

ПЗ 6. Характерні стани рідини і пари води на v - p та s - T діаграмах

Задача IX—7. В экранную трубу парового котла поступает 0,3 кг/сек воды при температуре насыщения. Найти плотность выходящей из трубы пароводяной смеси, если давление в котле $p_{абс} = 40$ бар, теплотеплопоглощение трубы 50 кДж/сек; изменением давления по высоте трубы можно пренебречь.

Решение. Количество получающегося пара в трубе равно

$$G_n = \frac{Q}{r} = \frac{50}{1713} = 0,0292 \text{ кг/сек.}$$

Задача IX—9. Пар при давлении $p_{абс} = 66$ бар имеет удельный объем $v = 0,04675 \text{ м}^3/\text{кг}$. Найти температуру, энтальпию и энтропию пара.

Ответ: Пар перегретый; $t = 446^\circ\text{C}$; $i = 3281 \text{ кДж/кг}$; $s = 6,648 \text{ кДж/кг}\cdot\text{град}$.

Задача IX—10. В стальном резервуаре объемом $0,75 \text{ м}^3$ находится сухой насыщенный пар при давлении $p_{1абс} = 10$ бар. Пар подогревается при неизменном объеме, и к концу нагревания давление повышается до $p_{2абс} = 15$ бар. Определить количество затраченного тепла на нагревание.

Решение. Сухой насыщенный пар при $p_{1абс} = 10$ бар имеет удельный объем $v'' = 0,1946 \text{ м}^3/\text{кг}$ и энтальпию $i'' = 2778 \text{ кДж/кг}$. Следовательно, его внутренняя энергия составит

$$u'' = i'' - 10^2 \cdot p_1 v'' = 2778 - 10^2 \cdot 10 \cdot 0,1946 = 2583,4 \text{ кДж/кг.}$$

К концу нагревания пар будет перегрет, причем его энтальпия будет равна (интерполяция по таблицам перегретого пара для $p_{2абс} = 15$ бар и $v = 0,1946 \text{ м}^3/\text{кг}$)

$$i = 3189 + \frac{3211 - 3189}{0,1963 - 0,1930} (0,1946 - 0,1930) = 3199,7 \text{ кДж/кг.}$$

Внутренняя энергия перегретого пара равна

$$u = i - 10^2 \cdot p_2 v = 3199,7 - 10^2 \cdot 15 \cdot 0,1946 = 2907,7 \text{ кДж/кг,}$$

а количество пара в сосуде

$$G = \frac{V}{v''} = \frac{0,75}{0,1946} = 3,86 \text{ кг.}$$

На нагревание было затрачено тепло

$$Q = G (u - u'') = 3,86 (2907,7 - 2583,4) = 1250 \text{ кДж.}$$

Задача IX—11. В стальном резервуаре шарообразной формы с внутренним диаметром 800 мм находится влажный пар, имеющий давление $p_{1абс} = 55$ бар и влажностью 20%. Каково будет давление внутри резервуара, если к нему подведено 6000 кДж тепла? Что произойдет при этом с водой, содержащейся в сосуде? Потерей тепла в окружающую среду пренебречь.

Решение. Удельный объем пара при $p_{1абс} = 55$ бар и $x = 0,80$ составит

$$v_1 = xv'' + (1 - x)v' = 0,8 \cdot 0,03564 + 0,2 \cdot 0,0013021 = 0,02876 \text{ м}^3/\text{кг}.$$

Объем сосуда равен

$$V = \frac{4}{3} \pi r^3 = \frac{4}{3} \pi \cdot 0,4^3 = 0,268 \text{ м}^3.$$

Количество пара в сосуде равно

$$G = \frac{V}{v_1} = \frac{0,268}{0,02876} = 9,32 \text{ кг}.$$

Энтальпия пара в начальный момент

$$i_1 = i' + xr = 1184,9 + 0,8 \cdot 1604,6 = 2467,9 \text{ кДж/кг}.$$

Внутренняя энергия в начальный момент составит

$$u_1 = i_1 - 10^2 p_1 v_1 = 2467,9 - 10^2 \cdot 55 \cdot 0,02876 = 2309,9 \text{ кДж/кг};$$

внутренняя энергия в конечный момент

$$u_2 = u_1 + \frac{Q}{G} = 2309,9 + \frac{6000}{9,32} = 2953,9 \text{ кДж/кг}.$$

Если бы в сосуде после подвода тепла оказался сухой насыщенный пар, то при $v = 0,02876 \text{ м}^3/\text{кг}$ его давление было бы равно

$$p_{2абс} \cong 67 \text{ бар},$$

а его внутренняя энергия

$$u_2'' = i_2'' - 10^2 \cdot p_2 v'' = 2776 - 10^2 \cdot 67 \cdot 0,02876 = 2583,5 \text{ кДж/кг}.$$

При сравнении значений u_2'' и u_2 становится ясно, что в сосуде будет в конечный момент находиться перегретый пар, т. е. вся вода в нем должна испариться.

Чтобы определить конечное давление в сосуде, подсчитаем для произвольных давлений $p_{2абс} = 100$ и 110 бар при $v_2 = 0,02876 \text{ м}^3/\text{кг}$ по таблицам для перегретого пара значение внутренней энергии:

1) для $p_{2абс} = 100$ бар

$$i_2 = 3183 + \frac{(3211 - 3183)(0,02876 - 0,02850)}{0,02915 - 0,02850} = 3194,2 \text{ кДж/кг};$$

$$u_2 = 3194,2 - 10^2 \cdot 100 \cdot 0,02876 = 2906,6 \text{ кДж/кг};$$

Задача IX—15. В цилиндре, закрытом поршнем (рис. IX—10), находится перегретый пар, имеющий начальное давление $p_{1абс} = 23 \text{ бар}$ и температуру 300°C , причем поршень отстоит от дна цилиндра на 1000 мм. Под действием груза, лежащего на поршне, пар сжимается и поршень проходит путь, равный 400 мм. Определить работу, затраченную на сжатие, и количество отведенного тепла.

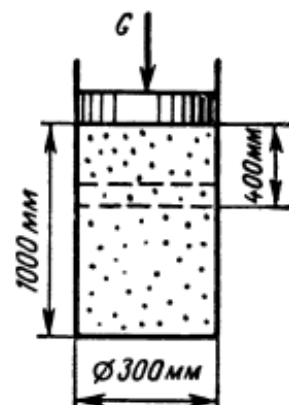


Рис. IX—10

Ответ: $L = 65 \text{ кдж}$; $Q = 447 \text{ кдж}$.

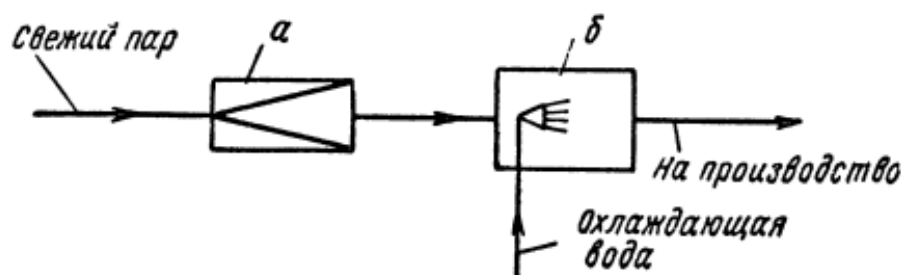


Рис. IX—11

Задача IX—28. На производство необходимо подавать 4 кг/сек пара, имеющего давление $p_{абс} = 5 \text{ бар}$ и температуру 200°C . Сколько свежего пара с параметрами $p_{абс} = 32 \text{ бар}$, $t = 400^\circ \text{C}$ должно подводиться из котлов к редукционно-охладительной установке (РОУ) (рис. IX—11, a — редукционный клапан, b — охладитель), если охлаждение пара производится питательной водой котлов, имеющей давление $p_{абс} = 40 \text{ бар}$ и температуру 100°C ? Потерю тепла РОУ в окружающую среду принять 2% .

Ответ: Количество свежего пара $3,54 \text{ кг/сек}$.

Задача IX—31. В установке для подогрева сетевой воды (системы теплофикации, рис. IX—12) имеются пиковые (a) и основные (b) подогреватели. Первые обогреваются паром, имеющим давление $p_{1абс} = 5 \text{ бар}$ и температуру 250°C , а вторые — паром

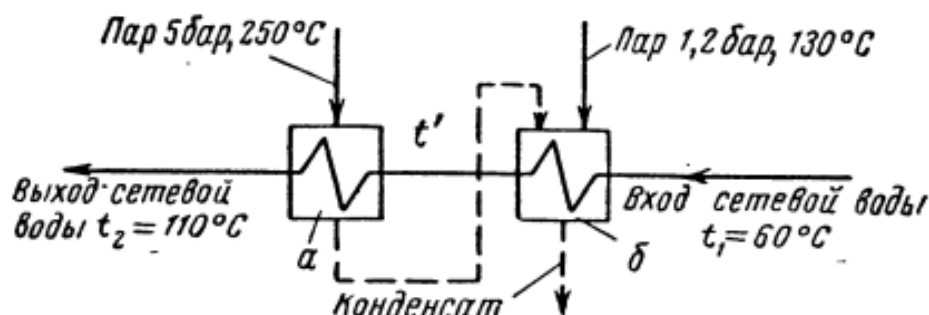


Рис. IX—12

$p_{2абс} = 1,2$ бар и температурой 130°C . Конденсат пиковых подогревателей направляется в основные, где происходит частичное использование его энтальпии. Определить часовые расходы пара на пиковые и основные подогреватели, если:

- 1) количество воды, которую следует подогреть, $G_w = 8$ кг/сек;
- 2) вода в установке подогревается с $t_1 = 60^\circ$ до $t_2 = 110^\circ \text{C}$;
- 3) разность между температурой воды, выходящей из основных подогревателей, и температурой насыщения обогревающего их пара $\Delta t = 8^\circ \text{C}$;
- 4) к.п.д. подогревателей $\eta = 98\%$.

Решение. Температура насыщения пара при $p_{2абс} = 1,2$ бар, $t'' = 104,81^\circ \text{C}$, следовательно, при входе в пиковые подогреватели сетевая вода будет иметь температуру

$$t = 104,81 - 8 = 96,81^\circ \text{C}.$$

Энтальпия пара при $p_{1абс} = 5$ бар и 250°C равна

$$i_5 = 2958 \text{ кдж/кг}.$$

Энтальпия кипящей воды при $p_{1абс} = 5$ бар

$$i'_5 = 640,1 \text{ кдж/кг}.$$

Расход пара на пиковые подогреватели составляет

$$D_5 = \frac{G_w (t_2 - t) 4,1868}{\eta (i_5 - i'_5)} = \frac{8 (110 - 96,81) 4,1868}{0,98 (2958 - 640,1)} = 0,195 \text{ кг/сек}.$$

Энтальпия пара при $p_{2абс} = 1,2$ бар и 130°C

$$i_{1,2} = 2735 \text{ кдж/кг}.$$

Энтальпия кипящей воды при $p_{2абс} = 1,2$ бар

$$i'_{1,2} = 439,4 \text{ кдж/кг}.$$

Суммарный теплосъем с основных подогревателей равен

$$q_{оп} = G_w (t - t_1) 4,1868 = 8 (96,81 - 60) 4,1868 = 1234 \text{ кдж/сек},$$

из которых на конденсат пиковых подогревателей приходится

$$q' = \eta D_5 (i_5 - i'_{1,2}) = 0,98 \cdot 0,195 (640,1 - 439,4) = 38,2 \text{ кдж/сек}$$

и на пар при $p_{2абс} = 1,2$ бар

$$q_{оп} - q' = 1234 - 38,2 = 1195,8 \text{ кдж/сек}.$$

Часовой расход пара на основные подогреватели —

$$D_{1,2} = \frac{1195,8}{0,98 (2735 - 439,4)} = 0,531 \text{ кг/сек}.$$