

УДК 537.322.15

Проектирование и создание системы охлаждения на основе элемента Пельтье

Хуциева С.И., студент

*Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана, СЭЛФ
кафедра «Холодильная, криогенная техника. Системы кондиционирования и
жизнеобеспечения»*

Ципун А.В., студент

*Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана, СЭЛФ
кафедра «Холодильная, криогенная техника. Системы кондиционирования и
жизнеобеспечения»*

Юдилевич В.А., студент

*Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана, СЭЛФ
кафедра «Холодильная, криогенная техника. Системы кондиционирования и
жизнеобеспечения»*

*Научные руководители: Поздышев М.Л., к.т.н., доцент кафедры «Физика»
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана*

*Скуйбин Б.Г., к.ф.-м.н., доцент кафедры «Физика»
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана*

bauman@bmstu.ru

Удобным устройством для охлаждения небольших физических объектов является элемент Пельтье. Элемент Пельтье – термоэлектрический преобразователь, принцип действия которого основан на эффекте Пельтье: возникновении разности температур при протекании электрического тока через контакт разнородных металлов или полупроводников. Элемент Пельтье состоит из последовательно соединенных пар полупроводников n и p-типа. При прохождении электрического тока в месте контакта двух разнородных проводников выделяется или поглощается тепло пропорционально прошедшему количеству электричества, тем самым возникает разность температур.

Достоинствами элемента Пельтье являются небольшие размеры, отсутствие каких-либо движущихся частей, шума, а также газов и жидкостей.

В ходе работы была поставлена задача: разработать систему охлаждения рубина, массой около 10 г, до температур порядка минус 40 °С.

Произведен расчет необходимых параметров ячейки.

Для этого необходимо определить требуемое значение величины холодопроизводительности (Q_c), которая определяется двумя составляющими: холодопроизводительность, необходимая для установления требуемой температуры объекта и холодопроизводительность, необходимая для компенсации теплонатекания из окружающей среды через стенки камеры.

Исходные данные для расчета:

Объект, рубин, помещается в камеру из пеноплекса (коэффициент теплопроводности – 0.03 Вт / мК) толщиной 2 см. Образец охлаждается до температуры минус 40 °С при температуре окружающей среды +20 °С. Время охлаждения – 15 мин (900 сек.).

$T_c = -40\text{ °С} = 233\text{ К}$ - заданная температура в камере;

$T_a = 20\text{ °С} = 298\text{ К}$ - температура окружающей среды;

$\Delta T = T_a - T_c = 20 + 40 = 60\text{ °С}$.

$M = 10\text{ г}$ - масса охлаждаемого объекта;

$C\left(\frac{\text{Дж}\cdot\text{К}}{\text{кг}}\right)$ - теплоемкость объекта, $\rho\left(\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}\right)$ - плотность объекта;

Рубин: $C = 880\frac{\text{Дж}\cdot\text{К}}{\text{кг}}$, $\rho =$

$4000\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$;

T_h - температура горячей стороны модуля

Q_1 - холодопроизводительность, необходимая для достижения образцом температуры минус 40°С;

Q_2 - холодопроизводительность, необходимая для компенсации теплонатекания;

Q_c - полная холодопроизводительность ($Q_1 + Q_2$);

Q_{max} - максимальная требуемая холодопроизводительность термоэлектрического модуля

λ - коэффициент теплопроводности теплоизоляции, Вт / мК;

δ - толщина теплоизоляции, мм;

P - мощность, потребляемая модулем, Вт;

Определение необходимой холодопроизводительности термоэлектрического модуля:

Определение мощности, необходимой для охлаждения образца до требуемой температуры:

$$Q_1 = M * C * \frac{T_a - T_c}{t} = \frac{0.01 * 880 * 60}{900} = 0.59 \text{ Вт} \quad (1)$$

Определение потерь за счет теплонатекания:

$$Q_2 = \lambda * \frac{S_{\text{нар}} + S_{\text{вн}}}{2} * \frac{T_a - T_c}{\delta} = \lambda * S_{\text{ср}} * \frac{T_a - T_c}{\delta} \quad (2)$$

$S_{\text{нар}}$ и $S_{\text{вн}}$ – площади наружной и внутренней поверхности контейнера.

$$S_{\text{нар}} = 0.0297 \text{ м}^2, \quad S_{\text{вн}} = 0.0065 \text{ м}^2,$$

$$S_{\text{ср}} = \frac{S_{\text{вн}} + S_{\text{нар}}}{2} = \frac{0,0297 + 0,0065}{2} = 0,0181 \text{ м}^2$$

По формуле (2)

$$Q_2 = \frac{0.03 * 0.0181 * 60}{20 * 10^{-3}} = 1.63 \text{ Вт}$$

Определение требуемой суммарной холодопроизводительности термоэлектрического модуля (Q_c):

$$Q_c = Q_1 + Q_2 = 0,59 + 1,63 = 2,22 \text{ Вт.}$$

Определение температуры горячей стороны термоэлектрического модуля T_h и разности температур на модуле ΔT :

Планируется эффективная систему отвода теплоты с горячей стороны термоэлектрического модуля, поэтому T_h на 25 °С выше температуры окружающей среды

$$T_h = 20 + 5 = 25 \text{ °С} = 298 \text{ К}$$

Разность температур между сторонами модуля

$$\Delta T = T_h - T_c = 25 + 40 = 65 \text{ °С}$$

Определение максимальной холодопроизводительности (Q_{max}) модуля:

$$Q_{\text{max}} = 1.15 * Q_c * \frac{1}{1 - \frac{\Delta T}{67}} * \left(\frac{300}{T_h}\right)^2 \quad (3)$$

Подставляя численные значения в (3), получаем:

$$Q_{\text{max}} = 1.15 * 2,22 * \frac{1}{1 - \frac{65}{67}} * \left(\frac{300}{298}\right)^2 = 86,67 \text{ Вт.}$$

Проанализированы каталоги продукции, предлагаемые фирмами:

ООО Научно-производственная фирма "Модуль", г. Бровары, Украина; Компания КРИОТЕРМ, Санкт-Петербург; ОАО "НПП ТФП "ОСТЕРМ СПБ", Санкт-Петербург; ЗАО "Ферротек Норд", г. Москва; BME-Trading GmbH & Co. KG;

Анализ производился по следующим основным параметрам: разность температур на модуле и максимальная холодопроизводительность, ценовой диапазон и доступность приобретения в короткие сроки.

Для дальнейших расчетов была выбрана ячейка Фирмы Криотерм, Санкт Петербург, её характеристики приведены в таблице 1.

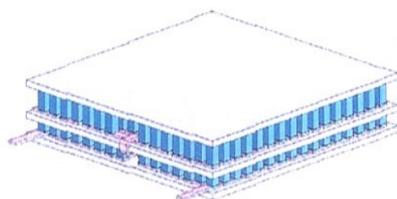


Рис. 1 Двухкаскадная ячейка Пельтье ТВ-2-(127-127) -1,15

Таблица 1

Характеристики двухкаскадной ячейки Пельтье

Модуль	I_{max}, A	Q_{max}, BT	U_{max}, B	ΔT_{max}
ТВ-2-(127-127) -1,15	10,2	95	24	84

Для выбранной ячейки определяем потребляемый ток I , напряжение U и потребляемую электрическую мощность.

Ток находим по известной формуле:

$$I = \theta * I_{max} = \frac{-b - \sqrt{b^2 - 4 * c}}{2} * I_{max} ,$$

$$\text{где } b = \frac{-2 * T_c}{300 - \Delta T_{max}}$$

$$c = \frac{2 * Q_c}{U_{max} * I_{max}} * \frac{300}{300 - \Delta T_{max}} + \frac{\Delta T}{\Delta T_{max}}$$

Напряжение питания (U):

$$U = \left(\frac{I}{I_{max}} * \frac{300 - \Delta T_{max}}{300} + \frac{\Delta T}{300} \right) * U_{max}$$

Потребляемая электрическая мощность P определяется как произведение тока на напряжение питания: $P = U * I$

Определение теплового сопротивления радиатора на горячей стороне термоэлектрического модуля.

Тепловое сопротивление (R_{hot}) определяется разностью температур между горячей стороной модуля, средой и тепловой мощностью, выделяющейся на горячей стороне:

$$R_{hot} = \frac{T_h - T_a}{Q_c + P}$$

Проведенные расчеты и полученные результаты расчетов сведены в таблицу 2.

Таблица 2

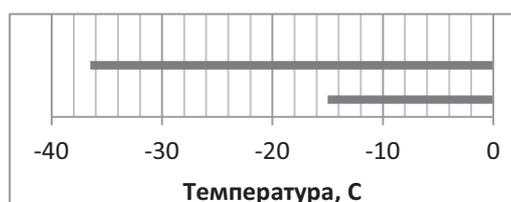
Полученные результаты расчета

Фирма изготовитель	Модуль	I_{max}, A	$Q_c, Вт$	$U_{max}, В$	$T_c, К$	ΔT	ΔT_{max}
Криотерм	ТВ-2-(127-127)-1,15	10.2	2.22	24	233	60	67
		b	c	I, A	$U, В$	$P, Вт$	$R, K/Вт$
		-2	0.92	7.29	18.13	132.26	0.15

Для отвода тепла от горячей поверхности было рассмотрено четыре типа радиаторов: с естественным охлаждением, обдуваемые вентилятором, с жидкостным охлаждением и охладители (кулеры) на основе тепловых трубок.

Для проведения экспериментов был сделан кулер на основе тепловых трубок, который обдувался вентилятором. Собраны рабочие макеты и произведена сверка полученных результатов (рис. 2).

Дополнительная система теплоизоляции увеличила эффективность установки и помогла стабилизировать температуру (рис. 3).



Кулер на основе тепловых трубок
Стандартный воздушный кулер

Рис. 2. Результаты, полученные в результате тестирования

Из диаграммы (рис. 2) видно, что кулер на основе тепловых трубок оказался более эффективным.



Рис. 3. Макет установки

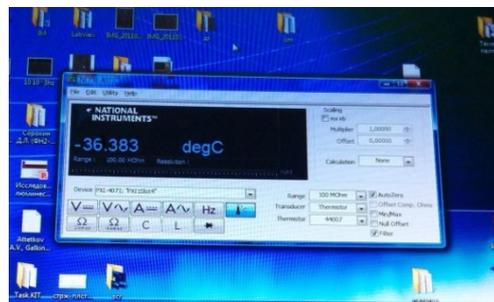


Рис. 4. Результат работы установки

Наилучший полученный результат приведен на рис. 4.

Собранная установка позволила получить температуру в -36°C , тем самым была реализована поставленная задача по охлаждению рубина и доказана эффективность собранной установки.

Данная ячейка используется для проведения физических экспериментов в широком диапазоне температур.

Список литературы

1. Каганов М.А., Привин М. Р. Термоэлектрические насосы. Л.: Энергия, 1970. 232 с.
2. Булат Л.П., Ведерников М.В., Вялов А.П. и др. Термоэлектрическое охлаждение: текст лекций под общей ред. Л. П. Булата. СПб.: СПбГУНиПТ, 2002. 117 с.
3. Тахистов Ф.Ю. Расчет параметров термоэлектрических модулей с учетом температурных зависимостей термоэлектрических свойств // Термоэлектрики и их применения. Доклады VIII Межгосударственного семинара. СПб.: ФТИ, 2002. 79 с.
4. Червяков Г.Г., Прохоров С.Г., Шиндор О.В. Электронные приборы, 2012. 353 с.