

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТЕПЕНИ СЖАТИЯ В СТУПЕНЯХ ПАРОВОГО ЭЖЕКТОРА

Е. Н. ШАДРИН

При расчете парового эжектора бывают заданы давление p_k паровоздушной смеси при входе в камеру смешения первой ступени и давление p_v смеси пара и воздуха на выходе из последней ступени. Давление p_k принимают обычно равным давлению паровоздушной смеси в месте отсоса последней из конденсатора, а p_v берут немногим больше атмосферного, учитывая сопротивление выхлопной трубы. Промежуточные давления в ступенях выбирают из условия одинаковой степени сжатия в отдельных ступенях [1; 2; 3]. Так, для двухступенчатого эжектора давление паровоздушной смеси в камере смешения второй ступени

$$p_{np} = p_k \cdot \sqrt{\frac{p_v}{p_k}},$$

для трехступенчатого — давление во второй ступени

$$p_{np2} = p_k \sqrt[3]{\frac{p_v}{p_k}},$$

а в третьей —

$$p_{np3} = p_{np2} \cdot \sqrt[3]{\frac{p_v}{p_k}}.$$

Такой метод определения давлений в промежуточных ступенях эжектора заимствован из методики расчета и проектирования многоступенчатых воздушных компрессоров, в которых промежуточные холодильники имеют своей целью только охлаждение воздуха, что уменьшает работу, затрачиваемую на сжатие этого воздуха. Легко показать, что в этом случае при охлаждении воздуха в промежуточном холодильнике до первоначальной температуры минимум работы, затрачиваемой на сжатие воздуха, будет тогда, когда в ступенях будут равные перепады давлений.

Работа адиабатического сжатия одного килограмма воздуха в двухступенчатом компрессоре запишется, как

$$l = \frac{k}{k-1} p_1 v_1 \left[\left(\frac{p_{np}}{p_k} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right] + \frac{k}{k-1} p_{np} v_{np} \left[\left(\frac{p_v}{p_{np}} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right]. \quad (1)$$

Если учесть, что при охлаждении воздуха в промежуточном холодильнике до первоначальной температуры $p_1 v_1 = p_{np} v_{np}$, то после приравливания нулю первой производной $\frac{dl}{dp_{np}} = 0$, получим для

$$p_{np} = p_k \sqrt{\frac{p_v}{p_k}}.$$

В паровых эжекторах в промежуточных холодильниках происходит не только охлаждение паровоздушной смеси, но и конденсация части пара смеси. Вследствие этого количество проходящей через отдельные ступени смеси будет различным. Если при этом условии принять одинаковые степени сжатия во всех ступенях, то наибольшая нагрузка будет приходиться на первую ступень, через которую проходит максимальное количество паровоздушной смеси. А это означает, что минимум работы, затрачиваемой на удаление паровоздушной смеси, не будет обеспечен при одинаковых степенях сжатия в отдельных ступенях эжектора.

При определении оптимального распределения давления следовало бы исходить из условия минимума расхода пара. Но, как показали исследования, это значительно усложняет задачу. Поэтому мы будем исходить из условия минимума работы, потребной на создание определенного разрежения. Решим вопрос применительно к двуступенчатому эжектору.

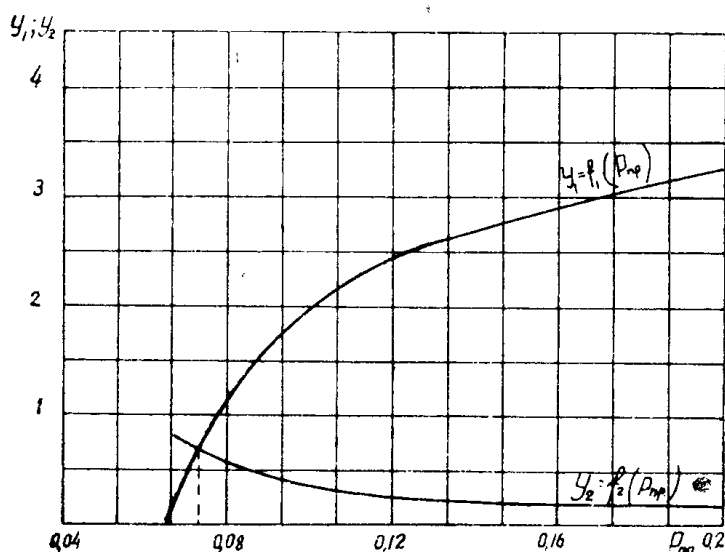


Рис. 1.

Работа, затрачиваемая в двуступенчатом эжекторе при адиабатическом сжатии одного килограмма паровоздушной смеси, выразится формулой

$$l = \frac{k'_{см}}{k'_{см} - 1} \cdot p_{\kappa} \cdot \frac{R_b T'_{см}}{p_{\kappa} - p'_n} \left[\left(\frac{p_{np}}{p_{\kappa}} \right)^{\frac{k'_{см}}{k'_{см} - 1}} - 1 \right] +$$

$$+ \frac{k''_{см}}{k''_{см} - 1} \cdot p_{np} \cdot \frac{R_b T''_{см}}{p_{np} - p''_n} \left[\left(\frac{p_2}{p_{np}} \right)^{\frac{k''_{см}}{k''_{см} - 1}} - 1 \right]. \quad (2)$$

Здесь в отличие от формулы (1)

$$\frac{R_b T'_{см}}{p_{\kappa} - p'_n} \quad \text{и} \quad \frac{R_b T''_{см}}{p_{np} - p''_n}$$

учитывают присутствие пара в воздухе;
 p'_n и p''_n — парциальные давления пара в смеси перед первой и второй ступенями. Величины p'_n и p''_n зависят только от температур $T'_{см}$ и $T''_{см}$ смеси перед ступенями. В последующем будем считать $T'_{см} = T''_{см}$.

В действительных условиях $T''_{см}$ бывает градусов на десять больше $T'_{см}$. Так как в формулу входят абсолютные температуры, то разница в 10°C большой погрешности не составит.

Для определения $l_{мин}$ возьмем первую производную $\frac{dl}{dp_{np}}$ и приравняем ее нулю. Тогда после простейших преобразований получим, положив $p_c = 1 \text{ ата}$,

$$(k''_{см} - 1) \frac{p_k^{1/k'_{см}}}{p_k - p'_n} \cdot \frac{p_{np} - p''_n}{p_{np}^{1/k'_{см}}} + \frac{p_{np}^{1/k''_{см}}}{p_{np}} - k''_{см} \cdot \frac{p_{np}^{1/k''_{см}}}{p_{np} - p''_n} - k''_{см} + k''_{см} \frac{p_{np}}{p_{np} - p''_n} = 0. \quad (3)$$

Уравнение (3) целесообразно решать графически. Для выявления влияния отдельных факторов на p_{np} все члены уравнения (3) следует сгруппировать так, чтобы в одной части равенства были члены, содержащие p'_n , а в другой — p''_n . Тогда можно записать

$$y_1 = (k''_{см} - 1) \cdot \frac{p_k^{1/k'_{см}}}{p_k - p'_n} \cdot \frac{p_{np} - p''_n}{p_{np}^{1/k'_{см}}}, \quad (4)$$

$$y_2 = k''_{см} \frac{p_{np}}{p_{np} - p''_n} \left(1 - p_{np}^{\frac{1}{k'_{см}} - 1} \right) + p_{np}^{\frac{1}{k'_{см}} - 1} - k''_{см}. \quad (5)$$

Построив по уравнениям (4) и (5) зависимости $y_1 = f_1(p_{np})$ и $y_2 = f_2(p_{np})$, легко определяем значение p_{np} в пересечении кривых $y_1 = f_1(p_{np})$ и $y_2 = f_2(p_{np})$.

На рис. 1 построены кривые y_1 и y_2 в зависимости от p_{np} для частного примера, когда $p_k = 0,04 \text{ ата}$, $p_c = 1 \text{ ата}$, $t'_{см} = 25^\circ\text{C}$, $t''_{см} = 35^\circ$. Из рис. 1 видно, что оптимальное значение $p_{np} = 0,08 \text{ ата}$ значительно

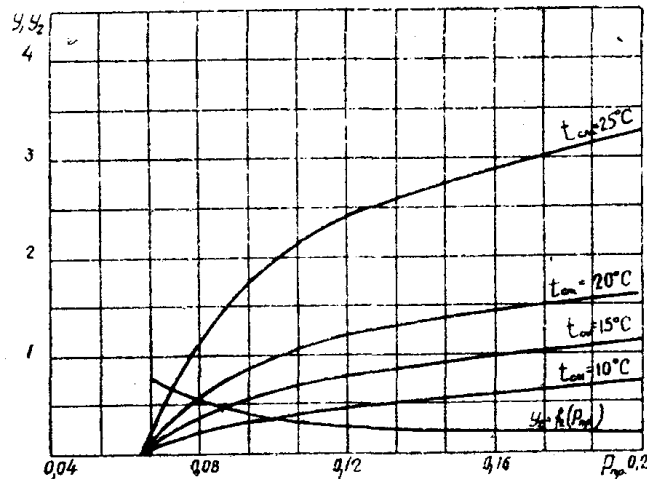


Рис. 2.

отличалось от $p_{np} = 0,2 \text{ ата}$, определенного из условия одинаковой степени сжатия. Физическая сущность полученного вывода вполне понятна, если учесть присутствие пара в смеси, который целесообразно удалить при меньшем давлении.

Из уравнения (4) усматривается, что с увеличением p'_n , что будет иметь место при более высокой температуре $t'_{см}$, y_1 увеличивается и

кривая пойдет более круто. Вследствие этого точка пересечения кривых сместится влево, в сторону меньших значений p_{np} . При уменьшении $t'_{см}$ — наоборот, будет увеличиваться p_{np} , приближаясь к $p_{np}=0,2$. Это объясняется тем, что с уменьшением $t'_{см}$ количество пара в смеси будет меньше. При $p'_n=p''_n=0$, что будет иметь место, когда в эжектор будет поступать только чистый воздух, промежуточное давление $p_{np}=0,2$ *ата*, т. е. мы приходим в данном случае к уже известному равномерному распределению перепадов давления по отдельным ступеням.

На рис. 2 изображены кривые y_1 в зависимости от p_{np} для разных температур $t'_{см}$. Рис. 1 подтверждает высказанные только что соображения о влиянии $t'_{см}$ на величину p_{np} .

Если сравнить потребное количество работы на сжатие паровоздушной смеси при $p_{np}=0,2$ *ата* и $p_{np}=0,08$ *ата*, подставив эти значения попеременно в формулу (2), то получим уменьшение работы при $p_{np}=0,08$ *ата* по сравнению с $p_{np}=0,2$ *ата* примерно на 40—45%.

Выводы

1. Равномерное распределение перепадов давлений по ступеням парового эжектора не обеспечивает минимума работы, потребной для удаления паровоздушной смеси.
2. Для обеспечения минимума работы на удаление паровоздушной смеси перепады давлений должны возрастать от первой ступени к последней.

ЛИТЕРАТУРА

1. Макеев В. А. Конденсационные устройства паросиловых установок. ОНТИ, 1933.
2. Казанский А. М. Конденсационные устройства. ГОНТИ, 1939.
3. Блюдов В. П. Конденсационные устройства паровых турбин. Госэнергоиздат, 1951.