

УДК 658.264

АККУМУЛИРОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПАРА – КАК МЕТОД СВЕДЕНИЯ БАЛАНСА ПАРА ПО ЗАВОДУ

Рябыкин К.В.

Научный руководитель – старший преподаватель Космачёва Э.М.

Практически на всех предприятиях различных отраслей промышленности есть потребители производственного пара, для которых перерывы в подаче пара или резкое уменьшение его подачи, а также снижение давления недопустимы.

Для сведения балансов производственного пара по заводу в любой отрезок времени необходимо иметь резервные, мобильные пиковые парогенерирующие мощности или применять другие средства компенсации дебаланса. Необходимо также предусматривать возможность использования периодических избытков пара, во избежание вынужденного их сброса.

На первый взгляд представляется наиболее простым и целесообразным компенсировать дебалансы производственного пара отборным паром турбин ТЭЦ. Однако это оказывается далеко не всегда экономически оправданным, так как работа турбины с отбором пара дает экономию топлива (а тем более приведенных затрат) только при достаточной загрузке ее отборов в течение года. При недостаточной годовой загрузке отбора теплофикационная турбина работает с перерасходом топлива и особенно приведенных затрат по сравнению с раздельным вариантом энергоснабжения (КЭС плюс котельная).

Таким образом, покрытие периодических, особенно кратковременных, дебалансов производственного пара по заводу путем установки большего (против соответствующего оптимальному коэффициенту теплофикации) числа или более мощных теплофикационных турбин на ТЭЦ, как правило, экономически менее выгодно, чем установка пиковых паровых котлов или других пиковых источников пара.

Одним из путей сведения балансов производственного пара является его аккумулирование в периоды избыточного поступления с отдачей пара во время, когда его не хватает. Для выравнивания графика поступления пара к потребителям и устранения перебоев в их снабжении в схеме целесообразно устанавливать паровые аккумуляторы переменного давления (рисунок 1). Аккумулятор присоединяется к паропроводу. Если давление в паропроводе возрастает, пар по ответвлению **б** проходит через обратный клапан в подводный коллектор и далее через сопла в водяное пространство аккумулятора. Поступления пара по ответвлению, **а** в сухопарник аккумулятора не произойдет, так как этому воспрепятствует обратный клапан. Пар, поступивший в водяное пространство аккумулятора, конденсируется, и, так как его давление несколько выше, чем в аккумуляторе, он нагревает воду. Последняя

испаряется с поверхности водяного объема, в результате чего давление пара в паровом пространстве повышается. Так протекает зарядка аккумулятора.

Когда расход пара потребителями повышается и превышает его поступление от источника, давление в линии становится ниже давления в аккумуляторе; пар из последнего начинает поступать по ответвлению, **а** через обратный клапан в паровую магистраль. Давление в аккумуляторе понижается, и перегретая вода испаряется – происходит разрядка аккумулятора. Пар, поступивший из аккумулятора в магистраль, компенсирует разницу между расходом и приходом пара. Паровые аккумуляторы

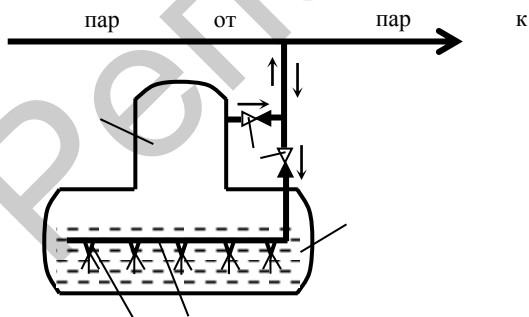


Рисунок 1. Схема включения парового аккумулятора переменного давления. 1 – аккумулятор пара; 2 – коллектор; 3 – сопло; 4 – сухопарник; 5 – обратный клапан

выполняются в виде горизонтальных цилиндрических сосудов, заполненных на 90...95 % объема водой.

Тепловые потери изолированных аккумуляторов даже при установке их на открытом месте незначительны и не превышают 115...175 Вт/м².

Необходимая емкость парового аккумулятора находится из уравнения теплового баланса

$$I_1 = I_2 + I_{\text{п}}, \quad (1)$$

где I_1 – полная энтальпия воды, содержащейся в аккумуляторе до разрядки, кДж;

I_2 – то же после разрядки, кДж;

$I_{\text{п}}$ – полная энтальпия пара, полученного при разрядке, кДж.

Внеся следующие обозначения: G_1 – масса воды в аккумуляторе до разрядки, кг; G_2 – то же после разрядки, кг; $D = G_1 - G_2$ – масса полученного в аккумуляторе пара, кг; t_{s1} и t_{s2} – температура воды в аккумуляторе до и после разрядки, °С; c_p – массовая теплоемкость воды, кДж/(кг·К); i_2 – энтальпия пара в конце разрядки аккумулятора, кДж/кг; баланс (1) можно представить следующим уравнением:

$$G_1 c_p t_{s1} = (G_1 - D) c_p t_{s2} + D i_2, \quad (2)$$

откуда

$$G_1 = D \frac{i_2 - c_p t_{s2}}{c_p (t_{s1} - t_{s2})} \quad (3)$$

Полный объем аккумулятора, м³,

$$V_{\text{ак}} = \frac{G_1}{\alpha \rho_1} = \frac{D (i_2 - c_p t_{s2})}{\alpha \rho_1 c_p (t_{s1} - t_{s2})}, \quad (4)$$

где ρ_1 – плотность воды в начале разрядки, кг/м³; α – коэффициент, учитывающий долю заполнения аккумулятора водой ($\alpha = 0,9 \dots 0,95$).

Удельный объем аккумулятора (м³/кг), отнесенный к 1 кг аккумулируемого пара,

$$v_{\text{ак}} = \frac{V_{\text{ак}}}{D} = \frac{i_2 - c_p t_{s2}}{\alpha \rho_1 c_p (t_{s1} - t_{s2})} \quad (5)$$

Размеры аккумулятора зависят от заданных значений начального и конечного давления и общей аккумулирующей способности, которая определяется по графику нагрузки аккумулятора.

Использование аккумулирующей установки тем эффективнее, чем чаще и равномернее чередуются пики и провалы в графике нагрузки аккумулятора.

В работе осуществлен анализ зависимости удельного объема парового аккумулятора от отношения допустимых пределов колебания давления пара, пренебрегая потерей теплоты в окружающую среду:

– максимальное (при зарядке) p_1 , МПа;

– минимальное (при разрядке) p_2 , МПа.

Результаты расчетов представлены таблице 1 и на рисунке 2.

Таблица 1 – Результаты расчетов удельного объема аккумулятора

| № пп | p_1 , МПа | p_2 , МПа | p_1/p_2 | t_{s1} , °С | t_{s2} , °С | i_2 , кДж/кг | ρ_1 , кг/м ³ | $v_{\text{ак}}$, м ³ /кг |
|------|-------------|-------------|-----------|---------------|---------------|----------------|------------------------------|--------------------------------------|
| 1 | 1,8 | 0,5 | 3,6 | 207,1 | 151,8 | 2749 | 856 | 11,2 |
| 2 | 1,7 | 0,5 | 3,4 | 204,3 | 151,8 | 2749 | 860 | 11,8 |
| 3 | 1,6 | 0,5 | 3,2 | 201,4 | 151,8 | 2749 | 863 | 12,4 |

| № пп | p_1 , МПа | p_2 , МПа | p_1/p_2 | t_{s1} , °С | t_{s2} , °С | i_2 , кДж/кг | ρ_1 , кг/м ³ | $v_{ак}$, м ³ /кг |
|---------|-------------|-------------|-----------|---------------|---------------|-------------------|---------------------------------|----------------------------------|
| 4 | 1,5 | 0,5 | 3,0 | 198,3 | 151,8 | 2749 | 867 | 13,2 |
| 5 | 1,4 | 0,5 | 2,8 | 195,0 | 151,8 | 2749 | 870 | 14,1 |
| 6 | 1,3 | 0,5 | 2,6 | 191,6 | 151,8 | 2749 | 874 | 15,3 |
| 7 | 1,2 | 0,5 | 2,4 | 188,0 | 151,8 | 2749 | 878 | 16,7 |
| 8 | 1,1 | 0,5 | 2,2 | 184,1 | 151,8 | 2749 | 883 | 18,7 |
| 9 | 1,0 | 0,5 | 2,0 | 179,9 | 151,8 | 2749 | 887 | 21,3 |
| 10 | 0,9 | 0,5 | 1,8 | 175,5 | 151,8 | 2749 | 892 | 25,1 |

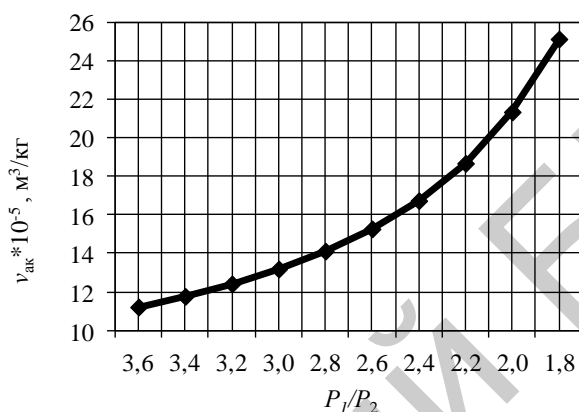


Рисунок 2. Зависимость удельного объема аккумулятора от отношения давлений в конце зарядки и

Как показали результаты исследования с повышением отношения давления в конце зарядки парового аккумулятора и в конце его разрядки (требуемого потребителю пара) для одного и того же количества генерируемого пара удельный, а значит и полный, объем аккумулятора снижается, что естественно понизит капитальные затраты на аккумулятор. Однако повышение давления зарядки аккумулятора потребует наличия элемента регулирования (дросселирования) пара, подаваемого к потребителю, то есть часть внутренней энергии пара потеряется. Для окончательного вывода об оптимальности отношения давления p_1/p_2 необходимо провести технико-экономическое обоснование.

Литература

1. Ривкин, С.Л. Термодинамические свойства воды и водяного пара: справочник / С.Л. Ривкин, А.А. Александров. - М.: Энергоатомиздат, 1984. - 80 с.
2. Сазанов, Б.В. Теплоэнергетические системы промышленных предприятий: учеб. пособие для вузов / Б.В. Сазанов, В.И. Ситас. - М.: Энергоатомиздат, 1990. - 304 с.
3. Теплотехническое оборудование и теплоснабжение промышленных предприятий: Учебник для техникумов / Б.Н. Голубков, О.Л. Данилов, Л.В. Зосимовский и др. Под ред. Б.Н. Голубкова. - М.: Энергия, 1979. - 544 с.
4. <http://www.ngpedia.ru/id632354p1.html>
5. <http://www.teplotpunkt.ru/forum/index.php?t=2063>