости от того, сколько топлива содержит смесь, она называется нормальной, бедной или богатой.

Нормальной смесью называют такую, которая обеспечивает хорошую работу двигателя. Бедная смесь содержит мало топлива (меньше нормы), богатая смесь содержит много топлива (больше нормы).

Мощность двигателя меняется в зависимости от изменения состава — качества смеси.

На эффективность топливных смесей существенное влияние оказывает состояние окружающей атмосферы — ее температура, влажность и барометрическое давление.

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ЗАПАС ГОРЮЧЕЙ СМЕСИ

Энергетическим запасом горючей смеси называют количество больших калорий, выделяемых при сгорании единицы объема горючей смеси, поступившей в цилиндр двигателя. Наибольшим энергетическим запасом обладают спиртовые смеси, так как спирты для своего сгорания требуют наименьшее количество воздуха. Подсчитаем приблизительно теплотворную способность 1 кг бензиновой и спиртовой смеси топлива:

$$Q \text{ бензиновой горючей смеси} = \frac{10\,500 \text{ б.кал.}}{15 \text{ л}} = 700 \text{ кал/л,}$$

$$Q \text{ спиртовой горючей смеси} = \frac{5322 \text{ б.кал.}}{6,53 \text{ л}} = 815 \text{ кал/л,}$$

где в числителе теплотворная способность топлива, в знаменателе теоретически необходимое количество воздуха для сгорания 1 литра горючей смеси.

Отсюда становится понятным, почему двигатели на спиртовых горючих развивают большие мощности. Кроме этого преимущества, спиртовые смеси, испаряясь в карбюраторе и картере, требуют в три раза больше тепла на свое испарение. Так, бензин для испарения одного грамма топлива требует 75 кал, а метиловый

спирт — 260 кал. Следовательно, метиловый спирт в 3,5 раз лучше охлаждает детали двигателя. Оребрение двигателя, работающего на спиртовых холодных смесях, может быть значительно уменьшено по сравнению с двигателями, работающими на бензине.

Горючая смесь в авиамодельных двигателях готовится вне цилиндра, в так называемом карбюраторе.

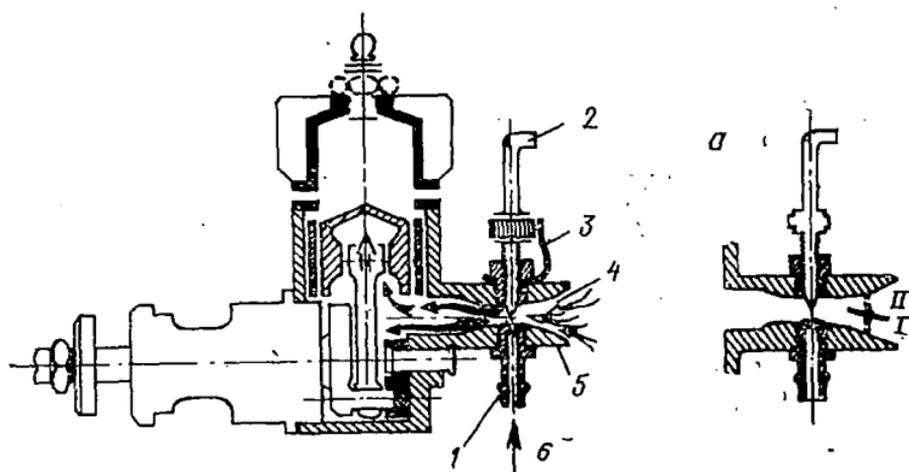


Рис. 14. Схема действия простейшего карбюратора пульверизационного типа:

1 — жиклер; 2 — игла жиклера; 3 — фиксатор; 4 — диффузор; 5 — всасывающий патрубок; 6 — топливная смесь; а — тот же карбюратор с дроссельной заслонкой; 7 — открытое положение; II — закрытое положение

Она состоит из воздуха и испарившегося или распыленного топлива, соотношение между которыми регулируется проходным отверстием жиклера.

На авиамодельных двигателях применяются простейшие пульверизационные карбюраторы (рис. 14). Такой карбюратор состоит из всасывающего патрубка, жиклера и иглы для регулировки проходного сечения жиклера. Иногда для более точной регулировки применяется воздушная дроссельная заслонка.

Действует такой карбюратор следующим образом: когда поршень поднимается, воздух через всасывающий патрубок заполняет картер. В момент прохождения воздуха через диффузор — суженную часть всасывающего патрубка — давление в трубке становится меньше атмосферного.

Благодаря разрежению топливо всасывается из жиклера потоком воздуха, распыляется и уносится в картер. Сечение диффузора и жиклера подбирается так, чтобы необходимое для работы соотношение подачи воздуха и топлива поддерживалось в рабочем диапазоне оборотов двигателя.

Отношение среднего диаметра патрубка к минимальному сечению диффузора называется поджатием. Чем больше поджатие, тем больше разрежение в диффузоре патрубка, тем легче двигатель запускается и проще регулируется.

Однако уменьшение сечения диффузора вызывает уменьшение количества протекающего воздуха и снижает максимальные обороты двигателя. Это явление торможения часто используется: устанавливается регулируемая заслонка (дроссель), при помощи которой меняется проходное сечение всасывающего патрубка.

При открывании дроссельной заслонки число оборотов двигателя увеличивается, при закрывании — уменьшается.

Может наступить такое положение, когда торможение воздуха даже в открытом патрубке будет препятствовать дальнейшему увеличению оборотов двигателя. Если же увеличить сечение всасывающего патрубка и диффузора, то ухудшится запуск двигателя и работа на малых числах оборотов. Поэтому на двигателях массового выпуска, для которых величина максимальной мощности не является главным требованием, применяют большое поджатие (суженные диффузоры).

Чтобы обеспечить универсальное использование двигателя, его снабжают набором (2—3 штуки) диффузоров различного сечения.

Если главным требованием, предъявляемым к двигателю, является максимальная мощность, то проходное сечение всасывающего патрубка увеличивают настолько, насколько позволяет конструкция. Но часто это приводит к тому, что двигатель становится очень чувствительным к регулировке иглой жиклера и изменениям в давлении подачи топливной смеси.

В полете ощутительное влияние на режим работы двигателя оказывают уровень горючего в топливной системе, перегрузки и наддув.

Часто причиной отказов и изменений в полете режима работы двигателя является несовершенная система питания топливом и, в частности, способ вывода дренажей и заправочных трубок. От положения среза трубок и места их вывода зависит давление в баке. На рис. 15,б показан график изменения скоростного напора и давления.

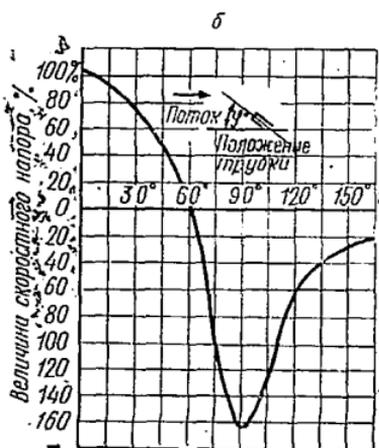
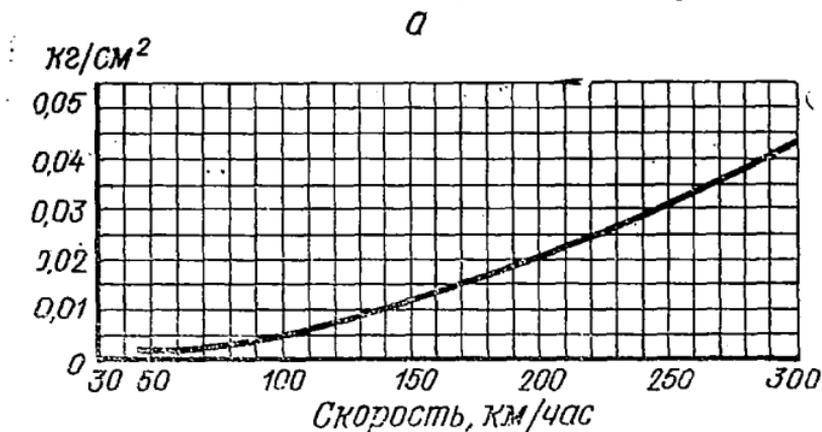


Рис. 15. Графики зависимости: а — величины скоростного напора воздуха от скорости полета; б — изменения давления воздуха в трубке от угла ее наклона к потоку воздуха

воздуха в трубке в зависимости от наклона ее к потоку. Как видно на рисунке, давление существенно меняется: оно максимальное, когда срез расположен перпендикулярно потоку; равно нулю, когда угол $\varphi = 60^\circ$, и минимально, когда угол $\varphi = 90^\circ$. Общее изменение давления от 0° до 90° при скорости потока 200 км/час составляет $0,02 \text{ кг/см}$, или 200 мм водяного столба, или 250 мм высоты изменения уровня топлива в баке (при удельном весе $0,8$).

В тех случаях, когда используется наддув скоростным напором (рис. 15,а) (при обычной топливной системе), необходимо, чтобы давление в баке и всасывающем патрубке было бы одинаковым. Выравнивание давления достигается тем, что заправочная и дренажная трубки бака выводятся вблизи всасывающего патрубка.

Когда диаметр диффузора настолько велик, что получить устойчивую работу двигателя не удастся, можно применять подачу топлива под давлением. В этом случае топливо не всасывается во всасывающий патрубок, а впрыскивается в него.

Качество смеси регулируют иглой жиклера.

Системы регулирующих устройств, назначение которых выравнивать давление или регулировать работу двигателя по желанию моделиста, описаны в разделе «Конструкции авиамодельных двигателей».

ЗАЖИГАНИЕ

Когда горючая смесь сжата поршнем около в.м.т., ее надо воспламенить. Тогда горящие газы приведут в движение поршень.

В калильных двигателях воспламенение сжатой рабочей смеси происходит от раскаленной спирали свечи. Свеча калильного типа 1 показана на рис. 16.

Первоначальный накал спирали создается пропуском электрического тока. Когда двигатель устойчиво заработает, источник тока отключают. Дальнейшее поддержание накала спирали производится теплом, выделяющимся при горении топлива в цилиндре.

Воспламенение в компрессионном двигателе происходит от сжатия. Улучшение самовоспламенения смеси обеспечивается подбором состава топлива.

В зависимости от состава топлива, температуры воздуха и изношенности двигателя для воспламенения горючей смеси необходимы различные степени сжатия. Поэтому нельзя сделать двигатель с камерой сгорания постоянного объема. Кроме того, запуск двигателя облегчается в том случае, когда степень сжатия меньше, а наибольшую мощность двигатель развивает при увеличении степени сжатия. Такая регулировка степени сжатия осуществляется контрпоршнем (см. рис. 16).

Контрпоршень закрывает цилиндр сверху, образуя камеру сгорания. Перемещение контрпоршня вниз осуществляется путем завинчивания регулировочного винта. Вверх контрпоршень перемещается под действием сжатых газов в камере сгорания цилиндра.

Искровую систему электрозажигания в настоящее время для авиамодельных двигателей применяют редко.

ОХЛАЖДЕНИЕ ДВИГАТЕЛЯ

Температура горения газов в цилиндре авиамодельного двигателя внутреннего сгорания достигает 2000°C. Если не охлаждать цилиндр, то детали двигателя перегреются, потеряют свою прочность и двигатель разрушится. Перегрев двигателя вызывает коробление цилиндра и поршня. Масло на стенках цилиндра спекается в виде пленки, образуется нагар, и нарушается смазка двигателя. Поэтому перегрева двигателя допускать нельзя. Но известно, что двигатель, теряя теплоту, теряет и мощность. Поэтому его нельзя и переохлаждать. Кроме того, в холодном цилиндре топливо будет медленнее гореть. Следовательно, надо делать двигатель таким, чтобы цилиндр во время работы был нагрет настолько, насколько позволяет термостойкость деталей. Практически для головки цилиндра во время работы двигателя можно допускать нагрев внутри до 300—350° и внешней стороны до 200—250°.

КОНСТРУКЦИИ АВИАМОДЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

УСТРОЙСТВО АВИАМОДЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ

На рис. 16,а показан разрез типового калильного авиамодельного двигателя. Назначение его частей следующее.

Картер — корпус, в котором монтируются все остальные детали двигателя. На нем имеются лапки или ушки для крепления двигателя на модели. В двухтактных двигателях картер, кроме того, является промежу-

точным резервуаром, в который засасывается и в котором сжимается рабочая смесь до начала перепуска ее в цилиндр. Поэтому в таких цилиндрах внутренняя полость картера должна быть герметичной. Цилиндр

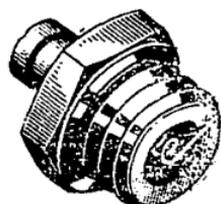
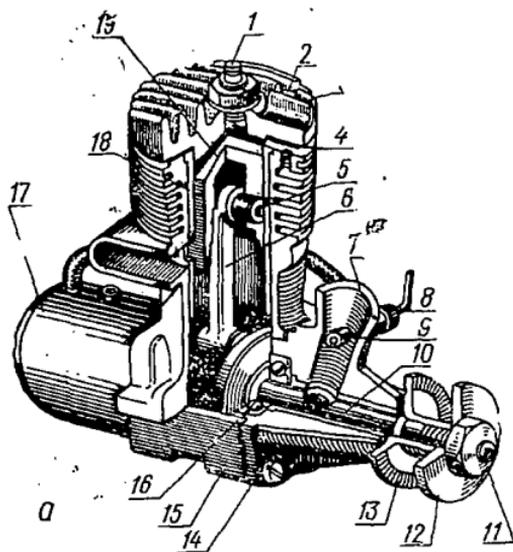
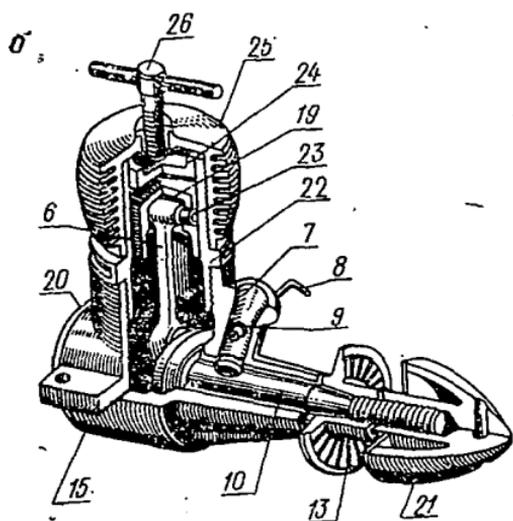


Рис. 16. Устройство авиа-
модельных двигателей:

a — калильного; *б* — ком-
прессонного; 1 — калиль-
ная свеча; 2 — крепежный
винт; 3 — головка; 4 —
прокладка головки; 5 —
палец; 6 — шатун; 7 —
всасывающий патрубок; 8 —
игла жиклера; 9 — жиклер;
10 — вал; 11 — гайка; 12 —
прижимная шайба; 13 —
опорная шайба; 14 — пе-
редняя крышка картера;
15 — картер; 16 — шаро-
коподшипник (коренной);
17 — топливный бак; 18 —
гильза цилиндра; 19 — пор-
шень; 20 — задняя крышка;
21 — кок; 22 — цилиндр;
23 — поршневой палец; 24 —
голова-
ка цилиндра; 26 — винт
контрпоршня



служит камерой, в которой сгорает рабочая смесь; в нем движется поршень. Внутренняя поверхность, по которой движется поршень, называется зеркалом цилиндра. В стенках цилиндра имеются продувочные и выхлопные окна. Коленчатый вал преобразует поступательное движение поршня во вращательное движение

колен вала. Ш а т у н соединяет мотылевую шейку коленчатого вала с поршнем. Поршне вой палец соединяет поршень с шатуном. Поршень служит для сжатия рабочей смеси в цилиндре, передачи давления газов на шатун и засасывания в картер горючей смеси. Головка цилиндра — отъемная или неотъемная замыкает верхнюю часть цилиндра. Калильная свеча воспламеняет сжатую рабочую смесь в цилиндре. Крышка картера закрывает полость картера. Опорная шайба создает упор для воздушного винта и передает ему крутящий момент. Зажимная шайба прижимает посредством гайки воздушный винт к опорной шайбе. Подшипники вала — носовой и коренной. В с а с ы в а ю щ и й п а т р у б о к подводит воздух к карбюратору и горючую смесь в картер. Карбюратор дозирует и распыляет топливо; имеет следующие части: жиклер — трубка с тонким проходным отверстием для протекания топлива; игла жиклера регулирует проходное отверстие в жиклере; фиксатор иглы предотвращает самопроизвольное движение иглы жиклера.

Наличие перечисленных деталей является характерным для всех калильных авиамодельных двигателей. Однако их конструкции, в особенности конструкции деталей распределения, всасывания и жиклеров, бывают весьма разнообразные.

Компрессионные авиамодельные двигатели (см. рис. 16,б) характерны тем, что они имеют регулируемую степень сжатия и не имеют свечи. Для регулировки степени сжатия служат: к о н т р п о р ш е н ь, перемещающийся в верхней части цилиндра под воздействием регулировочного винта и давления газов в цилиндре; р е г у л и р о в о ч н ы й в и н т, посредством которого перемещают контрпоршень; ф и к с а т о р р е г у л и р о в о ч н о г о в и н т а, который препятствует самоотворачиванию винта.

Конструкция компрессионного двигателя в целом, а также конструкция отдельных деталей аналогична калильным и зависит от того, как решает задачу конструктор.

Бензиновые двигатели в отличие от калильных и компрессионных имеют систему зажигания, которая, как правило, у микролитражных двигателей состоит из

прерывателя, бобины, батарей конденсатора и системы проводов. Благодаря тому, что в системе калильных и компрессионных двигателей удалось упразднить перечисленные детали, вес двигателя в его рабочем состоянии на модели стал в два-три раза меньше.

Кроме того, вследствие сокращения числа взаимодействующих агрегатов калильный двигатель стал более надежным, а ликвидация потерь мощности на трение в прерывателе повысила его литровую мощность.

Перечисленные преимущества калильных двигателей столь очевидны, что бензиновые двигатели стали уступать им по всем показателям. Кроме того, вследствие наличия многих трудоемких деталей они дороже. Поэтому в настоящее время бензиновые двигатели для летающих моделей почти совсем не применяют.

Преимущества калильных двигателей перед искровыми были известны, но использовать их не удавалось до тех пор, пока не подобрали специальные свечи и горючее, обеспечивающие легкий запуск и устойчивую работу двигателя.

Для двигателей с рабочим объемом более 20—30 $см^3$ электроискровое зажигание применяется. Так, например, такие двигатели ставят на модели судов, на которых лишний вес двигателя не является решающим фактором.

ДВИГАТЕЛИ МК-17 «ЮНИОР», МК-12В, «РИТМ», «МЕТЕОР», «СОЮЗ-2», Ж-88, МД-5«КОМЕТА», «АКРОБАТ»

МК-17 «Юниор» (рабочий объем 1,5 $см^3$, I категория (до 2,5 $см^3$)).

Компрессионный двигатель МК-17 «Юниор» разработан автором этой книги и мастером спорта В. Петуховым. Он предназначен для моделей, изготавливаемых в школьных кружках. Этот двигатель не рассчитан на установление рекордов, но на нем устранены недостатки, свойственные двигателю МК-16. Двигатель МК-17, который называли «Юниором», сделан на основе двигателя МК-16 с рабочим объемом 1,5 $см^3$ (рис. 17, 18). Чертежи деталей двигателя МК-17 «Юниор» см. в приложении 1.

Для повышения надежности усилена гильза, задняя крышка, а также винты головки, увеличены длины резьб. Кроме того, изменена конструкция жиклера, уменьшен внутренний диаметр всасывающего патрубка. Съёмный

диск распределения поставлен на ось, положение которой можно регулировать, тем самым меняя зазор между диском и задней крышкой.

Гильза выполнена из графитизируемой стали с последующей закалкой, а поршень из серого антифрикционного чугуна. Такая пара обеспечивает значительное увеличение ресурса и повышение мощности за счет уменьшения трения.

Коническая форма полости в носке картера обеспечивает сток масла к переднему подшипнику. На двига-

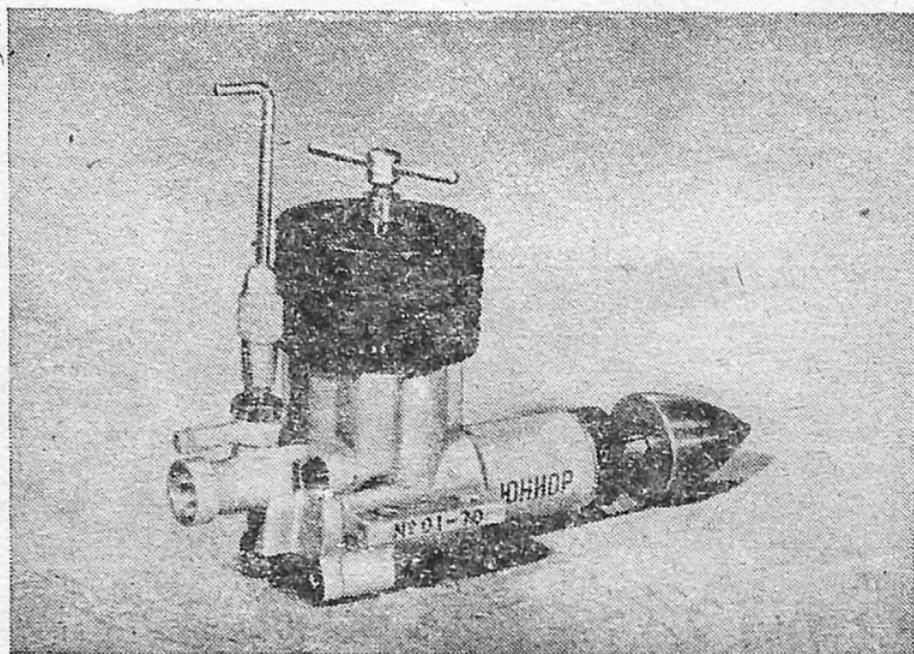


Рис. 17. Двигатель МК-17 «Юниор»

теле упразднена шайба на контрпоршне, усилен регулировочный винт, а для предотвращения его самопроизвольного отворачивания сделан косой срез на торце.

Произведенные доработки улучшили запуск двигателя и его работу на малых оборотах, мощность возросла.

МК-17 «Юниор» принят к освоению одним из машиностроительных заводов, что гарантирует высокое качество изготовления. Двигатель с крепежными деталями и винт упаксвывают в пластиковую коробку.

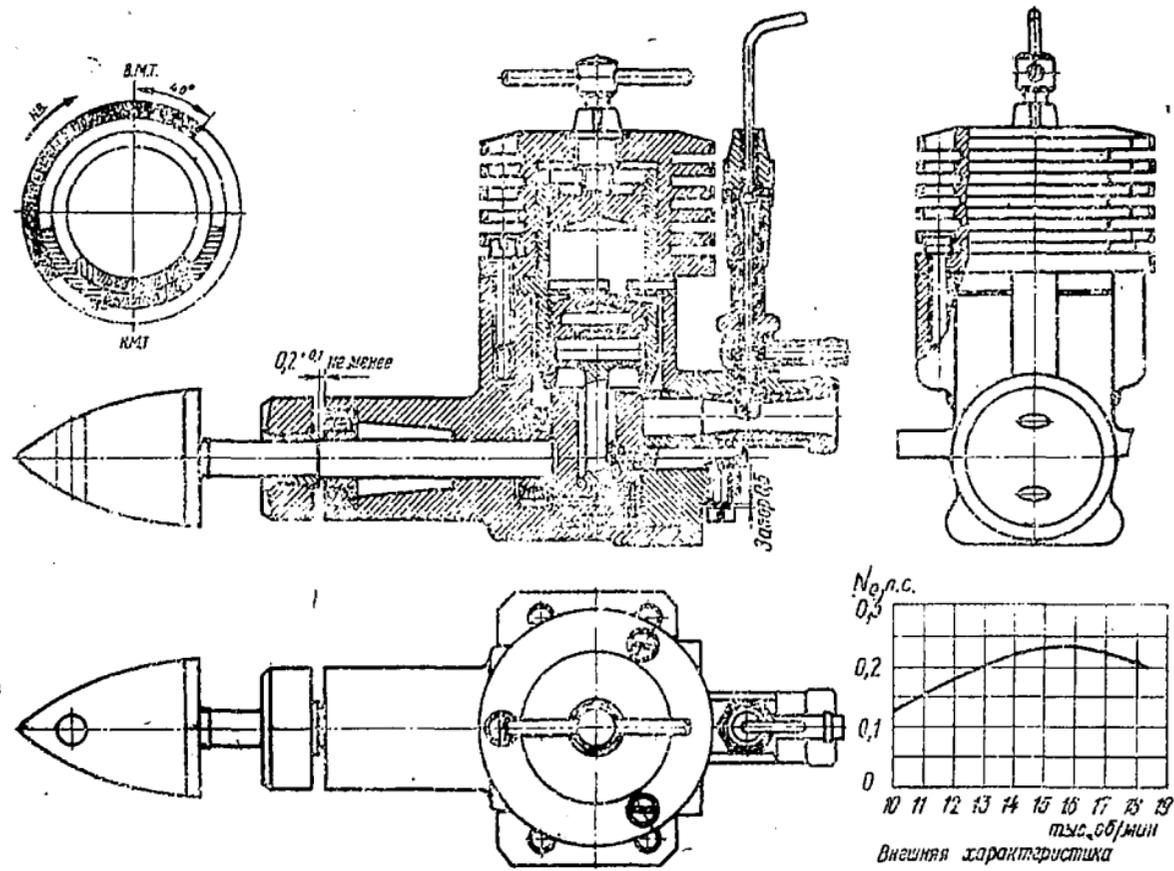


Рис. 18. Двигатель МК-17 «Юниор» в разрезе, диаграмма его газораспределения и внешняя характеристика

Значительные трудности при запуске часто обуславливаются неправильным закреплением двигателя, конструкцией и расположением бака с топливом. Поэтому выпускается универсальный стенд с баком для закрепления двигателя при испытаниях. Стенд имеет раздвижные опоры, и на нем удобно заводить любой микродвигатель.

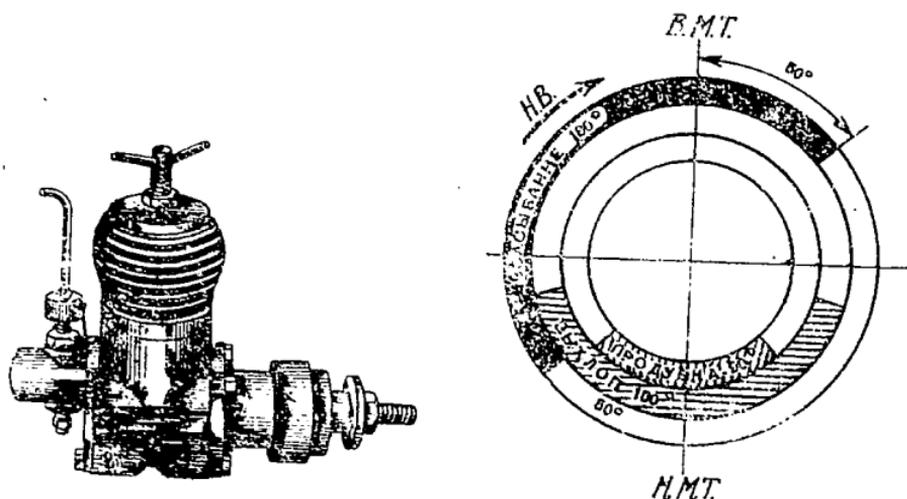


Рис. 19. Двигатель МК-12В и диаграмма его газораспределения

Рекомендуемое топливо: смесь керосина, осветительного или тракторного, касторового масла и эфира серного (медицинского).

МК-12В (рабочий объем $2,5 \text{ см}^3$, I категория (до $2,5 \text{ см}^3$)).

Компрессионный двигатель МК-12В (рис. 19, 20) изготавливается мастерскими ДОСААФ, он получил всеобщее признание авиамodelистов за хорошие пусковые качества и устойчивую работу на всех режимах. Эти качества обеспечиваются выбранной схемой продувки и сравнительно малым сечением диффузора карбюратора.

Авиамodelисты используют двигатель на таймерных и кордовых гоночных моделях.

Картер двигателя полумоноблочный, отлит из алюминиевого сплава. Задняя крышка отъемная, отлита вместе с всасывающим патрубком карбюратора, крепится к картеру четырьмя винтами. В носке картера имеется два однорядных шарикоподшипника.

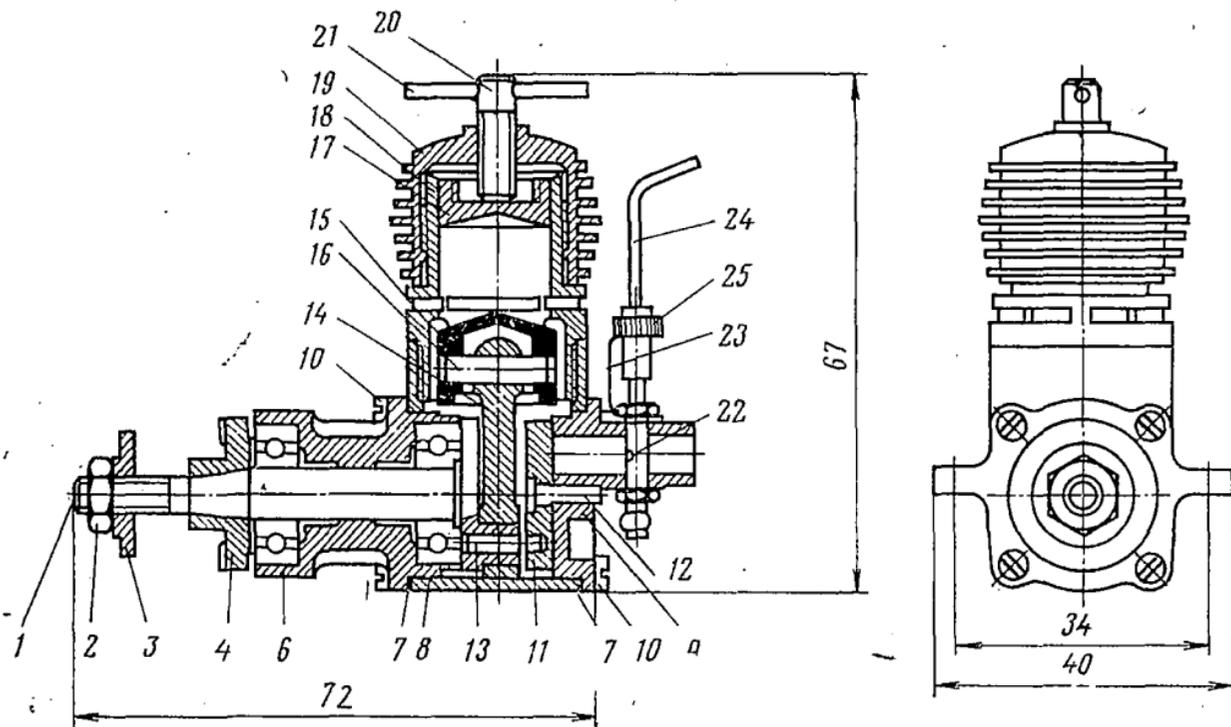


Рис. 20. Двигатель МК-12В в разрезе:
 рабочий объем 2,46 см³; ход поршня 13 мм; диаметр цилиндра 15,5 мм, мощность 0,28 л. с., вес 125 г (позиции см. в приложении 2)

Основные данные

Ход поршня	13 мм
Диаметр цилиндра	15,5 »
Рабочий объем	2,47 см ³
Вес двигателя	158 г
Вес поршневой группы	11,4 »
Длина	85 мм
Высота	70 »
Ширина по лапкам крепления	40 »
Диаграмма газораспределения	(см. рис. 19)
Максимальная мощность серийного образца	0,27 л.с. при 14 700 об/мин.

Щека кривошипа с противовесом, мотылевая шейка имеет диаметр 5 мм.

Распределение всасывания осуществляется дисковым золотником, расположенным на задней крышке картера. Цилиндр двигателя представляет собой стальную гильзу с фланцем, в котором имеются радиальные прорези окон выхлопа и перепуска.

Перепуск осуществляется по восьми каналам между гильзой и стенкой картера. На гильзу цилиндра навинчена рубашка с оребрением для охлаждения, в которой находится регулировочный винт.

Поршень выполнен из специального твердого мелкозернистого чугуна. Контрпоршень стальной. Шатун из дюралюминия без втулок. Диаметр поршневого пальца 4 мм.

Карбюратор простейшего пульверизационного типа. Диффузор в месте жиклера имеет диаметр 5,9 мм, но проходное сечение сильно сужено, так как в этом месте проходит трубка распылителя диаметром 3 мм. Вал снабжен широкой опорной шайбой винта и коком. Чертежи деталей двигателя МК-12В даны в приложении 2.

Рекомендуется горючее следующего состава: эфир — 35%, касторовое масло — 25%, керосин — 40%.

«Ритм» (рабочий объем 2,5 см³, I категория (до 2,5 см³)).

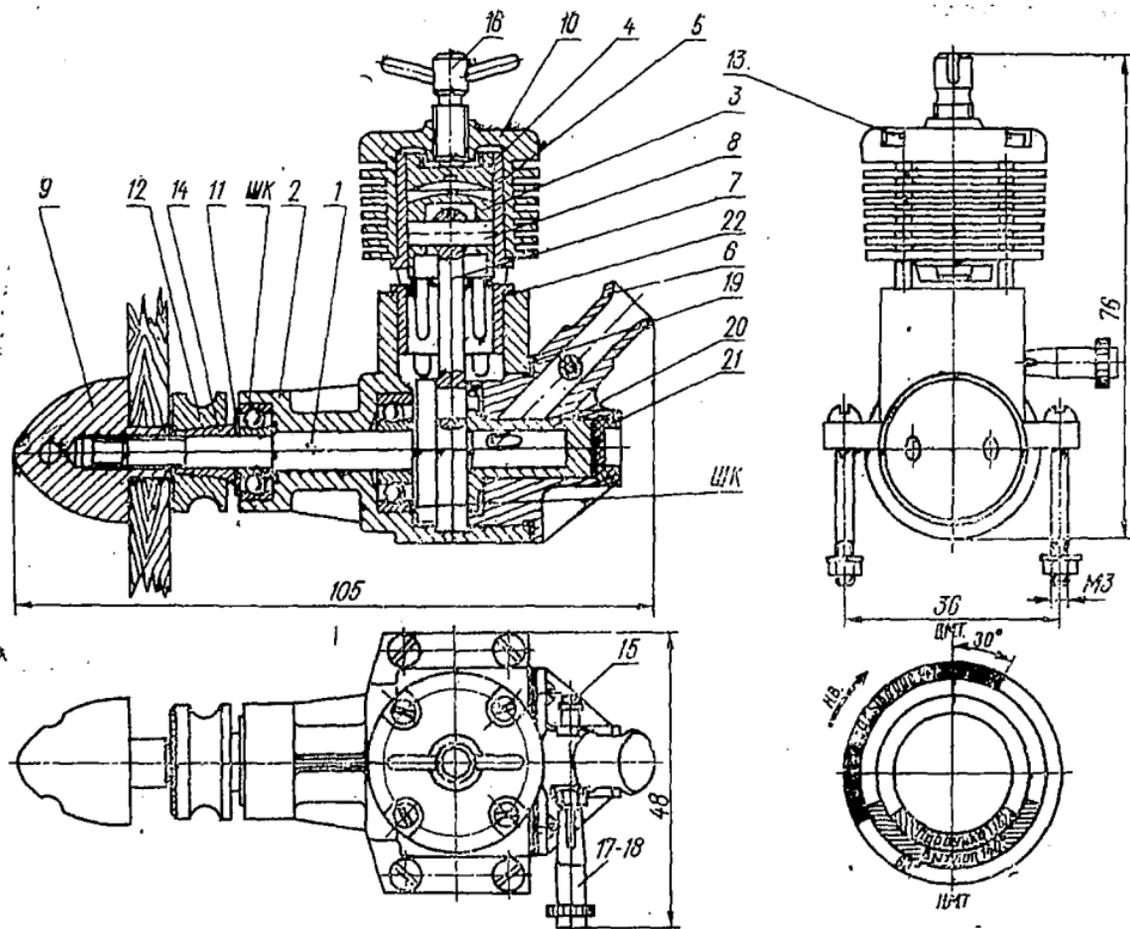


Рис. 21. Двигатель «Ритм» в разрезе и диаграмма его газораспределения (позиции см. в приложении 3)

Микролитражный двигатель «Ритм» — одноцилиндровый двухтактный внутреннего сгорания (рис. 21) — разработан неоднократно чемпионом СССР, мастером спорта Б. Краснорутским.

Двигатель предназначен для установки на самодвижущиеся модели самолетов, судов, автомобилей, аэросаней и т. п.

Чертежи деталей двигателя «Ритм» см. в приложении 3.

Основные данные

Диаметр цилиндра	14 мм
Ход поршня	16 »
Рабочий объем	2,46 см ³
Максимальная мощность двигателя	0,32 л. с. при 15 000 об/мин
Охлаждение двигателя	Воздушное
Габариты:	
высота	78 мм
длина	105 »
ширина	48 »
Вес двигателя	200 г
Винты, рекомендуемые для установки на авиамодели:	
таймерные	Ø 250 мм, шаг 100 мм
кордовые пилотажные	200 » , » 170 »
скоростные	180 » , » 210 »
гопочные	180 » , » 230 »

Рекомендуемый состав топлива для ответственных запусков (в частях): масло минеральное — 17; масло касторовое — 17; эфир — 30; керосин — 40; нитробензол — 2; амилнитрит — 2.

Начинающие моделисты могут использовать стандартное топливо в равных пропорциях: масло (касторовое или минеральное) — 1 часть, керосин — 1 часть и эфир — 1 часть.

«Метеор» (рабочий объем 2,5 см³, I категория (до 2,5 см³)).

Калильный двигатель «Метеор» с рабочим объемом до $2,5 \text{ см}^3$ выпускается нашей промышленностью. На рис. 22 показаны его общий вид и диаграмма газораспределения. Чертежи деталей этого двигателя см. в приложении 4.

«Союз-2» (рабочий объем до $2,5 \text{ см}^3$, I категория).

Двигатель этот (рис. 23) предназначен для скоростных кордовых моделей, снабжен резонансной трубой и у авторов его А. Лапынина и В. Маланчука обеспечивал скорости моделей до 240 км/час .

Максимальная мощность двигателя, снятая на стенде, $0,82 \text{ л. с.}$ при $28\,000 \text{ об/мин}$. Авторы применяли винты $\text{Ø } 160\text{--}162 \text{ мм}$. Чер-

тежи деталей этого двигателя см. в приложении 5.

Ж-88 (рабочий объем $2,5 \text{ см}^3$, I категория (до $2,5 \text{ см}^3$)).

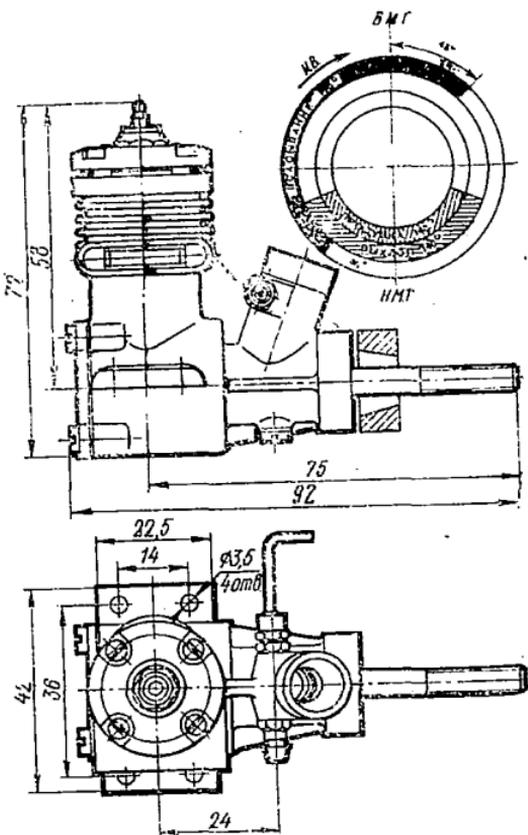


Рис. 22. Общий вид калильного двигателя I категории МД-2,5 «Метеор» и диаграмма его газораспределения

Основные данные двигателя «Метеор»

Диаметр	15 мм
Ход поршня	13 »
Рабочий объем	$2,5 \text{ см}^3$
Максимальная мощность при $15\,000 \text{ об/мин}$	$0,32 \text{ л. с.}$
Вес двигателя	150 г

Рекомендуемый состав топлива — стандартный: касторовое масло — 1 часть, метиловый спирт — 3 или 4 части.

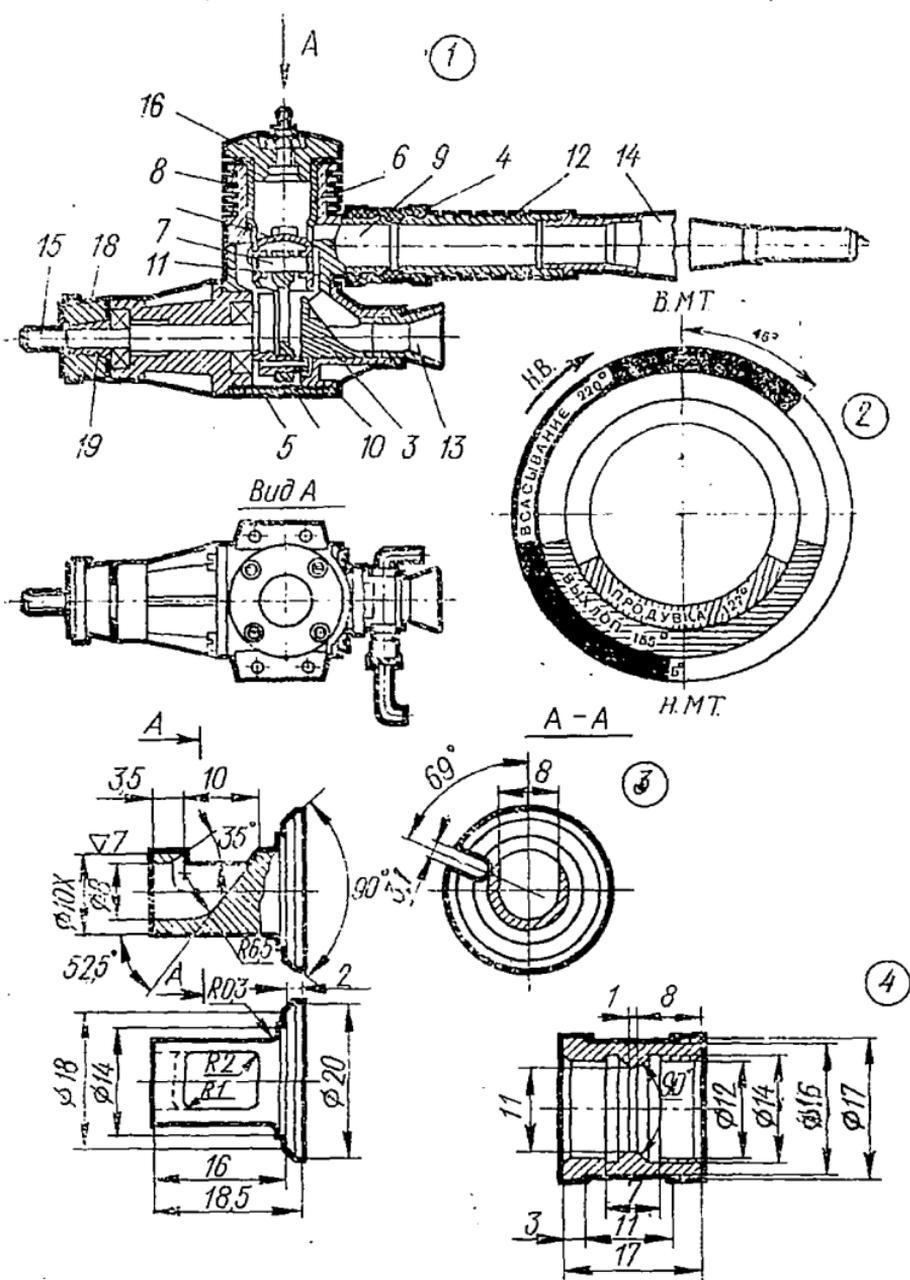


Рис. 23. Двигатель «Союз-2»: 1 — продольный разрез; 2 — диаграмма газораспределения; 3 — золотник (ХВГ калить); 4 — соединительная муфта (резина 3826) (остальные позиции см. в приложении 5)

Двигатель Ж-88 (рис. 24) разработан мастером спорта международного класса С. Жидковым и предназначен для использования на скоростных кордовых моделях с применением резонансных труб и на таймерных моделях без труб (правилами соревнований на таймерных моделях применение труб не разрешено). На двигателях этого типа (с трубой) достигались скорости до 240 км/час.

Характерные особенности двигателя — удачно примененная продувка «Шнурле» и золотниковое распределение,

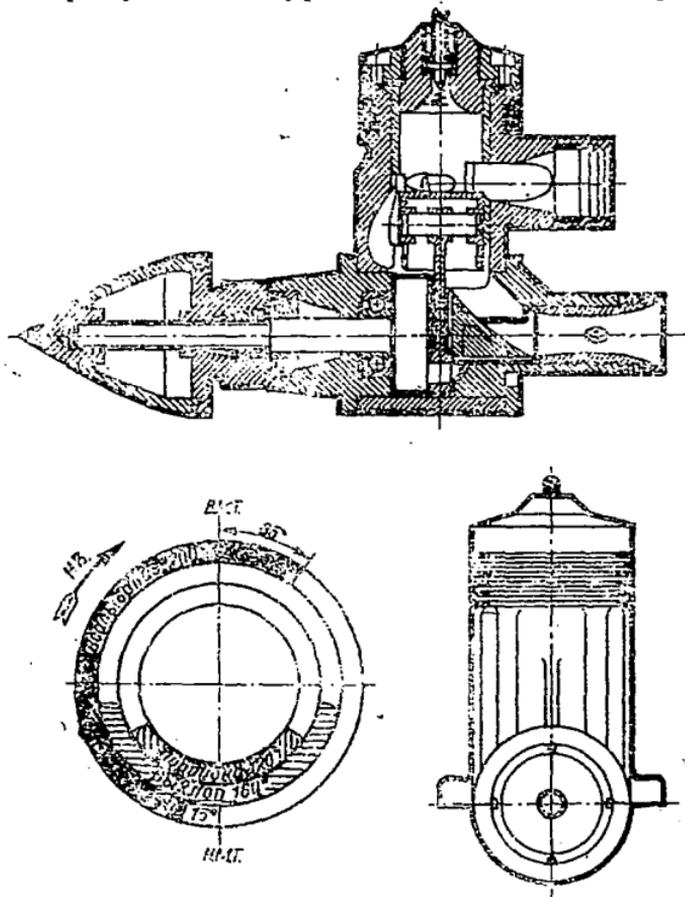


Рис. 24. Двигатель Ж-88 в разрезе, общий вид и его диаграмма газораспределения

ление, обеспечивающее подачу смеси по кратчайшему направлению в полость перепускных каналов.

Удачно подобранные размеры выхлопного патрубка и резонансной трубы позволяют дополнительно получить до 30 км/час.

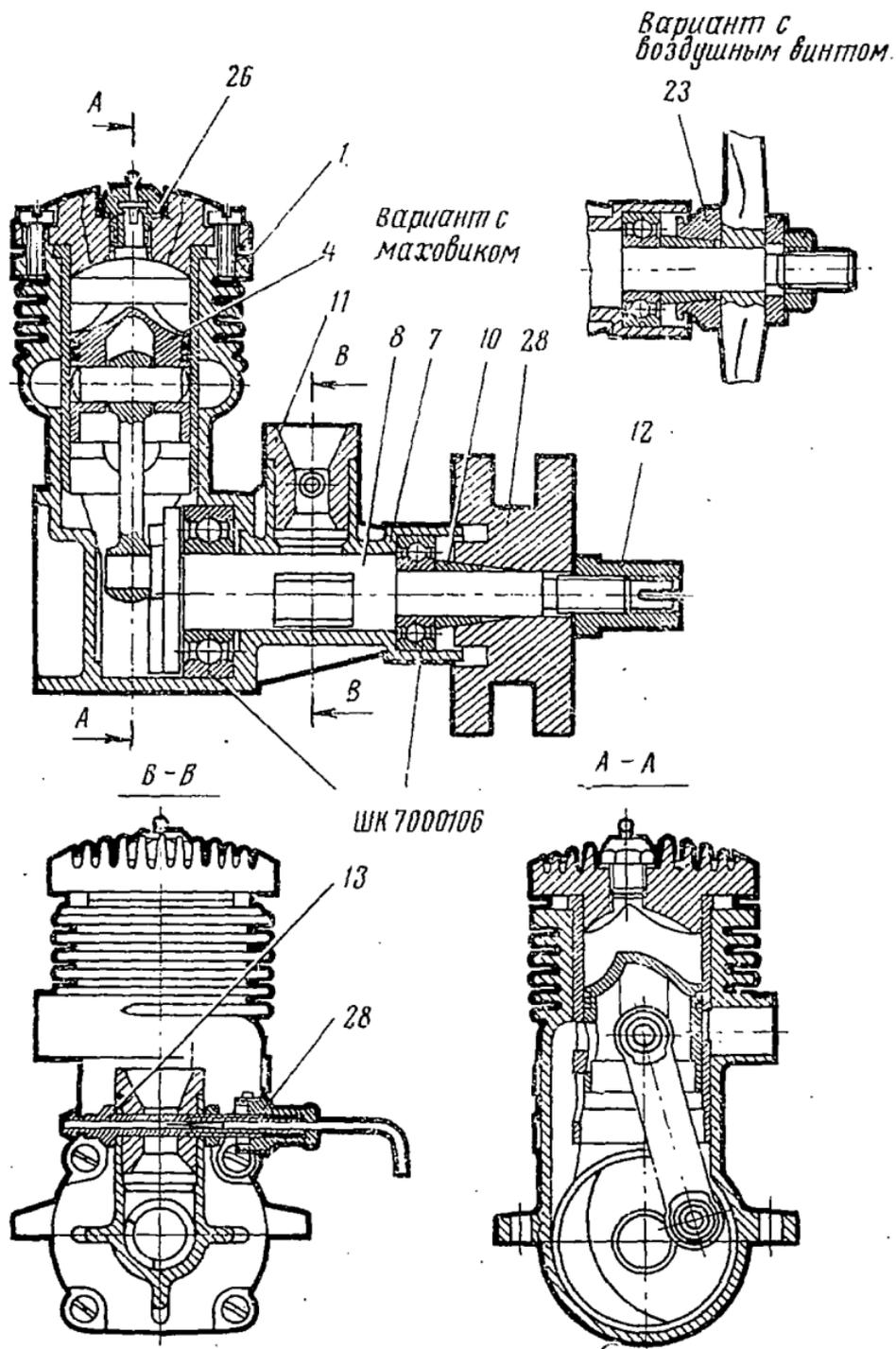


Рис. 25,а. Конструкция калильного двигателя МД-5 «Комета»
(позиции см. в приложении 7)

Все эти качества и удачный подбор материалов делают этот двигатель одним из лучших в настоящее время.

Чертежи деталей двигателя Ж-88 см. в приложении 6. МД-5 «Комета» (II категория).

Калильный двигатель МД-5 «Комета» моноблочной конструкции (рис. 25). Одна отливка образует картер, выхлопной патрубок, перепускные каналы и рубашку охлаждения цилиндра. Передняя крышка картера отъемная, на ней имеется прилив, образующий всасывающий патрубок карбюратора. В крышке установлены два радиальных однорядных шарикоподшипника: коренной — 12 мм и носовой — 8 мм.

Внешняя обойма коренного подшипника выступает на половину своей ширины и служит направляющей при соединении крышки с картером.

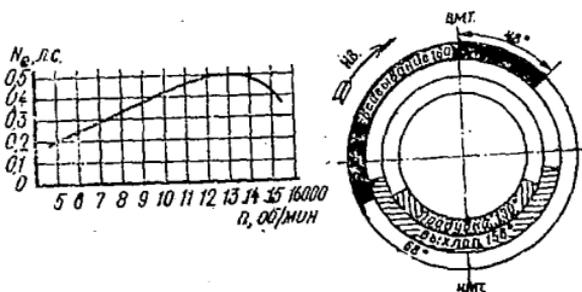
Стальной пустотелый вал сечением 12×8 мм служит газораспределяющим золотником. Его носовая часть имеет резьбу. Пропеллер крепится гайкой. Мотылевая шейка имеет диаметр 6 мм. Щека кривошипа круглая, с противовесом. Поршень из легкого сплава, имеет два поршневых кольца сечением 1×1 мм. Поршневой палец стальной, каленый, диаметром 3 мм. Шатун из дюралюминия, литой под давлением. Гильза цилиндра сделана из чугуна, свободно сидит в блоке картера, к которому сверху прижата четырьмя винтами.

Карбюратор имеет сменные диффузоры, позволяющие добиваться наиболее надежной работы на желаемом числе оборотов.

Рекомендуемое топливо: касторовое масло — 1 часть, метиловый спирт 3 или 4 части.

Чертежи деталей двигателя МД-5 «Комета» даны в приложении 7.

Рис. 25, б. Внешняя характеристика и диаграмма газораспределения калильного двигателя МД-5 «Комета»



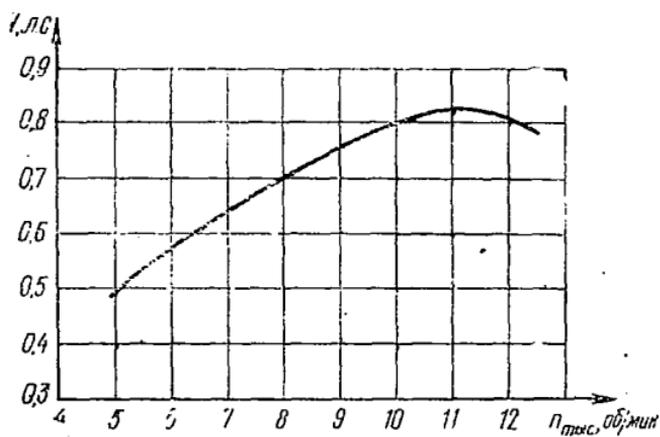
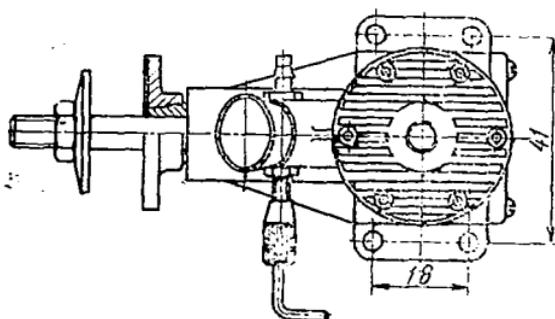
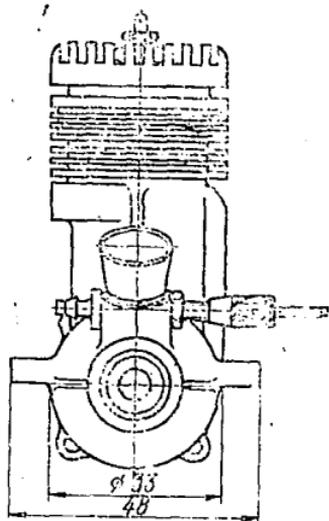
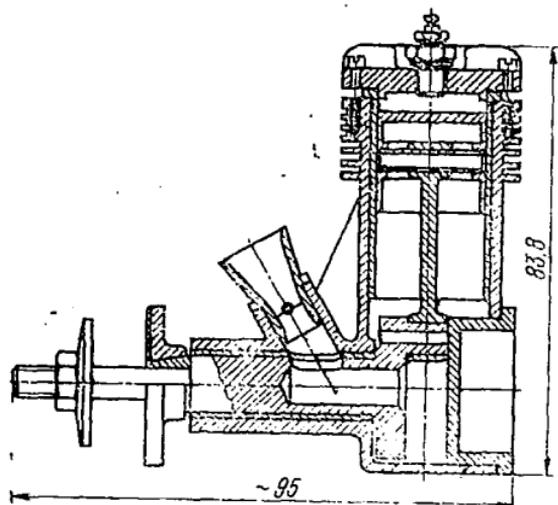


Рис. 26. Двигатель «Акробат» в разрезе, его общий вид, внешняя характеристика и диаграмма газораспределения

**Основные данные
двигателя МД-5 «Комета»:**

Ход поршня	17 мм
Диаметр цилиндра	19 »
Рабочий объем	4,82 см ³
Степень сжатия (эффективная)	5,5
Вес двигателя (сухой без винта)	225 г
Максимальная мощность се- рийного образца	0,48 л.с.

Акробат» (рабочий объем 7 см³, III категория (до 10 см³).

Двигатель (рис. 26) разработан в Центральном спортивном авиамodelьном клубе мастером спорта международного класса Е. Петровым для кордовых пилотажных моделей.

Рабочий объем его — 7 см³ выбран для того, чтобы мощность 0,8 л.с. при 11—12 тысячах оборотов обеспечивала необходимую тягу для установившихся весов и размеров пилотажных и небольших радиоуправляемых моделей.

Характерная особенность двигателя — стабильность работы на всех режимах и хорошая приемистость.

Газораспределение и продувка подобраны удачно, двигатель прост и надежен в эксплуатации. Чертежи деталей этого двигателя см. в приложении 8.

ДЕТАЛИ АВИАМОДЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

В настоящее время в Советском Союзе и за рубежом изготавливают авиамodelьные двигатели самых разнообразных назначений и конструкций.

Авиамodelисты, в особенности кордовики, у которых двигатель решает успех выступлений, а также любители-«мотористы» создали оригинальные конструкции и разработали интересные и практически удобные детали. С ними читатели познакомятся ниже. При выборе материалов для частей двигателей особенно внимательно надо подбирать материалы для трущихся деталей и деталей воспринимающих большие усилия, например, втулок, валов, шатунов, цилиндров и поршней.

КАРТЕРЫ

Картер авиамодельного двигателя изготавливают из сплавов алюминия. Критерием оценки годности материала для изготовления картера являются удельный вес, литейные свойства, механическая прочность и то, как чисто он обрабатывается режущим инструментом. Случается, что литой материал при механической обработке не дает чистой поверхности, «липнет» к резцу. При этом получается рваная резьба, трудно добиться необходимой чистоты поверхности.

Применяются два метода изготовления заготовки картера: фрезерование и литье. Первый метод выгоден тогда, когда делают одиночные изделия. В том случае, когда выполняют большое количество двигателей, выгодно применять литье. Можно производить отливку в земляную форму. Этот способ наиболее прост, однако он не дает чистой поверхности. Поэтому приходится затрачивать довольно много времени на зачистку отливки.

Отличные результаты получаются при литье по выплавляемым восковым моделям (прецизионное литье). При промышленном (серийном) изготовлении двигателей чаще всего применяют литье в металлические разъемные формы — кокили.

Кокиль (рис. 27) представляет собой разъемную толстостенную металлическую форму. Перед заливкой в нее металла (применяется алюминиевый сплав АК-4 и АК-6) форму нагревают до температуры, близкой к температуре плавления заливаемого металла (400—500°), затем через литник заливают металл и охлаждают на воздухе. Получаемая отливка отличается от земляной чистотой и плотностью структуры, для предотвращения возможного прилипания сплава к стенкам кокиля применяют материал, на котором не залипают сплавы алюминия, например чугун.

В условиях небольших мастерских применяют тонкую обмазку внутренности кокиля жидким стеклом с примесью мела, талька или графита.

Наилучшие результаты дает литье под давлением или прессование полужидкого сплава в металлических формах (сплавы АЛ-4, АЛ-5, АЛ-6).

Технологические возможности часто определяют выбор метода изготовления, а следовательно, влияют на выбор конструкции. Поэтому, прежде чем конструировать, следует всегда задуматься над тем, как двигатель будет изготавливаться.

По конструктивным признакам картеры можно разделить на три основные группы: моноблочные, объединя-

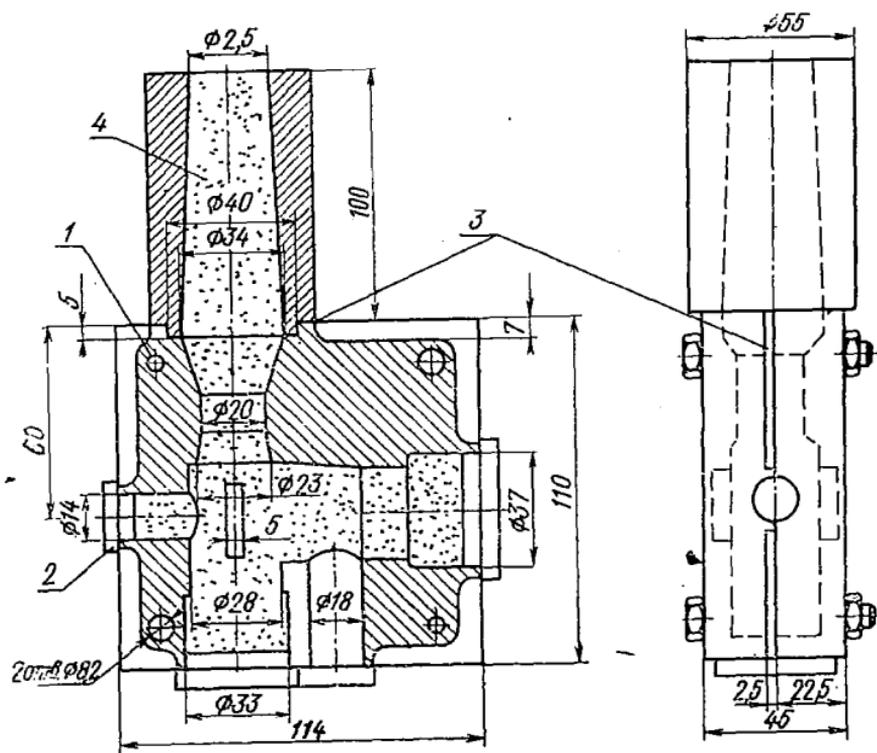


Рис. 27. Конструкция кокиля для литья картера двигателя Ж-88:
1 — шпилька $\phi 6$; 2 — заглушка (Ст. 20); 3 — разъем; 4 — жидкий металл

ющие рубашку цилиндра с картером (рис. 28); полумоноблочные, у которых картер оканчивается перепускным каналом и выхлопным патрубком; простые, у которых перепускные каналы и выхлопные патрубки находятся на съемном цилиндре.

Картеры бывают с съемными задними и передними крышками, которые крепят на винтах или завинчивают на резьбе. Технологически удобно иметь обе крышки съемными.

Опыт многих моделлистов показал, что крепление крышки на винтах удобнее и проще в эксплуатации, так как, не снимая двигатель с модели, можно легко снять неисправную деталь или просмотреть поршневую группу двигателя.

На рис. 29 показана схема формования и литья картера в земляной форме. Для того чтобы отлить картер, надо изготовить его модель из дерева или из пластмассы, или иметь аналогичный образец картера. В том

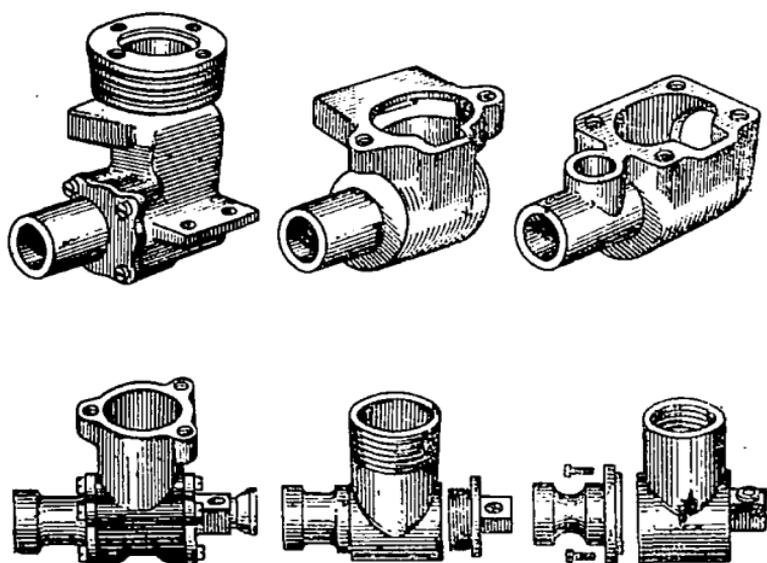
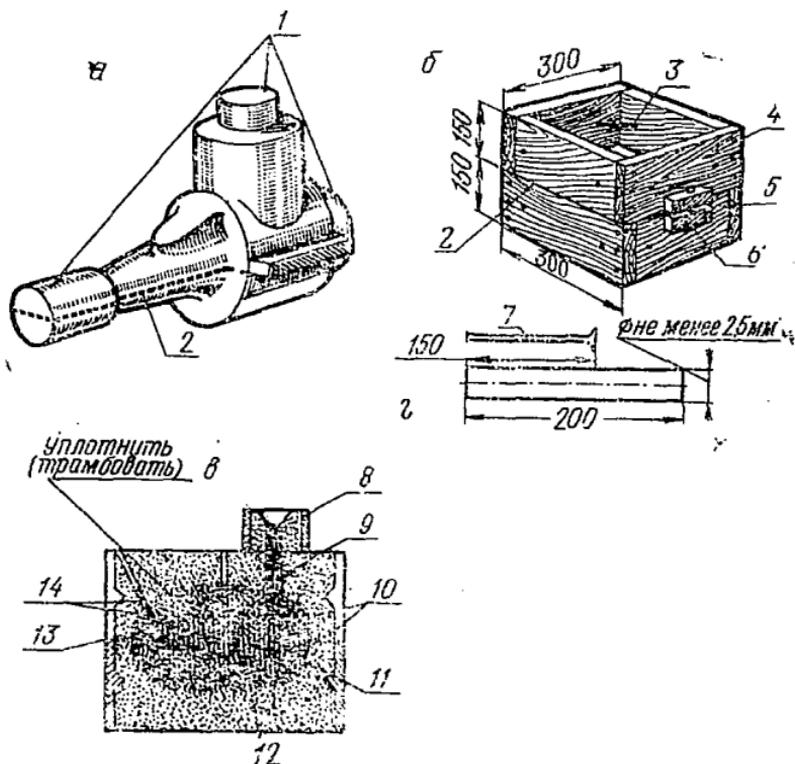


Рис. 28. Конструкции картеров авиамодельных двигателей

случае, если картер вышел из строя и нужно отлить заготовку, в качестве модели можно использовать старый картер. При этом следует закрыть заглушками отверстия и прикрепить технологические приливы.

Для отливки делают земляную форму в опоках (формовочных ящиках). Сначала форму выполняют в нижней опоке до оси симметрии, затем накрывают верхней опокой, припудривают поверхность земли и модели тальком или лycopодием, ставят модели литников (см. рис. 29), засыпают землю в верхнюю опоку, трамбуют ее и прокалывают выпарниковые отверстия, разнимают опоки, вынимают модель (для облегчения выемки модели по ней легко ударяют два-три раза молотком).

Каналы литниковой системы делают ложкой, выдувают крошки земли и пыль. При помощи мягкой кисти слегка припудривают поверхность формы лycopодием или тальком, осторожно ставят на место верхнюю опоку.



Фиг. 29. Схема формирования и литья картера:

- а — модель картера; б — деревянная опока; в — схема формирования; г — модель литника; 1 — технологические приливы; 2 — линия разъема опок; 3 — гвозди (150 мм); 4 — верхняя опока; 5 — нижняя опока; 6 — штырь-фиксатор; 7 — душник (гвоздь \varnothing не менее 5 мм); 8 — кольцо; 9 — литник (стояк); 10 — формовочная земля; 11 — металлосборник; 12 — питатель; 13 — разъем; 14 — выпарники

Формовочным материалом могут служить специальные формовочные земли для цветного литья (их можно достать на литейных заводах). В случае если достать нельзя, то в качестве формовочной земли можно использовать супесчаную (или 80% песка и 20% глины) увлажненную почву, просеянную через среднее сито. Наиболее крупные частицы просеянной земли не должны превышать 0,6 мм в диаметре.

Материалом для литья может служить лом алюминиевого литья. Плавить металл лучше всего в электрическом тигле, но можно и в железном ковше, в электропечи, на горне или на открытом огне. Температура расплавленного металла должна быть в пределах 680—750°. Признаком достаточного нагрева металла может служить появление цветной пленки и начало красного свечения металла. Перед тем как заливать металл в готовую форму, надо удалить шлак и пленку с поверхности расплава. Лить следует непрерывной струей не тоньше 15 мм до полного заполнения металлом литников и выпарников. После того как отливка остынет, снимают верхнюю ополку, вынимают отливку и проверяют качество литья. В отливке не должно быть раковин, пустот и искаженной формы.

Исключительно важное значение имеет дальнейшая механическая обработка блока картера.

Взаимная перпендикулярность оси цилиндра и оси вала должна выдерживаться предельно точно, ибо самое незначительное отклонение от взаимноперпендикулярности в кривошипно-шатунном механизме приводит к повышению трения, износу и, как следствие, потере мощности и ресурса.

Расточка под гильзу должна вестись на специальном приспособлении, после того как запрессована и расточена втулка вала.

ЦИЛИНДРЫ

Цилиндры могут быть цельноточеные и гильзовые. Цельноточеные цилиндры изготавливаются вместе с ребрами; каналы перепуска и выхлопа делают в теле картера либо в теле цилиндра. Цилиндры этого типа бывают сквозные с отъемной головкой и глухие с головкой, составляющей одно целое с цилиндром. Цилиндры крепятся к картеру на резьбе или на винтах.

Гильзовые цилиндры не имеют на себе ребер охлаждения. Они представляют собой цилиндр с окнами выхлопа и перепуска, который вставляется в картер (рис. 30). В этом случае перепускные каналы образуются между стенками картера и цилиндром или их делают в теле цилиндра. Для обеспечения наиболее быстрого пере-

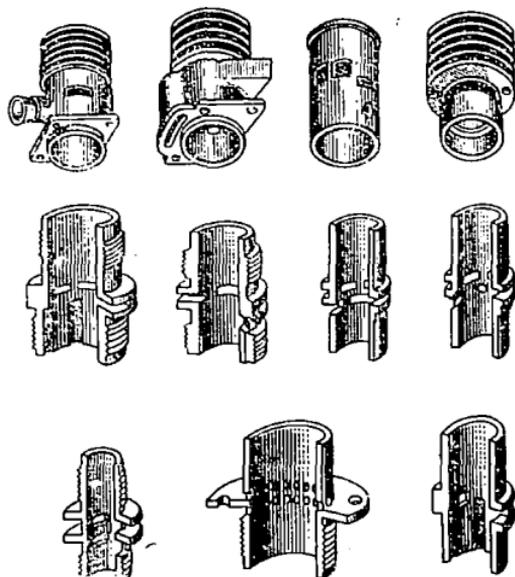


Рис. 30. Конструкции цилиндров авиамодельных двигателей

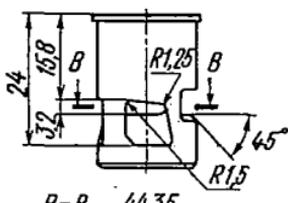
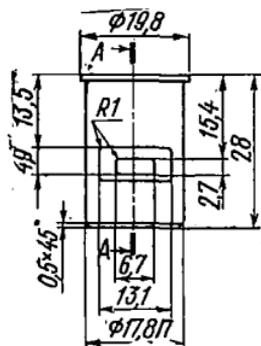
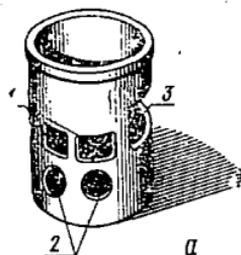
теканья газов в гильзах делают дополнительные отверстия ниже окон перепуска (рис. 31).

Цилиндры и гильзы изготовляют из стали или чугуна.

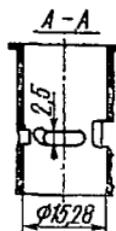
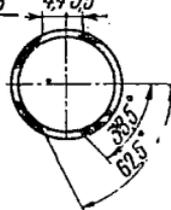
Рабочая поверхность цилиндра, по которой скользит поршень, называется зеркалом цилиндра.

Рис. 31. Гильза цилиндра современных скоростных двигателей:

a — общий вид гильзы цилиндра с дополнительными окнами, обеспечивающими перепуск; 1 — продувочные окна; 2 — окна, облегчающие перепуск; 3 — выхлопное окно; *b* — чертеж гильзы



b



Зеркало цилиндра должно быть точным и очень чисто обработанным. По высоте цилиндры двигателей, предназначенные для широкого пользования, обычно имеют постоянный диаметр.

При создании особо быстроходных двигателей, в целях уменьшения потерь от трения поршня о зеркало цилиндра, на длине приблизительно $2/3$ от нижнего обреза гильзу цилиндра растирают притиром на $0,01—0,015$ мм, обеспечивая тем самым поршню более свободный ход в нижней части цилиндра, в верхней же части цилиндра

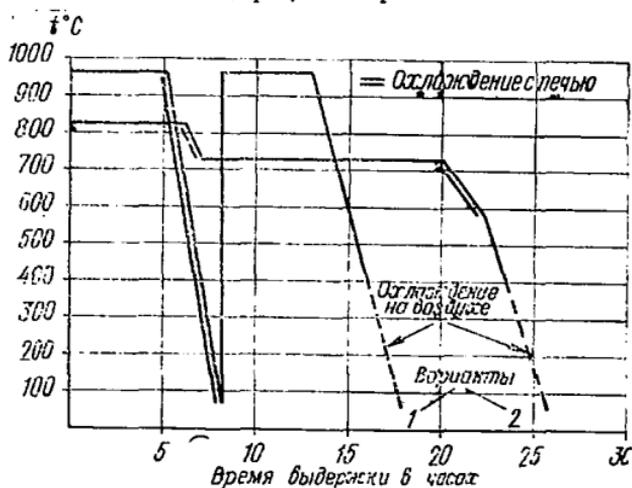


Рис. 32. Примерный график термических режимов графитизации стали

посадка поршня или колец должна быть настолько плотной, чтобы обеспечивать надежную компрессию. Такая тонкая подгонка, естественно, требует квалификации и не всем доступна. Особенно важное значение имеет подбор материалов и их термическая и механическая обработка.

Хорошие результаты дает применение для гильзы графитизирующихся сталей или сталей, в структуре которых выделен сульфит марганца. (Марки стали см. в табл. 4 и 5). Обрабатывают их термически по графику (рис. 32), затем закалывают и отпускают, после чего зеркало цилиндра доводят шлифованием, притирают и полируют.

В табл. 4 приведены рекомендуемые сочетания материалов и термообработки для цилиндров и поршней, а в табл. 5 химический состав графитизирующихся и антифрикционных сталей.

Цианирование стали — поверхностное насыщение стали углеродом и соединениями азота для повышения твердости, износоустойчивости и усталостной прочности. Цианирование придает металлу бóльшую износоустойчивость, чем цементация.

Цианирование производится в цианистых ваннах при температуре 820—850°C в течение 20—40 минут, при этом образуется цианированный слой 0,15—0,25 мм, по окончании выдержки такого нагрева детали закаливаются и отпускаются при температуре 180—200°C.

В кустарном производстве цианирование осуществляют следующим образом: нагретую стальную деталь посыпают порошком желтой кровяной соли $K_4Fe(CN)_6$. Соль плавится, образуя жидкую пленку. После некоторой выдержки в нагретом состоянии деталь закаливают. Однако следует помнить, что выделяемые при этом пары ядовиты.

Для безопасности процесса лучше производить твердое цианирование таким же образом, как и твердую цементацию, только состав карбюризатора применяют следующий: 25—30% желтой кровяной соли $K_4Fe(CN)_6$ + 10% соли $NaCO_3$ + 65% карбюризатора (древесный уголь). Детали укладывают в железный короб, после засыпки карбюризатором накрывают крышкой, крышку обмазывают огнеупорной глиной и ящик помещают в печь, нагретую до температуры цианирования — 800—900°, на 1,5—3 часа. После цианирования детали подвергают закалке и отпуску по следующему типовому режиму: нагрев при $760^\circ \pm 10$, выдержка нагрева 15—20 минут, охлаждение в масле, отпуск 1 час при температуре 150—170° или нагрев 830°, выдержка 10—15 минут, охлаждение в масле, отпуск 1 час при 150—170°.

Поверхность закаленной графитизированной стали имеет большую твердость (порядка $Rc=56—60$) и в сочетании с поршнями из антифрикционного чугуна ЧМ-1,3, ЧМ-1,8 ($Rc=30—32$) или из специальной антифрикционной стали обладает отличной износоустойчивостью, что особенно важно для двигателей гоночных, радиоуправляемых и пилотажных моделей (обратите внимание, что поршень в два раза мягче гильзы).

У двигателей скоростных моделей предъявляется главное требование к их мощности и быстроходности, а долговечность зеркала цилиндра отступает на второе

Материал цилиндра	Материал			
	чугун ЧМ 1,3	чугун ЧМ 1,8	чугун СЧ 2613	хромистый чугун
Чугун ЧМ 1,3				
Чугун ЧМ 1,8				
Сталь ШХ15	$\frac{нф}{к}$	$\frac{нф}{к}$	$\frac{нф}{к}$	$\frac{нф}{к}$
Сталь У8	$\frac{нф}{к}$	$\frac{нф}{к}$	$\frac{нф}{к}$	$\frac{нф}{к}$
Сталь У10	$\frac{нф}{к}$	$\frac{нф}{к}$	$\frac{нф}{к}$	$\frac{нф}{к}$
Сталь У12	$\frac{нф}{к}$	$\frac{нф}{к}$	$\frac{нф}{к}$	$\frac{нф}{к}$
Сталь ЭИ 293	$x \frac{нф}{го}$	$x \frac{нф}{го}$	$x \frac{нф}{го}$	$x \frac{нф}{го}$
Сталь ЭИ 336	$x \frac{нф}{гк}$	$x \frac{нф}{гк}$	$x \frac{нф}{гк}$	$x \frac{нф}{гк}$
Сталь ЭИ 366	$> x \frac{нф}{гк}$	$> x \frac{нф}{гк}$	$> x \frac{нф}{гк}$	$> x \frac{нф}{гк}$
Сталь Ст. 10	$\frac{нф}{ц}$	$\frac{нф}{ц}$	$\frac{нф}{ц}$	$\frac{нф}{ц}$
Сталь для анти- фрикционного литья				
Сталь А12 (ав- томатная)	$\frac{нф}{н}$	$\frac{нф}{н}$	$\frac{нф}{н}$	$\frac{нф}{н}$

* См. Справочник машиностроителя. М., «Машиностроение»,

поршня					
сталь У8	сталь У10	сталь У12	сталь ШХ15	сталь Ст. 10	сталь для поршней*
$\frac{к}{нф}$	$\frac{к}{нф}$	$\frac{к}{нф}$	$\frac{к}{нф}$	$\frac{ц}{нф}$	
$\frac{к}{нф}$	$\frac{к}{нф}$	$\frac{к}{нф}$	$\frac{к}{нф}$	$\frac{ц}{нф}$	
					$> \frac{н}{к}$
					$> \frac{н}{к}$
					$> \frac{н}{к}$
					$> \frac{н}{к}$
					$\frac{н}{ц}$
$\frac{ко}{г}$	$\frac{ко}{г}$	$\frac{ко}{г}$	$\frac{ко}{г}$	$\frac{ц}{г}$	

1964, том 6.

Условные обозначения
(к табл. 4)

В числителе — Материал поршня

В знаменателе — Материал цилиндра

n — Нормализована
(состояние поставки)

к — Калка

г — Графитизация

ц — Цементация или
цианирование

пф — Перлитно-ферритная структура

х — Лучшие сочетания

о — Для особо быстроходных

> — Обеспечивает большой ресурс

Таблица 5

Марки стали	C	Si	Mn	Ni	Cr	Примеси
ЭИ 293	1,50+1,65	0,75—0,90	0,2—0,4	0,2	0,88	—
ЭИ 336	1,50+1,65	0,75—0,90	0,2—0,4	0,2	0,08	0,4—0,6
ЭИ 366	1,30+1,45	1,00—1,25	0,3—0,5	0,2	0,08	0,1—0,3
Сталь для антифрикционного литья	1,4—1,6	2,0—2,1	0,4—0,6	—	—	—
Сталь для поршней	1,35—1,70	0,9—1,3	0,6—1,0	—	0,8+0,15	2,5+3,0

место. Цилиндры делают из мягкой графитизированной стали (см. табл. 5), термообработанной по тому же графику (см. рис. 32), но не закаленной или нормализованной (в состоянии поставки). Характерная особенность структуры этих сталей после соответствующей термообработки заключается в том, что в них выделяется графит в виде шаровидных частиц (рис. 33), который придает ан-

тифрикционные качества и носительную износоустойчивость. Такие цилиндры мягкие ($R_c = 18-20$), легко пилются надфилем, но в сочетаниях с поршнем из серого антифрикционного чугуна марки ЧМ-1,3, ЧМ-18 или СЧ-2613, твердость которого равна $R_c = 28-32$ (обратим внимание, что поршень тверже гильзы), обладают малым трением. Хорошие результаты дает применение стали А-12 в состоянии поставки.

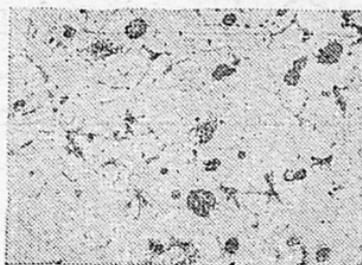


Рис. 33. Микроструктура графитизированной стали ЭИ-336 в отожженном состоянии (увеличено в 400 раз). Видны частицы шаровидного графита

Наиболее высокие скорости полета показали модели с двигателями, снабженными такими цилиндрами и поршнями.

Успех применения графитизируемых сталей и антифрикционных чугунов зависит от термообработки, проверить же правильность ее можно, только посмотрев шлиф под микроскопом 400-кратного увеличения, а твердость на приборе Роквелла или Бринеля. Если желаемая структура стали в детали не получилась, надо добиться нужной структуры путем повторной термообработки.

Как мы видели, рекомендуемый режим термообработки для получения выделенного шаровидного графита при небольшой твердости сталей ЭИ-293, ЭИ-336 и ЭИ-366 заключается в многоступенчатом глубоком отжиге.

Эти же стали можно графитизировать при помощи закалки. В таком случае стали приобретают значительную твердость, но коэффициент трения в сочетании с чугуном получается несколько больше, возможны коробления и затруднена доводка готовых гильз цилиндра. Для справки приводим в табл. 6 режимы закалки, обеспечивающие графитизацию.

Рекомендуется графитизационную термообработку проводить в заготовках, затем сделать шлиф и посмотреть его под микроскопом. Убедившись в том, что выделился шаровидный графит и получена структура, близкая к той, которая показана на рис. 33, приступают к изготовлению деталей.

Марки стали	T нагрева, °C	Охлаждающая среда	Полученная твердость, НРС
ЭИ 293	790—870	Холодная вода	60—65
ЭИ 336	830—890	Вода	59—60
ЭИ 366	820+5	Масло	58—62

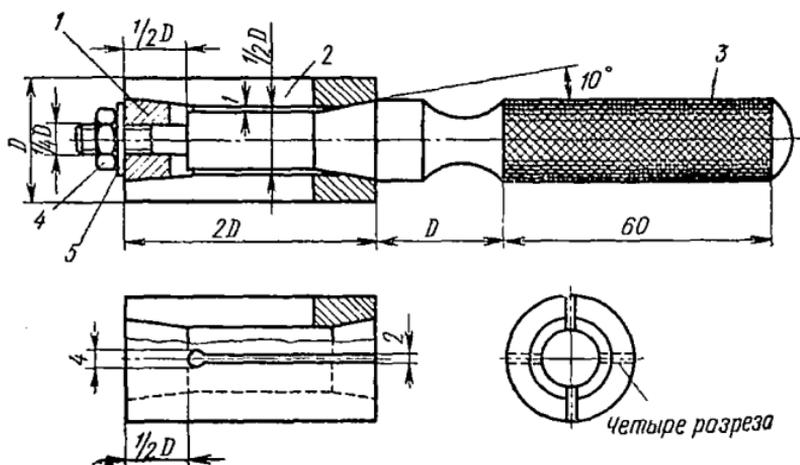


Рис. 34 Разжимной притир для цилиндров:
 1 — конус (сталь); 2 — притир (чугун); 3 — ручка (сталь); 4 — гайка; 5 — шайба

Признак графитизации стали — «черный» излом образца, который говорит о том, что в структуре стали выделился графит.

Для того чтобы получить излом, можно взять шайбу или пруток, распилить его ножовкой более чем до половины, а затем сломать в тисках по недопиленному месту. В отличие от светлого излома неграфитизированного образца графитизированный образец будет иметь темно-серый «черный» — мелкозернистый излом.

Для получения соосности гильзы, цилиндра и блока картера следует сначала обработать гильзу с припусками на шлифовку, обработать каналы, шлифовать и притереть зеркало цилиндра в первом приближении, затем шлифовать гильзу снаружи, обеспечив посадку ее в блок, и только тогда довести зеркало цилиндра окончательно.

Точение и шлифование оставляет на поверхности зеркала цилиндра следы обработки в виде мельчайших канавок. Если зеркало цилиндра (внутреннюю поверхность) оставить в таком виде, то после непродолжительной работы двигателя вершинки канавок сотрутся, появятся зазоры и двигатель потеряет компрессию. Наиболее гладкой поверхности можно достичь притиркой. Притирать цилиндр нужно чугунным или медным разжимным притиром (рис. 34), применяя сначала 20-микронный порошок олуна, затем 10—7-микронный; окончательная доводка делается пастой ГОИ. По мере необходимости притир разжимают, завинчивая гайку. После окончания притирки цилиндр надо тщательно промыть в бензине или керосине.

ГОЛОВКИ ЦИЛИНДРОВ

Головка представляет собой верхнюю часть цилиндра. В бензиновых и калильных двигателях она замыкает камеру сгорания. В этом случае в зависимости от формы козырька и днища поршня головка имеет различную конфигурацию внутренней части (рис. 35).

В бензиновых и калильных двигателях соединение головки с цилиндром обязательно должно быть герметичным, что достигается установкой прокладки меди или алюминия.

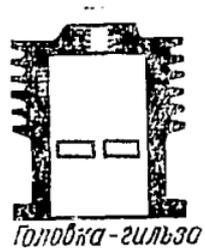
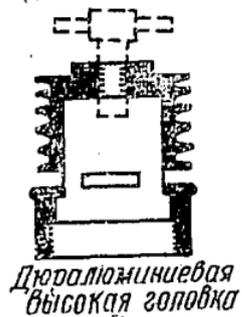
В компрессионных двигателях уплотнить соединение головки с цилиндром нет необходимости, так как в этом случае камеру сгорания герметизирует контрпоршень.

Контрпоршень делается из стали или из чугуна и настолько плотно подгоняется к цилиндру, что под нажимом пальца руки с трудом входит туда. Во время работы двигателя контрпоршень, как правило, не движется.

Для предотвращения самопроизвольного отворачивания регулировочного винта контрпоршня применяют стопоры одного из видов, показанных на рис. 36.

Отъемные головки существенно облегчают притирку цилиндра и имеют то преимущество, что позволяют подбирать наиболее выгодную степень сжатия путем изменения толщины уплотняющих прокладок.

Верхняя часть цилиндра, в которой происходит наиболее интенсивный процесс горения, сильно нагревается,



Международный стандарт резьбы
под свечу 1/4" дюйма или $\Phi 6,35$ шаг
0,85 мм

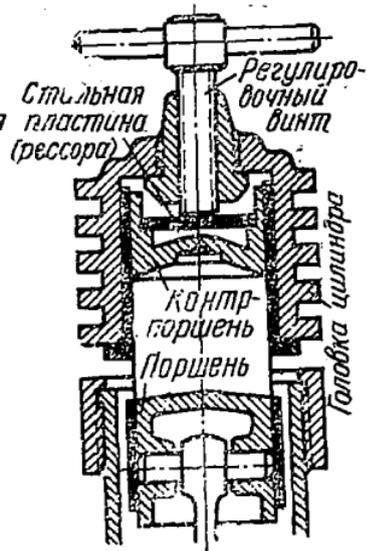


Рис. 35. Головки авиамодельных двигателей

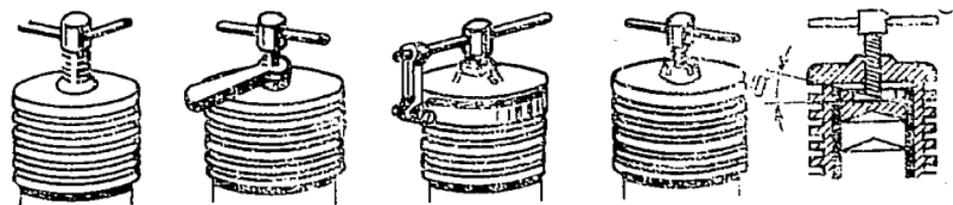


Рис. 36. Способы контровки регулировочного винта

Для охлаждения на головках цилиндра делают ребра, которые отводят тепло.

В головках с резьбой под свечу применяется международный стандарт резьбы под свечи диаметром 1/4 дюйма, или 6,35 мм, с шагом резьбы 0,85 мм.

ПОРШНИ

Тип и конструкцию поршня (рис. 37) выбирают в зависимости от назначения двигателя. Поршни делают из чугуна, стали или из сплавов алюминия.

На высокооборотных и короткоходных двигателях повышенной мощности желательно иметь вес поршня минимальным. Поэтому стальные и чугунные поршни изготавливают тонкостенными или применяют сплавы алюминия, имеющие малый удельный вес.

При поперечной продувке на днище поршня делают дефлектор. При петлевой продувке форма днища обычно сферическая, а при встречной кольцевой — коническая или плоская.

Соединение поршня с шатуном осуществляется при помощи пальца. На рис. 39 приведено редко встречающееся, но тем не менее представляющее известный интерес соединение при помощи шарового шарнира.

Поршни бывают гладкие, с уплотняющими канавками и с поршневыми кольцами. Во время работы двигателя гильза цилиндра и верх поршня нагреваются до 300—350°, вследствие чего расширяются. Если поршень сделан из материала, имеющего одинаковые коэффициенты расширения, что и цилиндр, то зазор между поршнем и цилиндром, обеспечивающий движение поршня и возможность получения необходимой компрессии, сохраняется и работа двигателя не нарушается.

Поршни из алюминиевых и магниевых сплавов расширяются при нагреве гораздо больше, чем чугунные или стальные, что вызывает необходимость делать зазор между стенками поршня и цилиндром значительно большим. Так, например, зазор, обеспечивающий легкий ход и хорошую компрессию при чугунном поршне диаметром 20 мм, составляет 0,015—0,02 мм на диаметр. Для обеспечения такой же степени свободы движения в горя-

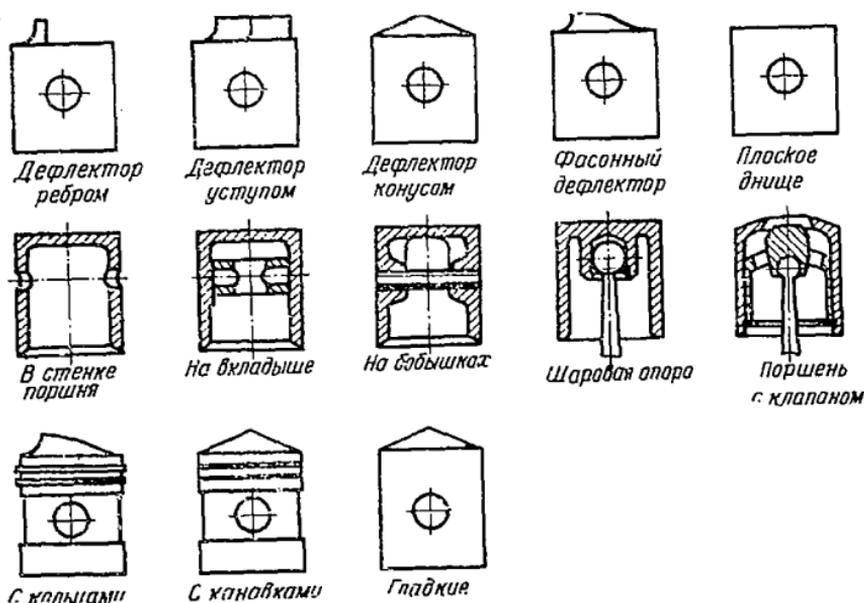


Рис. 37. Типы поршней

чем двигателе с поршнем из алюминиевых сплавов необходим зазор в холодном состоянии до 0,04 мм, т. е. в два раза больше. Через такой зазор при сжатии газы легко выходят из камеры сгорания, и компрессия получается слабой, вследствие чего двигатель трудно или совсем невозможно завести. Для создания постоянной компрессии как при запуске, так и при работе двигателя поршни из алюминиевых сплавов снабжаются кольцами.

В тех случаях, когда применяют гладкие стальные или чугунные поршни, их работа зависит от материала и соотношения твердости поршня и гильзы. Для уменьшения потерь на трение твердость зеркала цилиндра и твердость поверхности поршня делают разной.

В табл. 4 приведены рекомендуемые сочетания материалов и вид термообработки для поршней.

Для равномерного распределения смазки по стенкам поршня делают небольшие канавки, в которых задерживается масло.

Как уже было сказано выше, от подбора материалов и подгонки поршня к цилиндру зависит мощность и быстроходность двигателя. Окончательно подгоняют поршень к цилиндру после шлифовки или точения методом притирки. Для того чтобы притереть поршень, надо изготовить чугунный разрезной притир (рис. 38) и втулку, в которой имеется зажимной винт для того, чтобы сжимать притир по мере необходимости. Поршень укрепляют при помощи поршневого пальца на ручке. Первую

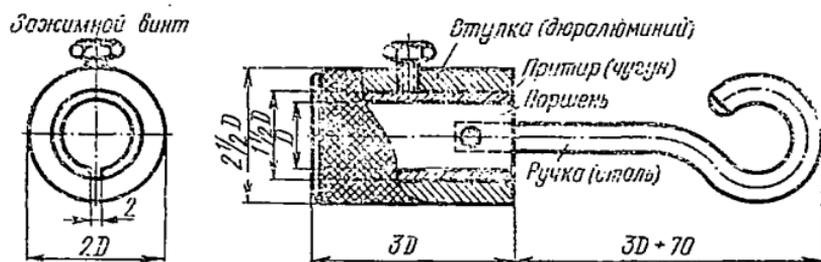


Рис. 38. Притир для поршней

притирку делают 20—30-микронным порошком, окончательную — 7—8-микронным порошком, доводят пастой ГОИ.

Перед установкой на двигатель требуется очень тщательная промывка и удаление даже самых мельчайших следов абразива (притирочного порошка).

Хорошо пригертый к цилиндру поршень не должен при температуре 20° и смазке маслом (для швейных машин) пропускать воздух при сжатии на 2/3 хода поршня в цилиндре двигателя.

Поршневые кольца — одна из самых ответственных и трудновыполнимых деталей. Они должны быть упругими и твердыми, плотно, без просвета прилегать к стенкам цилиндра. Поршневое кольцо помещается в канавке на стенке поршня, в ней оно должно свободно двигаться, но иметь минимальные зазоры. Если зазоры велики, газы из камеры сгорания смогут выходить по

этим зазорам и компрессия будет ухудшаться. Если же кольцо сидит в канавке поршня слишком плотно, то оно удерживается трением в глубине канавки и не сможет плотно прилегать к стенкам цилиндра.

Сделать кольца, удовлетворяющие перечисленным требованиям, — одна из наиболее сложных работ при изготовлении быстроходного двигателя, требующая точности и соблюдения последовательности технологических операций.

Поршневые кольца изготавливают из углеродистых сталей марки У8, У9 или из специального хромистого чугуна с последующей закалкой и отпуском.

Цилиндры двигателя изготавливают из сталей и чугуна, приведенных в табл. 4, с последующей термической обработкой до твердости на 20—30% больше или меньше твердости поршневых колец. Такое соотношение твердости уменьшает трение и износ поршневых колец.

Подгонка и отделка поверхностей деталей и зазоры между движущимися частями серьезно влияют на мощность и срок службы двигателя. Поршень и кольца находятся в особенно тяжелых рабочих условиях. Скорость движения поршня при 13 000 об/мин достигает 15 м/сек. При этих скоростях верхняя часть с кольцами нагревается до 200—250°. Для того чтобы обеспечить свободное движение поршня, зазор между стенками поршня и цилиндром должен быть больше на величину расширения верхней части поршня при нагреве его до рабочей температуры плюс зазор, обеспечивающий свободу движения и необходимую толщину масляной пленки.

Поршневые кольца благодаря закалке в разжатом состоянии пружинят, обеспечивая необходимое уплотнение. Слишком плотная посадка трущихся деталей приводит к разрыву масляной пленки, резкому повышению трения и износу поверхностей.

На испытанных образцах двигателей такие явления были замечены на поршнях и нижних шейках шатунов и устранены путем ослабления посадок. Для поршня из дюралюминия марки Д-16Т и большинства алюминиевых сплавов зазор между цилиндром и стенками поршня должен быть в пределах 0,3% от диаметра цилиндра. Например, для номинального диаметра цилиндра 22 мм поршень должен иметь зазор на сторону от 0,033 до 0,038.

ШАТУНЫ

Шатун (рис. 39) передает силу давления газов на поршень коленчатому валу двигателя. Наиболее нагруженной частью является нижняя головка шатуна, соединенная с мотылевой шейкой коленчатого вала. Опорные поверхности головок подшипников испытывают нагрузки сжатия 40—50 кг на 1 см² опорной площади подшипника. Кроме того, вал двигателя может развивать до 25 000 об/мин. Такие тяжелые условия работы подшипника нижней головки шатуна делают это соединение одним из наиболее слабых мест быстроходных двигателей. Для того чтобы подшипники выдерживали возникающие нагрузки и были долговечными, необходимо обеспечить хороший доступ смазки, применять стойкие материалы и выдерживать установленные зазоры между головкой и шейкой.

Дюралюминий распространенный марки Д-16Т в сопряжении со стальной каленой полированной поверхностью пальца работает вполне удовлетворительно. Такое решение упрощает конструкцию шатуна и уменьшает его вес. Втулка, в которой вращается шейка кривошипа вала двигателя, является наиболее нагруженной частью. Она испытывает большие переменные давления, передаваемые шатуном от поршня. По этим причинам для быстроходных двигателей втулки следует изготавливать из бронз, имеющих высокие механические и антифрикционные качества.

Лучшие результаты дает применение оловянисто-фосфористых бронз.

Как при конструировании, так и при эксплуатации не следует забывать о том, что при чрезмерном удельном давлении смазка выдавливается из подшипника и не попадает на трущиеся поверхности. В этом случае возникает так называемое «сухое» трение, что приводит к перегреву мотылевой шейки вала, задирам поверхностей и наволакиванию материала подшипника на шейку вала.

Еще более опасен перегрев нижней головки шатуна, изготовленного из дюралюминия, так как при температуре 400—450° этот материал теряет прочность, становится рыхлым и разрушается. Нередко при таком перегреве бывает поломка и мотылевой шейки.

Во избежание перегрева мотылевой шейки надо следить за тем, чтобы горючая смесь содержала нужное количество масла, смазочные отверстия были бы достаточных размеров, а посадка подшипника нижней головки шатуна на шейке кривошипа не была бы плотной и

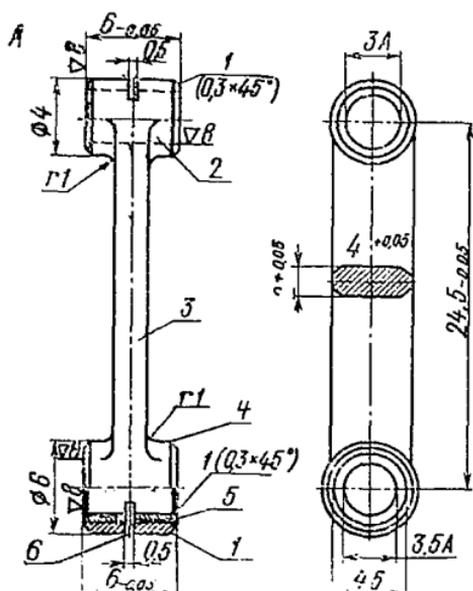
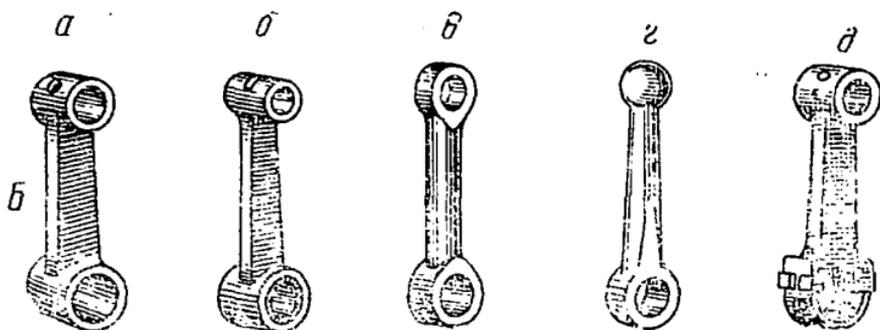


Рис. 39. Шатуны авиамодельных двигателей:

А — типовой чертёж: 1 — фаска; 2 — верхняя головка; 3 — тело; 4 — нижняя головка; 5 — втулка (БРОФ 7-02, каро запрессовать); 6 — отверстие для смазки; б — конструкции; а — дюралюминиевая; б — стальная; в — точеная; г — с шаровой верхней головкой; д — с разъемной нижней головкой



давала доступ маслу. Рекомендуется применять широкоходовую посадку по второму классу точности.

Шатун находится в сложном возвратно-поступательном и колебательном движении. Чтобы потери на преодоление инерционных сил были меньше, нужно стремиться уменьшить вес шатуна.

Формы сечения и габариты шатуна влияют на величину аэродинамических потерь. Для их уменьшения желательно применять более удобообтекаемые формы

сечений, полировать поверхность и закруглять грани и ребра. Для гоночных двигателей рекомендуется применять сечение шатунов типов «А» и «Б» (рис. 40).

Если бы мы имели достоверные сведения о величине коэффициента трения и фактических усилий, можно было бы рекомендовать довольно простые расчетные формулы для определения сечения шатуна и его подшипников. Но поправки к коэффициентам для конкретных условий работы бывают столь велики, что погрешности превышают расчетные величины. А это пока делает расчеты недостаточными.

Изготовление шатуна. В серийном производстве дюралюминиевые шатуны изготавливают обычно при помощи горячей штамповки.

При мелкосерийном и одиночном изготовлении шатуны получают фрезеровкой или точением с последующей слесарной доработкой. Для примера последовательность операций обработки шатуна методом точения показана на рис. 40. В условиях лаборатории и авиамодельного кружка шатуны можно изготовить слесарными методами вручную на тисках.

Если конструкцией предусмотрены втулки подшипников, их точат и запрессовывают в головки шатуна, после чего разверткой доводят размер отверстия так, чтобы была обеспечена широкоходовая посадка шатуна на шейке вала и поршневом пальце.

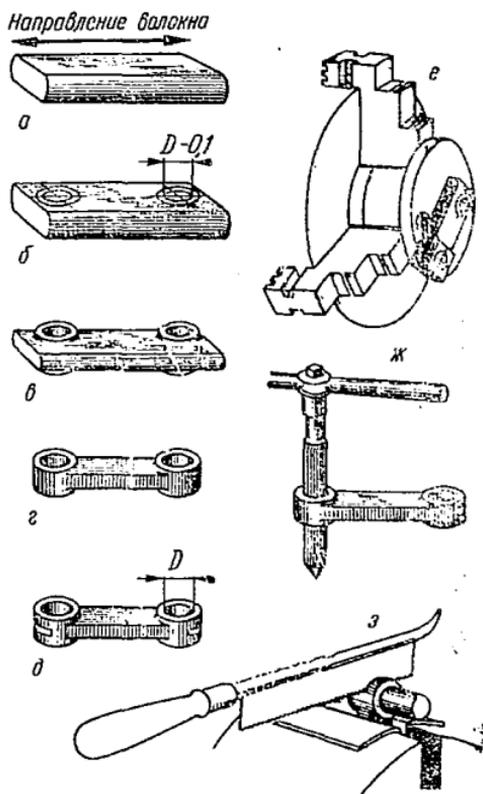


Рис. 40. Последовательность изготовления шатуна методом точения:

а — заготовка; б — разметка и сверление; в — точение; г — опилка; д — доводка; е — точение (установка в патроне); ж — доводка отверстий разверткой; з — распиловка отверстий для смазки

ПОРШНЕВЫЕ ПАЛЬЦЫ

Поршневой палец (рис. 41) соединяет шарнирно поршень с шатуном и передает давление поршня на шатун. Пальцы бывают плавающие, т. е. свободно сидящие как в поршне, так и в шатуне, и плотно сидящие в поршне.

Поршневой палец работает на срез и изгиб в условиях повышенной температуры и испытывает значительные нагрузки при работе двигателя, а при внезапных остановках во время аварий получает еще и ударные нагрузки. Поверхность пальца в месте сочленения с шатуном подвергается истиранию.

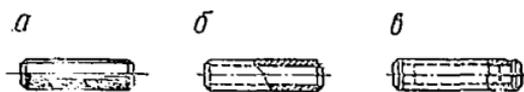


Рис. 41. Поршневые пальцы:

а — необлегченный; б — облегченный; в — с грибками

Для того чтобы обеспечить прочность и долговечность в работе, поршневые пальцы делают из специальных сталей, цементируют или подвергают поверхностной закалке с помощью токов высокой частоты. В условиях небольших мастерских их делают из мягкой стали Ст. 25, Ст. 10, цементируют на глубину 0,3—0,5 мм, калят насухо, а поверхность шлифуют, притирают и полируют. Посадку пальца в поршне можно рекомендовать делать плотной, а в шатуне широкоходовой. От перемещения в сторону палец удерживается грибками или специальными контровками.

КОЛЕНЧАТЫЕ ВАЛЫ

Коленчатый вал (рис. 42) является одной из важнейших деталей двигателя, он преобразует поступательное движение поршня во вращательное движение вала пропеллера. Часто с помощью коленчатого вала осуществляется распределение всасывания. В этом случае вал делается пустотелым с радиальным отверстием в коренной шейке.

На рис. 43 показаны характерные конструкции коленчатых валов авиамодельных двигателей.

Во время работы на коленчатый вал действуют большие скручивающие и изгибающие знакопеременные на-

грузки. В зависимости от положения вала (при вращении) эти нагрузки меняют свою величину и направление (рис. 44). Это существенно сказывается на конструктивных формах и выборе материалов коленчатых валов. Выбор материала диктуется условиями прочности и условиями работы подшипников коренной и мо-

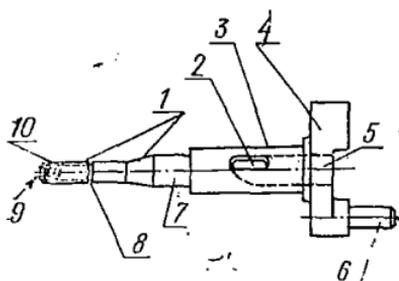


Рис. 42. Коленчатый вал (типичная конструкция):
 1 — опорный конус; 2 — впускное отверстие; 3 — коренная шейка; 4 — противовес; 5 — канал впуска; 6 — мотылевая шейка; 7 — носовая шейка; 8 — носок; 9 — зацентровка; 10 — резьба

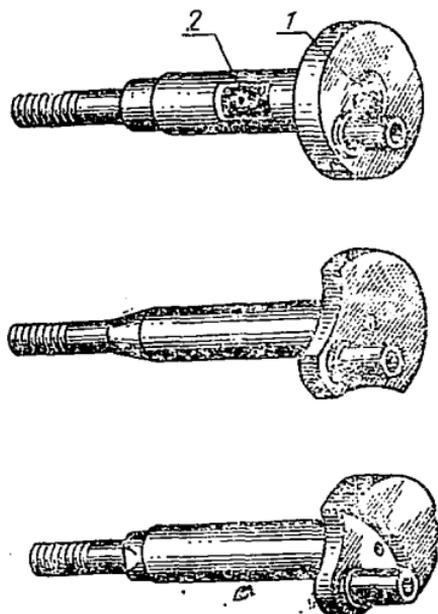


Рис. 43. Конструкции коленчатых валов авиамодельных двигателей:
 1 — канал; 2 — отверстие канала

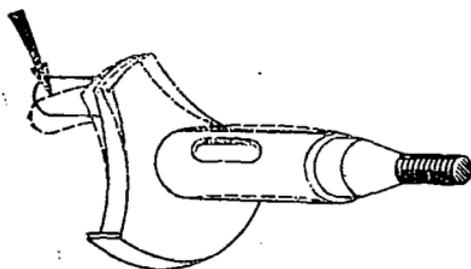


Рис. 44. Схема деформации вала под действием давления шатуна

тылевой шеек. Чтобы удовлетворить первому условию, необходим очень прочный и вязкий материал; таким являются хромоникелевые стали.

Второе условие требует большой поверхностной твердости шеек, что достигается поверхностной термообработкой, например цементированием. Лучшим материа-

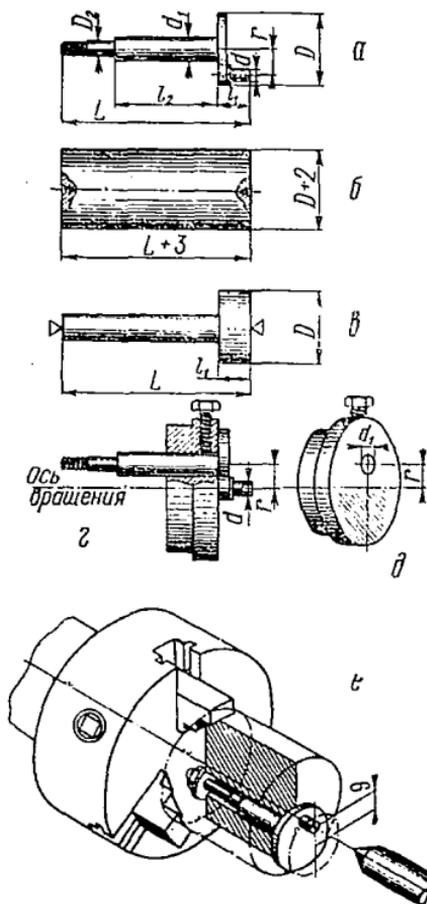


Рис. 45. Точение коленчатого вала:
 а — чертеж; б — заготовка; в — I операция; г — II операция; д — оправка; е — схема установки в патроне станка

лом для коленчатых валов являются цементируемые хромоникелевые стали марок 18ХНВА и 12ХНЗА.

Наиболее прочные валы получаются, если их заготовку ковать. В этом случае волокна располагаются по направлению изгиба детали. Дальнейшая обработка вала делается точением со слесарно-механической доработкой. Последовательность операций изготовления коленчатого вала показана на рис. 45.

Для придания большой прочности и стойкости валы закаливают. В зависимости от примененной марки материала режим закалки меняется. Определять его надо по справочнику «Металлист», том 1, раздел «Термообработка сталей».

Конструкция вала зависит от системы всасывания.

Поверхность вала в случаях, когда он вращается в подшипниках скольжения, должна быть гладкой, полированной и хорошо смазываться поступающей в картер горючей смесью.

Для доступа смазки предусматриваются специальные смазочные канавки во втулках подшипника или картера.

Воздушный винт надевается на вал и крепится с помощью втулок. Различные конструкции втулок воздушных винтов показаны на рис. 46.

Укорочение вала и применение болта вместо гайки объясняется тем, что в случае удара модели о препятствие ломается болт и сохраняются основные части вала, кроме того, длина вала сокращается, что уменьшает рас-

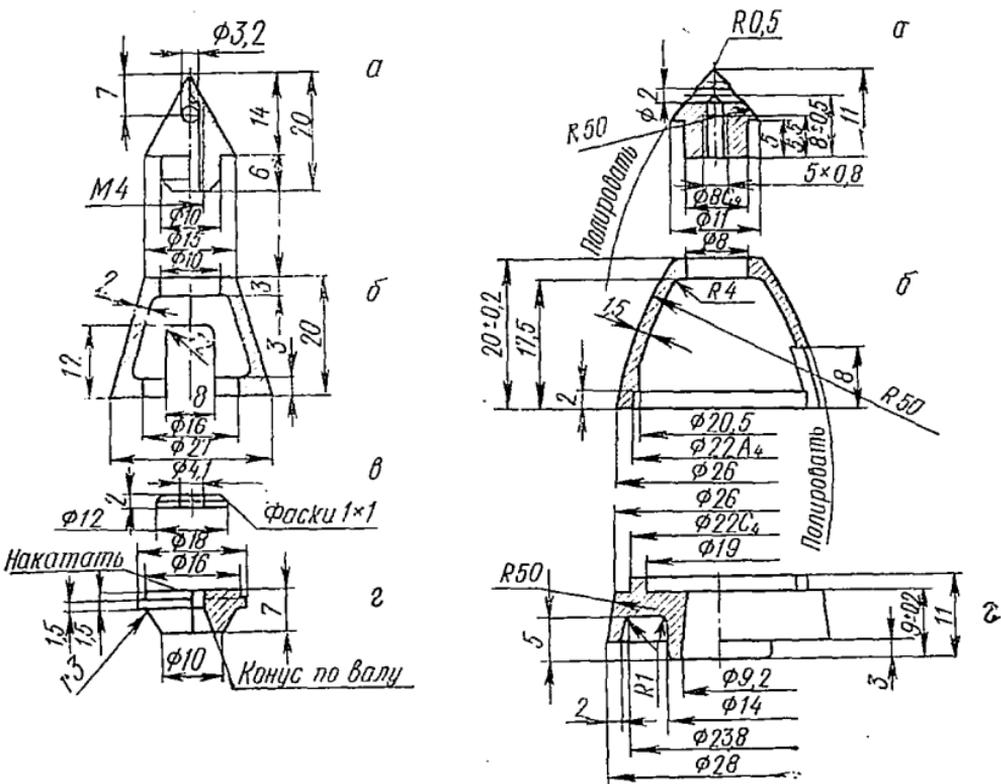


Рис. 46. Опорные втулки с обтекателем на винт:
 а — носок; б — обтекатель; в — шайба; г — опорная втулка винта

ход специальной стали на вал. В большинстве современных конструкций применяется посадка втулки на конус, находящийся на валу. Шлицы или шпонки применяют реже, так как это иногда бывает конструктивно сложнее.

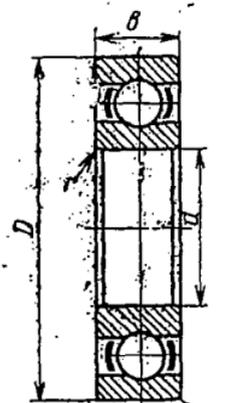
Часто втулку винта закрывают обтекателем, или, как его иначе называют, коком, и последний становится принадлежностью двигателя.

На рис. 46 показаны конструкции обтекателей втулок винта, применяемые автором этой книги для двигателей с рабочим объемом 2,5 см³. Для двигателей большего размера обтекатель может быть пропорционально увеличен.

ПОДШИПНИКИ ВАЛА

Коленчатый вал вращается в подшипниках, укрепленных в картере. Они разделяются на подшипники

РАДИАЛЬНЫЕ ОДНОРЯДНЫЕ ШАРИКОПОДШИПНИКИ



Особо легкая серия диаметров 1					Легкая серия диаметров 2					Средняя серия диаметров 3				
условное обозначение	размеры, мм				условное обозначение	размеры, мм				условное обозначение	размеры, мм			
	d	D	b	r		d	D	b	r		d	D	b	r
—	—	—	—	—	23	3	10	4	0,3	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	24	4	13	5	0,4	34	4	16	5	0,5
—	—	—	—	—	25**	5	16	5	0,5	35	5	19	6	0,5
—	—	—	—	—	26	6	19	6	0,5	—	—	—	—	—
17*	7	19	6	0,5	27	7	22	7	0,5	—	—	—	—	—
18	8	22	7	0,5	28	8	24	7	0,5	—	—	—	—	—
19	9	24	7	0,5	29	9	26	8	1	—	—	—	—	—
100	10	26	8	0,5	200	10	30	9	1	300	10	35	11	—
101	12	28	8	0,5	201	12	32	10	1	301	12	37	12	1,5
102	15	32	9	0,5	202	15	35	11	1	302	15	42	13	1,5

Примеры обозначений подшипников

ШК 17 ГОСТ 8338—57 отмечен*
Допуски см. ГОСТ 520—55

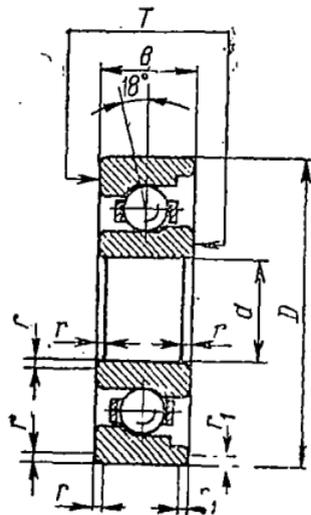
ШК 25 ГОСТ 8338—57 отмечен**
Посадки см. ГОСТ 3325—55

РАДИАЛЬНО-УПОРНЫЕ ОДНОРЯДНЫЕ ШАРИКОПОДШИПНИКИ

Особо легкая серия										Легкая серия									
условные обозначения			размеры, мм							условные обозначения			размеры, мм						
5000	36000	46000	d	D	в	T		r	r ₁	5000	36000	46000	d	D	в	T		r	r ₁
						на-иб.	наим.									на-иб.	наим.		
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	6023	36033	—	3	10	4	4	3,8	0,3	0,3
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	6024	36024	—	4	13	5	5	4,8	0,4	0,3
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	6025	36025	—	5**	16	5	5	4,8	0,5	0,3
6016	36016	—	6	17	6	6	5,8	0,5	0,3	6026	36026	—	6	19	6	6	5,8	0,5	0,3
6017к	36017	—	7*	19	6	6	5,8	0,5	0,3	6027	36027	—	7	22	7	7	6,8	0,5	0,3
6018	36018	—	8	22	7	7	6,8	0,5	0,3	6028	36028	—	8	24	8	8	7,9	0,5	0,3
6019	36019	—	9	24	7	7	6,8	0,5	0,3	6029	36029	—	9	26	8	8	7,3	1	0,3
6100	36100	46100	10	26	8	8	7,7	0,5	0,3	6200	36200	46200	10	30	9	9	8,7	1	0,3
5101	36101	46101	12	28	8	8	7,7	0,5	0,3	6201	36201	46201	12	32	10	10	9,7	1	0,3
6102	36102	46102	15	32	9	9	8,7	0,5	0,3	6202	36202	46202	15	35	11	11	10,7	1	0,3

Примеры обозначений подшипников
по ГОСТ 831—54

ШК 7 ГОСТ 831—54 отмечен*
ШК 5 ГОСТ 831—54 отмечен**



скольжения и подшипники качения — шариковые и роликовые. Подшипники, расположенные вблизи щеки кривошипа, называются коренными, а у носка вала — носовыми или передними.

В каждом частном случае величина трения подшипников скольжения зависит от того, какие металлы трутся, какова смазка трущихся поверхностей и как велика нагрузка, приходящаяся на $см^2$ поверхности подшипника.

Радиальные однорядные шарикоподшипники, употребляемые на авиамоторах, даны в табл. 7. Радиально-упорные однорядные шарикоподшипники, которые, кроме радиальных, могут воспринимать значительные осевые нагрузки, приведены в табл. 8.

Для быстроходных спортивных двигателей желательно применять подшипники высокой точности. Класс точности подшипника указывается в условном обозначении одной или двумя буквами впереди номера подшипника (табл. 9).

Подшипники нормальной точности буквой не клеймятся. Например: А-205 — подшипник 205 класса точности А; СА-36208 — подшипник 36208 класса точности СА.

По точности основных размеров и по точности вращения установлены следующие классы и их обозначения для шарико- и роликоподшипников.

Подшипники могут изготавливаться также и по промежуточным классам точности ВП, АВ, СА, где буква слева указывает класс точности внутреннего и справа класс точности наружного кольца.

В табл. 10 даны материалы для подшипников вала двигателя.

Из числа других антифрикционных материалов особенно хорошие результаты дают металлокерамические втулки, изготовленные из особой прессованной антифрикционной массы, состоящей из специального медного и графитового порошка. Этот материал имеет коэффициент трения в паре со сталью, — равный 0,006. Величи-

Таблица 9

Классы точности	Условные обозначения классов точности
Нормальный	Н
Повышенный	П
Высокий	В
Особо высокий	А
Сверхвысокий	С

Обороты вала в минуту	Вал, материал и обработка	Подшипник, допустимый материал
До 10 000	Сталь средней твердости с чистой поверхностью	Любая бронза, латунь, чугуны ЧМ 1, дюралюминий Д-16Т, силумин
До 15 000	Сталь твердая, поверхность чистая, шлифованная	Бронза Бр0Ф 10—1, Бр0Ф 7-02 (каро). Дюралюминий Д-16Т
До 20 000	Сталь твердая, поверхность полированная	Бронза Бр0Ф 10—1, Бр0Ф 7-02 (каро)
До 30 000	Сталь очень твердая, поверхность полированная	Бронза Бр СС-30, Бр0Ф 0-1 (каро), металлокерамика (специальная)

на трения, возникающего во втулке из металлокерамики, только на 30% больше величины трения шарикоподшипника для данного диаметра вала.

Втулка из металлокерамики имеет еще и те достоинства, что, будучи проварена в масле, она впитывает его и в работе обеспечивает как бы дополнительную смазку.

СМЕСЕРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА

Впуск горючей смеси в картер двигателя может регулироваться поршнем (рис. 47), золотником или клапаном. В качестве золотника часто используют вал двигателя. Для этого вал делают пустотелым, а в его стенке располагают отверстие, положение которого рассчитано таким образом, что при вращении вала оно в нужный момент совпадает с отверстием всасывающего патрубка. Такой тип распределения всасывания показан на рис. 48.

Преимущество распределения валом — его простота и возможность получить необходимую величину и положение фазы всасывания. Недостаток — удлинение пути движения смеси и ограниченные возможности увеличения проходного сечения канала в валу.

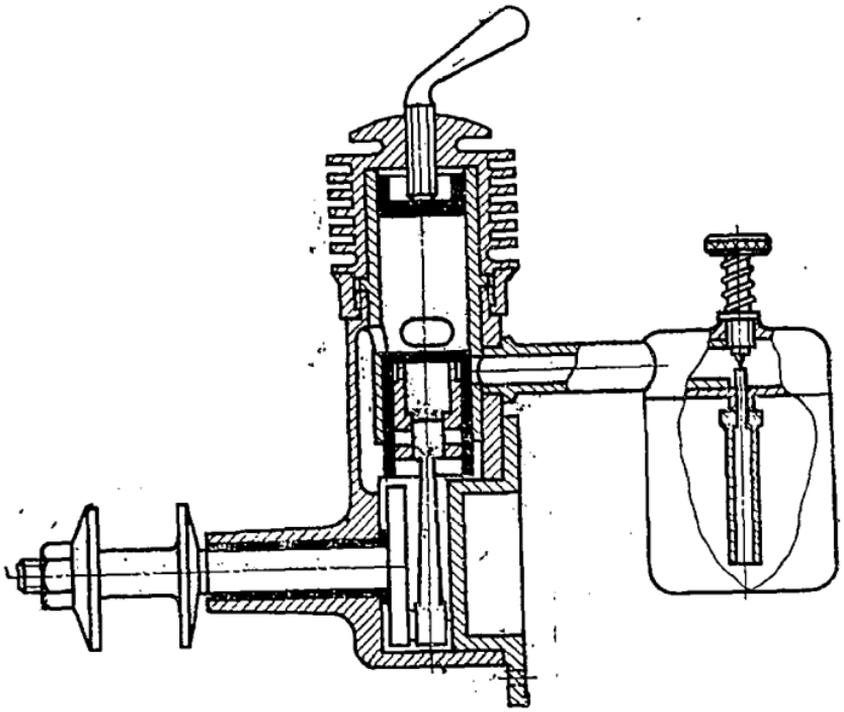


Рис. 47. Разрез двигателя ЦАМЛ-50 (распределение осуществляется поршнем)

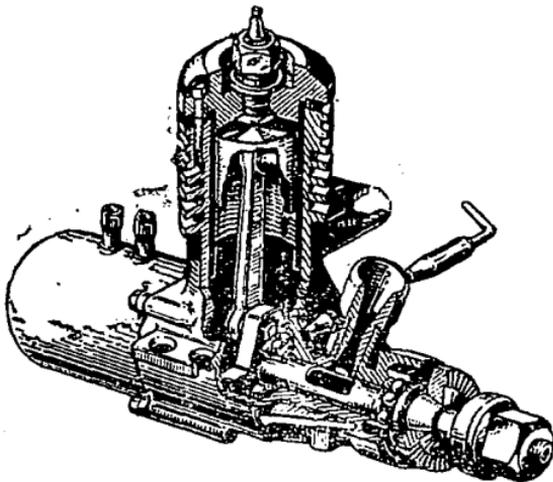


Рис. 48. Разрез двигателя с распределением валом

Распределение дисковым золотником позволяет наилучшим образом подбирать фазы выпуска, но на вращение его затрачивается некоторая часть мощности, развиваемой двигателем. Дисковый золотник укрепляется на оси, расположенной на задней стенке картера, и вращается мотылевой шейкой вала, которая входит в отверстие, имеющееся в диске. Делается диск из дюралюминия или пластмассы, например гетинакса (рис. 49).

Пластинчатые (рис. 50) впускные клапаны работают под действием разности давлений в полости картера и

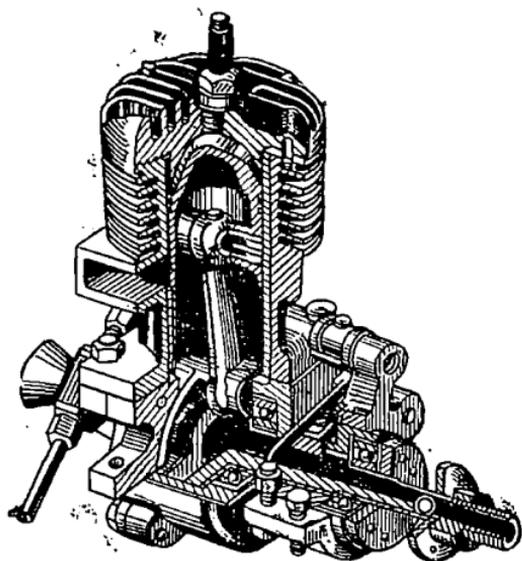


Рис. 49. Разрез двигателя с распределением дисковым золотником

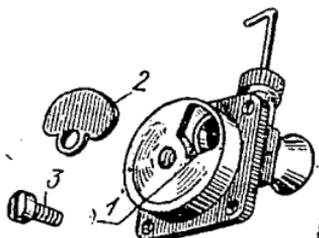


Рис. 50. Детали пластинчатого впускного клапана:
1 — всасывающий канал; 2 — лепесток клапана; 3 — винт

всасывающем патрубке. В последнее время появились конструкции двигателей, в которых распределение смеси осуществляется дисками или цилиндрами, не прикасающимися к стенкам картера и имеющими зазор 0,05—0,1 мм. В этом случае устраняется потеря на трение, уплотнение же достигается за счет того, что газы не успевают быстро пройти через зазор между золотником и картером.

Двигатель, разработанный мастером спорта международного класса С. Жидковым, показан на рис. 51. Как видно на рисунке, распределительный цилиндр вращается во втулке, его внешние стенки входят в заднюю крышку картера, но не прикасаются к ней. В стенках цилиндра имеется вырез, который обеспечивает фазы

впуска смеси в картер. Расположение и направление всасывающего патрубка обеспечивают кратчайший путь для газов и хорошее охлаждение поршня.

Другая конструкция системы всасывания для авиадвигателей, разработанная автором этой книги, показана на рис. 52. Распределение осуществляется при помощи тонкого диска, вращающегося между двумя стенками картера, смесь в этом случае попадает непосредственно

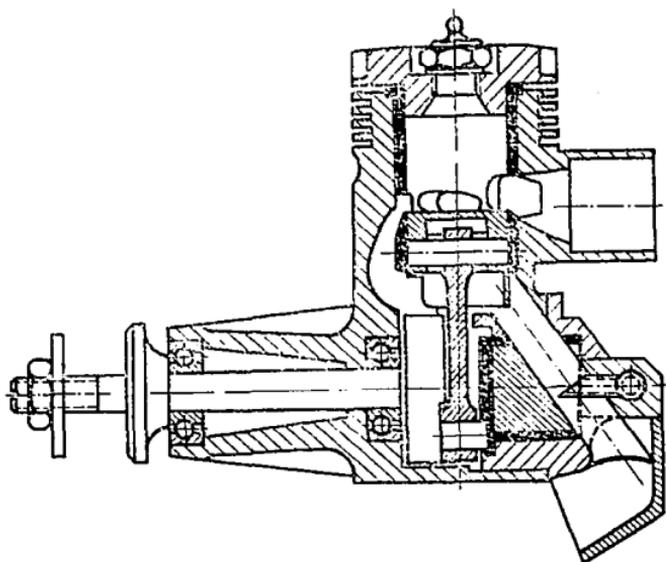


Рис. 51. Двигатель с рабочим объемом $2,5 \text{ см}^3$, разработанный С. Жидковым

в полость перепускного канала, что обеспечивает наименьшие гидродинамические потери при движении топливной смеси; кроме того, в такой конструкции достигается минимальный объем внутренней полости картера, за счет чего ускоряется перепуск. В целом конструкция обеспечивает наибольшую быстроходность двигателя.

Картер и вал должны быть подогнаны возможно плотнее, так как от этого зависит герметичность полости картера. С другой стороны, как мы видели, слишком плотная подгонка не всегда хороша.

Чтобы совместить удовлетворительно эти два противоречивых требования, поверхность вала надо очень хорошо выполнить. Для этого вал цементируют на глубину $0,4\text{--}0,5 \text{ мм}$, калят, шлифуют и доводят до нужного размера чугуном или медным притиром, сначала тон-

ким наждачным порошком, а затем пастой ГОИ. Окончательной чистоты поверхности, соответствующей 10 — 12-му классу чистоты, добиваются полировкой войлоком с тонкой пастой ГОИ. Отверстие под вал во втулке картера можно разделить хорошей новой разверткой. После

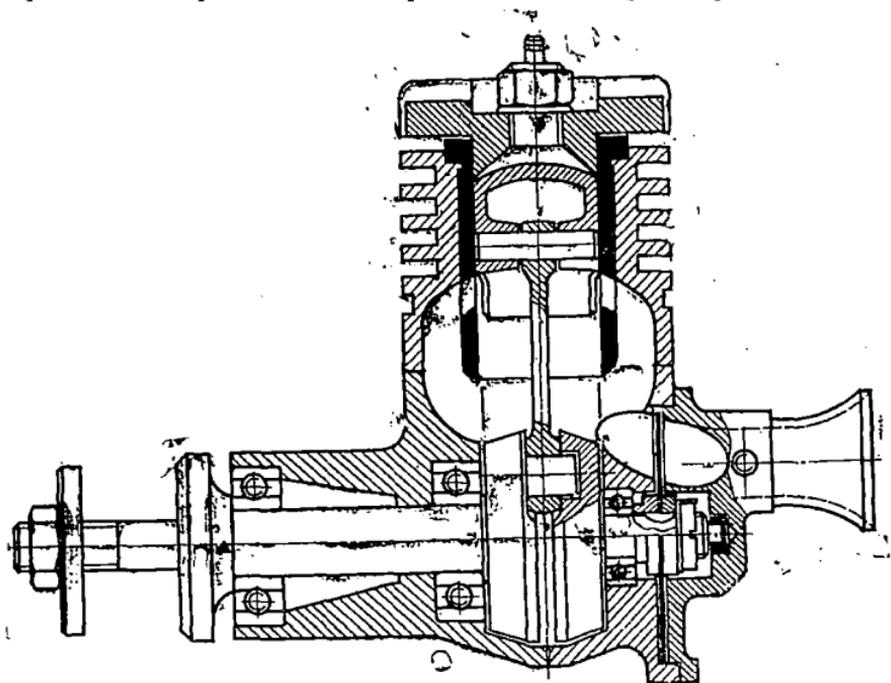


Рис. 52. Двигатель с рабочим объемом $2,5 \text{ см}^3$, разработанный О. Гаевским

доводки вал считается хорошо пригнанным в том случае, если смазанный жидким маслом, он под собственным весом медленно проходит в подшипник, а под наклоном 45° останавливается.

ЗАПАЛЬНЫЕ СВЕЧИ

Калильные свечи (рис. 53) имеют внутри корпуса спираль из жароупорной проволоки. Лучший материал для спирали — проволока из платины с присадкой 10—20% иридия, который делает ее более прочной. В качестве заменителя платины применяется проволока

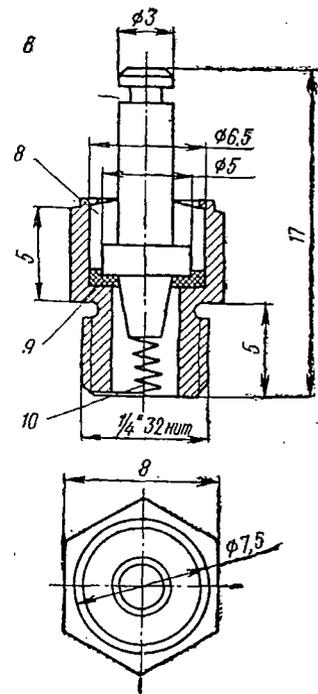
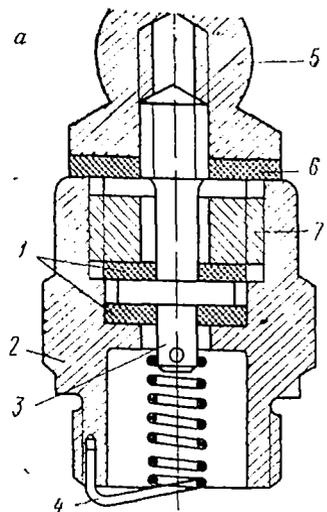
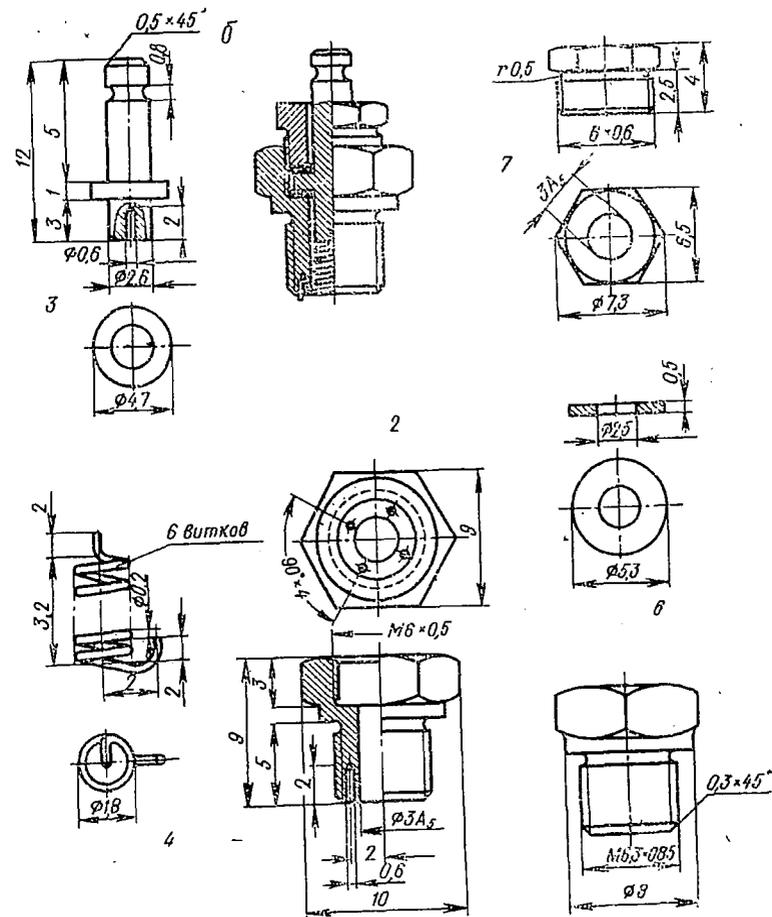


Рис. 53. Калильные свечи:
 а—типовая конструкция; б—рабочие чертежи разборной калильной свечи К-3; в—стандартная свеча;
 1—слодяные прокладки; 2—корпус;
 3—сердечники; 4—спираль накаливания; 5—головка; 6—прокладка;
 7—гайка; 8—жидкое стекло;
 9—керамическая шайба; 10—спираль

Таблица 11

Ø прово- локн, мм	Наружный Ø спирали, мм	Число витков
0,2	1,6	6
0,2	2	6
0,3	2,5	6
0,4	3	5



из фихрала, нержавеющей стали ЭИ626, или константана. Первоначальный нагрев спирали до светло-вишневого цвета калиния достигается путем подключения сухой батареи или аккумулятора напряжением 1,5—3 в.

После запуска спираль нагревается под действием температуры горящих газов и каталитического процесса. Длина спирали и толщина проволоки подбираются практически. Хорошие результаты получаются при величинах спирали, приведенных в табл. 11.

От толщины спирали, числа витков и конструкции корпуса зависит качество и срок службы свечи.

От степени накаливания спирали зависит мощность двигателя. Свечи, сильно накаливающиеся, называют горячими, мало накаливающиеся в процессе работы — холодными.

Чем меньше объем полости, в которой располагается спираль, чем меньше диаметр и длина самой спирали, чем глубже в свече она закреплена, тем свеча будет меньше нагреваться. И, наоборот, свечи с открытой неглубокой внутренней полостью и большой спиралью легче прогреваются и будут более горячими.

Для двигателя с малыми степенями сжатия применяют горячие свечи, с большими степенями сжатия — холодные. Подбором свечи можно существенно влиять на работу двигателя и его максимальную мощность.

КАРБЮРАТОРЫ

На авиамодельных двигателях применяются простейшие пульверизационные карбюраторы (рис. 54) с игольчатым вентилем. Карбюратор имеет следующие части: всасывающий патрубок, через который воздух засасывается в двигатель; диффузор — наиболее узкое место патрубка; часто это бывает вставная трубка, образующая местное сужение, содействующее засасыванию топлива; жиклер — трубка с малым отверстием (она подводит и распыляет топливо); игла жиклера изменяет сечение отверстия жиклера и тем самым регулирует количество поступающего в карбюратор топлива; фиксатор иглы — предотвращает самопроизвольное отворачивание иглы под воздействием вибрации двигателя; бак служит резервуаром для топлива; от его формы и конструкции зависит уровень топлива по отношению к жиклеру и, следовательно, состав горючей смеси, что делает бак принадлежностью карбюратора.

Система игольчатого вентиля и жиклера обычно бывает одного из видов, показанных на рис. 54.

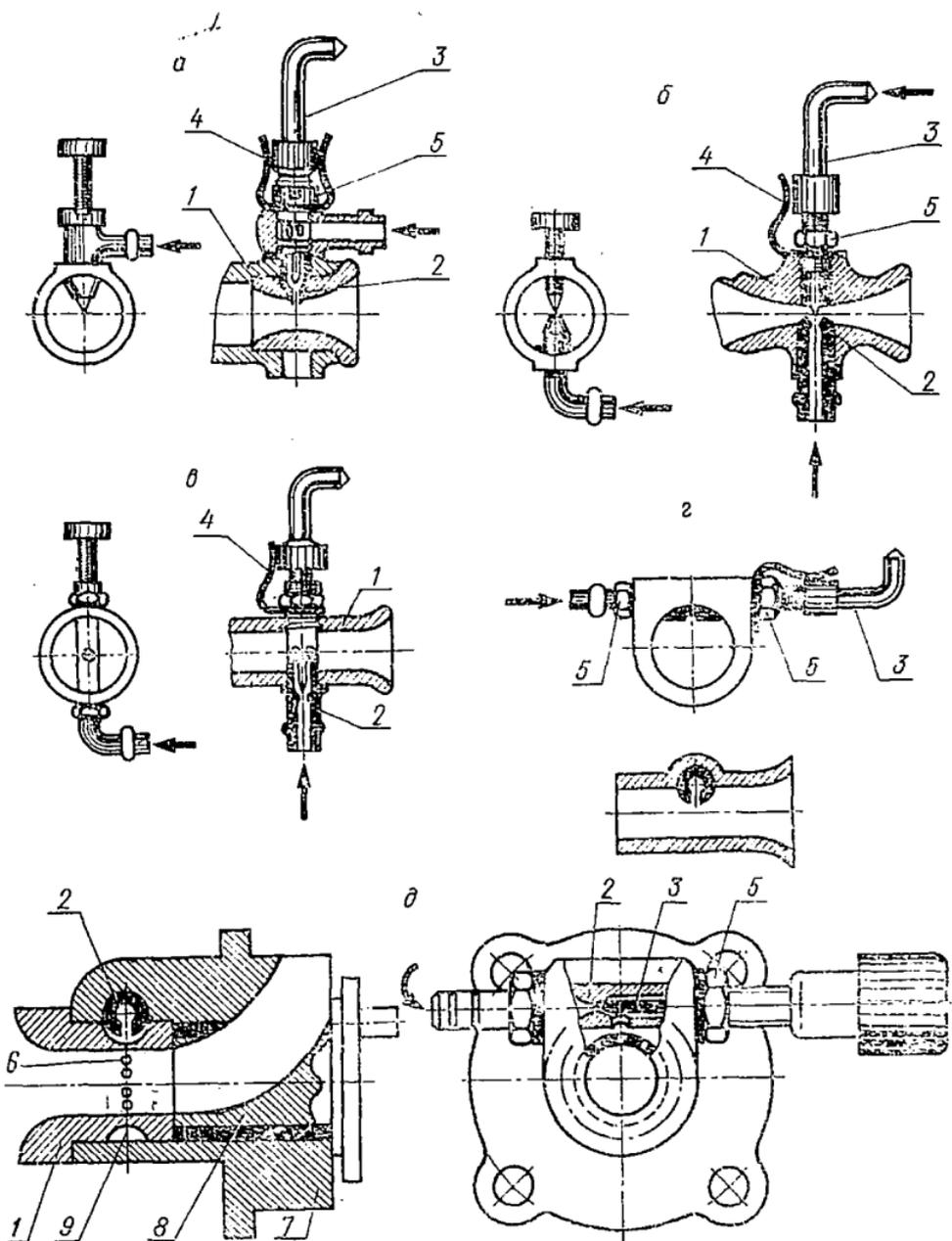


Рис. 54. Конструкции карбюраторов:

a — односторонний; *б* — встречный; *в* — сквозной; *г* — боковой;
д — кольцевой; 1 — всасывающий патрубок; 2 — жиклер; 3 — игла; 4 — фиксатор; 5 — гайка; 6 — распылитель; 7 — задняя крышка; 8 — золотник; 9 — обводной канал

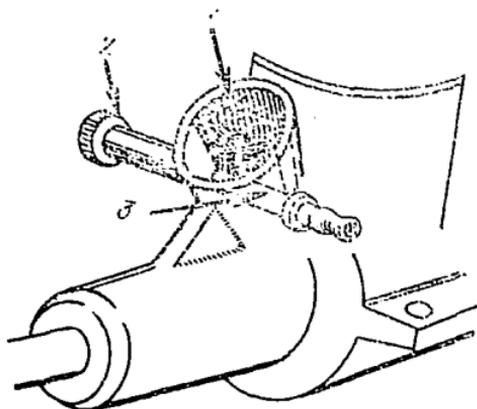


Рис. 55. Простейший способ подбора сечения всасывающего патрубка:

1 — клин; 2 — всасывающий патрубок; 3 — распылитель

В сужающейся части патрубка скорость входящего воздуха увеличивается и в самом узком месте достигает максимального значения, а давление падает. В этой части и помещают отверстие распылителя.

Отверстие всасывающего патрубка должно быть достаточно большим, чтобы пропускать необходимое количество воздуха для получения требуемого объема смеси на максимальном числе оборотов двигателя.

Чем быстрее вращается вал двигателя, тем большего сечения требует всасывающий патрубок.

Однако на малых оборотах патрубок с большим отверстием затрудняет запуск. Увеличение отверстия приводит к заметному снижению всасывания при малых скоростях течения газов, и если двигатель даже и удастся запустить вначале с помощью дросселирования, то всасывание в патрубке при дальнейшей работе и в полете может оказаться неудовлетворительным. В результате двигатель не будет получать смесь надлежащего состава. Именно по этой причине запуск некоторых быстроходных двигателей осуществляется с трудом и добиться их работы на малых и средних оборотах очень тяжело или даже невозможно (конечно, вопрос работы на малых оборотах связан с другими конструктивными особенностями). Проблема может быть решена точным подбором поджатия путем применения сменных фасонных втулок в отверстие всасывающего патрубка.

Кроме того, используют набор клиньев или втулок, начиная с самых больших, которые оставляют минимальное отверстие всасывания (рис. 55). Это удобно для запуска и работы на малой скорости. Затем клинья можно уменьшить, а для получения максимальных мощностей совсем не вставлять.

В тех случаях, когда на модели нужен большой запас топлива для продолжительных полетов, необходимо позаботиться о том, чтобы подача топлива в жиклер не зависела от уровня горючего в баке. Это достигается применением поплавковой камеры, состоящей из бака с клапаном в виде иглы, действующего от поплавка. При избытке топлива поплавок поднимается и закрывает иглой отверстие, через которое течет топливо, при опускании — открывает и тем поддерживает в поплавковой камере постоянный уровень топлива. О баках подробно рассказано в разделе «Система питания».

СИСТЕМА ПИТАНИЯ

От системы питания, т. е. от конструкции, расположения и способа крепления бака с горючим и топливопровода на летающей модели, во многом зависит работа установленного на ней двигателя.

Во время соревнований было немало случаев, когда авиамодельные двигатели «глохли» при взлете модели или неудовлетворительно работали в полете, в то же время на стенде они хорошо запускались и надежно работали. Причиной оказалось то, что из-за вибрации, вызванной двигателем, горючее в баке образует пену, состоящую из горючего и пузырьков воздуха. Характер и интенсивность пенообразования зависят от числа оборотов двигателя, вязкости горючего, а следовательно, и от температуры окружающего воздуха и конструкции бака для топлива и способа его крепления.

В зависимости от того, стоит ли модель на колесах, движется по земле или находится в полете, вибрация горючего в баке меняется. В полете вибрация менее ощутима, когда же модель стоит на земле, вибрация усиливается. Установлено, что, если бак жестко закреплен на модели, вибрация горючего в нем достигает наибольшей величины. Это особенно заметно, когда в баке мало горючего.

Интенсивность вибрации, величина и количество пузырьков воздуха, поступающего в жиклер, влияют на количество горючего, проходящего через жиклер. Резкое изменение подачи горючего приводит к остановке двигателя.

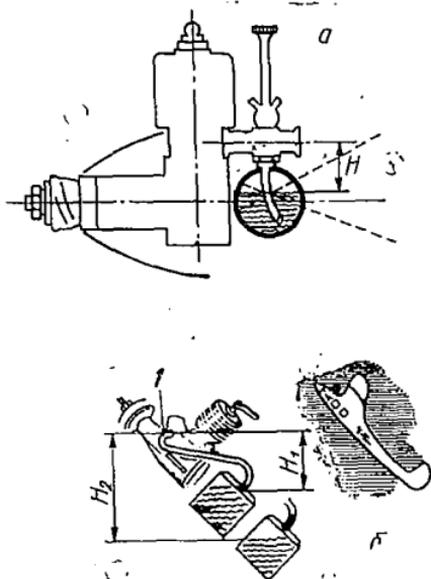


Рис. 56. Схема изменения уровня топлива в баке при взлете таймерной модели: а — удачное расположение бака по отношению к карбюратору; б — изменение в уровнях топлива по отношению к отверстию жиклера вследствие различного удаления бака от двигателя; H , H_1 и H_2 — положения уровня горючего при разных углах взлета; I — жиклер

На работе двигателя отрицательно сказывается изменение напора горючего, который зависит от уровня горючего по отношению к отверстию жиклера карбюратора. Желательно, чтобы уровень горючего в баке менялся как можно меньше. На таймерных моделях свободного полета бак надо ставить возможно ближе к карбюратору. В этом случае изменение уровня горючего при разных углах взлета модели будет наименьшим.

На рис. 56 показано как при крутом подъеме модели разница между уровнем отверстия жиклера и уровнем горючего в баке увеличивается, и чем дальше бак от двигателя, тем она будет больше. Неудачная конструкция бака или неправильная его установка может привести к перебоем и значительному снижению мощ-

ности двигателя. Простейшие баки таймерных моделей представляют собой склеенные из целлулоида прозрачные трубки объемом 5—10 см³ (рис. 57).

Причиной перебоев двигателя чаще всего бывает вращение горючего вдоль стенок, вследствие чего оголяется заборная трубка топливопровода, расположенная на дне бака, или происходит вспенивание горючего, а с ним и изменение состава смеси. Этого можно избежать, если в бак опустить пробковый поплавок в виде цилиндра или шара, имеющего диаметр на 1—1,5 мм меньше диаметра бака.

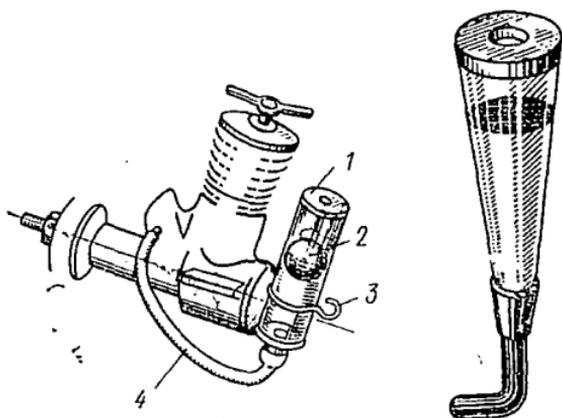
Хорошие результаты дает бак в виде конуса. Его нетрудно склеить из фотопленки. При такой форме бака горючее не вспенивается и вращение его не сможет вызвать оголение трубки заборника, пока бак не станет

пустым. Можно закрепить бак на пружинах или на эластичной пластине.

На бесперебойную и равномерную работу двигателей, установленных на скоростных моделях, оказывает влияние и отдаление жиклера от бака. Так как эти модели очень быстро набирают скорость при взлете, то в результате горючее в баке и в бензинопроводах резко стлывается назад, следствием чего является обеднение смеси в карбюраторе и остановка двигателя на взлете.

Рис. 57. Простейшие топливные баки для таймерных моделей:

1 — бак; 2 — поплавок; 3 — крепление; 4 — топливopровод



Чтобы этого не происходило, нужно бак располагать ближе к двигателю.

У моделей, летающих по кругу, горючее в баке во время полета находится вдоль наружной боковой стенки бака, и напор в жиклере меняется в зависимости от скорости полета модели и длины корды.

Бак на такой модели надо помещать вертикально, не делать широким и устанавливать с таким расчетом, чтобы его середина была в одной плоскости с отверстием жиклера (рис. 58). Такое расположение бака уменьшает относительное изменение уровня горючего во время полета по мере его выгорания. С такими баками двигатели работают более равномерно.

Наибольшие требования предъявляются к бакам кордовых пилотажных моделей. Баки должны обеспечивать равномерную подачу горючего при всех положениях модели, например во время полета вверх колесами (на спице) и при выполнении петли Нестерова.

При выполнении моделью фигур высшего пилотажа горючее временами отливает к нижней или к верхней

стенкам бака. Создать постоянный напор горючего в жиклере не так просто. Для этого лучше всего делать бак плоским и располагать его горизонтально.

Чтобы избежать вытекания горючего во время перевернутого полета модели, заливную горловину бака надо делать на всю его глубину, а дренажную трубку (отводящую воздух из бака) впаять в обратном направ-

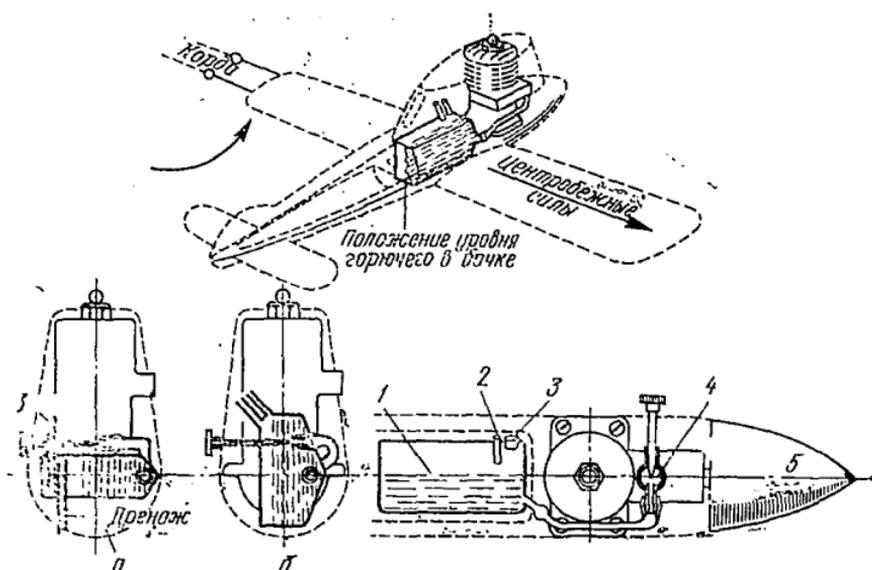


Рис. 58. Схема расположения бака на кордовых моделях: а — пилотажных; б — скоростных; 1 — середина бака; 2 — дренажная трубка; 3 — горловина; 4 — жиклер; 5 — плоскость жиклера

лении снизу. Различные конструкции баков и схемы питания двигателей показаны на рис. 59, 60, 61.

Двигатели самых малых рабочих объемов (до $1,5 \text{ см}^3$) иногда выпускаются вместе с баком, который им служит подмоторной рамой, и на котором имеются заправочные и дренажные трубки, а система питания отлажена для работы двигателя в любом положении.

Для горючих смесей, имеющих в своем составе керосин, бензин, минеральные масла и другие примеси, растворяющие резину, следует использовать хлорвиниловые или полиэтиленовые трубки, а для спиртовых горючих с растительным (касторовым) маслом — обыкновенные резиновые. Удачно применяют прозрачные пластиковые трубки, это дает возможность обнаружи-

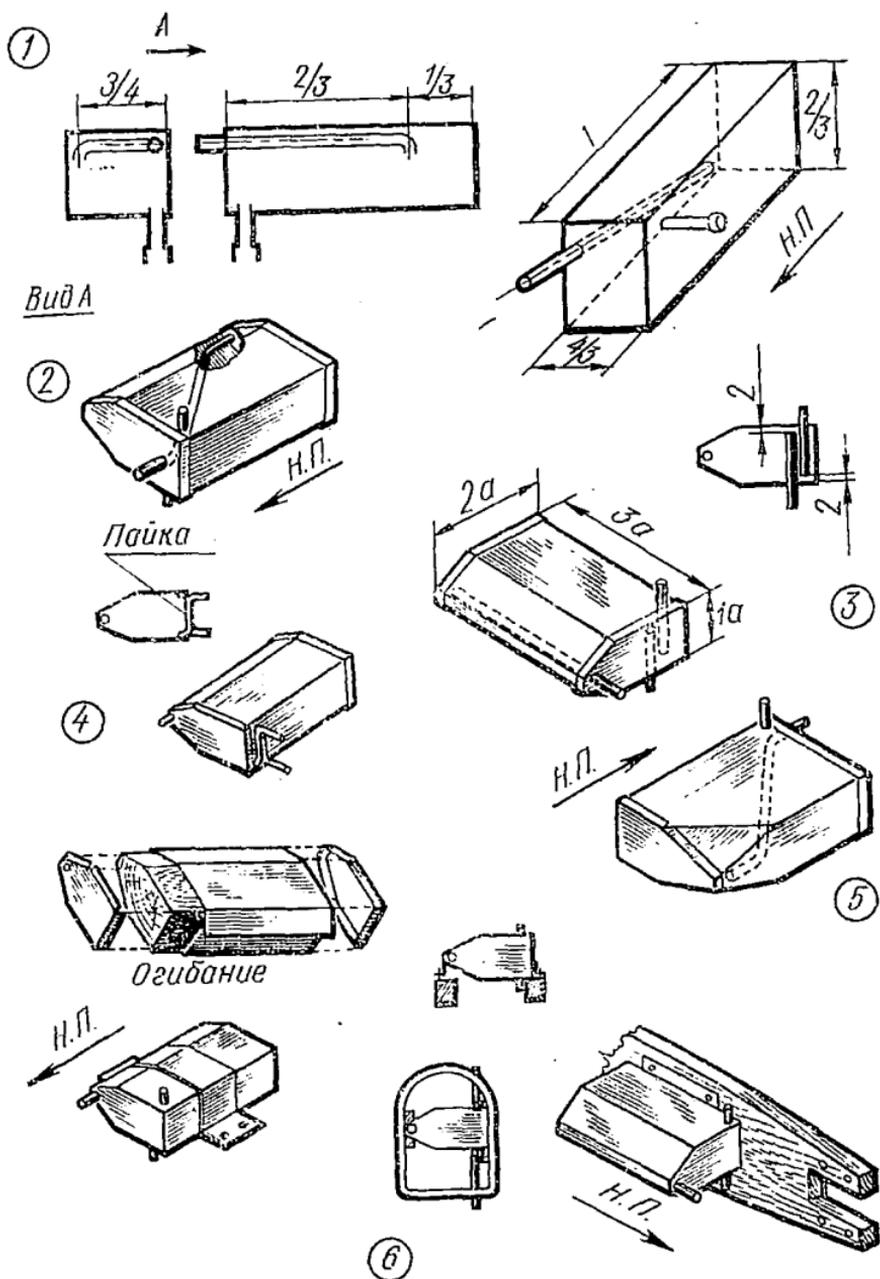
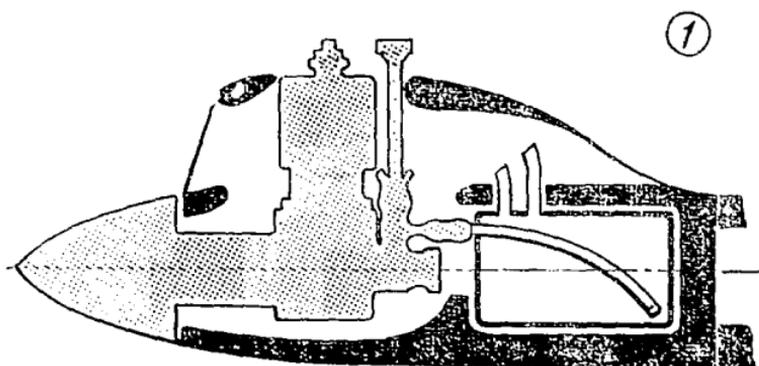
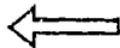


Рис. 59 Конструкции топливных баков:

1 — простейший прямоугольный; 2, 3, 4, 5 — жесткие многогранные для пилотажных моделей; 6 — крепления баков

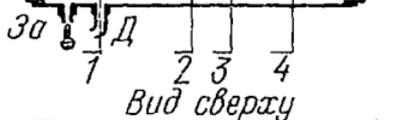
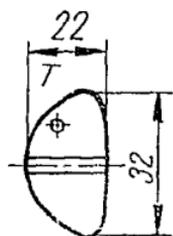
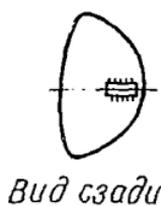
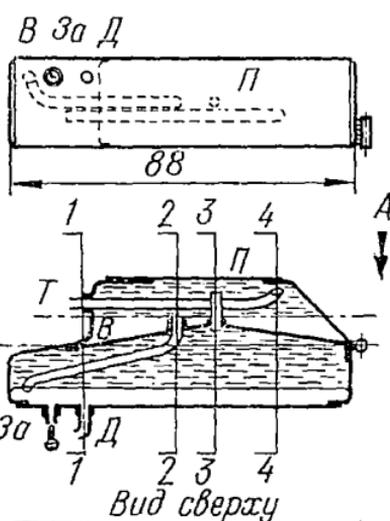


Направление
полета

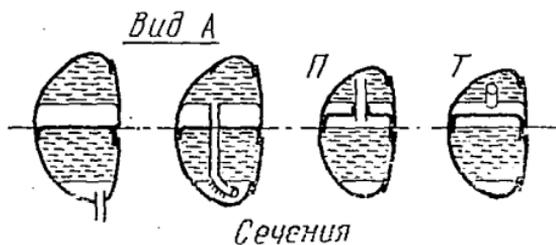


Паять оловом:
жесть-0,3
Материал: фольга-0,3
медная

2



Крепление трубки
 $\varnothing 3 \times M2,6$



Внутренние
сечения трубок:
Д - $\varnothing 2,5$
В - $\varnothing 1,5$
За - $\varnothing M3$
Т - $\varnothing 2$
П - $\varnothing 1,5$

вать движение пузырьков воздуха и соринки в случае попадания их в топливопровод.

С внешней (относительно центра виража) стороны на баке клеивают выполненный из целлулоида отстойник. Этим обеспечивается выработка топлива без остатка и устраняется пенообразование.

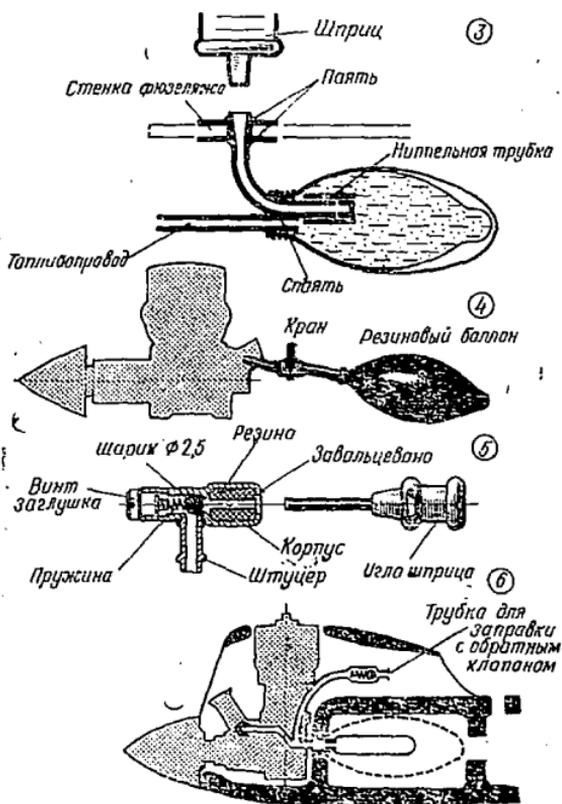
Для того чтобы избежать случайностей, при которых бак может сгореть, его можно сделать паянным из тонкой жести, отчего работа бака не ухудшается.

Фильтры. Несмотря на фильтрацию топливной смеси перед заливанием в бак модели, возможно попадание в жиклер соринки. Это неминуемо приводит к тому, что двигатель дает перебои или отказывает. Избежать этого можно, установив фильтр тонкой очистки горючего перед входом в жиклер. Кроме очищения топлива, фильтр полезен тем, что гасит пенообразование.

На рис. 62 показаны схемы сетчатых фильтров, которые несложно изготовить самому, и даны их чертежи.

Рис. 60. Конструкции топливных баков для скоростных кордовых моделей:

1 — размещение бака в фюзеляже; 2 — бак-«полка»; 3 — бак из пипетки; 4 — бак из резинового баллона или воздушного шара; 5 — клапан для наполнения бака при помощи шприца; 6 — схема расположения клапана в системе питания



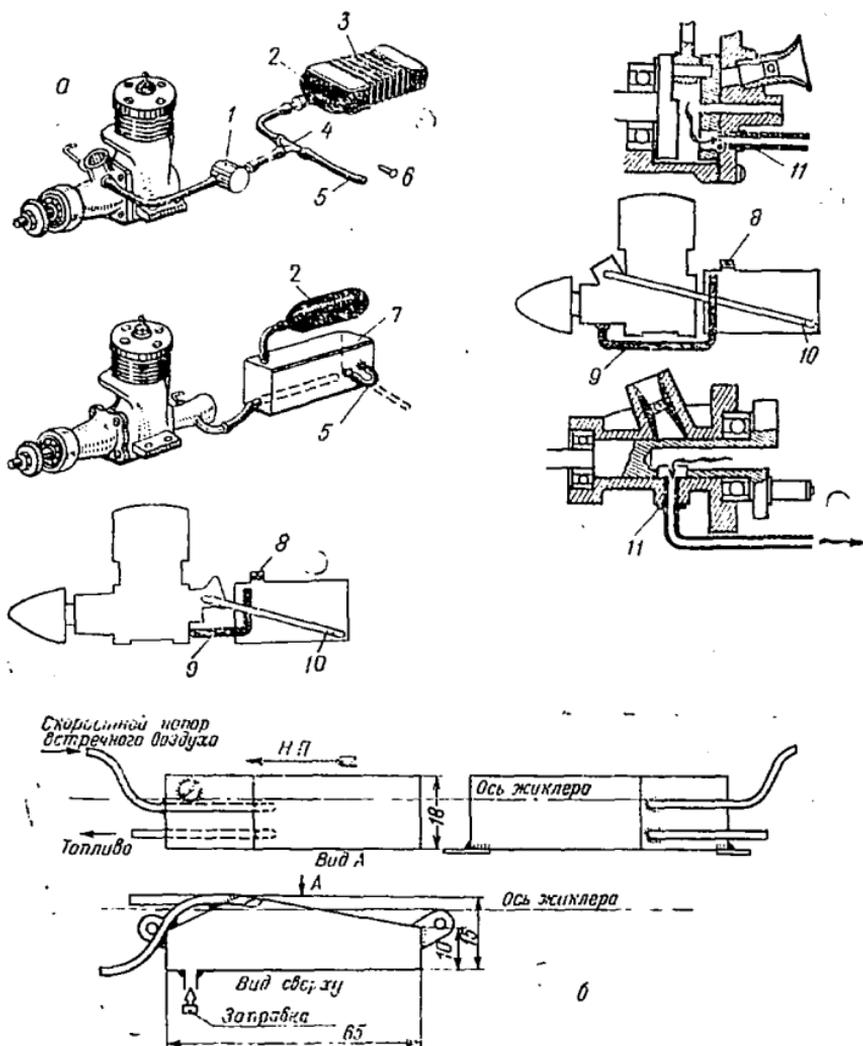


Рис. 61. Схемы питания двигателя под давлением *a* и бак скоростной кордовой модели, работающей под давлением скоростного напора *б*:

1 — фильтр; 2 — резиновый баллон; 3 — резина (1×1 мм); 4 — тройник; 5 — заправочная трубка; 6 — пробка; 7 — топливный бак; 8 — винт; 9 — трубка поддува бака; 10 — топливопровод; 11 — вентиль

Соотношение между статическими давлениями в баке и во всасывающем патрубке карбюратора при работе на месте и в полете должно быть одинаковым — соответствующим режиму максимальной мощности двигателя. В том случае, если в полете имеет место действие скоростного напора на всасывающий патрубок двигателя, необходимо концы дренажной и заправочной трубок вывести

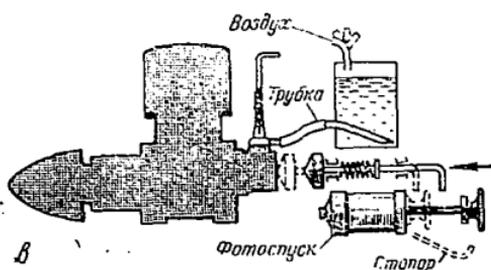
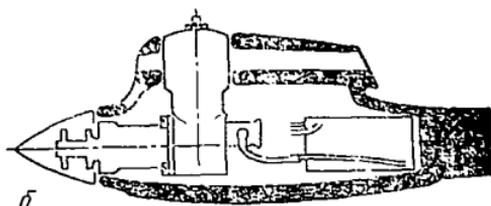
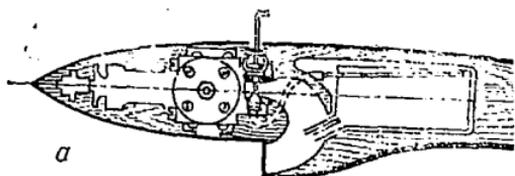


Рис. 63. Схемы вывода дренажных и заправочных трубок на топливных баках кордовых скоростных моделей: *а* — трубки в заборнике воздуха; *б* — трубки в всасывающего патрубка; *в* — отгибание заправочной трубки для изменения наддува бака. Внизу показана схема действия остановки двигателя

При отладке системы дренажа руководствуются следующим. Признаком обеднения смеси в полете является повышение числа оборотов на взлете, а затем падение их с последующими периодическими схватываниями. Полет при этом происходит рывками, пламя выхлопа желто-оранжевое. Признаком обогащения смеси в полете — хорошая работа двигателя при взлете, а затем снижение оборотов, иногда рокочущий шум. Двигатель дымит, пламя выхлопа красное.

В заключение следует напомнить моделистам еще раз о том, что неравномерная работа двигателя — часто следствие неудачной системы питания или плохого крепления

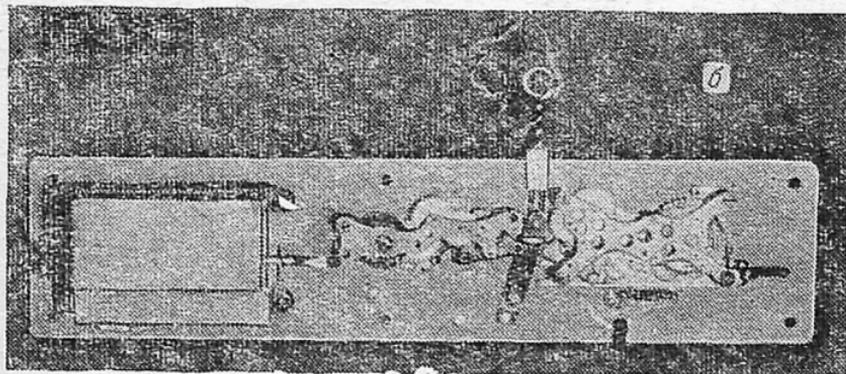
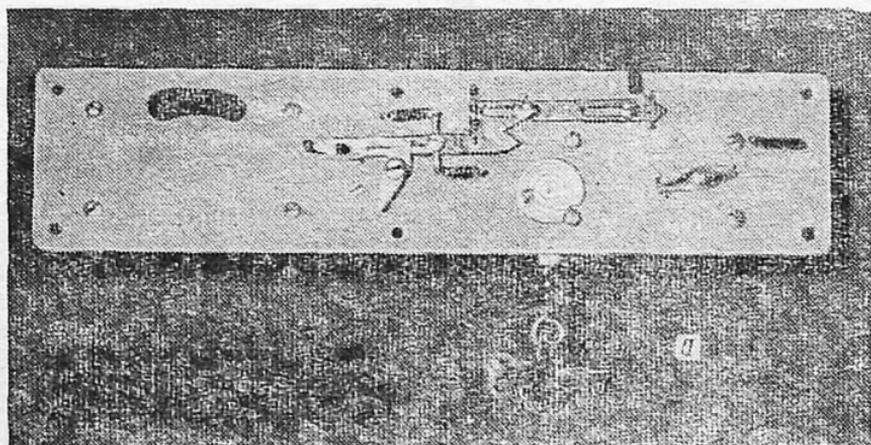
двигателя. Прежде чем делать выводы о достоинствах и исправности двигателя, надо хорошенько испытать его на стенде и проверить, не является ли причиной его плохой работы неудачная система питания на модели.

На быстроходных двигателях для получения максимальной мощности применяют очень широкие диффузоры, но они не в состоянии обеспечить необходимого для подсоса топлива разрежения. В этих случаях топливо в карбюратор подают под давлением из резинового бака или по одной из схем, показанных на рис. 61.

УПРАВЛЕНИЕ ДВИГАТЕЛЕМ В ПОЛЕТЕ

Регулирование режима работы авиамodelьных двигателей производится иглой жиклера до вылета модели. Однако в ряде случаев возникает необходимость изменять режим и продолжительность работы двигателя в полете. У таймерных моделей время работы двигателя после старта не должно превышать определенной, заранее установленной величины, лежащей в пределах 10 сек. У скоростных моделей свободного полета двигатель должен выключаться после того, как модель пролетит мерную базу. У радиоуправляемых моделей оператор должен иметь возможность менять режим работы двигателя и останавливать его в нужный момент.

Заметим, что для взлета радиоуправляемой модели требуется наибольшая мощность двигателя, т. е.



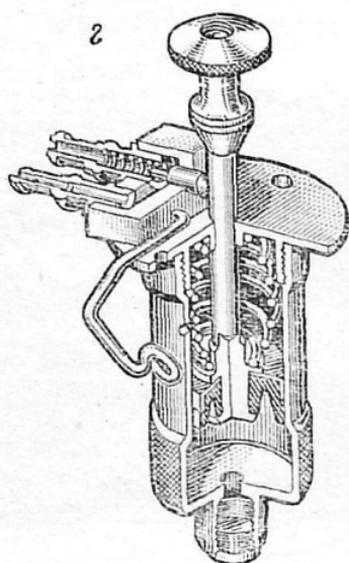
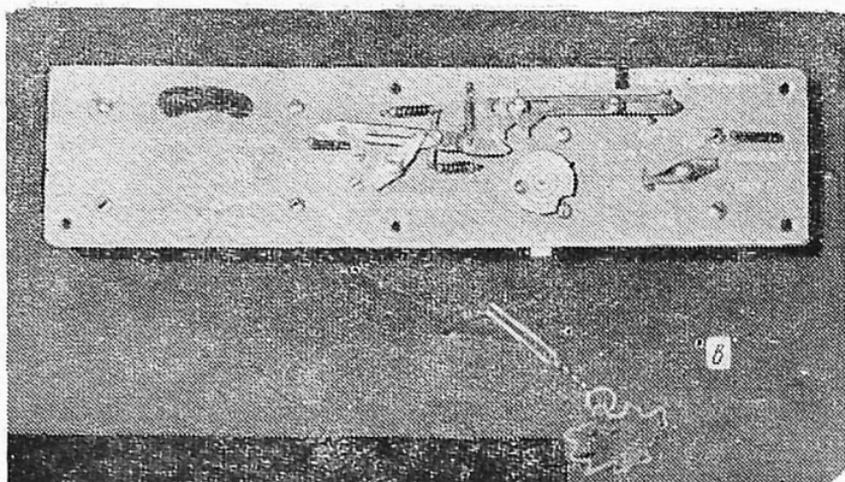


Рис. 64. Таймеры летающих моделей:
 механический: *а* — общий вид (на взводе); *б* — вид сзади; *в* — общий вид (сработавшего), чека вынута;
г — пневматический, перекрывающий топливопровод (вид в разрезе)

«полный газ». В полете может появиться необходимость убавить, прибавить обороты или остановить двигатель.

Изменения числа оборотов двигателя или его остановки в полете добиваются, прекращая подачу топлива, обогащая рабочую смесь и прикрывая (дросселируя) выхлопное отверстие двигателя или всасывающий патрубок.

Простейшим ограничителем времени работы двигателя является топливный бак заданного объема, при этом двигатель остановится, когда иссякнет топливо. Остановку двигателя в полете через определенное время осуществляют при помощи автоматического часового

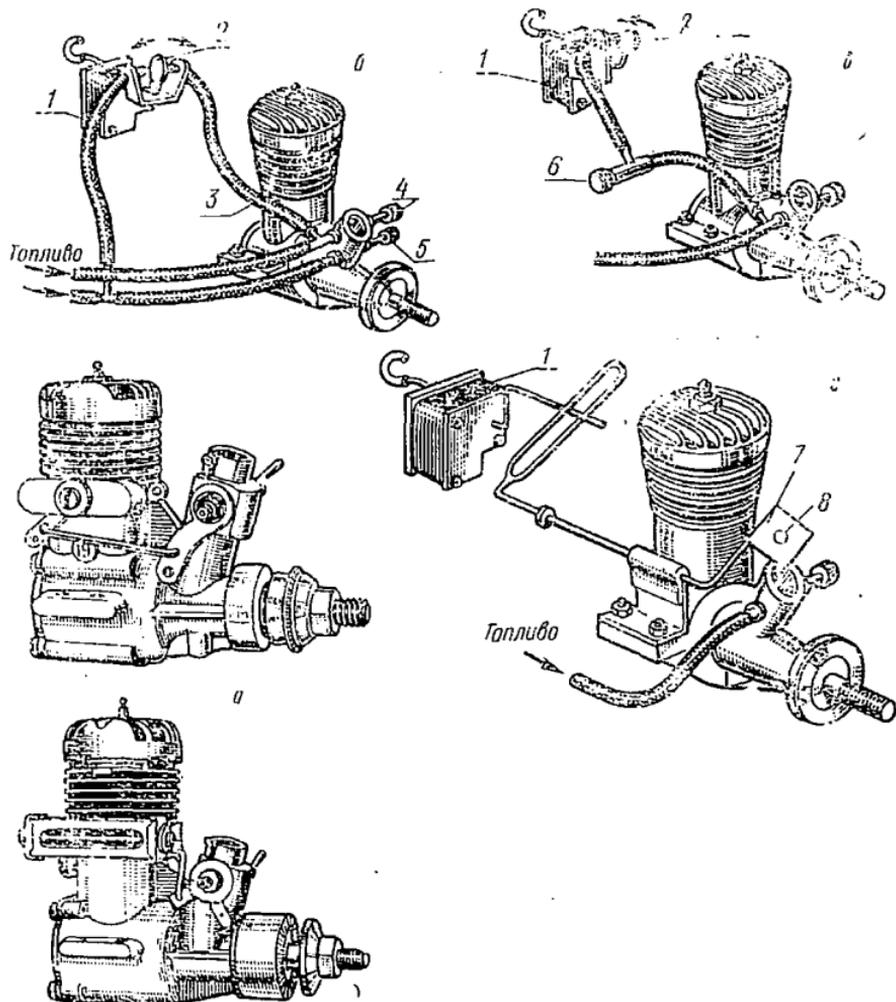
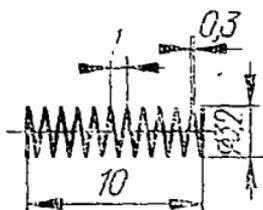


Рис. 65. Комбинированные механизмы изменения числа оборотов двигателя в полете, одновременно действующие на заслонку выхлопа и дроссельную заслонку *a* и схемы управления двигателем:

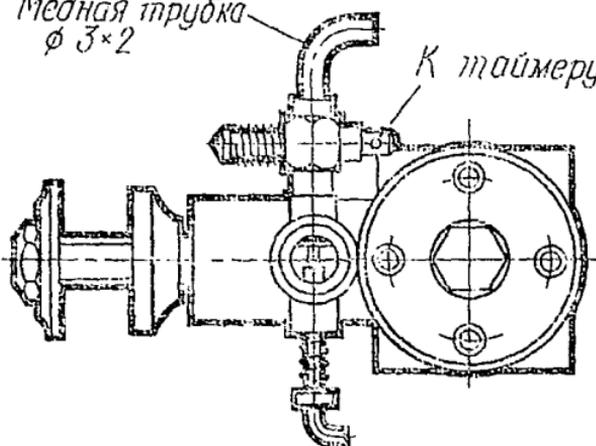
б — при помощи двух топливных жиклеров; *в* — одним воздушным и одним топливным жиклером; *г* — с помощью заслонки на карбюраторе; 1 — реле; 2 — заслонка; 3 — воздухопровод; 4 — жиклер топлива малых оборотов; 5 — жиклер топлива больших оборотов; 6 — жиклер воздуха; 7 — дроссельная заслонка; 8 — отверстие дроссельной заслонки

4

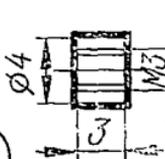


Медная трубка
φ 3×2

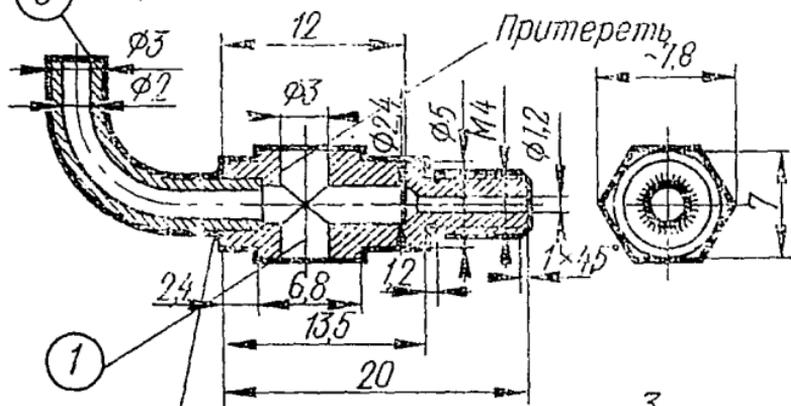
К таймеру



5

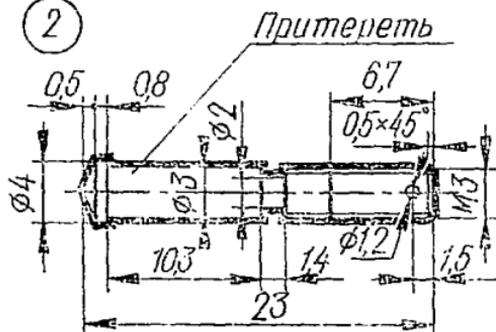


3



Паять оловом

2



3

4

5

2

1

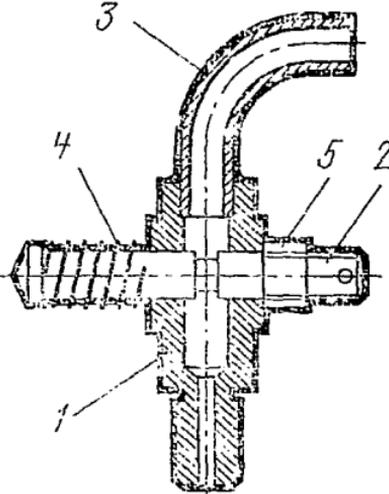


Рис. 66. Рабочий чертеж топливного крана

или пневматического механизма — таймера, закрывающего всасывающий патрубок или перекрывающего подачу топлива (рис. 64).

На рис. 65 показаны механизмы изменения числа оборотов двигателя. Наиболее интересна схема с использованием двух жиклеров. Такие механизмы и двигатели успешно применяются на радиоуправляемых моделях. Некоторые фирмы выпускают двигатели с двумя жиклерами.

На рис. 66 дан чертеж крана, применяемого для перекрывания подачи топлива.

ЭКСПЛУАТАЦИЯ АВИАМОДЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Под термином «эксплуатация» понимают все многообразные формы использования двигателя в действии, а также уход за ним и хранение. Большую часть неполадок, происходящих при эксплуатации авиамodelьных двигателей, можно отнести за счет неумелого с ними обращения.

Прежде чем что-либо делать с приобретенным двигателем, надо прочитать инструкцию обращения с ним и постараться ее выполнить.

Иногда двигатели для консервации подвергают такой смазке, при которой они могут длительное время храниться без вреда даже в сырых помещениях. Обычно для этого применяется густая (типа вазелина) жирная смазка. Перед пуском такой двигатель необходимо расконсервировать, т. е. тщательно удалить смазку с поверхности и из полости цилиндра. Последнее особенно важно, так как смазка в цилиндре собирается при повороте вала в камере сгорания и, если приложить излишнее усилие, шатун или вал могут сломаться.

Расконсервацию проще всего сделать, опустив двигатель на несколько минут в кипяток (если бак из оргстекла, то его надо снять). Смазка расплавится и поднимется на поверхность воды. Осторожно поворачивая вал, дать смазке стечь из цилиндра и картера, обтереть двигатель, смазать моторным маслом и повернуть вал

несколько раз. Если он ходит нормально, можно приступить к запуску двигателя.

Большинство авиамодельных двигателей, выпускаемых серийно, достаточно хорошо опробовано, и запустить их несложно. Но с ними необходимо квалифицированно обращаться и внимательно исполнять инструкции завода-изготовителя или фирмы.

Даже чтобы запустить хороший двигатель, нужно некоторое терпение, время и навык. Часто случается, что нарекания на работу двигателя не обоснованы и являются следствием нарушения элементарных правил обращения с ним.

ОБЩИЕ СОВЕТЫ

1. Не разбирайте двигатель без особой на то необходимости. Разобрать и прочистить его следует, если он ткнулся в песок, мягкий грунт и т. п.

2. Избегайте запускать двигатель в пыльных местах.

3. Не используйте топливо с форсирующими присадками до окончания обкатки двигателя.

4. Фильтруйте горючее перед заправкой в бак. Устанавливайте фильтры между баком и жиклером.

5. Прежде чем ставить двигатель на модель, испытайте его на стенде.

6. Не зажимайте двигатель в тисках или струбцинах непосредственно за картер.

7. Крепите двигатель только в местах, предусмотренных на картере двигателя (ушки, лапки, фланцы).

8. Имейте в виду, что наибольшую мощность двигатель будет развивать после обкатки в течение $1/4$ — $1/5$ его ресурса.

9. Не забывайте, что долговечность работы двигателя зависит от того, как произведете его обкатку.

10. Не применяйте излишнего усилия при повороте винта, так как всякое затруднение в нормальном ходе двигателя имеет механическую причину: слишком завернут контрпоршень, двигатель залит. Поворачивание вала с применением чрезмерных усилий может привести к порче жизненно важных деталей механизма двигателя.

КРЕПЛЕНИЕ ДВИГАТЕЛЯ

Существует два основных вида крепления двигателя: первый — болтами к деревянным брускам (рис. 67), второй — к переднему шпангоуту, такой способ называется торцевым креплением.

Большая часть двигателей с рабочим объемом менее $2,5 \text{ см}^3$ крепится на фланце или на баке, так как приме-

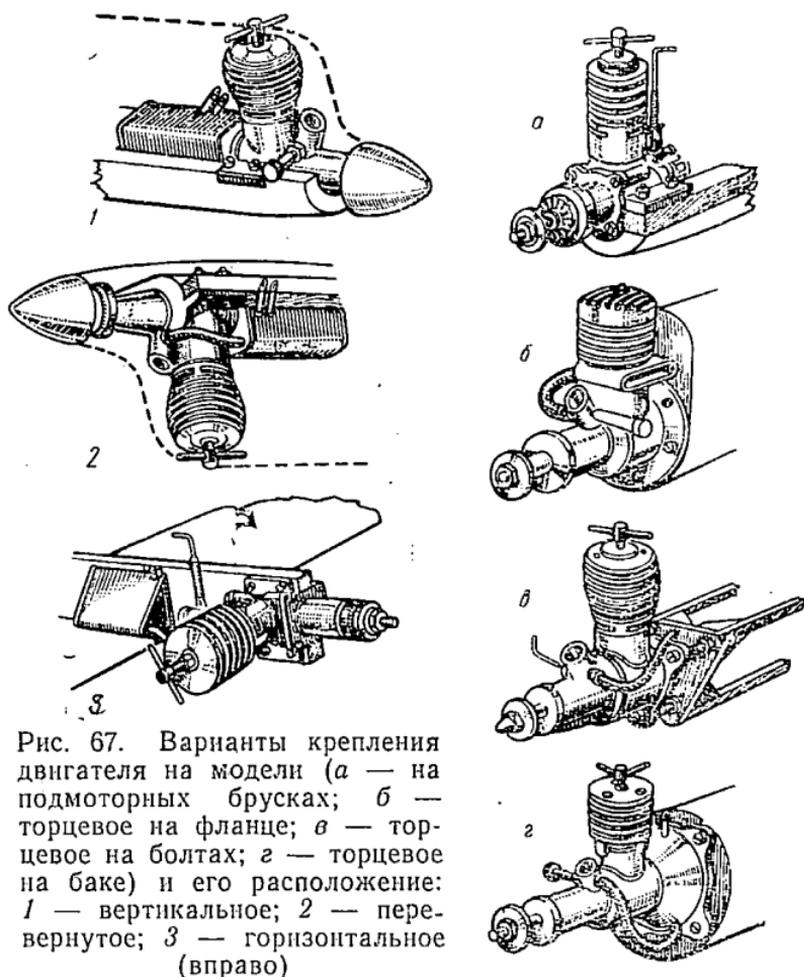


Рис. 67. Варианты крепления двигателя на модели (а — на подмоторных брусках; б — торцевое на фланце; в — торцевое на болтах; г — торцевое на баке) и его расположение: 1 — вертикальное; 2 — перевернутое; 3 — горизонтальное (вправо)

нять подмоторные рамы для таких маленьких двигателей излишне. Оба способа себя оправдали и имеют среди моделлистов своих приверженцев. Для двигателя объемом свыше $2,5 \text{ см}^3$ наиболее надежен способ крепления на брусках. Применяют и металлические моторные ра-

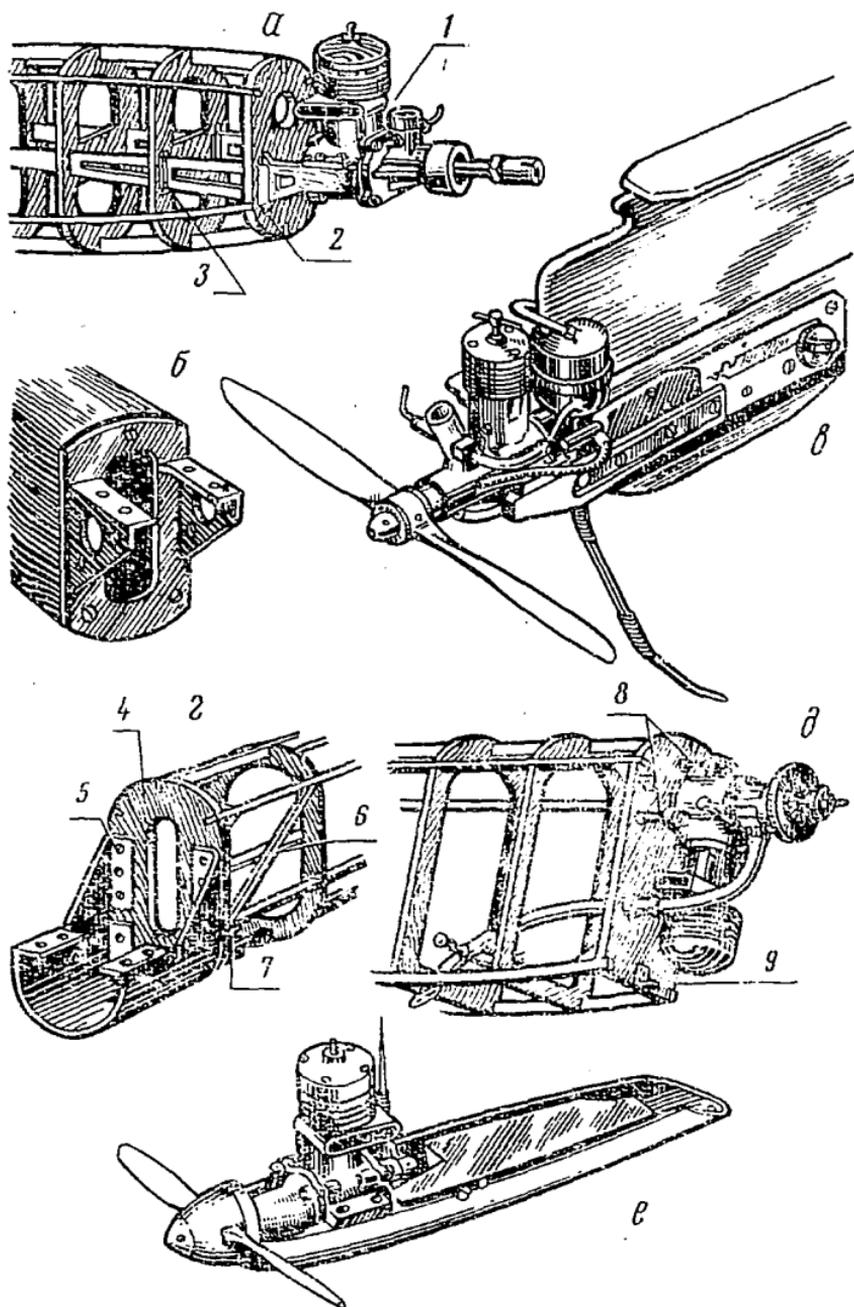


Рис. 68. Конструкции моторам:

a — деревянная (1 — двигатель; 2 — деревянные уголки; 3 — текстильная лента); *б* — металлическая фрезерованная; *в* — дюралюминиевая (для таймерной модели); *г* — металлическая гнутая (4 — усиленный шпангоут; 5 — заклепки или болты; 6 — раскос; 7 — кница); *д* — крепление двигателя тремя болтами (8 — болты; 9 — ушко крепления капота); *е* — литой низок скоростной модели

мы, гнутые из листового металла или фрезерованные (рис. 68).

Крепление двигателей требует особого внимания. Все болты и гайки должны конtringься. Для этого применяют пружинные шайбы или, просверлив детали крепления, пропускают в отверстие шплинт, или мягкую стальную проволоку и обвязывают так, чтобы отвертывания не могло произойти. Для предотвращения аварий необходимо тщательно следить за состоянием крепления двигателя.

УСТАНОВКА ДВИГАТЕЛЯ НА МОДЕЛЬ

Двигатель можно установить на модель вертикально, горизонтально вправо, горизонтально влево и в перевернутом положении (см. рис. 67). Наиболее благоприятно для работы двигателя вертикальное положение. Горизонтальное положение применяется тоже часто, так как в некоторых случаях такая установка уменьшает лобовое сопротивление модели.

В зависимости от направления выхлопного патрубка и органов управления выбирают правое и левое положение, исходя из удобства эксплуатации. Перевернутое расположение двигателя привлекает конструкторов красотой технического решения. Однако такое крепление вызывает ряд неудобств при эксплуатации, например, компрессионных двигателей, так как подход к винту контрпоршня при стоянке на земле затруднен. Кроме того, такое крепление часто приводит к перезаливке цилиндра, что затрудняет запуск двигателя и может привести к поломке шатуна или шейки вала. Поэтому, запуская двигатель, установленный в перевернутом положении, следует помнить об этом и в случае перезаливки поворачивать модель набок, чтобы дать стечь горючему из цилиндра в выхлопные окна.

ВЫБОР ТОПЛИВНЫХ СМЕСЕЙ

Выбирать рецепт топливной смеси следует, исходя из наличия составных частей по рецепту, цели запуска и степени изношенности двигателей.

Чтобы сохранить ресурс двигателя, рекомендуется все пробные запуски и испытания системы питания про-

водить на рекомендованных фирмой топливных смесях. При последних тренировках перед ответственными соревнованиями необходимо пользоваться только тем горючим, которое разрешено правилами соревнований. Не нужно применять в зачетных полетах на соревнованиях горючее, ранее не опробированное на данном двигателе.

Для облегчения запуска при неотчетственных полетах в жаркую погоду, когда температура воздуха превышает $+25^{\circ}\text{C}$, следует увеличивать содержание масла в смеси из расчета 0,5% масла на один градус. При температуре воздуха ниже 0° и до -15°C содержание масла надо уменьшить из расчета 0,5% на один градус понижения температуры.

Чтобы получить лучшие результаты на соревнованиях, необходимо подбирать смесь для конкретного двигателя и условий, т. е. иметь подобранные две-три смеси для температур с разрывом в 10° , например для $+20$, 30 , 40° — три смеси. Тогда переход на другой состав топливной смеси, наиболее отвечающий данным условиям в процессе соревнований, может улучшить результат.

СОСТАВЛЕНИЕ ТОПЛИВНЫХ СМЕСЕЙ

При составлении топливной смеси надо иметь чистую посуду — мензурку или посуду с делениями объема (рис. 69), воронку с мелкой сеткой и гигроскопическую вату или фильтровальную бумагу.

Первым следует влить в мензурку горючее, затем масло, тщательно перемешать их, отстоять, профильтровать и тогда добавить присадки. Затем опять перемешать и вновь фильтровать через воронку с сеткой, бумагу или вату. Помутнение составов свидетельствует о том, что в топливе содержится вода. Чаще всего это бывает в спиртах. Тогда спирт нужно обезводить или взять из другой партии. Касторово-спиртовые смеси дают отстой в виде белых хлопьев, и их можно отделить фильтрованием.

Топливные смеси для гоночных и рекордных полетов требуют особенного внимания и чистоты при составлении. Рекомендуется смесь подогреть в закрытой высокой посуде (колбе или бутылке) до $30-40^{\circ}$, остудить взболтать и дать отстояться в посуде, налитой доверху,

в течение двух-трех дней, затем осторожно, не толкая посуду, отстоявшуюся смесь слить сифоном (трубкой) сверху на $\frac{2}{3}$ содержимого посуды. Остальную $\frac{1}{3}$ у дна можно профильтровать и использовать для тренировочных полетов.

Амилнитрит расфасовывается и продается в ампулах. При обломе кончика ампулы летучие вещества испаряются. Для того чтобы избежать такой потери, надо поступить так: топливную смесь налить в открытую банку, ампулы с амилнитритом опустить на дно посуды и там их раздавить деревянным стержнем. Остатки ампулы и мелкие стекла останутся на дне.

Когда амилнитрит растворится в топливной смеси, ее надо профильтровать.

Несмотря на большую разницу в удельных весах масла и воды, в нижних слоях масла всегда имеется вода в виде мельчайших капелек. Это обстоятельство необходимо учитывать.

ХРАНЕНИЕ ТОПЛИВНЫХ СМЕСЕЙ И ГОРЮЧИХ СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Всякое топливо в той или иной мере огнеопасно, а при повышенных температурах более $25-30^{\circ}\text{C}$ воздуха и взрывоопасно. Поэтому его надо хранить в соответствующих местах и в чистой стеклянной или металлической, герметически закрываемой посуде.

Все виды топлива от действия солнечного света разлагаются, из них испаряются наиболее легкие частицы и происходит осмоление, вследствие чего они теряют свои



Рис. 69. Посуда для топливных смесей:
a — для составления; *б* — для хранения и старта; 1 — мензурка; 2 — медицинская банка; 3 — детская молочная бутылка; 4 — бидон; 5 — бутылки, флаконы полиэтиленовые

качества, а поэтому их надо хранить в темных местах и в темной посуде при температурах не выше 15—20°C.

На солнце и в теплых местах нельзя хранить горючее даже в закрытой посуде.

ЗАПРАВКА ТОПЛИВНОЙ СМЕСЬЮ

Проходное сечение жиклера карбюратора чрезвычайно мало — равно примерно 0,1—0,2 мм². Такое отверстие может легко засориться, поэтому посуда, из которой заправляется двигатель, должна быть всегда чистой. Не следует пользоваться обычными пробками, деревянными или бумажными затычками.

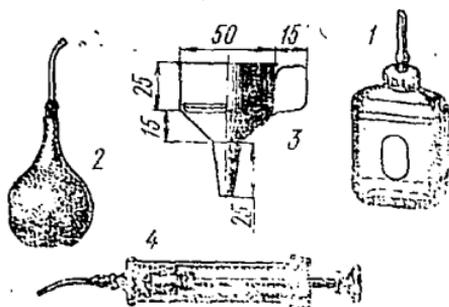


Рис. 70. Принадлежности для заправки баков моделей топливом:

- 1 — бидон (полиэтиленовый, эластичный);
- 2 — груша с наконечником (трубка $\varnothing 3 \times 2$);
- 3 — воронка;
- 4 — шприц медицинский (20 см³)

Лучше всего употреблять полиэтиленовую посуду с пробками на резьбе, с фибровой прокладкой (рис. 70).

Не кладите на землю воронки, шланги, пробки, трубки. При заливке топлива в бак модели удобно пользоваться медицинским шприцем емкостью 20—25 см³, а для спиртовых смесей — резиновой грушей или полиэтиленовым баллоном.

СТАРТОВОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ЗАПУСКА КАЛИЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Стартовое оборудование для калильных двигателей состоит из источника электроэнергии (аккумулятора или батарей), проводников, оборудованных наконечниками для подсоединения контрольного прибора, и иногда стартера.

Источником энергии при запуске без стартера может служить небольшой аккумулятор, дающий напряжение 2—3 в, или два сухих элемента типа 1,5 ТМЦ-29,5 с начальным напряжением 1,5 в.

При запуске со стартером необходим автомобильный или авиационный аккумулятор с напряжением и емкостью, обеспечивающими работу стартера. При этом накал свечи обеспечивается от одной или от двух банок аккумулятора (рис. 71).

Проводники должны быть мягкими и прочными, в эластичной, желательной резиновой, изоляции, предо-

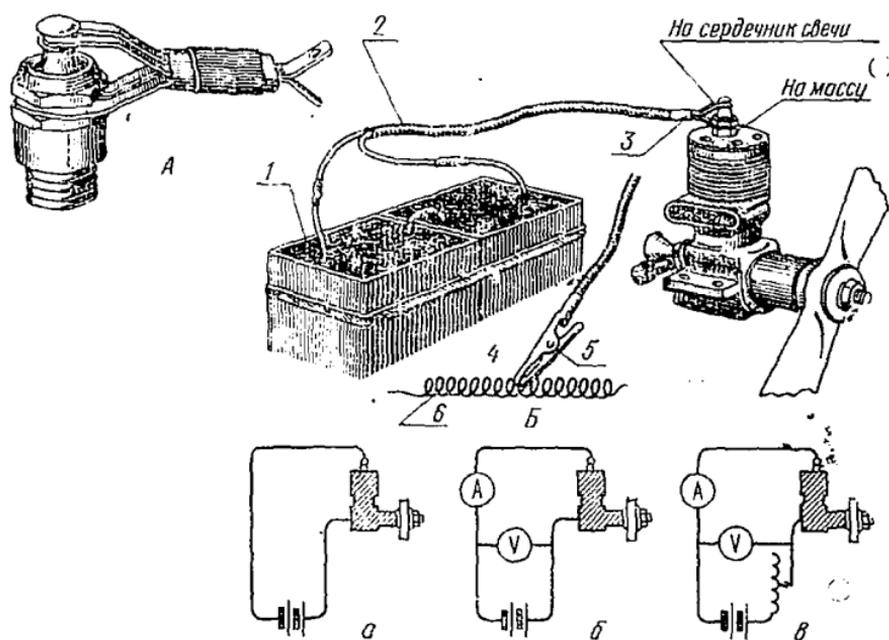


Рис. 71. Схема подсоединения источника тока к свече калильного двигателя:

А — штеккер для подсоединения проводников к калильной свече; Б — схемы подключения; а — без приборов; б — с приборами контроля; в — с приборами и реостатом; 1 — батарея; 2 — проводники в изоляции; 3 — штеккер; 4 — простейший реостат; 5 — зажим; 6 — спираль

храняющей от влаги, влияния горючих смесей и механических повреждений, возможных при работе со стартером. Концы проводников следует оборудовать зажимами, обеспечивающими надежное и простое подсоединение.

К свече должны идти два проводника, оканчивающиеся специальным штеккером, который соединяется с сердечником и корпусом свечи.

Свечи различных конструкций требуют разной силы тока для их накала. Аккумуляторы и батареи также раз-

личны, с течением времени их напряжение падает, поэтому возникает необходимость в регулировании напряжения, что делается реостатом. В этом случае используют реостаты от радиоаппаратуры. При отсутствии реостата его можно заменить дополнительным сопротивлением из проволоки от спирали электроплитки. Длину проволоки надо подбирать практически.

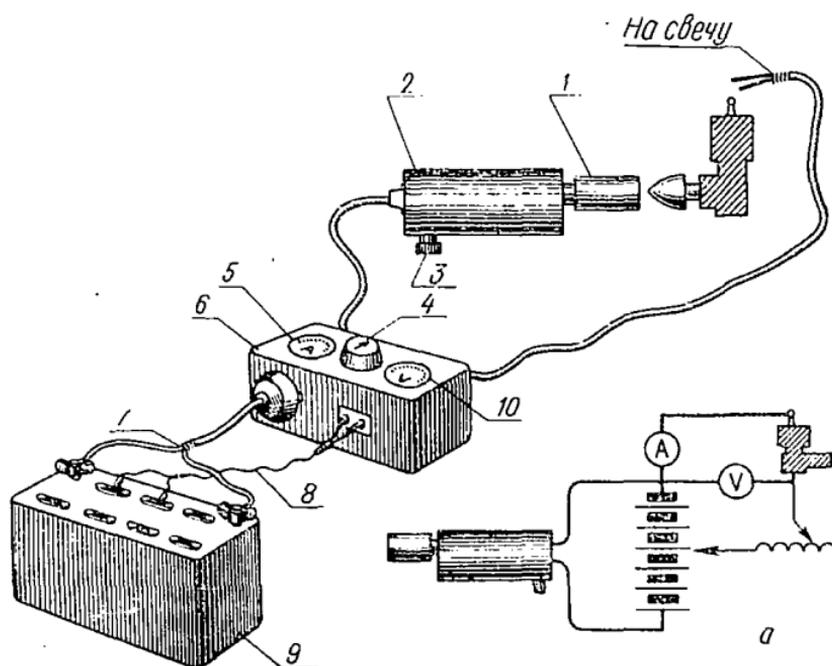


Рис. 72. Схема подключения блока приборов и стартера при запуске калильного двигателя:
a — схема подключения; 1 — муфта; 2 — стартер; 3 — включатель; 4 — реостат; 5 — амперметр; 6 — блок прибора; 7 — питание стартера; 8 — питание для свечи; 9 — аккумулятор; 10 — вольтметр

Для контроля степени накала свечи необходимо иметь приборы: вольтметр до 5 в и амперметр до 10 а.

Рабочее напряжение свечей, которое сейчас применяется, колеблется от 1,5 до 3 в, а сила тока достигает 6 а, сопротивление свечи колеблется от 0,5 до 2 ом.

Приборы контроля и реостат удобно иметь в одном блоке, на нем же располагаются гнезда для подсоединения проводников (рис. 72). Применение такого блока создает удобство и обеспечивает надежность запуска двигателя на старте.

Стартеры. Запуск двигателей, выпускаемых в продажу для широкого круга авиамodelистов, не вызывает трудностей при наличии небольшого навыка. Однако скоростные двигатели не всегда легко запускаются.

Поэтому в условиях соревнований, когда время для запуска модели ограничено, часто применяют старте-

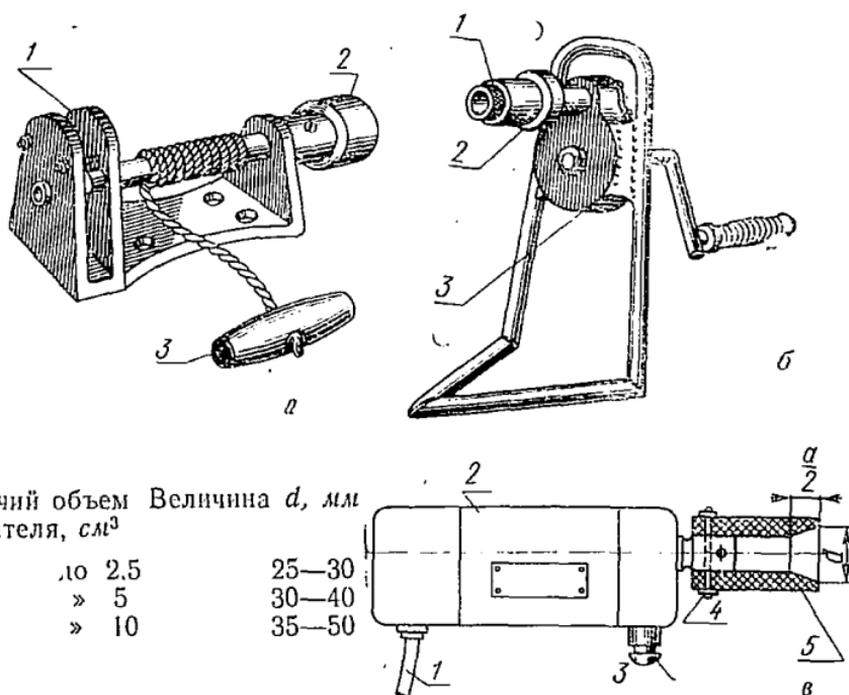


Рис. 73. Стартеры:

a — механический шнуровой (1 — механизм намотки шнура; 2 — фрикционная муфта; 3 — пусковая рукоять); *б* — механический с ручным приводом (1 — фрикционная муфта; 2 — маховик; 3 — механизм повышающей передачи); *в* — электрический (1 — провод; 2 — двигатель; 3 — включатель; 4 — заклепки; 5 — фрикционная муфта)

ры — механические устройства, вращающие вал двигателя при запуске. Стартеры бывают механические шнуровые, с ручным приводом и электрические (рис. 73).

На конце вала стартера имеется резиновый наконечник, который обычно делают из толстостенного резинового (дюритового) шланга. Наконечник прижимают к обтекателю винта и включают стартер. Сила трения оказывается достаточной, чтобы вращался вал двигателя и

преодолевалась компрессия. Рекомендуемые диаметры наконечников для двигателей различных кубатур показаны на рис. 73. Число оборотов вала стартера должно быть в пределах 2000—3000 об/мин.

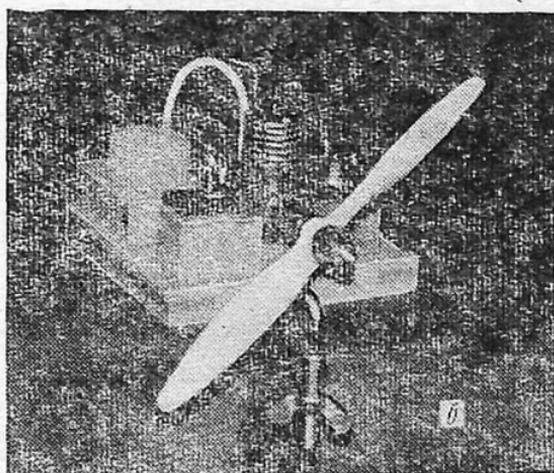
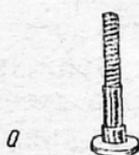
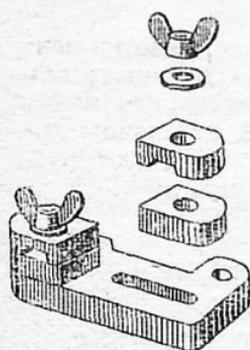
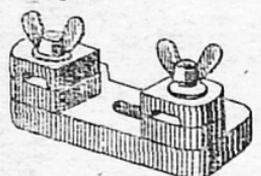
Механические стартеры приводят во вращение либо рукояткой, либо шнуром.

Электростартеры более удобны, но они тяжелее, так как требуют аккумулятор емкостью 20—30 а·ч,

В качестве двигателя для электростартера можно применять самолетные сервомоторы типа СТ-1, МУ-350 или другие электромоторы стартерного типа, имеющие большой крутящий момент и рассчитанные на кратковременные подключения. Наличие на соревнованиях стартера ускоряет запуск и освобождает моделиста от лишней работы и волнений на старте.

ПЕРВАЯ ПРОБА ДВИГАТЕЛЯ

Первые запуски двигателя рекомендуется проводить не на модели, а на стенде. Под стендом понимают балансирный станок или крепкую доску, привернутую к



столу или зажатую в тисках. Двигатель следует прикреплять только к местам, специально для этого предназначенным. Ни в коем случае нельзя зажимать двигатель в тиски, струбцины и т. д., так как это вызывает поломки и деформации двигателя. Полезно иметь универсальные зажимы. Хорошо закрепленный двигатель легко опробовать и можно точнее судить о его работе (рис. 74).

После того как двигатель опробован и в случае необходимости устранены неполадки, приступают к установке его на модель.

ЗАПУСК КОМПРЕССИОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

1. Отверните на два оборота винт контрпоршня.
2. Указательным пальцем левой руки прикройте всасывающий патрубок.
3. Правой рукой сделайте три-четыре оборота винта, этим осуществляется подача горючего в картер.

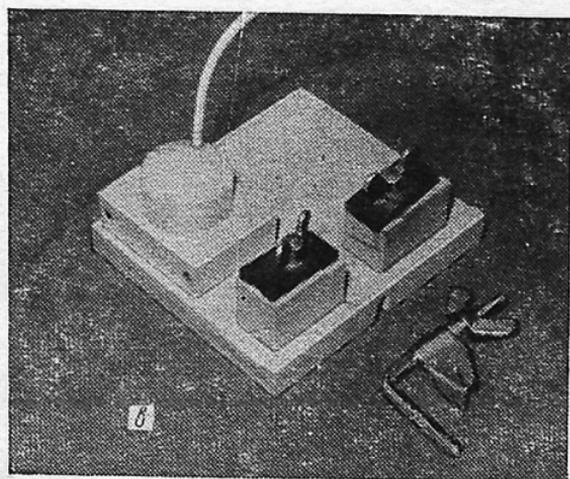
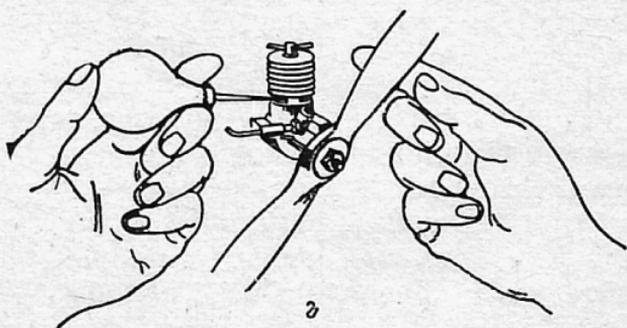


Рис. 74. Приспособления для закрепления двигателей при опробовании:

а — зажимы; *б*, *в* — универсальный стенд для опробования двигателей; *г* — приемы заливки масла через выхлопные окна и заводка двигателя



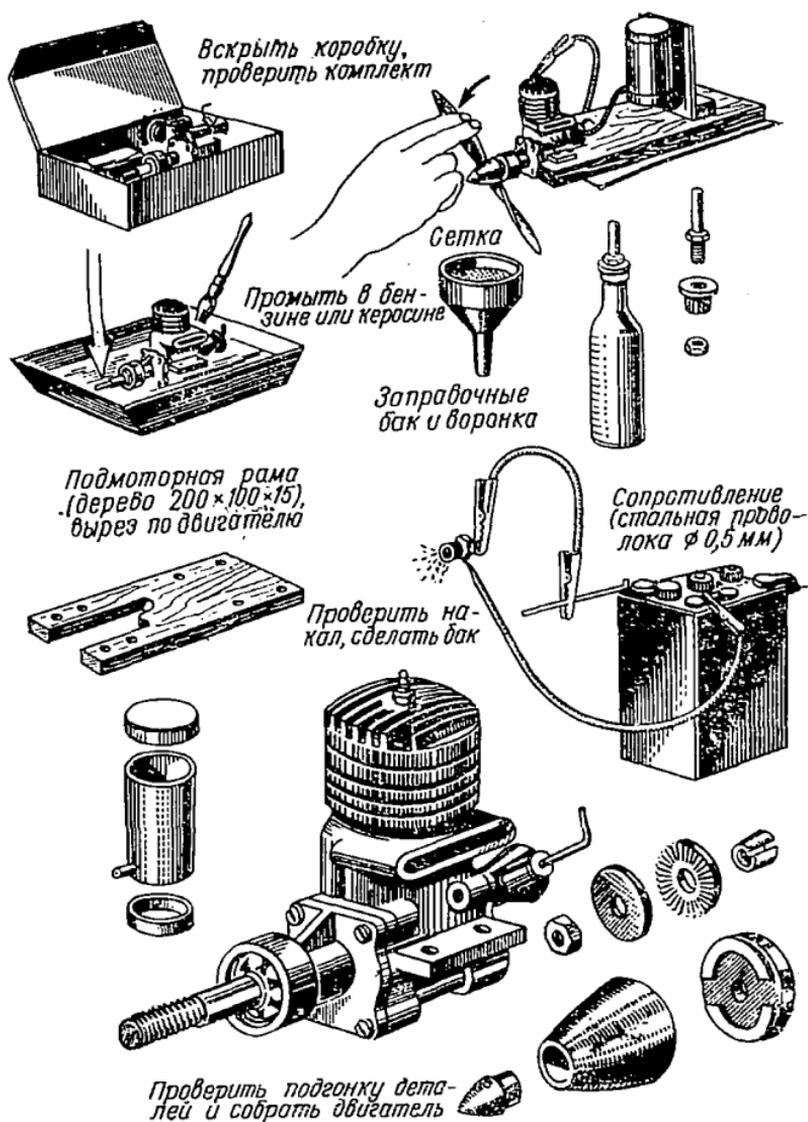


Рис. 75. Подготовка двигателя к пуску

4. При затруднении запуска на холоде или при запуске изношенного двигателя полезно залить через выхлопное окно в цилиндр несколько капель горючей смеси или масла. Во время испытания на стенде иглу карбюратора и винт контрпоршня регулируйте левой рукой.

5. Указательным пальцем правой руки рывком вращайте винт (располагайте пальцы ближе к втулке) (рис. 75).

6. Если модель держит помощник, то для запуска двигателя применяются те же приемы, что и при запуске на стенде.

7. Если заводите модель один, держите ее в левой руке, винт вращайте правой. Регулируйте иглу и регулировочный винт контрпоршня правой рукой.

8. В случае обратных вспышек регулировочный винт открутите на один-два оборота. Когда двигатель заработает, закручивайте регулировочный винт до получения ровного тона звука работы двигателя. Если при дальнейшем завертывании двигатель сбавляет обороты, отверните винт обратно, так как иначе части кривошипно-шатунного механизма могут быть разрушены.

9. Подрегулируйте работу двигателя иглой, добейтесь ровного тона звука его работы.

10. Для того чтобы запустить двигатель стартером, надо установить ту регулировку иглы жиклера и контрпоршня, при которой двигатель нормально работал. Затем отверните на два оборота регулировочный винт контрпоршня, закройте пальцем всасывающий патрубок и проверните четыре-пять раз пропеллер, а потом вращайте стартером вал двигателя.

НЕПОЛАДКИ ПРИ ЗАПУСКЕ КОМПРЕССИОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ И ИХ УСТРАНЕНИЕ

<i>Неполадки</i>	<i>Причины</i>	<i>Устранение</i>
Двигатель заводится, работает на малых оборотах и останавливается	Богатая смесь	Заверните на пол-оборота иглу жиклера
	Велнка компрессия	Отверните на пол-оборота винт контрпоршня
Двигатель запускается, работает на больших оборотах и вдруг останавливается	Бедная смесь	Отверните на пол-оборота иглу жиклера, проверьте топливную трубку, отверстие жиклера, диффузор, всасывающий патрубок, промойте топливопровод и запустите двигатель снова

<i>Неполадки</i>	<i>Причины</i>	<i>Устранение</i>
Двигатель не дает вспышек	Двигатель залит топливом	Заверните иглу и вращайте пропеллер до тех пор, пока топливо из картера не будет выброшено или двигатель заведется и выработает топливо. Отверните иглу жиклера и повторите запуск

ЗАПУСК ДВИГАТЕЛЕЙ С КАЛИЛЬНЫМ ЗАЖИГАНИЕМ

1. Отверните иглу жиклера на указанное в инструкции число оборотов или на один оборот больше тех, на которых двигатель успешно работал в предыдущем запуске.

2. Зажмите пальцем всасывающий патрубок и проверните три-четыре раза пропеллер; этим осуществляется подсос горючего в картер.

3. При затрудненном запуске на холоде или при запуске изношенного двигателя полезно залить в цилиндр через выхлопное окно несколько капель горючей смеси или масла.

4. Подсоедините к свече проводник от батареи (см. рис. 75) и рывком указательного пальца правой руки вращайте пропеллер.

5. После того как двигатель даст вспышки и начнет устойчиво работать, отсоедините батареи и, завинчивая иглу, добейтесь желаемого режима работы двигателя.

6. Общие рекомендации по обращению с калильным двигателем те же, что и для компрессионных.

НЕПОЛАДКИ ПРИ ЗАПУСКЕ КАЛИЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ И ИХ УСТРАНЕНИЕ

<i>Неполадки</i>	<i>Причины</i>	<i>Устранение</i>
Двигатель заводится, работает на малых оборотах и останавливается	Богатая смесь	Заверните на пол-оборота иглу жиклера

<i>Неполадки</i>	<i>Причины</i>	<i>Устранение</i>
Двигатель запускается, работает на больших оборотах и вдруг останавливается	Бедная смесь	Отверните на пол-оборота иглу жиклера. Проверьте систему питания (бачок, жиклер), нет ли засорения
Двигатель останавливается после отсоединения батареи накала	Двигатель не прогрет	Дайте дольше поработать с неотсоединенной батареей, заверните на пол-оборота иглу жиклера
Двигатель не запускается	Сгорела свеча	Проверьте свечу, замените новой
Сгорает свеча	Велик накал спирали	Уменьшите напряжение, подаваемое от батарей (цвет накала должен быть вишневым)
	Поздно отключена батарея	Замените свечу и раньше отключите батарею
Двигатель работает с подвыванием	Бедная смесь	Отверните на пол-оборота иглу жиклера
Двигатель дает перебои	Обедненная смесь	Отверните на пол-оборота иглу жиклера
	Остывает свеча	Поставьте свечу с более длинной спиралью

РЕГУЛИРОВКА ДВИГАТЕЛЯ

Условия работы двигателя в полете иные, чем на стенде: меняется охлаждение, число оборотов, наддув бака и карбюратора, давление топлива в жиклере. В основном меняются условия работы топливной системы.

Регулировку двигателя модели на земле следует производить с учетом тех изменений, которые происходят в полете. Так, если двигатель работает с нарастающим числом оборотов, а затем с рывками, то это свидетельст-

вует о недостатке топлива. На земле перед вылетом надо обогатить смесь.

Если двигатель в полете переходит на рокочущий режим со снижением числа оборотов, появляется дым в выхлопных газах, что указывает на избыток топлива, надо убавить подачу топлива.

ОБКАТКА

Новый двигатель, только что изготовленный заводом, развивает мощность ниже своих возможностей, так как детали его механизма не приработались. Время в часах, необходимое для приработывания деталей, называют обкаткой.

Обкатка бывает холодная и горячая. Холодной называется обкатка, при которой двигатель не работает, а вал его вращают принудительно посредством какого-либо привода. При горячей обкатке двигатель работает самостоятельно. Обычно холодная обкатка предшествует горячей.

При запуске двигателя стартером нельзя перезаливать топливо и пережимать контрпоршень, так как это может привести к поломке вала или шатуна. Наполнение камеры сгорания топливом легко происходит при перевернутом и горизонтальном расположении двигателя.

Заводы-изготовители указывают в инструкции продолжительность горячей обкатки, дают общие рекомендации и рецепты топлива без форсирующих присадок с увеличенным содержанием масла. Во время обкатки не следует перегружать двигатель, т. е. давать работать на высоких для данного двигателя числах оборотов.

При холодной обкатке конец вала нужно обернуть фольгой или плотной бумагой, зажать в патрон токарного станка или электродрели. Перед пуском станка надо до отказа отвернуть винт регулировки контрпоршня или вынуть сам контрпоршень, так как вследствие заполнения маслом камеры сгорания может произойти поломка подвижных частей двигателя. Затем следует включить станок и дать повращаться валу некоторое время. Двигатель все время должен быть смазан.

После того как вал двигателя будет вращаться без особых усилий рукой, его нужно разобрать, промыть в

бензине, осмотреть, смазать и собрать вновь. В случае заеданий каких-либо деталей обкатку надо прекратить, места трения зашлифовать мелкой шкуркой (зерно 180—200) или дополнительно притереть, затем продолжить обкатку.

В процессе обкатки винты в резьбовых соединениях могут под действием вибрации и высокой температуры ослабнуть. Поэтому периодически необходимо проверять затяжку винтов и резьбовых соединений и подтягивать их.

РЕСУРС ДВИГАТЕЛЯ

Время в часах, в течение которого двигатель изнашивается до состояния, когда перестает надежно работать и запускаться, называется рабочим ресурсом.

Чем больше при данном рабочем объеме мощность и число оборотов двигателя, тем меньше его рабочий ресурс.

Отсюда важные выводы: нельзя «гонять» двигатель без необходимости. Большие обороты следует давать только тогда, когда это надо. Всеми путями нужно стараться избегать попадания пыльного воздуха во всасывающий патрубок во время работы двигателя.

ИСПЫТАНИЕ АВИАМОДЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Испытать двигатель значит определить его внешнюю характеристику, литровую мощность, рабочий объем цилиндра и степень сжатия, его пусковые свойства и работу на различных режимах, выявить слабые стороны. Для того чтобы получить эти данные, надо измерить число оборотов вала двигателя, крутящий момент, степень сжатия и сделать другие измерения.

ИЗМЕРЕНИЕ ЧИСЛА ОБОРОТОВ ВАЛА ДВИГАТЕЛЯ

Число оборотов измеряется количеством оборотов вала в одну минуту. Часто моделисты определяют обороты двигателя на глаз или на слух, что очень обманчиво и

неизбежно приводит к ошибочным выводам. Число оборотов двигателя можно определить центробежным тахометром *а* (рис. 76). Тахометр — довольно дорогой прибор, и авиамodelисты с успехом могут заменить его счетчиком оборотов *б*, сделанным из

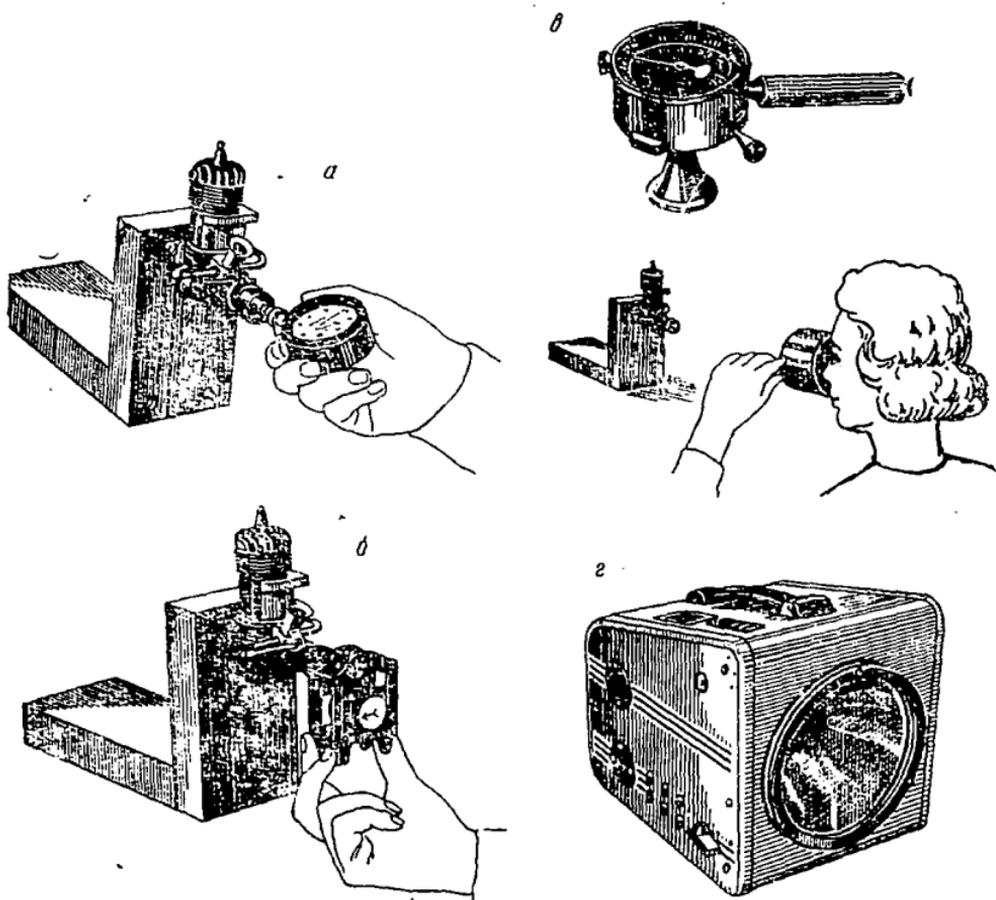


Рис. 76. Приборы для измерения чисел оборотов вала двигателей: *а* — центробежный тахометр; *б* — самодельный счетчик оборотов, сделанный из механизма будильника; *в* — стробоскопический тахометр; *г* — электронный стробоскоп

часового механизма старого будильника. Для этого, вынув анкерную вилку пускового механизма и пружину с храповиком, удлиняют ось самого малого секундного колеса (первого, действующего от анкерной вилки). На удлиненную ось надевают плотную резиновую трубку или туго навитую пружину сечением 5×3 мм, при помощи которой и производится соединение с валом.

Сделав это, надо определить соотношение числа оборотов шестерни с удлиненным валом, который соединяется с валом двигателя и осью секундной стрелки. Обычно это число составляет отношение 1:60. Таким образом, за 60 оборотов оси прибора минутная стрелка делает только один полный оборот, а часовая $1/60$ часть оборота.

Число оборотов вала двигателя этим прибором измеряется так: присоединив ось прибора к вращающемуся валу, его держат включенным одну минуту, проверяя время включения по часам или по секундомеру (см. рис. 76). Отсчет, полученный по часовой и минутной стрелкам, покажет число оборотов вала двигателя. Чтобы сократить время присоединения счетчика оборотов, рекомендуется включить его на 6 сек и умножить результат на 10. Таким способом получится тот же результат числа оборотов вала в минуту с несколько меньшей точностью.

Измеряя число оборотов непосредственным подсоединением прибора к валу, необходимо следить за тем, чтобы не было проскальзывания между соединяющим наконечником прибора и валом.

Замер числа оборотов без непосредственной связи с вращающимся валом более желателен, так как в этом случае операция измерения не влияет на скорость вращения вала.

Большая часть таких приборов действует как стробоскопы и называется стробоскопическим тахометром (см. рис. 76, в). Число оборотов измеряют путем зрительного наблюдения сквозь щель в диске, скорость вращения которого можно подгонять под число оборотов винта. В момент, когда число оборотов диска и вращающегося вала винта, число оборотов которого мы измеряем, совпадает, глаз человека перестает различать движение вала и он кажется неподвижным. Зафиксированное число оборотов диска стробоскопического тахометра будет равно числу оборотов вала двигателя, следовательно, взятый в этот момент отсчет по прибору покажет истинное число оборотов вала двигателя.

При таком виде измерения следует остерегаться ошибки измерения при кратном числе оборотов в 2,4 и 8 раз, так как в этих случаях вал также будет казаться неподвижным.

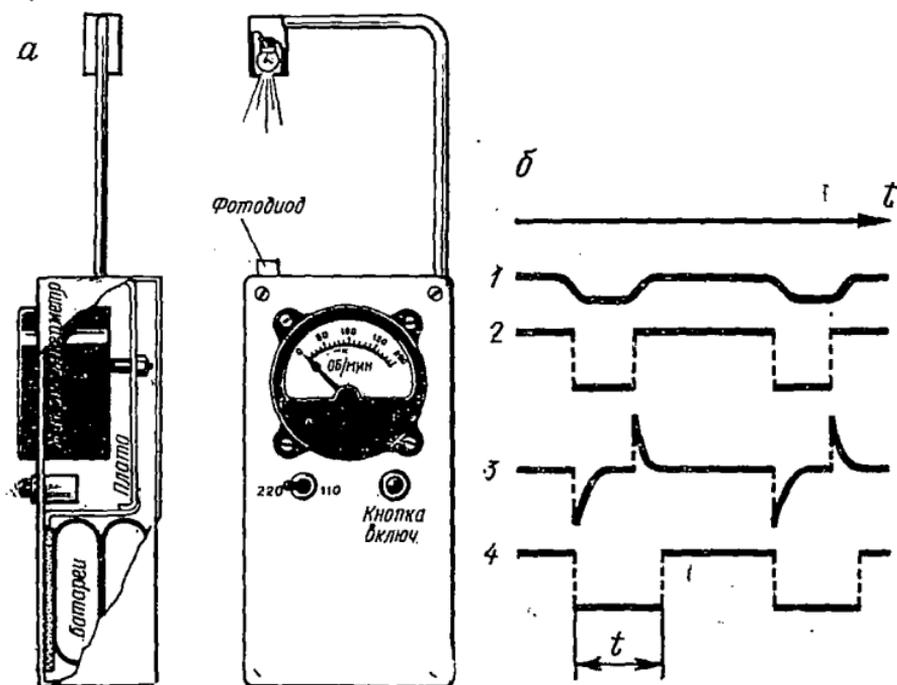
Наиболее совершенным является электронный стробоскоп (см. рис. 76,г). Он основан на том, что в прожекторе стробоскопа стоит безынерционная неоновая лампочка, частоту мигания которой можно менять и точно определять. Тогда, когда частота мигания совпадает с числом оборотов винта, последний кажется неподвижным.

Для большего удобства замера на лопастях винта или на маховике делается светлая метка.

Фотоэлектронный тахометр для определения оборотов двигателя без отбора мощности представляет собой переносную малогабаритную установку с автономным питанием (рис. 77,а).

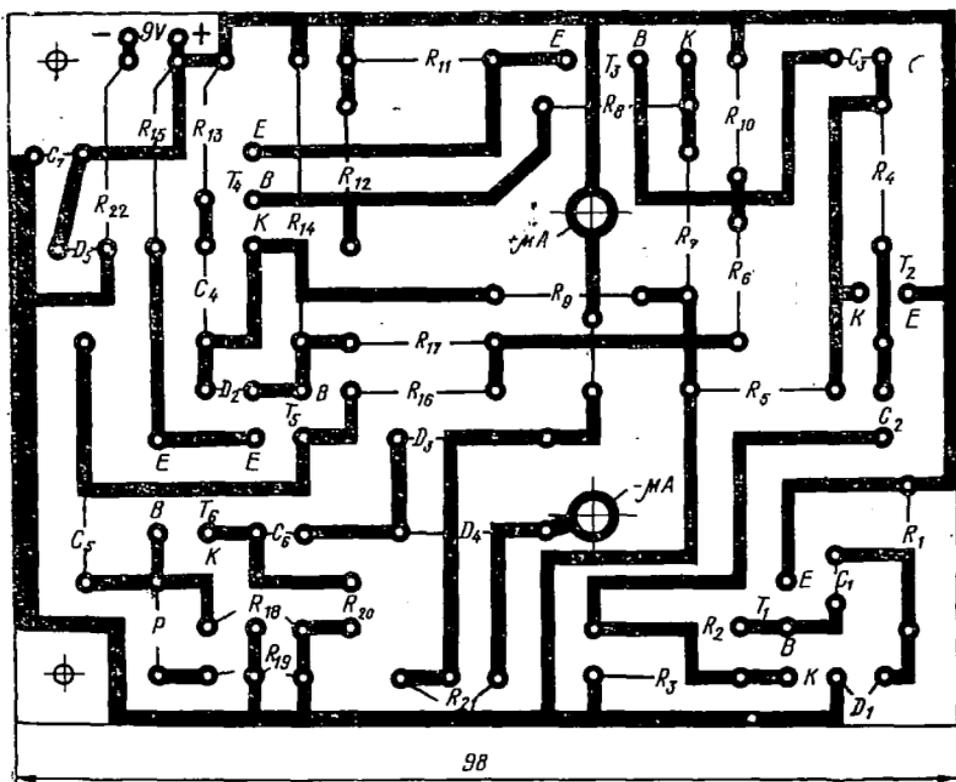
Принцип действия его основан на измерении величины временного интервала между двумя электрическими импульсами, которые возникают на фотодиоде при пересечении лопастью винта направленного светового потока и преобразовании этой величины в электрический ток, пропорциональный измеряемому временному интервалу.

Прибор собирается на шести транзисторах $T_1—T_6$. Первые два каскада собраны на транзисторах T_1 и T_2 и представляют собой усилители на сопротивлениях. Форма усиливаемой кривой 1 (рис. 77,б), которую можно



увидеть на осциллографе, если подключить его к точке 1, преобразуется мультивибратором, собранным на транзисторах T_3 и T_4 . Эту форму можно наблюдать на выходе мультивибратора в точке 2. Для измерения частоты следования электрических импульсов применяется измерительный заторможенный мультивибратор на тран-

в



с

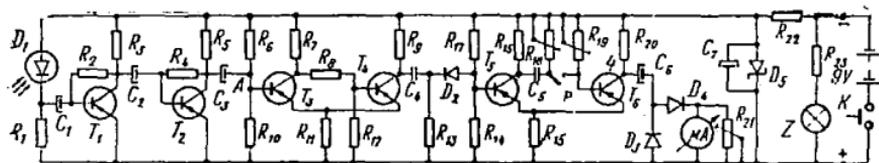


Рис. 77. Фотоэлектронный тахометр:
 а — общий вид; б — форма усиливаемой кривой; в — плата;
 г — электросхема

зисторах T_5 и T_6 , работу которого мы рассмотрим несколько подробнее.

Мультивибратор имеет одно устойчивое состояние равновесия, при котором транзистор T_6 открыт. При поступлении отрицательного импульса на базу транзистора T_5 последний открывается, а транзистор T_6 запирается за счет разряда конденсатора C_5 . Длительность этого неустойчивого состояния равновесия в основном определяется величиной параметров R_{18} , R_{10} и C_5 . После разряда конденсатора C_5 через сопротивления R_{18} и R_{10} (о выключателе P будет сказано ниже) и открытый транзистор T_5 устройство переходит в первоначальное устойчивое состояние равновесия. Таким образом, измерительный мультивибратор на каждый стартовый импульс генерирует прямоугольные импульсы тока с постоянной длительностью и амплитудой (см. кривую 4 на рис. 77,б). При этом длительность импульса не зависит от частоты стартовых импульсов. Частота следования генерируемых импульсов равна частоте стартовых импульсов $V_{вх}$ и соответственно частоте входного напряжения.

Прибором, показывающим число оборотов двигателя авиамodelей, является микроамперметр на 150 $\mu\text{ка}$, измеряющий среднее значение тока, которое можно определить по формуле:

$$i_{\text{ср}} = \frac{V\Delta t}{2\pi R_{\text{пр}}} = f,$$

где $R_{\text{пр}}$ — сопротивление обмотки прибора;

f — частота следования импульсов.

Поскольку величины V , Δt и $R_{\text{пр}}$ постоянны, то среднее значение тока прибора пропорционально частоте входного напряжения, т. е. измеряемой частоте следования импульсов.

Шкалу прибора можно использовать без замены. Тогда каждое значение оборотов двигателя авиамodelи определяется по таблице, составленной после пересчета значения тока. Удобней полученные значения (обороты в минуту) нанести на шкалу прибора, что упростит отсчет оборотов двигателя при пользовании прибором. Поскольку в малогабаритном приборе применен небольшой по размерам микроамперметр, то при градуировании на шкале рекомендуется нанести одно-двухзначные числа,

соответствующие оборотам двигателя, а на панель нанести величину, на которую эти числа следует умножить. Для расширения диапазона измеряемых оборотов в схеме измерительного мультивибратора предусмотрен переключатель P , шунтирующий сопротивления R_{18} и R_{19} . При этом в конечном итоге изменяется среднее значение тока, что позволяет изменить кратность обозначенных величин. Переключатель вынесен на лицевую панель прибора.

Прибор, как сказано выше, автономного питания 9 в, питается от двух последовательно соединенных батарей типа КБСЛ 0,5. Напряжение питания стабилизируется стабилитроном D_5 .

Ниже приводим спецификацию элементов, используемых в схеме, с обозначением их номиналов и типов, которые можно применять. Однако следует помнить, что вследствие разброса параметров этих элементов, неизбежного при массовом их изготовлении, возможны отклонения, требующие уточнения и подгонки после сборки схемы. Особенно это касается сопротивлений, применяемых в схеме.

В схеме применены сопротивления типа МЛТ-0,5 со следующими величинами: R_1 — 10 ком, R_2 — 100 ком, R_3 — 24 ком, R_4 — 100 ком, R_5 — 5 ком, R_6 — 39 ком, R_7 — 3,9 ком, R_8 — 10 ком, R_9 — 2 ком, R_{10} — 10 ком, R_{11} — 390 ком, R_{12} — 5,1 ком, R_{13} — 16 ком, R_{14} — 3,9 ком, R_{15} — 390 ком, R_{16} — 3,9 ком, R_{17} — 27 ком, R_{20} — 2 ком, R_{22} подбирается с учетом характеристик выбранного стабилитрона, R_{23} подбирается с учетом напряжения выбранного источника света. Потенциометры R_{18} и R_{19} — 50 ком, R_{21} — 25 ком, электролитические конденсаторы C_1 — C_3 и C_6 — 5 мкф, C_7 — 100 мкф. Конденсаторы C_4 — 3,3 нкф, C_5 — 47 нкф.

Транзисторы T_1 , T_6 типа П15, фотодиод D_1 типа ФД-1 или ФД-3, диоды D_2 — D_4 типа Д9А или Д2В, стабилизатор напряжения D_5 можно применять типа Д808, Д814А или 815Б, микроамперметр на 150 мка можно выбрать типа М4200-Ц4207, М4206, М4227, М4226, МН31, электролампочка — от карманного фонаря на 3,5 или 2,5 в. Можно применить и автомобильную на 6 в.

Кроме того, потребуется малогабаритный выключатель P тумблерного типа Т-1С и кнопка включения питания K .

Корпус прибора изготовляют из любой пластмассы, текстолита или фанеры размером $180 \times 100 \times 50$ мм. Источник света крепят на выдвигающемся Г-образном кронштейне высотой 100 мм напротив окна фотодиода. Чтобы предотвратить попадание света на фотодиод от солнца или других источников освещения, целесообразно фотодиод расположить в глубине трубки, внутренние стенки ее должны быть окрашены матовой черной краской.

Настраивают и регулируют прибор по осциллографу. Формы кривых \mathcal{Z} , показанные на рис. 77,б, должны соответствовать точкам, данным на схеме.

Градуировка показывающего прибора производится по контрольному тахометру.

Фотоэлектрический тахометр (рис. 78,а) предложен В. Харитоновым, и от предыдущего отличается тем, что не требует вмонтированного источника света. Прибор опробован и изготовлен рядом модельстов и показал себя вполне надежным.

Тахометр полностью выполнен на транзисторах. Его размеры $170 \times 85 \times 45$ мм, вес 400 г. Питается он от аккумуляторной батареи 7Д—0,1, потребляя ток 20 ма. Тахометром можно измерить скорости вращения от 7000 до 30 000 об/мин в двух диапазонах: 7000—15 000 об/мин с погрешностью не более ± 50 об/мин и 14 000—30 000 об/мин с погрешностью не выше ± 100 об/мин. Электросхема тахометра приведена на рис. 78,б.

В качестве датчика в тахометре использован полупроводниковый фотодиод D_4 , проводимость которого меняется в зависимости от интенсивности падающего на него светового потока. При использовании тахометра для определения скорости вращения авиамодельного двигателя световой поток, падающий на диод, будет прерываться дважды за один оборот вала двигателя (в том случае, если винт двухлопастный) и на нагрузочном резисторе R_1 фотодиода за это время появятся два импульса напряжения. Форма, амплитуда и длительность этих импульсов зависят от силы светового потока, конфигурации лопасти воздушного винта и ряда других факторов, а частота повторения прямо пропорциональна скорости вращения вала двигателя.

С резистора R_1 импульсы датчика поступают на базу транзистора T_1 составного эмиттерного повторителя, соб-

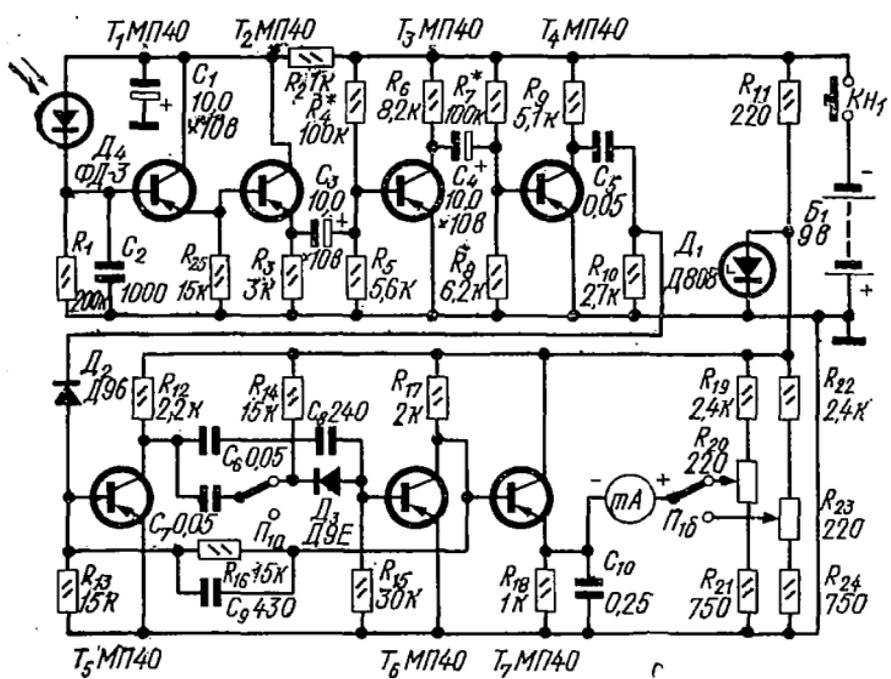
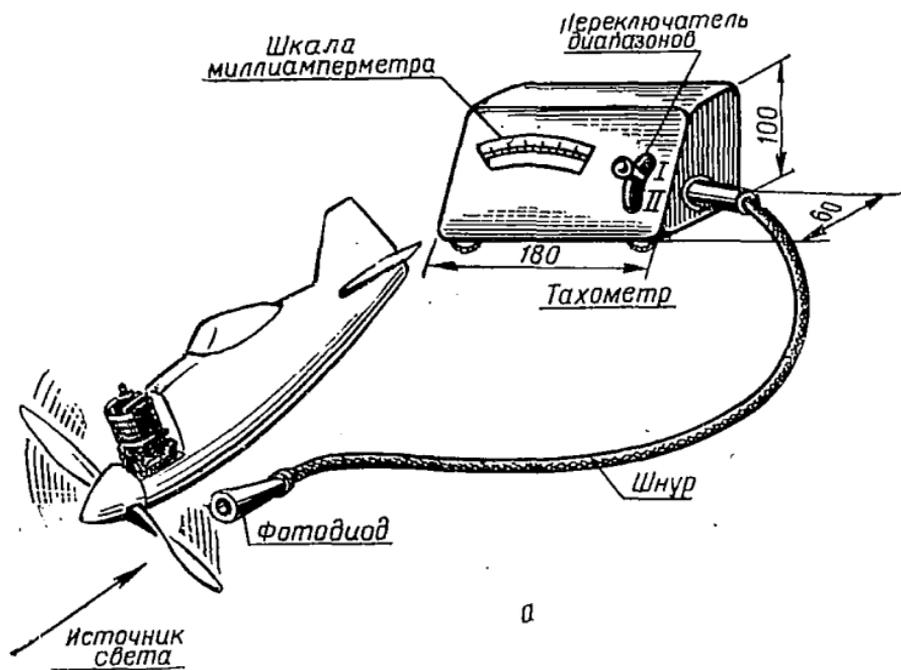


Рис. 78. Фотоэлектрический тахометр:
 а — общий вид; б — электросхема.

ранного на транзисторах T_1 и T_2 . Затем импульсы усиливаются и ограничиваются двухкаскадным усилителем на транзисторах T_3 , T_4 , включенных по схеме с общим эмиттером. Прямоугольные импульсы, полученные на выходе усилителя, дифференцируются цепью C_5R_{10} и в отрицательной полярности подаются на вход ждущего мультивибратора, собранного на транзисторах T_5 , T_6 для которых эти импульсы служат запускающими.

Калиброванные импульсы, вырабатываемые ждущим мультивибратором при его запуске, через эмиттерный повторитель на транзисторе T_7 поступают на конденсатор C_{10} и заряжают его. Напряжение заряда, пропорциональное частоте импульсов мультивибратора, подается на миллиамперметр, проградуированный непосредственно в тысячах оборотов вращения вала авиамодельного двигателя в минуту. Кроме напряжения заряда C_{10} , на миллиамперметр подается также компенсационное напряжение от источника питания тахометра (с движка потенциометров P_{20} или P_{23}). Это напряжение позволяет отрегулировать показания миллиамперметра таким образом, что при наименьшем числе оборотов вала двигателя в минуту, которое предусмотрено для того или другого диапазона измерений (7000 и 14 000 об/мин), стрелка миллиамперметра будет находиться на нулевом делении шкалы.

Тахометр собран на печатной плате и заключен в дюралюминиевый корпус с отверстиями для доступа света к фотодиоду, шкале миллиамперметра и переключателю диапазонов Π_1 . В нем применен миллиамперметр М4200 на 1 ма и транзисторы с $V=25-60$. Транзисторы МП40 можно заменить МП39, МП41, МП42.

Правильно собранный тахометр начинает работать сразу и нуждается лишь в градуировке, которую делают с помощью звукового генератора, выход которого подключают к резистору R_3 . Амплитуду колебаний звукового генератора подбирают такой, чтобы импульсы в коллекторной цепи T_1 были прямоугольными.

Так как шкала миллиамперметра тахометра градуируется непосредственно в тысячах оборотов вала двигателя в минуту, то необходимо знать, скольким оборотам вала соответствует та или иная частота звукового генератора, напряжение с которого подают на вход тахо-

метра при градуировке. Эти две величины (при двухлопастном винте) связаны формулами:

$$f = \frac{n}{0,03}; \quad n = f \cdot 0,03,$$

где f — частота звукового генератора, *гц*;

n — число оборотов вала двигателя, тыс. *об/мин*.

Тахометр градуируют следующим образом: присоединяют звуковой генератор, подают с него на эмиттер T_2 напряжение частотой 233 *гц* (что соответствует 7000 *об/мин* вала двигателя) и, вращая движок потенциометра P_{23} , устанавливают стрелку миллиамперметра так, чтобы она встала также на нуль. Затем вычисляют по приведенным формулам частоты, соответствующие 8000, 9000, 15 000, 16 000 и т. д. *об/мин*, и градуируют миллиамперметр по точкам.

При измерениях датчик тахометра нужно помещать против источника света, параллельно плоскости вращения винта, на расстоянии 100—300 *мм* от него. Тахометр нормально работает как при дневном, так и при искусственном свете.

Если надо измерять скорость вращения какого-либо другого механизма, то на его валу следует закрепить диск с таким количеством отверстий, чтобы можно было вести отсчет по одной из шкал, введя при необходимости коэффициент пересчета.

Тахометр можно переделать для измерений скоростей вращения от 100 до 100 000 *об/мин*, подобрав такую длительность импульсов ждущего мультивибратора, чтобы она была не более полупериода частоты повторения импульсов датчика на верхней границе диапазона измерения.

Напряжение на коллекторах транзисторов T_3 и T_4 относительно «земли» нужно установить 4,5 *в* $\pm 20\%$, подбирая соответственно сопротивления резисторов R_4 и R_7 .

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАБОЧЕГО ОБЪЕМА ЦИЛИНДРА ДВИГАТЕЛЯ

Проще всего измерение можно произвести с помощью штангенциркуля. Сначала с возможно большей точностью измеряют ход поршня a (рис. 79). Для этого глубиномер штангенциркуля опускают в свечное отверстие

и определяют расстояние от поверхности гнезда свечи до днища поршня в положении н.м.т., затем поворачивают вал до положения в.м.т. и вторично измеряют. Полученную величину вычитают из первой. Разница будет равна ходу поршня.

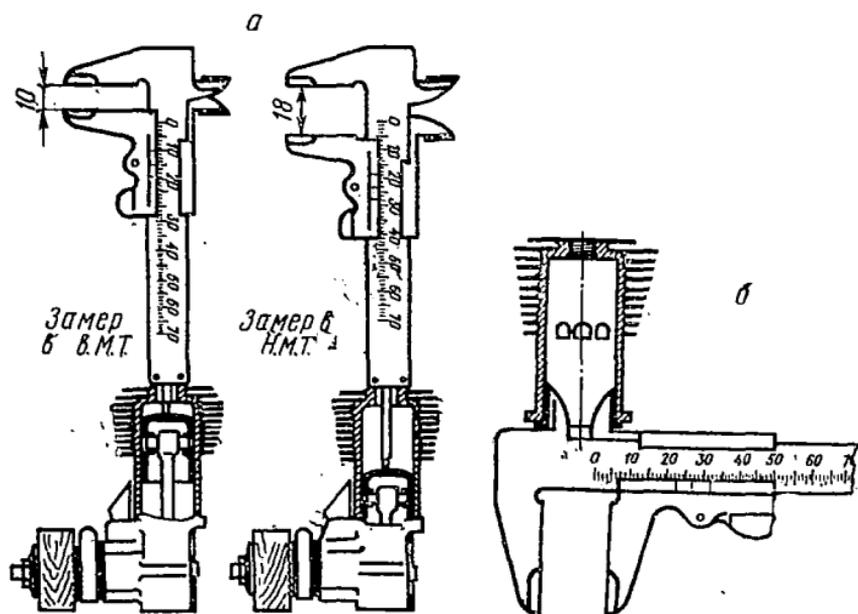


Рис. 79. Измерение штангенциркулем хода поршня *a* и диаметра цилиндра *б* двигателя

Диаметр цилиндра *б* проще всего измерить нутромером штангенциркуля. Рабочий объем V_h (см³) будет равен произведению внутренней площади сечения цилиндра F (см²) и хода поршня S (см):

$$V_h = F \cdot S.$$

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТЕПЕНИ СЖАТИЯ

Эффективная степень сжатия вычисляется по формуле:

$$e = \frac{V_{\text{эф}} + V_c}{V_c},$$

где V_c — объем камеры сгорания;

e — степень сжатия;

$V_{\text{эф}}$ — объем, вытесняемый поршнем при перемещении от верхнего края выхлопного окна до в.м.т.

Объем камеры сгорания V_c измеряют так. Камеру сгорания двигателя промывают бензином или спиртом и просушивают, затем набирают в медицинский шприц типа «Рекорд» емкостью 1 см^3 воды. Далее, установив поршень двигателя в в.м.т., в свечное отверстие заливают воду из шприца до внутреннего края свечного отверстия. Та величина в см^3 , на которую стал меньше объем в шприце, и будет объемом V_c в см^3 .

Величину $V_{\text{эф}}$ определяют вычитанием из рабочего объема цилиндра V_h объем цилиндра, расположенного от н.м.т. до верхнего обреза выхлопного окна, по формуле:

$$V_{\text{эф}} = V_h - \frac{\pi D^2 \cdot H}{4} \text{ см}^3,$$

где H — расстояние (в см) от края дна поршня в н.м.т до верхнего обреза выхлопного окна.

Геометрическая степень сжатия E вычисляется по формуле:

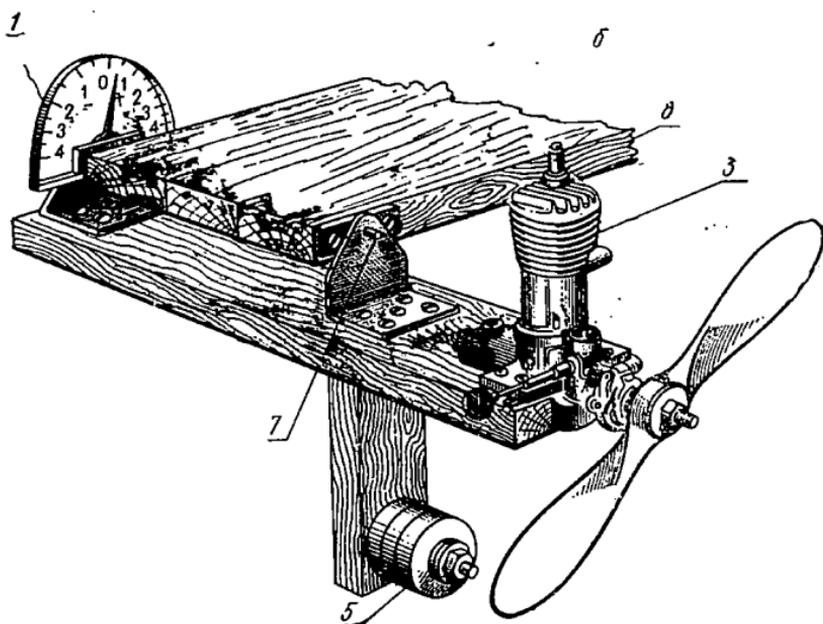
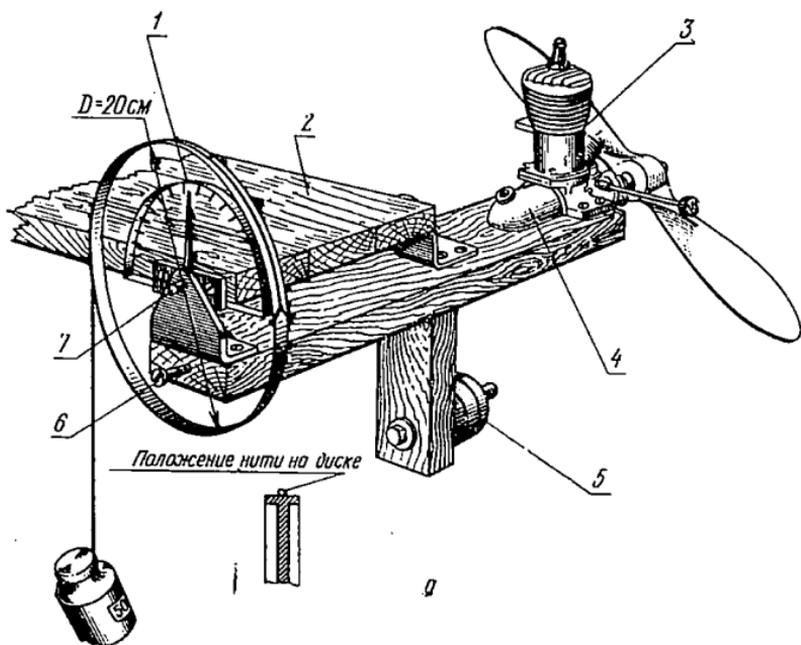
$$E = \frac{V_h + V_c}{V_c}.$$

ИЗМЕРЕНИЕ КРУТЯЩЕГО МОМЕНТА

Крутящий момент двигателя при различных числах оборотов определяют на балансирном станке a (рис. 80). Это очень несложный прибор, который каждый может сделать самостоятельно из подручного материала. Приводим схемы двух типов балансирных станков.

Первый тип — крутящий момент измеряется углом отклонения рамы, на которой установлен двигатель b (см. рис. 80). Порядок нанесения шкалы отсчета состоит в следующем: двигатель закрепляют на раму балансирного станка. На ось заднего шарнира рамы устанавливают диск диаметром 200 мм и закрепляют его шурупами. Диск обвивают тонкой проволокой, к которой поочередно подвешивают гири весом $25, 50, 75 \text{ г}$ и т. д.

Под действием веса гири груз на балансирном станке поднимается, а вместе с ним и вся рама станка со стрел-



кой отсчета крутящего момента будет отклоняться. Отметив рисками отклонения стрелки, соответствующие всем грузам, против каждой отметки надо написать крутящий момент, который будет равен произведению радиуса диска (в см) на вес груза (в кг), т. е. соответственно равен 0,025 кг/см, 0,05 кг/см и т. д.

Для удобства отсчета промежутки делений полученной шкалы можно пропорционально разделить на две и более частей.

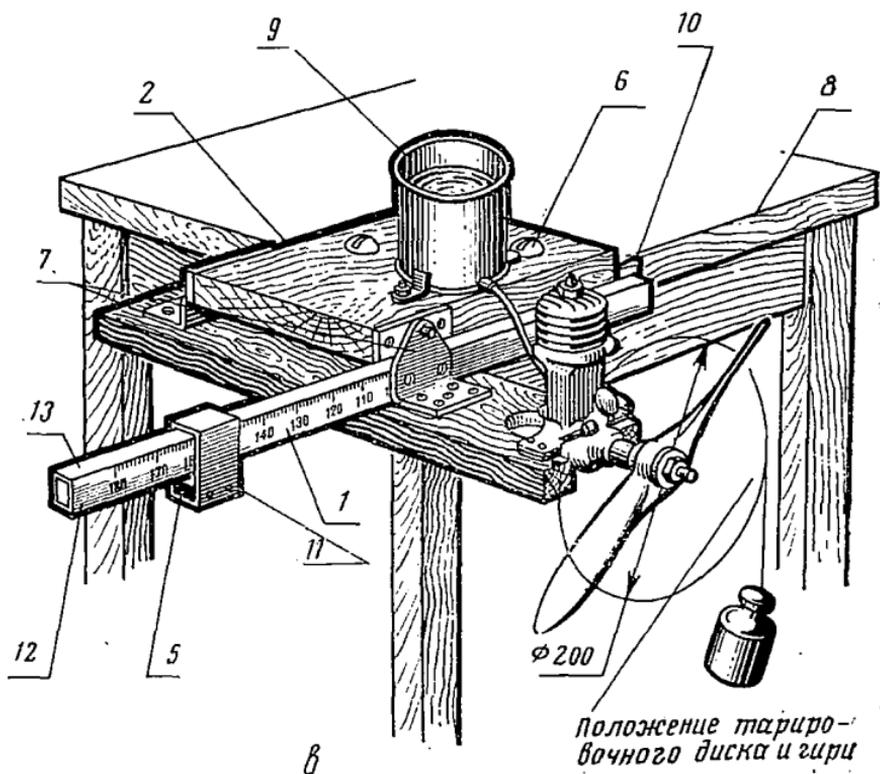


Рис. 80. Балансирные станки для определения крутящих моментов авиамodelных двигателей:

а, б — первый тип (общий вид с диском для тарировки определения цены делений шкалы отсчета — крутящий момент измеряется углом отклонения рамы); *в* — второй тип (крутящий момент измеряется по шкале на линейке); *1* — шкала отсчета крутящего момента; *2* — основание; *3* — двигатель; *4* — бензобак; *5* — груз балансира; *6* — шуруп; *7* — шарнир подвески; *8* — край стола; *9* — топливный бак; *10* — указательная стрелка; *11* — движок; *12* — линейка; *13* — рейка

Второй тип балансирного станка *в* (см. рис. 80) дает более точные результаты измерений. Станок состоит из подвижной рамы, на которой крепят двигатель. Крутящий момент уравнивается подвижным грузом-движком на штанге. На штанге укреплена линейка с миллиметровыми делениями, для определения крутящегося момента линейку тарируют. Делается это так: на валу ус-

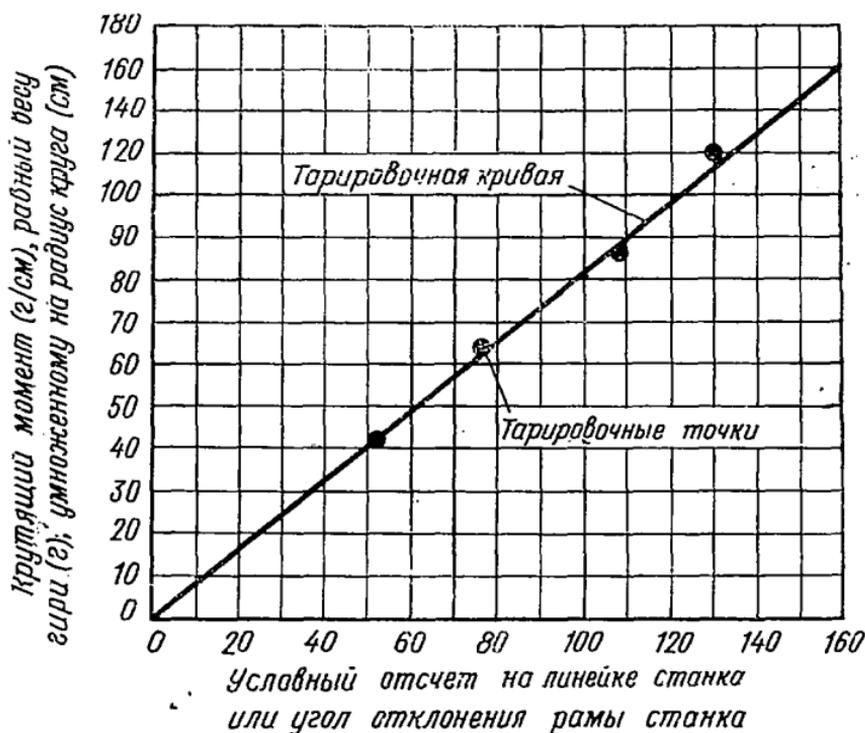


Рис. 81. Пример тарировочного графика балансирного станка

тановленного двигателя закрепляют диск, к которому подвешивают гирьки. Каждый раз уравнивают станок движком таким образом, чтобы контрольная стрелка стояла строго горизонтально — на нуле. Все показания записывают в виде тарировочного графика (рис. 81). При испытаниях отсчет читают на линейке, а крутящий момент определяют по графику.

СНЯТИЕ ВНЕШНЕЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДВИГАТЕЛЯ

Для составления графика внешней характеристики двигателя замеряют максимальные крутящие моменты, развиваемые двигателем на различных числах оборотов.

Для этого двигатель испытывают с винтами различного диаметра, доводя обороты двигателя на каждом из винтов до предельно возможных. Рекомендуется испытание начинать с винтов большего диаметра и постепенно переходить к меньшим диаметрам.

Число оборотов в минуту измеряют стробоскопическим тахометром или счетчиком оборотов. Полученные величины заносят в табл. 12.

Таблица 12

Номер воздушного винта	Число оборотов винта в минуту, n	Отсчет по шкале прибора	Крутящий момент, $M_{кр}$, кг/см	Мощность, снятая с двигателя на данном винте, N_e , л. с.
1				
2				
3				

На основании полученных величин подсчитывают истинный крутящий момент, а затем мощность по формуле:

$$N_e = \frac{M_{кр} \cdot n}{71\,620}, \text{ л. с.},$$

где N_e — эффективная мощность, л. с.;

$M_{кр}$ — крутящий момент, кг/см;

n — число оборотов в минуту;

71 620 — постоянная величина (коэффициент).

Подсчитанные значения мощностей записывают в табл. 12. Затем точки наносят на график. Плавная кривая, соединяющая эти точки, и будет искомой внешней характеристикой двигателя.

Не следует бояться, что не все полученные точки лягут строго на кривую. Небольшие отклонения от закономерной зависимости получаются из-за неточности проведения опыта.

При испытании двигателя с целью изучения результатов конструктивных изменений и доводок особенно

важно единообразии в условиях постановки опыта. Часто бывает, что различное крепление двигателя, изменение положения предметов, находящихся в струе воздуха от винта, приближение винта к стенке или наличие вытяжной вентиляции за двигателем резко меняют результаты эксперимента и могут привести к неверным выводам.

СНЯТИЕ ДРОССЕЛЬНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДВИГАТЕЛЯ

Дроссельной характеристикой называют график мощности, развиваемой двигателем при различных числах оборотов с одним и тем же винтом. Число оборотов меняется дросселем (заслонкой) или иглой карбюратора. Такая характеристика может быть полезна для моделей, управляемых по радио. График дроссельной характеристики составляется так: двигатель устанавливают на балансирный станок, производят тарировку (как и для внешней характеристики), закрепляют винт, с которым проводят испытание, и, запустив двигатель, измеряют крутящий момент на различных числах оборотов. Результаты измерений изображают в виде графика. Кривая дроссельной характеристики не может, как видим, пересечь кривую внешней характеристики (см. рис. 11 и 12).

ИСПЫТАНИЕ НА ПРОЧНОСТЬ (ОПРЕДЕЛЕНИЕ СЛАБЫХ МЕСТ)

Кроме снятия внешней характеристики, бывает полезно испытать работу и надежность двигателя на его максимальных оборотах. Для этого на валу вместо винта зажимают маховик. Двигатель надежно закрепляют. Вентилятором или сжатым воздухом, выпускаемым из шланга, создают достаточное охлаждение цилиндра. После этого двигатель запускают и доводят до максимального числа оборотов, замеряя при этом развиваемую мощность. Часто случается, что при увеличении оборотов двигателя до 24 000—25 000 об/мин некоторые детали не выдерживают и разрушаются. Таким образом удается определить слабые звенья испытываемого двигателя.

ФОРСИРОВАНИЕ АВИАМОДЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Фирмы, выпускающие авиамодельные двигатели, стремятся сделать их универсальными, т. е. пригодными для различных типов моделей.

Двигатель должен выдерживать кратковременные перегрузки, являющиеся следствием недостаточно умелого обращения с ним. Перечисленные факторы, а также требования технологической простоты изготовления и борьбы за снижение стоимости приводят к тому, что двигатели, выпускаемые серийно, развивают мощность ниже возможностей, заложенных в их конструкции.

Серийные двигатели, как правило, развивают мощность несколько меньшую, чем двигатели, тщательно сделанные самим авиамodelистом. Однако отдельные серийные образцы при удачном сочетании деталей показывают высокие результаты.

Требования надежности приводят к тому, что детали серийного двигателя, как правило, имеют повышенный запас прочности. Их можно облегчить и улучшить. Это является некоторым резервом, за счет которого тот же двигатель после доводки увеличивает мощность на 10—20%.

Способы увеличения мощности сводятся к увеличению числа оборотов и повышению среднего эффективного давления. Достигается это облегчением шатунно-поршневой группы, уменьшением потерь на пути движения газовых потоков, снижением величины механического трения, улучшением газораспределения, подбором степени сжатия и топливных смесей, зажигания и карбюрации.

Для того чтобы начать работу по увеличению мощности, или, как иначе говорят, по форсированию двигателя, нужно изучить данный двигатель, т. е. разобрать его, осмотреть, устранить имеющиеся механические дефекты. Затем двигатель надо собрать и снять его внешнюю характеристику. Не имея характеристики двигателя, невозможно делать выводы о его достоинствах и сравнивать его с каким-либо другим.

После этого необходимо снять диаграмму газораспределения, для чего подготовить картонный диск с делениями на 360°. Очень хорошо диск делать из целлулоида

или оргстекла. Его можно разграфить по транспортиру или воспользоваться диском, приведенным на рис. 82.

Диск зажимают на втулке вала двигателя с таким расчетом, чтобы при положении поршня в в.м.т. стрелка отсчета стояла бы против нуля градусов. Затем, проворачивая вал двигателя по направлению вращения, определяют начало и конец фаз всасывания, выхлопа и продувки и наносят полученные данные на диаграмму.

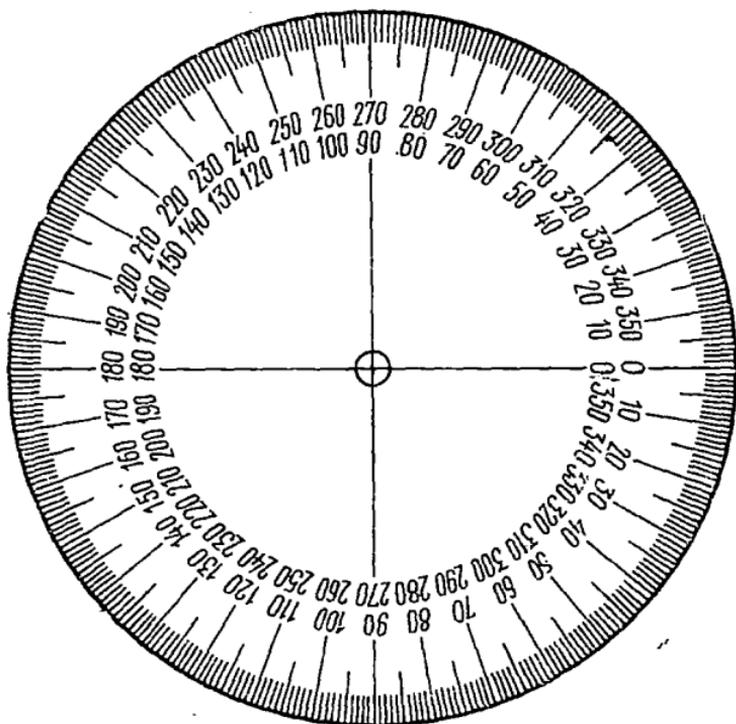


Рис. 82. Градуированный диск для определения углов фаз газораспределения

В тех случаях, когда конструкция двигателя не дает возможности в собранном виде наблюдать моменты открытия и закрытия окон цилиндра, приходится двигатель разбирать. При затрудненном просмотре окон всасывания рекомендуется применять подсвет. Начало открытия хорошо видно по образующейся световой щели в окне вала или диска.

Начертив диаграмму газораспределения и внешние характеристики двигателя, можно приступить к его форсированию.

УЛУЧШЕНИЕ ГАЗОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ

Движение рабочей смеси внутри двигателя тормозится стенками и перегибами каналов, по которым она проходит. Поэтому желательно, чтобы пути движения смеси не имели резких поворотов, были как можно короче, а стенки были бы гладкие, без выступов и шероховатостей, желательно полированные. Кроме того, на быстроходность двигателя оказывает большое влияние выбор начала и конца фаз всасывания, перепуска и выхлопа. У высокооборотных двигателей в целях увеличения количества поступления рабочей смеси в картер начало всасывания производят по фазе ранее, чем у низкооборотных. Результаты испытаний позволяют сделать вывод, что двигатели с распределением всасывания через вал и с дисковым золотником дают большее число оборотов и развивают большую мощность по сравнению с теми, у которых распределение осуществляется поршнем.

Сравнивая систему распределения через вал с распределением золотником, можно отдать предпочтение последней, так как при ее применении легче добиться хорошего заполнения картера рабочей смесью.

Возникающие при этом потери на вращение компенсируются уменьшением трения в подшипнике вала за счет сокращения диаметра и длины вала.

При работе двигателя на 10 000 и более оборотов в минуту величину фаз распределения надо приближать к диаграммам распределения форсированных образцов (см. раздел «Конструкции авиамодельных двигателей»). На оборотах менее 6000 об/мин у двигателей, имеющих широкие фазы распределения, отмечается выбрасывание через всасывающий патрубок горючей смеси. Это явление совершенно нормально, так как фаза всасывания заканчивается при начале движения поршня вниз и смесь вначале сжатия ее в картере частично выталкивается. Однако на больших оборотах, когда начинает существенно сказываться инерция потока рабочей смеси во всасывающем патрубке, обратное течение смеси через клапан прекращается.

Уже при 13 000 об/мин средняя скорость движения смеси в канале карбюратора достигает скорости 25 м/сек. Примерно с такой же скоростью движутся газы в перепускном канале цилиндра, а шейка

кривошипа вала двигателя с нижней головкой шатуна имеет скорость движения около 15 м/сек. При таких скоростях трение частиц горючей смеси о стенки картера, а также сопротивление движению шатуна и кривошипа становятся весьма ощутимыми. Для уменьшения торможения, вызываемого силами трения горючей смеси и движущимися деталями, следует все газораспределяющие каналы и детали полировать, а путь движения газов делать возможно короче, с плавными переходами.

Шатун и противовес не должны иметь острых граней и ребер. Сечение шатуна желательнее делать приближающимся к овальной, удобообтекаемой форме.

Объем внутренней полости картера, в которой происходит сжатие смеси, должен быть подобран практически, путем сравнительных испытаний с уменьшением и увеличением объема.

Испытания показали, что фазы распределения с увеличением числа оборотов двигателя должны быть изменены в сторону расширения, а площади продувочных и выхлопных окон увеличены настолько, насколько позволяет конструкция и система продувки.

Ускорение очищения цилиндра от продуктов сгорания положительно сказывается на приросте мощности. Улучшения газораспределения можно достигнуть и за счет организации движения выхлопных газов. Известно, что форма выхлопных патрубков влияет на скорость выпуска газов из цилиндра и чем быстрее происходит очищение цилиндра от продуктов сгорания, тем лучше. Одним из средств повышения мощности двигателей за счет улучшения организации выхлопа являются резонансные трубы.

Движение выхлопных газов в резонансной трубе можно представить так: в начальной стадии выхлопа в расширяющейся части трубы создается разрежение, ускоряющее очищение цилиндра. Далее волна газов, вышедшая из цилиндра, отражается от суживающейся части трубы и в последней стадии выхлопа создает некоторый наддув в цилиндр.

Совпадение частоты колебания газов внутри трубы с числом оборотов вала приводит к значительному улучшению заполнения цилиндра, увеличению скорости выпуска отработанных газов и увеличению коэффициента

наполнения цилиндра, в конечном итоге к повышению среднего эффективного давления и соответственно мощности двигателя.

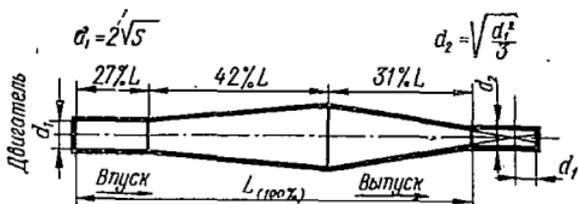
Для достижения такого эффекта необходимо рассчитать, а затем практически подобрать длину и сечение элементов трубы (рис. 83), а двигатель приспособить к возможности ее применения.

Некоторыми исследованиями и практикой применения таких труб подтверждена возможность получения прироста мощности до 25% в результате использования следующих рекомендаций.

Объем трубы следует делать равным десяти минимальным объемам полости картера.

Поперечное сечение выхлопного патрубка в 1,6 раза больше площади сечения выпускного окна цилиндра.

Рис. 83. Определение габаритных размеров резонансной трубы.
 S — площадь сечения выхлопного окна в мм



Полную длину трубы L (см. рис. 83) находят по формуле;

$$L = \frac{\frac{1}{n} \cdot P \cdot 558\,800}{2} \text{ мм,}$$

где $n = \frac{1}{\text{об/сек}}$ — предполагаемое число настройки оборотов вала в секунду.

Средняя скорость звуковой волны при температуре около 400°C по длине трубы равна 558,8 м/сек;

P — процент времени эффективного открытия выпускного окна подсчитывается по формуле:

$$P = \frac{\alpha_n^0 - \frac{\alpha_B^0 - \alpha_n^0}{2}}{360^\circ},$$

где α_n^0 — угол поворота вала, соответствующий фазе перепуска;

α_B^0 — угол поворота вала, соответствующий фазе выхлопа.

По рекомендованному расчету можно определить лишь приближенный размер длины трубы. Остальные размеры вычисляют по чертежу (см. рис. 83).

Для получения хороших результатов приходится делать две-три трубы, варьируя их длину и величину выхлопного патрубка.

Есть несколько и конструктивных особенностей. Так как температура газов внутри резонансной трубы влияет на скорость распространения в ней газовой волны, ее не следует «переохлаждать» в полете. Для достижения более равномерного нагрева трубы снаружи ее надо покрыть слоем черной жаропрочной краски марки КО-819, ГФ-0,24, ГФ-820, АЛ-70, АЛ-701, К-1, К-2 или силиконовым лаком с добавлением технической сажи.

Особенно важно не допустить пропуска газов из выхлопного патрубка в полость картера под юбкой поршня или между гильзой и блоком картера. Рекомендуется сделать так, чтобы поршень перекрывал нижний обрез выхлопного окна на 5° по круговой диаграмме газораспределения двигателя и был бы в своей нижней части достаточно герметичным.

Двигатель с трубой работает значительно тише, поэтому регулировку качества смеси желательно вести по тахометру.

Исходя из специфики действия трубы, если испытания начинать на «тяжелом» аэродинамическом винте, то двигатель в полете не дотянет до резонансного режима. На слишком «легком» труба не позволит двигателю выйти на обороты вала выше резонансных, и система двигатель—винт будет работать с малым к.п.д.

Чтобы получить устойчивый результат, следует сделать винт несколько большего диаметра, чем тот, с которым модель успешно летала до постановки трубы, а затем постепенно уменьшить диаметр винта и ширину лопасти.

Необходимо довести обороты двигателя до момента появления резонансного режима — резкого прибавления числа оборотов — и использовать полученное преимущество.

Мастер спорта Е. Вербицкий рекомендует следующую доработку двигателей «Метеор», ЦСКАМ и «Супер-тигр» 20/15 и конструкцию к ним трубы. Все размеры на чертежах (рис. 84) даны для двигателя «Супер-тигр»

20/15, для остальных возможны некоторые незначительные отклонения.

Для двигателей с настроенным выхлопом при положении поршня в в.м.т важно, чтобы полость картера не соединялась с атмосферой через выхлопное окно гильзы цилиндра, т. е. не должно происходить декомпрессии картера, поэтому юбку нового поршня надо сделать длиннее. Для двигателей с выхлопом назад обязательно поршневой палец фиксировать стопорными кольцами. Фазу всасывания, которая в рассматриваемых двигателях не зависит от положения поршня и определяется всасывающим отверстием в коленчатом валу, оставляют прежней. Фазу выхлопа увеличивают, перепад в фазах выхлопа и перепуска доводят до $20-30^\circ$, для чего верхнюю кромку выхлопного окна гильзы распиливают на $1-1,4$ мм. Перепускное окно гильзы изменять не следует.

На серийных двигателях фаза перепуска колеблется в пределах 140° . В нашем случае она порядка 130° . Для уменьшения фазы делают новый шатун с расстоянием между осями 26 мм (в серийном варианте это расстояние равно $25,5$ мм). Остальные размеры оставляют такими же, как на серийном образце.

Мощность двигателя в некоторой степени зависит от геометрической формы внутренней части головки цилиндра. Существуют различные конфигурации головок. Предложенная на рис. 91,а применяется многими спортсменами. Обратите внимание на небольшую конусность торцевой внутренней части (3°), необходимую для предотвращения гидравлического удара при положении поршня в в.м.т.

Особенно большое значение для нормальной работы двигателя имеет правильно подобранная степень сжатия, которая определяется объемом камеры сгорания. Объем лучше всего замерять медицинским шприцем. В двигателях без резонансной трубы этот объем равен $0,3$ см³, в нашем случае мы его увеличим до $0,34-0,36$ см³, т. е. несколько уменьшим степень сжатия.

Противовес коленчатого вала обрабатывают так, чтобы вырез на юбке поршня был как можно меньше. Без такого выреза обойтись нельзя. В н.м.т поршень не должен касаться коленчатого вала. Слишком большой вырез может привести к декомпрессии картера.

Заднюю крышку картера изготавливают по рис. 84.

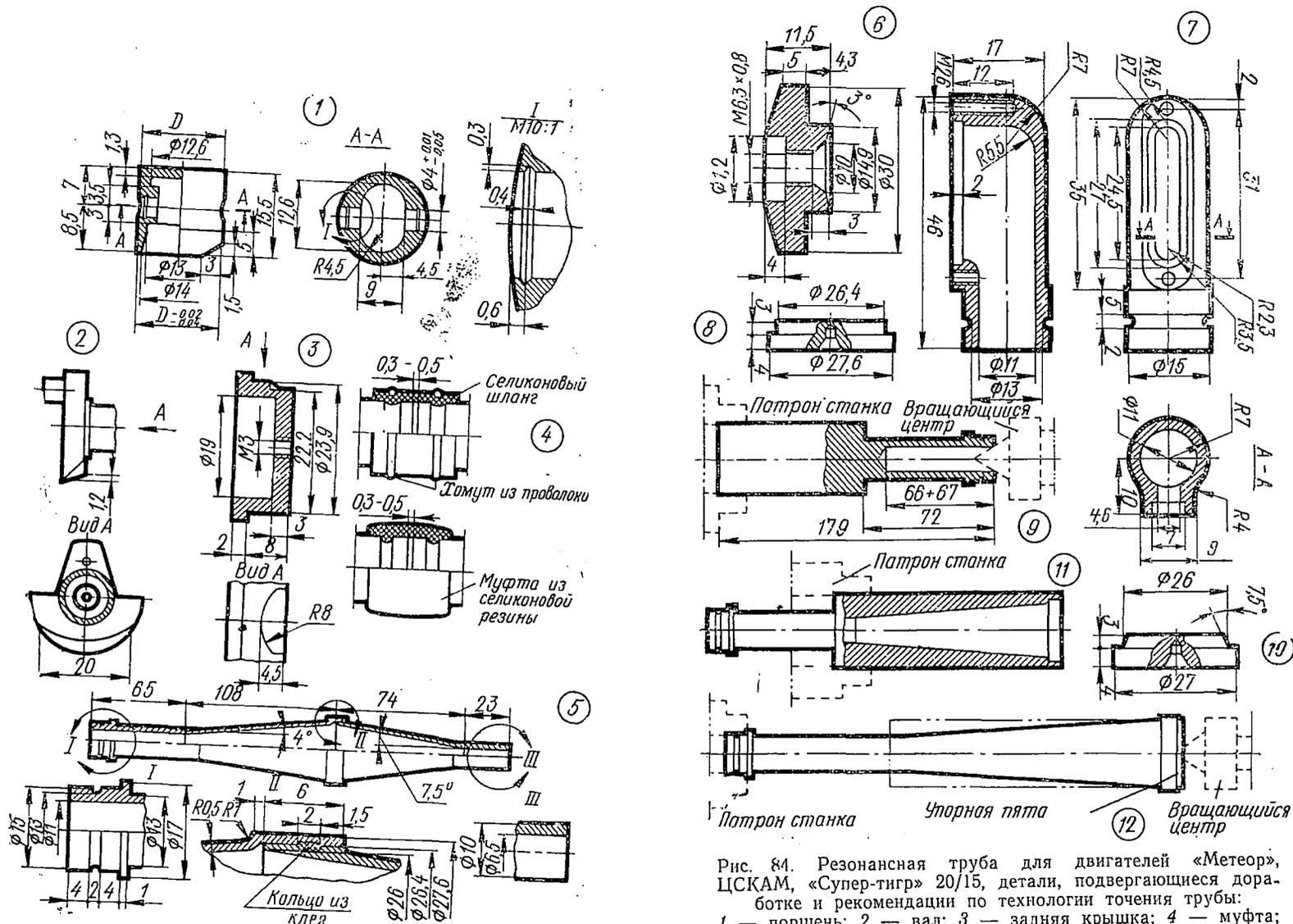


Рис. 84. Резонансная труба для двигателей «Метеор», ЦСКАМ, «Супер-тигр» 20/15, детали, подвергающиеся доработке и рекомендации по технологии точения трубы:
 1 — поршень; 2 — вал; 3 — задняя крышка; 4 — муфта;
 5 — резонансная труба; 6 — головка цилиндра; 7 — приемный патрубок; 8, 10 — опорные шайбы для точения; 9 — труба; 11, 12 — приемы установки трубы в патроне на станке

Резонансную трубу устанавливают на двигателе с помощью переходника, который через уплотнительную прокладку из паронита прикрепляют к выхлопному патрубку. Устанавливать переходник можно по-разному. На картере двигателя «Супер-тигр», например, предусмотрены две проушины. Главным условием здесь является герметичность системы резонансная труба — переходник — картер двигателя. Важно, чтобы стыковка резонансной трубы и переходника ни в коем случае не была жесткой. Лучше всего применить силиконовую (жаростойкую) резину.

Резонансную трубу можно сделать на токарном станке из магниевого сплава МА-8 или дюралюминия Д-16Т. Она состоит из двух частей: переднего и заднего конусов, соединенных клеем БФ-2, или эпоксидной смолой ЭД-5, или ЭД-6.

Некоторые спортсмены успешно применяют точечную сварку для изготовления труб из листового титана или из тонкой нержавеющей стали.

Резонансную трубу 5 (см. рис. 84) на токарном станке изготавливают в такой последовательности:

— заготовку $\varnothing 29-30$ мм и длиной 183 мм устанавливают в патроне токарного станка и растачивают внутреннюю цилиндрическую поверхность входной части переднего конуса; не снимая детали, консольную часть подпирают вращающимся центром задней бабки станка. Вытачивают наружную цилиндрическую поверхность входной части трубы 9;

— изготавливают упорную пятю под вращающийся центр 9;

— устанавливают деталь в патроне станка, растачивают внутреннюю часть конуса;

— устанавливают трубу, подпирают вращающимся центром (через упорную пятю) и вытачивают наружную поверхность конуса.

Аналогичным образом делают и задний конус резонансной трубы, правда, упорная пятя здесь несколько другая (см. рис. 84), затем склеивают оба конуса между собой.

Выхлопная труба, предложенная для указанных выше двигателей, рассчитана на обороты 21 500—22 500 об/мин.

ДОРАБОТКА ЧАСТЕЙ ДВИГАТЕЛЯ

Лучший инструмент для доводки частей готового двигателя — машинки с вращающимися напильниками в цапгах или на гибком шланге. Можно также использовать привод зубопротезной бормашины с набором боров и камней.

Первоначальную шлифовку после обработки напильником делают наждачной бумагой № 100—150, а затем войлочными дисками, смазанными минеральными маслами, смешанными с абразивным порошком зернистостью 150—200.

Для полировки внутренних поверхностей понадобятся фетровые и войлочные диски и пальцы диаметром 15—20 мм. Полировать дисками следует, натирая их зеленой пастой ГОИ или окисью хрома.

Картер серийного двигателя на внутренних стенках имеет следы механической обработки, острые углы в местах сопряжений поверхностей и уступы в полости всасывающего патрубка.

На схеме рис. 85 показаны места доработки картера. Углы нужно закруглить, переходы патрубка сделать плавными, внутреннюю поверхность отполировать, сечение патрубка увеличить до размеров, соответствующих рекомендациям, данным в разделе «Действие двухтактного двигателя внутреннего сгорания» и назначению двигателя. Задняя стенка картера должна быть гладкой, ее нужно притереть дисковым притиром. В случае распределения дисковым золотником также снимают заусеницы с краев всасывающего клапана.

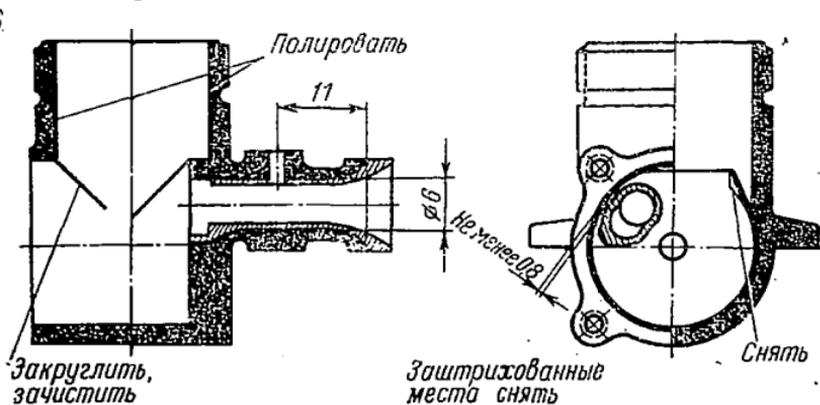


Рис. 85. Схема доработки картера серийного двигателя

Дисковый золотник. Края выреза надо спилить (рис. 86). Поверхность диска, обращенную к валу, отполировать, а прилегающую к задней стенке притереть. Диск должен свободно вращаться на своей оси, зазор между плоскостью клапана и задней стенкой кар-

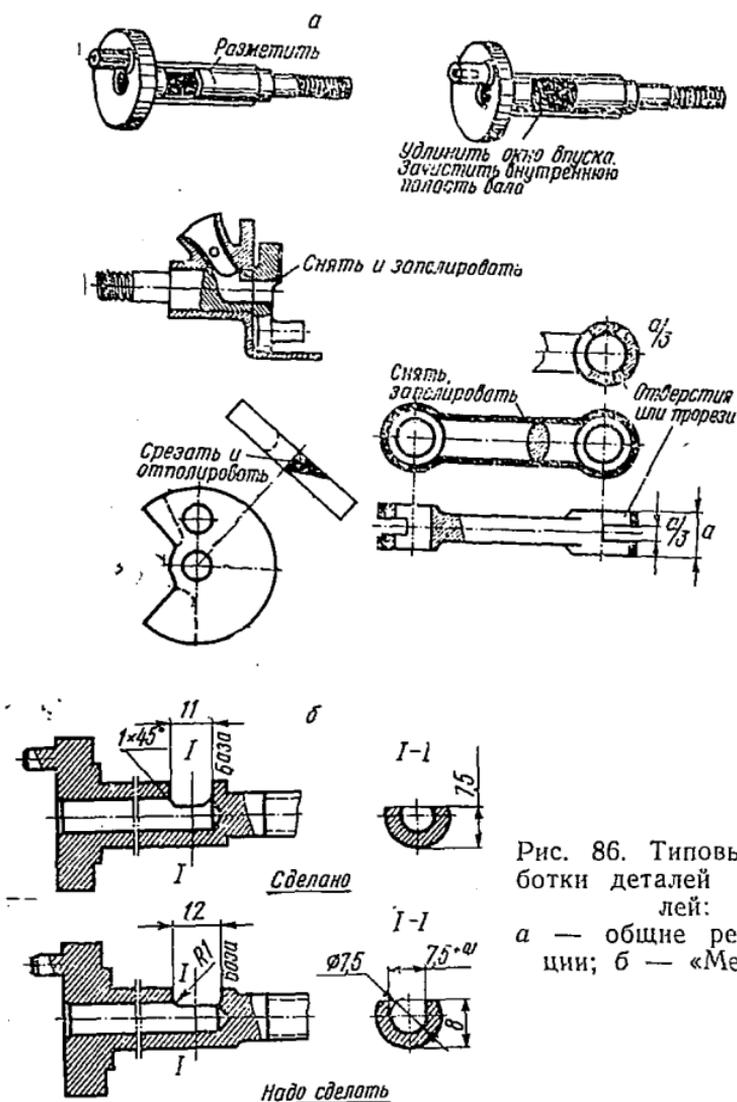


Рис. 86. Типовые доработки деталей двигателей:

a — общие рекомендации; *б* — «Метсора»

тера должен быть 0,03—0,04 мм (две толщины фольги от обертки шоколада). Увеличение зазора более 0,06 мм вызовет ухудшение запуска и снижение мощности двигателя. Бывает, что из-за неточности изготовления мотылевая шейка кривошипа прижимает диск к стенке

картера. Этот дефект следует устранить, углубив отверстие под шейку в диске золотника. Хорошие результаты дает замена дюралюминиевого диска диском из пластмассы, например из гетинакса или из текстолита. Диск из пластмассы легче, а коэффициент трения его по дюралюминию меньше.

Если распределение всасывания осуществляется валом, полезно закруглить форму впускного отверстия и переходы внутри вала, затем тщательно отполировать

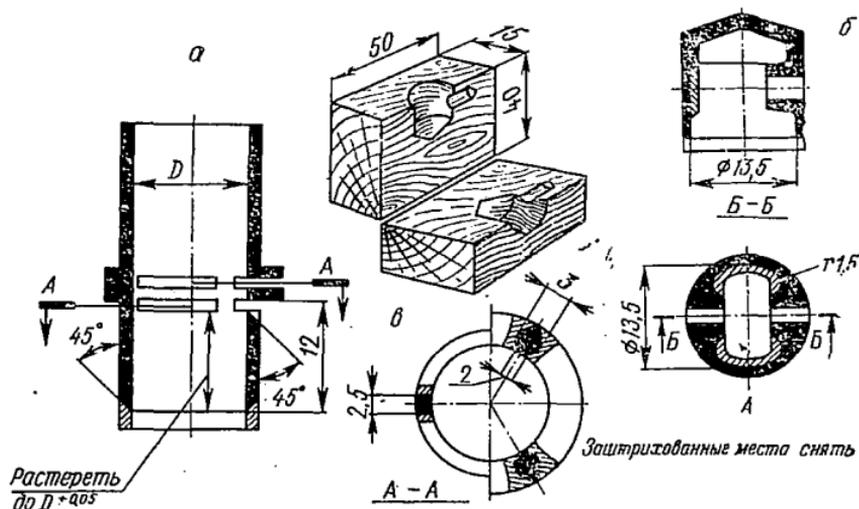


Рис. 87. Схема доработки цилиндра и поршня серийного двигателя:

a — гильза; *б* — поршень; *в* — зажимное приспособление для поршня

канал вала и щеку кривошипа. Отверстие всасывающего патрубка надо подогнать строго по отверстию вала, а внутреннюю поверхность диффузора зачистить и отполировать.

Цилиндр двигателя дорабатывают по схемам, показанным на рис. 87 и 88. Заштрихованные и показанные пунктиром места нужно спилить, зачистить наждачной бумагой и отполировать. Диаметр цилиндра ниже обреза выхлопного окна следует увеличить притиром на 0,05—0,08 мм. Это существенно уменьшит потери на трение поршня о стенки цилиндра в его нижней части.

Поршень двигателя должен быть хорошо пригнан к цилиндру. Если компрессия плохая, то все усилия повысить мощность двигателя будут бесплодны. По-

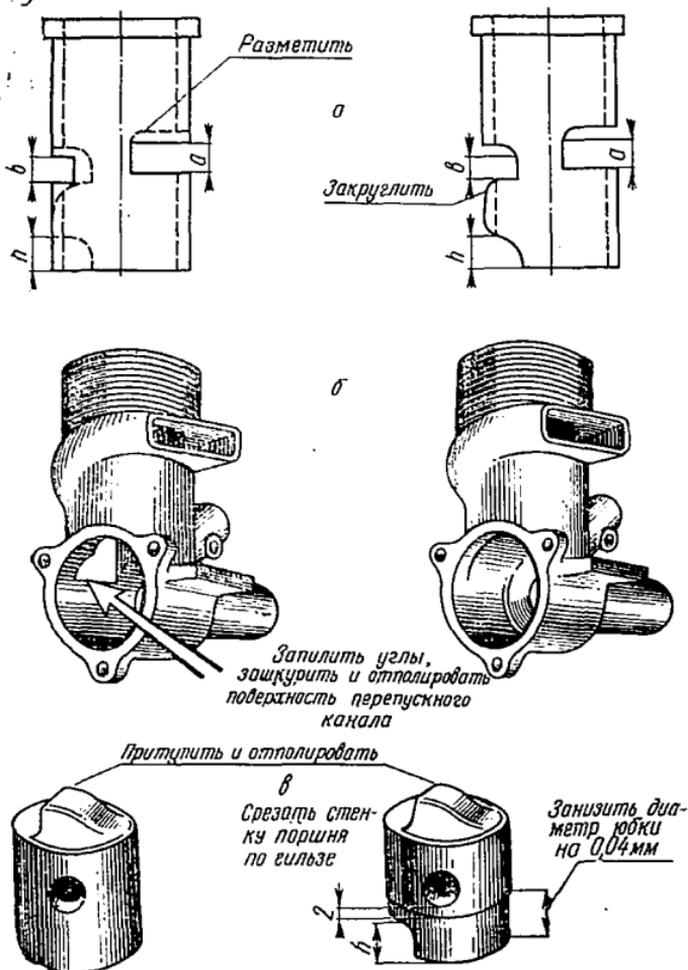


Рис. 88. Типовая схема доработки серийных двигателей с поперечной продувкой:
 а — гильза; б — картер; в — поршень

этому, если поршень свободен, его надо заменить или отхромировать.

Доработка поршня в основном сводится к облегчению его изнутри. Для того чтобы эту операцию провести успешно, сделайте приспособление. Оно позволяет зажимать поршень в тисках.

При облегчении стального или чугунного поршня толщину боковых стенок не следует делать тоньше 0,7 мм, а днище поршня — 0,8 мм. При облегчении поршня с помощью вращающегося напильника стенки

поршня вытягиваются и наружный диаметр его увеличивается на 2—3 микрона (это может продлить срок жизни поршней). Поэтому поршень после облегчения надо притереть. Зазор между гладким (без колец) стальным или чугунным поршнем и гильзой в новом двигателе должен быть в пределах 0,01—0,02 мм.

Шатун серийного двигателя почти всегда делается с большим запасом прочности. Объясняется это тем, что шатун может быть сломан не от рабочих перегрузок, а от неумелого обращения при «пересосе». Поэтому, как правило, шатун облегчают. Часто случается, что шатун погнут и оси его отверстий не параллельны, в этом случае необходимо установить наличие перекаса, выправить шатун и добиться того, чтобы отверстия были строго параллельны (рис. 89).

В нижней и верхней головках шатуна рекомендуется сделать отверстие в виде сверления или прорези для прохода смазки. Это уменьшит износ его подшипников и предотвратит наволакивание материала шатуна на мотылевую шейку вала при повышенном числе оборотов.

Карбюратор двигателя можно также улучшить. Иглу надо остро заправить на токарном станке и отполировать ее конец. Если жиклер имеет распылитель в виде трубки (рис. 90) с одним отверстием, полезно просверлить другое под углом 60° или серию мелких отверстий 0,6 мм в один ряд. Внешнюю поверхность распылителя обычно полируют.

Если в карбюраторе жиклер расположен поперек

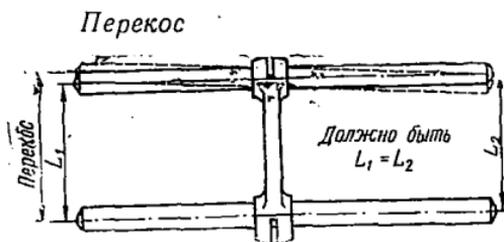


Рис. 89. Проверка параллельности отверстий в головках шатуна

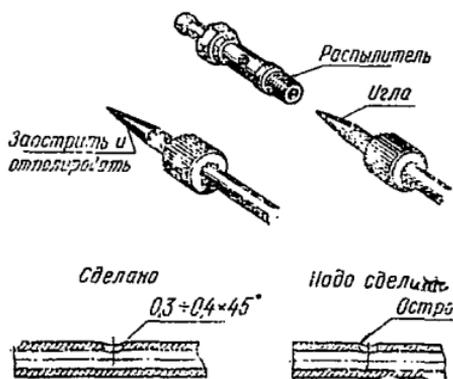


Рис. 90. Доработка деталей карбюратора серийного двигателя (наличие фаски ухудшает распыл топлива)

всасывающего патрубка, то он так или иначе затормаживает поток всасываемого воздуха. Для того чтобы уменьшить потери на всасывании, применяют кольцевые распылители, которые не имеют в полости патрубка выступающих частей. Конструкция такого распылителя показана на рис. 54.

Отверстия располагают по кругу на стенке диффузора. При форсировании двигателей скоростных моделей полезно применить кольцевой распылитель. Однако, по наблюдениям спортсменов, увеличивая несколько максимальную мощность, применение кольцевого распылителя снижает приемистость двигателя, что нежелательно, скажем, на пилотажных моделях.

Серийные двигатели с кольцевыми распылителями у нас не выпускаются, чтобы применить такой распылитель на серийном двигателе, надо сделать доработки, показанные на рис. 54.

ПОДБОР СТЕПЕНИ СЖАТИЯ

Эффективная степень сжатия двигателя определяется геометрическими соотношениями двигателя, эффективностью нагнетания рабочей смеси в цилиндр и совершенством выхлопа. Обычно последнее свойство не принимается во внимание. В полноразмерных двигателях чаще всего степень сжатия понижают, если применяется наддув. Использование нагнетания может значительно увеличить эффективную степень сжатия и улучшить характеристики без изменения размеров двигателя.

Для более ровной работы двигателей обычно добавляют присадки, которые обеспечивают быстрое и равномерное сгорание топлива. Эти присадки и степень сжатия взаимосвязаны, так как их присутствие в топливе имеет тенденцию как бы увеличивать степень сжатия при прогревании двигателя. Это значит, что при нагревании двигателя может появиться необходимость уменьшить геометрическую степень сжатия. Особым достоинством изменяемой степени сжатия является то, что она позволяет в дизельных двигателях применять многообразные типы и составы горючих.

В калильных двигателях положение совсем другое. Основным горючим служит метанол, температура воспламенения которого почти в два раза выше, чем горю-

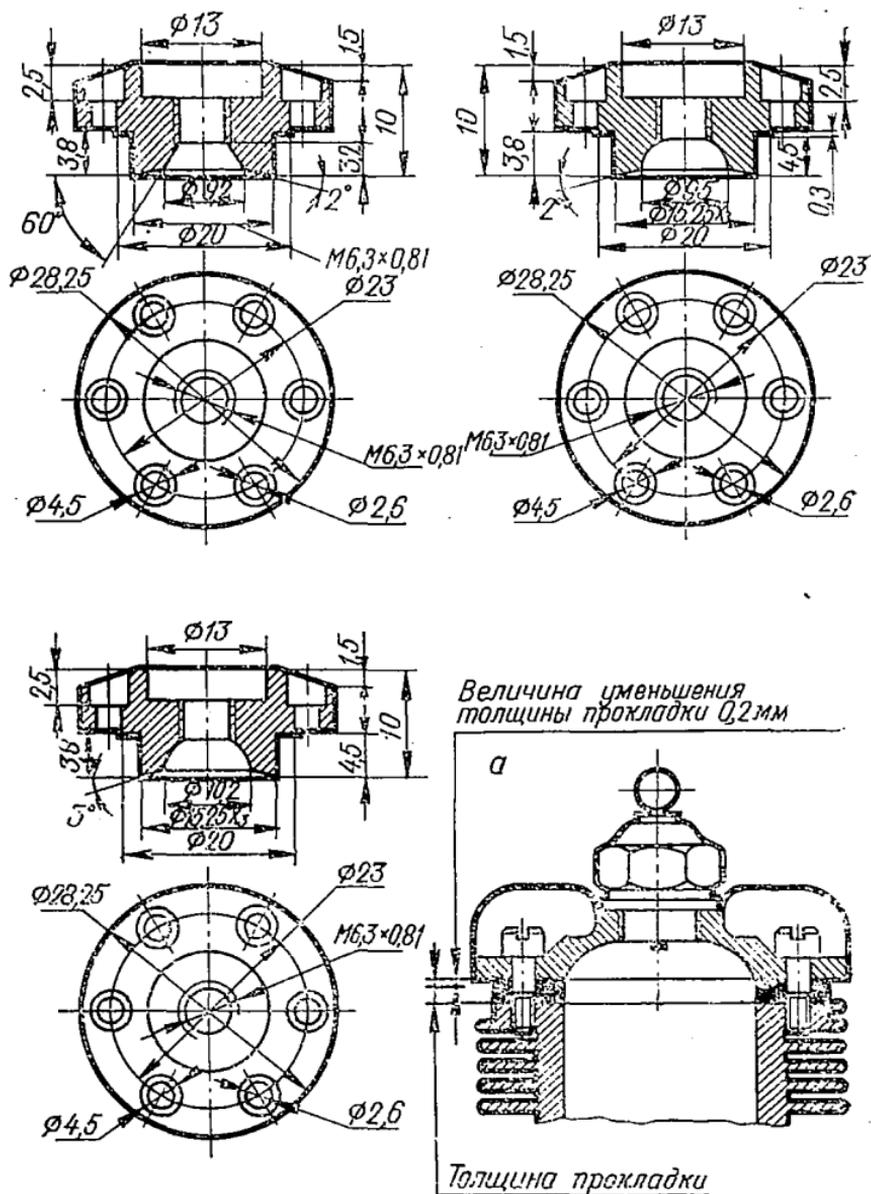


Рис. 91. Схемы вариантов головок с различными формами камеры сгорания для двигателя и головка цилиндра а с прокладкой (разрез)

чих для дизеля, и почти в три раза выше эфира. Следовательно, для его воспламенения нужен нагревающий элемент. Для поддержания температуры элемента необходимы довольно большие степени сжатия. Чем больше величина сжатия, тем накал элемента свечи может быть слабее, но больше возможность двигателя остановиться при отключении батареи.

Выходят из этого затруднения, добавив к горючему нитрометан. Горючее с нитрометаном требует для сохранения рабочей температуры спирали свечи меньшую степень сжатия, но даже небольшой процент добавления нитрометана к дизельному топливу делает его совершенно непригодным. Для применения горючего (без примеси нитрометана) калильный двигатель должен иметь большую степень сжатия, порядка 8—10. При малой степени сжатия запустить двигатель трудно даже при сильном накале свечи и запальная свеча часто выходит из строя.

Основной целью подбора степени сжатия двигателя является выбор степени сжатия такой, которая позволила бы применять горючее без добавления присадок. Характеристики такого двигателя в случае применения горючего с содержанием нитрометана можно улучшить путем уменьшения первоначальной степени сжатия.

Степень сжатия для каждого двигателя подбирают опытным путем, последовательно изменяя объем камеры сгорания. Проще всего это делать, изменяя высоту прокладки под головкой цилиндра (рис. 91). Изменять высоту прокладки следует постепенно через 0,2 мм. Судя по результатам работы двигателя с прокладками различной высоты, надо остановиться на той высоте прокладки, которая соответствует наибольшей мощности. При этом необходимо помнить, что найденная степень сжатия будет хороша только для того горючего и тех атмосферных условий, при которых произведены испытания.

ПОДБОР КАЛИЛЬНЫХ СВЕЧЕЙ И ГОЛОВОК ЦИЛИНДРОВ

Выбор калильной свечи также оказывает влияние на мощность двигателя. Для «холодных» двигателей применяют более горячие свечи, т. е. более легко прогреваемые, с тонкими спиралями 0,2—0,25 мм, для «горячих»

двигателей — более толстые спирали сечением 0,3—0,4 мм. Признак правильной работы свечи — двигатель начинает работать сразу после запуска с отсоединенными батареями накала.

Необходимость работы двигателя длительное время с подсоединенными батареями свидетельствует о переохлаждении свечи. Это явление может быть также следствием недостаточной степени сжатия.

Перегорание платиновых спиралей свечей говорит о том, что свеча слишком горячая. Свечи из заменителей платины — фихраля, константана и других сплавов — при обеднении смеси перегорают чаще. При запуске стартером следует применять более сильный подогрев спирали, чем при запуске рукой, так как потоком горючей смеси спираль сильно охлаждается. Платино-иридиевые спирали стоят надежно и чаще всего разрушаются от перекала при запуске или от удара модели при авариях (происходит разрыв или сплющивание нагретой спирали).

Форма внутренней части головки цилиндра, образующая полость камеры сгорания, и расположение места спирали накаливания оказывают существенное влияние на скорость горения газов, а следовательно, на быстроходность и мощность двигателей, поэтому конструкторы двигателей их тщательно подбирают, пока не получат наилучшие результаты.

При конструировании камеры сгорания калильного двигателя и ее доводке надо обеспечить возможно более эффективное сгорание газов, для этого стремятся поместить спираль накаливания так, чтобы волна вспышки распространялась равномерно в сторону поршня как бы из одного фокуса (рис. 91). Следует обратить также внимание на то, чтобы у стенки цилиндра между поршнем и головкой не получалось гидравлического удара пленкой масла.

Хорошие, доведенные конструкции головок имеют двигатели С. Жидкова и Е. Вербицкого, приведенные на рис. 84 и в приложении 6.

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ДОВОДКИ И ОФОРМЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИСПЫТАНИЙ ДВИГАТЕЛЯ

Доводку двигателя рекомендуется производить последовательно, начиная с конструктивных улучшений, об-

легчения поршневой группы, а затем переходить к газораспределению, системе зажигания и карбюратору.

После каждой доработки нужно проводить испытание и записывать полученные результаты. По окончании доводок начертите график внешней характеристики и сравните его с исходным. Когда доводки сделаны и моделист считает данный двигатель готовым к установке на модель, проводят его всесторонние испытания и полученные результаты показывают в виде графиков внешней и дроссельной характеристик, расхода топлива и крутящего момента по оборотам. Для полного представления о двигателе замеряют полученные в результате доводки фазы распределения и строят круговую или развернутую диаграмму газораспределения.

РЕАЛИЗАЦИЯ МОЩНОСТИ (ПОДБОР ВИНТА)

Мощность, развиваемая двигателем, преобразуется в поступательное движение воздушным винтом. Всякий винт дает потери и реализует только часть мощности: хороший винт — 70—80%, средний — 60—70%, плохой — менее 50%.

Этот процент называется коэффициентом полезного действия винта. Зависит он от того, насколько удачно подобран винт к двигателю, и скорости, с которой летит модель.

Чтобы мощность двигателя использовать полностью, винт модели надо подобрать так, чтобы двигатель в полете работал на оборотах, близких к режиму максимальной мощности. Для этого необходимо выбрать диаметр и шаг винта.

Отправными сведениями для расчета является число оборотов двигателя по внешней характеристике и предполагаемая скорость полета модели.

Для определения параметров винта необходимо знать обороты двигателя, соответствующие режиму максимальной мощности, и задаться скоростью полета модели.

Шаг винта можно определить приблизительно по номограмме (рис. 92). Для этого примем обороты винта равными 80—85% оборотов, соответствующих режиму максимальной мощности.

За счет уменьшения фактического угла атаки лопа-

сти двигатель увеличивает в полете число оборотов на 10—15% и компенсирует неучтенное номограммой скольжение.

Диаметры винтов нужно выполнить больше предполагаемого на 10%. Исходя из статистических данных, ширину лопастей (хорду) делают от 8 до 12% диаметра винта. Испытав винт в полете, уменьшают диаметр винта

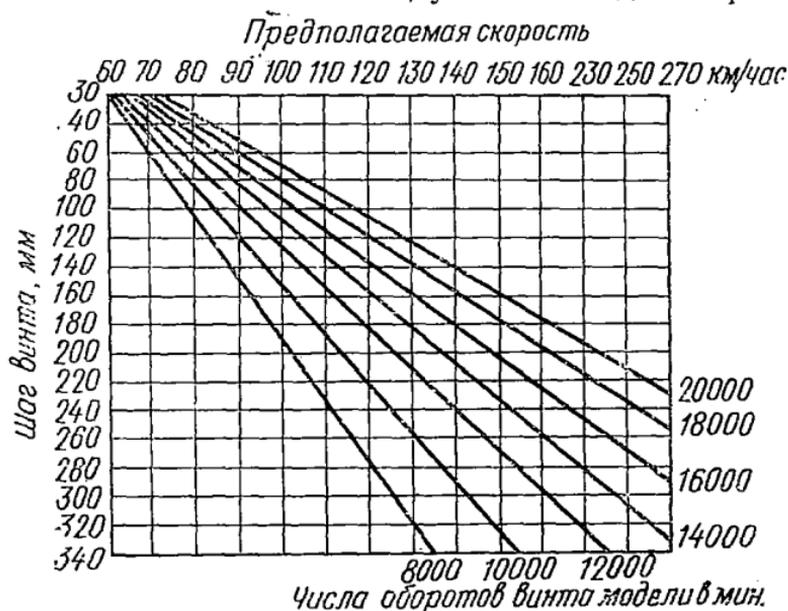
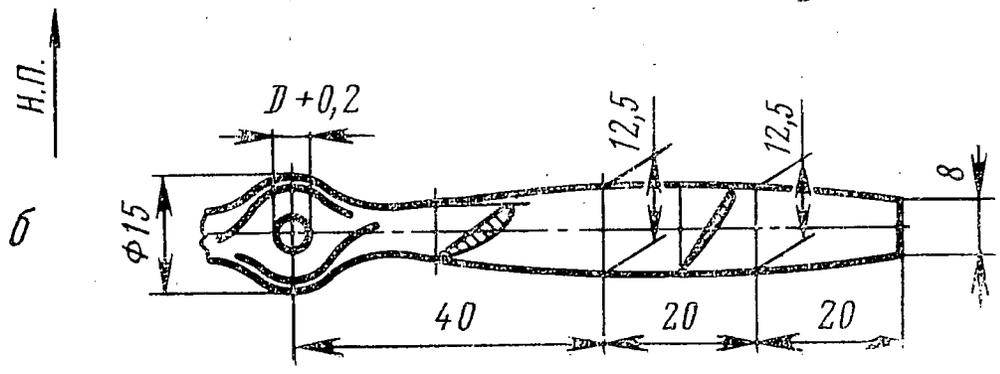
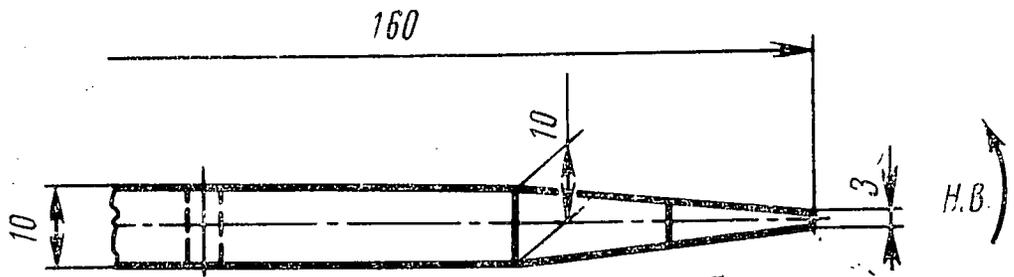
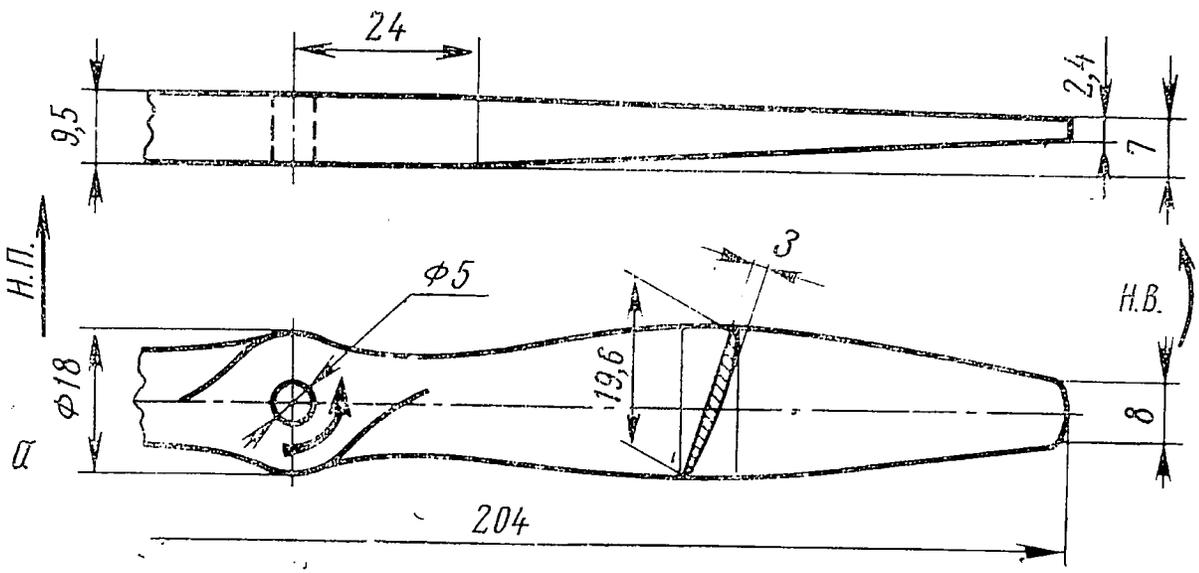


Рис. 92. Номограмма приближенного подбора шага винта

на 3—5 мм, подрезая концы лопастей. Затем винт испытывают вновь. Так повторяют несколько раз. Когда будет замечено, что дальнейшее уменьшение диаметра винта не дает прибавления скорости или скороподъемности, то считают, что диаметр подобран верно.

Хорошие результаты получаются, если сделать 3—4 винта с отклонением от расчетного в сторону уменьшения и увеличения шага с интервалом в 5—10%. Например, полученный расчетный шаг по номограмме составляет 260 мм, тогда рекомендуется изготовить винты с шагом 280—260—220 мм, провести испытания и подобрать описанным уже выше способом диаметры. В этом случае подбор будет точнее и результаты лучше. На рис. 93—95 приведены чертежи и данные типовых винтов.



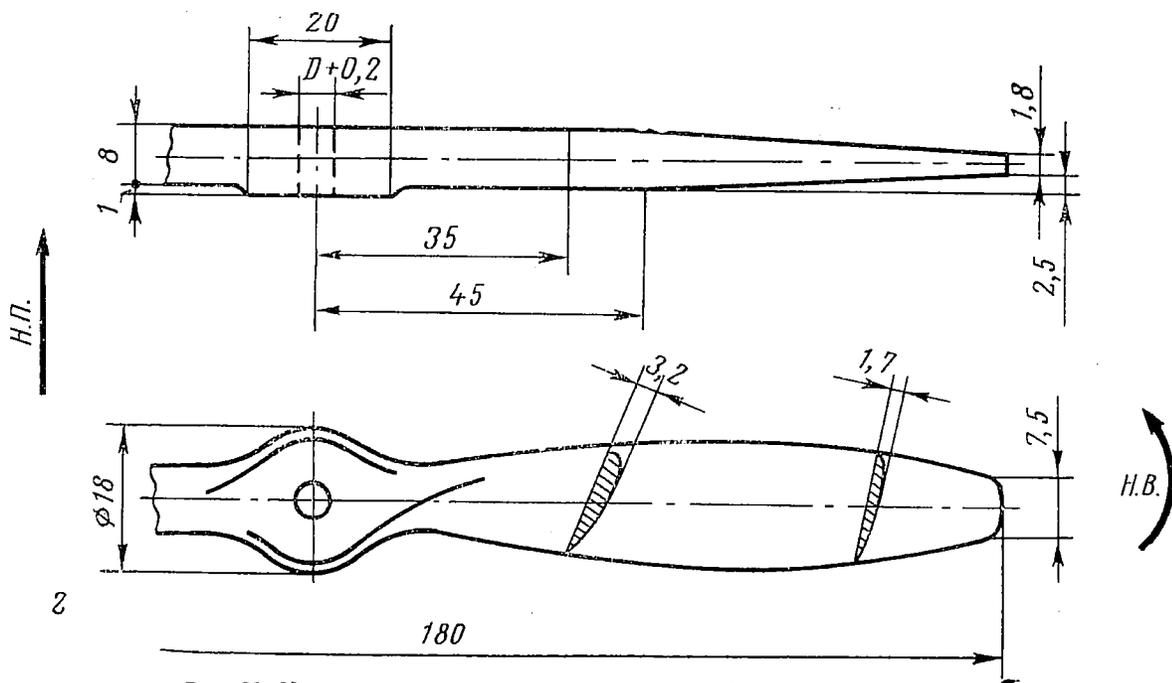
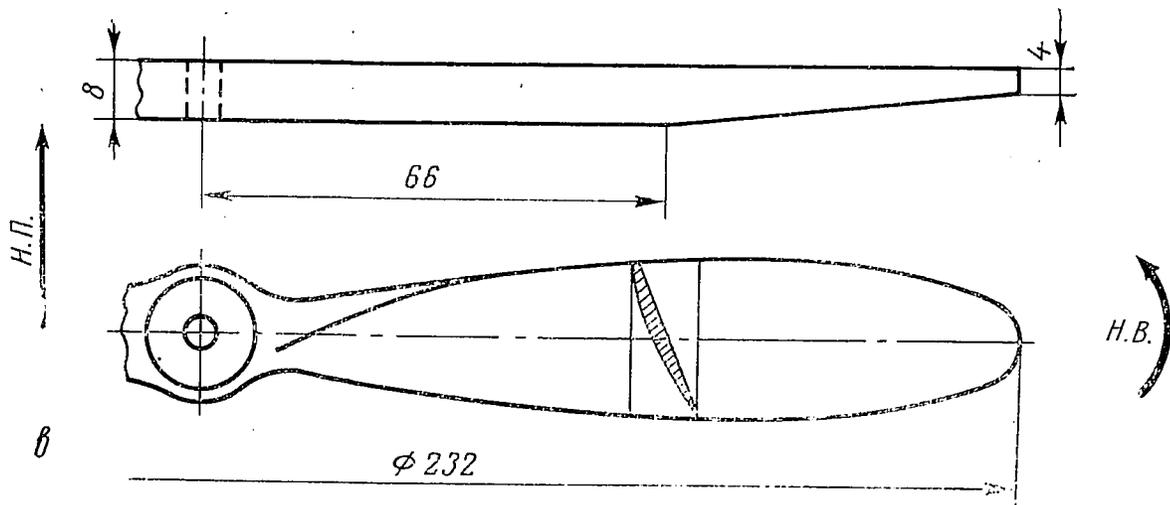
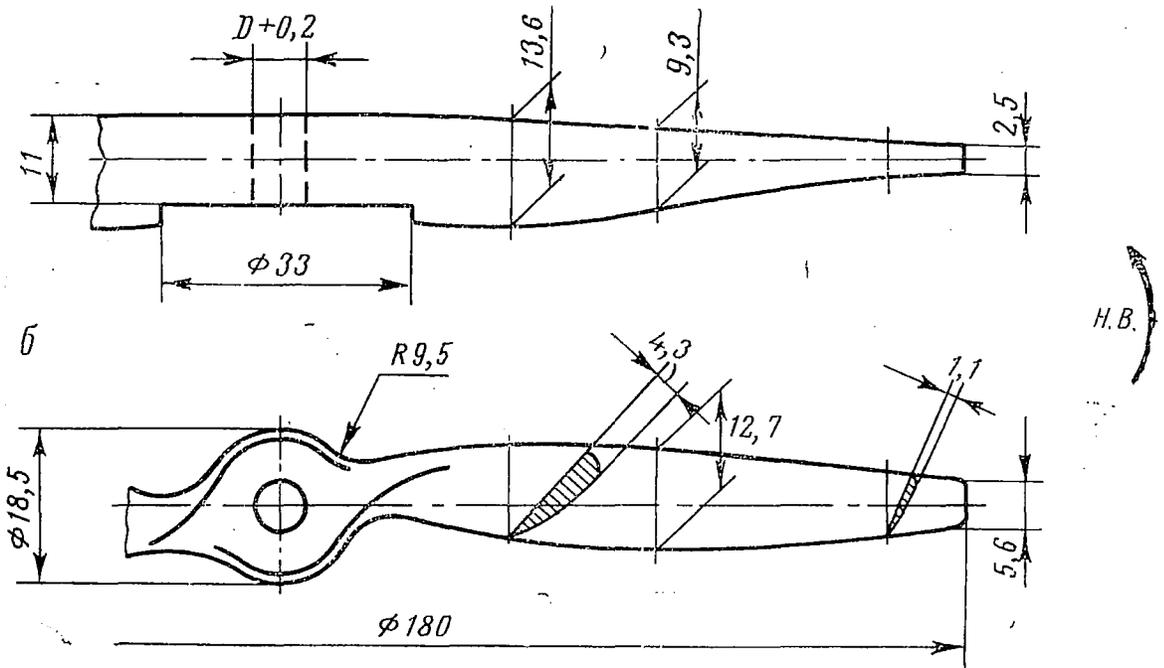
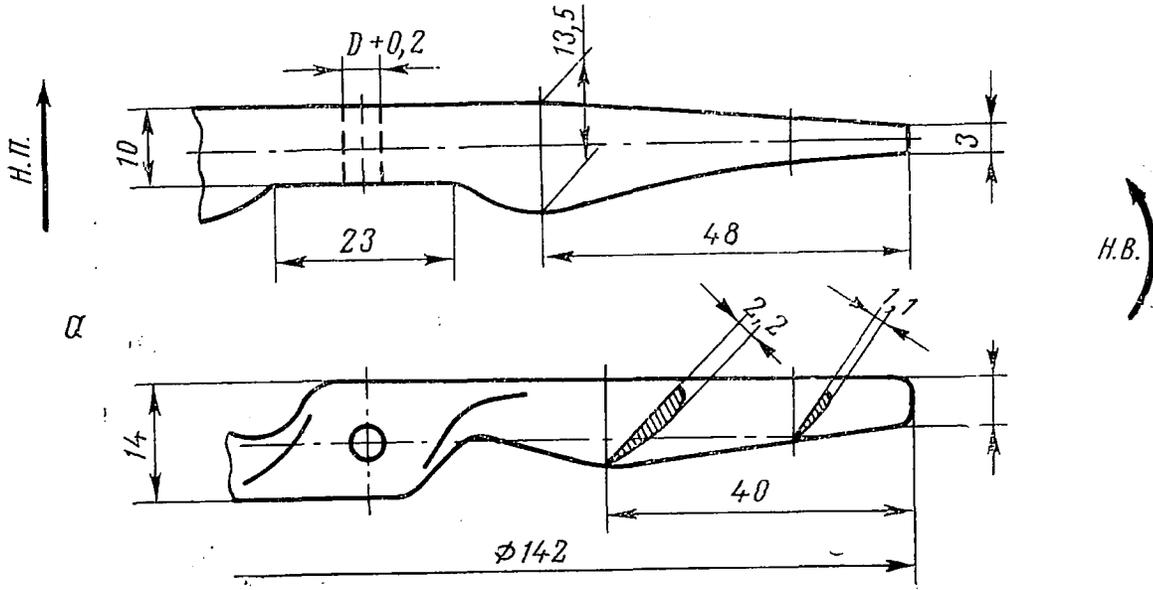


Рис. 93. Чертежи типовых винтов для двигателей:
 а — МК-16, МК-17 «Юниор», мощностью 0,1—0,5 л. с. при 13 000—14 000 об/мин (бук); б — калильных 2,5 см³ для кордовых скоростных моделей (бук, дельта древесина, стеклопластик; V=180 км/час, n=18 000 об/мин, h=200 мм), в — компрессионных 2,5 см³ для таймерных, копий и других моделей; г — быстроходных калильных 2,5 см³ для таймерных моделей и моделей «воздушного боя»



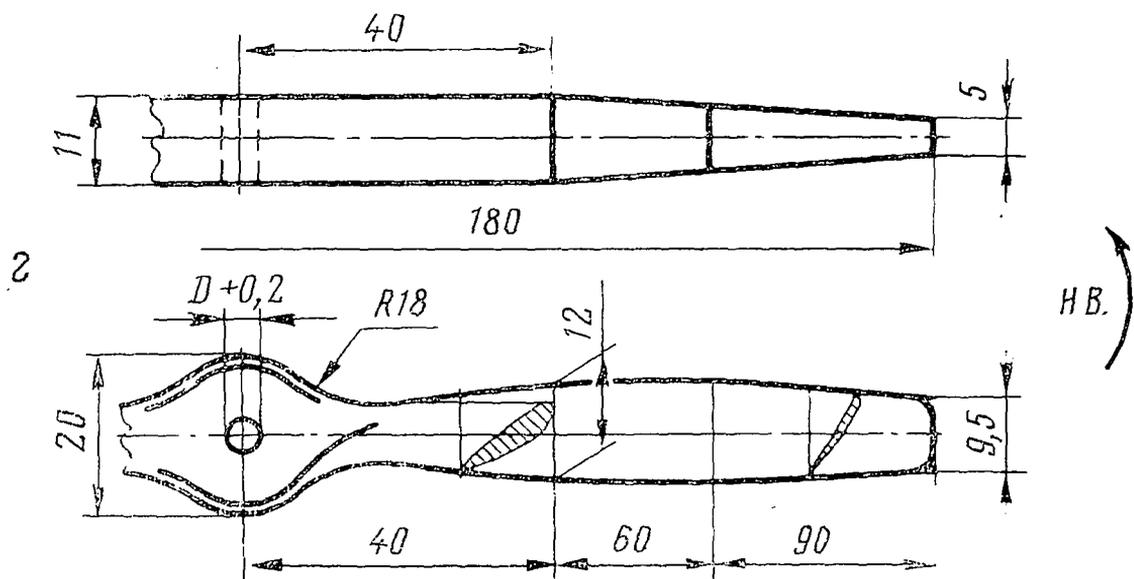
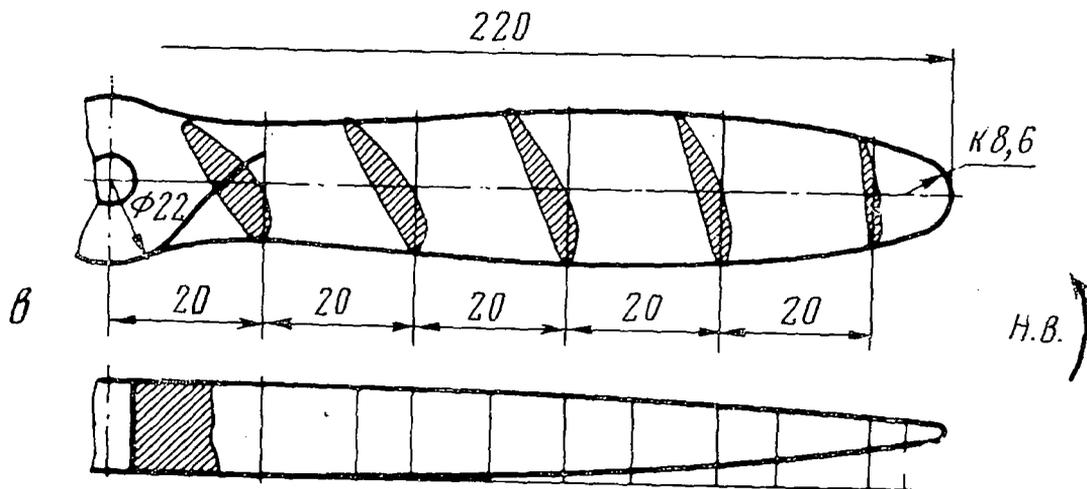
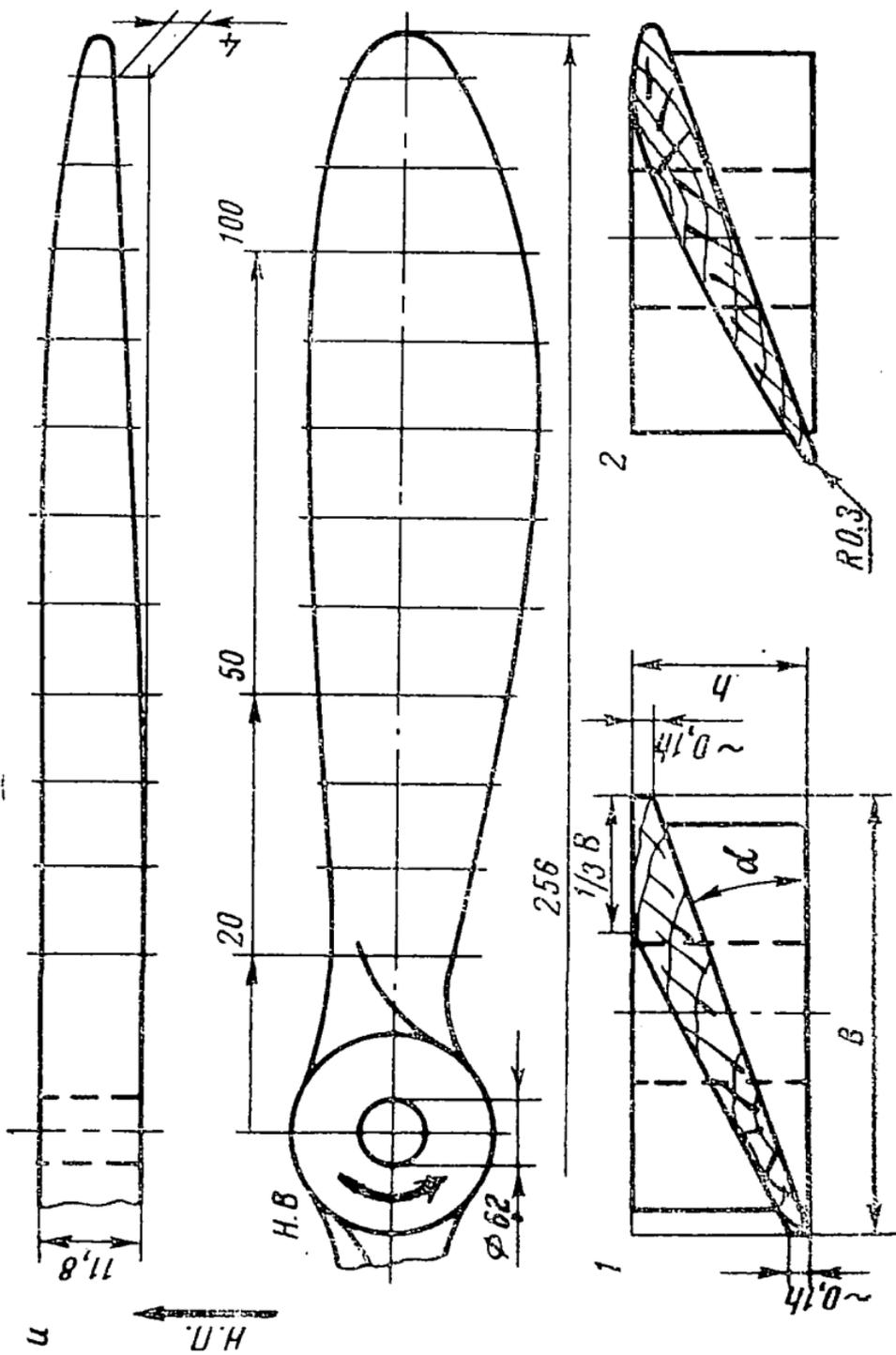
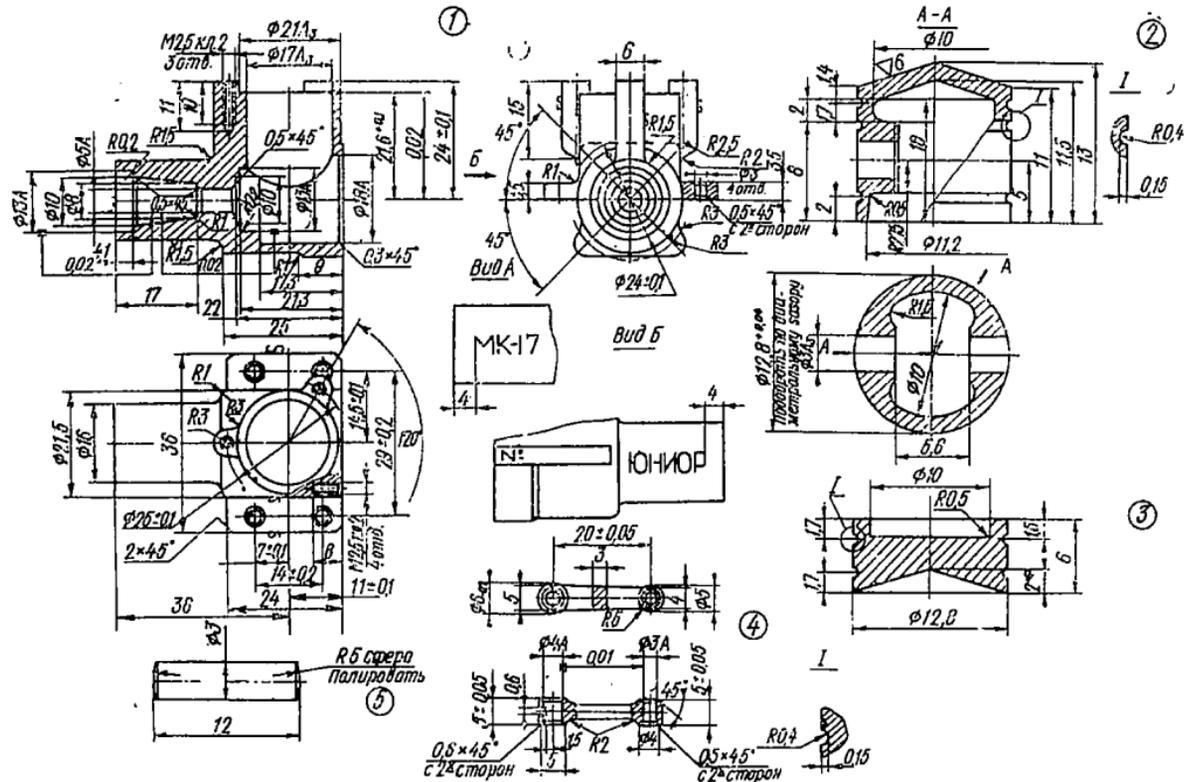


Рис. 94. Типовые винты для двигателей:
 а — быстроходных калильных 2,5 см³ для моделей со скоростями до 240 км/час при 20 000—30 000 об/мин (дельта древесины, стеклопластик, бук); б — компрессионных 2,5 см³ для гоночных моделей (дельта древесины, стеклопластик); в — калильных 5 см³ «Комета» (стеклопластик, бук, этрол, дельта древесины); г — калильных 5 см³ для скоростной модели ($V=200$ км/час, $n=16000$ об/мин; $h=240$ мм)

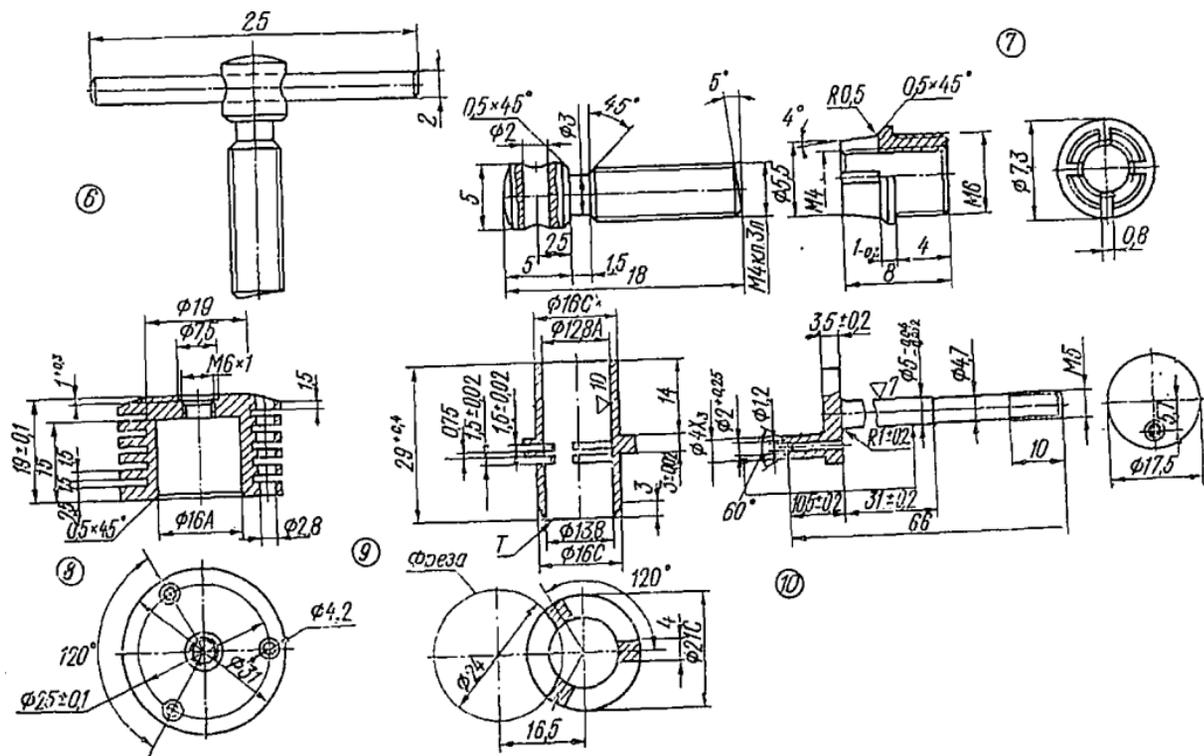


ПРИЛОЖЕНИЯ

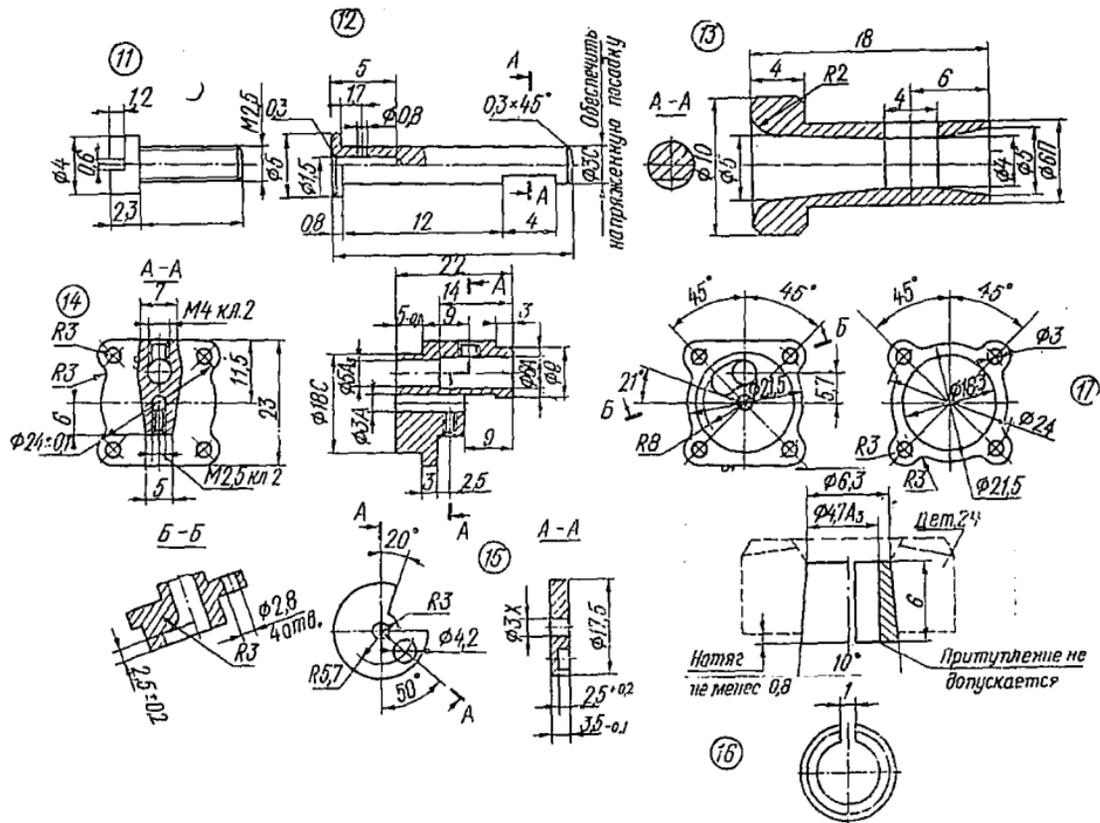
Приложение 1. Чертежи деталей двигателя МК-17 «Юниор»



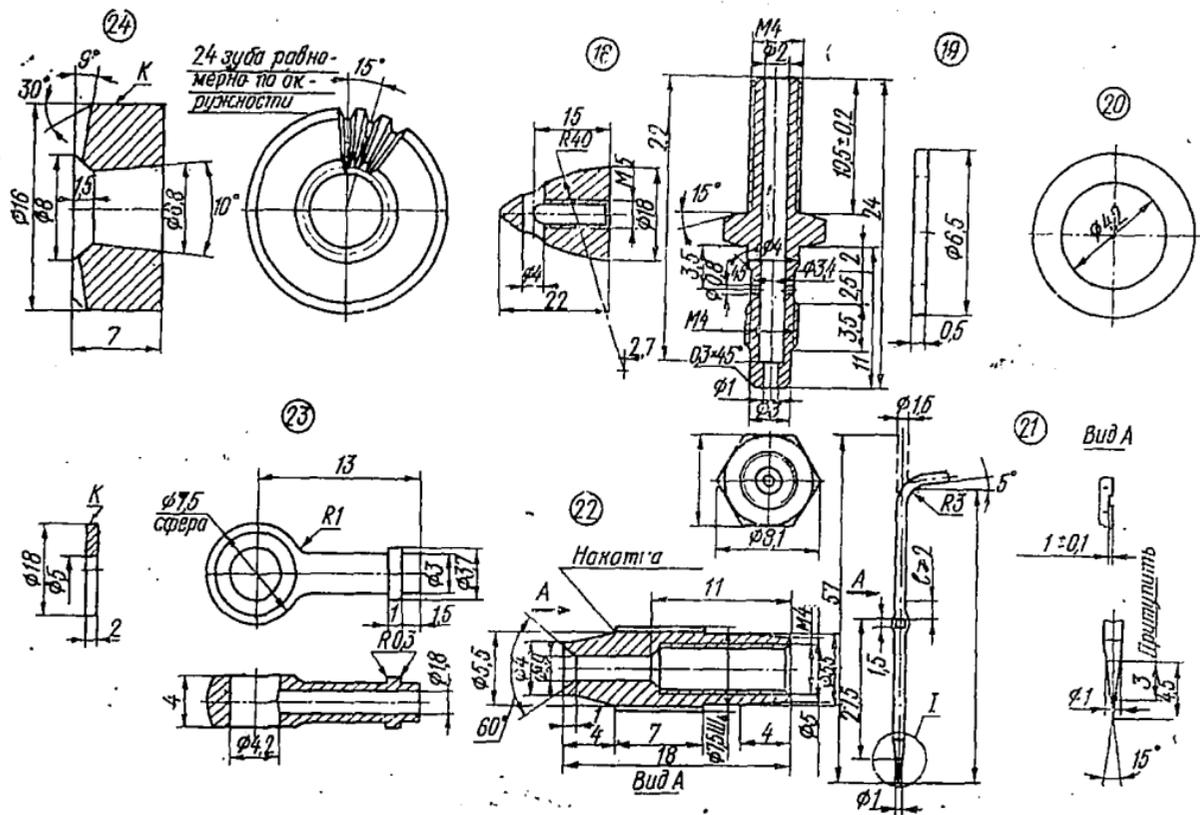
1 — картер (АЛ9); 2 — поршень (чугун ЧМ1,8); 3 — контрпоршень (Ст. 38ХА); 4 — шатун (Д-16Т); 5 — палец (Ст. 10)



6 — регулировочный винт (Ст. 38ХА); 7 — резьбовая втулка (Ст. 30ХГСА); 8 — головка (Д-16Т); 9 — гильза (Ст. ЭИ 336); 10 — вал (Ст. 18ХНВА)

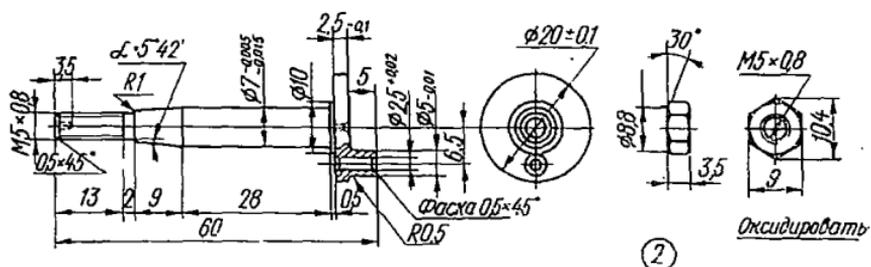


11 — винт (Ст. 45); 12 — ось (Ст. 30ХГСА); 13 — диффузор (Д-16Г); 14 — задняя крышка (АЛ19); 15 — диск распределительный (текстолит батистовый); 16 — опорный конус (латунь); 17 — прокладка (бумага кабельная)



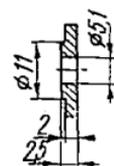
18 — обтекатель винта (Д-16Т); 19 — жиклер (латунь); 20 — прокладка (Д-16АМ);
 21 — игла (Ст. ЗХ13); 22 — втулка регулировочная (латунь); 23 —
 переходник (Д-16Т); 24 — шайба упорная

Приложение 2. Чертежи деталей. двигателя МК-12В

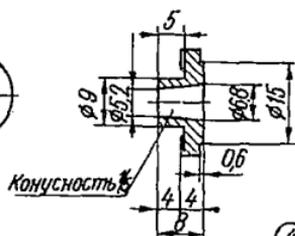


1

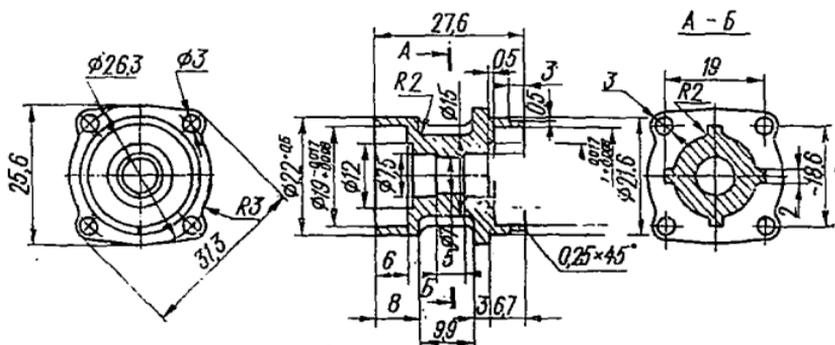
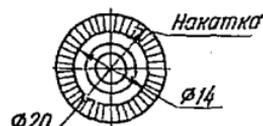
2



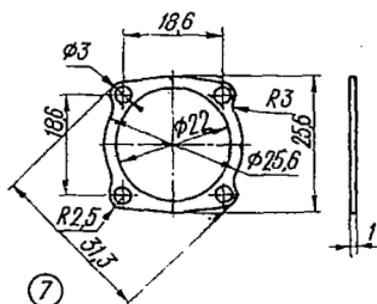
5



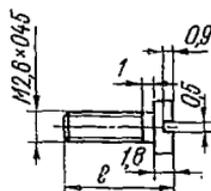
4



6



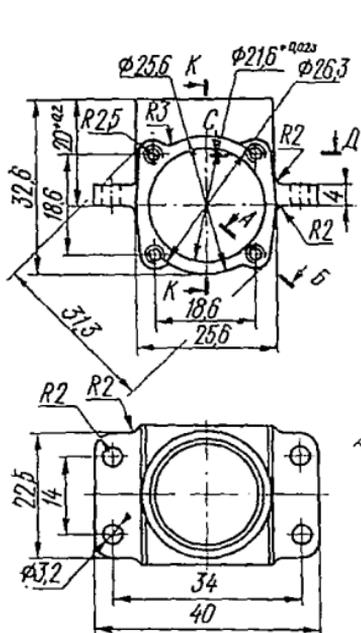
7



10

4 шт. $l=10$ мм
4 шт. $l=7$ мм

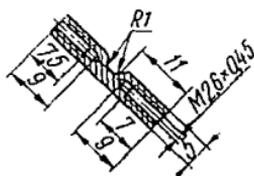
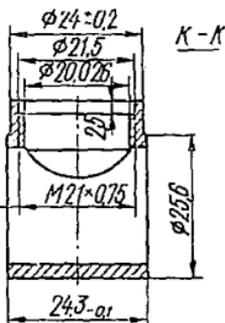
1 — вал (Ст. 40X); 2 — гайка (Ст. 45); 3 — шайба (Д-16Т);
4 — шайба (Д-16Т); 6 — насос картера (силумин); 7 — про-
кладка (бумага); 10 — винт (Ст. 45)



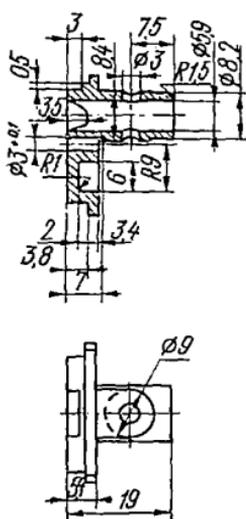
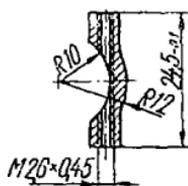
8

Сопряжение
резьбы гильзы
с картером —
плотной посадкой

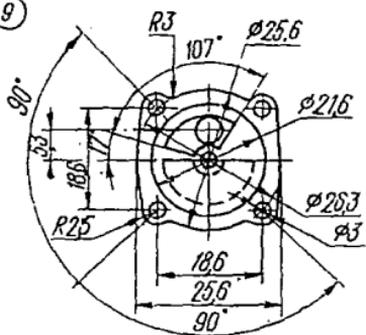
A-B



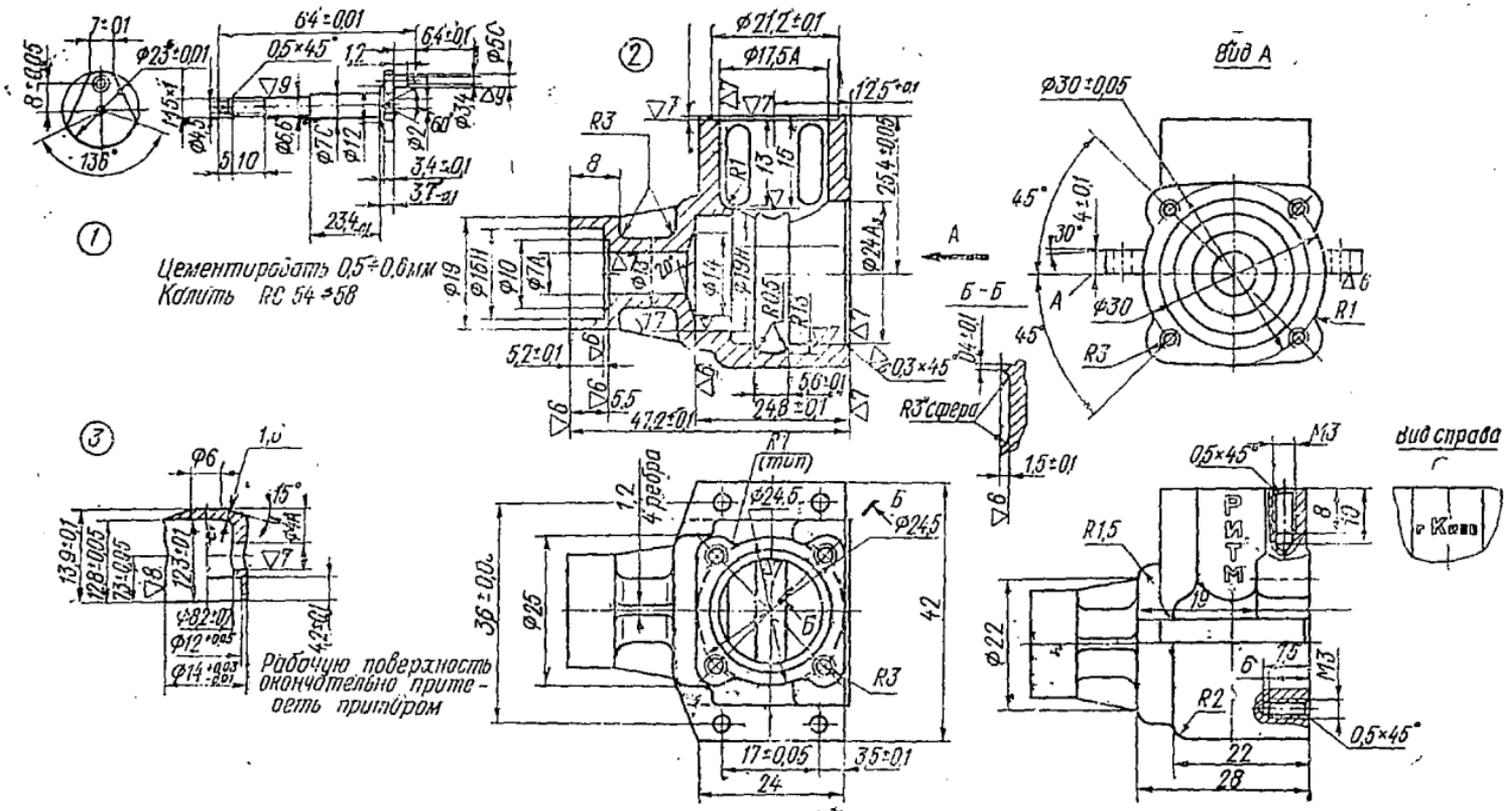
C-D

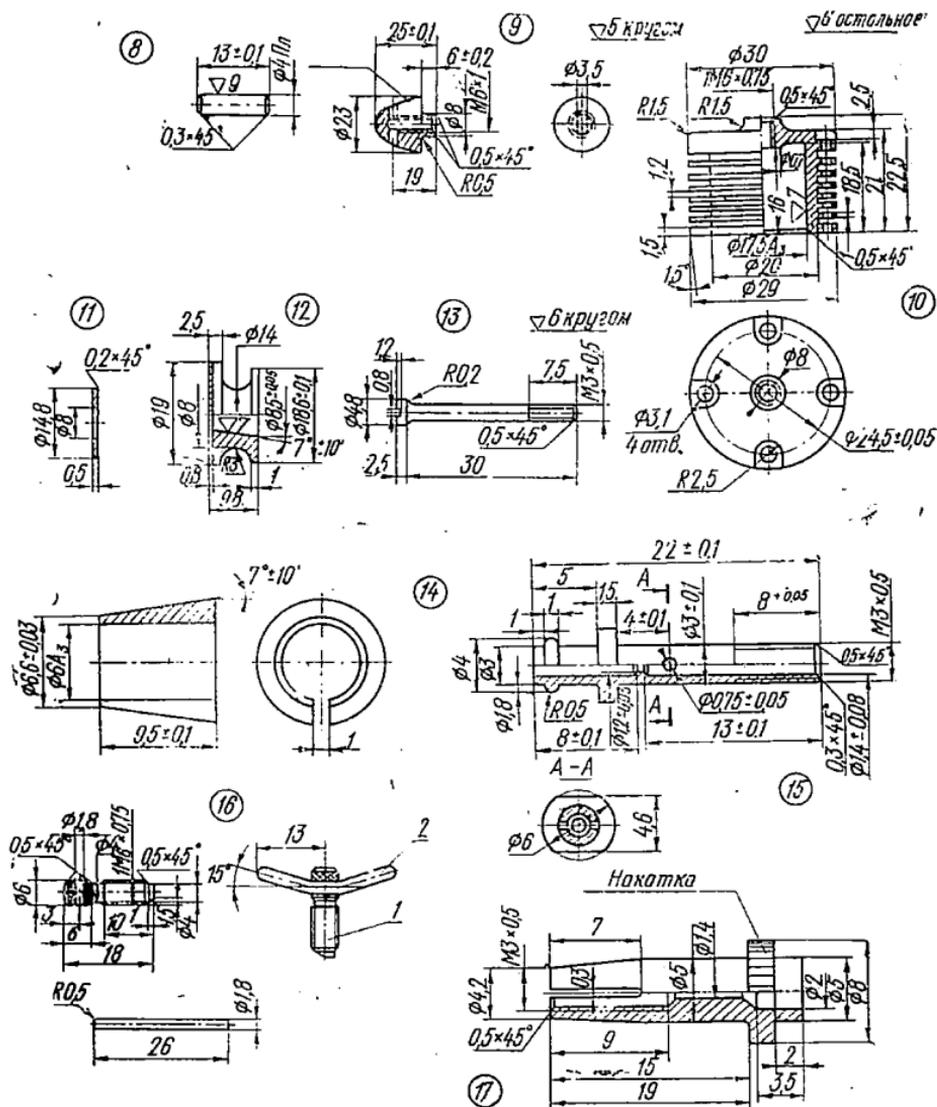


9

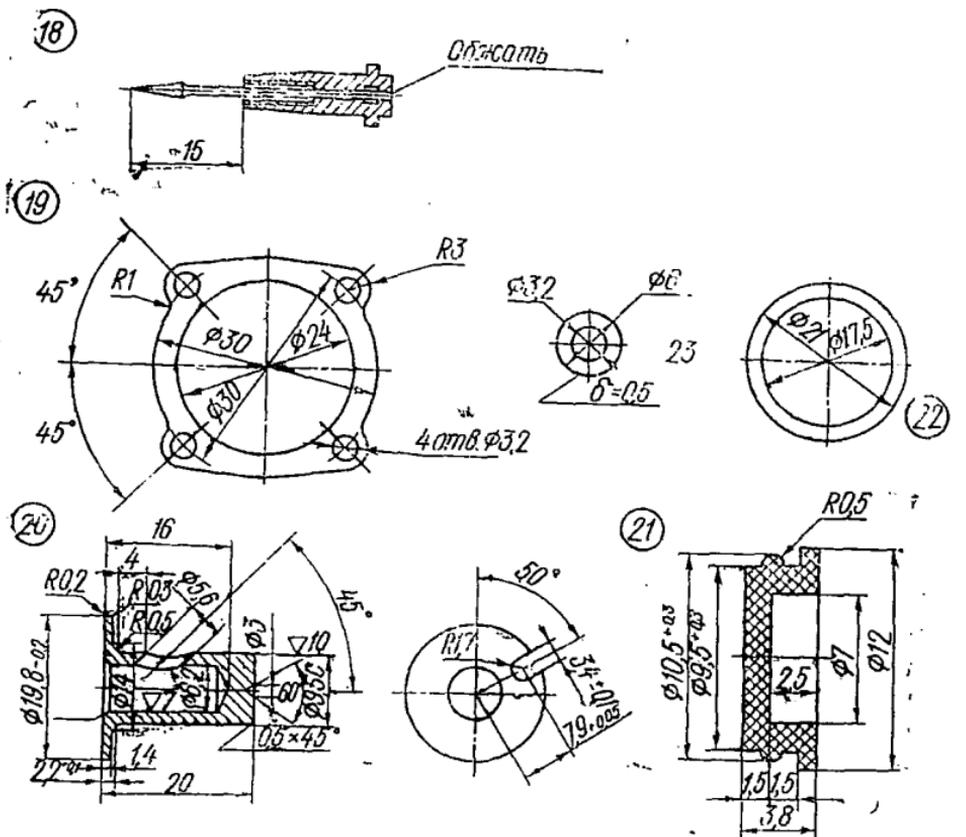


8 — картер (силумин); 9 — крышка картера (Д-16Т)

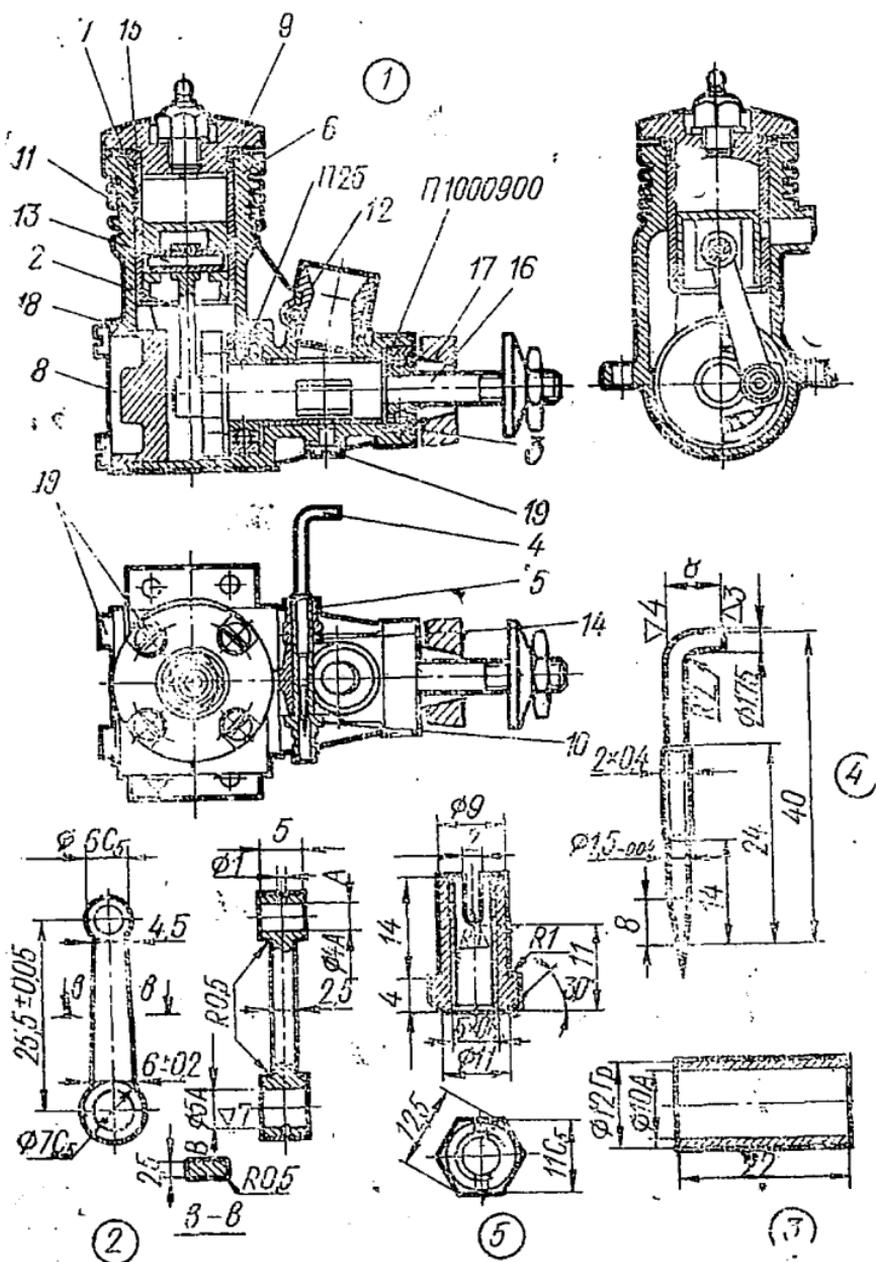




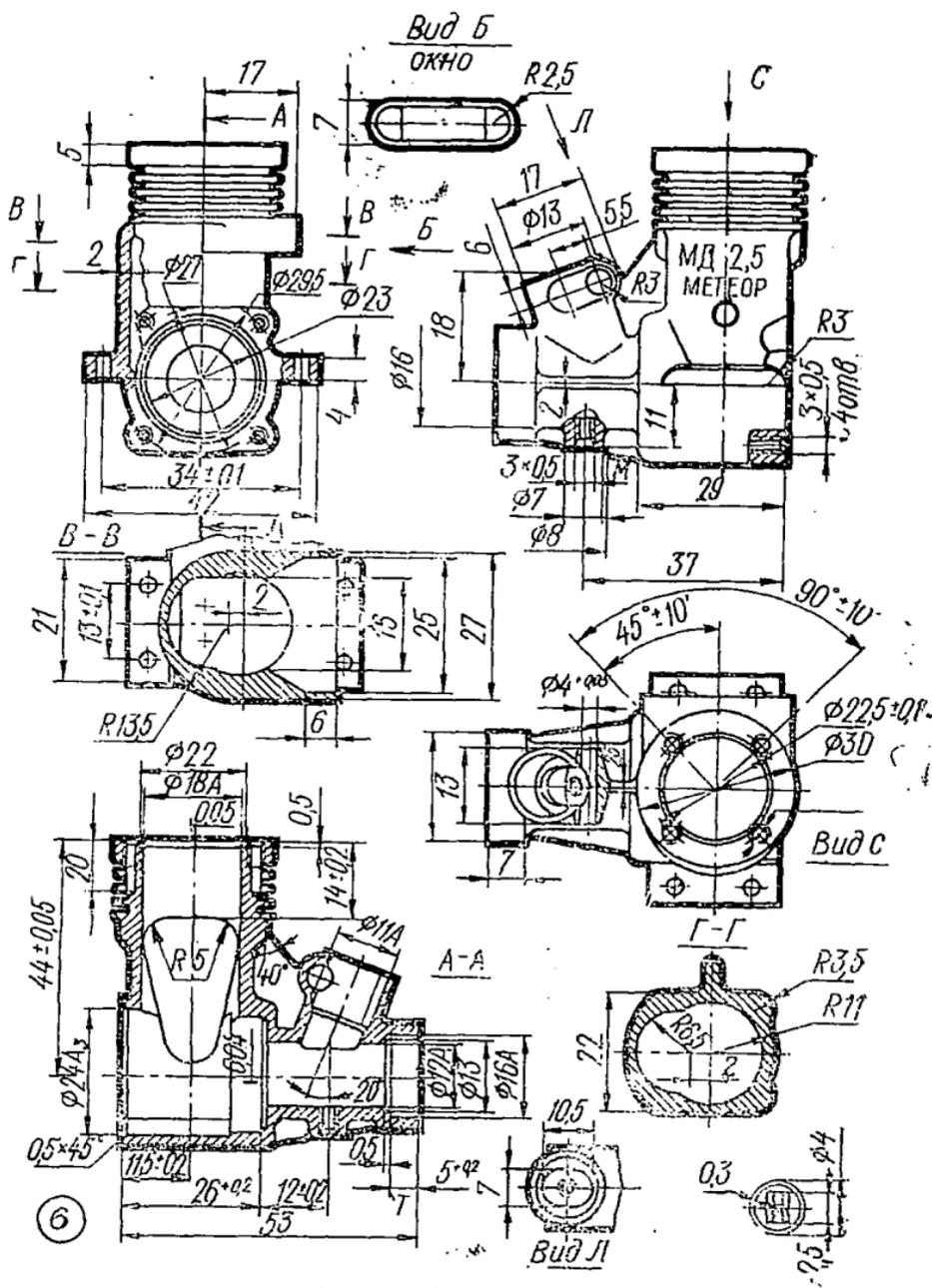
8 — палец (У8); 9 — кок (Д-16Т); 10 — рубашка цилиндра (Д-16Т); 11 — шайба (текстолит лист 0,5); 12 — шайба упорная (Д-16Т) 13 — винт (Ст. 45); 14 — конус разрезной (латунь); 15 — жиклер (латунь); 16 — винт регулировочный (Ст. 45); 17 — рукоятка жиклера (латунь)



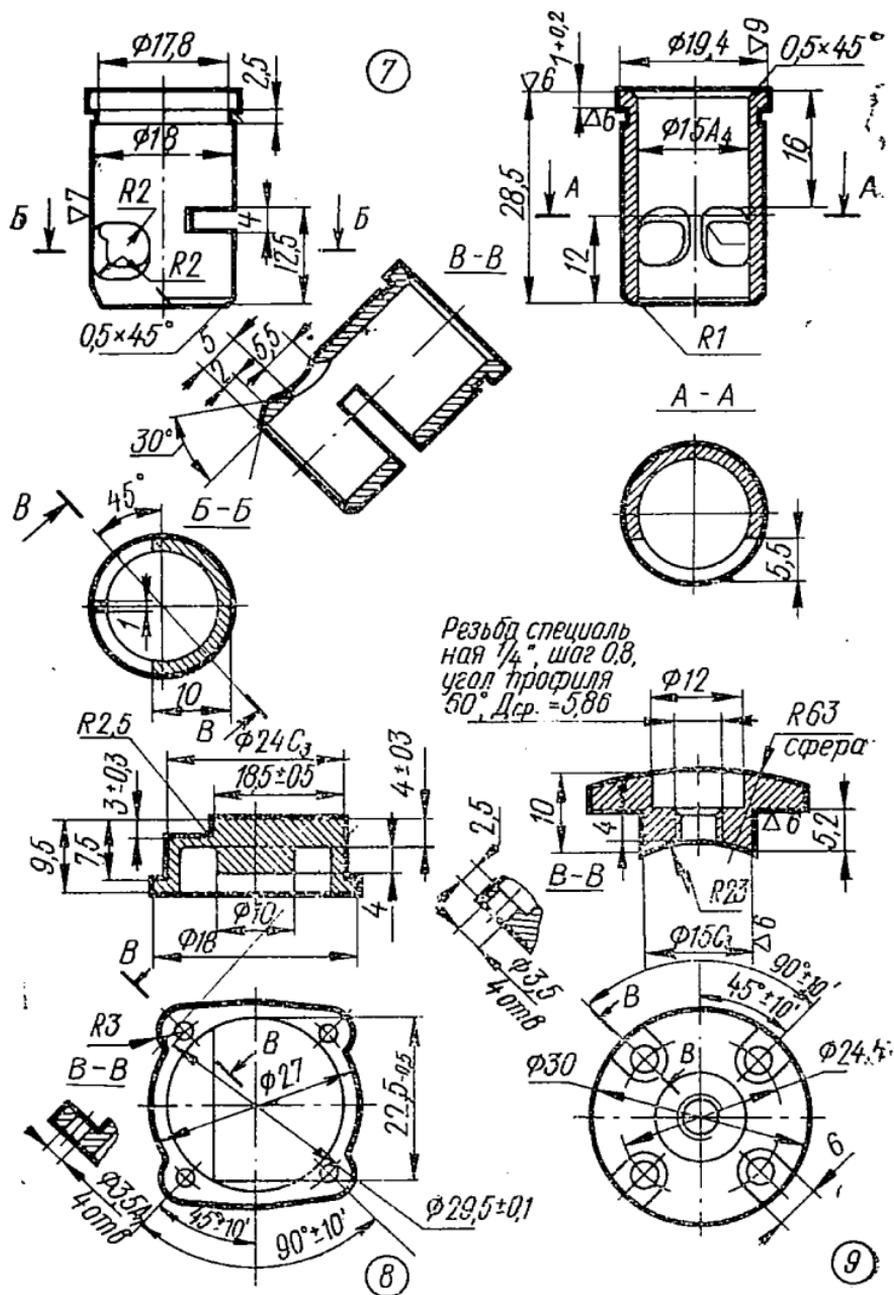
Приложение 4. Чертежи деталей двигателя «Метеор»



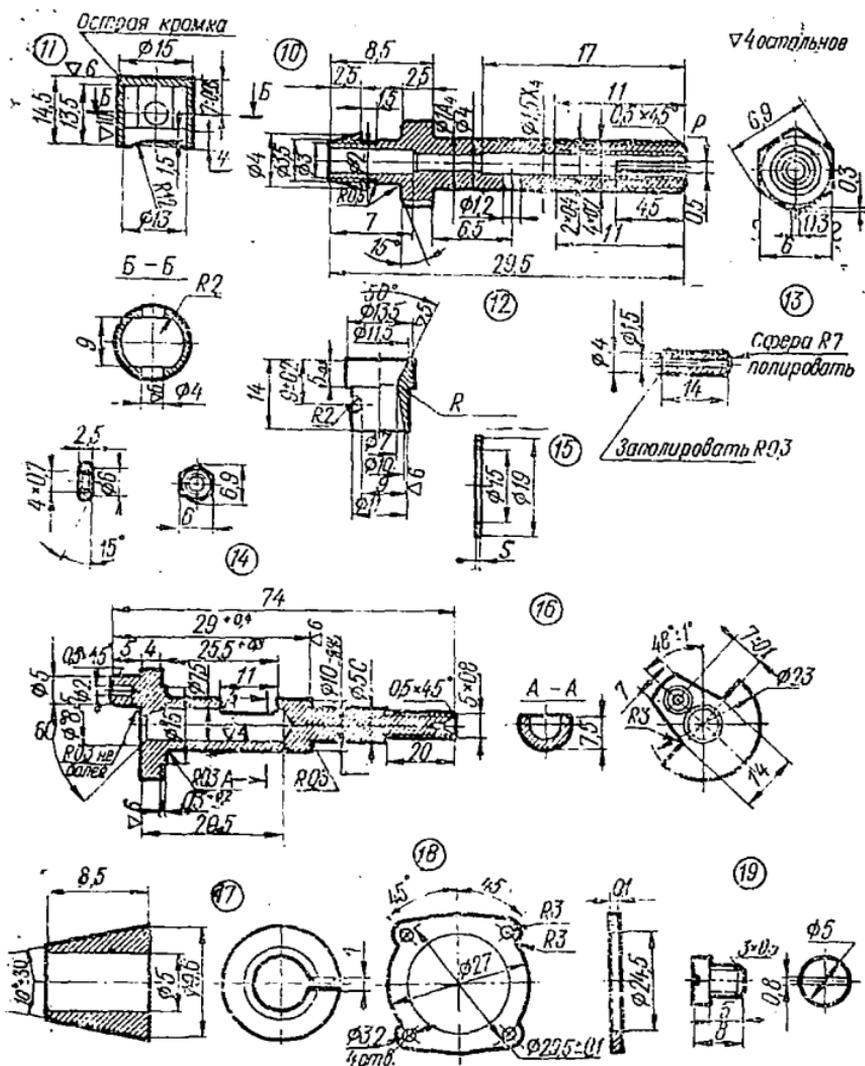
1 — разрез двигателя; 2 — шатун (Д-16Т); 3 — втулка (БрАЖ9-4); 4 — игла (Ст. 25); 5 — гайка (Ст. 45)



Картер 6 двигателя

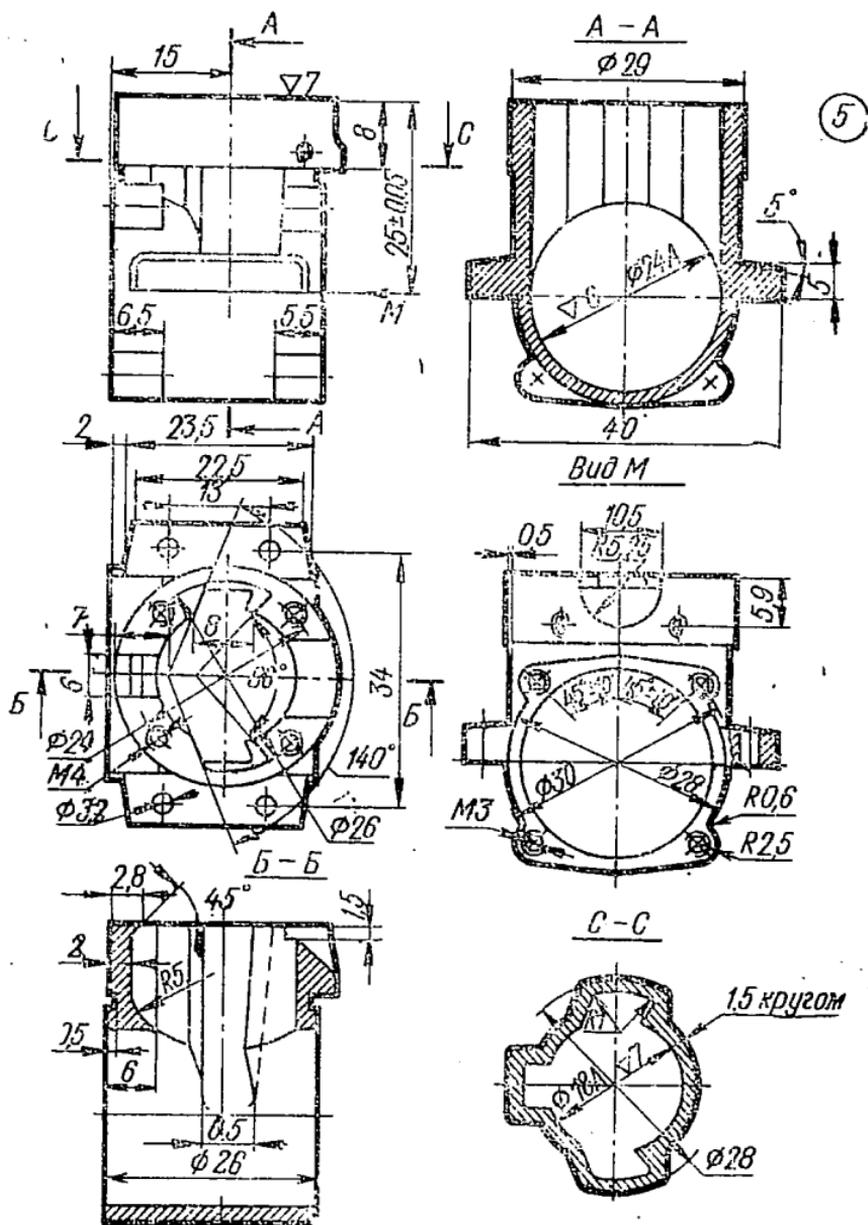


7 — гильза (ШХ15); 8 — задняя крышка (Д-16Т); 9 — головка (АЛ 4)

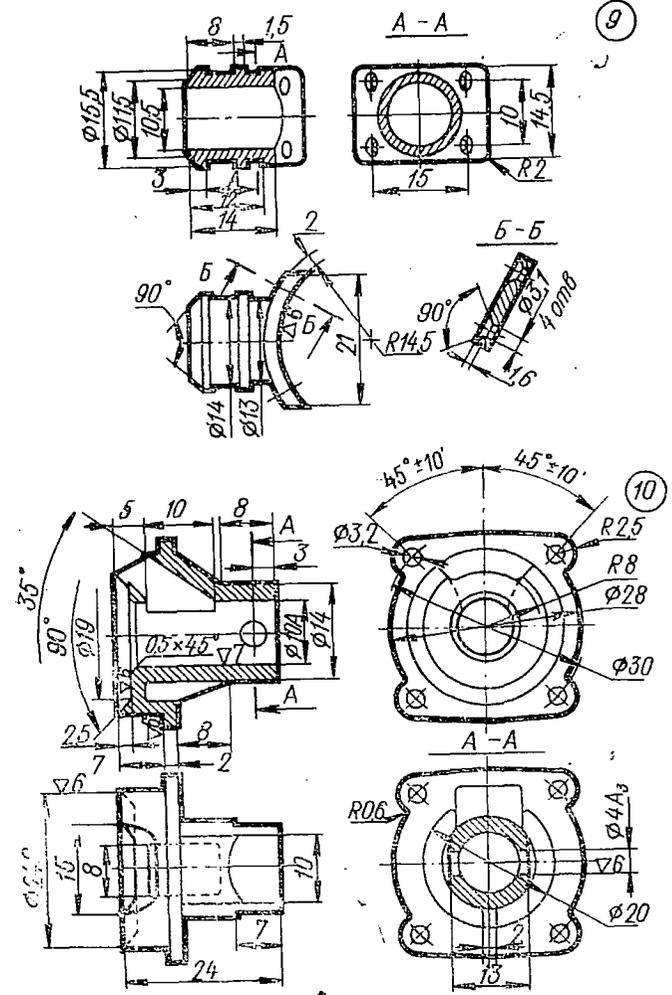
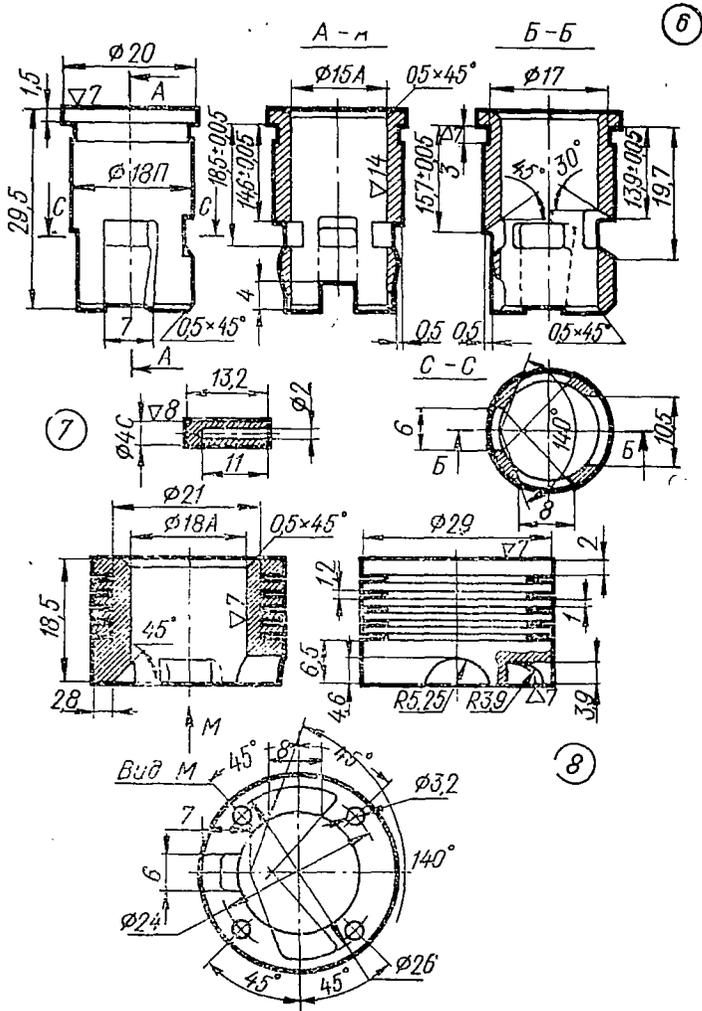


10 — жиклер (латунь); 11 — поршень (чугун ХНВ); 12 — диффузор (Д-16Т); 13 — палец (38ХА); 14 — гайка (латунь); 15 — прокладка (алюминий АДМ); 16 — вал (38ХА); 17 — конус упорный (латунь); 18 — прокладка (фторопласт 0,1); 19 — винт (Ст. 45)

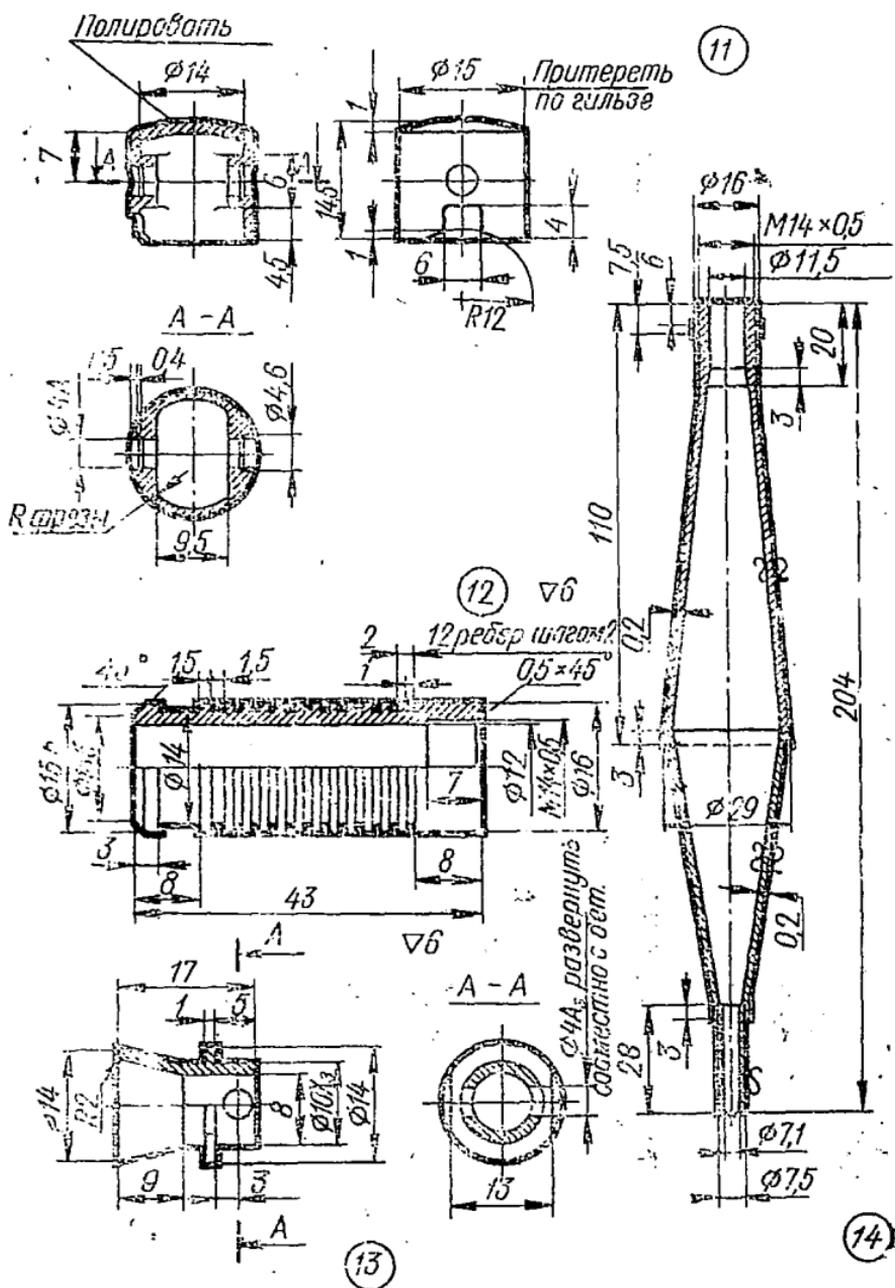
Приложение 5. Чертежи деталей двигателя «Союз-2»



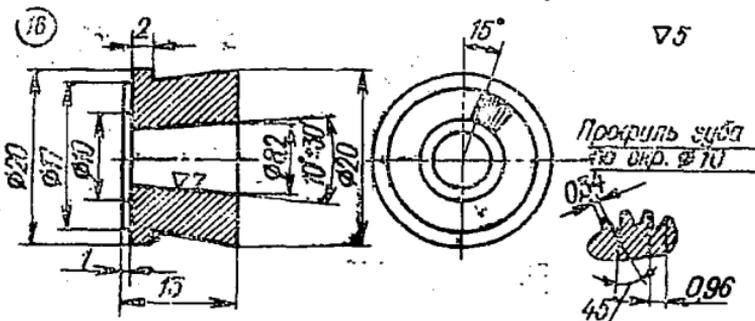
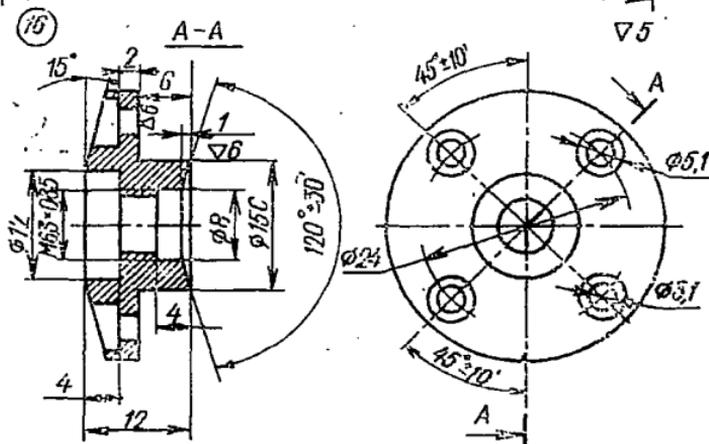
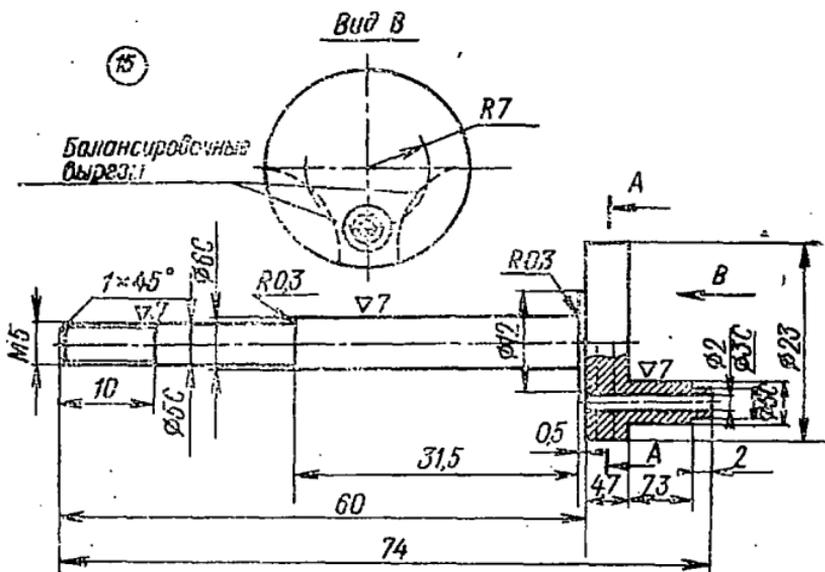
Картер 5 (АЛ19)



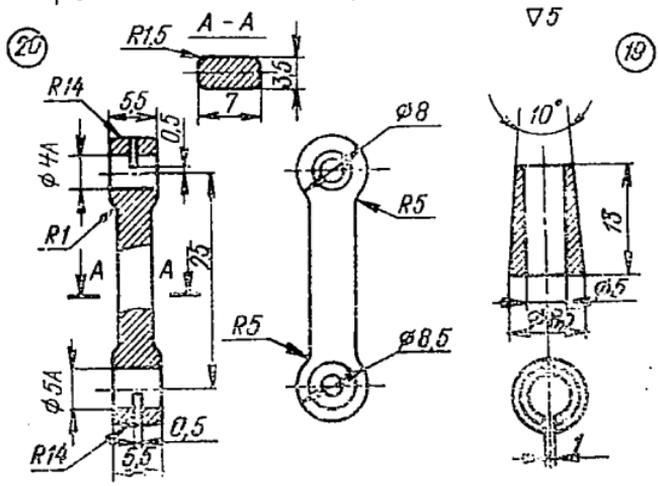
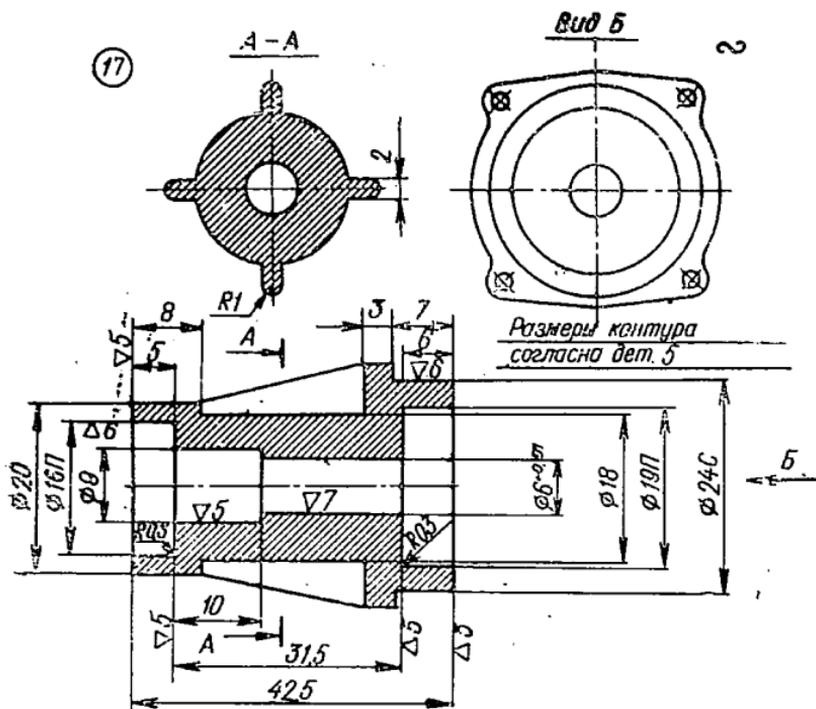
6 — гильза (ШХ15, калить Rc-54); 7 — палец (калить Rc-55); 8 — рубашка (Д-16Т); 9 — патрубок (Д-16Т); 10 — крышка (АЛ19)



11 — поршень (чугун); 12 — переходник (Д-16Т); 13 — диффузор (Д-16Т); 14 — резонансная труба (титан)

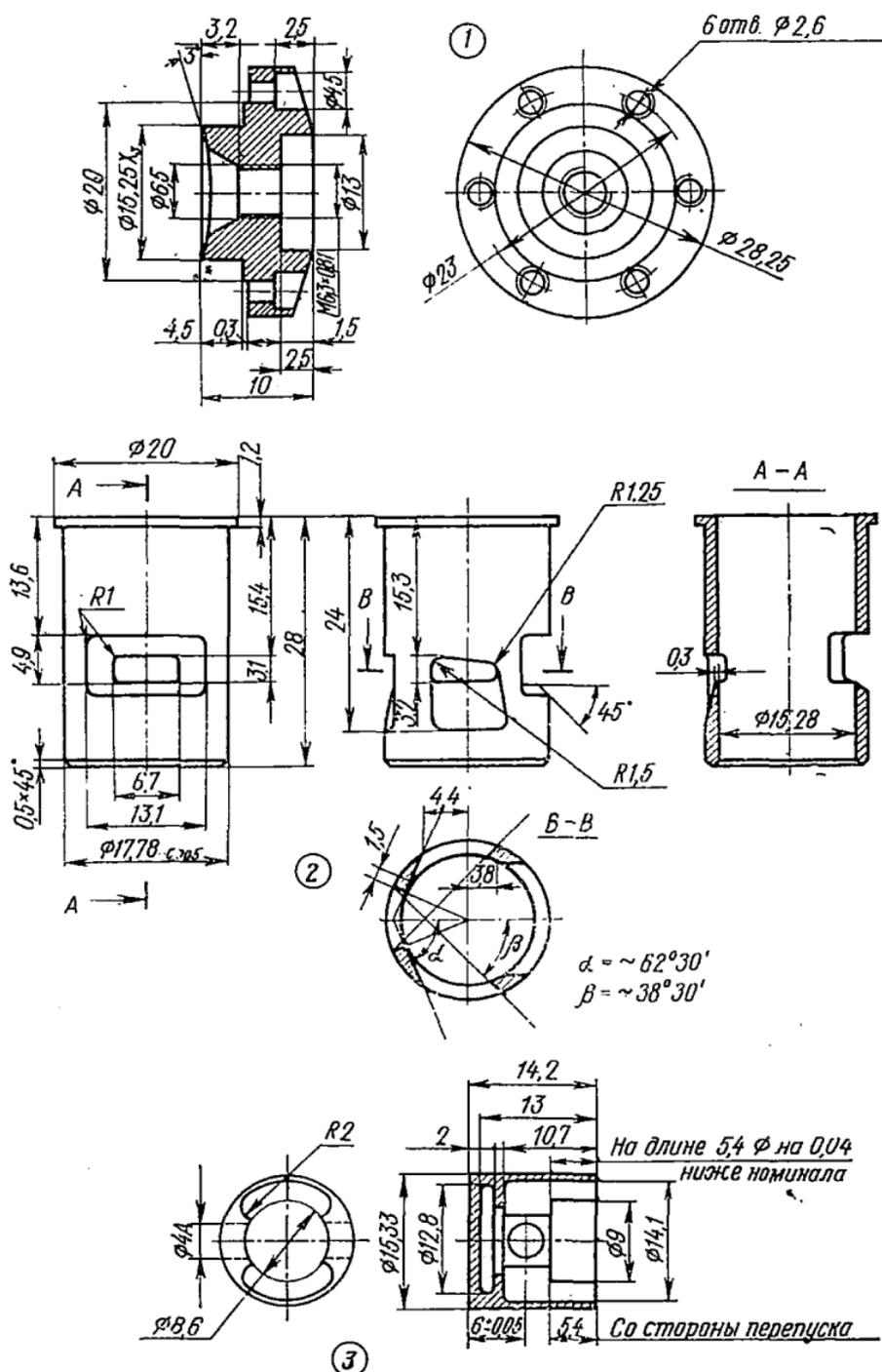


15 — вал (16ХНВА, цементировать); 16 — головка (Д-16Т); 18 — втулка опорная

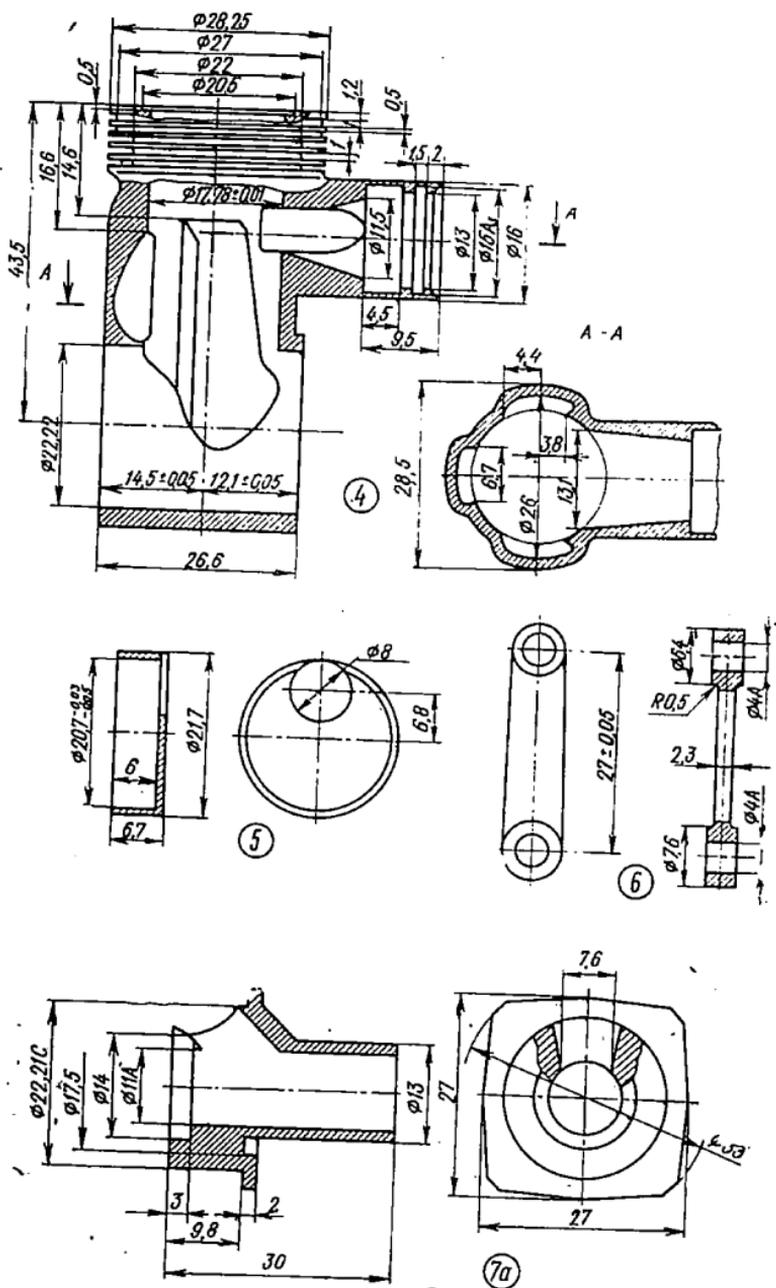


17 — носок картера (Д-16Т); 19 — конус опорный (латунь); 20 — шатун (Д-16Т)

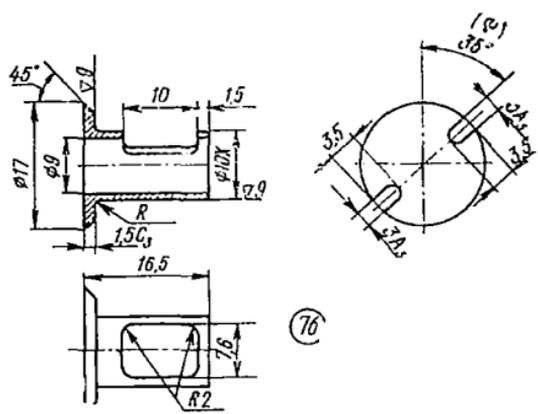
Приложение 6. Чертежи деталей двигателя Ж-88



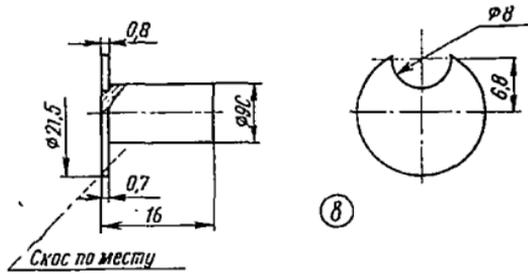
1 — головка цилиндра (Д-16Т); 2 — гильза (ЭИ 366 или А12);
3 — поршень (чугун спец. 223 или рояльный марки Т);



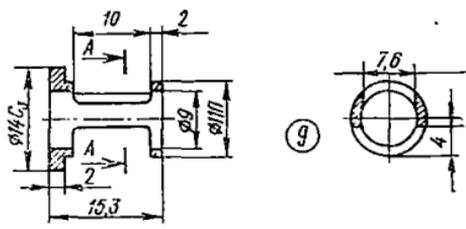
4 — картер (AK4); 5 — обойма (Д-16Т); 6 — шатун (B95); 7,а — задняя крышка (AK4)



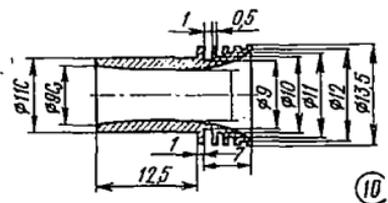
7.6



8

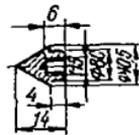


9

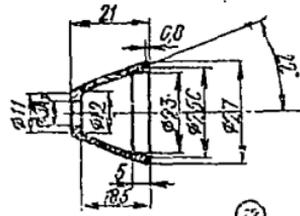


10

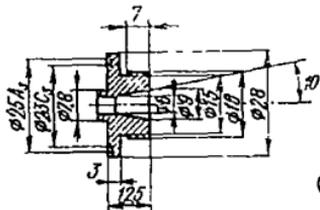
7,6 — распределительный вал (ХВ, калиль НРС-48—50);
 8 — заглушка (текстолит); 9 — втулка (бронза БРБ);
 10 — втулка (Д-16Т)



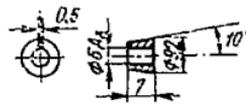
(11)



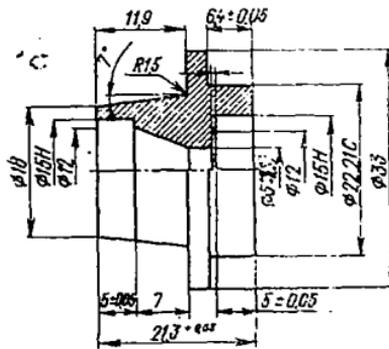
(12)



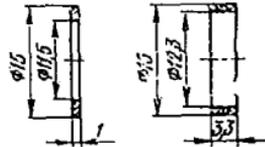
(13)



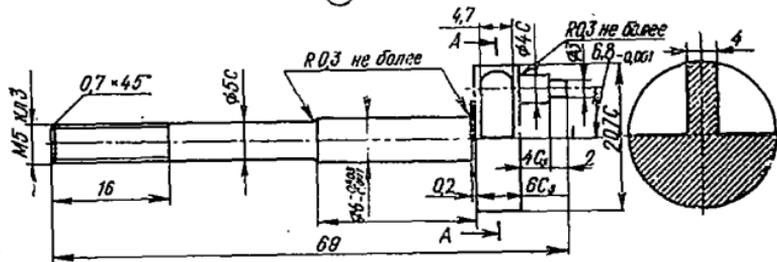
(14)



(15)

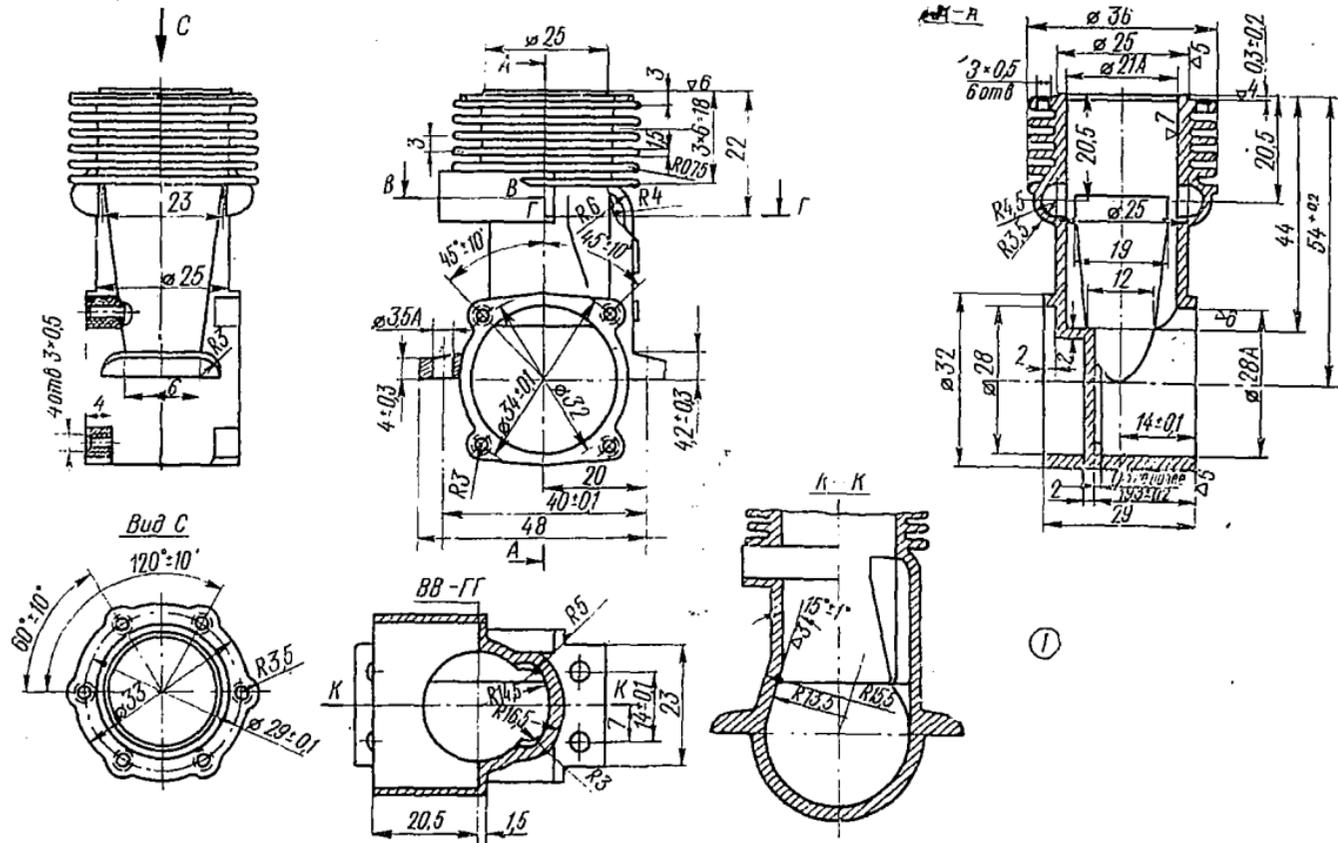


(16)

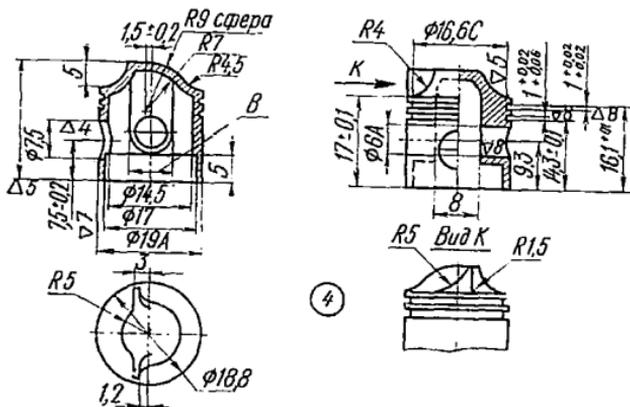
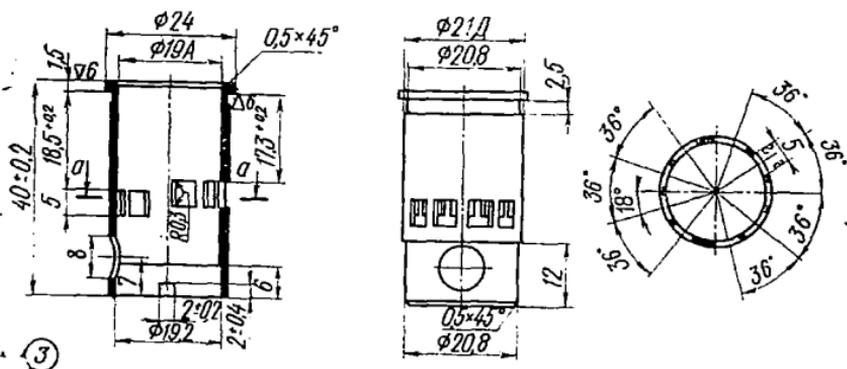
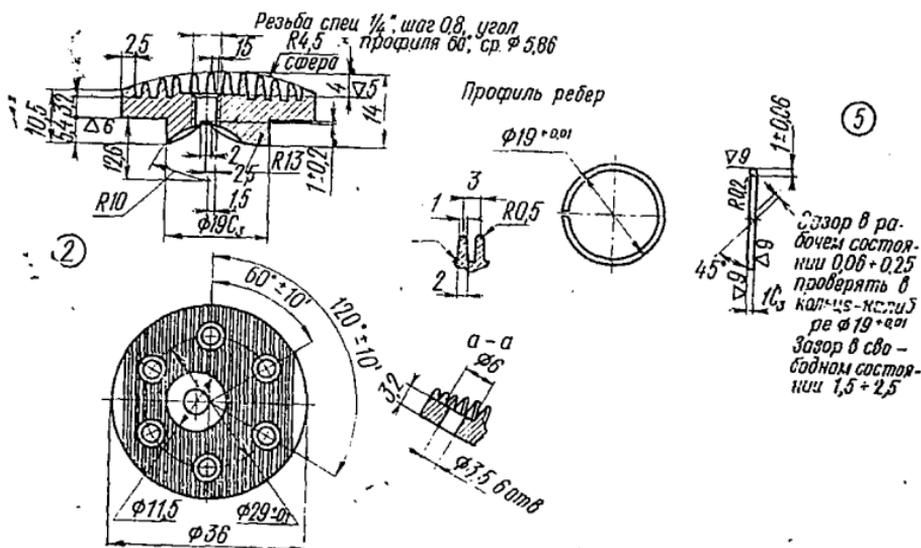


(17)

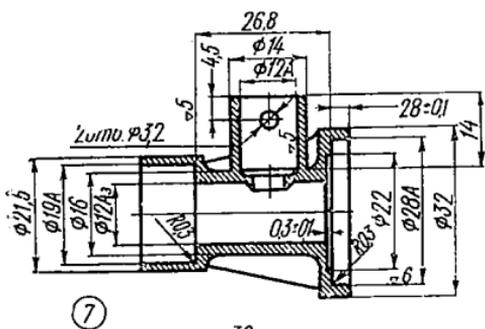
11 — носок (Д-16Т); 12 — кок (Д-16Т); 13 — фланец (Д-16Т); 14 — втулка конусная (бронза); 15 — носок (В95); 16 — шайба (фторопласт); 17 — вал (12ХНЗА)



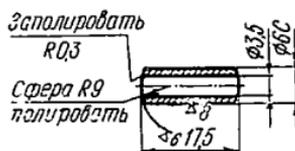
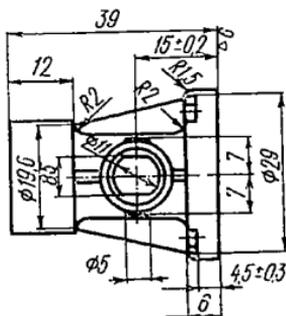
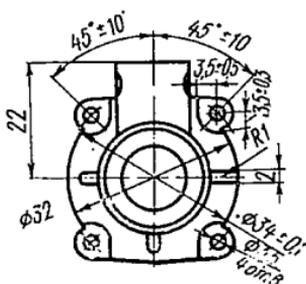
Картер 1 (АЛ19)



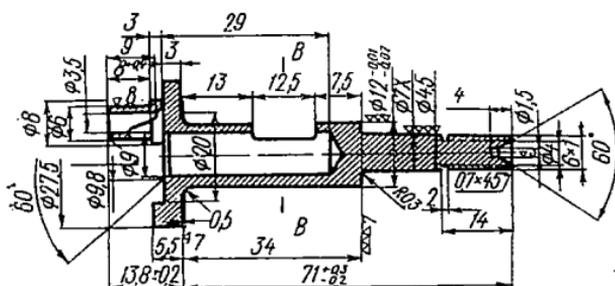
2 — крышка (АЛ9); 3 — гильза (Ст. 38ХА); 4 — поршень (АЛ9); 5 — поршневое кольцо (чугун ХНВ)



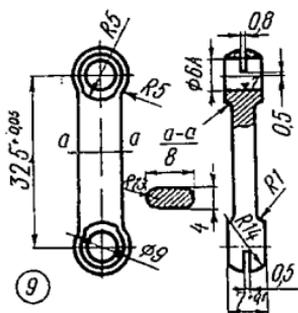
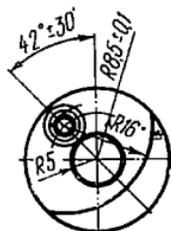
7



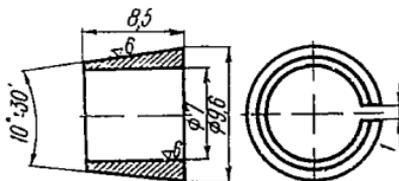
6



8

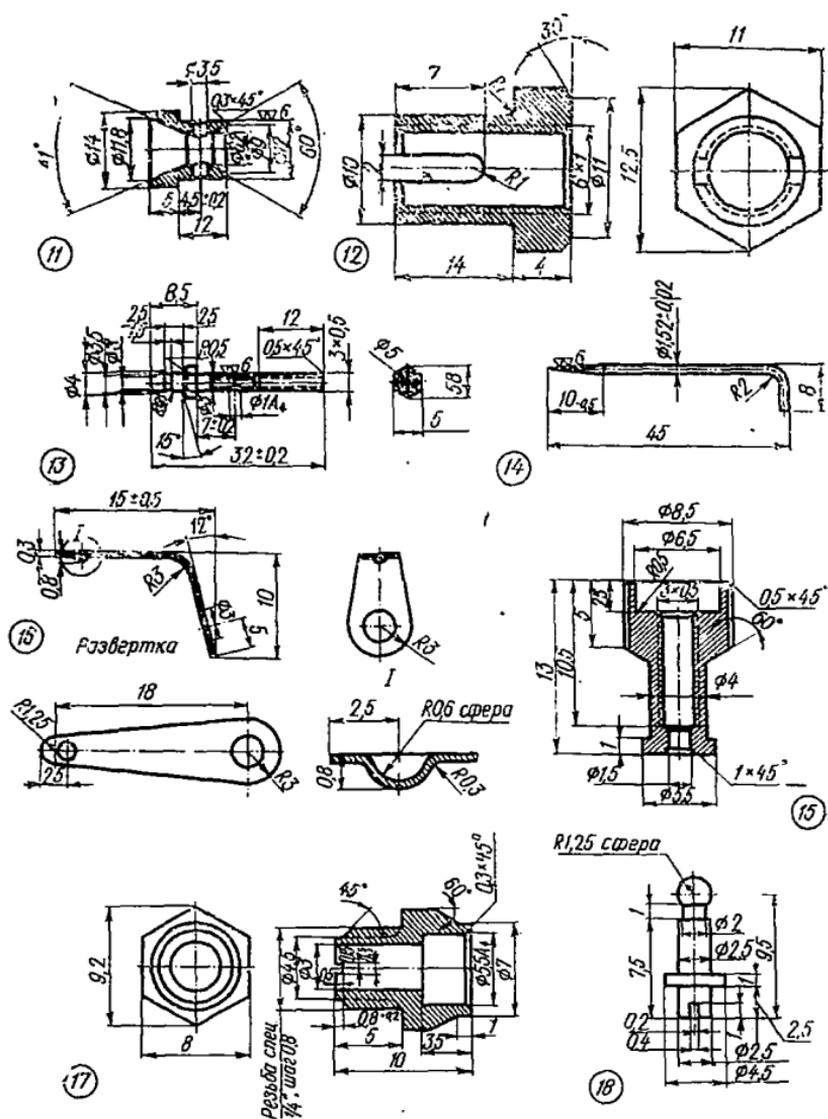


9

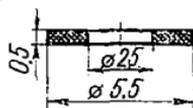


10

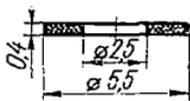
6 — палец (Ст. 38ХА); 7 — носок картера (АЛ19); 8 — вал кривошипа (Ст. 38ХА); 9 — шатун (АК6); 10 — втулка (латунь Л162)



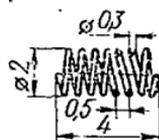
11 — диффузор (Д-16Т); 12 — гайка (Ст. А12); 13 — жиклер (латунь Л62); 14 — игла (Ст. ОВС); 15 — гайка (Ст. А12); 16 — фиксатор (Ст. 60С2А); 17 — корпус свечи (Ст. А12); 18 — сердечник (латунь Л62)



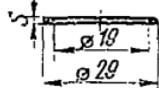
19



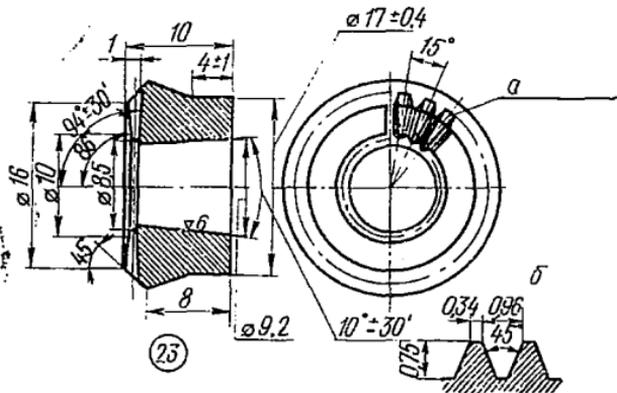
20



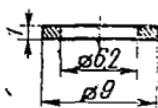
21



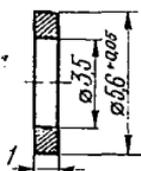
22



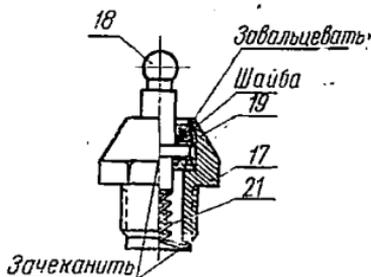
23



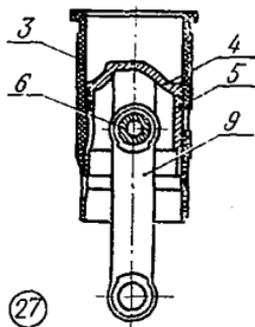
24



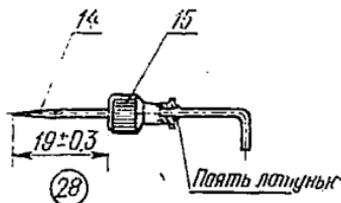
25



26



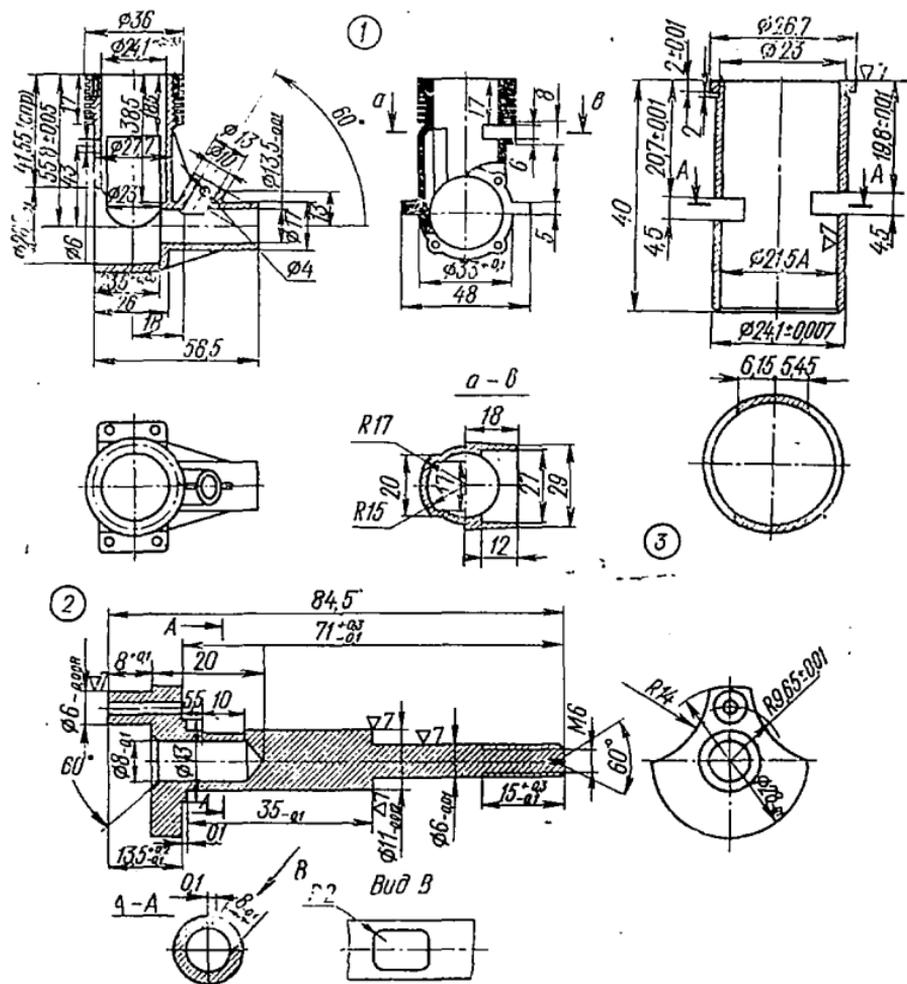
27



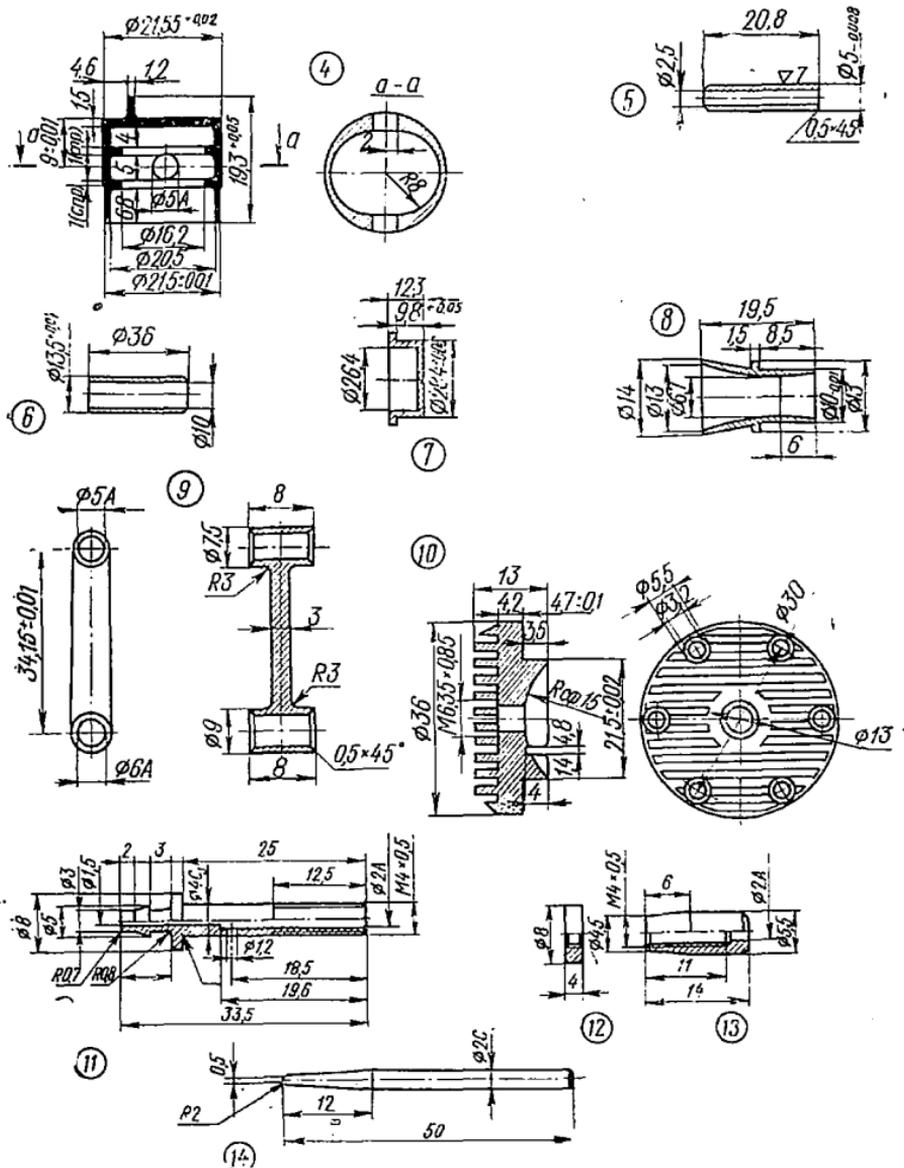
28

19 — изолятор (паранит УВ10); 20 — изолятор (миканит формовочный); 21 — спираль (платино-иридий Х15А60 или Х20Н80); 22 — прокладка (фольга алюминиевая А0 или А00, S=0,1; 0,2; 0,3); 23 — втулка опорная (Д-16Т); а — 24 зуба, равномерно расположенных по окружности; б — профиль зуба по окружности Ø10; 24 — прокладка (медь М3 мягкая); 25 — шайба (Ст. 10); 26 — свеча; 27 — поршень с гильзой; 28 — игла

Приложение 3. Чертежи деталей двигателя «Акробат»



1 — картер (АЛ9, АК4); 2 — вал (18ХНВА или 12ХНЗА цементировать на глубину 0,3 мм, калить 45—50 ед. Rc); 3 — гильза (Ст. 40, калить 45—48 ед. Rc)



4 — поршень (чугун СЧ18); 5 — палец (Ст. 45, калить 50 — 60 Rc); 6 — втулка (бронза бериллиевая); 7 — крышка задняя (АК4, Д-16Т); 8 — диффузор (Д-16Т); 9 — шатун (Д-16Т); 10 — головка (Д-16Т); 11 — жиклер (латунь); 12 — гайка (латунь); 13 — ручка (ЛС59); 14 — игла (У8)

ЛИТЕРАТУРА

Жидков С. Секреты высоких скоростей кордовых моделей самолетов. М., Изд-во ДОСААФ, 1972.

Колл. авторов. Лети, модель! М., Изд-во ДОСААФ, 1970.

Гаевский О. Авиамоделирование. М., Изд-во ДОСААФ, 1964.

Вербитский Е. Двигатель с резонансной трубой. «Крылья Родины», 1970, № 12.

Лапынин А. «Союз-2» — двигатель скоростной модели. «Крылья Родины», 1971, № 9.

Харитонов В. Бесконтактный тахометр. «Радио», 1969, № 8.

СО Д Е Р Ж А Н И Е

	Стр.
Классификация авиамодельных двигателей	3
Действие двухтактного двигателя внутреннего сгорания	4
Рабочий процесс	4
Геометрические характеристики двигателя	9
Индикаторная диаграмма	12
Индикаторная мощность двигателя	13
Эффективная мощность двигателя	14
Литровая мощность двигателя	15
Удельный вес двигателя	15
Удельный расход топлива	16
Характеристика двигателя	16
Энергетический баланс и потери в двигателе	17
Трение	18
Смазка	18
Смазочный материал — масла	19
Топливо	20
Присадки	23
Топливные смеси	23
Карбюрация	24
Энергетический запас горючей смеси	25
Зажигание	29
Охлаждение двигателя	30
Конструкции авиамодельных двигателей	30

Устройство авиамодельного двигателя	30
Двигатели МК-17«Юниор», МК-12В, «Ритм», «Метеор», «Союз-2», Ж-88, МД-5«Комета», «Акробат»	33
Детали авиамодельных двигателей	47
Картеры	48
Цилиндры	52
Головки цилиндров	61
Поршни	63
Шатуны	67
Поршневые пальцы	70
Коленчатые валы	70
Подшипники вала	73
Смесераспределительные устройства	77
Запальные свечи	81
Карбюраторы	84
Система питания	87
Управление двигателем в полете	97
Эксплуатация авиамодельных двигателей	101
Общие советы	102
Крепление двигателя	103
Установка двигателя на модель	105
Выбор топливных смесей	105
Составление топливных смесей	106
Хранение топливных смесей и горючих смазочных материалов	107
Заправка топливной смесью	108
Стартовое оборудование для запуска калильных двигателей	108
Первая проба двигателя	112
Запуск компрессионных двигателей	113
Неполадки при запуске компрессионных двигателей и их устранение	115
Запуск двигателей с калильным зажиганием	116
Неполадки при запуске калильных двигателей и их устранение	116

Регулировка двигателя	117
Обкатка	118
Ресурс двигателя	119
Испытание авиамодельных двигателей	119
Измерение числа оборотов вала двигателя	119
Определение рабочего объема цилиндра двигателя	129
Определение степени сжатия	130
Измерение крутящего момента	131
Снятие внешней характеристики двигателя	134
Снятие дроссельной характеристики двигателя	136
Испытание на прочность	136
Форсирование авиамодельных двигателей	137
Улучшение газораспределения	139
Доработка частей двигателя	147
Подбор степени сжатия	152
Подбор калильных свечей и головок цилиндров	154
Последовательность доводки и оформление результатов испытаний двигателя	155
Реализация мощности	156
Приложения	169
Литература	204

Олег Константинович Гаевский

АВИАМОДЕЛЬНЫЕ ДВИГАТЕЛИ

Редактор Е. В. Ефремова
Худ. редактор Т. А. Хитрова
Техн. редактор Р. Б. Хазен
Корректор И. С. Судзиловская

Г-31081 Сдано в набор 12/II-73 г.
Подп. к печ. 17/X-73 г. Изд. № 1/6257
Формат 84×108¹/₃₂ Бум. тип. № 3
Тираж 19 000 экз. Цена 37 коп.
Объем физ. п. л. 6,5 Усл. п. л. 10,92
Уч.-изд. л. 9,62

Изд-во ДОСААФ, Москва, Б-66,
Новорязанская ул., д. 26.

Типография Изд-ва ДОСААФ. Зак. 297

Цена 37 коп.

14
11720
а

Издательство ДОСААФ. Мо
1973