

3.1. Графоаналитический метод расчета износа цилиндров ДВС

Приведенный графоаналитический метод расчета имеет своей целью продемонстрировать физическую суть модели расчета износа цилиндра и является графической иллюстрацией математических зависимостей. Он позволяет наглядно прослеживать и осмысливать все те процессы, которые происходят на поверхности трения в цилиндре, и помогает избежать ошибок в построении алгоритма расчета с помощью ЭВМ. Использование его в практических расчетах нецелесообразно в связи с большой трудоемкостью построений.

Рассмотрим графоаналитический метод определения износа цилиндров ДВС вдоль образующей в зависимости от конструктивных соотношений (диаметр цилиндра, ход поршня, количество поршневых колец, расстояние между кольцами и их удаление от днища поршня, отношение длины шатуна и радиуса кривошипа), индикаторных параметров (степень сжатия, степень наддува, степень повышения давления при сгорании, показатели политропы сжатия и расширения и др.), кинематических (частота вращения коленчатого вала, мгновенная скорость поршня) и тепловых параметров его работы (температура охлаждающей жидкости, теплопроводность материала цилиндра, теплоотдача со стороны газов и охлаждающей жидкости, скорость охлаждающей жидкости и т.д.)

На рис. 3.1, а представлена теоретическая индикаторная диаграмма рабочего цикла дизеля ЧН 25/34, рассчитанная по методу ЦНИДИ, согласно методике, представленной в работе [46].

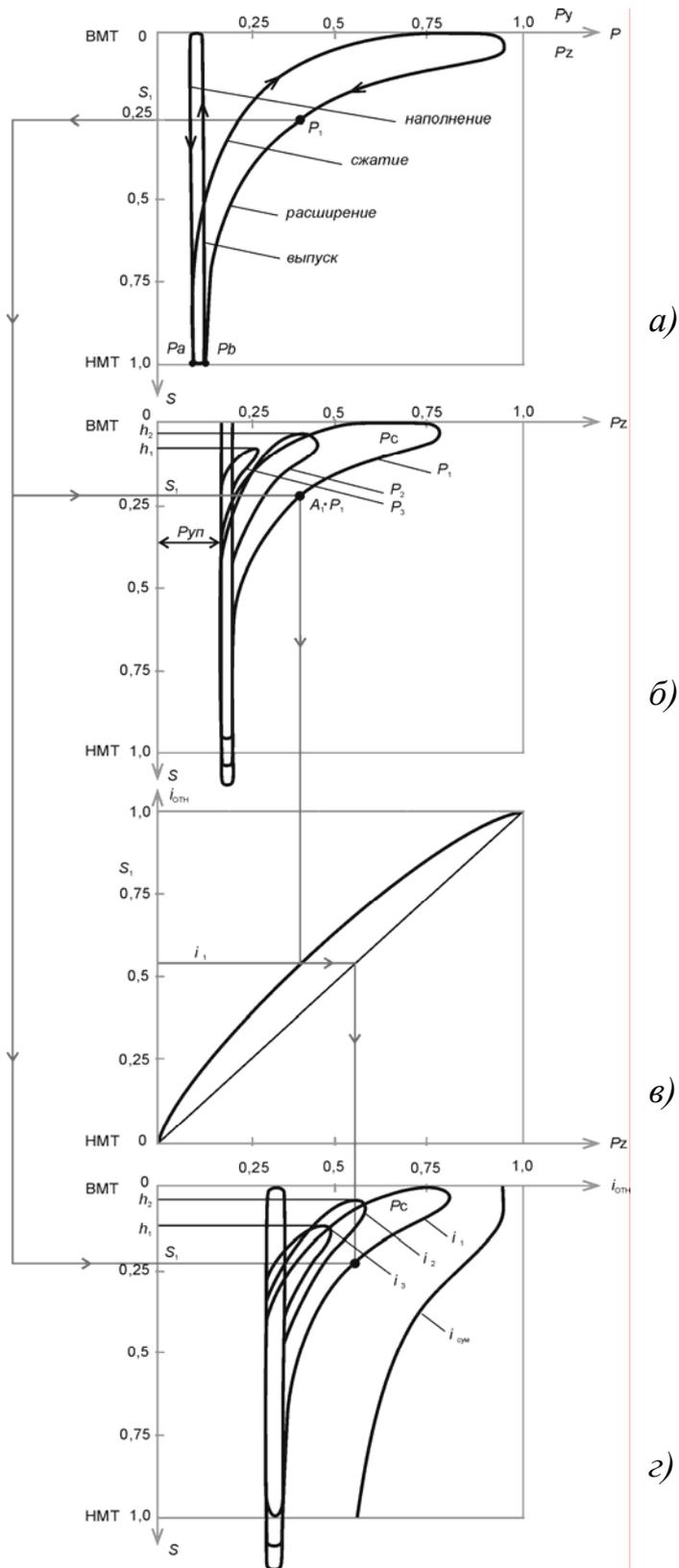


Рис. 3.1. Определение формы эюры износа в зависимости от изменения давления газов в цилиндре

При расчете учитываются следующие параметры:

$Ne_{ц}$ – эффективная цилиндровая мощность;

n – частота вращения коленчатого вала;

Z – тактность;

P_k – давление наддувочного воздуха;

P_0 – давление окружающей среды;

T_0 – температура окружающей среды;

ε – степень сжатия;

α – коэффициент избытка воздуха при сгорании;

φ_a – коэффициент продувки;

γ_r – коэффициент остаточных газов;

ξ_z – коэффициент использования теплоты в точке Z ;

ξ – коэффициент использования теплоты к концу сгорания;

$\Delta_{P,охл.}$ – потеря давления воздуха в воздухоохладителе;

$\zeta_{а.к.}$ – адиабатный КПД компрессора;

n_1 – показатель политропы сжатия;

n_2 – показатель политропы расширения;

Q_n – низшая теплотворная способность топлива;

λ – степень повышения давления при сгорании;

T_z – максимальная температура смеси при сгорании;

P_z – максимальное давление при сгорании;

ζ – степень предварительного расширения;

δ – степень последующего расширения;

T_b – температура газов в конце процесса расширения.

Давление газов в цилиндре двигателя изменяется в достаточно широком диапазоне (от 0,1...0,25 МПа до 12...14 МПа); это изменение и оказывает

наибольшее (по сравнению с другими факторами) влияние на форму эпюры износа цилиндра по его образующей. В каждом цилиндре находится от 2 до 6 компрессионных и 1-2 маслосъемных колец, от трения которых и происходит износ втулки цилиндра. Каждое из колец при трении прижимается к цилиндру с различным давлением: чем ниже компрессионное кольцо, тем меньше давление газов в закольцевом пространстве по отношению к давлению газов в цилиндре [46] (рис. 3.2). Давление газов в канавке под первое компрессионное кольцо обозначим P_1 , оно равно: $P_1 = A_1 \cdot P_{\Gamma}$, исходя из опыта эксплуатации $A_1 \approx 0,8$; A_j ; $j = 2, 3, \dots, n$ – отношение давления газов в канавке соответствующего кольца к давлению газов в цилиндре.

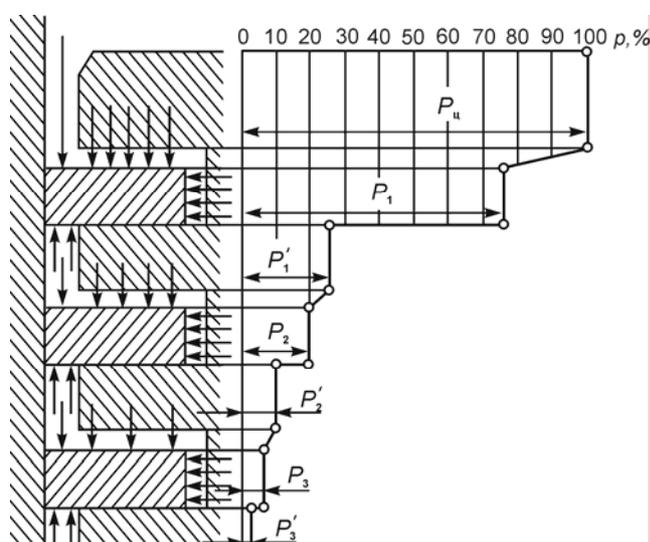


Рис. 3.2. Распределение давлений в закольцевом пространстве колец

В общем случае, величины A_j являются некоторыми функциями положения поршня по высоте цилиндра. В положении поршня в ВМТ величина A_j имеет свое минимальное значение, например, $A_2 \approx 0,2$. По мере движения поршня вниз и резком падении давления в цилиндре разница в давлениях газов в цилиндре и закольцевом пространстве уменьшается, и к нижней мертвой точке указанные давления уравниваются и на тактах выпуска и наполнения практически равны. Учитывая отмеченный факт, можно

считать, что величины A_j изменяются от своего минимального значения в ВМТ до единицы в НМТ на тактах расширения и сжатия, а на тактах выпуска и наполнения примерно равны единице. Закон изменения величины A_j по высоте цилиндра неизвестен, поэтому в первом приближении его можно принять линейным либо в зависимости от перемещения поршня, либо в зависимости от угла поворота коленчатого вала. Исходя из этого, по данным индикаторной диаграммы строим диаграммы давления 1-го, 2-го, ..., n -го кольца на стенку цилиндра с увеличением их ординат на величину давления кольца от сил собственной упругости P_y (рис. 3.1, б) для всех тактов рабочего цикла и с учетом положения кольца по высоте цилиндра. По зависимости интенсивности изнашивания материала втулки от давления на поверхности трения (рис. 3.1, в) определяем относительный износ втулки в произвольной точке от действия отдельного кольца в данном цилиндре и суммарный износ от действия всех колец с учетом только давления на поверхности трения (рис. 3.1, г).

Влияние температуры поверхности цилиндра на характер его износа представлено на рис. 3.3.

Каждое поршневое кольцо работает в своем диапазоне высоты цилиндра, смещенном вдоль оси на величину расстояния между кольцами, и имеет свою ВМТ и свою НМТ. Температурный режим работы каждого кольца также индивидуальный. Верхнее компрессионное кольцо работает при самых высоких температурах, нижнее – при самых низких. Так как износ чугуна уменьшается при повышении температуры (рис. 3.3, б), то верхнее компрессионное кольцо изнашивает цилиндр меньше других (при учете только температур).

Зная закон изменения температуры цилиндра по высоте и зависимость износостойкости чугуна от температуры, строим относительные эпюры

износа цилиндра i_1 первым компрессионным кольцом (рис. 3.3, в), i_2 - вторым и т.д., а также суммарную эпюру износа цилиндра $i_{\text{сум}}$ всеми кольцами в данном цилиндре.

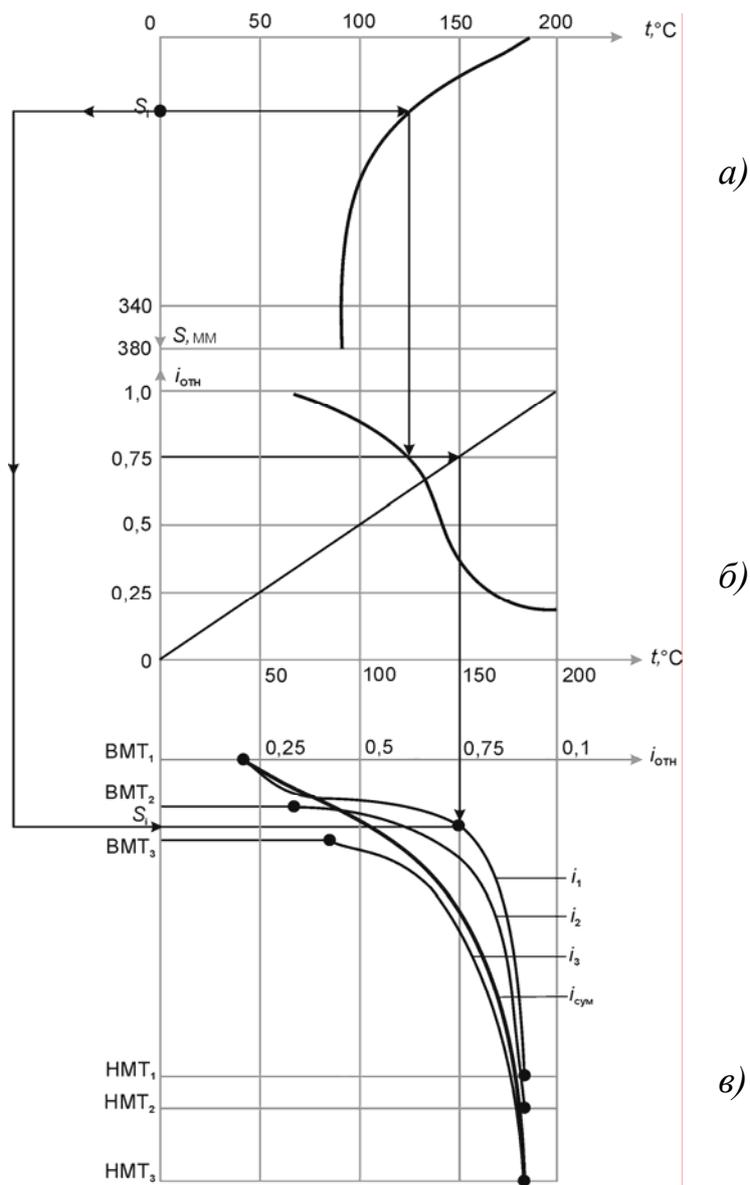


Рис. 3.3. Расчет влияния температуры поверхности на характер износа цилиндра

Скорость относительного перемещения трущихся тел оказывает значительное влияние на интенсивность изнашивания поверхностей. Мгновенная скорость поршня и всех колец на нем имеет одинаковое значение

и возрастает от нуля до своего максимума, а затем уменьшается снова до нуля (рис. 3.4, а).

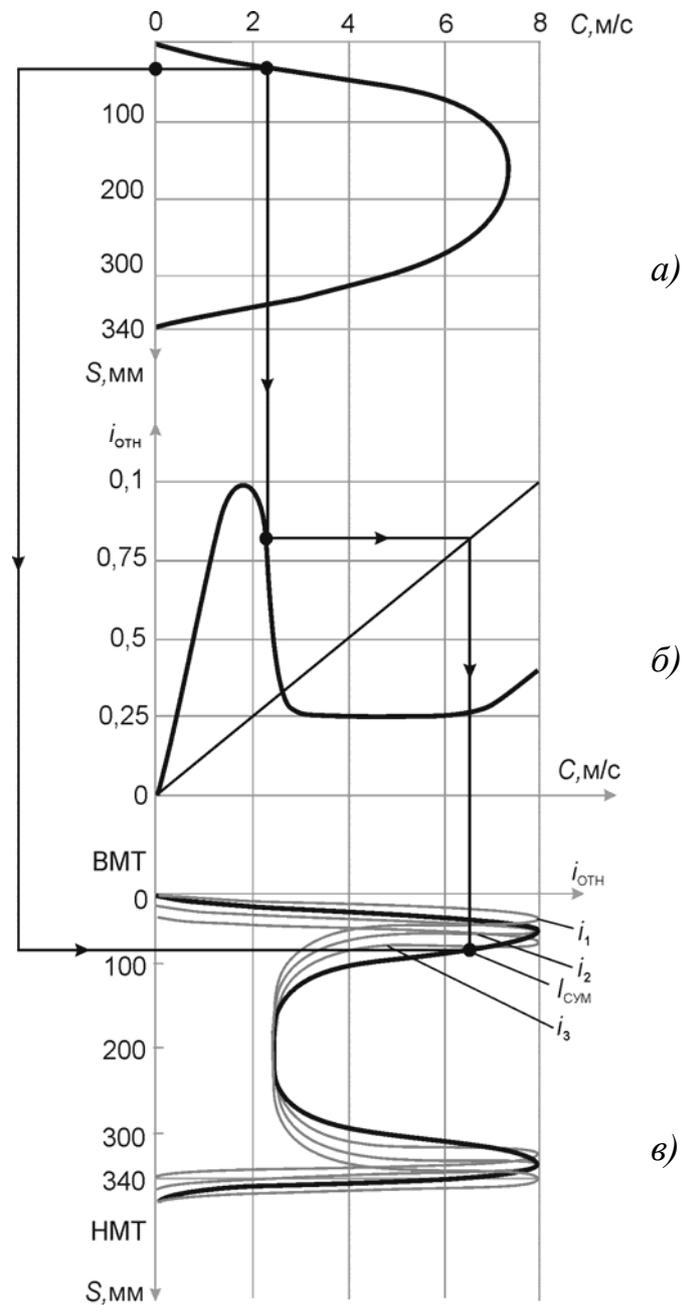


Рис. 3.4. Расчет износа цилиндра дизеля ЧН 25/34 от скорости поршня

Поэтому влияние изменения скорости скольжения на трение для всех колец проявляется одинаково и эпюры износа цилиндра от действия каждого

кольца идентичны и смещены вдоль оси цилиндра на величину расстояния между кольцами (рис. 3.4).

Построение суммарной эпюры износа цилиндра при учете влияния изменения давления газов в цилиндре, температуры поверхности и скорости скольжения представлено на рис. 3.5.

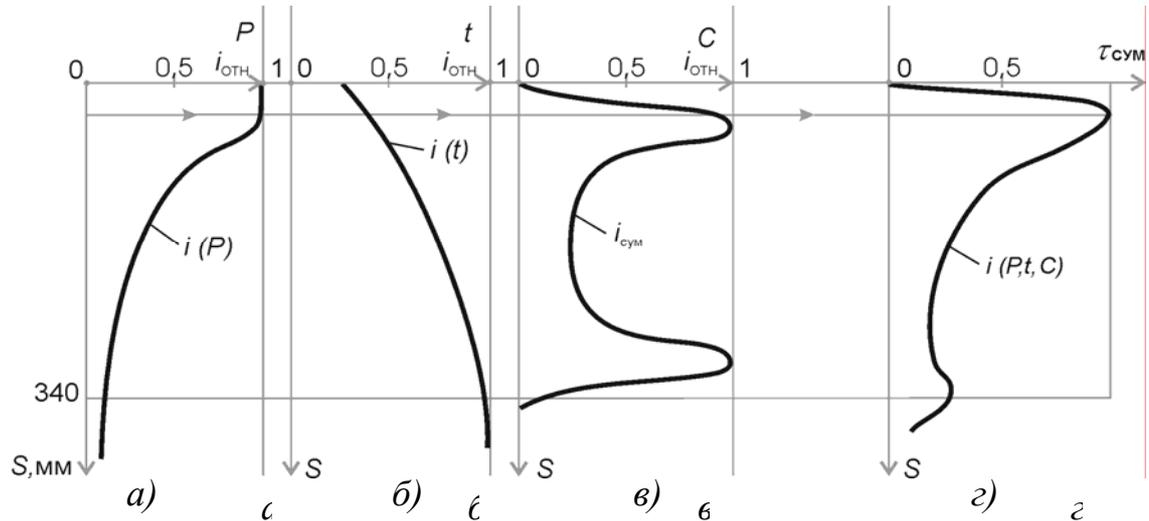


Рис. 3.5. Построение суммарной относительной эпюры износа цилиндра с учетом переменных давлений газов, температуры и скорости

Суммарное значение интенсивности изнашивания цилиндра в каждой точке в безразмерном виде получаем перемножением факторов воздействия давления, температуры и скорости скольжения, принимая максимальное значение результата за единицу.

Как видно из рис. 3.1, наибольший износ цилиндров происходит на тактах сжатия и расширения. Такты наполнения и выпуска практически не влияют на форму эпюры износа, а смещают ее вдоль оси ординат на постоянную величину. Поэтому при проведении предварительных расчетов износом цилиндра на тактах наполнения и выпуска можно пренебречь.

Разработанная модель качественного определения влияния различных факторов на износ цилиндров позволяет вводить в число учитываемых новые

факторы влияния на износ цилиндра (например, распределение смазки или абразива по высоте цилиндра). Для этого необходимо иметь закон распределения интересующего фактора воздействия по высоте цилиндра и зависимость интенсивности изнашивания материала цилиндра от этой величины. То есть, рассматриваемая методика пригодна к дальнейшему развитию, она динамична по структуре, допускает возможность учета индивидуальных особенностей конструкции и эксплуатации любого типа двигателей.

Графический способ наглядно показывает величину воздействия давления трения, температуры, скорости скольжения и других факторов на износ цилиндров. Он позволяет рассматривать физику возникновения неравномерности износа по высоте цилиндра в процессе эксплуатации. Для сравнения на рис. 1.4 приведена действительная средняя безразмерная эпюра износа втулок цилиндров дизелей типа ЧН 25/34, построенная по результатам замеров износов втулок 300 двигателей (1800 втулок). Как видно из графиков, эксплуатационная и расчетная эпюры износа практически совпадают, что подтверждает правильность принятых допущений.

Наряду с наглядностью и простотой данный способ требует большого числа построений и весьма трудоемок. В основном он является графической иллюстрацией аналитической модели расчета.