

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСХОДА ПАРА НА ПАРОВОЙ ЭЖЕКТОР

Е. Н. ШАДРИН

При расчете парового эжектора необходимо знать расход рабочего пара, потребного для удаления 1 кг воздуха или паровоздушной смеси. Большинство авторов [1; 2; 3] при определении расхода пара ссылаются на таблицы, приведенные в книге Каула и Робинсон. Эти таблицы делят все эжекторы на большие и малые и для каждого типа эжекторов для определенного давления всасывания паровоздушной смеси приводится расход пара. При этом остается совершенно неясным, какие эжекторы относить к большим, какие к малым. Еще больший произвол допускается в вопросе распределения общего расхода пара, определенного из таблицы, по отдельным ступеням. Здесь просто принимают, что отношение между расходами первой и второй ступенью находится в пределах от 1:7 до 1:9 для эжекторов без охлаждения и от 1:3,5 до 1:4,5—для эжекторов с охлаждением (1; 2). Казанский А. М. [4] на основании термодинамических рассуждений выводит формулу для определения расхода пара на эжектор. Но пользование этой формулой затруднительно ввиду ее сложности. Задачу решать приходится методом подбора. Мы приводим более простое решение вопроса, которое дает достаточную для практических целей точность.

Выясним сначала, какое минимальное количество пара нужно затратить на эжектор, чтобы удалить 1 кг воздуха или паровоздушной смеси.

Пусть в камеру смешения эжектора поступает 1 кг воздуха или паровоздушной смеси, давление и удельный объем которой обозначен через p_k и $v_{см.к}$. Предположим, что для сжатия 1 кг паровоздушной смеси из конденсатора необходимо α кг свежего пара. Тогда в диффузоре будет сжиматься на 1 кг паровоздушной смеси, поступающей из конденсатора, $1 + \alpha$ кг паровоздушной смеси, содержащей больше пара, чем смесь, поступающая в камеру смешения из конденсатора.

Адиабатическая работа в ккал, затрачиваемая на сжатие 1 кг смеси от давления p_k до давления p_{np} , выразится формулой:

$$AL = \frac{A k}{k-1} p_k v_k \left[\left(\frac{p_{np}}{p_k} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right] (1 + \alpha), \quad (1)$$

где k — показатель адиабаты сжатия. Величина его может быть принята равной 1,135.

v_k — удельный объем смеси при входе в диффузор.

Если удельный объем рабочего пара в конце расширения $v_{n.k}$, то уд. объем смеси v_k при входе в диффузор легко может быть определен из условия равенства объемов удаляемой смеси и рабочего пара. Это равенство запишется так:

$$v_{см.к} + \alpha v_{n.k} = (1 + \alpha) v_k.$$

Откуда

$$v_k = \frac{v_{см.k} + \alpha v_{n.k}}{1 + \alpha}. \quad (2)$$

Если значение v_k из равенства (2) подставить в уравнение (1), то после простейших преобразований получим:

$$AL = \frac{Ak}{k-1} p_k \cdot v_{см.k} \left[\left(\frac{p_{np}}{p_k} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right] + \\ + \alpha \frac{Ak}{k-1} p_k v_{n.k} \left[\left(\frac{p_{np}}{p_k} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right]. \quad (3)$$

В правой части полученного уравнения первый член характеризует затрату энергии на сжатие паровоздушной смеси из конденсатора от давления p_k в последнем до давления p_{np} конца сжатия. Второй член выражает работу, которую надо затратить для сжатия рабочего пара от давления в конденсаторе до давления конца сжатия.

При расчете эжектора бывают заданными параметры рабочего пара, следовательно, известным является и адиабатический перепад H тепла этого пара. Поэтому из равенства $\alpha H = AL$ можно определить расход пара на удаление 1 кг паровоздушной смеси при условии, что в эжекторе нет никаких потерь.

Этот расход будет выражаться формулой:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{H}{\frac{Ak}{k-1} p_k v_{см.k} \left[\left(\frac{p_{np}}{p_k} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right]} - \frac{v_{n.k}}{v_{см.k}}}. \quad (4)$$

В действительных условиях работы парового эжектора имеют место следующие потери:

- 1) потеря энергии в сопле;
- 2) потеря энергии в камере смешения;
- 3) потеря энергии в диффузоре.

Потеря энергии в сопле в ккал/кг

$$h_c = (1 - \varphi^2) H, \quad (5)$$

где φ — скоростной коэффициент сопла.

Потери энергии в камере смешения могут быть определены на основании следующих соображений.

Рабочий пар входит в камеру смешения с большой скоростью c_1 , в то время как отсасываемая из конденсатора смесь — с незначительной скоростью. В камере смешения эти два потока смешиваются, так что налицо явление неупругого удара. Приравнивая нулю скорость входа паровоздушной смеси в камеру смешения, получим потерю энергии от удара на 1 кг смеси, поступающей в диффузор,

$$h_{k.c.} = \frac{A}{2g} [\alpha c_1^2 - (1 + \alpha) c_2^2]. \quad (5'')$$

В формуле (5'') c_2 — скорость паровоздушной смеси при входе в диффузор. Величина ее может быть определена из условия равенства количества движения до и после смешения потоков. Это равенство запишется, как

$$\alpha c_1 + c'_0 = (1 + \alpha) c_2.$$

Как уже указывалось, скорость c_0' паровоздушной смеси при входе в камеру смешения незначительна по сравнению со скоростью c_1 выхода пара из сопла и может быть принята равной нулю, так что

$$c_2 = \frac{\alpha}{1 + \alpha} c_1. \quad (5''')$$

Подставив c_2 из (5''') в (5'') и сделав ряд простых преобразований, получим

$$h_{k.c.} = \frac{\alpha}{1 + \alpha} H.$$

Потерю энергии в диффузоре оценим, как это принято, к. п. д. диффузора η_d . Тогда затрата энергии на удаление 1 кг паровоздушной смеси с учетом потерь выразится формулой:

$$\alpha H = (1 - \varphi^2) H \alpha + \frac{\alpha}{1 + \alpha} H + \\ + \alpha \frac{A k}{(k - 1) \eta_d} \cdot p_k \left[\left(\frac{p_{np}}{p_k} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right] \left(\frac{v_{см.k}}{\alpha} + v_{n.k} \right).$$

Из этого уравнения определяем количество свежего пара, потребного для удаления 1 кг паровоздушной смеси. Так, после простых преобразований получим:

$$\alpha = \frac{1}{\varphi^2 - \frac{A k}{H(k-1)\eta_d} \cdot p_k \left[\left(\frac{p_{np}}{p_k} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right] \left(\frac{v_{см.k}}{\alpha} + v_{n.k} \right)} - 1. \quad (6)$$

Как видно, в левую и правую части уравнения (6) входит искомая величина α , поэтому решать такое уравнение можно или подбором, или графически. Последний метод наиболее прост и удобен. Это уравнение можно представить как систему двух уравнений:

$$y = \alpha$$

и

$$y = \frac{1}{\varphi^2 - \frac{A k}{H(k-1)\eta_d} \cdot p_k \left[\left(\frac{p_{np}}{p_k} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right] \left(\frac{v_{см.k}}{\alpha} + v_{n.k} \right)} - 1.$$

Первое уравнение в осях $y - \alpha$ представляет из себя биссектрису, а второе — гиперболу. Биссектриса может быть построена раз и навсегда, в то время как положение гиперболы определяется начальными условиями. Так, при $y = \infty$ должен быть равным нулю знаменатель первой дроби. Откуда

$$\alpha = \frac{1}{\frac{\varphi^2(k-1) \cdot H \cdot \eta_d}{A k p_k v_{см.k} \left[\left(\frac{p_{np}}{p_k} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right]} - \frac{v_{n.k.}}{v_{см.k.}}}.$$

Если положить $\alpha = \infty$, то

$$y = \frac{1}{\varphi^2 - \frac{A k}{H(k-1)\eta_d} \cdot p_k v_{n.k.} \left[\left(\frac{p_{np}}{p_k} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right]} - 1.$$

Для построения гиперболы необходимо знать еще одну точку, принадлежащую данной гиперболе. Эту точку определим, положив $\alpha = 1$. Тогда

$$y = \frac{1}{\varphi^2 - \frac{A\kappa}{H(\kappa-1)\eta_0} \cdot p_k \left[\left(\frac{p_{np}}{p_2} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} - 1 \right] (v_{c.m.k} + v_{n.k})} - 1.$$

Пересечение биссектрисы угла и гиперболы даст искомое значение α . Определим расход пара на эжектор рассмотренным нами методом для примера, взятого из книги Казанского [4] с тем, чтобы сравнить полученные результаты.

Весовое количество отсасываемого воздуха $G_a = 0,0103$ кг/сек.

Температура паровоздушной смеси при входе в эжектор $t_{cm} = 35^\circ\text{C}$.

Давление свежего пара перед соплом эжектора $p_0 = 9$ ата.

Температура свежего пара перед соплом эжектора $t_0 = 240^\circ\text{C}$.

Давление паровоздушной смеси при входе в эжектор $p_k = 0,07$ ата.

Давление за 1-й ступенью эжектора $p_{np} = 0,28$ ата.

При этих условиях количество пара в паровоздушной смеси $G_k = 0,0295$ кг/сек, так что общее количество смеси $G_{cm} = 0,0398$ кг/сек. Уд. объем паровоздушной смеси $v_{c.m.k} = 31,1$ м³/кг; уд. объем рабочего пара в конце расширения $v_{n.k} = 17,3$ м³/кг. Адиабатический перепад $H = 183$ ккал/кг.

На рис. 1 дано графическое решение уравнения (6) для этого частного примера. Пересечение биссектрисы $y = \alpha$ с гиперболой дает значение $\alpha = 1,68$, т. е. на 1 кг паровоздушной смеси необходимо затратить 1,68 кг свежего пара, так что секундный расход свежего пара $G_n = 0,067$ кг/сек.

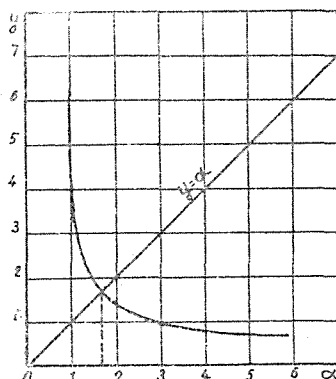


Рис. 1.

Казанский А. М. [4] дает для этого же примера $G_n = 0,063$ кг/сек.

Таким образом, предлагаемый метод определения расхода пара на эжектор более прост и дает достаточную для практических целей точность. При этом не нужно делать многочисленные трудоемкие просчеты, определяя расход пара на эжектор методом подбора [4] или последовательного приближения [5].

ЛИТЕРАТУРА

1. Анатолиев Ф. Н. Расчет вспомогательных устройств паросиловых установок. ОНТИ, 1936.
2. Макеев В. А. Конденсационные устройства паросиловых установок. ОНТИ, 1933.
3. Радциг А. А. Теория и расчет конденсационных установок. Госэнергоиздат, 1930.
4. Казанский А. М. Конденсационные устройства. ГОНТИ, 1939.
5. Блюдов В. П. Конденсационные устройства паровых турбин. Госэнергоиздат, 1951.