

Общие сведения. Индикаторная диаграмма. Индикаторная мощность.

Индикаторная диаграмма, полученная непосредственно с работающего двигателя с помощью механического или электронного индикатора называется, **действительной диаграммой**. Обработка диаграммы позволяет получить объективную информацию о протекании рабочего цикла. Из термодинамики известно, что работа газов в цилиндре пропорциональна площади диаграммы. На этом основании по площади диаграммы, взятой с учетом ее масштаба, и числу рабочих циклов, совершаемых в секунду, можно определить **мощность, развиваемую газами внутри цилиндра, называемую индикаторной мощностью**.

В четырехтактном двигателе площадь диаграммы (рис. 1, а) состоит из площади, соответствующей положительной работе, полученной за такты сжатия и расширения, и площади, представляющей собой положительную работу газов при осуществлении тактов впуска и выпуска (работу насосных ходов), которую принято включать в механический КПД двигателя. Поэтому при определении индикаторной работы цикла ее не учитывают,

В двухтактном двигателе вся площадь индикаторной диаграммы (рис. 1, б) представляет собой полезную индикаторную работу L_i . По значению снимаемой с цилиндра индикаторной работы судят о степени использования его рабочего объема V_s' .

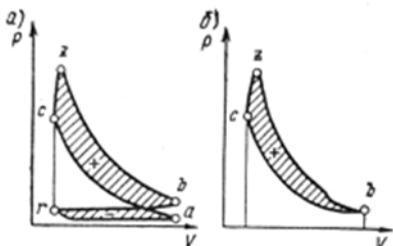


Рис.1. Действительные индикаторные диаграммы

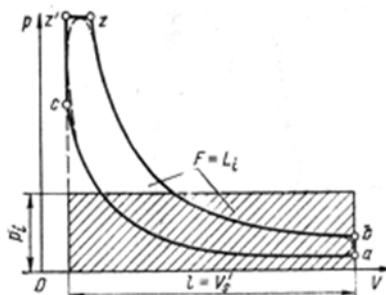


Рис.2. Расчётная и предполагаемая индикаторные диаграммы

Среднее индикаторное давление.

Некоторое условное постоянное давление p_i , действующее на поршень и совершающее в течение одного хода работу, равную работе газов за цикл, называется средним индикаторным давлением. Тогда индикаторная работа для заданного рабочего объема цилиндра V'_s

$$L_{i\mu} = p_i V'_s \quad (1)$$

Из определения также следует, что графически давление p_i может быть представлено как высота прямоугольника, основание которого равно рабочему объему V'_s , а площадь равна площади индикаторной диаграммы (рис. 2).

Таким образом, если имеется индикаторная диаграмма и нужно определить среднее индикаторное давление, то необходимо: найти площадь F , мм², диаграммы; измерить ее длину l мм; определить масштаб m , мм/МПа, пружины индикатора; вычислить

$$p_i = \frac{F}{lm} \quad (2)$$

Из выражения (1) определим

$$p_i = \frac{L_{i\mu}}{V'_s} \quad (3)$$

Отсюда следует, что *среднее индикаторное давление характеризует работу газов, условно снимаемую в течение цикла с каждого кубического метра рабочего объема цилиндра, и является мерой нагрузки цилиндра, показателем, характеризующим использование его рабочего объема.* Чем больше давление p_i , тем при заданных размерах цилиндра большая работа снимается с его рабочего объема.

Значение p_i расчетного цикла

$$p_{ip} = \frac{p_e}{\varepsilon - 1} \left[\lambda(\rho - 1) + \frac{\lambda\rho}{n_2 - 1} \left(1 - \frac{T_s}{T_z} - \frac{1}{n_1 - 1} \left(1 - \frac{T_a}{T_c} \right) \right) \right] \quad (4)$$

Кроме того, среднее индикаторное давление может быть определено непосредственно из индикаторной диаграммы, построенной на основе данных расчета.

Для двухтактных двигателей формула (4) дает значение p_{ip} , отнесенное к полезному ходу поршня. Для пересчета на полный ход поршня необходимо значение p_{ip} умножить на $(1 - \psi)$. При анализе факторов, оказывающих влияние на среднее индикаторное давление p_i , а с ним и на мощность двигателя N_i удобно пользоваться уравнением, предложенным Б.С. Стечкиным,

$$p_i = \frac{27}{3600} \frac{Q_n}{G_0} \rho_s \eta_n \frac{\eta_i}{\alpha} \quad (5),$$

где, Q_n – теплотворная способность топлива, G_0 – теоретически необходимое количество для сгорания одного килограмма топ-

лива, ρ_s -плотность воздуха в продувочном ресивере, η_n -коэффициент наполнения цилиндра, η_i - индикаторный КПД, α – коэффициент избытка воздуха.

Среднее эффективное давление.

Работа, осуществляемая газами в цилиндре двигателя, передается на коленчатый вал через поршень и кривошипно-шатунный механизм (КШМ), что сопровождается механическими потерями. Поэтому работа L_e , передаваемая на фланец отбора мощности вала двигателя, называемая *эффективной работой*, меньше индикаторной работы L_i , на количество работы механических потерь. $L_{мех}$, т. е. $L_e = L_i - L_{мех}$. В свою очередь по аналогии с выражением, для $L_{иц}$ величину $L_{еи}$, Дж/м³, можно представить, в виде

$$L_{еи} = p_e V'_s \quad (6)$$

Входящее в формулу давление p_e называется *средним эффективным давлением* и представляет собой некоторое среднее условное постоянное давление, действующее на поршень и совершающее на протяжении одного его хода **работу, равную полезной эффективной работе** на соединительном фланце коленчатого вала двигателя:

$$p_e = \frac{L_{еи}}{V'_s} \quad (7)$$

Отсюда следует, что среднее эффективное давление представляет собой удельную эффективную работу, которая в свою очередь равна разности между производимой в цилиндре индикаторной работой и работой механических потерь, отнесенной к единице рабочего объема цилиндра. Значения p_e , МПа, находятся в пределах для двигателей с наддувом двухтактных 0,75—1,6, четырехтактных 0,75—2,5, без наддува двухтактных 0,4—0,55, четырехтактных 0,52—0,65.

Индикаторная и эффективная мощность.

Мощность двигателя, соответствующая индикаторной работе цикла, называется *индикаторной мощностью*, кВт:

$$N_i = 0.0131 \frac{D^2 S n i}{m} p_i, \quad (8)$$

Для получения вычисления в индикаторных лошадиных силах следует результат вычисления умножить на 1,36.

Под *эффективной мощностью* двигателя N_e подразумевается полезная мощность, отдаваемая с соединительного фланца вала двигателя гребному валопроводу, генератору или иному приемнику энергии. Аналогично формуле

$$N_e = 0.0131 \frac{D^2 S n i}{m} p_e \quad (9)$$

Для конкретного двигателя, имеющего определенные размеры цилиндра и тактность, мощность, развиваемая, в одном цилиндре

$$N_{iу} = C p_i n \quad (10)$$

$$N_{ец} = C p_e n \quad (11)$$

где $C = 0,0131 D^2 S/m$ — постоянная цилиндра.

Тогда агрегатная мощность

$$N_i = N_{iу} i = C i p_i n \quad (12)$$

$$N_e = N_{ец} i = C i p_e n \quad (13)$$

При расчете двигателя для определения N_i прибегают к формуле (11.10) поскольку предполагается, что среднее индикаторное давление во всех цилиндрах одинаково. При испытаниях двигателя индикаторную мощность определяют на основе значений p_i полученных путем обработки индикаторных диаграмм. При этом, поскольку значения p_i разных цилиндров неодинаковы, на основе выражения (12) подсчитывают мощность каждого цилиндра, а мощность двигателя находят как сумму цилиндрических мощностей:

$$N_i = \sum_1^i N_{iу}$$

Эффективную мощность N_e определяют, основываясь на полученном в ходе расчета или испытаний значении N_i и известном из данных стендовых заводских испытаний значении механического КПД $\eta_{мех}$:

$$N_e = N_i \eta_{мех} \quad (14)$$

Если, заменить N_e и N_i их выражениями (12) и (13), то найдем

$$p_e = p_i \eta_{мех} \quad (15)$$

Эффективная мощность, и **вращающий момент двигателя** M_e , Нм, связаны выражением

$$M_e = 9550 \frac{N_e}{n}$$

Если в этой формуле заменить N_e через выражение (13), то получим

$$M_e = \frac{9550 C p_e n_i}{n} = A p_e i \quad (16)$$

Таким образом, вращающий момент, определяющий нагрузку двигателя, и среднее эффективное давление, характеризующее нагрузку цилиндра, находятся в прямой зависимости.

Согласно выражению (11.16) мощность, кВт,

$$N_e = \frac{M_e n}{9550} = 1.046 \cdot 10^{-4} M_e n \quad (18)$$

На этой зависимости основан метод определения мощности N_e при стендовых заводских испытаниях двигателя. На стенде двигатель

подсоединяют к тормозному устройству (обычно к гидравлическому тормозу) и измеряют частоту вращения и поглощаемый тормозом вращающий момент.

Литература.

Возницкий И. В. Судовые двигатели внутреннего сгорания. Том 2. / И.В.Возницкий, А.С.Пунда – М.:МОРКНИГА, 2010.- 382 с. Стр. 40-42.