

В.С. Рыбальчик

**Теория поршневых авиационных
двигателей**

**Москва
«Книга по Требованию»**

УДК 030
ББК 92
В11

В11 **В.С. Рыбальчик**
Теория поршневых авиационных двигателей / В.С. Рыбальчик – М.: Книга по Требованию, 2023. – 354 с.

ISBN 978-5-458-29593-2

В книге освещается принцип работы и устройства поршневых авиационных двигателей. Рассматриваются основы их работы: рабочий цикл, уравнивание сил инерции кривошипно-шатунного механизма, мощность и экономичность, нагнетатели, характеристики, смазка, охлаждение и зажигание, а также приводятся краткие сведения о топливах, маслах и охлаждающих жидкостях.

ISBN 978-5-458-29593-2

© Издание на русском языке, оформление
«YOYO Media», 2023
© Издание на русском языке, оцифровка,
«Книга по Требованию», 2023

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, клякс, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригинале, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг – не самое лучшее решение для восстановления текста в его первоизданном виде, однако, наша цель – вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания – решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.

особенно моторостроительных заводов, в царской России почти не было.

Только Великая Октябрьская социалистическая революция создала условия для успешного развития науки и техники в нашей стране. С первых дней установления Советской власти Коммунистическая партия и Советское правительство выдвинули одну из важнейших задач — создание отечественной авиации.

Для успешного решения этой задачи необходимо было иметь высококвалифицированные кадры, развитую тяжелую индустрию и первоклассные машиностроительные заводы. Все это было создано за годы советских пятилеток. К концу первой пятилетки Советский Союз уже располагал крупными коллективами конструкторов, необходимыми средствами для опытного и серийного производства самолетов, хорошей учебной базой и научно-исследовательскими учреждениями, работавшими в области авиации. Благодаря принятым мерам Советский Союз в короткий исторический срок превратился в могучую авиационную державу.

Наряду с развитием самолетостроения развивалось и советское авиационное моторостроение, создавались образцы авиационных двигателей отечественной конструкции.

В 1927 г. конструктор А. А. Бессонов создал двигатель М-18 мощностью 750 л. с. Для обеспечения высотности на двигателе М-18 был впервые установлен центробежный нагнетатель.

Коллектив Научного автотормозного института (НАМИ), руководимый проф. Н. Р. Брилингом¹, разработал в 1925—1927 гг. двигатель М-13 мощностью 880 л. с.

В 1930 г. коллективом конструкторов был спроектирован двигатель АМ-34. Этот двигатель подвергался непрерывным конструктивным улучшениям и просуществовал до наших дней. Мощность его в период с 1930 г. по настоящее время была увеличена в три с лишним раза. Прославленный летчик В. Чкалов в 1937 г. на самолете АНТ-25 с двигателем АМ-34 совершил свой героический перелет из СССР в США через Северный полюс, покрыв в беспосадочном полете расстояние свыше 12 000 км.

Широко известны имена талантливых советских конструкторов авиационных двигателей А. Д. Швецова² и В. Я. Климова³.

А. Д. Швецов еще в 1923 г. спроектировал двенадцатицилиндровый двигатель водяного охлаждения РАМ (русский авиационный мотор) мощностью 750 л. с. Двигатель был построен в 1926 г. В 1924 г. А. Д. Швецов создал маломощный двигатель воздушного охлаждения М-11, который благодаря своим замечательным данным применяется в модернизированном виде в советской авиации по настоящее время. Сконструированные впоследствии А. Д. Швецовым двигатели воздушного охлаждения

¹ Ныне член-корреспондент Академии наук СССР.

² Доктор технических наук. Умер в 1953 г.

³ Ныне действительный член Академии наук СССР.

АШ-82 и другие являлись одними из лучших представителей этого класса в мировой технике.

В. Я. Климов в 1934 г. разработал двигатель М-100. В дальнейшем этот двигатель модернизировался под названием ВК. Двигатели ВК по своим конструктивным и техническим данным превосходили лучшие иностранные однопоршневые двигатели.

Во время Великой Отечественной войны двигатели Швецова и Климова заслужили высокую оценку доблестных советских летчиков.

За создание мощных авиационных поршневых двигателей выдающимся советским конструкторам А. Д. Швецову и В. Я. Климову было присвоено звание Героя Социалистического Труда.

Послевоенные годы характеризуются дальнейшими достижениями в развитии советского авиационного моторостроения. Успешно развивается новая отрасль моторостроения — реактивные двигатели.

ГЛАВА I

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ПО ФИЗИКЕ

Для изучения теории авиационных двигателей необходимо хорошо знать такие разделы физики, как механика и термодинамика.

§ 1. КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ПО МЕХАНИКЕ

Скорость и ускорение

Скорость. Скоростью тела называется расстояние, пройденное телом в единицу времени. Скорость определяется величиной и направлением (т. е. вектором).

Если тело движется с постоянной скоростью, то движение называется **равномерным**, при этом величина скорости определяется по формуле

$$v = \frac{s}{t}, \quad (1)$$

где s — путь, пройденный телом;

t — время.

Путь выражается в *см*, *м* или *км*.

Время выражается в *сек.*, *мин.* или *час*.

Соответственно величина скорости выразится в *м/сек*, *км/час* и т. д.

Ускорение. Если тело движется с переменной скоростью, то движение называется **неравномерным**. Для характеристики быстроты изменения скорости в переменном движении вводится понятие ускорения.

Ускорением называется изменение скорости в единицу времени.

Обозначив скорость в начале переменного движения через v_0 , скорость по истечении t сек. через v , а ускорение через a , получим

$$a = \frac{v - v_0}{t}. \quad (2)$$

Ускорение измеряется в *см/сек²*, *м/сек²* или *км/сек²* и так же, как скорость, определяется величиной и направлением.

В отличие от всех других ускорений, ускорение свободно падающего тела принято обозначать буквой g . Оно для всех тел одинаково и равно приблизительно 981 см/сек^2 , или $9,81 \text{ м/сек}^2$.

Тело движется с ускорением в следующих случаях:

а) При изменении скорости. При увеличении скорости появляется ускорение, направленное в сторону движения. При уменьшении скорости ускорение направлено в сторону, противоположную движению.

б) При изменении направления движения тела, движущегося с постоянной скоростью. В этом случае ускорение будет направлено перпендикулярно к направлению скорости.

в) При одновременном изменении скорости и направления движения. В этом случае ускорение будет направлено под некоторым углом к направлению скорости.

Вращательное движение тела

Движение тела называется вращательным, если все точки его описывают окружности, плоскости которых параллельны и центры которых лежат на одной неподвижной прямой, перпендикулярной к плоскостям окружностей и называемой осью вращения.

Скорость каждой точки тела при вращении направлена по касательной к окружности, центр которой лежит на оси вращения.

Различают линейную скорость точки и ее угловую скорость.

Линейная скорость точки при движении ее по окружности представляет собой путь (дугу окружности), пройденный точкой в единицу времени. Если тело вращается с постоянным числом оборотов в минуту, то линейные скорости всех его точек постоянны. Такое вращение тела называется равномерным.

Если точка тела расположена на расстоянии r от оси вращения и тело вращается равномерно с числом оборотов n в минуту, то путь, пройденный точкой за один оборот, будет равен длине окружности $2\pi r$. Путь, пройденный за одну минуту, будет равен $2\pi r n$, а за одну секунду $\frac{2\pi r n}{60}$.

Отсюда следует, что линейная скорость данной точки при равномерном вращении тела будет равна

$$v = \frac{2\pi r n}{60} = \frac{\pi r n}{30} \text{ м/сек.} \quad (3)$$

Для характеристики вращательного движения тела необходимо знать его угловую скорость, т. е. угол, на который повернется в единицу времени радиус, соединяющий любую точку вращающегося тела с осью вращения. При измерении угловой скорости углы измеряются не в градусах, а в радианах. Радианом называется угол, дуга которого равна радиусу. Радиан равен приблизительно $57,3^\circ$.

Угловая скорость тела равна

$$\omega = \frac{\pi n}{30} \text{ рад/сек [или 1/сек]}. \quad (4)$$

Эту формулу нетрудно вывести. В самом деле, если тело вращается с числом оборотов n в минуту, то за один оборот оно повернется на угол 2π , за одну минуту на угол $2\pi n$, а за одну секунду $\frac{2\pi n}{60} = \frac{\pi n}{30}$ 1/сек.

Пример. Определить угловую скорость вала, если $n = 2400$ об/мин.

$$\omega = \frac{\pi n}{30} = \frac{3,14 \cdot 2400}{30} = 251,2 \text{ 1/сек.}$$

Если в уравнение (3) ввести выражение угловой скорости ω из уравнения (4), то получим выражение линейной скорости через угловую скорость и радиус вращения:

$$v = \omega r. \quad (5)$$

Линейная скорость равна произведению угловой скорости на радиус окружности.

Из уравнения (4) видно, что угловая скорость всех точек вращающегося тела одинакова, тогда как линейная скорость зависит от расстояния точки до оси вращения.

При равномерном вращении тела линейная скорость каждой точки, оставаясь постоянной по величине, изменяется по направлению. Это значит, что при вращательном движении тела все точки его движутся с ускорением.

При равномерном вращении тела ускорение направлено к центру. Поэтому это ускорение называется **центростремительным**.

Центростремительное ускорение равно

$$a = \frac{v^2}{r}.$$

Подставляя в эту формулу значение v из формулы (3), получим

$$a = \frac{v^2}{r} = \frac{\left(\frac{\pi r n}{30}\right)^2}{r} = \frac{\omega^2 r^2}{r} = \omega^2 r. \quad (6)$$

Пример. Определить центростремительное ускорение точки вала, вращающегося с числом оборотов $n = 2400$ в минуту, если точка находится на расстоянии $r = 80$ мм от оси вращения.

Из предыдущего примера:

$$\omega = 251,2 \text{ 1/сек.}$$

Подставляя значение ω и r в формулу (6), получим

$$a = r\omega^2 = 0,08 \cdot 251,2^2 = 5048 \text{ м/сек}^2.$$

Сила и момент силы

Под силой в механике понимают внешнюю причину, способную ускорить или замедлить движение тела, изменить направление его движения или вывести тело из состояния покоя.

Сила определяется направлением действия и величиной.

В технике силу принято измерять в килограммах (*кг*).

Моментом силы относительно данной точки называется произведение силы на ее плечо. Плечом силы называется длина перпендикуляра, опущенного из рассматриваемой точки на направление силы.

Момент силы измеряется в килограммометрах (*кгм*) и выражается формулой

$$M = Fr, \quad (7)$$

где F — сила в *кг*;

r — плечо в *м*.

Момент силы определяется величиной и направлением действия.

Понятие о массе тела

Под массой тела понимают его инерцию, т. е. свойство тела сохранять состояние покоя или состояние движения с неизменной по величине и направлению скоростью.

Нетрудно показать, что тела обладают неодинаковой инерцией, или, иначе говоря, неодинаковой массой. В этом легко убедиться, рассматривая, например, действие одинаковой силы на два шара разных размеров из одинакового материала. Большой шар будет двигаться медленнее, чем меньший.

Следовательно, шары получают различные скорости и различные ускорения. Отсюда следует, что шар большего размера обладает большей массой, большей инерцией.

Зависимость между массой тела m , действующей на него силой F и ускорением a выражается следующим образом:

$$m = \frac{F}{a}, \quad (8)$$

т. е. масса тела прямо пропорциональна действующей силе и обратно пропорциональна вызываемому этой силой ускорению движения тела.

За единицу массы принят килограмм, равный массе платиново-иридиевого цилиндра, хранящегося в Международном бюро мер вблизи Парижа. Размерность массы $\text{кгсек}^2/\text{м}$.

Вес цилиндра принят за единицу веса или за единицу силы. Эта единица силы называется «килограмм-сила». Тысячная часть этой силы называется «грамм-сила».

Законы движения Ньютона

Первый закон Ньютона. Всякое тело сохраняет состояние покоя или равномерного движения по прямой до тех пор,

пока приложенные к нему внешние силы не изменят этого состояния.

Следовательно, если силы, действующие на тело, уравновешены, то тело будет либо находиться в покое, либо двигаться прямолинейно и равномерно. Если же на тело действует неуравновешенная внешняя сила, то неизбежно возникает ускорение.

Второй закон Ньютона. Сила, действующая на тело, равна произведению массы тела на ускорение, сообщаемое телу этой силой:

$$F = ma,$$

Так как вес тела G есть сила притяжения данного тела землей, а ускорение, вызываемое этим притяжением, есть ускорение свободного падения, то на основании второго закона Ньютона мы можем написать, что

$$G = mg, \quad (9)$$

т. е. вес тела равен произведению его массы на ускорение свободного падения.

Для того чтобы узнать массу любого тела, нужно его вес разделить на величину $g = 981 \text{ см/сек}^2 = 9,81 \text{ м/сек}^2$, т. е.

$$m = \frac{G}{g} = \frac{G}{9,81} \text{ кгсек}^2/\text{м}.$$

Второй закон Ньютона позволяет определить силу, действующую на тело, если известны вес тела и его ускорение.

Пример. Определить силу F , действующую на тело, вес которого $G = 4 \text{ кг}$, если оно движется с ускорением $a = 5048 \text{ м/сек}^2$.

$$F = ma = \frac{G}{g} a = \frac{4}{9,81} 5048 = 2060 \text{ кг}.$$

Третий закон Ньютона. Действие двух тел друг на друга всегда равно по величине и противоположно по направлению.

С действием третьего закона Ньютона мы постоянно сталкиваемся в повседневной жизни. Так, на предмет, положенный на стол, действует сила упругости тела, направленная вверх и равная весу этого предмета. Эти силы взаимно уравновешены, поэтому предмет находится в состоянии покоя. При стрельбе из огнестрельного оружия возникает сила, равная и противоположно направленная той силе, которая выбрасывает пулю из винтовки или снаряд из ствола орудия. Эта сила носит название отдачи. Иначе она называется еще силой реакции.

Действие моментов сил на тела аналогично действию на них сил. Если приложенные к телу моменты сил находятся в равновесии, т. е. равны между собой по величине и противоположны по направлению, то тело будет либо находиться в покое, либо вращаться с постоянной угловой скоростью, т. е. равномерно.

Нарушение равновесия моментов сил приводит к нарушению состояния покоя или к увеличению или уменьшению угловой скорости вращения тела.

Работа

Работа есть величина, измеряемая произведением силы на путь перемещения тела по направлению силы. Измеряется она в килограммометрах.

$$L = Fs, \quad (10)$$

где L — работа силы в $кгм$;

F — сила в $кг$;

s — путь в $м$.

Пример. Определить работу, затраченную на перемещение самолета при тяге $F = 500$ $кг$, если самолет пролетел 1 $км$.

$$L = Fs = 500 \cdot 1000 = 500\,000 \text{ кгм.}$$

Мощность

Мощностью называется работа, совершенная в единицу времени (1 секунду).

$$N = \frac{L}{t} = \frac{Fs}{t}, \quad (11)$$

где N — мощность в $кгм/сек$;

L — работа в $кгм$;

t — время в $сек$.

Мощность двигателей измеряется в лошадиных силах (л. с.). Одна лошадиная сила — это такая мощность, при которой совершается работа в 75 $кгм$ в 1 секунду.

$$N = \frac{L}{75t} = \frac{Fs}{75t} \text{ л. с.}$$

Так как

$$v = \frac{s}{t},$$

то

$$N = \frac{Fv}{75} \text{ л. с.}$$

Определим мощность, затраченную на вращение вала силой F . Пусть вал приводится во вращение силой F , приложенной на радиусе r . Работа силы F за один оборот будет равна $F2\pi r$. Если число оборотов вала в минуту равно n $об/мин$, то работа силы F за одну минуту будет равна $F2\pi rn$ $кгм/мин$. Так как в минуте 60 секунд, то мощность, развиваемая силой F , будет равна

$$N = \frac{2\pi rFn}{60} = \frac{\pi rFn}{30} \text{ кгм/сек.}$$

Произведение силы F на радиус r есть момент M . Значит

$$N = \frac{\pi Mn}{30} \text{ кгм/сек.}$$

Поделив правую часть последнего выражения на 75, получим мощность, выраженную в лошадиных силах:

$$N = \frac{\pi M n}{30 \cdot 75} = \frac{M n}{716,2} \text{ л. с.} \quad (12)$$

Пример Определить мощность, развиваемую силой $F = 4000$ кг при $n = 2400$ об/мин, если $r = 80$ мм.

$$M = F r = 4000 \cdot 0,08 = 320 \text{ кгм.}$$

$$N = \frac{M n}{716,2} = \frac{320 \cdot 2400}{716,2} = 1072 \text{ л. с.}$$

§ 2. КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ПО ТЕРМОДИНАМИКЕ

Энергия

Под энергией понимают свойство материи, характеризующее ее способность производить работу. В зависимости от формы движения материи мы различаем энергию механическую, электрическую, химическую, тепловую и т. д.

Различают два вида механической энергии: потенциальную и кинетическую.

Потенциальная энергия представляет собой запас работы, обусловленный положением тела или его состоянием.

Потенциальная энергия заключена в сжатом газе, в часовой пружине, в растянутой резиновой нити и т. д. Величина потенциальной энергии определяется тем количеством работы, которую может совершить тело при переходе из одного положения в другое.

Кинетической энергией называется энергия движущегося тела. Измеряется кинетическая энергия тем запасом работы, которым обладает движущееся тело по сравнению с телом, находящимся в покое.

Например, вода в бассейне обладает потенциальной энергией; вода, падающая с высоты, — кинетической энергией.

Кинетическая энергия тела E равна произведению массы тела на половину квадрата его скорости и выражается формулой

$$E = \frac{m v^2}{2} \text{ кгм,} \quad (13)$$

где m — масса тела в $\frac{\text{кг}}{\text{сек}^2}$;

v — скорость движения тела в м/сек .

Теплота и теплоемкость

Теплота есть форма молекулярного движения. Чем быстрее двигаются молекулы вещества, тем выше их кинетическая энергия и тем сильнее нагрето тело.

Степень нагретости тела характеризуется его температурой. При измерении температуры пользуются преимущественно

стоградусной шкалой, часто называемой шкалой Цельсия. Температуру, отсчитываемую по стоградусной шкале, обозначают через $t^{\circ}\text{C}$. Нуль шкалы соответствует температуре таяния льда, а 100° — температуре кипения воды при $p = 760$ мм рт. ст.

Кроме стоградусной шкалы, применяется еще шкала абсолютных температур.

Нуль шкалы абсолютных температур лежит на 273° ниже нуля стоградусной шкалы.

Связь между абсолютной температурой и температурой по стоградусной шкале выражается формулой

$$T = t + 273^{\circ} \text{ абс.}, \quad (14)$$

откуда

$$t = T - 273^{\circ}\text{C}.$$

Количество теплоты измеряется единицей, называемой калорией. Различают калории малую и большую.

Малой калорией (*кал*) называется количество тепла, которое надо затратить, чтобы нагреть 1 г химически чистой воды на 1°C .

Большой калорией (*ккал*), или килокалорией, называется количество тепла, которое надо затратить, чтобы нагреть 1 кг химически чистой воды на 1°C . Одна большая калория равна 1000 малых калорий.

Для повышения температуры различных веществ одинакового веса на одну и ту же величину приходится затрачивать различное количество тепла, что объясняется неодинаковой природой веществ, из которых состоят эти тела.

Для характеристики нагреваемости различных веществ введена особая величина, называемая удельной теплоемкостью.

Удельной теплоемкостью называется количество тепла, необходимое для нагревания 1 г или 1 кг вещества на 1°C .

Удельная теплоемкость выражается в *кал/г · град* или *ккал/кг · град* и обозначается обычно буквой *c*.

Тепло, подводимое для нагревания вещества от температуры t_1 до температуры t_2 , определяется по следующей формуле:

$$Q = cG (t_2 - t_1) \text{ ккал}, \quad (15)$$

где Q — тепло, подведенное веществу в *ккал*;

c — удельная теплоемкость вещества в *ккал/кг · град*;

G — вес вещества в *кг*.

Для газов различают теплоемкость при постоянном объеме и при постоянном давлении.

Удельной теплоемкостью газа при постоянном объеме c_v называется количество тепла в больших (малых) калориях, которое нужно затратить, чтобы нагреть 1 кг (*г*) газа на 1°C при