

## Газообмен в двухтактном дизеле.

**Особенности** осуществления процессов очистки и наполнения цилиндров двухтактных двигателей сводятся к следующему:

процессы газообмена происходят лишь в конце рабочего хода поршня и в начале хода сжатия, занимая всего 140—150° п. к. в. (рис. 1, а);

невозможность использования в двухтактном дизеле всасывающего и выталкивающего действия поршня требует для осуществления газообмена предварительного сжатия воздуха в наддувочном агрегате до давления, по крайней мере превышающего сопротивление выпуску.

В двухтактном двигателе процесс газообмена условно принимают состоящим из трех периодов (рис. 1, б): свободного выпуска  $bd$ ; принудительного выпуска, продувки и наполнения  $da'd'$  потери или дозарядки  $d'a$ .

При построении диаграммы по оси ординат откладывают сечения  $f$  открытия окон или щели под клапаном, а по оси абсцисс — время открытия или  $\varphi^\circ$  п. к. в. Поэтому площади

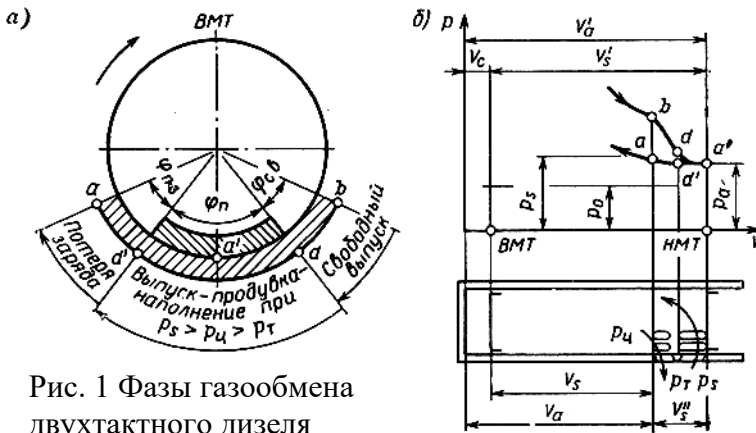


Рис. 1 Фазы газообмена двухтактного дизеля

под кривыми (рис. 2) представляют собой *время X сечение* открытия органов газообмена в соответствующие периоды, определяющие их пропускную способность ( $I$  — свободного

выпуска; *II* — принудительного выпуска; *III* — продувки; *IV* — потери заряда).

Представленная диаграмма построена применительно к прямоточно-клапанной схеме газообмена двигателей типа МС. Здесь продувочные окна расположены в нижней части цилиндра, фазы и закон их открытия и закрытия определяются поршнем. Фазы открытия и закрытия выпускного клапана, высота его опускания задаются профилем кулака распределительного вала.

Согласно диаграмме (см. рис. 1, б) первым в точке *b* с опережением в  $70^\circ$  открывается выпускной клапан и начинается процесс свободного выпуска. В цилиндре к этому моменту заканчивается расширение продуктов сгорания, давление составляет  $\sim 1,0$  МПа, а давление в выпускном коллекторе  $p_T \approx 0,29$  МПа (см. рис. 1, б, 2). Поэтому продукты сгорания с большой скоростью устремляются в выпускную систему, давление в цилиндре  $p_c$  резко падает и к моменту, когда поршень, двигаясь вниз, открывает продувочные окна, оно

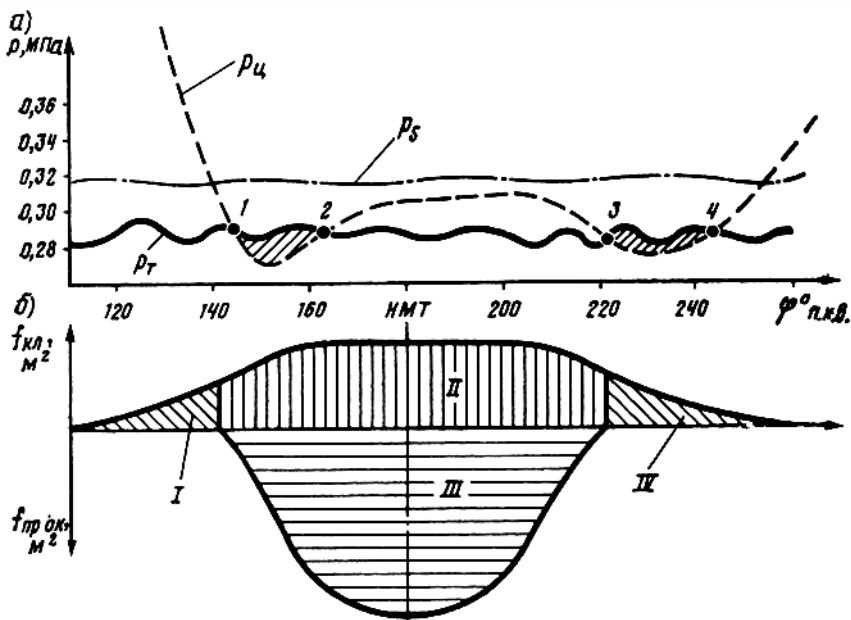


Рис. 2. Процесс газообмена в двухтактном двигателе МАН Дизель и Турбо серии МС

выравнивается с давлением  $p_s$  в ресивере продувочного воздуха. Условие достижения в точке  $d$  равенства  $p_{ц} = p_s$  или  $p_{ц} < p_s$  обязательно, так как только тогда будет возможным поступление воздуха из ресивера в цилиндр, определяющее начало продувки. В противном случае, если в первый период открытия продувочных окон  $p_{ц} > p_s$ , может произойти *заброс горячих газов из цилиндра* в ресивер и вызвать в нем пожар, обусловленный сгоранием накопившихся в ресивере паров масла. Поэтому важно, чтобы участок  $1 (bd)$  обеспечивал пропуск за этот период такого количества продуктов сгорания, при котором в точке  $d$  достигается  $p_{ц} = p_s$ . Более позднее начало открытия клапана, уменьшение щели под ним приведут к отрицательному результату. Продувочные окна открываются за  $40^\circ$  до НМТ, по мере опускания поршня в цилиндре время и сечение их открытия увеличиваются и достигают максимума в НМТ.

Давление  $p_{ц}$ , достигнув значения  $p_s$ , продолжает падать и, несмотря на начавшееся поступление в цилиндр воздуха, уменьшается даже ниже давления в выпускном коллекторе  $p_T$ . Отмечаемый на участке  $1—2$  провал давления объясняется эжектирующим действием движущегося с большой скоростью потока газов в патрубке за выпускным клапаном. Однако продолжающееся заполнение цилиндра воздухом из ресивера приводит к повышению давления в нем, давление  $p_{ц}$  приближается к  $p_s$ . В этот период на участке  $da'$  через открытый клапан продолжается выпуск из цилиндра продуктов сгорания под действием вытесняющего их воздуха. На участке  $2—3$  происходит *продувка цилиндра в сочетании с принудительным выпуском*.

Реализация перечисленных процессов возможна при сохранении следующего соотношения давлений  $p_s > p_{ц} > p_T$ . В точке  $d'$  через  $40^\circ$  после НМТ продувочные окна закрываются, наполнение цилиндра воздухом прекращается, и давление в нем начинает падать, снова сказывается эжектирующее (отсасывающее) действие потока газов и воздуха, движущихся по выпускному каналу. На участке  $3—4$  снова  $p_{ц} < p_T$ , но

постепенно, по мере закрытия выпускного клапана, сечение щели под ним уменьшается, клапан начинает дросселировать вытесняемый из цилиндра поршнем поток газов. В итоге давление в цилиндре начинает расти и к моменту закрытия клапана — окончания газообмена (точка  $a$ ) — давление  $p_{ц}$  на 0,01—0,015 МПа оказывается выше  $p_s$ . Последняя фаза процесса газообмена (участок  $d'a$ ) представляет собой *потерю заряда*.

Как видно из рис. 10.8, давление в выпускном коллекторе  $p_t$ , как и давление в ресивере  $p_s$ , сохраняется на одном уровне. Небольшие колебания обусловлены волновыми явлениями, вызываемыми циклическим поступлением газов в выпускной коллектор из цилиндров. Постоянство давления газов, в коллекторе определяет и постоянство давления газов перед турбинами турбонаддувочного агрегата, поэтому реализуемый в двигателях этого типа наддув является наддувом при  $p_t = \text{const}$ .

*Качество газообмена* определяют с помощью коэффициентов, значение которых поясняет анализ изменения содержания в цилиндре двигателя за период газообмена продуктов сгорания  $G_{цг}$ , массы поступающего через впускные органы воздуха  $G_{цв}$  и массы остающегося в цилиндре воздуха  $G_{цв}$ . Разница между  $G_{цс}$  и  $G_{цв}$  дает возможность в любой момент определить массу воздуха, затрачиваемую на продувку и представляющую собой ту часть воздуха, которая в период газообмена проходит через цилиндр в выпускной тракт. Из рассмотрения кривых следует, что масса находящихся в цилиндре продуктов сгорания  $G_{цг}$  с момента открытия выпускных органов и до момента их закрытия неуклонно снижается. Поступление в цилиндр свежего воздуха начинается с запаздыванием примерно на  $30^\circ$  по отношению к моменту открытия впускного клапана (точка  $3$ ), так как давление  $p_{ц}$  до точки  $3$  оставалось выше  $p_s$ .

Поступающий воздух  $G_{цс}$  частично заполняет цилиндр —  $G_{цв}$ , часть воздуха, равная  $G_{цс} - G_{цв}$  выходит с выпускными газами — тратится на продувку. В точке  $r'$  выпускной клапан

закрывается, и продувка прекращается, масса воздуха, равная  $G_{цв}$  —  $G_{цв}$ , в дальнейшем остается неизменной. Наполнение цилиндра продолжается, кривая  $G_{цв}$  идет вверх. К моменту окончания газообмена (точка  $a$ ) цилиндр оказывается заполненным воздухом массой  $G_B$  и оставшимися в нем продуктами сгорания  $G_T$ . Масса израсходованного воздуха на наполнение и продувку равна  $G_S$ . Эти данные могут быть использованы для оценки качества газообмена, однако в теории ДВС обычно прибегают к их относительным значениям, представляющим собой коэффициенты продувки, остаточных газов и наполнения цилиндра.

### ***Коэффициент продувки***

$$\varphi_a = \frac{G_S}{G_B}$$

где  $G_S$  — масса воздуха, поданного в цилиндр за цикл (прошедшего через продувочные окна);  $G_B$  — масса заряда воздуха, оставшегося в цилиндре к моменту окончания газообмена — началу сжатия, характеризует затраты воздуха на продувку и наполнение цилиндра. Чем он выше, тем, следовательно, больше расход воздуха на газообмен и затраты энергии на привод наддувочного агрегата.

В двухтактном двигателе без наддува  $\varphi_a = 1.15 \div 1.25$ . В двигателе с наддувом увеличение давления воздуха  $p_s$  приводит к росту потерь на продувку  $\varphi_a = 1.6 \div 1.65$ . В определенной степени это благоприятно сказывается на снижении теплонапряженности ЦПГ, так как чем больше воздуха продувается через цилиндр, тем больше он отбирает от нагретых поверхностей теплоты. В четырехтактном двигателе  $\varphi_a = 1 \div 1.2$ .

Непосредственно о затратах воздуха на продувку и наполнение цилиндров двигателя можно судить по **удельному**

**расходу воздуха**  $g_s = \frac{G_S}{N_e}$

где  $G_S$  — расход воздуха на весь двигатель, кг/(кВт·ч).

Для двухтактного МОД  $g_s = 8,8 - 10,8$  кг/(кВт·ч), для четырехтактного СОД  $g_s = 6,8 - 8,2$  кг/(кВт·ч).

Критерием количественной оценки совершенства процессов очистки цилиндра от отработавших газов и наполнения его зарядом служат коэффициенты остаточных газов и наполнения цилиндра.

**Коэффициент остаточных газов**

$$\gamma_{\Gamma} = \frac{G_{\Gamma}}{G_B}$$

где  $G_{\Gamma}$  — количество оставшихся в цилиндре к концу газообмена газов, м<sup>3</sup>;  $G_B$  — заряд свежего воздуха, м<sup>3</sup>.

Чем меньше  $\gamma_{\Gamma}$  тем меньше остается газов в цилиндре и тем качественнее очищается цилиндр от продуктов сгорания и тем больший его объем освобождается для заполнения воздухом.

Согласно опытным данным,  $\gamma_{\Gamma}$  имеет следующие значения для двигателей.

	$\gamma_{\Gamma}$
Четырехтактные:	
без наддува .....	0,06—0,04
с наддувом .....	0,04—0,02
Двухтактные с продувкой:	
прямоточной .....	0,04—0,08
петлевой фирмы МАН .....	0,08—0,09
То же фирмы «Зульцер» .....	0,09—0,12
Двухтактные с поперечной продувкой .....	0,12—0,14

Загрязнение выпускного тракта и связанное с ним увеличение противодавления выпуску  $p_{\Gamma}$ , закоксовывание продувочных и выпускных окон, падение давления продувочного воздуха вызывают увеличение коэффициента  $\gamma_{\Sigma}$ .

**Коэффициент наполнения**

$$\eta_n = \frac{G_g}{G_{V_B}}$$

где  $G_B$  — действительное количество воздуха, заполнившего цилиндр в процессе наполнения;  $G_{V_B}$  — количество воздуха, которое могло бы поместиться в его рабочем объеме  $V_s$  при параметрах, характеризующих

состояние воздуха на впуске ( $p_0, T_0$  для двигателей без наддува,  $p_s, T_s$  для двигателей с наддувом).

Коэффициент  $\eta_n$  характеризуется степенью использования объема цилиндра в процессе наполнения. Чем выше  $\eta_n$ , тем эффективнее используется рабочий объем, тем больший заряд свежего воздуха  $G_B$  в нем размещается к концу газообмена. Знание массы воздуха  $G_s$ , поступившего в цилиндр за цикл, дает также возможность определить суммарный коэффициент избытка воздуха:

$$\alpha_{\text{сум}} = \frac{G_s}{g_u G_0}$$

В малооборотных двухтактных двигателях

$$\alpha_{\text{сум}} = 2,8 \div 4.$$

Предпосылкой высокого качества процесса газообмена является наличие достаточных проходных сечений продувочных и выпускных окон или клапанов, обеспечивающих минимальные сопротивления воздуху и газам. Расположение, конфигурация и размеры окон должны создать такие направления и скорости потоков внутри цилиндра, при которых будут происходить вытеснение воздухом газов и минимальное их перемешивание. Непродутые и застойные зоны, образующиеся над поршнем, у стенок цилиндра, под клапанами, должны быть незначительными. Существенное влияние на качество газообмена оказывают также параметры состояния воздуха и газов в ресивере, цилиндре, выпускной системе, перед турбиной и другие факторы.

### Литература

Возницкий И. В. Судовые двигатели внутреннего сгорания. Том 2. 2010 г.и. Стр. 20-30

Возницкий И. В. Судовые двигатели внутреннего сгорания. Том 2. 2008 г.и. Стр. 27-38

Возницкий И. В. Судовые дизели и их эксплуатация - 1990 г.и. Стр. 204-209