

ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ПАРАМЕТРЫ КОМПРЕССИОННО-ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ В РАЗЛИЧНЫХ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ РЕЖИМАХ

Ф.К. АЛЕСКЕРОВ

НПО «Селен» Института Физики АН Азербайджана
370143, г. Баку, ул. Ф. Агаева, 14

В работе рассмотрены вопросы оптимизации температурных параметров компрессионно-термоэлектрических систем (ТЭС) в различных экстремальных режимах. Спроектированы компрессионно-термоэлектрические охладители в режиме максимального понижения температуры. При этом оптимальные значения температуры (T_n) теплового сопряжения каскадов (температура испарителя компрессионного агрегата) оказываются отличными от значений T_n для режима максимального холодильного коэффициента ТЭС. Найденные расчетные формулы для вычисления T_n были использованы при конструировании компрессионно-термоэлектрических охладителей.

Известны полупроводниковые термоэлектрические камеры [1], предназначенные для температурных испытаний различной аппаратуры в лабораторных условиях. Полупроводниковым камерам присущ ряд положительных качеств: небольшие габариты, возможность использования в лабораторных условиях, простота и удобство управления и обслуживания [2]. Из данных [2] следует, что использование в малогабаритных термокамерах каскадного термоэлектрического охлаждения (ТО) требует вследствие малого холодильного коэффициента большой удельной потребляемой мощности (~ 150 Вт·дм⁻³). Рациональным же, видимо, является применение комбинированных каскадных установок, реализующих различные физические принципы охлаждения.

Малогабаритные термокамеры обычно выполняются в виде единого агрегата, в который входят собственно камера, холодильный агрегат и вспомогательное оборудование.

Известно применение воздушных холодильных машин в камерах с минимальной температурой до минус 100 °С, для более низких температур применяют газовые холодильные машины, работающие по циклу Стирлинга, в которых рабочим телом является гелий [3,4].

Из литературных данных следует, что для значений рабочих объемов порядка 20-60 дм³ и тепловых нагрузок в несколько десятков ватт отсутствуют малогабаритные, надежные, простые в эксплуатации системы охлаждения, способные обеспечить понижение температуры в объеме до минус 50 °С. Ряд преимуществ термоэлектрического охлаждения, таких как практически неограниченный ресурс работоспособности, бесшумность, отсутствие движущихся частей, холодильного агента, плавность и простота регулирования холодопроизводительности, высокая точность поддержания заданной температуры в объеме, определяют целесообразность его применения.

Для достижения температуры минус 50-60 °С в объемах в 20-60 дм³ оптимальной системой являются комбинированные компрессионно-термоэлектрические холодильные установки.

Таким образом, необходимость проведения исследований по оптимизации систем, сводящихся к выявлению условий наивысшей температурно-энергетической эффективности при заданной теплоотводящей способности исследуемого агрегата, не вызывала сомнений.

Рассмотрим несколько вариантов оптимизации КТС:

1. Максимальный холодильный коэффициент при реализации температурного режима, удовлетворяющего условию: $T_K^{(min)} > \bar{T}_K > T_{K,T}^{(min)}$, где $T_K^{(min)}$ и $T_{K,T}^{(min)}$ - значения нижних пределов температурных уровней, обеспечиваемых, соответственно, в испарителе компрессионного агрегата и на радиаторах холодных спаев термобатарей (ТБ).
2. Проектирование устройств, обеспечивающих максимальное понижение температуры при тепловых нагрузках, сведенных к минимуму.
3. Режимы между $\varepsilon_{КТ}^{max}$ и $T_{КТ}^{min}$.

Холодильный коэффициент $\varepsilon_{КТ}^{max}$ КТС определяется по формуле:

$$\varepsilon_{КТ} = \frac{Q_0^{ТБ}}{W^K + W^{ТБ}}$$

где $Q_0^{ТБ}$ - выходная холодильная мощность компрессионно-термоэлектрической системы, равная холодильной мощности ТБ; W^K и $W^{ТБ}$ - мощность, потребляемая компрессионным агрегатом и ТБ.

Произведя несложные преобразования, можно получить

$$\varepsilon_{КТ} = \frac{\varepsilon_T \cdot \varepsilon_K}{\varepsilon_K + K(\varepsilon_T + 1)}, \quad (1)$$

где K - коэффициент теплового запаса обычно принимаемый равным 1.1÷1.2 и определяемый из условия

$$K = \frac{Q_0^K}{Q^{ТБ}} \quad (2)$$

Из уравнения (1) следует, что для реализации наиболее экономичной работы компрессионно-термоэлектрической термокамеры следует обеспечивать, во-первых, режим ε_{max} термобатареи, и, во-вторых, работу компрессионного агрегата при некоторой оптимальной промежуточной температуре.

Приравняв нулю производную ε'_{KT} , можно найти условия работы компрессионно-термоэлектрической системы в режиме ε_{max} :

$$-\frac{\varepsilon'_T}{\varepsilon_T(\varepsilon_T + 1)} = \frac{K \cdot \varepsilon'_K}{(\varepsilon_K + K) \cdot \varepsilon_K} \quad (3)$$

В частности, уравнение (3) позволяет определить оптимальную температуру T_n теплового сопряжения компрессионного агрегата.

Зависимости холодильных коэффициентов ε , холодильной Q и электрической N мощности от t_n для различных агрегатов вычислены и приведены в работе автора [5] данной статьи. С достаточно высокой точностью можно положить

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon(T_c) &= d_\varepsilon T_n + b_\varepsilon \\ Q^K(T_c) &= d_Q T_n + b_Q \end{aligned} \right\}, \quad (4)$$

где значения $d_\varepsilon, d_Q, b_\varepsilon$ и b_Q для вышеуказанных агрегатов, вычисленные автором, приведены в [5].

Предполагая, что максимальные режимы работы ТБ и ТКС, то есть

$$\varepsilon_{max}^{(ТБ)} = \frac{1}{T_n - T_0} \cdot \frac{MT_0 - T_n}{(M + 1)}, \quad (5)$$

можно получить после выполнения дифференцирования по T_n :

$$\frac{(M^2 - 1) \cdot T_0}{(MT_0 - T_n) \cdot (MT_n - T_n)} = -\frac{KQ_\varepsilon}{(d_\varepsilon T_n + b_\varepsilon) \cdot (d_\varepsilon T_n + b_\varepsilon + K)} \quad (6)$$

Решая уравнение (6) относительно T_n найдем:

$$T_n = \frac{\Pi_2}{\Pi_1} \cdot \left(1 \pm \sqrt{\frac{1 - \Pi_1 \cdot \Pi_3}{\Pi_2^2}} \right), \quad (7)$$

где

$$\left. \begin{aligned} \Pi_1 &= d_\varepsilon \cdot [Q_\varepsilon T_0 \cdot (M^2 - 1) + KM] \\ \Pi_2 &= T_0 d_\varepsilon \cdot [K - b_\varepsilon \cdot (M^2 - 1)] \\ \Pi_3 &= T_0 \cdot [(M^2 - 1) \cdot b_\varepsilon \cdot (b_\varepsilon + K) \cdot K d_\varepsilon M_0 T] \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

При предварительных расчетах можно исходить из того, что $T'_0 \approx T_0 + 10$ К.

Поэтому уравнение (7) может быть использовано для оценки оптимального значения температуры испарителя компрессионного агрегата при проектном подборе его и осуществлении наладочных работ.

В практике весьма часто возникает задача обеспечения максимального понижения температуры объекта в малых объемах при отсутствии тепловыделений. Проектирование для этих целей компрессионно-термоэлектрического охладителя производится на режим ΔT_{max} , при этом оптимальные значения T_n оказываются отличными от значений T_n для режима $\varepsilon_{max}^{(КТ)}$.

Действительно, из расчета ТБ в этом случае на режим ΔT_{max} следует:

$$Q_1^{(ТБ)} = \frac{ne^2}{R} \cdot \left[\frac{3}{2} T_n^2 - \frac{1}{z} (T_n - T_0) \right], \quad (9)$$

где e – коэффициент термоэдс цепи; z – термоэлектрическая эффективность; R – электрическое сопротивление ветви термоэлемента; n – число термоэлементов в батарее.

Учитывая (2) и (4), получим:

$$K \frac{ne^2}{R} \cdot \left[\frac{3}{2} T_n^2 - \frac{1}{z} (T_n - T_0) \right] = d_Q T_n + b_Q \quad (10)$$

Решая уравнение (10) относительно T_n получим:

$$T_n = \frac{C_1}{2C_2} \cdot \left(1 - \sqrt{\frac{1 - 4 \cdot C_2 \cdot C_0}{C_1^2}} \right), \quad (11)$$

где

$$\begin{aligned} C_0 &= K \frac{ne^2}{R} z T_0 - b_Q; \\ C_1 &= K \frac{ne^2}{R} z + d_Q; \\ C_2 &= \frac{3}{2} K \frac{ne^2}{R} \end{aligned}$$

Так как выражение

$$0 < \frac{n \cdot C_0 C_2}{C_1^2} < 1, \quad (12)$$

то, используя разложение в ряд Тейлора

$$\left(\frac{1 - 4 \cdot C_2 \cdot C_0}{C_1^2} \right)^{1/2} = 1 - \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{4 \cdot C_2 \cdot C_0}{C_1^2} \right) - \frac{1}{4} \left(\frac{4 \cdot C_2 \cdot C_0}{C_1} \right)^2, \quad (13)$$

получим, пренебрегая 3-м членом с погрешностью, не превышающей 7-10%:

$$T_n = \frac{K \frac{ne^2}{R} z T_0 - b_0}{K \frac{ne^2}{R} z + d_0} \quad (14)$$

Уравнения (10) и (14) были использованы при предварительных расчетах конструкций различных вариантов компрессионно-термоэлектрических холодильников в объеме до 60 дм³ и температур до минус 50°С.

- [1] Ю.Н. Цветков, А.Г. Щербина, Е.Г. Покорный, А.П. Садииков, Ф.Л. Эгмет, А.А. Бердин. Холодильная техника, 1971, № 1, с. 6-8.
- [2] И.В. Зорин, Э.Д. Зорина. В кн. «Термоэлектрические холодильники и генераторы», Л. «Энергия», 1973, с. 136.
- [3] В.Д. Вайнштейн, В.М. Канторович. В кн. «Низкотемпературные холодильные установки», М., «Пищевая промышленность», 1972, с. 351.

- [4] А.М. Архаров, К.С. Буткевич. В кн. «Техника низких температур», М., «Энергия», 1976, с. 511.
- [5] Ф.К. Алескеров. Диссертационная работа «Малогабаритные каскадные и компрессионно-термоэлектрические термостаты для температур минус 50 – плюс 80°С.», 1987, с. 158.

F.K. Ələskərov

KOMPRESSIÖN-TERMÖELEKTRİK SİSTEMİ SOYUDUCULARIN MÜXTƏLİF EKSTREMAL REJİMLƏRDƏ TEMPERATUR PARAMETRLƏRİ

Məqələdə kompress-termoelektrik sistemlərin müxtəlif ekstremal rejimlərdə temperatur parametrlərinin optimizə məsələləri öyrənilmişdir. Maksimum aşağı temperatur rejimində kompression-termoelektrik soyuducuları hesablanmışdır. Bu zaman kaskadlar arası temperaturun optimal qiymətləri (T_n) T_n -nin maksimum soyutma əmsalı rejimindəki qiymətlərindən fərqlidir. Temperaturun (T_n) hesablanması üçün tapılmış formulalar kompression-termoelektrik soyuducuların yaradılmasında istifadə edilmişdir.

F.A. Aleskerov

TEMPERATURE PARAMETERS OF COMPRESSIONAL-THERMOELECTRIC SYSTEMS AT DIFFERENT EXTREME REGIMES

Problems of the optimization of temperature parameters of compressional-thermoelectric systems (CTS) are considered at different extreme regimes. Compressional-thermoelectric coolers have been projected at the regime of the maximum temperature lowering. Then optimum values of the temperature (T_n) of the thermal integration of cascades (the temperature of the evaporator in the compressional set) differ from values T_n for the regime of the maximum cooler coefficient of CTS. Obtained formulas for the calculation of values T were used at designing of compressional-thermoelectric coolers.