

МЕТОДИКА И АЛГОРИТМ РАСЧЕТА ТЕПЛООВОГО НАСОСА

ОБЩАЯ СХЕМА РАСЧЕТА

Выбор наиболее оптимальной конструкции теплового насоса требует сравнения множества вариантов по схемам насосов, фреонам, задаваемым температурным перепадам в теплообменниках. Расчет тепловых насосов традиционно проводится с помощью T, S или p, h – диаграмм рабочих тел (фреонов).

МЕТОДИКА ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОГО РАСЧЕТА ЦИКЛОВ ТЕПЛООВОГО НАСОСА

Целью термодинамического расчета является определение показателей эффективности цикла теплового насоса. В разделе предлагается методика расчета теплонасосных циклов. Исходными данными для расчета являются:

- тепловая нагрузка $Q_{\text{тн}}$, кВт, или расход низкопотенциального теплоносителя $G_{\text{н}}$, кг/с;
- температура низкопотенциального теплоносителя (холодной воды, антифриза или рассола) на входе в тепловой насос $t_{\text{н1}}$, °С;
- температура низкопотенциального теплоносителя (холодной воды, антифриза или рассола) после теплового насоса $t_{\text{н2}}$, °С;
- температура высокопотенциального теплоносителя (горячей воды) на входе в тепловой насос $t_{\text{в1}}$, °С;
- температура горячей воды после теплового насоса $t_{\text{в2}}$, °С;
- температура окружающей среды t_0 , °С;
- перепады температуры на выходе из теплообменников (обычно 3...5 °С) в испарителе $\Delta t_{\text{исп}}$, конденсаторе $\Delta t_{\text{к}}$, переохладителе $\Delta t_{\text{по}}$ (рис. 19);
- температура перегрева пара в промежуточном теплообменнике $\Delta t_{\text{п}}$, °С.



Рис. 19. Температурные схемы теплообменников

Расчет парокомпрессионного теплового насоса (схема № 1)

Схема и расчетный цикл в p, h -диаграмме парокомпрессионного теплового насоса представлены на рис. 6.

Порядок термодинамического расчета схемы следующий.

1. В испарителе теплота от низкопотенциального теплоносителя передается фреону, температура которого должна быть ниже. По температуре $t_{н2}$ и температурному перепаду Δt_n определяется температура испарения фреона:

$$t_n = t_{н2} - \Delta t_n.$$

2. По температуре испарения t_n на правой пограничной кривой p, h -диаграммы фреона (или по таблицам термодинамических свойств хладагента в состоянии насыщения) находится точка 1, для которой определяется энтальпия h_1 и давление испарения p_n .

3. В конденсаторе теплота передается от более горячего фреона к воде. По температуре воды на выходе $t_{в2}$ и температурном перепаде Δt_k определяется температура конденсации фреона:

$$t_k = t_{в2} + \Delta t_k.$$

4. По температуре конденсации t_k на правой пограничной кривой (или по таблицам термодинамических свойств хладагента в состоянии насыщения) находится точка 3, для которой определяется энтальпия h_3 и давление конденсации p_k .

5. На пересечении линии постоянной энтропии S_1 , проходящей через точку 1, и линии изобары p_k , проходящей через точку 3, определяются точка 2а, которая соответствует концу адиабатного сжатия. По диаграмме определяется энтальпия h_{2a} в точке 2а.

6. Адиабатный КПД компрессора η_a равен

$$\eta_a = \frac{h_{2a} - h_1}{h_2 - h_1}; \text{ отсюда } h_2 = h_1 + \frac{h_{2a} - h_1}{\eta_a}.$$

Адиабатный КПД компрессора может быть рассчитан по выражению

$$\eta_a = 0,98 \frac{273 + t_0}{273 + t_k}.$$

По значению энтальпии h_2 и давлению p_k определяется точка 2.

7. По значению энтальпии $h_3 = h_4$ и давлению p_n определяется точка 4.

8. Рассчитываются удельные тепловые нагрузки в узлах теплового насоса:

$$q_{\text{н}} = h_1 - h_4; \quad q_{\text{к}} = h_2 - h_3; \quad l_{\text{сж}} = h_2 - h_1.$$

Правильность расчета определяется проверкой теплового баланса

$$q_{\text{н}} + l_{\text{сж}} = q_{\text{к}}.$$

Дополнительно определяется тепловая нагрузка теплового насоса (теплота, передаваемая на отопление):

$$q_{\text{тн}} = q_{\text{к}},$$

и удельная энергия, потребляемая электродвигателем W :

$$W = \frac{l_{\text{сж}}}{\eta_{\text{э.м}} \eta_{\text{э}}}.$$

10. Определяются показатели энергетической эффективности теплового насоса:

– коэффициент преобразования теплоты

$$\mu = \frac{q_{\text{к}}}{l_{\text{сж}}};$$

– коэффициент преобразования электроэнергии:

$$\mu_{\text{э}} = \eta_{\text{э.м}} \eta_{\text{э}} \mu;$$

– удельный расход первичной энергии

$$\text{ПЭ} = \frac{1}{\eta_{\text{э.м}} \eta_{\text{э}} \eta_{\text{э.с}} \eta_{\text{пер}} \mu}.$$

11. Степень повышения давления в компрессоре

$$\varepsilon = \frac{p_{\text{к}}}{p_{\text{н}}}.$$

12. Производится эксергетический расчет схемы:

– эксергия $e_{\text{н}}$, отданная низкопотенциальным теплоносителем в испарителе:

$$e_{\text{н}} = \tau_{\text{н}} q_{\text{н}},$$

где $\tau_{\text{н}}$ – эксергетическая температура низкопотенциального теплоносителя (значение эксергетической температуры должно быть от 0 до 1):

$$\tau_{\text{н}} = \frac{T_{\text{ср. н}} - (t_0 + 273)}{T_{\text{ср. н}}};$$

средняя логарифмическая температура холодного теплоносителя

$$T_{\text{ср. н}} = \frac{t_{\text{н1}} - t_{\text{н2}}}{\ln \frac{t_{\text{н1}} + 273}{t_{\text{н2}} + 273}}.$$

– эксергия $e_{\text{в}}$, полученная высокопотенциальным теплоносителем в конденсаторе:

$$e_{\text{в}} = \tau_{\text{в}} q_{\text{к}},$$

где $\tau_{\text{в}}$ – эксергетическая температура высокопотенциального теплоносителя:

$$\tau_{\text{в}} = \frac{T_{\text{ср. в}} - (t_0 + 273)}{T_{\text{ср. в}}};$$

средняя логарифмическая температура горячего теплоносителя

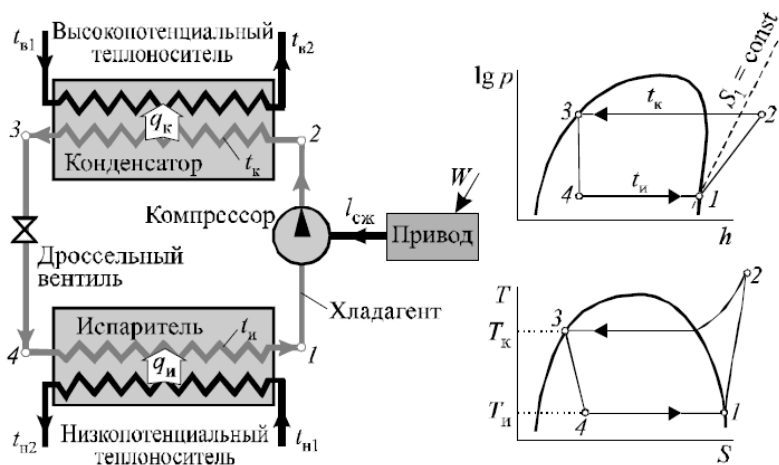
$$T_{\text{ср. в}} = \frac{t_{\text{в2}} - t_{\text{в1}}}{\ln \frac{t_{\text{в2}} + 273}{t_{\text{в1}} + 273}}.$$

– эксергия электроэнергии, потребляемой электродвигателем:

$$e_{\text{э}} = W = \frac{l_{\text{сж}}}{\eta_{\text{э.м}} \eta_{\text{э}}};$$

– эксергетический КПД $\eta_{\text{э}}$ теплового насоса определяется по суммарной эксергии входных $e_{\text{вх}}$ и выходных $e_{\text{вых}}$ потоков:

$$\eta_{\text{э}} = \frac{e_{\text{вых}}}{e_{\text{вх}}} = \frac{e_{\text{в}}}{e_{\text{н}} + e_{\text{э}}}$$



Процесс 1-2 – обратимый процесс сжатия хладагента в компрессоре при постоянной энтропии.

Процесс 2-3 – изотермическая конденсация хладагента в конденсаторе и отдача теплоты высокопотенциальному теплоносителю.

Процесс 3-4 – обратимый процесс расширения хладагента в детандере (устройстве для расширения, обратном компрессору) при постоянной энтропии.

Процесс 4-1 – изотермическое испарение хладагента в испарителе за счет теплоты, отобранной у низкопотенциального теплоносителя.

Рис. 6. Схема (№ 1) и цикл парокомпрессионного теплового насоса:

$t_{\text{в1}}, t_{\text{в2}}, t_{\text{н}}, t_{\text{н2}}$ – температуры высокопотенциального и низкопотенциального теплоносителя на входе и выходе