

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

¹ Г.А. Аракелов, ² Л.Б. Ершова, ² Г.Г. Громов

¹РНЦ ФГУП «НПО Орион», Москва, Россия

²ЗАО «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 ΔT_{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 ΔT_{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 ΔT_{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 ΔT 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 ΔT_{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} , ΔT_{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 $7.7 \times 4.0 \times 0.3$ мм³ 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 ²	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 ²	4x7	
Размеры тепловыделяющей поверхности, мм ²	8x8	8x10
Высота ТЭО, мм	4.1	4.1
I_{max}^* , А	1.2	
U_{max}^* , В	3.95	4.95
ΔT_{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 бóльшие 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 ΔT 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 ΔT_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
ΔT , К	82.0	77.5
ΔT_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 ΔT_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.