

Охрем В.Г.

Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Черновицкий факультет, Харьков, Украина

E-mail: [okhrem@ukr.net](mailto:okhrem@ukr.net)

Из термоэлектрических явлений: Зеебека, Пельтье и Томсона [1-3] в настоящее время применяются только два первых. Эффект Зеебека используется для создания генераторов термоэдс, Пельтье – для получения холода. Термоэлектрические генераторы и холодильники широко используются для научных и технических целей [1,2], а эффект Томсона (он описан, например, в [3]) применения не нашел. Поэтому настоящая работа посвящена поиску возможности использованию указанного эффекта для получения холода. В работе рассчитана глубина охлаждения и предложен холодильный элемент (ХЭ), рабочим эффектом которого является эффект Томсона. Примененную методику можно использовать и для расчета других рабочих характеристик ХЭ.

Рассмотрим далее гальванотермомагнитное (ГТМ) охлаждение, частично рассмотренное в [4]. Его особенностью является зависимость термоэдс, а, следовательно, и рабочих характеристик от *umkehr*-эффекта. Эта зависимость весьма существенна для таких материалов как висмут или висмут-сурьма в области азотных температур. В указанной работе исследованы выражения для холодильного коэффициента, холодопроизводительности и максимального снижения температуры ГТМ ХЭ, показано, что они зависят от *umkehr*-эффекта. В расчетах будем считать, что все кинетические коэффициенты термоэлектрика постоянны, т.е. не зависят от координат и температуры. Положим для простоты, что температура одномерна. Тогда в стационарном случае распределение температуры в одной из ветвей ХЭ *n*- или *p*- типа (рис. 1) будет удовлетворять уравнению

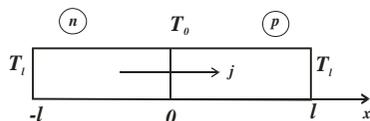


Рис. 1 Принципиальная схема ХЭ.

$$\kappa_i \frac{d^2 T_i}{dx^2} - \tau_i \cdot j_i \cdot \frac{dT_i}{dx} + \rho_i \cdot j_i^2 = 0, \quad (1)$$

где  $T_i$  – температура,  $j_i$  – плотность электрического тока,  $\kappa_i$  – удельная теплопроводность,  $\tau_i$  – коэффициент эффекта Томсона, который в этом случае равен  $\tau(H) = \alpha(-H) - \alpha(H)$  [4], где  $\alpha(H)$  и  $\alpha(-H)$  – термоэдс при прямом ( $H$ ) и обратном ( $-H$ ) направлениях магнитного поля,  $\rho_i$  – удельное сопротивление,  $i$  – индекс, который означает  $p$  или  $n$  ветвь ХЭ.

Уравнение (1) совместно с граничными условиями (см. рис 1):

$$T_n(0) = T_p(0) = T_0, \quad T_p(l) = T_n(-l) = T_b, \quad (2)$$

где  $l$  – длина ветви,  $T_0$  – температура стыка ветвей, а  $T_l = T_{-l}$  – температуры «горячих» концов ветвей. Решение задачи (1), (2) для  $p$  ветви имеет вид:

$$T_p = T_0 - \left( \Delta T - \frac{b_p}{\alpha_p} \ell \right) \frac{1 - e^{\alpha_p x}}{1 - e^{\alpha_p \ell}} - \frac{b_p}{\alpha_p} x, \quad (3)$$

а для  $n$ -ветви распределение температуры будет таким

$$T_n = T_0 - \left( \Delta T - \frac{b_n}{\alpha_n} \ell \right) \frac{1 - e^{\alpha_n x}}{1 - e^{-\alpha_n \ell}} - \frac{b_n}{\alpha_n} x \quad (4)$$

где  $\Delta T$  – перепад температуры вдоль ветвей, а

$$a_p = \frac{\tau_p}{k_p} j, \quad b_p = \frac{\rho_p}{k_p} j^2, \quad \text{и} \quad a_n = \frac{\tau_n}{k_n} j, \quad b_n = \frac{\rho_n}{k_n} j^2.$$

Тогда в каждой из ветвей ХЭ распределение температуры будет удовлетворять уравнению (1) с граничными условиями (2). Температуры будут определяться выражениями (3) и (4).

Для таких термоэлектриков как, например, висмут или висмут-сурьма, для которых  $\alpha(H) \neq \alpha(-H)$  – это и есть *umkehr*-эффект. Более того, при изменении направления магнитного поля на противоположное термоэдс может даже изменить знак на противоположный.

С учетом указанного неравенства при постоянстве термоэдс будем иметь

$$\tau(H) = \alpha(-H) - \alpha(H).$$

Для термоэлектриков *p*- и *n*- типа проводимости получим:

$$\tau_p(H) = \alpha_p(-H) - \alpha_p(H),$$

$$\tau_n(H) = \alpha_n(-H) - \alpha_n(H).$$

В [4] предложен ГТМ ХЭ, ветви которого изготовлены из одного и того же материала, обладающего *umkehr*-эффектом, но различным образом ориентированы в магнитном поле. При условии, что одна ветвь повернута относительно другой на угол  $180^\circ$  (вокруг длинной оси ветвей) будем иметь  $\tau_p = -\tau_n$ . Пусть  $\tau_p = 50 \text{ мкВ/К}$  и  $T_l = 80 \text{ К}$ , тогда при тех же размерах, что и выше, и при тех же теплопроводности и удельном сопротивлении зависимость  $T_0$  от плотности тока будет иметь вид, представленный на рис. 2.

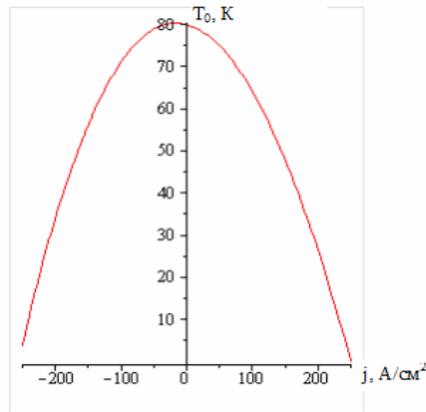


Рис. 2. Зависимость температуры  $T_0$  от плотности тока ГТМ ХЭ

Из рисунка видно, что охлаждение имеет место, как при положительном, так и при отрицательном направлении тока, и оно весьма существенно. Конечно, этот результат нужно воспринимать с осторожностью, поскольку  $\tau$  может быть постоянным в не очень широком интервале температур.

Отметим одно очень важное достоинство описанного ГТМ ХЭ. Оно касается материала ветвей. Во-первых, материал ветвей – это висмут, технология получения которого хорошо отработана. Во – вторых, и это – главное, ветви изготовлены из одного и того же материала.

Что же касается физики, то можно утверждать, что *umkehr*-эффект (эффект Томсона) и эффект Пельтье сильно ослабляют эффекты теплопроводности и Джоуля, что и приводит к значительному усилению эффекта охлаждения.

Полученные результаты являются оригинальными и не до конца понятыми с физической точки зрения. Теория, которая была развита А.Ф. Йоффе, построена на том, что есть конкуренция эффектов Джоуля, теплопроводности и Пельтье, и существует некий оптимальный ток, при котором перепад температуры достигает максимального значения. В изложенной выше теории этого нет. Глубина охлаждения с ростом тока увеличивается, и этот результат еще предстоит понять. Для этого нужны также и эксперименты, которые автором не проводились. Ведь истинность всякой теории может быть подтверждена только экспериментом. Эксперименты можно выполнить на монокристаллах висмута в магнитном поле при азотных температурах. И если теория подтвердится, то это будет подтверждением возможности эффективного использования явления Томсона для целей охлаждения.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] А.Ф. Йоффе Полупроводниковые термоэлементы.- М.-Л.: Из-во АН СССР, 1960.- 188 с.
- [2] Л.А. Анатычук Термоэлементы и термоэлектрические устройства. Справочник Киев. Наукова думка, 1979. – 767 с.
- [3] Л.С. Стыльбанс Термоэлектрические явления. В сб. Полупроводники в науке и техники. Т. 1.стр. 113-132. Издательство АН СССР, 1957, 471с.
- [4] Ащеулов А.А., Охрем В.Г., Охрем Е.А. // Термоэлектричество. 2002. № 4. С. 28.