

## 0.1 Выбор структуры и параметров систем охлаждения

### 0.1.1 Особенности систем охлаждения и постановка задачи оптимального проектирования

Системы охлаждения представляют собой частный случай теплообменных систем, имеющих следующие особенности

1. Холодный поток (хладагент) поступает и выходит из системы в форме одного потока с температурой на входе  $T_x$  и водяным эквивалентом  $W_x$ .
2. Каждое  $i$ -е из охлаждаемых устройств, например, элементов вычислительной системы, характеризуется потоком генерируемой теплоты  $q_i$ , температурой  $T_i$  и коэффициентом теплообмена  $\bar{\alpha}_i$ . Последний равен произведению удельного коэффициента теплообмена  $\alpha_i$  на поверхность контакта  $L_i$ .
3. Хладагент в свою очередь охлаждается в системе регенерации, отдавая теплоту  $\bar{q} = \sum q_i$  окружающему воздуху или воде.

Температура хладагента на выходе

$$\bar{T}_x = T_x^0 + \frac{\bar{q}}{W_x}. \quad (1)$$

Чем выше  $\bar{T}_x$ , (а значит  $T_x^0$ ) тем меньше энергии или поверхности требует система регенерации.

Запишем уравнение энтропийного баланса системы охлаждения

$$\sigma = W_x \ln \frac{\bar{T}_x}{T_x^0} - \sum_i \frac{q_i}{T_i}. \quad (2)$$

Первое слагаемое в правой части — прирост энтропии хладагента, второе — поток энтропии в систему от охлаждаемых устройств,  $\sigma$  — производство энтропии за счет теплообмена.

$$\sigma = \sum_i \int_0^{L_i} \tilde{q}_i(T_x(l), T_i) \left( \frac{1}{T_x(l)} - \frac{1}{T_i} \right) dl. \quad (3)$$

Чем меньше  $\sigma$ , тем меньше отношение  $\bar{T}_x/T_x^0$ , что при заданной разности этих температур соответствует росту  $T_x^0$  и  $\bar{T}_x$ , поэтому минимизация  $\sigma$  при заданных  $q_i$ ,  $T_i$ ,  $\sum \bar{\alpha}_i$  является естественным критерием проектирования системы.

### 0.1.2 Минимизация диссипации в системах охлаждения

Изменение температуры хладагента при контакте с  $i$ -м охлаждаемым устройством характеризуется уравнением

$$\frac{dT_{xi}}{dl} = \frac{\alpha_i}{W_i}(T_i - T_{xi}), \quad T_{xi}(0) = T_{xi}^0. \quad (4)$$

Решение этого уравнения имеет вид

$$T_{xi}(l) = T_i - (T_i - T_{xi}^0)e^{-\frac{\alpha_i l}{W_i}} \quad (5)$$

При этом:

$$\bar{T}_{xi} = \int_0^{L_i} \alpha_i(T_i - T_{xi}(l))dl = W_i(T_i - T_{xi}^0) \left(1 - e^{-\frac{\alpha_i L_i}{W_i}}\right) = T_{xi}^0 + \frac{q_i}{W_{xi}}. \quad (6)$$

Производство энтропии при контакте хладагента с  $i$ -м устройством

$$\begin{aligned} \sigma_i &= \int_0^{L_i} \alpha_i(T_i - T_{xi}^0)e^{-\frac{\alpha_i l}{W_i}} \left( \frac{1}{T_i - (T_i - T_{xi}^0)e^{-\frac{\alpha_i l}{W_i}}} - \frac{1}{T_i} \right) dl = \\ &= W_i \left[ \log \left( T_i - (T_i - T_{xi}^0)e^{-\frac{\alpha_i L_i}{W_i}} \right) + \frac{(T_i - T_{xi}^0)e^{-\frac{\alpha_i L_i}{W_i}} - (T_i - T_{xi}^0) - T_i \ln T_{xi}^0}{T_i} \right]. \end{aligned} \quad (7)$$