

несовпадающим с требованиями по степени сухости воздуха (т.е. с температурой точки росы), появляется возможность полностью использовать энергию горячего потока для подогрева.

Л и т е р а т у р а

1. Поляков А.А., Лазарев В.И., Ильина Н.И. Оптимизация систем термостатирования с вихревыми трубами. - В сб.: Исследовательские работы по повышению эффективности холодильного оборудования. - М.: ВНИИХолод-маш, 1977, с. 163-183.
2. Бобровников Г.Н., Поляков А.А., Лепявко А.П., Ильина Н.И. Современное состояние и возможности применения вихревых труб в холодильной технике и в системах кондиционирования. - М.: ЦИНТИХИМНЕФТЕМАШ, 1978.
3. Поляков А.А. Исследование работы вихревых труб на влажном воздухе. См. настоящий сборник.

УДК 621.532.527

Л.И.Анатычук, Г.А.Смоляр

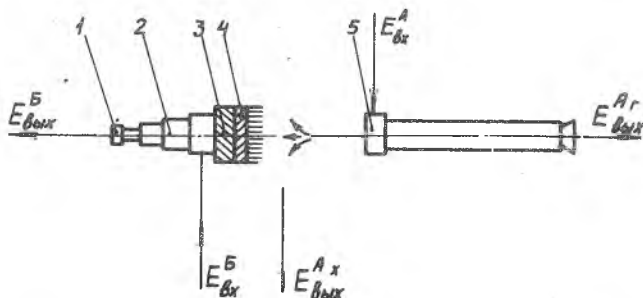
АНАЛИЗ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОМБИНИРОВАННОГО ОХЛАЖДАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА НА ОСНОВЕ ЭФФЕКТОВ ПЕЛЬТЬЕ И РАНКА

Термоэлектрические охладители (ТЭО) и вихревые температурные разделители соответствуют основным требованиям, предъявляемым к устройствам летательных аппаратов (ЛА) [1-4].

Применение ТЭО в качестве оконечного каскада генератора холода позволяет обеспечить охлаждение элементов радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) ЛА, что существенно снижает требования к величине потребной холодопроизводительности [6] и упрощает конструкцию РЭА. Эффективность отвода тепла с горячего спая ТЭО вихревой трубой определяется режимами работы ТЭО.

Как указывалось в [5, 7], наиболее объективным показателем совершенства всего комбинированного охлаждающего устройства (КОУ)

и отдельных его частей является эксергетический к.п.д. (η_e).



Р и с. 1. Комбинированное охлаждающее устройство: 1 - объект охлаждения ТЭО, 2, 4 - каскадная термобатарея, 3 - цоколь ТЭО, 4 - радиатор ТЭО, 5 - вихревая труба

Анализируя КОУ (рис. 1) с позиций эксергетического метода термодинамического анализа [5], можно записать выражение для определения эксергетического к.п.д. рассматриваемого устройства.

$$\eta_e^{КОУ} = \frac{E_{вых}^A + E_{вых}^B}{E_{вх}^A + E_{вх}^B}, \quad (1)$$

где $E_{вых}^A = E_{вых}^{Ax} + E_{вых}^{Ar}$ - эксергия потоков, отводимых из ВТ;

$E_{вых}^B = Q_0 \frac{T_x - T_{oc}}{T_x}$ - эксергия теплового потока, отведенного от холодного спая ТЭО [6]; $E_{вх}^A$ - эксергия потока воздуха, входящего в КОУ;

$E_{вх}^B = W_{ТЭО}$ - эксергия электрической энергии, подводимой к ТЭО.

Так как η_e любого трансформатора тепла

$$\eta_e = \frac{E_{вых}}{E_{вх}} = \frac{E_{вх} - \mathcal{D}}{E_{вх}}, \quad (2)$$

где \mathcal{D} - потери от необратимости [5], то из выражений (1) и (2) следует:

$$\eta_e^{КОУ} = \frac{E_{вх}^{А ВТ} \eta_e^{ВТ} + W_{ТЭО} \eta_e^{ТЭО}}{E_{вх}^A + W_{ТЭО}}, \quad (3)$$

где $\eta_e^{ВТ}$ - эксергетический к.п.д. ВТ; $\eta_e^{ТЭО}$ - эксергетический к.п.д. ТЭО.

Известно, что необратимые потери в ВТ ($\mathcal{D}_{ВТ}$) объясняются несовершенством механизма турбулентного переноса энергии при взаимодействии осевого и периферийного вихрей в ВТ [2], а необратимые потери в ТЭО ($\mathcal{D}_{ТЭО}$) - выделением Джоулева тепла и теплопроводностью по конструкции ТЭО [3].

Согласно [5] эксергия потока рабочего тела

$$E_{\text{ex}}^A = G e_m,$$

где G - масса потока (расход), $e_m = e_c = i_c - i_{ac} - T_{oc}(s_c - s_{oc})$ - удельная эксергия - функция энтальпии и энтропии потока по отношению к окружающей среде, а

$$\eta_e^{\text{вт}} = \frac{\mu e_x + (1-\mu) e_r}{e_c}.$$

Значения величин температур и расходов холодного и горячего потоков ВТ, а также величины расхода входящего в ВТ потока газа в зависимости от природы газа, степени расширения, температуры вводимого потока, геометрических размеров ВТ в аналитической форме получены проф. А.П.Меркуловым [2].

Зная T_x и требуемую холодопроизводительность ВТ (определяемую величиной электрической мощности, подводимой к ТЭО, и условиями теплосъема), можно определить требуемые геометрические, размеры ВТ (или системы вихревых труб).

Задача термодинамической оптимизации КОУ при наличии каких-либо габаритно-массовых ограничений сводится, таким образом, к определению оптимальных величин:

$$T_x^{\text{всо}} = T_r^{\text{тэо}};$$

$$Q_o^{\text{всо}} T_x^{\text{всо}} = W_{\text{тэо}}.$$

При заданном уровне холодопроизводительности ТЭО

$$Q_z^{\text{тэо}} = Q_o \frac{T_x - T_{oc}}{T_x T_r^{\text{тэо}}}$$

величины $W_{\text{тэо}}$ и $T_r^{\text{тэо}}$ должны определяться с помощью $\eta_e^{\text{тэо}}$.
 Причем, как указывалось в [5],

$$\eta_e^{\text{тэо}} = \varepsilon \varphi_e,$$

где $\varphi_e = \frac{T_x - T_{oc}}{T_x}$ - температурная функция.

Из рассмотрения выражения (3), с учетом остальных выражений, следует: η_e^{kou} будет достигать максимальных значений при реализации оптимальной последовательности величин температур T_i в диапазоне $T_{вх} \dots T_x^{TЭО}$.

Дополнительное наложение габаритно-массовых или конструктивных ограничений на блоки КОУ (ВТ и ТЭО) вызывает нарушение оптимальной последовательности величин T_i а, следовательно,

$$\left(\eta_e^{kou}\right)_{\text{раб}} < \left(\eta_e^{kou}\right)_{T/q}^{\text{max}}$$

Для нахождения величины $\left(\eta_e^{kou}\right)_{T/q}^{\text{max}}$ необходимо выражение (3) решать относительно T с учетом влияния масштабного фактора.

В составе КОУ, работающего в оптимальном режиме, ВТ и ТЭО могут работать в диапазонах

$$\eta_e^{\Delta T_{\text{max}}} \leq \eta_e^{TЭО}, \quad \eta_o^{ВТ} \leq \left(\eta_e^{\text{max}}\right)$$

Причем, режимы работы ТЭО и ВТ определяются как условиями их эксплуатации, так и налагаемыми габаритно-массовыми ограничениями.

Необходимость учета большого количества факторов, влияющих на эффективность работы КОУ, обуславливает необходимость рекомендации метода последовательных приближений с помощью машинного программирования для определения оптимальных энергетических характеристик комбинированных охлаждающих устройств.

Л и т е р а т у р а

1. Мартыновский В.С., Шаленый Э.Г., Хирич И.Я. Низкотемпературное комбинированное охлаждающее устройство. - Изв. вузов. Энергетика, 1969, № 10, с. 49-53.
2. Меркулов А.П. Вихревой эффект и его применение в технике. - М.: Машиностроение, 1969, 187 с.
3. Иоффе А.Ф., Стилбанс Л.С., Иорданшвили Е.К., Ставицкая Т.С. Термоэлектрическое охлаждение. - М.-Л.: АН СССР, 1956, 107 с.
4. Вайнер А.Л. Каскадные термоэлектрические источники холода. - М.: Советское радио, 1976, 136 с.

5. Б р о д я н с к и й В.М. Эксергетический метод термодинамического анализа. - М.: Энергия, 1973, 296 с.
6. О с и п о в Э.В. Твердотельная криогеника. - Киев: Наукова думка, 1977, 234 с.
7. В о р о н и н Г.И. Конструирование машин и агрегатов систем кондиционирования. - М.: Машиностроение, 1978, 540 с.

УДК 621.578; 621.572

А.И.Азаров, В.А.Калюжный

**СОПОСТАВЛЕНИЕ ВИХРЕВЫХ, ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ
И КОМБИНИРОВАННЫХ ГЕНЕРАТОРОВ ХОЛОДА
МЕТОДОМ ИНТЕГРАЛЬНОЙ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА**

Сочетание ВТ и полупроводниковой термобатареи позволяет создавать комбинированные устройства с существенно новыми эксплуатационными возможностями и свойствами [1]. Однако для обоснованного сравнения комбинированного генератора холода с вихревым и термоэлектрическим вариантами и выбора предпочтительного необходимо провести их сравнительную оценку.

Цель настоящей работы состояла в сопоставлении двух конкурирующих образцов - комбинированного и термоэлектрического, которые в дальнейшем мы будем называть "первый образец" и "второй образец" соответственно.

В каждом из исследуемых образцов были использованы по четыре однотипных термоэлектрических модуля, содержащих по 12 термопар, ветви которых имеют диаметр $6 \cdot 10^{-3}$ м и высоту $2 \cdot 10^{-3}$ м. Параметр термоэлектрической добротности модулей $Z = 2 \cdot 10^{-3} \text{K}^{-1}$. Охлаждение горячих спаев термобатареи осуществлялось проточной водой с начальной температурой 293К, расход воды составлял $1,1 \cdot 10^{-2}$ кг/с.

Особенность конструкции нового образца состоит в том, что внутреннее обребрение камеры энергетического разделения, представляющей собой заглушенный горячий конец ВТ [2], образовано пакетом плоских медных диафрагм толщиной $1,4 \cdot 10^{-4}$ м.