

УДК 621.694.3

ПОВЫШЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ЭЖЕКЦИИ ВОДОВОЗДУШНОГО ЭЖЕКТОРА

Яценко А.Ф., канд. техн. наук, доц.,

Селивра С.А., канд. техн. наук, доц.,

Донецкий государственный технический университет

Рассмотрены вопросы применения воздушных эжекторов. Определен теоретический коэффициент эжекции и указаны причины снижения коэффициента эжекции в реальных эжекторах. Предложена конструкция эжектора с двумя активными поверхностями.

The problems of application of airlift pumps are reviewed. The idealized factor of an ejection is certain and the causes of a decrease of a factor of an ejection in actual ejectors are indicated. The design of an ejector with two fissile surfaces is offered.

Во многих отраслях техники эжектор используется для создания пониженного давления в некотором объеме. Так, для увеличения мощности паровой машины или турбины в конденсационных системах паросиловых установок требуется снижение давления в конденсаторе, куда сбрасывается отработанный пар. Широкое распространение эжекторы получили в вакуумной технике. В горной промышленности они используются для создания разряжения во всасывающей полости насоса и трубопровода для их заполнения водой перед пуском, а также для откачивания загрязнённой жидкости из отстойников.

Важнейшим параметром, характеризующим работу эжектора, является коэффициент эжекции U , определяемый как отношение объёма эжектируемой жидкости к объёму рабочей жидкости. Этот коэффициент зависит от схемы водовоздушного эжектора, а также от правильного определения конструктивных параметров его проточной части.

Стандартная схема водовоздушного эжектора, состоящего из сопла, приёмной камеры, камеры смещения и диффузора не обеспечивает высокого значения коэффициента эжекции.

Энергия струи, вытекающая из насадки, не полностью используется в водовоздушном эжекторе. Струя сжимает воздух от давления в приёмной камере P_n до давления на выходе из диффузора P_c . Процесс

сжатия воздуха можно принять изотермическим, так как идёт интенсивный отвод тепла струёй воды.

Необходимая энергия на сжатие воздуха определяется из зависимости

$$\rho_{\text{н.возд}} Q_{\text{возд}} \frac{P_0}{\rho_0} \ln \frac{P_c}{P_n}.$$

Энергия, которой обладает струя воды равна

$$\rho_v Q_v \frac{V^2}{2}.$$

Для теоретического водо-воздушного эжектора эти энергии равны

$$\rho_v Q_v \frac{V^2}{2} = \rho_{\text{н.возд}} Q_{\text{возд}} \frac{P_0}{\rho_0} \ln \frac{P_c}{P_n}, \quad (1)$$

где ρ_v – плотность воды; Q_v – объёмный расход воды; V – скорость истечения воды из насадка; $\rho_{\text{н.возд}}$ – плотность воздуха при давлении P_n ; $Q_{\text{возд}}$ – объёмный расход засасываемого воздуха при давлении P_n ; P_0, ρ_0 – давление и плотность воздуха при нормальных атмосферных условиях.

Из уравнения (1) определим объёмный коэффициент водо-воздушного эжектора

$$U = \frac{Q_{\text{возд}}}{Q_v} = \frac{\rho_v V^2}{2} / \rho_{\text{н.возд}} \frac{P_0}{\rho_0} \ln \frac{P_c}{P_n}. \quad (2)$$

Заменяя $\frac{P_0}{\rho_0}$ на $\frac{P_{\text{н.возд}}}{\rho_{\text{н.возд}}}$ и V^2 на $\frac{2(P_p - P_n)}{\rho}$

получим
$$U = \frac{P_p - P_n}{\rho_{\text{н.возд}} \ln \frac{P_c}{P_n}} \quad (3)$$

Таким образом, теоретический коэффициент эжекции определяется давлением рабочей, эжектируемой жидкости и давлением смеси.

Если взять параметры эжектора, применяемого для заливки насосов ($P_p=1,5\text{МПа}$, $P_n=0,05\text{МПа}$, $P_c=0,15\text{МПа}$), то получим коэффициент эжекции равным

$$U = \frac{1,5 - 0,05}{0,05 \ln \frac{0,15}{0,05}} = 26,3$$

В действующих эжекторах с центральной рабочей струёй этот коэффициент значительно ниже, иногда даже на порядок. В чём причины? Их две: первая – потери энергии в проточной части эжектора, вторая – недостаточный контакт потока воздуха с рабочей струёй.

Потери в проточной части могут быть снижены правильным подбором конструктивных элементов и в первую очередь основного

конструктивного параметра $m = \frac{F_{см}}{F_H} = \left(\frac{d_{см}}{d_H} \right)^2$,

где $F_{см}$, $d_{см}$ – площадь поперечного сечения и диаметр камеры смещения; F_H , d_H – площадь поперечного сечения и диаметр насадка.

Определим коэффициент эжекции водо-воздушного эжектора с учётом потерь в его проточной части.

Процессы, в нём происходящие, описываются тремя законами:

1) сохранения массы

$$M_c = M_p + M_H \tag{4}$$

2) импульсов для начального сечения камеры смещения 2-2 и конечного 3-3

$$M_p V_{p2} + M_H V_{H2} - (M_p + M_H) V_3 = P_3 F_3 - (P_{p2} F_{p2} + P_{H2} F_{H2}) \tag{5}$$

3) сохранения энергии. При условии стационарного движения и отсутствия объёмных сил уравнение запишется

$$\int_{\tau} \rho \left(I_{c_v} T + \frac{V^2}{2} \right) U_n d\tau = - \int_{\tau} p V_n d\tau + IQ, \tag{6}$$

где I – механический эквивалент теплоты; Q – количество теплоты, рассеиваемое в окружающее пространство, отнесённое к 1 кг.

Решение этих уравнений позволило определить коэффициент эжекции водо-воздушного эжектора [1]

$$U = \frac{\Delta p_c \left(m + \frac{4}{\varphi_1 \varphi_2 \varphi_3} \right) - \frac{4m^2 \Delta p_c^2}{\varphi_1 \varphi_2 \varphi_3 \Delta p_p}}{p_H \ln \frac{p_c}{p_H}} \tag{7}$$

где $\Delta p_c = p_c - p_H$; $\Delta p_p = p_p - p_H$;

$\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$ – коефіцієнти швидкості насадка, прийомної камери і камери змішення.

Из уравнения (7) нетрудно найти максимальное значение основного параметра m_{\max} при котором коэффициент эжекции будет равен нулю, т.е. прекратится отсос воздуха. Приняв среднее значение $\varphi_1 = \varphi_2 = \varphi_3 = 0,9$, получим:

$$m_{\max} = \sqrt{\frac{\Delta p_p}{\Delta p_c} + \left(0,09 \frac{\Delta p_p}{\Delta p_c}\right)^2} + 0,09 \frac{\Delta p_p}{\Delta p_c} \quad (8)$$

Рациональное значение основного конструктивного параметра $m_{\text{рац}}$, при котором коэффициент эжекции U достигнет максимального значения можно определить взяв первую производную по m и приравнять её к нулю

$$m_{\text{рац}} = 0,219 \frac{\Delta p_p}{\Delta p_c} \quad (9)$$

Для приведенных выше давлений $m_{\text{рац}}$ равно

$$m_{\text{рац}} = 0,219 \frac{1,5 - 0,05}{0,15 - 0,05} = 3,17.$$

Подставив значение $m_{\text{рац}}=3,17$ в уравнение (7), определим максимальное значение коэффициента эжекции U_{\max} .

$$U_{\max} = \frac{(0,15 - 0,05) \left(3,17 + \frac{4}{0,9 \cdot 0,9 \cdot 0,9}\right) - \frac{4 \cdot 3,17^2 (0,15 - 0,05)^2}{0,9 \cdot 0,9 \cdot 0,9 (1,5 - 0,05)}}{0,05 \ln \frac{0,15}{0,05}} = 15,5.$$

В действительности, как показывают экспериментальные исследования, при указанных параметрах коэффициент эжекции находится в пределах 2 – 4. Основная причина значительного снижения коэффициента эжекции водо-воздушного эжектора в недостаточной площади контакта потока струи с потоком воздуха.

Пограничный слой струи ввиду наличия поперечных пульсаций компонентов скорости захватывает частицы эжектируемого потока. Потоки как бы внедряются друг в друга. Эжектируемый газ непрерывно захватывается высоконапорной струей и увлекает в зону змішення. Благодаря этому и поддерживается разрежение на входе в смесительную камеру, которое обеспечивает втекание низконапорного газа в эжектор. Поэтому, увеличение пограничного слоя при неиз-

менных остальных параметрах струи является единственным способом позволяющим повысить коэффициент эжекции.

Увеличение пограничного слоя можно добиться увеличением диаметра рабочей струи (увеличение диаметра сопла), что ведёт к увеличению как обмена эжектируемой, так и рабочей жидкости, но не к увеличению коэффициента эжекции.

В Донецком государственном техническом университете проведена работа по созданию новых схем струйных аппаратов [2, 3, 5]. Их назначение – повышение коэффициента эжекции, а, следовательно, и КПД. Это особенно важно если водо-воздушный эжектор используется для создания вакуума, например при заполнении насосов перед пуском водой. При этом требуется максимальное значение расхода эжектируемой жидкости при ограниченных расходах рабочей жидкости.

Схема эжектора с увеличенной площадью рабочей струи показана на рисунке 1. Вода выходит из кольцевого сопла 1 и поступает в камеру смешения 2, а оттуда в диффузор 3. Конструкция сопла позволяет иметь две активные поверхности; внешнюю и внутреннюю. Рабочая жидкость контактирует с эжектируемой по двум поверхностям увеличивая при этом количество эжектируемого воздуха. Такая конструкция позволяет не только добавить ещё одну контактирующую поверхность, но и увеличить основную поверхность (наружную) не изменяя при этом расход рабочей жидкости.

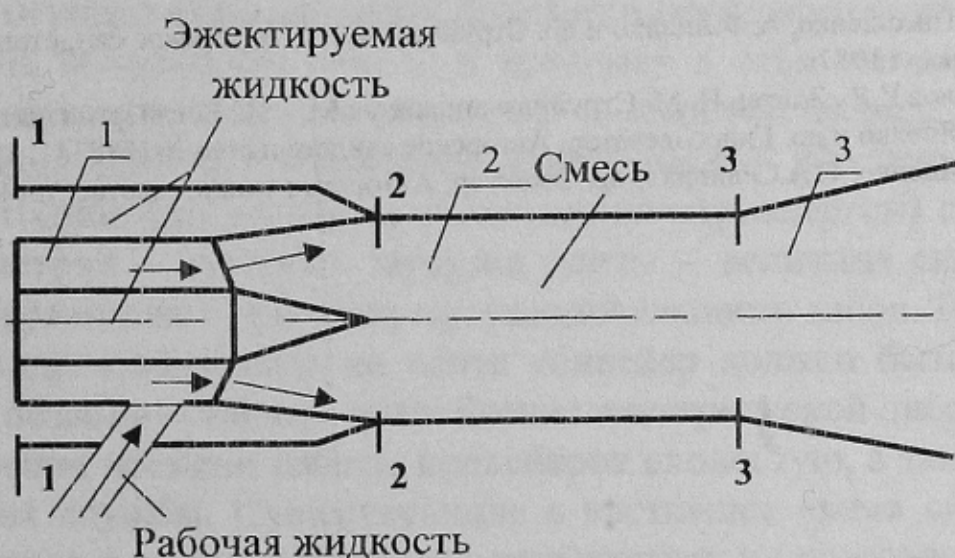


Рисунок 1 - Схема эжектора с увеличенной площадью рабочей струи

Экспериментальные исследования эжектора с двумя активными поверхностями показали, что его производительность $Q_{\text{возд}}$, а следовательно, и коэффициент эжекции увеличивается в 1,5 – 2 раза. Так, при тех же параметрах рабочая жидкость Q_p и P_p и том же противодавлении P_c коэффициент эжекции находится в пределах 4,0 – 5,35. Наилучший результат достигается когда наружный диаметр струи был равен двум внутренним диаметром $D_n = 2d_v$. Это соответствует следующим соотношениям

$$D_n = 1,16d_{\text{ц}} \quad \text{и} \quad d_d = 0,58d_{\text{ц}}$$

где $d_{\text{ц}}$ – диаметр насадка эжектора с центральной струёй.

Увеличение диаметра струи в 1,16 раз ведёт к увеличению диаметра камеры смешения, диффузора, а также к линейным размерам эжектора. Однако, это полностью компенсируется увеличением в 1,5 – 2 раза коэффициент эжекции.

КПД водо-воздушного эжектора с центральной струёй не превышает 25%. Увеличение КПД эжекторов с двумя активными рабочими поверхности до 40% может значительно расширить область использования, т.к. делает их конкурентоспособными вакуумнасосами.

Список источников.

1. А.Ф.Яценко. Исследование процесса заливки насосных установок, работающих на загрязненной воде. – в ст.: «Разработка месторождений полезных ископаемых», Вып. 17. Киев, «Техника», 1969.
2. А.Ф.Яценко и др. Водоструйный насос, авторское свидетельство №1687914, 1 июня 1991г.
3. Г.М.Тимошенко, А.Ф.Яценко и др. Струйный насос, Авторское свидетельство №1312261, 22 января 1987г.
4. Соколов Е.Я., Зингер Н. М. Струйные аппараты. М. – Л., Госэнергоиздат, 1960.
5. А.Ф.Яценко и др. Гидроэлеватор, Авторское свидетельство №1788341, 15.09.1992г.
6. А.Ф.Яценко, С.А.Селивра и др. Эжектор, Авторское свидетельство №1481489, 22 января 1989.