**Содержание:**

**Двигатели внутреннего сгорания**

**Тепловое расширение**

**Поршневые двигатели внутреннего сгорания**

**Классификация ДВС**

**Основы устройства поршневых ДВС**

**Принцип работы**

**Принцип действия четырехтактного карбюраторного двигателя**

**Принцип действия четырехтактного дизеля**

**Принцип действия двухтактного двигателя**

**Рабочий цикл четырехтактного двигателя**

**Рабочие циклы двухтактных двигателей**

**ПОКАЗАТЕЛИ, ХАРАКТЕРИЗУЮЩИЕ РАБОТУ ДВИГАТЕЛЕЙ**

**Среднее индикаторное давление и индикаторная мощность**

**Эффективная мощность и средние эффективные давления**

**Индикаторный КПД и удельный индикаторный расход топлива**

**Эффективный КПД и удельный эффективный расход топлива**

**Тепловой баланс двигателя**

**Инновации**

**Введение**

Значительный рост всех отраслей народного хозяйства требует перемещения большого количества грузов и пассажиров. Высокая маневренность, проходимость и приспособленность для работы в различных условиях делает автомобиль одним из основных средств перевозки грузов и пассажиров.

Важную роль играет автомобильный транспорт в освоении восточных и нечерноземных районов нашей страны. Отсутствие развитой сети железных дорог и ограничение возможностей использования рек для судоходства делают автомобиль главным средством передвижения в этих районах.

Автомобильный транспорт в России обслуживает все отрасли народного хозяйства и занимает одно из ведущих мест в единой транспортной системе страны. На долю автомобильного транспорта приходится свыше 80% грузов, перевозимых всеми видами транспорта вместе взятыми, и более 70% пассажирских перевозок.

Автомобильный транспорт создан в результате развития новой отрасли народного хозяйства - автомобильной промышленности, которая на современном этапе является одним из основных звеньев отечественного машиностроения.

Начало создания автомобиля было положено более двухсот лет назад (название "автомобиль" происходит от греческого слова autos - "сам" и латинского mobilis - "подвижный"), когда стали изготовлять "самодвижущиеся" повозки. Впервые они появились в России. В 1752 г. русский механик-самоучка крестьянин Л.Шамшуренков создал довольно совершенную для своего времени "самобеглую коляску", приводимого в движение силой двух человек. Позднее русский изобретатель И.П.Кулибин создал "самокатную тележку" с педальным приводом. С появлением паровой машины создание самодвижущихся повозок быстро продвинулось вперед. В 1869-1870 гг. Ж.Кюньо во Франции, а через несколько лет и в Англии были построены паровые автомобили. Широкое распространение автомобиля как транспортного средства начинается с появлением быстроходного двигателя внутреннего сгорания. В 1885 г. Г.Даймлер (Германия) построил мотоцикл с бензиновым двигателем, а в 1886 г. К.Бенц - трехколесную повозку. Примерно в это же время в индустриально развитых странах (Франция, Великобритания, США) создаются автомобили с двигателями внутреннего сгорания.

В конце XIX века в ряде стран возникла автомобильная промышленность. В царской России неоднократно делались попытки организовать собственное машиностроение. В 1908 г. производство автомобилей было организовано на Русско-Балтийском вагоностроительном заводе в Риге. В течение шести лет здесь выпускались автомобили, собранные в основном из импортных частей. Всего завод построил 451 легковой автомобиль и небольшое количество грузовых автомобилей. В 1913 г. автомобильный парк в России составлял около 9000 автомобилей, из них большая часть - зарубежного производства. После Великой Октябрьской социалистической революции практически заново пришлось создавать отечественную автомобильную промышленность. Начало развития российского автомобилестроения относится к 1924 году, когда в Москве на заводе АМО были построены первые грузовые автомобили АМО-Ф-15.

В период 1931-1941 гг. создается крупносерийное и массовое производство автомобилей. В 1931 г. на заводе АМО началось массовое производство грузовых автомобилей. В 1932 г. вошел в строй завод ГАЗ.

В 1940 г. начал производство малолитражных автомобилей Московский завод малолитражных автомобилей. Несколько позже был создан Уральский автомобильный завод. За годы послевоенных пятилеток вступили в строй Кутаисский, Кременчугский, Ульяновский, Минский автомобильные заводы. Начиная с конца 60-х гг., развитие автомобилестроения характеризуется особо быстрыми темпами. В 1971 г. вступил в строй Волжский автомобильный завод им. 50-летия СССР.

За последние годы заводами автомобильной промышленности освоены многие образцы модернизированной и новой автомобильной техники, в том числе для сельского хозяйства, строительства, торговли, нефтегазовой и лесной промышленности.

# **Двигатели внутреннего сгорания**

В настоящее время существует большое количество устройств, использующих тепловое расширение газов. К таким устройствам относится карбюраторный двигатель, дизели, турбореактивные двигатели и т.д.

Тепловые двигатели могут быть разделены на две основные группы:

1. Двигатели с внешним сгоранием - паровые машины, паровые турбины, двигатели Стирлинга и т.д.
2. Двигатели внутреннего сгорания. В качестве энергетических установок автомобилей наибольшее распространение получили двигатели внутреннего сгорания, в которых процесс сгорания

топлива с выделением теплоты и превращением ее в механическую работу происходит непосредственно в цилиндрах. На большинстве современных автомобилей установлены двигатели внутреннего сгорания.

Наиболее экономичными являются поршневые и комбинированные двигатели внутреннего сгорания. Они имеют достаточно большой срок службы, сравнительно небольшие габаритные размеры и массу. Основным недостатком этих двигателей следует считать возвратно-поступательное движение поршня, связанное с наличием кривошатунного механизма, усложняющего конструкцию и ограничивающего возможность повышения частоты вращения, особенно при значительных размерах двигателя.

А теперь немного о первых ДВС. Первый двигатель внутреннего сгорания (ДВС) был создан в 1860 г. французским инженером Этвеном Ленуаром, но эта машина была еще весьма несовершенной.

В 1862 г. французский изобретатель Бо де Роша предложил использовать в двигателе внутреннего сгорания четырехтактный цикл:

1. всасывание;
2. сжатие;
3. горение и расширение;
4. выхлоп.

Эта идея была использована немецким изобретателем Н.Отто, построившим в 1878 г. первый четырехтактный двигатель внутреннего сгорания. КПД такого двигателя достигал 22%, что превосходило значения, полученные при использовании двигателей всех предшествующих типов.

Быстрое распространение ДВС в промышленности, на транспорте, в сельском хозяйстве и стационарной энергетике была обусловлена рядом их положительных особенностей.

Осуществление рабочего цикла ДВС в одном цилиндре с малыми потерями и значительным перепадом температур между источником теплоты и холодильником обеспечивает высокую экономичность этих двигателей. Высокая экономичность - одно из положительных качеств ДВС.

Среди ДВС дизель в настоящее время является таким двигателем, который преобразует химическую энергию топлива в механическую работу с наиболее высоким КПД в широком диапазоне изменения мощности. Это качество дизелей особенно важно, если учесть, что запасы нефтяных топлив ограничены.

К положительным особенностям ДВС стоит отнести также то, что они могут быть соединены практически с любым потребителем энергии. Это объясняется широкими возможностями получения соответствующих характеристик изменения мощности и крутящего момента этих двигателей. Рассматриваемые двигатели успешно используются на автомобилях, тракторах, сельскохозяйственных машинах, тепловозах, судах, электростанциях и т.д., т.е. ДВС отличаются хорошей приспособляемостью к потребителю.

Сравнительно невысокая начальная стоимость, компактность и малая масса ДВС позволили широко использовать их на силовых установках, находящих широкое применение и имеющих небольшие размеров моторного отделения.

Установки с ДВС обладают большой автономностью. Даже самолеты с ДВС могут летать десятки часов без пополнения горючего.

Важным положительным качеством ДВС является возможность их быстрого пуска в обычных условиях. Двигатели, работающие при низких температурах, снабжаются специальными устройствами для облегчения и ускорения пуска. После пуска двигатели сравнительно быстро могут принимать полную нагрузку. ДВС обладают значительным тормозным моментом, что очень важно при использовании их на транспортных установках.

Положительным качеством дизелей является способность одного двигателя работать на многих топливах. Так известны конструкции автомобильных многотопливных двигателей, а также судовых двигателей большой мощности, которые работают на различных топливах - от дизельного до котельного мазута.

Но наряду с положительными качествами ДВС обладают рядом недостатков. Среди них ограниченное по сравнению, например с паровыми и газовыми турбинами агрегатная мощность, высокий уровень шума, относительно большая частота вращения коленчатого вала при пуске и невозможность непосредственного соединения его с ведущими колесами потребителя, токсичность выхлопных газов, возвратно-поступательное движение поршня, ограничивающие частоту вращения и являющиеся причиной появления неуравновешенных сил инерции и моментов от них.

Но невозможно было бы создание двигателей внутреннего сгорания, их развития и применения, если бы не эффект теплового расширения. Ведь в процессе теплового расширения нагретые до высокой температуры газы совершают полезную работу. Вследствие быстрого сгорания смеси в цилиндре двигателя внутреннего сгорания, резко повышается давление, под воздействием которого происходит перемещение поршня в цилиндре. А это-то и есть та самая нужная технологическая функция, т.е. силовое воздействие, создание больших давлений, которую выполняет тепловое расширение, и ради которой это явление применяют в различных технологиях и в частности в ДВС.

# **Тепловое расширение**

Тепловое расширение - изменение размеров тела в процессе его изобарического нагревания (при постоянном давлении). Количественно тепловое расширение характеризуется температурным коэффициентом объемного расширения B=(1/V)\*(dV/dT)p, где V - объем, T - температура, p - давление. Для большинства тел B>0 (исключением является, например, вода, у которой в интервале температур от 0 C до 4 C B<0). Для идеального газа B=1/T, у жидкостей и твердых тел зависимость B от T значительно слабее. Для твердых тел наряду с B вводят температурный коэффициент линейного расширения a, равный отношению относительного изменения длины тела вдоль рассматриваемого направления при изобарическом нагревании тела к приращению температуры: a=(1/l)\*(dl/dT)p, где l - длина тела. Для изотропных тел B=3a.

**Области применения теплового расширения**.

Тепловое расширение нашло свое применение в различных современных

технологиях.

В частности можно сказать о применении теплового расширения газа в теплотехники. Так, например, это явление применяется в различных тепловых двигателях, т.е. в двигателях внутреннего и внешнего сгорания: в роторных двигателях, в реактивных двигателях, в турбореактивных двигателях, на газотурбинных установках, двигателях Ванкеля, Стирлинга, ядерных силовых установках. Тепловое расширение воды используется в паровых турбинах и т.д. Все это в свою очередь нашло широкое распространение в различных отраслях народного хозяйства.

Например, двигатели внутреннего сгорания наиболее широко используются на транспортных установках и сельскохозяйственных машинах. В стационарной энергетике двигатели внутреннего сгорания широко используются на небольших электростанциях, энергопоездах и аварийных энергоустановках. ДВС получили большое распространение также в качестве привода компрессоров и насосов для подачи газа, нефти, жидкого топлива и т.п. по трубопроводам, при производстве разведочных работ, для привода бурильных установок при бурении скважин на газовых и нефтяных промыслах. Турбореактивные двигатели широко распространены в авиации. Паровые турбины - основной двигатель для привода электрогенераторов на ТЭС. Применяют паровые турбины также для привода центробежных воздуходувок, компрессоров и насосов. Существуют даже паровые автомобили, но они не получили распространения из-за конструктивной сложности.

Тепловое расширение применяется также в различных тепловых реле,

принцип действия которых основан на линейном расширении трубки и

стержня, изготовленных из материалов с различным температурным

коэффициентом линейного расширения.

## Поршневые двигатели внутреннего сгорания

Как было выше сказано, тепловое расширение применяется в ДВС. Но

каким образом оно применяется и какую функцию выполняет мы рассмотрим

на примере работы поршневого ДВС.

Двигателем называется энергосиловая машина, преобразующая какую-либо энергию в механическую работу. Двигатели, в которых механическая работа создается в результате преобразования тепловой энергии, называются тепловыми. Тепловая энергия получается при сжигании какого-либо топлива. Тепловой двигатель, в котором часть химической энергии топлива, сгорающего в рабочей полости, преобразуется в механическую энергию, называется поршневым двигателем внутреннего сгорания. (Советский энциклопедический словарь)

## Классификация ДВС

Как было выше сказано, в качестве энергетических установок автомобилей наибольшее распространение поучили ДВС, в которых процесс сгорания топлива с выделением теплоты и превращением ее в механическую работу происходит непосредственно в цилиндрах. Но в большинстве современных автомобилей установлены двигатели внутреннего сгорания, которые классифицируются по различным признакам:

По способу смесеобразования - двигатели с внешним смесеобразованием, у которых горючая смесь приготовляется вне цилиндров (карбюраторные и газовые), и двигатели с внутренним смесеобразованием (рабочая смесь образуется внутри цилиндров) - дизели;

По способу осуществления рабочего цикла - четырехтактные и двухтактные;

По числу цилиндров - одноцилиндровые, двухцилиндровые и многоцилиндровые;

По расположению цилиндров - двигатели с вертикальным или наклонным

расположением цилиндров в один ряд, V-образные с расположением цилиндров под углом (при расположении цилиндров под углом 180 двигатель называется двигателем с противолежащими цилиндрами, или оппозитным);

По способу охлаждения - на двигатели с жидкостным или воздушным

охлаждением;

По виду применяемого топлива - бензиновые, дизельные, газовые и

многотопливные ;

По степени сжатия. В зависимости от степени сжатия различают двигатели высокого (E=12...18) и низкого (E=4...9) сжатия;

По способу наполнения цилиндра свежим зарядом:

а) двигатели без наддува, у которых впуск воздуха или горючей смеси

осуществляется за счет разряжения в цилиндре при всасывающем ходе

поршня;

б) двигатели с наддувом, у которых впуск воздуха или горючей смеси в

рабочий цилиндр происходит под давлением, создаваемым компрессором, с

целью увеличения заряда и получения повышенной мощности двигателя;

По частоте вращения: тихоходные, повышенной частоты вращения,

быстроходные;

По назначению различают двигатели стационарные, автотракторные,

судовые, тепловозные, авиационные и др.

## Основы устройства поршневых ДВС

Поршневые ДВС состоят из механизмов и систем, выполняющих заданные

им функции и взаимодействующих между собой. Основными частями такого

двигателя являются кривошипно-шатунный механизм и газораспределительный механизм, а также системы питания, охлаждения, зажигания и смазочная система.

Кривошипно-шатунный механизм преобразует прямолинейное возвратно-поступательное движение поршня во вращательное движение коленчатого вала.

Механизм газораспределения обеспечивает своевременный впуск горючей

смеси в цилиндр и удаление из него продуктов сгорания.

Система питания предназначена для приготовления и подачи горючей

смеси в цилиндр, а также для отвода продуктов сгорания.

Смазочная система служит для подачи масла к взаимодействующим

деталям с целью уменьшения силы трения и частичного их охлаждения,

наряду с этим циркуляция масла приводит к смыванию нагара и удалению

продуктов изнашивания.

Система охлаждения поддерживает нормальный температурный режим

работы двигателя, обеспечивая отвод теплоты от сильно нагревающихся

при сгорании рабочей смеси деталей цилиндров поршневой группы и

клапанного механизма.

Система зажигания предназначена для воспламенения рабочей смеси в

цилиндре двигателя.

Итак, четырехтактный поршневой двигатель состоит из цилиндра и

картера, который снизу закрыт поддоном. Внутри цилиндра перемещается поршень с компрессионными (уплотнительными) кольцами, имеющий форму стакана с днищем в верхней части. Поршень через поршневой палец и шатун связан с коленчатым валом, который вращается в коренных подшипниках, расположенных в картере. Коленчатый вал состоит из коренных шеек, щек и шатунной шейки. Цилиндр, поршень, шатун и коленчатый вал составляют так называемый кривошипно-шатунный механизм. Сверху цилиндр накрыт

головкой с клапанами и, открытие и закрытие которых строго согласовано с вращением коленчатого вала, а следовательно, и с перемещением поршня.

Перемещение поршня ограничивается двумя крайними положениями, при

которых его скорость равна нулю. Крайнее верхнее положение поршня

называется верхней мертвой точкой (ВМТ), крайнее нижнее его положение

- нижняя мертвая точка (НМТ).

Безостановочное движение поршня через мертвые точки обеспечивается

маховиком, имеющим форму диска с массивным ободом.

Расстояние, проходимое поршнем от ВМТ до НМТ, называется ходом

поршня S, который равен удвоенному радиусу R кривошипа: S=2R.

Пространство над днищем поршня при нахождении его в ВМТ называется

камерой сгорания; ее объем обозначается через Vс; пространство цилиндра между двумя мертвыми точками (НМТ и ВМТ) называется его рабочим объемом и обозначается Vh. Сумма объема камеры сгорания Vс и рабочего объема Vh составляет полный объем цилиндра Vа: Vа=Vс+Vh. Рабочий объем цилиндра (его измеряют в кубических сантиметрах или метрах): Vh=пД^3\*S/4, где Д - диаметр цилиндра. Сумму всех рабочих объемов цилиндров многоцилиндрового двигателя называют рабочим объемом двигателя, его определяют по формуле: Vр=(пД^2\*S)/4\*i, где i - число цилиндров. Отношение полного объема цилиндра Va к объему камеры сгорания Vc называется степенью сжатия: E=(Vc+Vh)Vc=Va/Vc=Vh/Vc+1. Степень сжатия является важным параметром двигателей внутреннего сгорания, т.к. сильно влияет на его экономичность и мощность.

## Принцип работы

Действие поршневого двигателя внутреннего сгорания основано на использовании работы теплового расширения нагретых газов во время движения поршня от ВМТ к НМТ. Нагревание газов в положении ВМТ достигается в результате сгорания в цилиндре топлива, перемешанного с воздухом. При этом повышается температура газов и давления. Т.к. давление под поршнем равно атмосферному, а в цилиндре оно намного больше, то под действием разницы давлений поршень будет перемещаться вниз, при этом газы - расширяться, совершая полезную работу. Вот здесь-то и дает о себе знать тепловое расширение газов, здесь и заключается его технологическая функция: давление на поршень. Чтобы двигатель постоянно вырабатывал механическую энергию, цилиндр необходимо периодически заполнять новыми порциями воздуха через впускной клапан и топливо через форсунку или подавать через впускной клапан смесь воздуха с топливом. Продукты сгорания топлива после их расширения удаляются из цилиндра через впускной клапан. Эти задачи выполняют механизм газораспределения, управляющий открытием и закрытием клапанов, и система подачи топлива.

## Принцип действия четырехтактного карбюраторного двигателя

Рабочим циклом двигателя называется периодически повторяющийся ряд

последовательных процессов, протекающих в каждом цилиндре двигателя и

обусловливающих превращение тепловой энергии в механическую работу.

Если рабочий цикл совершается за два хода поршня, т.е. за один оборот коленчатого вала, то такой двигатель называется двухтактным.

Автомобильные двигатели работают, как правило, по четырехтактному

циклу, который совершается за два оборота коленчатого вала или четыре

хода поршня и состоит из тактов впуска, сжатия, расширения (рабочего

хода) и выпуска.

В карбюраторном четырехтактном одноцилиндровом двигателе рабочий цикл происходит следующим образом:

1. Такт впуска. По мере того, как коленчатый вал двигателя делает первый полуоборот, поршень перемещается от ВМТ к НМТ, впускной клапан открыт, выпускной клапан закрыт. В цилиндре создается разряжение 0.07 - 0.095 МПа, вследствие чего свежий заряд горючей смеси, состоящий из паров бензина и воздуха, засасывается через впускной газопровод в цилиндр и, смешиваясь с остаточными отработавшими газами, образует рабочую смесь.

2. Такт сжатия. После заполнения цилиндра горючей смесью при дальнейшем вращении коленчатого вала (второй полуоборот) поршень перемещается от НМТ к ВМТ при закрытых клапанах. По мере уменьшения объема температура и давление рабочей смеси повышаются.

3. Такт расширения или рабочий ход. В конце такта сжатия рабочая смесь воспламеняется от электрической искры и быстро сгорает, вследствие чего температура и давление образующихся газов резко возрастает, поршень при этом перемещается от ВМТ к НМТ.

В процессе такта расширения шарнирно связанный с поршнем шатун

совершает сложное движение и через кривошип приводит во вращение

коленчатый вал. При расширении газы совершают полезную работу, поэтому

ход поршня при третьем полуобороте коленчатого вала называют рабочим

ходом.

В конце рабочего хода поршня, при нахождении его около НМТ

открывается выпускной клапан, давление в цилиндре снижается до 0.3 -

0.75 МПа, а температура до 950 - 1200 С.

4. Такт выпуска. При четвертом полуобороте коленчатого вала поршень перемещается от НМТ к ВМТ. При этом выпускной клапан открыт, и продукты сгорания выталкиваются из цилиндра в атмосферу через выпускной газопровод.

## Принцип действия четырехтактного дизеля

В четырехтактном двигателе рабочие процессы происходят следующим образом:

1. Такт впуска. При движении поршня от ВМТ к НМТ вследствие образующегося разряжения из воздухоочистителя в полость цилиндра через открытый впускной клапан поступает атмосферный воздух. Давление воздуха в цилиндре составляет 0.08 - 0.095 МПа, а температура 40 - 60 С.

2. Такт сжатия. Поршень движется от НМТ к ВМТ; впускной и выпускной клапаны закрыты, вследствие этого перемещающийся вверх поршень сжимает поступивший воздух. Для воспламенения топлива необходимо, чтобы температура сжатого воздуха была выше температуры самовоспламенения топлива. При ходе поршня к ВМТ цилиндр через форсунку впрыскивается дизельное топливо, подаваемое топливным насосом.

3. Такт расширения, или рабочий ход. Впрыснутое в конце такта сжатия топливо, перемешиваясь с нагретым воздухом, воспламеняется, и начинается процесс сгорания, характеризующийся быстрым повышением температуры и давления. При этом максимальное давление газов достигает 6 - 9 МПа, а температура 1800 - 2000 С. Под действием давления газов поршень 2 перемещается от ВМТ в НМТ - происходит рабочий ход. Около НМТ давление снижается до 0.3 - 0.5 МПа, а температура до 700 - 900 С.

4. Такт выпуска. Поршень перемещается от НМТ в ВМТ и через открытый выпускной клапан 6 отработавшие газы выталкиваются из цилиндра. Давление газов снижается до 0.11 - 0.12 МПа, а температура до 500-700 С. После окончания такта выпуска при дальнейшем вращении коленчатого вала рабочий цикл повторяется в той же последовательности.

## Принцип действия двухтактного двигателя

Двухтактные двигатели отличаются от четырехтактных тем, что у них наполнение цилиндров горючей смесью или воздухом осуществляется в начале хода сжатия, а очистка цилиндров от отработавших газов в конце хода расширения, т.е. процессы выпуска и впуска происходят без самостоятельных ходов поршня. Общий процесс для всех типов двухтактных двигателей - продувка, т.е. процесс удаления отработавших газов из цилиндра с помощью потока горючей смеси или воздуха. Поэтому двигатель данного вида имеет компрессор (продувочный насос). Рассмотрим работу двухтактного карбюраторного двигателя с кривошипно-камерной продувкой. У этого типа двигателей отсутствуют клапаны, их роль выполняет поршень, который при своем перемещении закрывает впускные, выпускные и продувочные окна. Через эти окна цилиндр в определенные моменты сообщается с впускным и выпускным трубопроводами и кривошипной камерой (картер), которая не имеет непосредственного сообщения с атмосферой. Цилиндр в средней части имеет три окна: впускное, выпускное и продувочное, которое сообщается клапаном с кривошипной камерой двигателя. Рабочий цикл в двигателе осуществляется за два такта:

1. Такт сжатия. Поршень перемещается от НМТ к ВМТ, перекрывая сначала продувочное, а затем выпускное окно. После закрытия поршнем выпускного окна в цилиндре начинается сжатие ранее поступившей в него горючей смеси. Одновременно в кривошипной камере вследствие ее герметичности создается разряжение, под действием которого из карбюратора через открытое впускное окно поступает горючая смесь в кривошипную камеру.

2. Такт рабочего хода. При положении поршня около ВМТ сжатая

рабочая смесь воспламеняется электрической искрой от свечи, в результате чего температура и давление газов резко возрастают. Под действием теплового расширения газов поршень перемещается к НМТ, при этом расширяющиеся газы совершают полезную работу. Одновременно опускающийся поршень закрывает впускное окно и сжимает находящуюся в кривошипной камере горючую смесь.

Когда поршень дойдет до выпускного окна, оно открывается и начинается выпуск отработавших газов в атмосферу, давление в цилиндре понижается. При дальнейшем перемещении поршень открывает продувочное окно и сжатая в кривошипной камере горючая смесь перетекает по каналу, заполняя цилиндр и осуществляя продувку его от остатков отработавших газов.

Рабочий цикл двухтактного дизельного двигателя отличается от рабочего цикла двухтактного карбюраторного двигателя тем, что у дизеля в цилиндр поступает воздух, а не горючая смесь, и в конце процесса сжатия впрыскивается мелкораспыленное топливо.

Мощность двухтактного двигателя при одинаковых размерах цилиндра и

частоте вращения вала теоретически в два раза больше четырехтактного

за счет большего числа рабочих циклов. Однако неполное использование

хода поршня для расширения, худшее освобождение цилиндра от остаточных

газов и затраты части вырабатываемой мощности на привод продувочного

компрессора приводят практически к увеличению мощности только на

60...70%.

**Рабочий цикл четырехтактных карбюраторных**

**и дизельных двигателей**

Рабочий цикл четырехтактного двигателя состоит из пяти процессов:

впуск, сжатие, сгорание, расширение и выпуск, которые совершаются за

четыре такта или за два оборота коленчатого вала.

Графическое представление о давлении газов при изменении объема в

цилиндре двигателя в процессе осуществления каждого из четырех циклов

дает индикаторная диаграмма. Она может быть построена по данным

теплового расчета или снята при работе двигателя с помощью

специального прибора - индикатора.

Процесс впуска. Впуск горючей смеси осуществляется после выпуска из

цилиндров отработавших газов от предыдущего цикла. Впускной клапан

открывается с некоторым опережением до ВМТ, чтобы получить к моменту прихода поршня к ВМТ большее проходное сечение у клапана. Впуск горючей смеси осуществляется за два периода. В первый период смесь поступает при перемещении поршня от ВМТ к НМТ вследствие разряжения, создающегося в цилиндре. Во второй период впуск смеси происходит при перемещении поршня от НМТ к ВМТ в течение некоторого времени, соответствующего 40 - 70 поворота коленчатого вала за счет разности давлений (ротора), и скоростного напора смеси. Впуск горючей смеси заканчивается закрытием впускного клапана. Горючая смесь, поступившая в цилиндр, смешивается с остаточными газами от предыдущего цикла и образует горючую смесь. Давление смеси в цилиндре в течение процесса впуска составляет 70 - 90 кПа и зависит от гидравлических потерь во впускной системе двигателя. Температура смеси в конце процесса впуска повышается до 340 - 350 К вследствие соприкосновения ее с нагретыми деталями двигателя и смешивания с остаточными газами, имеющими температуру 900 - 1000 К.

Процесс сжатия. Сжатие рабочей смеси, находящейся в цилиндре

двигателя, происходит при закрытых клапанах и перемещении поршня в

ВМТ. Процесс сжатия протекает при наличии теплообмена между рабочей

смесью и стенками (цилиндра, головки и днища поршня). В начале сжатия температура рабочей смеси ниже температуры стенок, поэтому теплота передается смеси от стенок. По мере дальнейшего сжатия температура смеси повышается и становится выше температуры стенок, поэтому теплота от смеси передается стенкам. Таким образом, процесс сжатия осуществляется по палитре, средний показатель которой n=1.33...1.38. Процесс сжатия заканчивается в момент воспламенения рабочей смеси. Давление рабочей смеси в цилиндре в конце сжатия 0.8 - 1.5МПа, а температура 600 - 750 К.

Процесс сгорания. Сгорание рабочей смеси начинается раньше прихода

поршня к ВМТ, т.е. когда сжатая смесь воспламеняется от электрической искры. После воспламенения фронт пламени горящей свечи от свечи распространяется по всему объему камеры сгорания со скоростью 40 - 50 м/с. Несмотря на такую высокую скорость сгорания, смесь успевает сгореть за время, пока коленчатый вал повернется на 30 - 35 . При сгорании рабочей смеси выделяется большое количество теплоты на участке, соответствующим 10 - 15 до ВМТ и 15 - 20 после НМТ, вследствие чего давление и температура образующихся в цилиндре газов быстро возрастают.

В конце сгорания давление газов достигает 3 - 5 МПа, а температура 2500 - 2800 К.

Процесс расширения. Тепловое расширение газов, находящихся в цилиндре двигателя, происходит после окончания процесса сгорания при перемещении поршня к НМТ. Газы, расширяясь, совершают полезную работу. Процесс теплового расширения протекает при интенсивном теплообмене между газами и стенками (цилиндра, головки и днища поршня). В начале расширения происходит догорание рабочей смеси, вследствие чего образующиеся газы получают теплоту. Газы в течение всего процесса теплового расширения отдают теплоту стенкам. Температура газов в процессе расширения уменьшается, следовательно, изменяется перепад температуры между газами и стенками. Процесс теплового расширения происходит по палитре, средний показатель которой n2=1.23...1.31. Давление газов в цилиндре в конце расширения 0.35 - 0.5 МПа, а температура 1200 - 1500 К.

Процесс выпуска. Выпуск отработавших газов начинается при открытии выпускного клапана, т.е. за 40 - 60 до прихода поршня в НМТ. Выпуск газов из цилиндра осуществляется за два периода. В первый период выпуск газов происходит при перемещении поршня за счет того, что давление газов в цилиндре значительно выше атмосферного.В этот период из цилиндра удаляется около 60% отработавших газов со скоростью 500 - 600 м/с. Во второй период выпуск газов происходит при перемещении поршня (закрытие выпускного клапана) за счет выталкивающего действия поршня и инерции движущихся газов. Выпуск отработавших газов заканчивается в момент закрытия выпускного клапана, т. е. через 10 – 20 после прихода поршня в ВМТ. Давление газов в цилиндре в процессе выталкивания 0.11 - 0.12 МПа, температура газов в конце процесса выпуска 90 - 1100 К.

## Рабочий цикл четырехтактного двигателя

Рабочий цикл дизеля существенно отличается от рабочего цикла

карбюраторного двигателя способом образования и воспламенения рабочей

смеси.

Процесс впуска. Впуск воздуха начинается при открытом впускном клапане и заканчивается в момент закрытия его. Впускной клапан открывается. Процесс впуска воздуха происходит также, как и впуск горючей смеси в карбюраторном двигателе. Давление воздуха в цилиндре в течении процесса впуска составляет 80 - 95 кПа и зависит от гидравлических потерь во впускной системе двигателя. Температура воздуха в конце процесса выпуска повышается до 320 - 350 К за счет соприкосновения его с нагретыми деталями двигателя и смешивания с остаточными газами.

Процесс сжатия. Сжатие воздуха, находящегося в цилиндре, начинается после закрытия впускного клапана и заканчивается в момент впрыска топлива в камеру сгорания. Процесс сжатия происходит аналогично сжатию рабочей смеси в карбюраторном двигателе. Давление воздуха в цилиндре в конце сжатия 3.5 - 6 МПа, а температура 820 - 980 К.

Процесс сгорания. Сгорание топлива начинается с момента начала подачи топлива в цилиндр, т.е. за 15 - 30 до прихода поршня в ВМТ. В этот момент температура сжатого воздуха на 150 - 200 С выше температуры самовоспламенения. Топливо, поступившее в мелкораспыленном состоянии в цилиндр, воспламеняется не мгновенно, а с задержкой в течение некоторого времени (0.001 - 0.003 с), называемого периодом задержки воспламенения. В этот период топливо прогревается, перемешивается с воздухом и испаряется, т.е. образуется рабочая смесь.

Подготовленное топливо воспламеняется и сгорает. В конце сгорания давление газов достигает 5.5 - 11 МПа, а температура 1800 - 2400 К.

Процесс расширения. Тепловое расширение газов, находящихся в цилиндре, начинается после окончания процесса сгорания и заканчивается в момент закрытия выпускного клапана. В начале расширения происходит догорание топлива. Процесс теплового расширения протекает аналогично процессу теплового расширения газов в карбюраторном двигателе. Давление газов в цилиндре к концу расширения 0.3 - 0.5 МПа, а температура 1000 - 1300 К.

Процесс выпуска. Выпуск отработавших газов начинается при открытии

выпускного клапана и заканчивается в момент закрытия выпускного клапана. Процесс выпуска отработавших газов происходит также, как и процесс выпуска газов в карбюраторном двигателе. Давление газов в цилиндре в процессе выталкивания 0.11 - 0.12 МПа, температура газов в конце процесса выпуска 700 - 900 К.

## Рабочие циклы двухтактных двигателей

Рабочий цикл двухтактного двигателя совершается за два такта, или за один оборот коленчатого вала.

Рассмотрим рабочий цикл двухтактного карбюраторного двигателя с

кривошипно-камерной продувкой.

Процесс сжатия горючей смеси, находящейся в цилиндре, начинается с

момента закрытия поршнем окон цилиндра при перемещении поршня от НМТ к ВМТ. Процесс сжатия протекает также, как и в четырехтактном карбюраторном двигателе.

Процесс сгорания происходит аналогично процессу сгорания в четырехтактном карбюраторном двигателе.

Процесс теплового расширения газов, находящихся в цилиндре, начинается после окончания процесса сгорания и заканчивается в момент открытия выпускных окон. Процесс теплового расширения происходит аналогично процессу расширения газов в четырехтактном карбюраторном двигателе.

Процесс выпуска отработавших газов начинается при открытии

выпускных окон, т.е. за 60 - 65 до прихода поршня в НМТ, и заканчивается через 60 - 65 после прохода поршнем НМТ. По мере открытия выпускного окна давление в цилиндре резко снижается, а за 50 - 55 до прихода поршня в НМТ открываются продувочные окна и горючая смесь, ранее поступившая в кривошипную камеру и сжатая опускающимся поршнем, начинает поступать в цилиндр. Период, в течение которого происходит одновременно два процесса - впуск горючей смеси и выпуск отработавших газов - называют продувкой. Во время продувки горючая смесь вытесняет отработавшие газы и частично уносится вместе с ними.

При дальнейшем перемещении к ВМТ поршень перекрывает сначала

продувочные окна, прекращая доступ горючей смеси в цилиндр из кривошипной камеры, а затем выпускные и начинается в цилиндре процесс сжатия.

## ПОКАЗАТЕЛИ, ХАРАКТЕРИЗУЮЩИЕ РАБОТУ ДВИГАТЕЛЕЙ

## Среднее индикаторное давление и индикаторная мощность

Под средним индикаторным давлением Pi понимают такое условное

постоянное давление, которое действуя на поршень в течение одного

рабочего хода, совершает работу, равную индикаторной работе газов в

цилиндре за рабочий цикл.

Согласно определению, среднее индикаторное давление - отношение

индикаторной работы газов за цикл Li к единице рабочего объема

цилиндра Vh, т.е. Pi=Li/Vh.

При наличии индикаторной диаграммы, снятой с двигателя, среднее индикаторное давление можно определить по высоте прямоугольника, построенного на основании Vh, площадь которого равна полезной площади индикаторной диаграммы, представляющей собой в некотором масштабе индикаторную работу Li.

Определить с помощью планиметра полезную площадь F индикаторной

диаграммы (м^2) и длину l индикаторной диаграммы (м), соответствующую

рабочему объему цилиндра, находят значение среднего индикаторного

давления Pi=F\*m/l, где m - масштаб давления индикаторной диаграммы,

Па/м.

Средние индикаторные давления при номинальной нагрузке у четырехтактных карбюраторных двигателей 0.8 - 1.2 МПа, у четырехтактных дизелей 0.7 - 1.1 МПа, у двухтактных дизелей 0.6 - 0.9 МПа.

Индикаторной мощностью Ni называют работу, совершаемую газами в цилиндрах двигателя в единицу времени.

Индикаторная работа (Дж), совершаемая газами в одном цилиндре за один рабочий цикл, Li=Pi\*Vh.

Так как число рабочих циклов, совершаемых двигателем в секунду, равно 2n/T, то индикаторная мощность (кВт) одного цилиндра Ni=(2/T)\*Pi\*Vh\*n\*10^-3, где n - частота вращения коленчатого вала, 1/с, T - тактность двигателя - число тактов за цикл (T=4 - для четырехтактных двигателей и T=2 - для двухтактных).

Индикаторная мощность многоцилиндрового двигателя при числе

цилиндров i Ni=(2/T)\*Pi\*Vh\*n\*i\*10^-3.

## Эффективная мощность и средние эффективные давления

Эффективной мощностью Ne называют мощность, снимаемую с коленчатого

вала двигателя для получения полезной работы.

Эффективная мощность меньше индикаторной Ni на величину мощности

механических потерь Nm, т.е. Ne=Ni-Nm.

Мощность механических потерь затрачивается на трение и приведение в

действие кривошипно-шатунного механизма и механизма газораспределения,

вентилятора, жидкостного, масляного и топливного насосов, генератора

тока и других вспомогательных механизмов и приборов.

Механические потери в двигателе оцениваются механическим КПД nm,

которое представляет собой отношение эффективной мощности к индикаторной, т.е. Nm=Ne/Ni=(Ni-Nm)/Ni=1-Nm/Ni.

Для современных двигателей механический КПД составляет 0.72 - 0.9.

Зная величину механического КПД можно определить эффективную мощность

Ne=nm\*Ni.

Аналогично индикаторной мощности определяют мощность механических

потерь Nm=2/T\*Pm\*Vh\*ni\*10^-3, где Pm - среднее давление механических

потерь, т.е. часть среднего индикаторного давления, которая

расходуется на преодоление трения и на привод вспомогательных

механизмов и приборов.

Согласно экспериментальным данным для дизелей Pm=1.13+0.1\*ст; для

карбюраторных двигателей Pm=0.35+0.12\*ст; где ст - средняя скорость

поршня, м/с.

Разность между средним индикаторным давлением Pi и средним давлением механических потерь Pm называют средним эффективным давлением Pe, т.е. Pe=Pi-Pm.

Эффективная мощность двигателя Ne=(2/T)\*Pe\*Vh\*ni\*10^-3, откуда среднее эффективное давление Pe=10^3\*Ne\*T/(2Vh\*ni).

Среднее эффективное давление при нормальной нагрузке у четырехтактных карбюраторных двигателе 0.75 - 0.95 МПа, у четырехтактных дизелей 0.6 - 0.8 МПа, у двухтактных 0.5 - 0.75 МПа.

## Индикаторный КПД и удельный индикаторный расход топлива

Экономичность действительного рабочего цикла двигателя определяют

индикаторным КПД ni и удельным индикаторным расходом топлива gi.

Индикаторный КПД оценивает степень использования теплоты в действительном цикле с учетом всех тепловых потерь и представляет собой отношение теплоты Qi, эквивалентной полезной индикаторной работе, ко всей затраченной теплоте Q, т.е. ni=Qi/Q (а).

Теплота (кВт), эквивалентная индикаторной работе за 1 с, Qi=Ni. Теплота (кВт), затраченная на работу двигателя в течение 1 с, Q=Gт\*(Q^p)н, где Gт - расход топлива, кг/с; (Q^p)н - низшая теплота сгорания топлива, кДж/кг. Подставляя значение Qi и Q в равенство (а), получим ni=Ni/Gт\*(Q^p)н (1).

Удельный индикаторный расход топлива [кг/кВт\*ч] представляет собой

отношение секундного расхода топлива Gт к индикаторной мощности Ni,

т.е. gi=(Gт/Ni)\*3600, или [г/(кВт\*ч)] gi=(Gт/Ni)\*3.6\*10^6.

## Эффективный КПД и удельный эффективный расход топлива

Экономичность работы двигателя в целом определяют эффективным КПД

ni и удельным эффективным расходом топлива ge. Эффективный КПД

оценивает степень использования теплоты топлива с учетом всех видов потерь как тепловых так и механических и представляет собой отношение теплоты Qe, эквивалентной полезной эффективной работе, ко всей затраченной теплоте Gт\*Q, т.е. nm=Qe/(Gт\*(Q^p)н)=Ne/(Gт\*(Q^p)н) (2).

Так как механический КПД равен отношению Ne к Ni, то, подставляя в

уравнение, определяющее механический КПД nm, значения Ne и Ni из

уравнений (1) и (2), получим nm=Ne/Ni=ne/ni, откуда ne=ni/nM, т.е. эффективный КПД двигателя равен произведению индикаторного КПД на механический.

Удельный эффективный расход топлива [кг/(кВт\*ч)] представляет собой отношение секундного расхода топлива Gт к эффективной мощности Ne, т.е. ge=(Gт/Ne)\*3600, или [г/(кВт\*ч)] ge=(Gт/Ne)\*3.6\*10^6.

## Тепловой баланс двигателя

Из анализа рабочего цикла двигателя следует, что только часть теплоты, выделяющейся при сгорании топлива, используется на полезную работу, остальная же часть составляет тепловые потери. Распределение теплоты, полученной при сгорании вводимого в цилиндр топлива, называют тепловым балансом, который обычно определяется экспериментальным путем. Уравнение теплового баланса имеет вид Q=Qe+Qг+Qн.с+Qост, где Q - теплота топлива, введенная в двигатель Qe - теплота, превращенная в полезную работу; Qохл - теплота, потерянная охлаждающим агентом (водой или воздухом); Qг - теплота, потерянная с отработавшими газами; Qн.с - теплота, потерянная вследствие неполного сгорания топлива, Qост - остаточный член баланса, который равен сумме всех неучтенных потерь.

Количество располагаемой (введенной) теплоты (кВт) Q=Gт\*(Q^p)н. Теплота (кВт), превращенная в полезную работу, Qe=Ne. Теплота (кВт), потерянная с охлаждающей водой, Qохл=Gв\*св\*(t2-t1), где Gв - количество воды, проходящей через систему , кг/с; св – теплоемкость воды, кДж/(кг\*К) [св=4.19 кДж/(кг\*К)]; t2 и t1 - температуры воды при входе в систему и при выходе из нее, С.

Теплота (кВт), теряемая с отработавшими газами,

Qг=Gт\*(Vp\*срг\*tг-Vв\*срв\*tв), где Gт - расход топлива, кг/с; Vг и Vв - расходы газов и воздуха, м^3/кг; срг и срв - средние объемные теплоемкости газов и воздуха при постоянном давлении, кДж/(м^3\*К); tр и tв - температура отработавших газов и воздуха, С.

Теплота, теряемая вследствие неполноты сгорания топлива, определяется опытным путем.

Остаточный член теплового баланса (кВт) Qост=Q-(Qe+Qохл+Qг+Qн.с).

Тепловой баланс можно составить в процентах от всего количества введенной теплоты, тогда уравнение баланса примет вид: 100%=qe+qохл+qг+qн.с+qост, где qe=(Qe/Q\*100%); qохл=(Qохл/Q)\*100%;

qг=(Qг/Q)\*100% и т.д.

## Инновации

В последнее время все большее применение получают поршневые двигатели с принудительным наполнением цилиндра воздухом повышенного

давления, т.е. двигатели с наддувом. И перспективы двигателестроения связаны, на мой взгляд, с двигателями данного типа, т.к. здесь имеется огромный резерв неиспользованных конструкторских возможностей, и есть над чем подумать, а во-вторых, считаю, что большие перспективы в будущем именно у этих двигателей. Ведь наддув позволяет увеличить заряд цилиндра воздухом и, следовательно, количество сжимаемого топлива, а тем самым повысить мощность двигателя.

Для привода нагнетателя в современных двигателях обычно используют

энергию отработавших газов. В этом случае отработавшие в цилиндре газы, которые имеют в выпускном коллекторе повышенное давление, направляют в газовую турбину, приводящую во вращение компрессор.

Согласно схеме газотурбинного наддува четырехтактного двигателя, отработавшие газы из цилиндров двигателя поступают в газовую турбину, после которой отводятся в атмосферу. Центробежный компрессор, вращаемый турбиной, засасывает воздух из атмосферы и нагнетает его под давлением: 0.130...0.250 МПа в цилиндры. Помимо использования энергии выхлопных газов достоинством такой системы наддува перед приводом компрессора от коленчатого вала является саморегулирование, заключающееся в том, что с увеличением мощности двигателя соответственно возрастают давление и температура отработавших газов, а следовательно мощность турбокомпрессора. При этом возрастают давление и количество подаваемого им воздуха.

В двухтактных двигателях турбокомпрессор должен иметь более высокую мощность, чем в четырехтактных, т.к. при продувке часть воздуха проходит в выпускные окна, транзитный воздух не используется для зарядки цилиндра и понижает температуру выпускных газов. Вследствие этого на частичных нагрузках энергии отработавших газов оказывается недостаточно для газотурбинного привода компрессора. Кроме того, при газотурбинном наддуве невозможен запуск дизеля. Учитывая это, в двухтактных двигателях обычно применяют комбинированную систему наддува с последовательной или параллельной установкой компрессора с газотурбинным и компрессор с механическим приводом.

При наиболее распространенной последовательной схеме комбинированного наддува компрессор с газотурбинным приводом производит только частичное сжатие воздуха, после чего он дожимается компрессором, приводимым во вращение от вала двигателя. Благодаря применению наддува возможно повышение мощности по сравнению с мощностью двигателя без наддува от 40% до 100% и более.

На мой взгляд, основным направлением развития современных поршневых

двигателей с воспламенением от сжатия будет являться значительное форсирование их по мощности за счет применения высокого наддува в сочетании с охлаждением воздуха после компрессора.

В четырехтактных двигателях в результате применения давления наддува до 3.1...3.2 МПа в сочетании с охлаждением воздуха после компрессора достигается среднее эффективное давление Pe=18.2...20.2 МПа. Привод компрессора в этих двигателях газотурбинный. Мощность турбины достигает 30% от мощности двигателя, поэтому повышаются требования к КПД турбины и компрессора. Неотъемлемым элементом системы наддува этих двигателей должен являться охладитель воздуха, установленный после компрессора. Охлаждение воздуха производится водой, циркулирующей с помощью индивидуального водяного насоса по контуру: воздухоохладитель - радиатор для охлаждения воды атмосферным воздухом.

Перспективным направлением развития поршневых двигателей внутреннего сгорания является более полное использование энергии выпускных газов в турбине, обеспечивающей мощность компрессора, нужную для достижения заданного давления наддува. Избыточная мощность в этом случае передается на коленчатый вал дизеля. Реализация такой схемы наиболее возможна для четырехтактных двигателей.

Заключение

Итак, мы видим, что двигатели внутреннего сгорания - очень сложный механизм. И Функция, выполняемая тепловым расширением в двигателях внутреннего сгорания не так проста, как это кажется на первый взгляд. Да и не существовало бы двигателей внутреннего сгорания без использования теплового расширения газов. И в этом мы легко убеждаемся, рассмотрев подробно принцип работы ДВС, их рабочие циклы - вся их работа основана на использовании теплового расширении газов. Но ДВС - это только одно из конкретных применений теплового расширения. И судя по тому, какую пользу приносит тепловое расширение людям через двигатель внутреннего сгорания, можно судить о пользе данного явления в других областях человеческой деятельности.

И пускай проходит эра двигателя внутреннего сгорания, пусть у них есть много недостатков, пусть появляются новые двигатели, не загрязняющие внутреннюю среду и не использующие функцию теплового расширения, но первые еще долго будут приносить пользу людям, и люди через многие сотни лет будут по доброму отзываться о них, ибо они вывели человечество на новый уровень развития, а пройдя его, человечество поднялось еще выше.