

УДК 371.3:53

Л. А. ВЕЛИЧКО, Н. Н. ВОРСИН, Т. Л. КУШНЕР

Брест, БрГТУ

**МЕТОДИКА ОБЪЯСНЕНИЯ РАБОТЫ ТЕРМОЭЛЕМЕНТА
НА ОСНОВАНИИ ВТОРОГО ЗАКОНА ТЕРМОДИНАМИКИ**

Закон сохранения энергии утверждает, что энергия как свойство материи может переходить из одного вида в другой, но он при этом ограничивает преобразование энергии из одной формы в другую и использование энергии. Теоретический курс физики включает лекции, тема которых посвящена переходу тепловой энергии в электрическую и обратно. Это так называемые явления термоэлектричества [1, с. 481].

Традиционно на лекциях объясняют различие электронных проводников концентрацией свободных электронов и работой выхода электрона в вакуум. Затем рассматривают замкнутую электрическую цепь (рисунок 1) из двух разнородных металлов Me(A), Me(B), приведенных в два контакта.

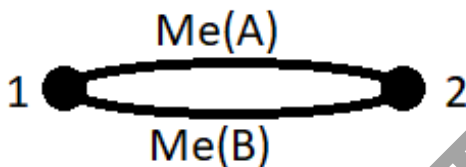


Рисунок 1 – Схема термопары:
1, 2 – спаи термопары

В месте контакта (спае) расстояние между поверхностями металлов порядка $2 \cdot 10^{-10}$ м. Электрон, покидающий металл (A) с концентрацией $n_0(A) > n_0(B)$, переходит непосредственно в металл (B), при этом металл (A) заряжается положительно, а металл (B) – отрицательно.

Возникает контактная разность потенциалов. Если спаи находятся в тепловом равновесии, то сумма разностей потенциалов равна нулю. Если бы это было не так, то была бы возможность создать тепловую машину без холодильника, что противоречит второму закону термодинамики.

Тепловое равновесие спаев можно нарушить, поместив их в среды с разными температурами (рисунок 2).

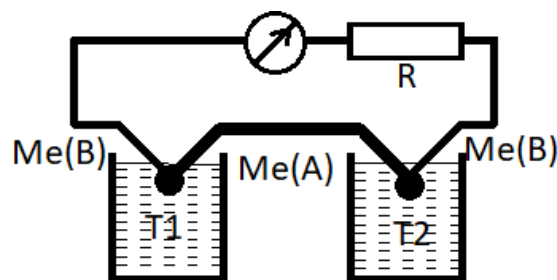


Рисунок 2 – Термопара с «нарушенным» тепловым равновесием

Металл (В) разрезан, и к концам его подсоединен потенциометр, показания которого отличны от нуля, т. е. сумма разностей потенциалов на спаях в этом случае

$$u = \frac{\varepsilon_t}{e} = \frac{k}{e} \ln\left(\frac{n_0(A)}{n_0(B)}\right)T_1 + \frac{k}{e} \ln\left(\frac{n_0(B)}{n_0(A)}\right)T_2 = \frac{k}{e} \ln\left(\frac{n_0(A)}{n_0(B)}\right)(T_1 - T_2) \neq 0. \quad (1)$$

Для большинства металлов множитель $\frac{k}{e} \ln\left(\frac{n_0(B)}{n_0(A)}\right)$ не зависит от температуры, его можно принять за константу и обозначить α . Уравнение (1) запишется в виде

$$u = \frac{\varepsilon_t}{e} = \alpha \cdot \Delta T = \alpha \cdot (T_1 - T_2). \quad (2)$$

Если учесть сопротивление цепи $r_{\text{ц}}$, то напряжение $u = \varepsilon_t - I \cdot r_{\text{ц}}$. По внешнему сопротивлению R , включенному в цепь, проходит термоток I , и на сопротивлении R выделяется полезная электрическая мощность. Можно предложить уточняющий рисунок 3 [2, с. 312]. И все-таки остается открытым вопрос о работе термоэлемента, когда термопара является вариантом термоэлемента.

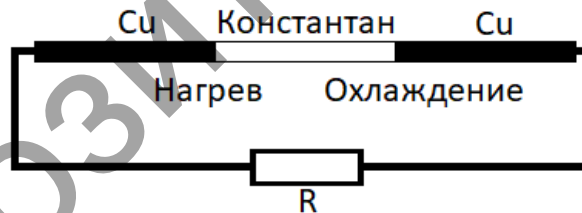


Рисунок 3 – Схема термоэлемента

Для уяснения работы термоэлемента предложим схему на рисунке 4, т. е. работу термоэлемента смоделируем работой тепловой машины. Представим термоэлемент состоящим из двух термостолбиков (1), включенных последовательно с помощью соединительных элементов (2). Материалы столбиков – металлы Me1 и Me2. Соединительные элементы расположены непосредственно на спаях, имеющих температуры T_{Γ} и $T_{\text{Х}}$, чтобы исключить тепловые потери на этих элементах. К соединительным элементам на холодном спае подключена полезная нагрузка R . Если к горячему спаю подвести поток тепла Q_{Γ} , от холодного спая отвести поток теплы $Q_{\text{Х}}$, то между спаями термоэлемента создается разность температур $\Delta T = T_{\Gamma} - T_{\text{Х}}$ и возникает термоэдс ε_t . В замкнутой цепи потечет термоток I . Полезная

мощность $W_{ТЭ}$, вырабатываемая термоэлементом, исходя из закона сохранения энергии, есть разность между подведенным и отведенным в единицу времени количествами тепла.

Термоэлемент можно характеризовать коэффициентом полезного действия как отношение вырабатываемой электрической мощности к тепловому потоку, подводимому к горячему спаю.

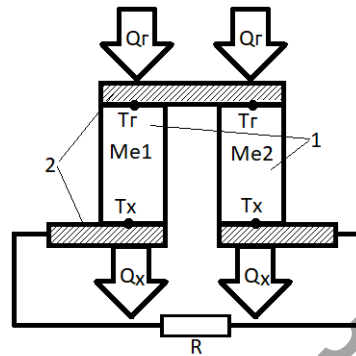


Рисунок 4 – Схема термоэлемента с моделью работы тепловой машины

КПД термоэлемента можно выразить $\eta \approx \Delta T/T_G$, умноженное на дополнительный «коэффициент». Множитель $\Delta T/T_G$ есть КПД тепловой машины, работающей по циклу Карно. КПД термоэлемента ниже КПД цикла Карно по причине существования необратимых потерь, обусловленных конечной теплопроводностью материалов термостолбиков, а также выделением тепла Джоуля при прохождении тока по внутреннему сопротивлению термоэлемента и по сопротивлению соединительных элементов.

Таким образом, использование модели тепловой машины при выяснении работы термоэлемента, т. е. превращения тепловой энергии в электрическую, облегчает понимание студентами этого процесса. Если по цепи с равными температурами спаев пропустить ток такого же направления, как и направление термотока, то происходит охлаждение того спая, который был горячим при возникновении термотока, и нагрев того спая, который был холодным (эффект Пельтье), т. е. имеет место процесс, обратный выработке термоэдс. Так реализуется модель теплового насоса (или холодильника) [3, с. 258].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сивухин, Д. В. Общий курс физики : учеб. пособие : в 5 т. / Д. В. Сивухин. – М. : Наука, 1983. – Т. 3 : Электричество. – 687 с.
2. Поль, Р. В. Учение об электричестве / Р. В. Поль. – М. : Физматгиз, 1962. – 516 с.
3. Термоэлектрические генераторы / А. Р. Регель [и др.] ; под ред. А. Р. Регеля. – М. : Атомиздат, 1976. – 318 с.