

## **О некоторых особенностях оптимизации режимов электропитания термоэлектрических охладителей в составе фотоприемников.**

<sup>1</sup> Г.А. Аракелов, <sup>2</sup> Л.Б. Ершова, <sup>2</sup> Г.Г. Громов

<sup>1</sup>РНЦ ФГУП «НПО Орион», Москва, Россия

<sup>2</sup>ЗАО «РМТ», Москва, Россия

Распространенной практикой является выбор термоэлектрического охладителя (ТЭО) для использования в составе фотоприемника (ФП) по так, называемым, максимальным параметрам, а именно: величинам максимальных тока  $I_{max}$ , напряжения  $U_{max}$ , перепада температур  $\Delta T_{max}$  и холодопроизводительности  $Q_{max}$ .

При этом имеется в виду, что  $I_{max}$  и  $U_{max}$  не являются предельно допустимыми параметрами, а соответствуют режиму реализации перепада температур  $\Delta T_{max}$  при условии  $Q_0=0$ .

Данная практика обусловлена тем, что эти максимальные параметры являются основными элементами спецификации ТЭО на международном рынке.

Однако теоретические и экспериментальные исследования показывают, что оптимальные ТЭО для применения в ФП и их режимы работы определяются рядом факторов и условий эксплуатации. При известной величине теплового сопротивления стыкуемого с ФП теплосбрасывающего радиатора имеются рабочие значения  $I_0 < I_{max}$  и  $U_0 < U_{max}$ , которые обеспечивают наиболее благоприятные режимы эксплуатации системы «ФП+радиатор». При прочих равных условиях из двух ТЭО с одинаковыми значениями  $I_{max}$  предпочтительным в плане снижения энергопотребления являются ТЭО с большим значением  $U_{max}$ .

В работе приведен пример оптимизации режима электропитания двухкаскадного ТЭО в составе 64-площадного ФП.

В оптико-электронной аппаратуре, работающей в средневолновом ИК-диапазоне, включающем атмосферное окно 3-5мкм, в котором сосредоточена весомая доля спектра слабо нагретых тел, с успехом используются фотоприемники (ФП), охлаждаемые специальными ТЭО [1]. Рассмотрение некоторых особенностей оптимизации режимов электропитания ТЭО в составе ФП неразрывно связано с международной практикой их технической спецификации и основывается на фиксации так называемых параметров, а

именно: максимальных тока  $I_{max}$ , напряжения  $U_{max}$ , перепада температур  $\Delta T_{max}$  и холодопроизводительности  $Q_{max}$  [2]. При этом, вопреки весьма расхожему мнению, режимы  $I_{max}$  и  $U_{max}$  отнюдь не определяют предельно допустимый режим электропитания. Последний определяется температуростойкостью ТЭО. Действительно, при эксплуатации ТЭО его тепловыделяющая поверхность неизбежно перегревается относительно температуры окружающей среды  $T_{o.c.}$ . Существуют такие текущие значения тока и напряжения  $I_{np}$  и  $U_{np}$ , превышение которых приводит к столь высокой температуре тепловыделяющей поверхности, что начинается размягчение припоя, коммутирующего ТЭО, и, как следствие этого, развивается негативный процесс нарушения его целостности.

Как указано в работе [2], физический смысл максимальных параметров лежит в совершенно другой области. В зависимости от величины тепловой нагрузки на ТЭО возможна реализация самых различных перепадов  $\Delta T$  между температурами тепловыделяющей и теплопоглощающей поверхностей ( $T_z$  и  $T_x$ , соответственно) в диапазоне  $0 \dots \Delta T_{max}$ . При этом режим  $\Delta T=0$  регистрируется, когда  $Q=Q_{max}$ , а режим  $\Delta T=\Delta T_{max}$  – при  $Q=0$ . В то же время, при прочих равных условиях реализация режима  $\Delta T_{max}$  возможна только при некоторых оптимальных значениях  $I$  и  $U$ , которые и получили обозначения  $I_{max}$  и  $U_{max}$ . В настоящее время практически все отечественные и зарубежные разработчики ТЭО указывают в спецификации на свою продукцию значения  $I_{max}$ ,  $U_{max}$ ,  $\Delta T_{max}$  и  $Q_{max}$  при  $T_z = 300\text{K}$  и давлении остаточных газов окружающей среды  $\leq 10^{-3}$  мм.рт.ст., при котором конвективная составляющая тепловой нагрузки на ТЭО практически отсутствует.

В [2] также показано, что теплотехнический анализ системы «ТЭО + радиатор» позволяет сформулировать парадоксальное на первый взгляд положение: электропитание ТЭО в режиме  $I_{max}$  и  $U_{max}$  не продуктивно. Рабочие значения  $I_0 < I_{max}$  и  $U_0 < U_{max}$  должны быть таковы, чтобы обеспечить важнейшее условие электропитания:

$$\frac{d\Delta T}{dP_0} \geq R_p,$$

где  $P_0 = Q_0 + W_0$  – рассеиваемая тепловая мощность, Вт,

$Q_0$  – рабочая холодопроизводительность ТЭО, Вт,

$W_0$  – потребляемая электрическая мощность, Вт,

$R_p$  – тепловое сопротивление радиатора, К/Вт.

В то же время очень часто разработчикам ТЭО в качестве исходных данных для проектирования, кроме значения  $T_{o.c.}$ ,  $T_x$  и  $W_0$  задаются вполне конкретные, определяемые особенностями оптико-электронной аппаратуры, значения  $U_0$  и  $R_p$ . Обычно это бывает, когда имеется источник питания аккумуляторного типа, а теплосбрасывающий радиатор

уже конструктивно определен и улучшение его эффективности не представляется возможным. Для этого случая рассмотрим дополнительные критерии выбора наиболее предпочтительного ТЭО на примере изделия ФУР-129Л.

Исходными техническими требованиями для выбора ТЭО являлись следующие:

- объект охлаждения: подложка из фотостекла с размерами  $7.7 \times 4.0 \times 0.3$  мм<sup>3</sup> и длиной фоточувствительного элемента (ФЧЭ) 6.4мм.
- $T_x$  при температуре окружающей среды  $T_{o.c.} = 293$ К,  $K - \leq 233$
- $U_0$ , В – 3.5
- $R_p$ , К/Вт – 3.0

Кроме того, необходимо было учесть, что расчетная величина теплопритоков  $Q_0$  составляет 0.170 Вт.

Ориентируясь на данные ЗАО «Российские материалы и технологии» («РМТ»), г. Москва, сравним технические параметры двух наиболее подходящих для данного случая ТЭО.

Таблица 1 – сравнительные технические параметры ТЭО

Параметр	Тип ТЭО	
	2МС06-041-12	2МС06-051-12
Число каскадов	2	
Сечение ветви термоэлемента, мм <sup>2</sup>	0.6x0.6	
Высота ветви термоэлемента, мм	1.2	
Число термоэлементов в верхнем каскаде	12	14
Число термоэлементов в нижнем каскаде	29	37
Коэффициент каскадирования	2.58	2.64
Размеры теплопоглощающей поверхности, мм <sup>2</sup>	4x7	
Размеры тепловыделяющей поверхности, мм <sup>2</sup>	8x8	8x10
Высота ТЭО, мм	4.1	4.1
$I_{max}^*$ , А	1.2	
$U_{max}^*$ , В	3.95	4.95
$\Delta T_{max}^*$ , К	93.9	95.2
$Q_{max}^*$ , Вт	1.31	1.58

\* - значение параметров приведены при температуре тепловыделяющей поверхности 300К.

Заметим, что оба типа ТЭО сконструированы на базе ветвей термоэлементов, имеющих одинаковые размеры и, соответственно, значения  $I_{max}$ . В то же время, отличаясь

увеличенным числом термоэлементов, ТЭО 2МС06-051-12 имеет большие величины  $U_{max}$  и  $Q_{max}$ .

Вообще говоря, каждый из рассматриваемых ТЭО характеризуется, в том числе, серией так называемых нагрузочных зависимостей  $Q(\Delta T)$  и  $U(\Delta T)$  как при значениях  $I_{max}$ , так и при значениях тока  $I < I_{max}$  (рисунок 1).

#### Рисунок 1

Эти зависимости содержат в себе вполне достаточные сведения для графического построения других характеристик ТЭО, интересующих разработчиков ФП. Так, для сравнительных оценок ТЭО построим график  $I(U)$  при  $T_c=300\text{K}$  и  $Q_0=0$  Вт (рисунок 2).

#### Рисунок 2

Выясним, что при заданной величине  $U_0=3.5$  В (точка А) для ТЭО типа 2МС06-041-12  $I_0=1.03$  А (рисунок 2, точка В), соответственно,  $W_0=3.605$  Вт (рисунок 3, точка В'), для ТЭО типа 2МС06-051-12  $I_0=0.78$  А (рисунок 2, точка С) и  $W_0=2.73$  Вт (рисунок 3, точка С'). Воспользовавшись еще раз данными рисунка 1, а также методом графического дифференцирования, построим зависимости  $\Delta T(W)$  и  $R_p(W)$  (рисунок 3) для двух типов ТЭО при  $T_c=300\text{K}$  и  $Q_0=0$ Вт (то есть когда  $W_0=P_0$ ). Видно, что условие, накладываемое на тепловое сопротивление радиатора для ТЭО 2МС06-041-12 жестче, чем для ТЭО 2МС06-051-12: для ТЭО типа 2МС06-041-12 функция  $R_p(W)$  лежит ниже в каждой точке  $W$ . Это же справедливо относительно рабочих точек (см. рисунок 3, точки F и G).

#### Рисунок 3

При таких уровнях  $W_0$  ТЭО типа 2МС06-041-12 должен реализовывать  $\Delta T=93\text{K}$  (рисунок 3, точка D), а ТЭО типа 2МС06-051-12 –  $\Delta T=87.5$  К (рисунок 3, точка E). Таким образом, на первый взгляд, ТЭО 2МС06-041-12 имеет преимущество перед 2МС06-051-12, так как позволяет достичь  $\Delta T$  на 5.5К больше. Однако это не совсем так.

Потребителей ТЭО интересует в конечном итоге не  $\Delta T=T_c-T_x$ , а эффективный перепад температуры  $\Delta T_3=T_{o.c.}-T_x$ . Очевидно, что, чем больше  $W_0$ , а, значит, при заданном значении  $R_p$  и перегрев теплосбрасывающего радиатора относительно  $T_{o.c.}$ , тем меньше  $\Delta T_3$ . Именно с учетом этого фактора и необходимо рассматривать вопрос о целесообразности применения того или иного типа ТЭО. В таблице 2 приведены сравнительные расчетные данные по эксплуатационным параметрам обоих типов ТЭО с радиатором.

Таблица 2 – сравнительные эксплуатационные характеристики ТЭО с радиатором

Параметр	Тип ТЭО	
	2МС06-041-12	2МС06-051-12
$T_{o.c.}$ , К	293	
$Q_0$ , Вт	0.170	
$R_p$ , К/Вт	3.0	
$U_0$ , В	3.5	
$I_0$ , А	1.03	0.78
$W_0$ , Вт	3.605	2.748
$T_z$ , К	303.82	301.24
$\Delta T$ , К	82.0	77.5
$\Delta T_g$ , К	71.18	69.26
$T_x$ , К	221.82	223.74

Из рассмотренных данных, представленных в таблице 2, можно сделать вывод о том, что оба ТЭО реализуют примерно одинаковую разность температур  $\Delta T_g$  и, соответственно,  $T_x$  (различие составляет всего 1.92К). Тем не менее, ТЭО 2МС06-051-12 является более предпочтительным, так как потребляет примерно на 24% электрической мощности меньше, чем ТЭО 2МС06-041-12. Этот фактор играет очень важную роль, так как комплектуемые тепловизоры, как правило, имеют в качестве источника питания аккумуляторную батарею и понижение энергоемкости ФП увеличивает время непрерывной работы тепловизора и сокращает количество и частоту регламентных работ по его обслуживанию. Кроме того, пониженный перегрев теплосбрасывающего радиатора в большей степени удовлетворяет специфике эксплуатации тепловизора в циклическом режиме «включен» – «выключен». При этом после каждого выключения ФП за счет вновь возникающего потока тепла в направлении от перегретого радиатора к ФЧЭ его температура в течение короткого промежутка времени (несколько секунд) может превысить температуру  $T_{o.c.}$ . Тогда при последующем включении тепловизора температурный уровень охлаждения ФЧЭ будет уже выше, чем при предыдущем включении, что, в свою очередь, ухудшает фоточувствительные параметры ФП. Таким образом, чем незначительнее потребляемая мощность ФП и, соответственно, перегрев радиатора относительно  $T_{o.c.}$ , тем меньше будет сказываться этот негативный фактор на эксплуатационных параметрах ФП и комплектуемого тепловизора.

Исходя из вышеизложенных рассуждений, можно сделать вывод, что при прочих равных условиях и наперед заданных значениях  $U_0$  и  $R_p$  из двух ТЭО с

динаковыми значениями  $I_{max}$  предпочтительным для комплектования ФП является ТЭО с бóльшим значением  $U_{max}$ .

### Литература

---

1. Аракелов Г.А., Магнушевский В.Р., Сивенкова В.Н., Троицкий И.М., Казанцев Г.А.//Прикладная физика. 2002. №2. С. 69.

2.