

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° 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

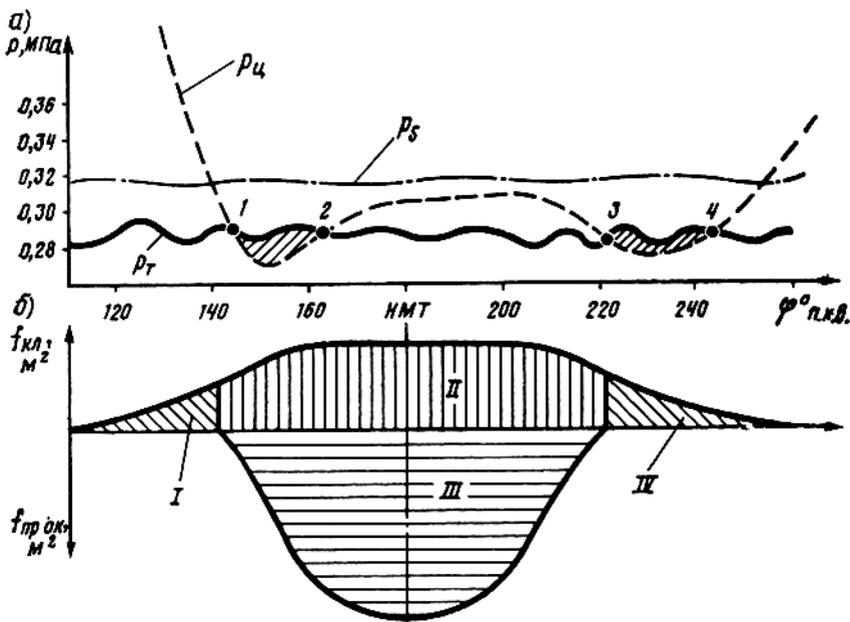


Рис. 2. Процесс газообмена в двухтактном двигателе МАН Дизель и Турбо серии МС

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° 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° 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° 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_{Γ} — количество оставшихся в цилиндре к концу газообмена газов, м³; G_B — заряд свежего воздуха, м³.

Чем меньше γ_{Γ} 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, γ_{Γ} имеет следующие значения для двигателей.

	γ_{Γ}
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_{Γ} , закоксовывание продувочных и выпускных окон, падение давления продувочного воздуха вызывают увеличение коэффициента γ_{Γ} .

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 η_n характеризуется степенью использования объема цилиндра в процессе наполнения. Чем выше η_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