

ПЗ 7. $s-i$ – диаграмма водяной пари

Задача IX—38. Найти затраченное тепло, работу и изменение внутренней энергии в процессе $p_{абс} = 30 \text{ бар} = \text{const}$, если в начале процесса пар имел влажность 11%, а в конце стал перегретым и его температура повысилась до 500°C . Какой процент тепла был затрачен на первоначальном участке процесса, в конце которого пар превратился в сухой насыщенный?

Ответ: $q = 848 \text{ кДж/кг}$; $l = 165 \text{ кДж/кг}$;
 $\Delta u = 683 \text{ кДж/кг}$; для превращения пара в сухой насыщенный было затрачено 23,1% тепла.

Задача IX—39. В сосуде неизменной емкости находится 1 кг пара с давлением $p_{1абс} = 30 \text{ бар}$ и температурой 600°C . От пара отводится 400 кДж тепла. До каких значений упадут давление и температура пара внутри сосуда?

Решение. На рис. IX—14 изображен процесс $v = \text{const}$, начинающийся в точке 1. Внутренняя энергия для нее будет равна $u_1 = i_1 - 10^2 p_1 v = 3684 - 10^2 \cdot 30 \cdot 0,130 = 3294 \text{ кДж/кг}$.

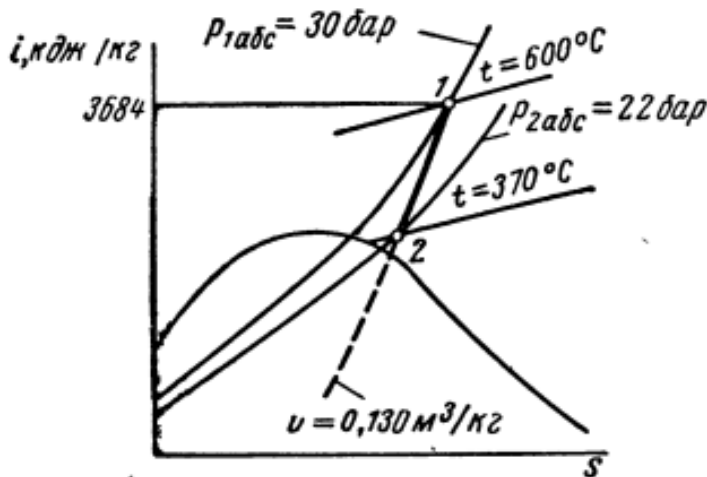


Рис. IX—14

В изохорном процессе теплообмен связан лишь с изменением внутренней энергии. Следовательно,

$$u_2 = u_1 - q = 3294 - 400 = 2894 \text{ кДж/кг}.$$

На изохоре 1—2 берем две точки с давлениями (произвольными) $p_{забс} = 20 \text{ бар}$ и $p_{4абс} = 26 \text{ бар}$ и подсчитываем для них внутреннюю энергию: для $p_{забс} = 20 \text{ бар}$

$$u = 3064 - 10^2 \cdot 20 \cdot 0,130 = 2804 \text{ кДж/кг};$$

для $p_{4абс} = 26 \text{ бар}$

$$u = 3416 - 10^2 \cdot 26 \cdot 0,130 = 3078 \text{ кДж/кг}.$$

Давление в конце изохорного процесса находим интерполяцией

$$p_{2абс} = 20 + \frac{(26 - 20)(2894 - 2804)}{3078 - 2804} = 22 \text{ бар}.$$

Находим на $i-s$ диаграмме точку 2 и по ней $t_2 = 370^\circ \text{C}$.

Задача IX—40. Влажный пар, имеющий давление $p_{абс} = 10 \text{ бар}$ и влажность 10%, сначала подсушивается до сухого насыщенного состояния, а затем перегревается до 300°C . Каковы значения средних изобарных теплоемкостей на обоих участках процесса?

Решение. На рис. IX—15 схематично изображен рассматриваемый изобарный процесс.

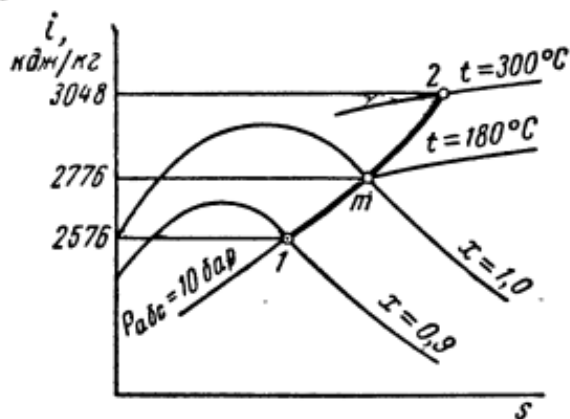


Рис. IX—15

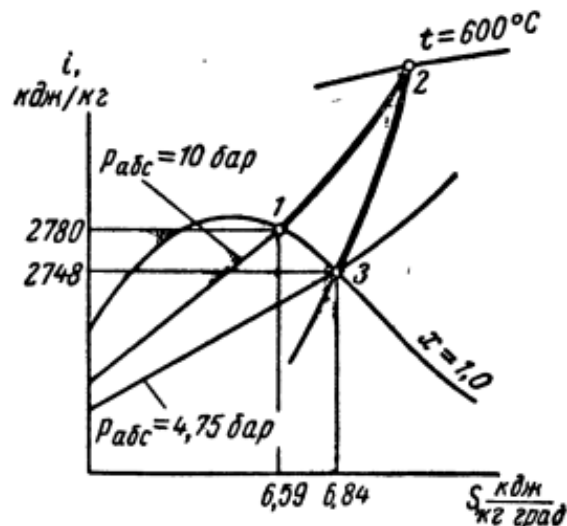


Рис. IX—16

На участке 1 — m средняя изобарная теплоемкость равна

$$\dot{c}_{p \text{ ср}} = \frac{i_m - i_1}{t_m - t_1} = \frac{2776 - 2576}{180 - 180} = \infty \text{ кДж/кг} \cdot \text{град}.$$

На участке перегрева m — 2

$$c_{p \text{ ср}} = \frac{i_2 - i_m}{t_2 - t_m} = \frac{3048 - 2776}{300 - 180} = 2,27 \text{ кДж/кг} \cdot \text{град}.$$

Задача IX—49. Пар совершает сложный процесс:

1) сначала, будучи влажным с $p_{1абс} = 50 \text{ бар}$ и $x_1 = 0,85$, расширяется по изотерме до $p_{2абс} = 5 \text{ бар}$;

2) затем охлаждается при постоянном давлении до первоначальной влажности.

Найти для этого процесса теплообмен с внешней средой, изменение внутренней энергии и работу по величине и знаку.

Схема протекания процесса в $i - s$ -, $p - v$ - и $T - s$ -координатах приведена на рис. IX—18 и IX—19.

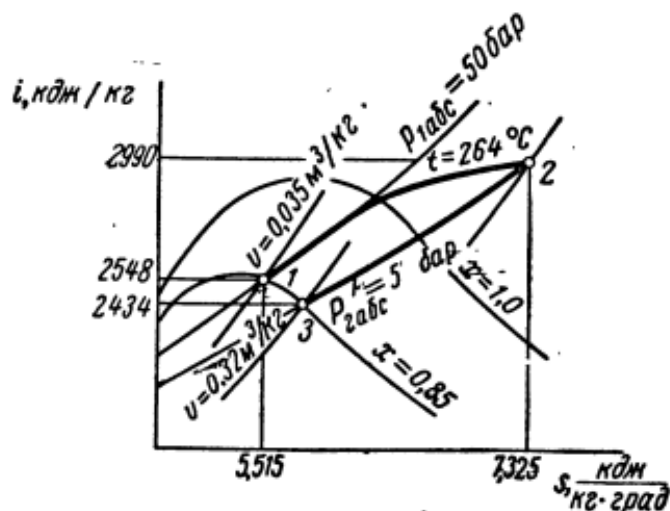


Рис. IX—18

Ответ: $q = 420 \text{ кДж/кг}$; $\Delta u = -99 \text{ кДж/кг}$; $l = 519 \text{ кДж/кг}$.

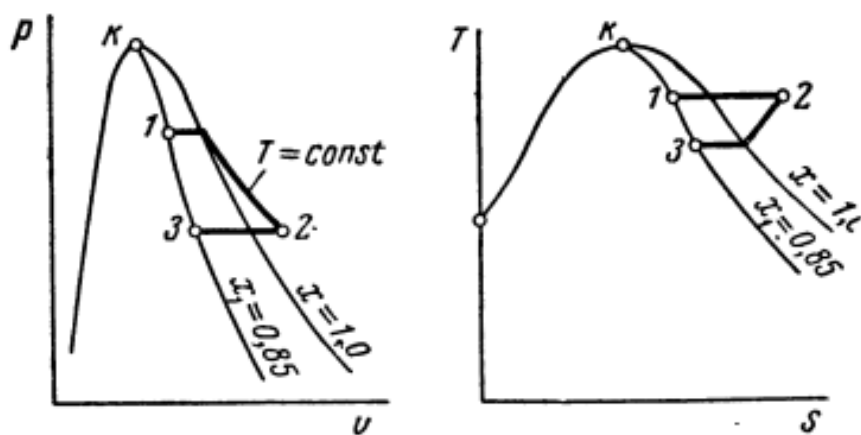


Рис. IX—19

Задача IX—54. Перегретый пар давлением $p_{1абс} = 100$ бар и температурой 350°C дросселируется до $p_{2абс} = 10$ бар. Определить средний дифференциальный дроссель-эффект по величине и знаку.

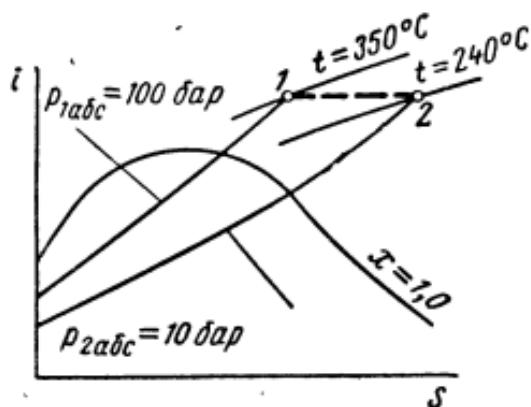


Рис. IX—20

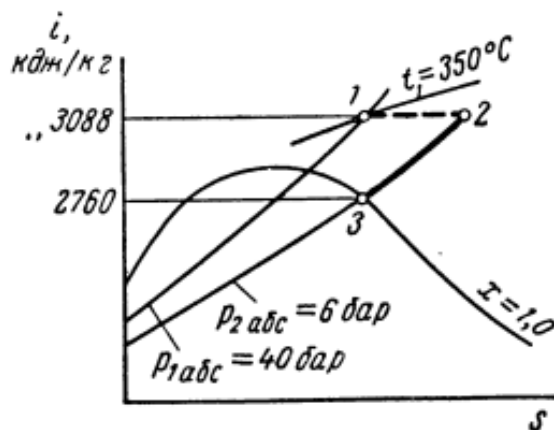


Рис. IX—21

Решение. Для нахождения состояния пара после дросселирования из точки 1 проводим линию $i = \text{const}$ (на рис. IX—20 изображена пунктиром) до пересечения с заданным конечным давлением $p_{2абс} = 10$ бар. По $i-s$ диаграмме находим $t_2 = 240^\circ\text{C}$. Следовательно, средний дифференциальный дроссель-эффект

$$\varepsilon = \frac{t_2 - t_1}{p_{2абс} - p_{1абс}} = \frac{240 - 350}{10 - 100} = 1,22 \text{ град/бар.}$$

Поскольку при дросселировании всегда $\Delta p < 0$, а в данном случае и $\Delta t < 0$, то знак дроссель-эффекта положительный ($\varepsilon > 0$).