**Содержание**

1. Смесеобразование в бензиновых двигателях

1.1 Смесеобразование при карбюрации

1.2 Смесеобразование при центральном и распределенном впрыске топлива

1.3 Особенности смесеобразования в газовых двигателях

2. Смесеобразование в дизелях

2.1 Особенности смесеобразования

2.2 Способы смесеобразования. Типы камер сгорания

Библиографический список

**1. Смесеобразование в бензиновых двигателях**

Под смесеобразованием в двигателях с искровым зажиганием подразумевают комплекс взаимосвязанных процессов, сопровождающих дозирование топлива и воздуха, распыливание и испарение топлива и перемешивание его с воздухом. Качественное смесеобразование является необходимым условием получения высоких мощностных, экономических и экологических показателей двигателя.

Протекание процессов смесеобразования в значительной степени зависит от физико-химических свойств топлива и способа его подачи. В двигателях с внешним смесеобразованием процесс смесеобразования начинается в карбюраторе (форсунке, смесителе), продолжается во впускном коллекторе и заканчивается в цилиндре.

После выхода струи топлива из распылителя карбюратора или форсунки начинается распад струи под воздействием сил аэродинамического сопротивления (вследствие разности скоростей движения воздуха и топлива). Мелкость и однородность распыливания зависят от скорости воздуха в диффузоре, вязкости и поверхностного натяжения топлива. При пуске карбюраторного двигателя при его относительно низкой температуре распыливания топлива практически нет, и в цилиндры поступает до 90 и более процентов топлива в жидком состоянии. Вследствие этого для обеспечения надежного пуска необходимо существенно увеличивать цикловую подачу топлива (доводить α до значений ≈ 0,1-0,2).

Процесс распыливания жидкой фазы топлива протекает также в проходном сечении впускного клапана, а при не полностью открытой дроссельной заслонке – в образуемой ею щели.

Часть капель топлива, увлекаемая потоком воздуха и паров топлива, продолжает испаряться, а часть – оседает в виде пленки не стенках смесительной камеры, впускного коллектора и канала в головке блока. Под действием касательного усилия от взаимодействия с потоком воздуха пленка движется в сторону цилиндра. Так как скорости движения топливовоздушной смеси и капель топлива отличаются незначительно (на 2–6 м/c), то интенсивность испарения капель низка. Испарение с поверхности пленки протекает более интенсивно. Для ускорения процесса испарения пленки впускной коллектор в двигателях карбюраторных и с центральным впрыскиванием подогревают.

Разное сопротивление ветвей впускного коллектора и неравномерное распределение пленки в этих ветвях приводят к неравномерности состава смеси по цилиндрам. Степень неравномерности состава смеси может достигать 15–17 %.

При испарении топлива протекает процесс его фракционирования. В первую очередь испаряются легкие фракции, а более тяжелые попадают в цилиндр в жидкой фазе. В результате неравномерного распределения жидкой фазы в цилиндрах может оказаться не только смесь с разным соотношением топливо – воздух, но и топливо различного фракционного состава. Следовательно, и октановые числа топлива, находящегося в разных цилиндрах, будут неодинаковыми.

Качество смесеобразования улучшается с ростом частоты вращения n. Особенно заметно негативное влияние пленки на показатели работы двигателя на переходных режимах.

Неравномерность состава смеси в двигателях с распределенным впрыскиванием определяется, главным образом, идентичностью работы форсунок. Степень неравномерности состава смеси составляет ±1,5 % при работе по внешней скоростной характеристике и ±4 % на холостом ходу с минимальной частотой вращения nх.х.min.

При впрыскивании топлива непосредственно в цилиндр возможны два способа смесеобразования:

− с получением гомогенной смеси;

− с расслоением заряда.

Реализация последнего способа смесеобразования сопряжена с немалыми трудностями.

В газовых двигателях с внешним смесеобразованием топливо вводится в воздушный поток в газообразном состоянии. Низкое значение температуры кипения, высокое значение коэффициента диффузии и существенно меньшее значение теоретически необходимого для сгорания количества воздуха (например для бензина − 58,6, метана – 9,52 (м3 возд)/(м3 топл) обеспечивают получение практически гомогенной горючей смеси. Распределение смеси по цилиндрам более равномерное.

**1.1 Смесеобразование при карбюрации**

Распыливание топлива. После выхода струи топлива из распылителя карбюратора начинается ее распад. Под действием сил аэродинамического сопротивления (скорость воздуха существенно выше скорости топлива) струя распадается на пленки и капли различных диаметров. Средний диаметр капель на выходе из карбюратора ориентировочно можно считать равным 100 мкм. Улучшение распыливания увеличивает суммарную поверхность капель и способствует более быстрому их испарению. Увеличивая скорость воздуха в диффузоре и уменьшая вязкость и коэффициент поверхностного натяжения топлива, улучшают мелкость и однородность распыливания. При запуске карбюраторного двигателя распыливания топлива практически нет.

Образование и движение пленки топлива. Под действием потока воздуха и гравитационных сил некоторые капли оседают на стенках карбюратора и впускного трубопровода, образуя топливную пленку. На пленку топлива воздействуют силы сцепления со стенкой, касательное усилие со стороны потока воздуха, перепад статического давления по периметру сечения, а также силы тяжести и поверхностного натяжения. В результате действия этих сил пленка приобретает сложную траекторию движения. Скорость ее движения в несколько десятков раз меньше скорости потока смеси. Наибольшее количество пленки образуется на режимах полных нагрузок и малой частоты вращения, когда скорость воздуха и мелкость распыливания топлива невелики. В этом случае количество пленки на выходе из впускного трубопровода может доходить до 25 % от общего расхода топлива. Характер соотношения физических состояний горючей смеси существенно зависит от конструктивных особенностей системы топливоподачи (рис. 1).

Рис. 1. Подача топлива при карбюрации (а), центральном (б) и распределенном (в) впрыскивании: 1 – воздух; 2 – топливо; 3 – горючая смесь

Испарение топлива. Топливо испаряется с поверхности капель и пленки при сравнительно небольших температурах. Капли находятся во впускной системе двигателя примерно в течение 0,002–0,05 с. За это время успевают полностью испариться лишь самые мелкие из них. Низкие скорости испарения капель определяются главным образом молекулярным механизмом переноса теплоты и массы, поскольку большую часть времени капли движутся при незначительном обдуве воздухом. Поэтому на испарение капель заметно влияют мелкость распыливания и начальная температура топлива, влияние же температуры воздушного потока незначительно.

Пленка топлива интенсивно обдувается потоком. При этом большое значение для ее испарения имеет теплообмен со стенками впускного тракта, поэтому при центральном впрыскивании и карбюрации впускной трубопровод обычно обогревается охлаждающей двигатель жидкостью или ОГ. В зависимости от конструкции впускного тракта и режима работы карбюраторного двигателя и при центральном впрыскивании на выходе из впускного трубопровода содержание в горючей смеси паров топлива может составлять 60–95 %. Процесс испарения топлива продолжается в цилиндре во время тактов впуска и сжатия. К началу сгорания топливо практически испаряется полностью.

Таким образом, на режимах холодного пуска и прогрева, когда температуры топлива, поверхностей впускного тракта и воздуха малы, испарение бензина минимально, на режиме пуска к тому же почти отсутствует распыливание, условия смесеобразования крайне неблагоприятны.

Неравномерность состава смеси по цилиндрам. Ввиду неодинакового сопротивления ветвей впускного тракта наполнение отдельных цилиндров воздухом может отличаться (на 2–4 %). Распределение топлива по цилиндрам карбюраторного двигателя может характеризоваться значительно большей неравномерностью, главным образом, за счет неодинакового распределения пленки. Это означает, что состав смеси в цилиндрах неодинаков. Он характеризуется степенью неравномерности состава смеси:

где αi – коэффициент избытка воздуха в i-м цилиндре; α – среднее значение коэффициента избытка воздуха смеси, приготовляемой карбюратором или инжектором центрального впрыска.

Если, Di > 0, то это означает, что в данном цилиндре смесь более бедная, чем в целом по двигателю. Значение α проще всего определить по анализу состава ОГ, выходящих из i-го цилиндра. Степень неравномерности состава смеси при неудачной конструкции впускного тракта может достигать величины 20 %, что заметно ухудшает экономические, экологические, мощностные и другие показатели работы двигателя. Неравномерность состава смеси зависит также от режима работы двигателя. С ростом частоты n улучшаются распыливание и испарение топлива, поэтому неравномерность состава смеси снижается (рис. 2а). Смесеобразование улучшается и при уменьшении нагрузки, что, в частности, выражается в уменьшении степени неравномерности состава смеси (рис. 2б).

При смесеобразовании происходит фракционирование бензина. При этом в первую очередь испаряются легкие фракции (они имеют более низкое октановое число), а в каплях и пленке оказываются преимущественно средние и тяжелые. В результате неравномерного распределения жидкой фазы топлива в цилиндрах может оказаться не только смесь с разным α, но и фракционный состав топлива (а следовательно, и его октановое число) также может быть неодинаковым. Сказанное относится и к распределению по цилиндрам присадок к бензину, в частности антидетонационных. Вследствие указанных особенностей смесеобразования в цилиндры карбюраторных двигателей поступает смесь, в общем случае различающаяся по , составу топлива и его октановому числу.

Рис. 2. Изменение степени неравномерности состава смеси по 1, 2, 3 и 4-цилиндрам в зависимости от частоты вращения n (полный дроссель) (а) и нагрузки (n=2000 мин-1) (б)

**1.2 Смесеобразование при центральном и распределенном впрыске топлива**

Впрыскивание топлива по сравнению с карбюрацией обеспечивает:

* 1. Повышение коэффициента наполнения вследствие уменьшения аэродинамического сопротивления впускной системы при отсутствии карбюратора и подогрева воздуха на впуске из-за меньшей длины впускного тракта.
	2. Более равномерное распределение топлива по цилиндрам двигателя. Отличие коэффициента избытка воздуха по цилиндрам при впрыскивании топлива составляет 6-7 %, а при карбюрации 20–30 %.
	3. Возможность повышения степени сжатия на 0,5–2 единицы при одинаковом октановом числе топлива в результате меньшего подогрева свежего заряда на впуске, более равномерного распределения топлива по цилиндрам.
	4. Повышение энергетических показателей (Ni , Ne и др.) на 3–25 %.
	5. Улучшение приемистости двигателя и более легкий его пуск.

Рассмотрим процессы смесеобразования при центральном впрыскивании аналогично протеканию этих процессов в карбюраторном двигателе и отметим основные отличия между этими процессами.

Распыливание топлива. Системы с впрыскиванием осуществляют подачу топлива под повышенным давлением, как обычно, во впускной трубопровод (центральное впрыскивание) или впускные каналы в головке цилиндров (распределенное впрыскивание) (рис. 1б, в).

Для систем центрального и распределенного впрыскивания кроме перечисленных параметров мелкость распыливания зависит также от давления впрыскивания, формы распыливающих отверстий форсунки и скорости течения бензина в них. В этих системах наибольшее применение получили электромагнитные форсунки, к которым топливо подводится под давлением 0,15÷0,4 МПа, что обеспечивает получение капель со средним диаметром 50÷400 мкм, в зависимости от типа форсунок (струйная, штифтовая или центробежная). При карбюрации этот диаметр составляет до 500 мкм.

Образование и движение пленки топлива. Количество пленки, образующейся при впрыскивании бензина, зависит от места установки форсунки, дальнобойности струи, мелкости распыливания, а при распределенном впрыскивании в каждый цилиндр – от момента его начала. Практика показывает, что при любом способе организации впрыскивания масса пленки составляет до 60...80 % от общего количества подаваемого топлива.

Испарение топлива. Особенно интенсивно испаряется пленка с поверхности впускного клапана. Однако продолжительность этого испарения невелика, поэтому при распределенном впрыскивании на тарелку впускного клапана и работе двигателя с полной топливоподачей до поступления в цилиндр испаряется лишь 30–50 % цикловой дозы топлива.

При распределенном впрыскивании на стенки впускного канала увеличивается время испарения из-за малой скорости движения пленки, и доля испарившегося топлива возрастает до 50–70 %. Чем выше частота вращения, тем меньше продолжительность испарения, а значит, уменьшается и доля испарившегося бензина.

Подогрев впускного трубопровода при распределенном впрыскивании не целесообразен, т.к. он не может заметно улучшить смесеобразование.

Неравномерность состава смеси по цилиндрам. У двигателей с распределенным впрыскиванием неравномерность состава смеси по цилиндрам зависит от качества изготовления (идентичности) форсунок и дозы впрыскиваемого топлива. Обычно при распределенном впрыскивании неравномерность состава смеси невелика. Наибольшее ее значение имеет место при минимальных цикловых дозах (в частности, на режиме холостого хода) и может достигать ±4 %. При работе двигателя на полной нагрузке неравномерность состава смеси не превышает ±1,5 %.

**1.3 Особенности смесеобразования в газовых двигателях**

При внешнем смесеобразовании качество смеси зависит от температуры кипения и коэффициента диффузии газа. Поэтому при работе на газовом топливе и внешнем смесеобразовании обеспечивается формирование практически однородной горючей смеси и исключается образование жидкой пленки на поверхностях впускного тракта. Для газовых двигателей подогрев впускного трубопровода не требуется.

Газовоздушная смесь распределяется по цилиндрам равномернее, чем смесь с жидким топливом. Внутреннее смесеобразование применяется для немногих типов двухтактных, а также четырехтактных стационарных газовых двигателей. Качество смесеобразования при этом хуже, чем при внешнем смесеобразовании, но исключаются потери газа с продувкой цилиндров.

**2. Смесеобразование в дизелях**

Смесеобразование в дизельных двигателях осуществляется в конце такта сжатия и начале такта расширения. Процесс продолжается короткий промежуток времени, соответствующий 20–60° поворота коленчатого вала. Этот процесс в дизеле имеет следующие особенности:

* смесеобразование протекает внутри цилиндра и в основном осуществляется в процессе впрыскивания топлива;
* по сравнению с карбюраторным двигателем продолжительность смесеобразования в несколько раз меньше;
* горючая смесь, приготовленная в условиях ограниченного времени, характеризуется большой неоднородностью, т.е. неравномерным распределением топлива по объему камеры сгорания. Наряду с зонами высокой концентрации топлива (с малыми значениями локального (местного) коэффициента избытка воздуха), имеются зоны с малой концентрацией топлива (с большими значениями α). Это обстоятельство предопределяет необходимость сжигания топлива в цилиндрах дизелей при относительно большом суммарном коэффициенте избытка воздуха α > 1,2.

Поэтому в отличие от карбюраторного двигателя, имеющего пределы воспламеняемости горючей смеси, в дизеле α не характеризует условия воспламенения топлива. Воспламенение в дизеле практически возможно при любом суммарном значении α, т.к. состав смеси в различных зонах камеры сгорания (КС) изменяется в широком диапазоне. От нуля (например, в жидкой фазе капель топлива) до бесконечности ⎯ вне капли, где нет топлива.

**2.1 Особенности смесеобразования**

Процессы смесеобразования в дизелях включают в себя распыливание топлива и развитие топливного факела, его прогрев, испарение топливных паров и смешивание их с воздухом.

Распыливание топлива. Впрыскивание и распыливание топлива в цилиндре дизеля осуществляется с помощью специальных устройств – различных типов форсунок, имеющих, в частности, разное число сопловых отверстий распылителя.

Распыливание струи на мелкие капли резко увеличивает поверхность дозы жидкости. Отношение поверхностей образовавшегося множества капель к единичной капле той же массы примерно равно корню кубическому из количества капель. Общее количество капель в результате распыливания достигает (0,5-20)·106, что дает увеличение поверхности приблизительно в 80–270 раз. Последнее обеспечивает быстрое протекание процессов тепло- и массообмена между каплями и воздухом в камере сгорания, имеющим высокую температуру до 2000 °C и более. Размеры частиц, обеспечивающих быстрое сгорание в дизеле, составляют 5÷40 мкм.

Для одновременной оценки мелкости и однородности распыливания пользуются характеристикой распыливания, представляющей собой зависимость между диаметрами капель dк и их относительным содержанием Ω – отношением объема капель, имеющих диаметры от минимального до данного, к объему всех капель. Зависимость Ω = f(dк) приведена на рис. 3. Чем круче и ближе к оси ординат располагается суммарная характеристика распыливания, тем мельче и однороднее распылено топливо. Вместо указанных объемов по оси ординат можно откладывать относительную массу капель.

Развитие топливного факела. Первичный распад струи (на относительно крупные частицы) происходит посредством турбулентных возмущений, возникающих при течении топлива через сопловое отверстие, а также упругого расширения топлива при выходе из устья сопла. В последующем крупные частицы разбиваются при полете на более мелкие посредством сил аэродинамического сопротивления среды.

Форма факела (струи) характеризуется его длиной Lст, углом конусности γст и шириной Вст (рис. 4). Формирование факела происходит постепенно по мере развития процесса впрыскивания. Длина факела Lст увеличивается вследствие непрерывного "выдвижения" новых частиц топлива к его вершине. Скорость ст продвижения вершины факела при увеличении сопротивления среды и уменьшении кинетической энергии частиц уменьшается, а ширина факела Вст увеличивается. Угол конусности Вст при цилиндрической форме соплового отверстия распылителя составляет Вст = 12–20°. На рис. 5 представлено изменение по времени Lст, ст, Вст.

Топливо, введенное в цилиндр в виде факелов, распределяется в воздушном заряде неравномерно, т.к. число факелов, определяемое конструкцией распылителя, ограничено. Другой причиной неравномерного распределения топлива в камере сгорания является неоднородная структура самих факелов.

Обычно в факеле (рис. 6) различают три зоны: сердцевину, среднюю часть и оболочку. Сердцевина состоит из крупных частиц топлива, которые имеют наибольшую скорость движения. Средняя часть факела содержит большое количество мелких частиц, образовавшихся при дроблении передних частиц сердцевины силами аэродинамического сопротивления. Распыленные и потерявшие запас кинетической энергии частицы топлива оттесняются и продолжают движение лишь за счет потока воздуха, увлекаемого попутно факелом. В оболочке находятся наиболее мелкие частицы, имеющие минимальную скорость движения.

Влияние на параметры распыливания топлива и развитие топливного факела оказывают конструкция распылителя, давление впрыскивания, состояние среды, в которую впрыскивается топливо, свойства самого топлива.

Распылители с цилиндрическими сопловыми отверстиями (рис. 7а) могут быть многодырчатыми и однодырчатыми, открытыми и закрытыми (с запорной иглой). Штифтовые распылители (рис. 7б) выполняются только однодырчатыми, закрытого типа. Распылители со встречными струями и с винтовыми завихрителями могут быть только открытыми (рис. 7в, г). Цилиндрические сопловые отверстия обеспечивают получение сравнительно компактных факелов с малыми конусами расширения и большой пробивной способностью.

Рис. 7. Типы распылителей форсунок: а) цилиндрические; б) штифтовые; в) со встречными струями; г) с завихрителями

С увеличением диаметра отверстия d0 соплового отверстия распылителя глубина проникновения факела возрастает. Распылитель открытого типа без запирающейся иглы характеризуется менее качественным распыливанием, чем закрытый, и для впрыскивания топлива в КС дизелей не применяется. У штифтовых распылителей факел имеет форму полого конуса. Это улучшает распределение топлива в воздушной среде, но уменьшает пробивную способность факела.

С увеличением давления впрыскивания длина факела возрастает, тонкость и равномерность распыливания улучшается. При повышении нагрузки двигателя и частоты вращения n улучшается качество распыливания.

Состояние среды (рабочего тела) внутри цилиндра дизеля существенно влияет на процесс смесеобразования. С повышением давления в КС, обычно в пределах 2,5÷5,0 МПа, увеличивается сопротивление продвижению факела, что приводит к уменьшению его длины. При этом качество распыливания изменяется незначительно. Возрастание температуры воздуха в пределах 750…1000 К приводит к снижению длины факела вследствие более интенсивного испарения частиц топлива. Движение среды в цилиндре положительно влияет на равномерность распределения топлива в факеле и в объеме камеры сгорания. Повышение температуры топлива приводит к уменьшению длины факела и более тонкому распыливанию, что обусловлено снижением вязкости нагретого топлива. Более тяжелые топлива, имеющие большие плотность и вязкость, естественно, при прочих одинаковых условиях распыливаются хуже, чем легкие автотракторные топлива.

Прогрев, испарение и смешивание. Распыленные частицы топлива, находящиеся в среде горячего воздуха, быстро нагреваются и испаряются. Более интенсивно этот процесс протекает для распыленных частиц, имеющих наибольшее отношение площади поверхности к объему. Практика показывает, что частицы диаметром 10÷20 мкм в камере сгорания успевают полностью испариться за время (0,5÷0,9)-10-3 с, т.е. до начала воспламенения. Испарение более крупных частиц заканчивается в ходе начавшегося процесса сгорания.

Концентрация паров вокруг еще не испарившихся капель переменна. Она максимальна у их поверхности и непрерывно убывает по мере удаления в стороны. Как отмечено выше, местные значения коэффициента избытка воздуха изменяются в очень широких пределах. Движение частиц относительно воздуха несколько выравнивает распределение топлива в микросмеси, т.к. часть образующихся паров рассеивается по траектории движения частиц. Смешивание топлива и воздуха частично происходит внутри факела, что обусловлено вовлечением воздуха в сердцевину факела в процессе его формирования. Но большая концентрация топлива в сердцевине и менее благоприятные температурные условия значительно замедляют процесс испарения в этой зоне. Изложенное выше характеризует процесс смесеобразования той части топлива, которая поступила в цилиндр до начала воспламенения. В дальнейшем смесеобразование остальной части топлива значительно ускоряется, т.к. оно протекает в условиях начавшегося процесса горения при более высоких температурах и давлениях. Качество горючей смеси значительно определяется скоростью перемешивания топлива с воздухом. Существенное влияние на рабочие процессы в КС оказывает смесеобразо-вание части топлива, поступившей в камеру в начале впрыскивания. В ходе предпламенных химических реакций в отдельных зонах мик-росмеси возникает критическая концентрация промежуточных продуктов окисления, что приводит к тепловому взрыву и появлению первичных очагов пламени. Наиболее вероятной зоной появления таких очагов является пространство около испаряющихся частиц, где концентрация паров топлива оптимальна (α = 0,8-0,9). Первичные очаги пламени, прежде всего, образуются на периферии факела, т.к. физические и химические процессы подготовки топлива к сгоранию заканчиваются здесь раньше.

**2.2 Способы смесеобразования. Типы камер сгорания**

Распределение топлива по КС осуществляется за счет кинетических энергий топлива и движущегося воздушного заряда. Соотношение этих энергий обусловлено способом смесеобразования и формой КС. В современных автомобильных дизелях нашли применение объемное, пристеночное (пленочное), комбинированное, предкамерное и вихревое смесеобразования. КС в сочетании с топливоподающей аппаратурой определяют условия протекания процессов смесеобразования и сгорания. Камеры сгорания предназначены обеспечивать:

* полное сгорание топлива при минимально возможном коэффициенте α и в предельно короткий срок у ВМТ;
* плавное нарастание давления при сгорании и допустимые значения максимального давления цикла рz;
* минимальные потери теплоты в стенки;
* приемлемые условия работы топливной аппаратуры.

Объемное смесеобразование. Если топливо распыливается в объеме однополостных (неразделенных) камер сгорания и лишь небольшая часть его попадает в пристеночный слой, то смесеобразование называют объемным. Такие КС имеют малую глубину и большой диаметр, характеризуемый безразмерной величиной – отношением диаметра КС к диаметру цилиндра: dкс/D = 0,75÷0,85. Такая КС располагается обычно в поршне, причем оси форсунки, КС и цилиндра совпадают (рис. 8б).

Рабочий цикл дизелей с объемным смесеобразованием характеризуется следующими особенностями:

* смесеобразование обеспечивается путем мелкого распыливания топлива при высоких максимальных давлениях впрыскивания (рвпрmах=50÷150 МПа), турбулизация в КС возникает вследствие вытеснения воздуха из зазора между буртом поршня и головкой цилиндра при подходе поршня к ВМТ;
* равномерное распределение топлива в воздухе обеспечивается посредством взаимного согласования формы КС с формой и расположением топливных факелов;
* протекание процесса сгорания на номинальном режиме осуществляется при α = 1,50-1,6 и более, т.к. в результате неравномерного распределения топлива по объему КС при меньшем α не удается обеспечить бездымного сгорания, несмотря на согласование форм камеры и факелов, а также применения высокого давления впрыскивания;
* рабочий цикл характеризуется высокими максимальными давлениями сгорания рz и большими скоростями нарастания давления Δр/Δφ;
* двигатели с объемным смесеобразованием имеют высокий индикаторный к.п.д. из-за сравнительно быстрого сгорания топлива у ВМТ и меньших потерь теплоты в стенки КС, а также хорошие пусковые качества.

Важное значение имеет поверхность топливных струй, через которую происходит диффузия паров топлива в окружающий воздух. Угол рассеивания топливных струй обычно не превышает 20°. Для обеспечения полного охвата струями всего объема камеры сгорания и использования воздуха число распыливающих отверстий форсунки теоретически должно быть ic=360/20 = 18.

Величина проходного сечения распыливающих отверстий fc определяется типом и размерами дизеля, условиями перед впускными органами. Она существенно влияет на продолжительность и давление впрыскивания, ограничена условиями обеспечения хорошего смесеобразования и тепловыделения. Поэтому при большом количестве распыливающих отверстий их диаметр должен быть небольшим. Чем меньше количество распыливающих отверстий, тем более интенсивно приводится во вращательное движение для полного сгорания топлива воздух, т.к. в этом случае заряд за характерный промежуток времени, принимаемый обычно равным продолжительности впрыскивания топлива, должен повернуться на больший угол. Это достигается применением винтового или тангенциального впускного каналов.

Создание вращательного движения заряда при впуске приводит к ухудшению наполнения цилиндров воздухом. Увеличение максимального значения тангенциальной скорости tmax вызывает уменьшение v (рис. 9). Пристеночное смесеобразование. Способ смесеобразования, при котором топливо подается на стенку камеры сгорания и растекается по ее поверхности в виде тонкой пленки толщиной 12÷14 мкм, получил название пристеночного или пленочного.

Рис. 8. Камеры сгорания в поршне:

а) полусферическая типа дизелей ВТЗ; б) типа четырехтактных дизелей ЯМЗ и АМЗ; в) типа ЦНИДИ; г) типа дизелей "МАН"; д) типа "Дойтц"; е) типа дизеля Д-37М; ж) типа "Гессельман"; з) типа дизелей "Даймлер-Бенц"

Рис. 9. Зависимость коэффициента наполнения от значения тангенциальной составляющей скорости движения заряда

При таком смесеобразовании КС может быть расположена соосно с цилиндром, а форсунка смещена к ее периферии. Одна или две струи топлива направляются либо под острым углом на стенку КС, имеющей сферическую форму (рис. 8г), либо вблизи и вдоль стенки КС (рис. 8д). В обоих случаях заряд приводится в достаточно интенсивное вращательное движение (тангенциальная скорость движения заряда достигает 50÷60 м/с), способствующее распространению топливных капель вдоль стенки камеры сгорания. Топливная пленка испаряется за счет теплоты поршня.

После начала горения процесс испарения резко возрастает под действием теплопередачи от пламени к пленке топлива. Испарившееся топливо уносится потоком воздуха и сгорает во фронте пламени, распространяющегося от очага воспламенения. При впрыскивании топлива из-за затрат теплоты на его испарение существенно снижается температура заряда (до 150÷200 °С по осям струй). Это затрудняет воспламенение топлива вследствие уменьшения скорости химических реакций, предшествующих возникновению пламени.

Существенное улучшение воспламеняемости низкоцетановых топлив обесценивается при увеличении , которую у специальных многотопливных дизелей приходится повышать до 26. Для камер с пристеночным смесеобразованием опасность впрыскивания с недостаточной длиной топливных струй существенно меньше, чем в случае камер с объемным смесеобразованием. Поэтому повышение не вызывает ухудшения смесеобразования. При пристеночном способе смесеобразования требуется менее тонкое распыливание топлива. Максимальные величины давления впрыскивания не превышают 40÷45 МПа. Используют одно-два распыливающих отверстия большого диаметра.

В дизелях нашла применение КС, разработанная Центральным научно-исследовательским дизельным институтом (ЦНИДИ) (рис 8в). Топливные факелы в такой камере попадают на ее боковые стенки под входной кромкой. Отличительная особенность смесеобразования – встречное движение струй топлива и заряда, вытесняемого из надпоршневого пространства, что способствует увеличению количества топлива, взвешенного в объеме КС, и сближает этот процесс с объемным смесеобразованием. При использовании камеры ЦНИДИ применяют 3÷5 сопловых отверстий. Параметры впрыскивания топлива близки к тем, которые имеют место в КС типа ВТЗ и ЯМЗ (рис. 8а, б).

Объемно-пристеночное смесеобразование. Такое смесеобразование получается при меньших диаметрах КС, когда часть топлива достигает ее стенки и концентрируется в пристеночном слое. Часть этого топлива непосредственно соприкасается со стенкой КС. Другая часть располагается в пограничном слое заряда. Частичное попадание топлива на стенки камеры сгорания и интенсивное перемешивание воздуха и частиц топлива снижают количество паров топлива, образующихся в период задержки воспламенения. В результате снижается и скорость тепловыделения в начале сгорания. После появления пламени скорости испарения и смешивания резко возрастают. Поэтому подача части топлива в пристеночную зону не затягивает завершение сгорания, если температура стенки в местах попадания на нее струй находится в пределах 200÷300 °С.

При dкс/D = 0,5-0,6 (рис. 8а, б, ж) в связи со значительным ускорением вращения заряда при перетекании его в КС удается использовать 3÷5 распыливающих отверстий достаточно большого диаметра. Значение тангенциальной составляющей скорости движения заряда достигает 25÷30 м/с. Максимальные значения давлений впрыскивания, как правило, не превышают 50÷80 МПа.

В связи с тем, что на такте расширения во время обратного перетекания заряда из камеры часть несгоревшего топлива переносится в пространство над вытеснителем, где имеется еще не использованный для сгорания воздух. Он не полностью участвует в процессе окисления. Поэтому стремятся уменьшить до минимума объем заряда, находящегося в пространстве между поршнем (при положении в ВМТ) и головкой цилиндра, доводя высоту его δиз (рис 8а) до 0,9-1 мм. При этом важной оказывается стабилизация зазора при изготовлении и ремонте дизеля. Положительные результаты обеспечивает также минимизация зазора между головкой поршня и гильзой и уменьшение расстояния от днища поршня до первого компрессионного кольца.

Смесеобразование в разделенных камерах сгорания. Разделенные камеры сгорания состоят из основной и вспомогательной полостей, соединенных горловиной. В настоящее время применяют в основном вихревые КС и предкамеры.

**Вихревые камеры сгорания.** Вихревая камера сгорания (рис. 10) представляет собой шаровое или цилиндрическое пространство, соединенное с надпоршневым пространством цилиндра тангенциальным каналом. Объем VK вихревой КС 2 составляет примерно 60–80 % общего объема сжатия Vс, площадь fc поперечного сечения соединительного канала 3 cоставляет 1–5 % площади поршня Fп.

Как правило, в вихревых камерах сгорания используются закрытые форсунки 1 штифтового типа, обеспечивающие полый факел распыленного топлива.

При поступлении воздуха из цилиндра в вихревую камеру во время такта сжатия воздух интенсивно завихривается. Воздушный вихрь, непрерывно воздействуя на формирующийся топливный факел, способствует лучшему распыливанию топлива и смешиванию его с воздухом. В ходе начавшегося горения воздушный вихрь обеспечивает подвод к факелу свежего воздуха и отвод от него продуктов сгорания. При этом скорость вихря должна быть такой, чтобы за время впрыскивания топлива воздух мог совершить в камере сгорания не менее одного оборота.

Сгорание вначале происходит в вихревой камере. Повышающееся при этом давление вызывает перетекание продуктов сгорания и топливовоздушной смеси в цилиндр, где процесс сгорания завершается.

На рис. 11 представлены конструктивные элементы вихревых камер. Нижняя часть камеры, как правило, образуется специальной вставкой из жаропрочной стали, которая предохраняет головку от обгорания. Высокая температура вставки (800–900 К) способствует сокращению периода задержки воспламенения топлива в КС. Интенсивное вихреобразование и наличие вставки позволяют получить устойчивое протекание рабочего цикла в широком диапазоне нагрузочных и скоростных режимов.

Вихрекамерный рабочий цикл обеспечивает бездымное сгорание топлива при малых коэффициентах избытка воздуха (α = 1,2-1,3) вследствие благоприятного влияния интенсивного воздушного вихря. Сгорание значительной части топлива в дополнительной камере, расположенной вне цилиндра, обусловливает снижение максимального давления сгорания (рz=7-8 МПа) и скорости нарастания давления (0,3-0,4 МПа/°ПКВ) в надпоршневой полости цилиндра на полной нагрузке.

Рабочий цикл вихрекамерного двигателя менее чувствителен к качеству распыливания топлива, что позволяет использовать однодырчатые распылители с невысокими максимальными давлениями впрыскивания (рвпр = 20–25 МПа) и сопловым отверстием сравнительно большого диаметра – до 1,5 мм.

Основные недостатки вихрекамерного двигателя: повышенный удельный эффективный расход топлива, достигающий на режиме полной нагрузки 260÷270 г/(кВт·ч), а также худшие по сравнению с двигателями с неразделенными КС пусковые качества. Однако при использовании свечей накаливания в вихрекамере пусковые качества существенно улучшаются.

Более низкая экономичность вихрекамерных дизелей объясняется увеличением теплоотдачи в стенки основной и дополнительной КС вследствие более развитой их поверхности, наличия в КС интенсивного вихреобразования, больших гидравлических потерь при перетекании рабочего тела из цилиндра в вихревую камеру и обратно, а также зачастую увеличением продолжительности процесса сгорания. Ухудшение пусковых качеств двигателя обусловлено понижением температуры воздуха при перетекании в вихревую камеру и увеличением теплоотдачи в стенки вследствие развитой поверхности дополнительной КС.

К числу двигателей с вихрекамерным смесеобразованием относятся тракторные дизели СМД, ЗИЛ-136, Д50, Д54 и Д75, автомобильные дизели "Перкинс", "Ровер" (Великобритания) и др.

**Предкамерные дизели.** Объем предкамеры (рис. 12) составляет 25–35 % общего объема сжатия Vс. Площадь проходного сечения соединительных каналов равна 0,3–0,8 % площади поршня.

В КС используется однодырчатая (обычно штифтовая) форсунка 1, обеспечивающая впрыскивание топлива в направлении соединительных каналов 3.

В предкамерном дизеле воздух в процессе сжатия частично перетекает в предкамеру, где продолжает сжиматься. В нее же в конце сжатия впрыскивается топливо, которое воспламеняется и горит, вызывая быстрое повышение давления. В объеме предкамеры сгорает часть топлива, т.к. количество воздуха в ней ограничено. Несгоревшее топливо продуктами сгорания выносится в цилиндр, где дополнительно распыливается и тщательно перемешивается с воздухом за счет образующихся интенсивных газовых потоков. Сгорание переносится в надпоршневое пространство, вызывая повышение давления в цилиндре.

Таким образом, в предкамерных дизелях для смесеобразования используется энергия газа, перетекающего из предкамеры вследствие предварительного сгорания части топлива в ее объеме.

Использование для смесеобразования газового потока позволяет интенсифицировать перемешивание топлива с воздухом при сравнительно грубом распыливании топлива форсункой. Поэтому в предкамерных дизелях сравнительно низкие начальные давления впрыскивания, не превышающие 10–15 МПа, а коэффициент избытка воздуха на режиме полной нагрузки составляет 1,3-1,

Другое важное преимущество предкамерных дизелей ⎯ небольшая жесткость сгорания топлива Δρ/Δϕ. Давление газа в надпоршневом пространстве – не более 5,5÷6 МПа вследствие дросселирования газа в соединительных каналах.

К преимуществам предкамерных дизелей следует отнести также меньшую чувствительность рабочего цикла к виду применяемого топлива и к изменению скоростного режима работы. Первое объясняется влиянием на условия воспламенения разогретой поверхности днища предкамеры, второе – независимостью энергии газового потока, вытекающего из предкамеры, от скорости движения поршня. Максимальная частота вращения для предкамерных дизелей малой размерности цилиндра (малого диаметра) составляет 3000÷4000 мин-1.

Основные недостатки предкамерного дизеля: низкая топливная экономичность вследствие тепловых и гидравлических потерь, возникающих при перетекании газов, из-за растянутости процесса сгорания, а также увеличенной суммарной поверхности КС. Среднее давление механических потерь рм у предкамерных дизелей на 25÷35 % выше, чем у двигателей с неразделенными камерами, а удельный эффективный расход топлива равен 260÷290 г/(кВт·ч).

Как и вихрекамерные, дизели с предкамерным смесеобразованием имеют низкие пусковые качества. Поэтому эти дизели часто отличаются повышенной (до 18–20) степенью сжатия и снабжены пусковыми свечами накаливания.

В табл. 1 представлены статистические данные по двигателям с различным способом смесеобразования.

Таблица 1 Характеристика смесеобразования

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Вид смесеобразования | αmin |  | pz, МПа | Δp/Δφ, МПа/ 0ПКВ | ре, МПа | gе, г/(кВт·ч) |
| объемное и объемно-пристеночое | 1,4÷1,8 | 14÷16 | 705÷9 | 1,5 | 0,7÷0,8 | 225÷255 |
| пристеночное | 1,1 | 14÷16 | 6,5÷8,0 | 1,0 | 0,7÷0,8 | 220÷240 |
| вихрекамерное | 1,2÷1,3 | 16÷18 | 6,0÷7,0 | 0,5 | 0,7÷0,85 | 260÷290 |
| предкамерное | 1,3÷1,4 | 17÷20 | 5,5÷6,0 | 0,5 | 0,65÷0,75 | 260÷300 |

Особенности смесеобразования при наддуве. Существенно большая цикловая подача топлива должна осуществляться за время, не большее, чем топливоподача в базовом дизеле без наддува. Для увеличения цикловой подачи топлива и сохранения общей продолжительности впрыскивания ϕдп можно увеличить до приемлемого предела эффективное проходное сечение распыливающих отверстий.

Вторая возможность – увеличение давлений впрыскивания. На практике обычно прибегают к сочетанию этих мероприятий. Увеличение давлений впрыскивания при прочих одинаковых условиях обеспечивает более мелкое и однородное распыливание топлива, что может способствовать повышению качества смесеобразования. Необходимую степень увеличения давлений впрыскивания устанавливают исходя из требуемой степени ускорения процесса смесеобразования. При впрыскивании в более плотную среду увеличивается угол рассеивания топливных струй.

Отмеченная величина ϕдп при необходимости может быть сокращена также другими, более трудоемкими способами, в частности путем увеличения диаметра плунжера топливного насоса и увеличения крутизны его кулачков. При модернизации дизелей с наддувом часто вносятся существенные изменения во все основные его системы и механизмы: снижают степень сжатия, частоту вращения n, изменяют угол опережения впрыскивания и т.д. Эти мероприятия, естественно, влияют и на смесеобразование в КС.

В случае газотурбинного наддува плотность заряда в цилиндре увеличивается с ростом частоты вращения n и нагрузки, а продолжительность периода задержки воспламенения по времени сокращается. Чтобы обеспечить требуемое проникновение топливных струй в слой воздуха за период задержки воспламенения, топливоподающая аппаратура должна обеспечить более резкое увеличение значений давления впрыскивания с увеличением частоты вращения n и нагрузки, чем на дизеле без наддува. При высоких степенях форсирования наддувом применяются насосы-форсунки и топливные системы аккумуляторного типа. В малоразмерных вихрекамерных дизелях легковых автомобилей =21–23.

**Библиографический список**

смесеобразование вихревой камера дизель

1. Луканин, В.Н. Двигатели внутреннего сгорания [Текст] : учебник. в 3 т. Т. 1. Теория рабочих процессов / В.Н. Луканин, К.А. Мо-розов, А.С. Хачиян [и др.] ; под ред. В.Н. Луканина. – М. : Высшая школа, 2009. – 368 с. : ил.
2. Луканин, В.Н. Двигатели внутреннего сгорания [Текст] : учебник. в 3 т. Т. 2. Динамика и конструирование / В.Н. Луканин, К.А. Морозов, А.С. Хачиян [и др.] ; под ред. В.Н. Луканина. – М. : Высшая школа, 2008. – 365 с. : ил.
3. Колчин, А.И. Расчет автомобильных и тракторных двигателей [Текст] / А.И. Колчин, В.П. Демидов. – М. : Высшая школа, 2003.
4. Автомобильный справочник [Текст] / под ред. В.М. Приходько. – М. : Машиностроение, 2008.
5. Сокол, Н.А. Основы конструкции автомобиля. Двигатели внутреннего сгорания [Текст] : учеб. пособие / Н.А. Сокол, С.И. Попов. – Ростов н/Д : Издательский центр ДГТУ, 2010.
6. Кульчицкий, А.Р. Токсичность автомобильных и тракторных двигателей [Текст] / А.Р. Кульчицкий. – М. : Академический Проект, 2010.
7. Вахламов, В.К. Техника автомобильного транспорта. Подвижной состав и эксплуатационные свойства [Текст] : учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / В.К. Вахламов. – М. : Академия, 2009. – 528 с.
8. Иванов, А.М. Основы конструкции автомобиля [Текст] / А.М. Ива-нов, А.Н. Солнцев, В.В. Гаевский [и др.]. – М. : "Книжное издательство "За рулем"", 2009. – 336 с. : ил.
9. Орлин, А.С. Двигатели внутреннего сгорания. Теория поршневых и комбинированных двигателей [Текст] / под ред. А.С. Орлина и М.Г. Круглова. – М. : Машиностроение, 2008.
10. Алексеев, В.П. Двигатели внутреннего сгорания : устройство и работа поршневых и комбинированных двигателей [Текст] / В.П. Алексеев [и др.]. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 2010.
11. Бочаров, А.М. Методические указания к лабораторным работам по курсу "Теория рабочих процессов двигателей внутреннего сгорания" [Текст] / А.М. Бочаров, Л.Я. Шкрет, В.М. Сычев [и др.] ; Южно-Рос. гос. техн. ун-т. – Новочеркасск : ЮРГТУ, 2010.
12. Ленин, И.М. Автомобильные и тракторные двигатели [Текст]. в 2 ч. / И.М. Ленин, А.В. Костров, О.М. Малашкин [и др.]. – М. : Высшая школа, 2008. – Ч. 1.
13. Григорьев, М.А. Современные автомобильные двигатели и их перспективы [Текст] / М.А. Григорьев // Автомобильная промышленность. – 2009. – № 7. – С. 9–16.
14. Гирявец, А.К. Двигатели ЗМЗ-406 автомобилей ГАЗ и УАЗ. Конструктивные особенности. Диагностика. Техническое обслуживание. Ремонт [Текст] / А.К. Гирявец, П.А. Голубев, Ю.М. Кузнецов [и др.]. – Нижний Новгород : Изд-во НГУ им. Н.И. Лобачевского, 2010.
15. Шкрет, Л.Я. О методах оценки токсичности карбюраторных двигателей в эксплуатационных условиях [Текст] / Л.Я. Шкрет // Дви-гателестроение. –2008. – № 10–11.
16. Бочаров, А.М. Оценка технического состояния ЦПГ [Текст] / А.М. Бочаров, Л.Я. Шкрет, В.З. Русаков // Автомобильная промышленность. – 2010. – № 11.
17. Орлин, А.С. Двигатели внутреннего сгорания. Устройство и работа поршневых и комбинированных двигателей [Текст] / под ред. А.С. Орлина и М.Г. Круглова. – М. : Машиностроение, 2009. – 283 с.