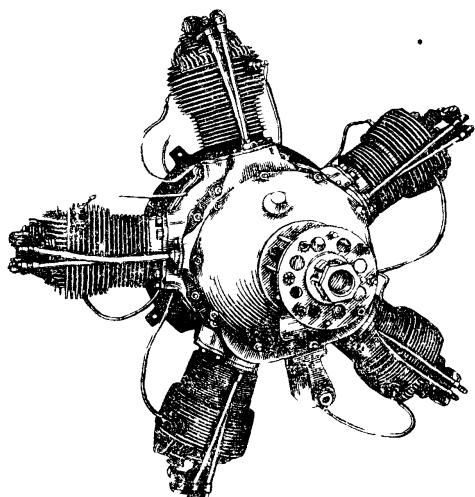
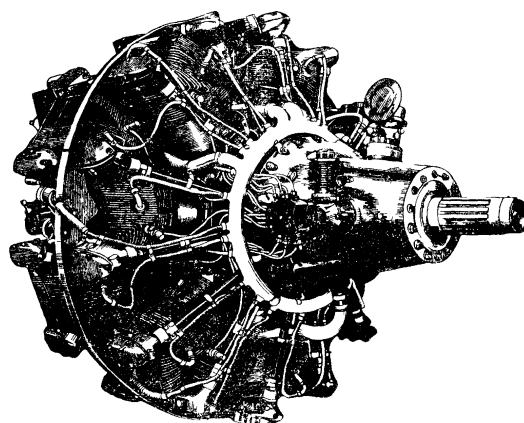


# КОНСТРУКЦИЯ ДВИГАТЕЛЯ

## ОСНОВЫ ТЕОРИИ ПОРШНЕВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ



Однорядный звездообразный двигатель



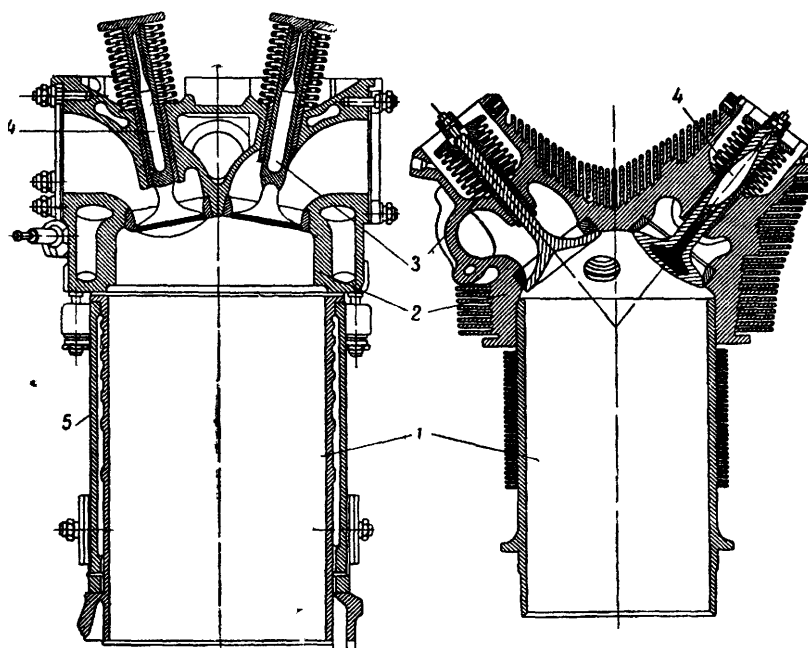
Двухрядный звездообразный двигатель

### Картер

Картер служит основанием, к которому крепятся основные детали и агрегаты двигателя. Картер связывает все детали и агрегаты двигателя в один целостный механизм,

### Цилиндр

Цилиндр авиационного двигателя является рабочей камерой, в которой происходит сгорание смеси топлива с воздухом и преобразование выделенного тепла в механическую работу; кроме того, цилиндр направляет движение поршня.



Фиг. 1. Разрез цилиндров жидкостного и воздушного охлаждения:

1 - гильза цилиндра, 2 - головка цилиндра; 3 - клапан впуска; 4 - клапан выпуска; 5 - рубашка цилиндра жидкостного охлаждения

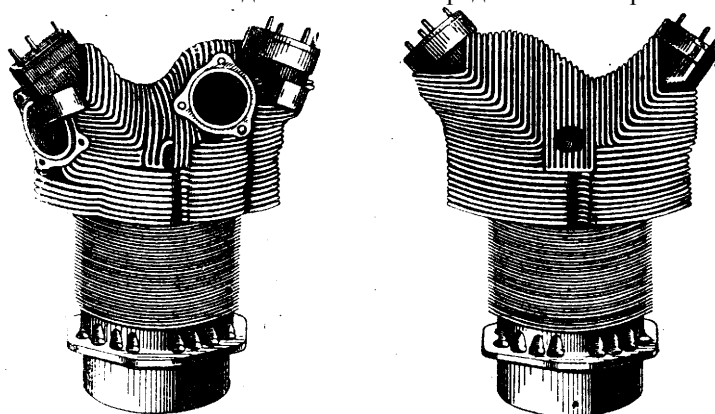
В процессе работы двигателя цилиндр подвергается действию высокой температуры газов и находится

под значительным давлением газов, достигающим до  $50-75 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$ . Поэтому цилиндр должен быть прочным и хорошо охлаждаться во избежание перегрева. Вместе с тем цилиндр должен иметь небольшой вес. Чтобы удовлетворить этим требованиям, цилиндр (фиг. 1), как правило, изготавливают из двух частей - гильзы и головки. Гильза выполняется из стали (для прочности); внутри она тщательно шлифуется и полируется для уменьшения трения и износа при движении поршня. Внутренняя поверхность гильзы называется зеркалом цилиндра. Головка цилиндра для улучшения теплоотдачи изготавливается из алюминиевых сплавов (сплавы алюминия обладают хорошей теплопроводностью).

## КОНСТРУКЦИЯ ДВИГАТЕЛЯ

В головках цилиндров воздушного и жидкостного охлаждения имеются специальные окна (отверстия) с клапанами, через которые в определенные моменты поступает воздух или смесь топлива с воздухом и выходят продукты сгорания. Эти отверстия закрываются клапанами. Клапан впуска открывает соответствующее окно только во время наполнения цилиндра, а клапан выпуска - во время очищения цилиндра от продуктов сгорания.

Кроме отверстий, закрываемых клапанами, в цилиндре имеется еще ряд отверстий, а именно: два отверстия служат для постановки свечей, одно отверстие для подвода сжатого воздуха (при запуске двигателя) и одно либо заглушается, либо используется для постановки форсунки, распиливающей топливо в цилиндре. Форсунками снабжены только двигатели с непосредственным впрыском.



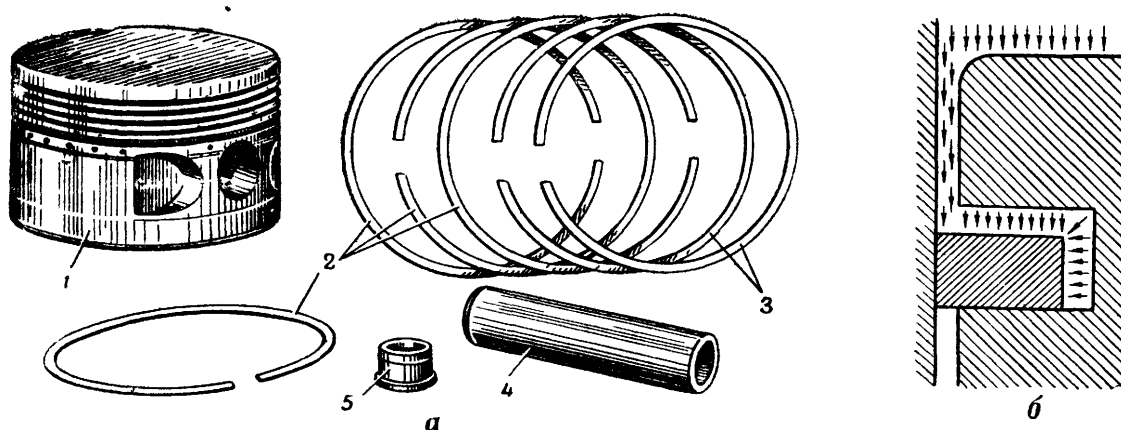
Фиг. 2. Общий вид цилиндров воздушного охлаждения

### Поршень

Поршень воспринимает давление газов и передает их работу на коленчатый вал.

Во время работы двигателя поршень перемещается с большой скоростью и подвергается действию высоких температур и давлений. Поэтому он должен быть легким, прочным, хорошо отводить тепло и надежно уплотнять камеру цилиндра от прорыва газов. В настоящее время поршни куются и штампуются из сплавов алюминия.

В поршне различают днище, на которое давят газы, и цилиндрическую часть (боковую поверхность), направляющую движение поршня (фиг. 3). Внутри цилиндрической части расположены утолщенные приливы для помещения концов поршневого пальца. Снаружи на боковой поверхности сделаны кольцевые канавки, в которых помещаются поршневые кольца, изготовленные из специального чугуна и обладающие пружинящими свойствами. Кольца плотно прилегают к зеркалу цилиндра и предупреждают прорыв газов из цилиндра в картер, а также проникание воздуха внутрь цилиндра. Эти кольца называются газоплотнительными или компрессионными. Кроме них, на поршне имеются еще маслуплотнительные кольца, которые предотвращают попадание масла внутрь цилиндра.



Фиг. 3. Поршень:

*а* - комплект поршня: 1 - поршень, 2 - газоплотнительные кольца; 3 - маслосборные кольца, 4 - поршневой палец, 5 - заглушка

*б* - схема действия газоплотнительного поршневого кольца

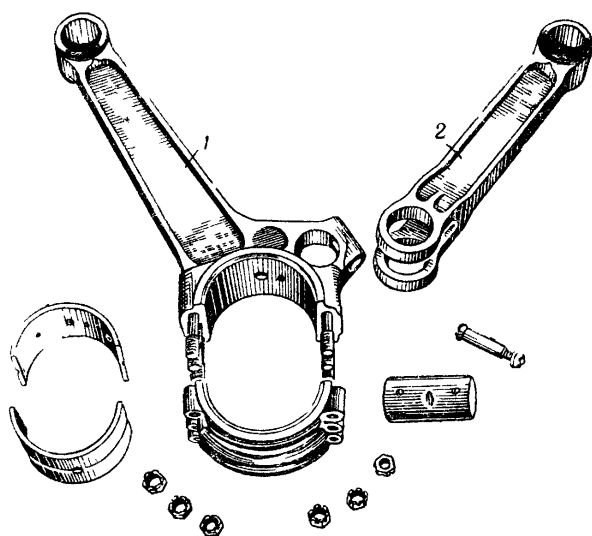
## КОНСТРУКЦИЯ ДВИГАТЕЛЯ

Сочленение поршня с шатуном осуществляется при помощи поршневого пальца, изготовленного из стали. Для облегчения палец выполняют пустотелым. Специальные заглушки или кольца удерживают палец в поршне и тем самым предохраняют зеркало цилиндра от задирав.

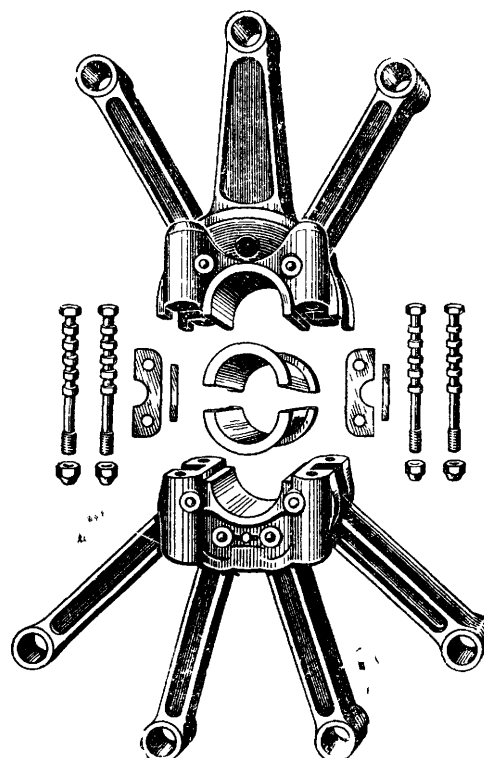
### Шатун

Шатун соединяет поршень с коленчатым валом и передает работу газовых сил коленчатому валу, приводя его во вращение.

Шатун принадлежит к числу наиболее нагруженных деталей двигателя, а поэтому он изготавливается из специальных сталей и тщательно обрабатывается. В шатуне различают поршковую (верхнюю) головку, кривошипную (нижнюю) головку и стержень, соединяющий обе головки (фиг. 4). Верхняя головка шатуна шарнирно сочленяется с поршневым пальцем; она изготавливается неразъемной (целой). Кривошипная головка надевается на шатунную шейку коленчатого вала. У рядных двигателей кривошипная головка в большинстве случаев выполняется разъемной, у звездообразных — целой. Однако встречаются разъемные нижние головки шатунов у звездообразных двигателей. Стержень шатуна, как правило, имеет двутавровое сечение.

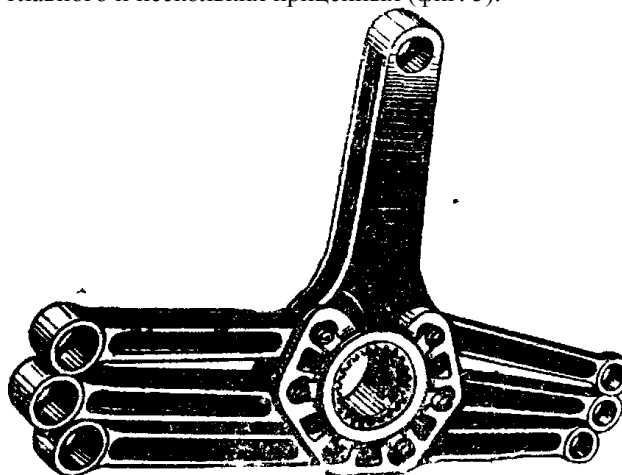


Фиг. 4 Комплект шатунов рядных двигателей:  
1 - главный шатун, 2 - прицепной шатун



Фиг. 5. Комплект шатунов звездообразного двигателя с разъемной кривошипной головкой

У рядных V-образных двигателей комплект шатунов состоит из одного главного шатуна и одного прицепного шатуна. Прицепной шатун соединяется шарнирно с главным при помощи пальца. У звездообразных двигателей комплект шатунов обслуживает все цилиндры, находящиеся в одном ряду, а поэтому состоит из одного главного и нескольких прицепных (фиг. 5).



Фиг. 5. Комплект шатунов звездообразного двигателя с неразъемной и разъемной кривошипной головкой

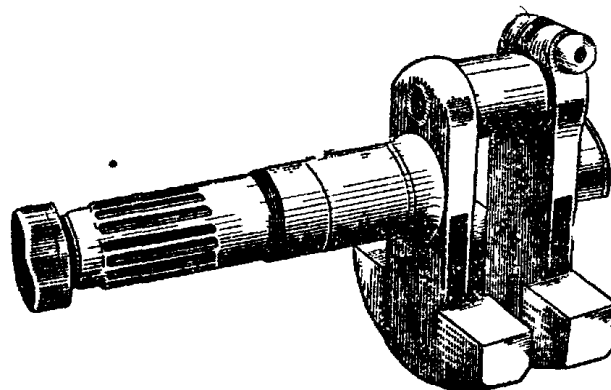
# КОНСТРУКЦИЯ ДВИГАТЕЛЯ

## Коленчатый вал

Коленчатый вал воспринимает работу поршней и передает ее на винт. Он относится к числу наиболее нагруженных деталей двигателя, а поэтому изготавливается из высококачественных сталей и тщательно обрабатывается.

Коленчатые валы звездообразных двигателей имеют различное число кривошипов: однорядные - один кривошип (фиг. 6).

Коленчатые валы рядных двигателей обычно выполняются целыми; отъемной частью у них являются только противовесы. Такая конструкция возможна благодаря тому, что кривошипная головка шатуна разъемная.



Фиг. 6. Коленчатый вал однорядного звездообразного двигателя

У большинства звездообразных двигателей кривошипная головка, как уже указывалось, неразъемная, а поэтому, чтобы осуществить постановку шатунов, коленчатый вал делают разъемным.

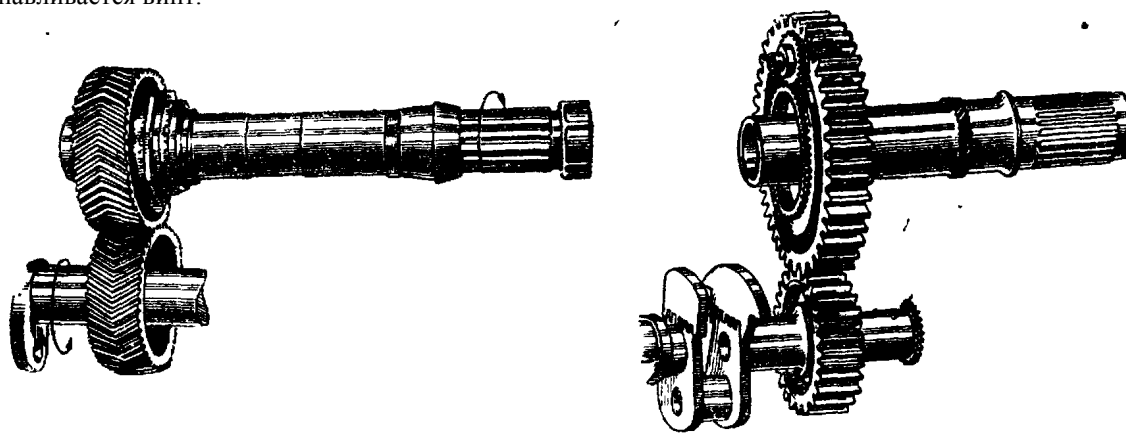
В случае разъемной кривошипной головки шатуна коленчатый вал звездообразных двигателей выполняется так же, как и у рядных, целым (неразъемным).

## Редуктор

Современные авиадвигатели для получения высоких мощностей развивают большое число оборотов: 2500-3000 *об/мин* и выше. Винт наиболее полно использует полученную энергию при сравнительно небольших числах оборотов порядка 1600-1800. Поэтому передача на винт от коленчатого вала в современных двигателях осуществляется при помощи механизма, называемого редуктором.

Редуктор уменьшает число оборотов винта по отношению к числу оборотов коленчатого вала, что позволяет снизить потери энергии на винте.

У рядных двигателей редуктор обычно состоит из малой шестерни, расположенной на коленчатом валу, и большой шестерни, находящейся на вале редуктора (фиг. 7). На носок вала редуктора устанавливается винт.

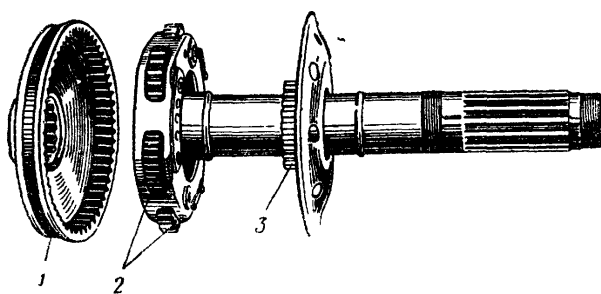


Фиг. 7. Редукторы рядных двигателей с цилиндрическими шестернями

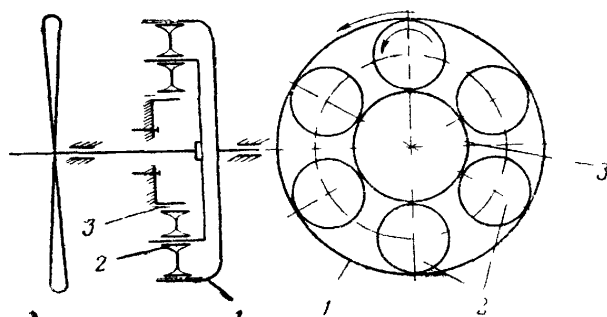
При такой схеме за один оборот коленчатого вала винт сделает неполный оборот, так как связанная с ним большая шестерня редуктора имеет большее число зубьев (большой диаметр), чем шестерня, связанная с коленчатым валом.

**Пример.** Допустим, что большая шестерня редуктора имеет 100 зубьев, а малая 50 зубьев. В этом случае за один оборот коленчатого вала большая шестерня сделает пол оборота (в зацепление войдет только 50 зубьев), поэтому винт будет вращаться в 2 раза медленнее коленчатого вала.

## КОНСТРУКЦИЯ ДВИГАТЕЛЯ



Фиг. 8. Планетарный редуктор

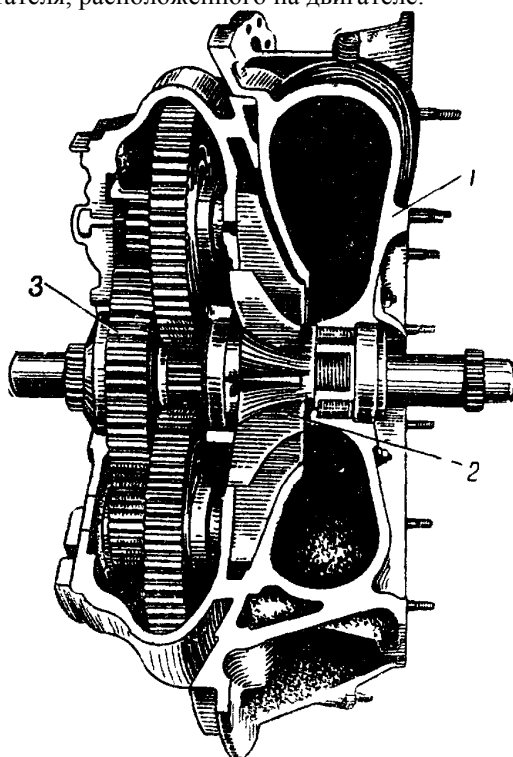


Фиг. 9. Схема передачи от коленчатого вала к винту в звездообразных двигателях.

У звездообразных двигателей редуктор (фиг. 8 и 9) состоит из приводной коренной шестерни 1, сидящей на носке коленчатого вала, промежуточных шестерен 2, называемых сателлитами и связанных с валом редуктора, и неподвижной шестерни 3, вокруг которой обкатываются сателлиты. При вращении коленчатого вала большая шестерня увлекает за собой сателлиты, находящиеся с ней в зацеплении; последние катятся по неподвижной шестерне и приводят во вращение вал редуктора и связанный с ним винт. Винт вращается медленнее, чем коленчатый вал. Схема планетарного редуктора представлена на фиг.9.

### Нагнетатель

Мощность двигателя зависит от количества топлива, сгораемого в его цилиндрах в единицу времени. Чтоб сжечь больше топлива, необходимо подать больше воздуха. Увеличение подачи воздуха в цилиндры достигается при помощи нагнетателя, расположенного на двигателе.



Фиг. 10. Авиационный нагнетатель:

1 - корпус нагнетателя; 2 - рабочее колесо; 3 - механизм передачи

Нагнетатель (фиг. 10) состоит из корпуса 1, рабочего колеса 2 и механизма передачи. Корпус отлит из сплава алюминия; внутри него помещается рабочее колесо (крыльчатка), являющееся основной рабочей частью нагнетателя. Рабочее колесо вращается с большой скоростью 20 000-30000 об/мин и сообщает струе воздуха скоростную (кинетическую) энергию. Скоростная энергия используется в нагнетателе для сжатия воздуха. Таким образом, воздух до поступления в цилиндры искусственно сжимается, в результате чего повышается его плотность. Современные авиационные нагнетатели повышают давление воздуха в 2-3 раза и более по отношению к окружающему давлению.

Механизм передачи к нагнетателю приводит в действие рабочее колесо и увеличивает число его оборотов по сравнению с числом оборотов коленчатого вала. У большого числа двигателей нагнетатель приводится во вращение от коленчатого вала посредством ряда шестерен. Такой привод называется механическим приводом. В настоящее время в качестве привода нагнетателя применяется также газовая турбина. Последняя приводится в действие газами, выходящими из цилиндров двигателя.

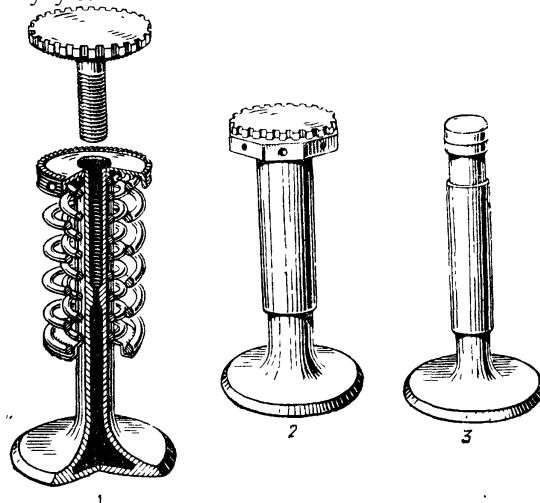
## КОНСТРУКЦИЯ ДВИГАТЕЛЯ

### Механизм газораспределения

Механизм газораспределения предназначен для обеспечения своевременного впуска воздуха или его смеси с топливом внутрь цилиндра и выпуска отработавших газов.

Механизм газораспределения рядных двигателей состоит из клапанов с пружинами (фиг. 11), кулачковых (распределительных) валиков (фиг. 11), наклонных валиков и промежуточных шестерен.

Клапаны изготавливаются из специальной жароупорной стали. Каждый клапан состоит из штока и головки. Шток направляет движение клапана, головка закрывает окно в цилиндре. Сравнивая между собой клапаны впуска и выпуска, мы увидим, что шток клапана выпуска утолщен, его головка имеет выпуклую форму, а у клапана впуска - вогнутую.

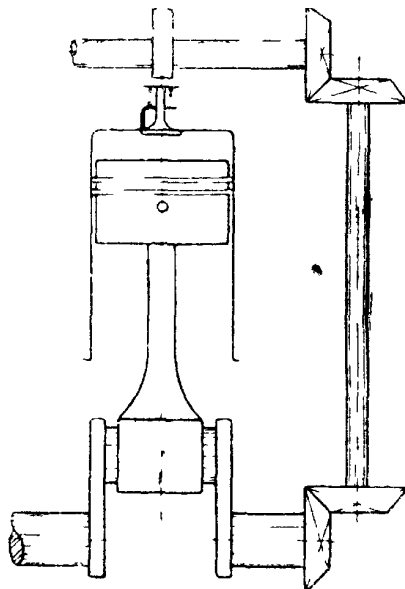


Фиг. 11. Клапаны:

1 - разрез клапана выпуска; 2 и 3 - общий вид клапанов

Разница в устройстве клапанов вызвана тем, что клапан выпуска больше подвергается действию горячих газов, а поэтому нуждается в охлаждении. С этой целью его изготавливают пустотелым и внутрь насыпают металлический натрий, обеспечивающий лучший отвод тепла от наиболее нагретых частей клапана (головки).

Цилиндры большинства современных двигателей снабжены двумя клапанами впуска и двумя клапанами выпуска. Клапаны удерживаются в закрытом положении клапанными пружинами, опирающимися с одной стороны на головку цилиндра, а с другой на тарелку, укрепленную на конце штока клапана.



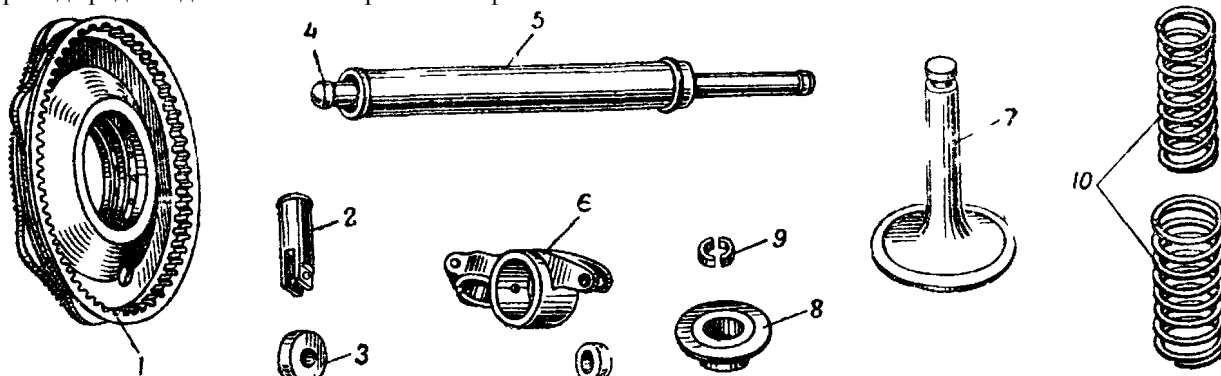
Фиг. 12. Схема механизма газораспределения рядных двигателей

Открываются клапаны посредством кулачковых валиков, расположенных на головке блока. Кулачковые валики изготавливаются из стали. Валик имеет ряд кулачков, которыми действует на клапан либо непосредственно, либо через траверсы и коромысла. Число кулачков зависит от числа и расположения клапанов на цилиндре. Значительное большинство двигателей имеет по одному кулачковому валу на каждый блок;

## КОНСТРУКЦИЯ ДВИГАТЕЛЯ

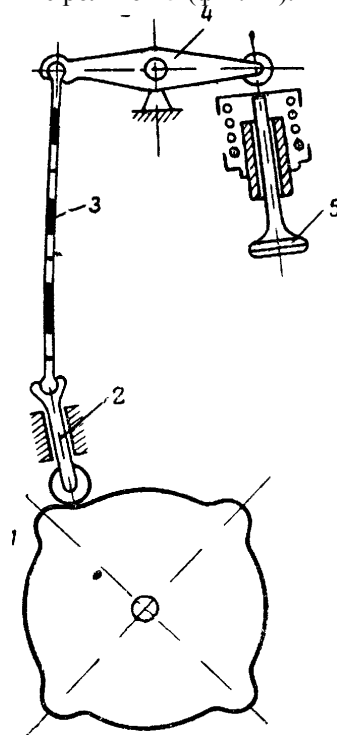
в этом случае на кулачковом валике расположено 12 или 18 кулачков. Если блок снабжен двумя кулачковыми валиками, каждый из них может иметь или 6, или 12 кулачков.

Наклонные валики передают вращение от коленчатого вала к кулачковому валу. Простейшая схема привода рядных двигателей изображена на фиг. 12.



Фиг. 13. Детали механизма газораспределения звездообразных двигателей:  
1 - кулачковая шайба; 2 - толкатель; 3 - ролик толкателя; 4 - тяга; 5 - кожух тяги, 6 - клапанный рычаг; 7 - клапан; 8 - тарелка клапана; 9 - замок, 10 - пружины

Механизм газораспределения звездообразных двигателей состоит из клапанов 7, кулачковых шайб 1, клапанных рычагов 6, тяг 4 и толкателей 2 с роликом 3 (фиг. 14).



Фиг. 14. Схема механизма газораспределения звездообразных двигателей:  
1 - кулачковая шайба, 2 - толкатель; 3 - тяга; 4 - клапанный рычаг; 5 - клапан.

Цилиндры современных звездообразных двигателей имеют по одному клапану впуска и одному клапану выпуска. Устройство клапанов в основном не отличается от устройства клапанов двигателей жидкостного охлаждения.

На кулачковой шайбе расположено два ряда кулачков. Один ряд предназначен для открытия клапанов впуска, другой - для открытия клапанов выпуска. Число кулачков зависит от числа цилиндров и стороны вращения шайбы и определяется расчетом. У двигателя АШ-82ФН кулачковая шайба обслуживает только один ряд цилиндров, а поэтому таких шайб две. Каждая шайба имеет по четыре кулачка впуска и четыре кулачка выпуска.

Толкатели, тяги и клапанные рычаги передают движение от кулачковой шайбы к клапану. Кулачковая шайба приводится во вращение от коленчатого вала. Схема такой передачи изображена на фиг. 14.

# КОНСТРУКЦИЯ ДВИГАТЕЛЯ

## Агрегаты

У ряда двигателей смесь топлива с воздухом готовится до поступления ее в цилиндры в специальном приборе - карбюраторе.

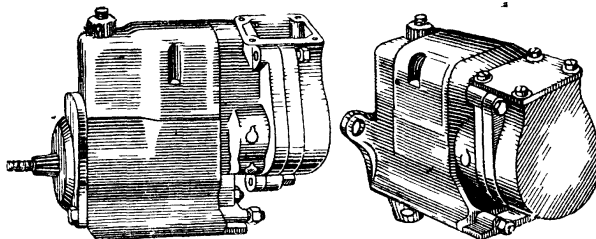
Основными частями карбюратора являются топливная, воздушная и смесительная камеры. В смесительной камере происходит распыление и перемешивание топлива, вытекающего из топливной камеры, с воздухом. Карбюратор устроен так, что топливо и воздух смешиваются в нужных количествах: определенному количеству воздуха, проходящему через смесительную камеру, соответствует строго определенное количество топлива.

Смесь топлива с воздухом в определенных соотношениях называется **горючей смесью** или **топливо-воздушной смесью**.

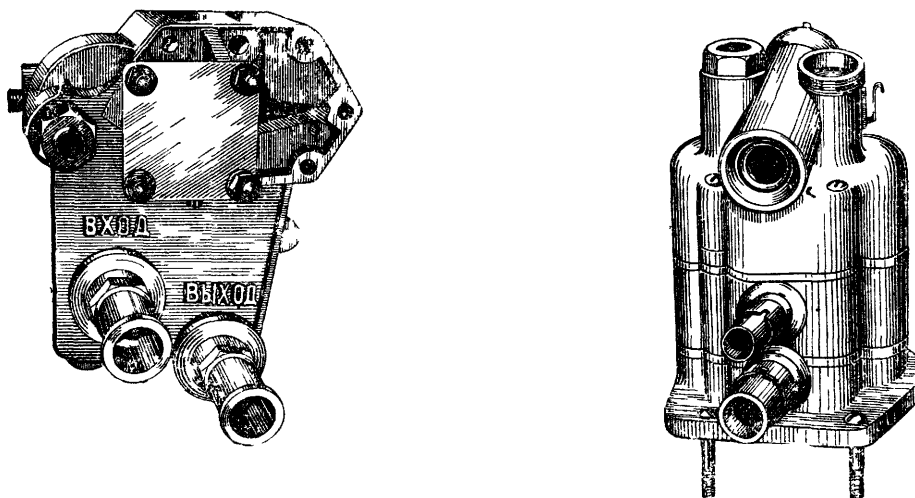
В патрубке карбюратора расположена подвижная заслонка (дроссель), регулирующая подачу воздуха в цилиндры. Изменение в подаче воздуха автоматически изменяет количество вытекающего топлива. Поэтому заслонкой пользуются для изменения мощности двигателя. Очевидно, двигатель развивает наибольшую мощность в том случае, если заслонка полностью откроет проходное сечение для поступления воздуха. Прикрытие заслонки (дросселя) уменьшает мощность двигателя, так как уменьшается количество горючей смеси, поступающей в цилиндр.

Топливо подается в карбюратор или в насос высокого давления бензиновым насосом, который расположен на двигателе.

Воспламенение горючей смеси производится электрической искрой. Необходимая электрическая энергия вырабатывается и распределяется по цилиндрам агрегатом, называемым рабочим магнето (фиг. 15). Рабочее магнето устанавливается сзади двигателя и приводится в действие от коленчатого вала через промежуточную передачу. Обычно для надежности зажигания и уменьшения продолжительности горения смеси устанавливаются два рабочих магнето.



Фиг. 15. Общий вид магнето



Фиг. 16 Масляные насосы

Для смазки трущихся деталей масло подается нагнетающим масляным насосом и откачивается из картера в масляный бак откачивающим масляным насосом, оба эти насоса объединяются в один общий агрегат (фиг. 16). Масляные насосы устанавливаются в задней нижней части картера рядных двигателей и на задней крышке у звездообразных двигателей.



# КОНСТРУКЦИЯ ДВИГАТЕЛЯ

## КРИВОШИПНО - ШАТУННЫЙ МЕХАНИЗМ

Основным звеном, воспринимающим работу газовых сил в цилиндре и передающим ее для использования, является кривошипно-шатунный механизм, состоящий из поршня, шатуна и кривошипа коленчатого вала (фиг. 17).

При работе двигателя детали кривошипно-шатунного механизма совершают разные движения. Поршень совершает прямолинейно-возвратное движение. Для приведения в действие винта прямолинейно-возвратное движение поршня необходимо преобразовать во вращательное движение. Такое преобразование происходит при помощи шатуна и кривошипа.

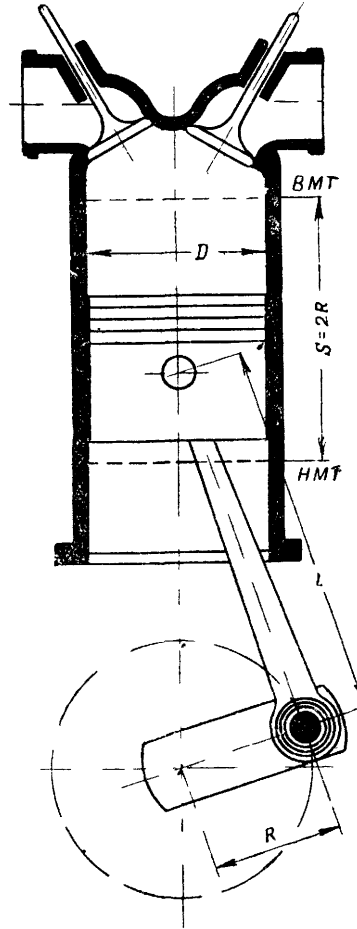


Рис 17 Схема кривошипно-шатунного механизма.

Шатун, связанный с поршнем и кривошипом, отклоняется от оси цилиндра и одновременно перемещается вместе с поршнем; такое движение называется сложным колебательным движением.

Кривошип вращается вокруг оси коренных шеек. Путь, пройденный кривошипом, измеряется в

угловых градусах, а скорость вращения - числом оборотов в одну минуту -  $n \frac{\text{об}}{\text{мин}}$ .

При вращении коленчатого вала поршень, перемещаясь в цилиндре, достигает двух крайних положений, одно из которых, наиболее удаленное от оси коленчатого вала, называется **верхней мертвой точкой** или сокращенно ВМТ (фиг. 18);

второе, наиболее близкое к оси коленчатого вала, называется **нижней мертвой точкой** или сокращенно НМТ (фиг. 19). Положение ВМТ и НМТ определяется размерами шатуна и кривошипа.

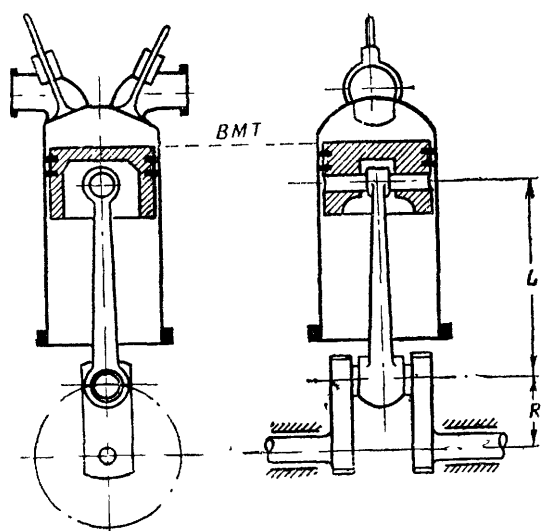
Основным размером шатуна является длина. Длиной шатуна называется расстояние от оси поршневой (верхней) его головки до оси кривошипной (нижней) головки; обозначается длина шатуна буквой  $L$ .

Размер кривошипа характеризуется его радиусом. Радиусом кривошипа называется расстояние от оси коренной шейки до оси шатунной шейки а обозначается буквой  $R$ .

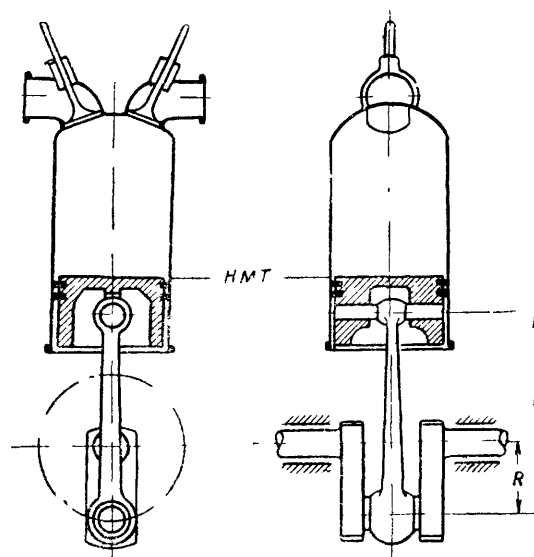
Расстояние от верхней мертвой точки (ВМТ) до нижней мертвой точки (НМТ) называется ходом поршня и обозначается буквой  $S$ . Ход поршня соответствует  $180^\circ$  по углу поворота коленчатого вала;  $S$  - всегда равно двум радиусам кривошипа.

$$S = 2R [мм]$$

## КОНСТРУКЦИЯ ДВИГАТЕЛЯ



Фиг. 18. Положение поршня в верхней мертвой точке ВМТ



Фиг. 19. Положение поршня в нижней мертвой точке НМТ

В процессе работы двигателя перемещение поршня связано с изменением объема газов внутри цилиндра.

Объем, занимаемый газами в цилиндре в тот момент, когда поршень находится в ВМТ, называется **объемом камеры сгорания** или **объемом камеры сжатия** и обозначается буквой  $V_c$ . Объем, занимаемый газами в цилиндре в тот момент, когда поршень находится в НМТ, называется **полным объемом цилиндра** и обозначается буквой  $V_a$ . Объем, описываемый поршнем при его движении между мертвыми точками, называется **рабочим объемом цилиндра** и обозначается  $V_h$ . Объем измеряется в литрах (сокращенно - л). Для определения рабочего объема цилиндра необходимо знать диаметр цилиндра  $D$  и ход поршня  $S$ , измеренные в дециметрах.

$$V_h = \frac{\pi D^2}{4} S [\text{л}] \quad (18)$$

Рабочий объем одного цилиндра называют литражем цилиндра, а рабочий объем всех цилиндров двигателя - литражем двигателя. Зависимость между полным объемом  $V_a$ , рабочим объемом  $V_h$  и объемом камеры сгорания  $V_c$  может быть выражена следующим образом:

$$V_a = V_c + V_h \quad (19)$$

Отношение полного объема цилиндра к объему камеры сгорания называется степенью сжатия. Степень сжатия обозначается буквой  $\varepsilon$ .

$$\varepsilon = \frac{V_a}{V_c} \quad (20)$$

Степень сжатия показывает, во сколько раз полный объем цилиндра больше объема камеры сгорания. Степень сжатия является постоянной величиной для данного двигателя. В современных авиационных двигателях, работающих на бензиновом топливе, степень сжатия колеблется в пределах 5,5-7,2.

### СХЕМА РАБОТЫ ЧЕТЫРЕХТАКТНОГО ДВИГАТЕЛЯ

Преобразование тепловой энергии в механическую совершается при непрерывном изменении состояния рабочего тела - газа. Все эти изменения в авиационном поршневом двигателе можно разделить на пять самостоятельных, последовательно чередующихся процессов.

Вначале цилиндр двигателя заполняется свежей горючей смесью - происходит процесс, называемый впуском. Вслед за тем смесь сжимается. Если в конце впуска смесь занимала полный объем цилиндра  $V_a$ , то в конце процесса сжатия объем ее становится равным объему камеры сжатия  $V_c$ .

Около ВМТ смесь поджигается и сгорает. Во время горения выделяется много тепла. Как известно, при увеличении температуры возрастает давление газов, а поэтому в конце процесса

## КОНСТРУКЦИЯ ДВИГАТЕЛЯ

к2

сгорания давление в цилиндре достигает  $50 - 75 \text{ см}^2$ .

Под действием такого высокого давления поршень движется от ВМТ к НМТ. Газы расширяются и производят полезную работу. Таким образом, в процессе расширения происходит преобразование тепловой энергии в механическую энергию.

После процесса расширения наступает процесс выпуска, в течение которого цилиндр очищается от продуктов сгорания и подготавливается к очередному наполнению свежей горючей смесью, а следовательно, к повторению перечисленных выше процессов.

Таким образом, рабочее тело (газы) в цилиндре двигателя совершает определенный круг процессов, возвращаясь каждый раз в первоначальное состояние. Такое сочетание процессов называется **циклом**.

**Циклом называется ряд следующих друг за другом процессов, в результате которых рабочее тело (газ) возвращается в первоначальное состояние.**

Действительный рабочий цикл авиадвигателя может быть осуществлен либо за один оборот коленчатого вала, что соответствует двум ходам поршня, либо за два оборота коленчатого вала, т. е. за четыре хода поршня. В том и другом случаях за один ход поршня совершается только часть рабочего цикла, называемая тактом.

**Тактом называется часть рабочего цикла, совершаемая за один ход поршня.**

Все двигатели внутреннего сгорания по числу тактов в каждом цикле можно разделить на 2 класса: четырехтактные и двухтактные двигатели.

Двигатель, в котором рабочий ход совершается в течение двух ходов поршня, называется **двухтактным двигателем**. Двигатель, в котором рабочий цикл совершается в течение четырех ходов поршня, называется **четырёхтактным**.

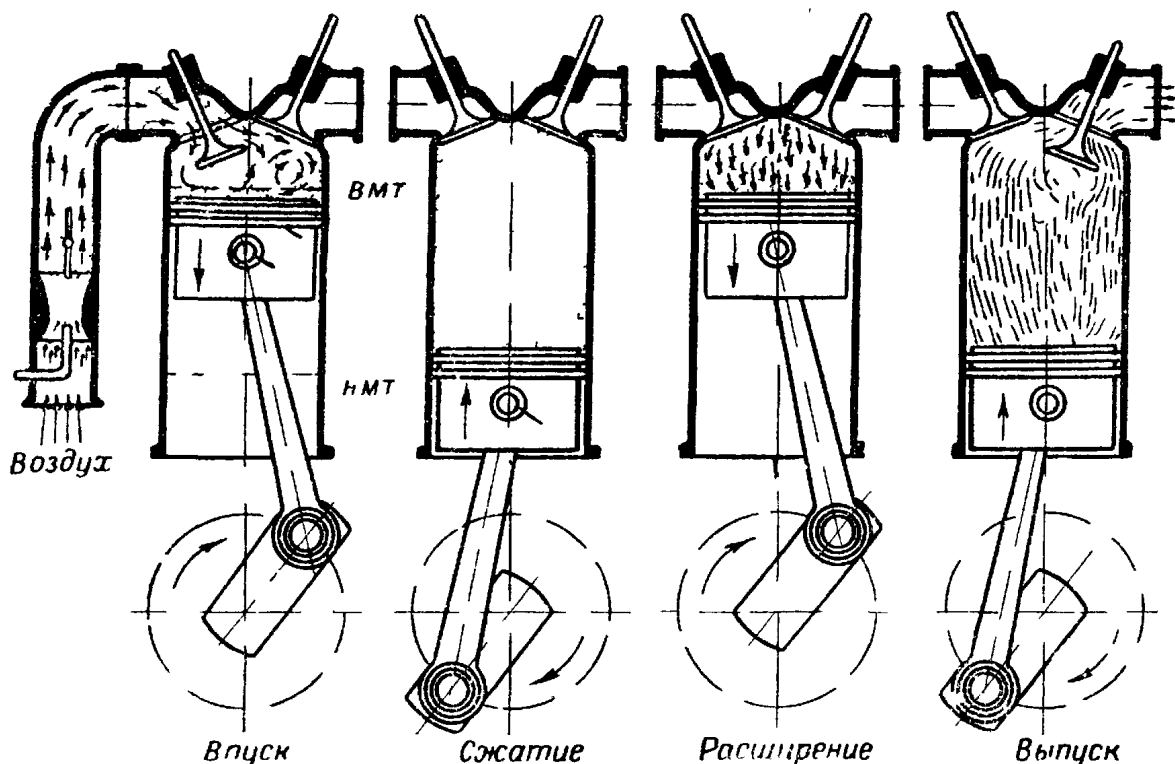
В четырехтактном двигателе такты чередуются в следующем порядке (фиг. 20):

**1. Такт впуска** - поршень движется от верхней мертвой точки (ВМТ) к нижней мертвой точке (НМТ); клапаны впуска открыты, а клапаны выпуска закрыты; в цилиндр поступает свежая горючая смесь. Такт впуска начинается при положении поршня в ВМТ и кончается при положении поршня в НМТ.

**2. Такт сжатия** - поршень движется от НМТ к ВМТ; клапаны впуска и выпуска закрыты; горючая смесь в цилиндре сжимается и около ВМТ воспламеняется и сгорает. Такт сжатия начинается в НМТ и кончается в ВМТ.

**3. Такт расширения** - газы, имеющие высокую температуру и давление, расширяются и передвигают поршень от ВМТ к НМТ. В этом такте совершается полезная работа, необходимая для приведения в действие кривошипно-шатунного механизма, а поэтому такт расширения называют также рабочим ходом.

**4. Такт выпуска** - поршень движется от НМТ к ВМТ, клапаны выпуска открыты, а клапаны впуска закрыты, продукты сгорания выталкиваются поршнем из цилиндра. Такт выпуска начинается в НМТ и кончается в ВМТ.



Фиг. 20. Схема работы четырехтактного двигателя