

А. Веселовский

Динамика авиадвигателя

**Москва
«Книга по Требованию»**

УДК 656
ББК 39.1
А11

А11 **А. Веселовский**
Динамика авиадвигателя / А. Веселовский – М.: Книга по Требованию, 2017. –
176 с.

ISBN 978-5-458-38255-7

Динамика авиадвигателя

ISBN 978-5-458-38255-7

© Издание на русском языке, оформление
«YOYO Media», 2017

© Издание на русском языке, оцифровка,
«Книга по Требованию», 2017

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 первозданном 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.

4. Обозначение основных величин двигателя.

Диаметр цилиндра	$d(D)$ мм
Длина шатуна	$l(L)$ мм
Радиус кривошипа	$r(R)$ мм
Ход поршня	S мм
Отношение длины шатуна к радиусу кривошипа	$\lambda = \frac{l}{r}$
Объем камеры сгорания	v_c
Рабочий объем цилиндра	v_h
Полный объем цилиндра	v_a
Степень сжатия	$\epsilon = \frac{v_c + v_h}{v_c} = \frac{v_a}{v_c}$
Эффективная мощность двигателя в лошадиных силах	N_e
Число оборотов двигателя в минуту	n

5. Обозначение основных величин термодинамики и механики двигателя.

Сила	P кг
Путь	S м
Время	t сек
Скорость (метр в секунду)	v м/сек
Ускорение (метр в секунду в квадрате)	J м/сек ²
Ускорение свободно падающего тела $g = 9,81$ м/сек ²	
Угол поворота коленчатого вала	α
Угловая скорость	ω 1/сек
Масса	m кг/сек ² /м
Сила давления газов на см ² днища поршня	P_r кг сек ² /м
Среднее индикаторное давление	P_i кг/см ²
Площадь поршня	F_{cm^2}
Полная сила давления газов на днище поршня	P_z
Сила инерции ИВДМ	P_j
Центростремительная сила	F_c
Центробежная сила инерции	$-F_c$
Равнодействующая (результатирующая) сил давления газов и сил инерции ИВДМ	R
Боковая сила, прижимающая поршень к стенке цилиндра	N кг
Сила, действующая (вдоль) по шатуну	K кг
Сила, действующая по щеке кривошипа	Z кг
Касательная (тангенциальная) сила	T кг

Угол между осью шатуна и осью цилиндра	β
Угол заклинения между кривошипами коленчатого вала	β
Среднее давление на 1 см ² проекции шейки (коренной, мотылевой)	$K \text{ кг/см}^2$
Линейная скорость скольжения мотылевой (коренной) шейки	$v \text{ м/сек}$
Удельная работа трения или фактор трения (работа трения в 1 секунду) отнесенная к 1 см ² проекции шейки (коренной, мотылевой)	$KV \text{ кгм/см}^2 \text{ сек}$
Механический коэффициент п. д.	η_m
Коэффициент полноты индикаторной диаграммы	η_w
Эффективное давление	$P_e \text{ кг/см}^2$
Давление в начале сжатия	$P_o \text{ кг/см}^2$
Давление в конце сжатия	$P_c \text{ кг/см}^2$
Давление вспышки	P_z
Давление в конце расширения	P_e

Примечания:

1. Поступательно-возвратно-движущаяся масса сокращенно обозначена ПВДМ.
2. Верхняя мертвая точка — ВМТ
Нижняя " " — НМТ
3. При графическом решении задач задавайтесь масштабом кратным 2 и 5, т. е. $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{5}$, $\frac{1}{10}$ и т. д., что удобнее (пользуясь десятичными дробями) и дает большую точность при вычислении.



ВВЕДЕНИЕ

§ 1. Предмет динамики авиадвигателя.

Динамика авиадвигателя занимается изучением вопросов:

1. Равномерности работы двигателя (выравнивание вращательных моментов авиадвигателя).
2. Уравновешиванием инерционных сил и моментов этих сил в двигателе.
3. Динамических усилий, возникающих в этих двигателях, вследствие периодичности действия вообще всех сил двигателя (вибрационные явления).

Поршневые двигатели старых конструкций строились для малого количества оборотов и с малыми скоростями движения поршня. На влияние сил инерции движущихся частей двигателя обращалось поэтому мало внимания. Лишь постепенно, с увеличением скоростей поршневых двигателей, сначала в паровых, затем в других двигателях, конструкторы были вынуждены учитывать влияние этих сил инерции.

Впервые частично обосновал динамику поршневых двигателей Радингер в 1867 году.

Сила инерции поршневых двигателей рассматривается, как состоящая из:

- а) силы инерции поршня и
- б) силы инерции шатуна.

ГЛАВА I.

ОБЩИЕ ПОНЯТИЯ ОБ ЕДИНИЦАХ ИЗМЕРЕНИЯ И РЕШЕНИИ ЗАДАЧ.

§ 2. Единицы основные и производные.

Измерить величину—значит определить, сколько раз в ней содержится некоторая избранная величина того же рода, называемая единицей.

Результатом измерения является число, которое, собственно, есть отношение измеряемой величины к принятой единице; его называют численным значением измеряемой величины.

Так, если L есть некоторая длина и l —единица длины, то отношение $\frac{L}{l}$ есть численное значение длины L . Отсюда видно,

что численное значение какой-нибудь величины изменяется в прямом отношении с самой величиною и в обратном отношении с выбранной единицей.

Единицы основные и производные. Некоторые единицы выбираются независимо ни от какой другой единицы. Например, единица длины — метр. Такие единицы называются основными.

Иногда единица величины известного рода определяется через посредство единицы, служащей для измерения величины другого рода. Так, единица поверхности обыкновенно определяется как площадь квадрата, построенного на единице длины; единица объема — как объем куба, построенного на единице длины.

Чаще встречаются случаи, когда какая-нибудь единица определяется через посредство двух или трех единиц иных родов. Например, единица скорости определяется как скорость равномерного движения, в котором единица длины приходится в единицу времени.

Всякая единица, определяемая посредством единиц других родов, называется производной.

Основные единицы. Из курса механики известно, что для потребностей этой науки достаточно трех основных единиц. За основные единицы в механике были приняты:

Единица длины — метр (длина при 0° платинового стержня, хранящегося в архиве в Париже).

Единица времени — секунда ($\frac{1}{86400}$ средних солнечных суток);

Единица силы — килограмм (вес в Париже, в пустоте, 1 литра воды при 4° C).

Сокращенные обозначения этих единиц:

метр — *м*; секунда — *сек*; килограмм — *кг*

Производные единицы. Отсюда в механике были выведены следующие главнейшие производные единицы:

Единица скорости или *м/сек* (скорость равномерного движения, при котором проходит 1 метр в 1 секунду).

Единица ускорения или *м/сек²* (ускорение равномерно-ускоренного движения, в котором скорость увеличивается через каждую секунду на 1 *м/сек*).

Единица массы или *кгсек²/м* (масса тела, которому сила в 1 *кг* сообщает ускорение в 1 *м/сек²*).

Единица энергии — килограмметр или *кгм* (работа силы в 1 *кг* на пути в 1 *м*, проходимо по направлению силы).

Единица мощности или *кгм/сек* (мощность двигателя, выделяемого ежесекундно 1 килограммометр энергии). 75 *кгм/сек* составляют лошадиную силу.

Единица угловой скорости или $1/\text{сек} \left(\frac{1}{1\text{сек}} \right)$ — угловая скорость такого равномерного вращения, при котором тело в секунду поворачивается на 1 радиан.

Единица углового ускорения или $1/\text{сек}^2$ (угловое ускорение такого равномерно-ускоренного вращения, при котором угловая скорость вращающегося тела будет увеличиваться через каждую секунду на $1/\text{сек}$).

Можно было бы установить единицы для измерения количества движения, момента инерции и других механических величин.

Рассмотренные основные и производные единицы составляют, так называемую, техническую или весовую систему единиц.

§ 3. Действия над размерностью.

С наименованием (размерностью) оперируют так же, как и с числами: — умножают, делят, возвышают в степень, извлекают корень и т. д.

Пример: зная, что механическая масса (m) есть отношение веса тела (P), выраженного в килограммах, к ускорению свободно-падающего тела (g $\text{м}/\text{сек}^2$) — определить размерность массы (m)?

$$m = \frac{P \text{ кг}}{g \text{ м}/\text{сек}^2} = \frac{P}{g} \frac{\text{кг сек}^2}{\text{м}},$$

$$\text{т. е. кг: м}/\text{сек}^2 = \frac{\text{кг сек}^2}{\text{м}}$$

при делении кг на $\text{м}/\text{сек}^2$ поступаем также, как при делении целого числа на дробь.

$$\text{Размерность массы} = \frac{\text{кг сек}^2}{\text{м}}$$

§ 4. Однородность механических уравнений.

Только однородные величины могут быть слагаемы друг с другом, вычитаемы друг из друга и приравниваемы друг другу.

Следовательно, все члены механических уравнений должны быть одного и того же наименования.

Например: период колебания маятника выражается формулой

$$T = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}, \text{ где } T = \text{период в секундах, } l — \text{длина маятника от}$$

точки подвеса до центра тяжести, π — число отвлеченно, g — ускорение свободно-падающего тела в $\text{м}/\text{сек}^2$.

Докажем, что правая часть уравнения выражена так же в секундах, как и левая,

Подкоренное количество имеет наименование:

$$\sqrt{\frac{м}{м \cdot сек.^2}} = \sqrt{\frac{м/сек.^2}{м}} = \sqrt{сек.^2} = сек., \text{ что и требовалось доказать.}$$

Примечание Наименование (размерность), выраженное дробью, удобнее писать в одну строку, с косой чертой, обозначающей деление.

Например, 1) $\frac{м}{сек.} = м/сек.$; 2) $\frac{м}{сек.^2} = м/сек.^2$ и т. п.

§ 5. Общие указания к решению задач.

Решение всякой задачи сводится к следующим этапам (шкалам):

1 шаг. Решите задачу в общем виде (принципиально) — получите алгебраический ответ (формулу).

2 шаг. В полученную формулу подставьте вместо букв их численные значения.

3 шаг. Сделайте возможные сокращения чисел. При сокращении перечеркните сокращаемое число и напишите наверху новый результат, а не стирайте старое, чтобы написать новое.

4 шаг. После сокращения произведите указанные действия. Помните, что указанная схема решения задач необходима потому, что:

1. Если задача решена в общем виде (алгебраически) неправильно, то нечего проверять и вычисления.

2. При перечеркивании, а не стирании чисел, когда делаете сокращение, если сделали ошибку, то ее легче пайти.

Указанная схема решения имеет большое значение, если решаете сложную — ответственную задачу: расчет мотора, моста и т. д. Выработайте навык решения задач по указанной схеме более простых, чтобы этой схемой пользоваться при решении более сложных задач.

Вывод: следуйте по указанной схеме при решении задач.

Вопросы для самопроверки к главе I.

1. Что значит измерить величину?
2. Что такое „наименование“ или „размерность“ величины?
3. Какие единицы называются „основными“ и какие „производными“?
4. Как оперируют с „размерностью“?
5. Что вы понимаете под „однородностью механических уравнений“?
6. К каким шагам (этапам) сводится решение всякой задачи?

ГЛАВА II.

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ ИЗ МЕХАНИКИ ¹.

§ 6. Двойное проявление силы.

1. Сила обнаруживается двумя способами:

а) При отсутствии препятствия тело под влиянием силы начинает двигаться.

Пример: поршень под влиянием силы давления газов движется.

б) Если имеется какое-нибудь препятствие движению, то сила производит давление на это препятствие, заставляя его деформироваться и противодействует этому препятствию.

Пример: пусть имеем давление газов в цилиндре (такт расширения).

„Сила давления газов в закрытом сосуде передается во все стороны с одинаковой силой“ (закон Паскаля). Следовательно, газы будут производить давление не только на поршень, но и на днище цилиндра.

Днище цилиндра под влиянием силы давления газов неподвижно, так как этому препятствует стенка цилиндра. Давление газов на стенку цилиндра сказывается в том, что стенки цилиндра работают на растяжение. (Внешняя сила давления газов P_r уравновешена внутренней силой сопротивления материала $P_{вн}$, оказывающей сопротивление этому давлению, т. е. $P_r = P_{вн}$).

2. Соответственно этому механика разделяется на:

1. кинематику — часть механики, изучающая геометрию движения (путь, скорость, ускорение), не рассматривая причин, вызывающих данное движение;

2. динамику — часть механики, изучающая движение тел в зависимости от сил, вызывающих это движение;

3. статику — часть механики, изучающая:

1) Равновесие тел под действием сил.

2) Вопрос о замене одних сил другими, производящими то же действие.

§ 7. О движении.

1. Тело „движется“, если оно меняет свое место по отношению к другим телам, которые рассматриваются как неподвижные.

¹ В этой главе автор, определяя действие силы и характер движения и покой, рассматривает движение в самой его простейшей форме — механической форме перемещения тел под действием внешних явлений, в поэтому не исчерпывает природы самого движения „как способ существования материи, как внутренне присущий матери атрибут (качество)“ (Энгельс).

Движение по своей сути „обнимает собой все происходящие во вселенной изменения и процессы, начиная от простого перемещения и кончая мышлением“ (Энгельс).

С этой точки зрения говорить о неподвижности тел можно только относительно, только в том случае, когда речь идет о самой простейшей форме движения — механической.

Движение тела относительно другого тела, если последнее относительно других тел является неподвижным, то такое движение называется „относительным“ (кажущимся).

Пример: поршень движется в цилиндре мотора, при этом цилиндр считается неподвижным, в то время как весь мотор вместе с самолетом в отношении других тел передвигается.

Поэтому движение поршня в отношении цилиндра можно считать абсолютным, в отношении же других тел, находящихся вне самолета, относительным.

2. Знать движение — знать:

- а) путь (траекторию), по которому движется тело;
- б) местоположение тела в любой момент времени на этом пути (расстояние, пройденное телом за определенный промежуток времени).

Пример: знать движение поршня — знать:

- а) вид траектории его движения (прямая линия);
- б) какое расстояние будет пройдено поршнем за определенный промежуток времени.

§ 8. Равномерное движение.

1. Движение равномерно, если тело в равные промежутки времени проходит равные пути.

а) Скоростью равномерно движущегося тела будет путь, проходимый телом в единицу времени (час, минуту, секунду).

б) Скорость v (при равномерном движении) найдем, если пройденный путь S разделим на время t сек, которое тело затратило для прохождения пути

$$\text{Скорость} = \frac{\text{путь}}{\text{время}}$$

или

$$v = \frac{S}{t} \text{ м/сек. (1)}$$

в) Наименование (размерность) скорости зависит от единицы пути и времени.

В технике приняты единицы измерения — метр, килограмм, секунда — поэтому размерность скорости будем давать через $\frac{\text{метр}}{\text{секунда}}$, что записывается так — м/сек. (Читайте: метр в секунду).

Например: определить среднюю скорость поршня.

Дано: ход поршня $S = 190 \text{ мм} = 0,19 \text{ м.}$, число оборотов коленчатого вала $n = 1500 \text{ об./мин.}$

Решение:

(сначала решаем задачу в общем виде).

1 шаг. Путь, пройденный поршнем от ВМТ до НМТ, $= S \text{ мм} = S \text{ м.}$

2 шаг. При одном обороте коленчатого вала путь, пройденный поршнем, будет равен 2 ходам, т. е. $= 2S \text{ м.}$

3 шаг. За n об./мин., т. е. в 60 сек пройденный путь = $2Sn$ м. в „ n “ раз больше.

4 шаг. Так как скорость = путь, отнесенный к секунде то имеем

$$v_{\text{ср.}} = \frac{2Sn}{60} \text{ м/сек} = \frac{Sn}{30} \text{ м/сек.}$$

$$v_{\text{ср.}} (\text{поршня}) = \frac{Sn}{30} \text{ м/сек. (2)}$$

Задача в общем виде решена — получена формула для определения скорости поршня.

5 шаг. В указанную формулу вместо букв:

а) подставляем их численные значения, б) сокращаем и в) производим указанные действия.

$$v_{\text{ср.}} = \frac{Sn}{30} \text{ м/сек.} = \frac{0,19 \cdot 1500}{30} \text{ м/сек.} = 9,5 \text{ м/сек.}$$

Для вычисления пути надо скорость v умножить на время t .

$$\text{Путь } S = vt = \text{ скорости, умноженной на время. (3)}$$

Время, или продолжительность движения, найдем, разделив длину пути на скорость

$$\text{Время } t = \frac{S}{v} = \frac{\text{пройденн. путь}}{\text{скорость}} \quad (4)$$

Пример 1: сколько времени требуется для 1 хода поршня при $n = 1500$ об./мин.

Решение: 1. При каждом обороте коленчатого вала поршень сделает 2 хода.

2. За n об./мин. будет сделано $2n$ ходов.

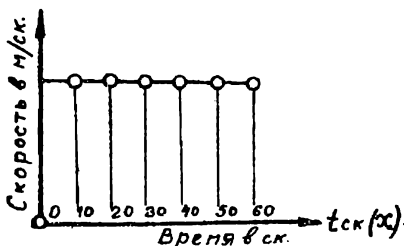
3. Время, потребное на 1 ход,

$$t = \frac{60 \text{ сек.}}{2n} = \frac{60 \text{ сек.}}{2 \cdot 1500} = \frac{1}{50} \text{ сек.}$$

Пример 2: сколько времени затратил поршень, чтобы пройти путь $S = 2Sn = 570$ м. при средней скорости $v = 9,5$ м/сек.

$$t = \frac{S}{v} = \frac{570}{9,5} \frac{\text{м}}{\text{м/сек.}} = 60 \frac{\text{м/сек.}}{\text{м}} = 60 \text{ сек.}$$

(у)
 v м/сек.



Фиг. 1.

2. Графическое представление равномерного движения (фиг.1).

На горизонтальной оси (х) отложим равные отрезки, каждый из которых изображает единицу времени (ось времени). Из каждой точки на оси времени восставим перпендикуляры к этой оси и отложим на каждом таком перпендикуляре скорость v

в соответствующий момент времени. Так как $v = \text{const}$, то все верхние концы перпендикуляров лежат на одной прямой, параллельной оси времени.

Таким образом получили диаграмму (фиг. 1), график равномерного движения.

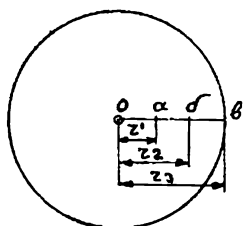
Прямоугольник, построенный на оси времени, как основании, и ограниченный ординатами, изобразит свою площадью ($S = vt$) путь, пройденный телом за время t .

Пример: постройте график движения поршня, считая v поршня $= 9,5$ м/сек. постоянной скоростью поршня за $t = 60$ сек.

3. Равномерное движение по окружности.

Будем вращать диск (колесо — маховик) вокруг оси (фиг. 2).

При повороте на один оборот диска точки его a , b , c опишут окружности разных радиусов. При этом точки, дальше отстоящие от оси, описывают окружности большего радиуса. При одном обороте диска имеем (фиг. 2):



Фиг. 2.

Точка a описывает окружность радиуса $= r_1$
 " b " " " $= r_2$
 " c " " " $= r_3$
 при этом

$$r_1 < r_2 < r_3.$$

Длины окружности пропорциональны их радиусам — следовательно

$$2\pi r_1 < 2\pi r_2 < 2\pi r_3.$$

Так как разные пути пройдены точками a , b , c — в одно и то же время, следует — точки, отстоящие дальше от оси, имеют большую скорость.

У вращающегося тела различают поэтому два вида скорости:
 1) линейную скорость (v м/сек.) по окружности, т. е. путь, описываемый какой-нибудь точкой, лежащей на окружности, в одну секунду;

2) скорость угловую (ω 1/сек.) т. е. угол, стягиваемый дугой, равной скорости точки на окружности при $r = 1$ (при равномерном вращении) называется угловой скоростью.

Линейная скорость $v = \rho$

Угловая скорость $\omega = \varphi$

Вращается коленчатый вал. Число оборотов коленчатого вала в минуту — n об/мин. Определить линейную скорость вращения точки, лежащей на расстоянии $=$ радиусу r м,

Положив $r = 1$, из выражения v получим угловую скорость. Поэтому „Угловой скоростью называется скорость точки на окружности, радиус которой равен единице“.