

## К ВОПРОСУ ВЫБОРА ТОЧЕК ЗАБОРА ВОЗДУХА ПРИ ФРАКЦИОННОМ МЕТОДЕ УДАЛЕНИЯ ПОСЛЕДНЕГО ИЗ ОХЛАЖДАЮЩЕЙ ВОДЫ И ИЗ КОНДЕНСАТОРОВ УТИЛИЗАЦИОННЫХ УСТАНОВОК

Е. Н. ШАДРИН

Отличительной чертой утилизационных установок от обычных энергетических установок является большой расход энергии на собственные нужды. Этот расход в основном складывается из затраты энергии на подачу охлаждающей воды для конденсации пара и на удаление воздуха из конденсаторов. В настоящей работе дано теоретическое исследование возможности уменьшения расхода энергии на удаление воздуха.

При смешивающей конденсации из  $1 \text{ м}^3$  охлаждающей воды в конденсаторе выделится воздуха в килограммах

$$G_a = a \cdot (p_n - p_k), \quad (1)$$

где  $a$  — коэффициент весовой растворимости воздуха водой,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;

$p_n$  — давление над источником воды, откуда последняя подается в конденсатор,  $\text{ата}$ ;

$p_k$  — давление в конденсаторе утилизационной установки,  $\text{ата}$ .

Если весь воздух удалять из конденсатора, то на дегазацию  $1 \text{ м}^3$  воды потребовалось бы при адиабатическом сжатии чистого воздуха затратить работу

$$L = \frac{k}{k-1} \cdot p_k \cdot v_k \left[ \left( \frac{p_n}{p_k} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right] \cdot a \cdot (p_n - p_k). \quad (2)$$

Как видно, работа эта тем больше, чем более глубокий вакуум необходимо поддерживать в конденсаторе.

Если, например, принять температуру охлаждающей воды для зимних условий  $t_n = 2^\circ\text{C}$ ,  $p_k = 0,01 \text{ ата}$ ,  $p_n = 1 \text{ ата}$ , то для удаления воздуха, выделившегося из  $1 \text{ м}^3$  охлаждающей воды, нужно будет затратить в идеальном компрессоре работу  $L = 2660 \text{ кэМ}$ . Естественным поэтому надо считать постановку вопроса об уменьшении этой статьи расхода собственных нужд утилизационных установок.

Проф. Бутаков И. Н. [1] для уменьшения расхода энергии на поддержание вакуума в конденсаторах утилизационных установок предложил применить фракционный метод удаления воздуха. Суть этого метода заключается в предварительной дегазации воды вблизи вершин барометрического столба последней. Схему такой предварительной дегазации можно представить следующим образом. Охлаждающая вода (рис. 1) из источника водоснабжения (1) насосом (2) подается в дегазер (3), в котором поддерживается давление  $p_1$ , причем  $p_n > p_1 > p_k$ . Из дегазера вода поступает далее в конденсатор (4). Так как давление  $p_1$  в дегазере ниже давления  $p_n$  над источником водоснабжения, часть воздуха выделится в дегазере. Температура воды при прохождении последней через дегазеры все время

остается постоянной, поэтому количество воздуха, выделившегося с каждого  $m^3$  воды в дегазере,

$$G_{в1} = a \cdot (p_n - p_1). \quad (3)$$

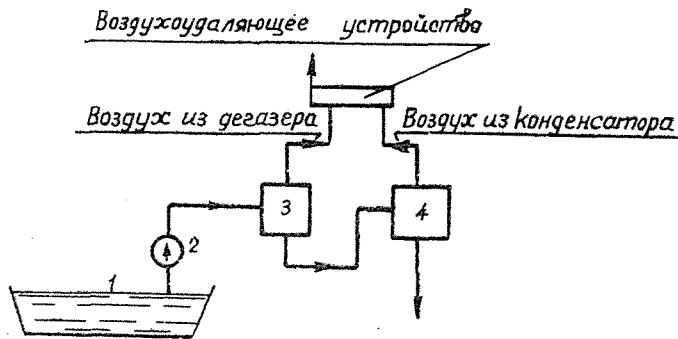


Рис. 1.

В конденсаторе утилизационной установки при такой схеме с одним дегазером выделится воздуха

$$G_{вк} = a \cdot (p_1 - p_n). \quad (4)$$

При такой схеме не весь воздух будет сжиматься от давления в конденсаторе до атмосферного, а только часть его, определенная по формуле (4). Следовательно, будет меньше и затрата энергии на это сжатие. Вопрос о воздухоудаляющем устройстве мы рассматривать не будем. Укажем только, что это может быть сделано или посредством эжекторов, отдельно поставленных как для удаления воздуха из конденсатора, так и из дегазера, или посредством одного многоступенчатого эжектора, в промежуточную ступень которого можно направить воздух из дегазера, или, наконец, путем применения многоступенчатого центробежного компрессора. Здесь мы рассмотрим следующие вопросы:

1. Как изменится величина затрачиваемой работы на удаление воздуха при применении описанного фракционного метода?
2. В каких точках барометрического столба жидкости производить отъем воздуха, чтобы получить минимальную работу сжатия?
3. Целесообразное число точек отъема воздуха.

При исследовании указанных вопросов будем считать, что 1) температура охлаждающей воды не изменяется при прохождении последней через дегазеры и через конденсатор и 2) воздушный насос удаляет только воздух. Рассмотрим для этого схему с одной точкой отъема. Количество воздуха, выделившегося в дегазере и в конденсаторе из  $1 m^3$  охлаждающей воды, подсчитывается по формулам 3 и 4.

Работа, затрачиваемая на удаление воздуха, выделившегося из  $1 m^3$  охлаждаемой воды в дегазере и в конденсаторе при одной ступени предварительной дегазации, выразится формулой:

$$L = a \cdot \frac{k}{k-1} \cdot R \cdot T_1 \left[ \left( \frac{1}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right] (1 - p_1) + \\ + a \cdot \frac{k}{k-1} \cdot R T_2 \left[ \left( \frac{1}{p_n} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right] (p_1 - p_n). \quad (5)$$

Правая часть (5) состоит из двух слагаемых. Первый член выражает работу, затрачиваемую на удаление воздуха из дегазера, а второй—то же самое для воздуха, выделившегося в конденсаторе. При этом принято, что  $p_n = 1 \text{ ата}$ . С понижением давления  $p_1$  в дегазере увеличивается первый член уравнения (5) и уменьшается второй. Крайними случаями следует считать, когда  $p_1 = p_n = 1 \text{ ата}$  и  $p_1 = p^k$ . При  $p_1 = 1 \text{ ата}$  первый член в формуле (5) равен 0. Второй член в этом случае дает величину работы на удаление всего количества воздуха из конденсатора. Если же  $p_1 = p_n$ , то величину работы на удаление всего количества воздуха дает первый член, в то время как второй становится равным нулю. Для всех значений  $p_k < p_1 < p_n$  работа будет меньше, чем  $L$  при  $p_1 = p_n$  и при  $p_1 = p_k$ , причем при каком-то вполне определенном значении ( $p_1^{\text{opt}}$ ) будет иметь место минимум работы, потребной для удаления воздуха с  $1 \text{ м}^3$  охлаждающей воды при одной ступени предварительной дегазации. Это значение ( $p_1$ ) определится из уравнения, полученного посредством приравнивания нулю первой производной  $\frac{dL}{dp_1} = 0$ . Тогда после некоторых преобразований получим, положив  $T_1 \approx T_2$ ,

$$p_1 = k \left[ \left( \frac{1}{p_k} \right)^{\frac{k-1}{k}} \cdot p_1^{2-\frac{1}{k}} - 1 \right] + 1 \text{ ата}. \quad (6)$$

Из формулы (6) видно, что давление в дегазере  $p_1$  зависит только от вакуума в конденсаторе и легко может быть найдено из уравнения (6) методом подбора. Для частного примера, когда  $p_n = 1 \text{ ата}$ ,  $p_k = 0,01 \text{ ата}$ ,  $k = 1,4$ , давление в дегазере  $p_1 = 0,18 \text{ ата}$ . Для проверки правильности формулы (6) на рис. 2 дано графическое решение уравнения (6).

Кривая  $L_d$  показывает изменение работы, необходимой на удаление воздуха из дегазера при разных  $p_1$ ; кривая  $L_k$ —то же самое для потока воздуха, попадающего в конденсатор. Верхняя кривая дает зависимость полной работы, потребной на удаление воздуха, растворенного в  $1 \text{ м}^3$  охлаждающей воды. Из рис. 2 видно уменьшение работы  $L_d$  на удаление воздуха

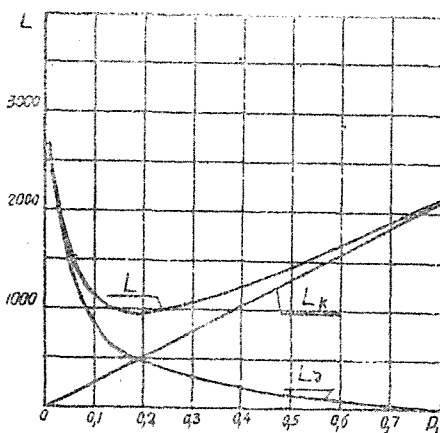


Рис. 2.

из дегазера и увеличение работы  $L_k$  на удаление воздуха из конденсатора при увеличении  $p_1$ . Кривая зависимости общей работы  $L$  ясно показывает наличие минимума. Давление  $p_1$  при  $L_{\text{min}}$  на графике достаточно хорошо совпадает с таковым, найденным по формуле (6). Если теперь подставим в уравнение (5) оптимальное значение  $p_1 = 0,18 \text{ ата}$ , то для ранее разоб-

ранного примера получим  $L = 964$  кгм. Следовательно, при одной ступени предварительной дегазации затрата работы на удаление воздуха будет в  $\frac{2660}{964} = 2,76$  раза меньше, чем без применения такого фракционного

метода. Из формулы (6) вытекает, что с увеличением давления в конденсаторе утилизационной установки увеличивается оптимальное давление в дегазере.

При двух ступенях предварительной дегазации работа, затраченная на удаление воздуха, выделившегося из 1 м<sup>3</sup> охлаждающей воды, выразится формулой:

$$L = a \left\{ \frac{k}{k-1} RT_1 \left[ \left( \frac{1}{p_1} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} - 1 \right] (1-p_1) + \frac{k}{k-1} RT_1 \left[ \left( \frac{1}{p_2} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} - 1 \right] (p_1 - p_2) + \right. \\ \left. + RT_2 \cdot \frac{k}{k-1} \left[ \left( \frac{1}{p_k} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} - 1 \right] (p_2 - p_k) \right\}, \quad (7)$$

где  $p_2$  — давление во втором дегазере, *ата*.

Здесь, как и в формуле (5), каждый член характеризует работу, затраченную на сжатие отдельного потока воздуха.

Для определения оптимальных значений  $p_1$  и  $p_2$  берем частные производные  $\left( \frac{\partial L}{\partial p_1} \right)_{p_2}$  и  $\left( \frac{\partial L}{\partial p_2} \right)_{p_1}$  и приравниваем эти производные к нулю.

В результате этого получим два уравнения:

$$\left( \frac{\partial L}{\partial p_1} \right)_{p_2} = \frac{1-k}{k} \cdot p_1^{\frac{1}{\kappa}-2} - \frac{1}{k} \cdot p_1^{\frac{1}{\kappa}-1} + p_2^{\frac{1}{\kappa}-1} = 0, \quad (8)$$

$$\left( \frac{\partial L}{\partial p_2} \right)_{p_1} = \frac{1-k}{k} p_1 \cdot p_2^{\frac{1}{\kappa}-2} - \frac{1}{k} \cdot p_2^{\frac{1}{\kappa}-1} + \left( \frac{1}{p_k} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} = 0. \quad (9)$$

Решая систему этих уравнений относительно  $p_1$  и  $p_2$ , получим

$$p_2 = \frac{kp_2^{\frac{1}{\kappa}} \left[ (1-k)p_2 - \frac{\kappa}{1-k} \left( \frac{1}{p_k} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} \cdot p_2^{2-\frac{1}{\kappa}} \right]^{2-\frac{1}{\kappa}}}{k-1 + (1-k)p_2 - \frac{k}{1-k} \left( \frac{1}{p_k} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} \cdot p_2^{2-\frac{1}{\kappa}}}, \quad (10)$$

$$p_1 = \frac{p_2}{1-k} - \frac{k}{1-k} \left( \frac{1}{p_k} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} \cdot p_2^{2-\frac{1}{\kappa}}. \quad (11)$$

Как и в случае с одной ступенью предварительной дегазации, распределение давлений по ступеням при двух точках забора воздуха зависит только от вакуума в конденсаторе. Уравнение (10) решается методом подбора. Так, для ранее разобранный примера оптимальными значениями для  $p_1$  и  $p_2$  надо считать 0,25 *ата* и 0,07 *ата*. При таком распределении давлений работа  $L = 703$  кгм на м<sup>3</sup> охлаждающей воды,

т. е. затрата энергии на удаление воздуха будет в  $\frac{2660}{703} = 3,73$  раза

меньше, чем без применения фракционного метода и в  $\frac{964}{713} = 1,35$  раза меньше, чем при одной ступени предварительной дегазации. На рис. 3 дана кривая зависимости работы  $L$  от числа точек отъема воздуха. Из

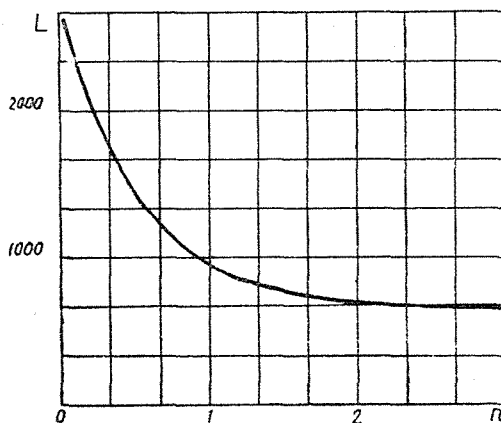


Рис. 3.

этого рисунка видно, что применение трех ступеней предварительной дегазации едва ли можно будет считать целесообразным, потому что выигрыш в затрате энергии на удаление воздуха от применения третьей ступени будет уже настолько незначительным, что это не компенсирует дополнительных капитальных затрат в установку, обусловленных применением этой ступени.

## ВЫВОДЫ

1. Применение фракционного метода удаления воздуха из охлаждающей воды и из конденсаторов утилизационных установок при смешивающей конденсации значительно уменьшает работу, затрачиваемую на поддержание заданного вакуума.

2. Наиболее целесообразной схемой предварительной дегазации является двухступенчатая схема. При большем числе ступеней предварительной дегазации дополнительная стоимость и сложность установки не оправдывается получаемым при этом дополнительным выигрышем в затрате работы на удаление воздуха.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Б у т а к о в И. Н. Использование тепла циркуляционной воды на электростанциях для получения электроэнергии. Известия ТПИ, т. 63, 1944.