

РАДИАТОРЫ ДЛЯ СТАНДАРТНЫХ МОДУЛЕЙ ВТОРИЧНОГО ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ

В радиоэлектронной, вычислительной, информационной и другой аппаратуре широко используются источники вторичного электропитания модульного типа (ВИП МТ). Габаритные размеры ВИП МТ определяются выходными напряжением и током. В качестве примера приняты параметры и характеристики ВИП МТ серии МП100, выпускаемого АО "ММП—Ирбис", которые практически совпадают с лучшими зарубежными и отечественными аналогами.

Для обеспечения нормального теплового режима модуля источника вторичного электропитания необходимо определить способа отвода тепла от него, выбрать тип стандартного радиатора и скорость потока воздуха.

Основные характеристики МП100

Габаритные размеры 123S63S12,5мм.

Удельная мощность 1000 Вт/ дм³.

Предельная температура окружающей среды -55°С...+90°С.

Рабочая температура на корпусе -40°С...+90°С.

Средняя масса 210 г.

Усредненный к.п.д. при $U_{\text{вых}} = 5\text{В}$ – не менее 80%.

На рис. 1 показан общий вид модуля МП100.

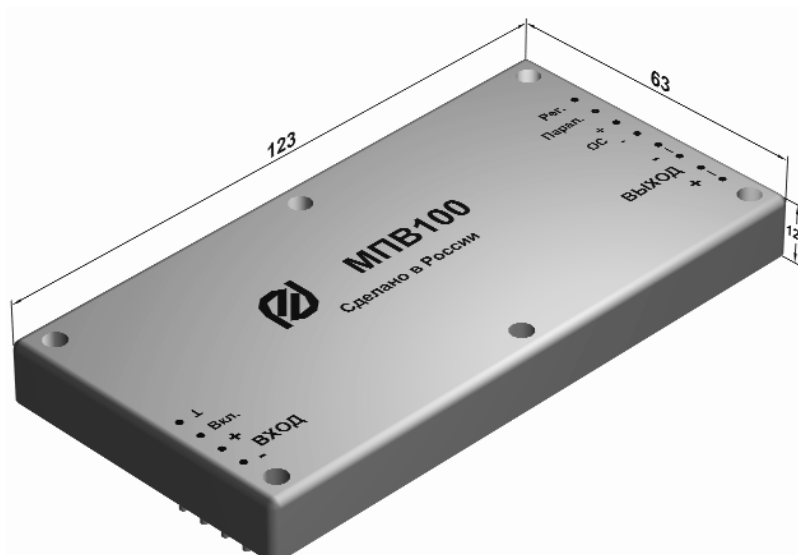


Рис. 1. Внешний вид модуля МП100

Выделяющаяся в модуле МП100 тепловая энергия частично отводится во внешнее пространство, а частично идет на нагрев модуля. В установившемся тепловом режиме вся тепловая энергия потерь отводится во внешнее пространство. Уровень нагрева элемента определяется рассеиваемой мощностью и условиями охлаждения, характеризуемыми окружающей температурой, коэффициентом теплопередачи и размерами рассеивающей тепло поверхности.

Практически во всех случаях желательно иметь малый нагрев (малое превышение температуры тела над окружающим пространством). При высоких температурах нагрева ухудшаются характеристики, и сокращается срок службы изделий.

Закон Ньютона определяет процесс теплопередачи.

$$\Delta\tau = \frac{\Delta P}{\alpha S},$$

где: $[\Delta\tau]$ = °С – превышение температуры модуля МП100 над температурой окружающей среды,

$[\Delta P]$ = Вт – мощность потерь,

$[\alpha] = \text{Вт}/(\text{°C}\cdot\text{см}^2)$ – коэффициент теплоотдачи,

$[S] = \text{см}^2$ – поверхность охлаждения.

Формула Ньютона позволяет определить превышение температуры в установившемся тепловом режиме. Изменение превышения температуры во время нагревания однородного тела описывается экспоненциальным законом:

$$\Delta\tau = \frac{\Delta P}{\alpha \cdot S} (1 - e^{-t/T}) = \Delta\tau_s (1 - e^{-t/T}),$$

где: $\Delta\tau_s$ – установившееся превышение температуры,

$T = \frac{c_0 \cdot M}{\alpha \cdot S}$ – тепловая постоянная времени тела,

$c_0 M$ – удельная теплоемкость и масса тела.

Величина тепловой постоянной времени T , характеризующая скорость изменения температуры тела, зависит от соотношения между теплоемкостью тела $c_0 M$ и условиями теплоотдачи $\alpha \cdot S$. При повышении интенсивности охлаждения за счет большой скорости рассеяния тепла (увеличение α) постоянная времени уменьшается.

Тепловая энергия передается от нагретого тела тремя путями: теплопроводностью, излучением и конвекцией. Обычно перенос тепла осуществляется всеми тремя путями одновременно с преобладанием того или иного в зависимости от внешних условий.

Теплопроводность

Перенос тепла путем теплопроводности происходит в твердых телах или в жидкостях и газах, когда в последних отсутствует перемещение масс жидкости или газа относительно друг друга. Передача тепла через однородный в тепловом отношении слой материала характеризуется уравнением Фурье в интегральной форме (и в дифференциальной форме, если слой неоднородный)

$$\Delta P = \frac{S \Delta\tau}{\rho_T \delta} = \frac{\Delta\tau}{R_T},$$

где: $[\Delta\tau] = \text{°C}$ – перепад температур в слое;

$[\rho_T] = \text{°C}\cdot\text{см}/\text{Вт}$ – удельное тепловое сопротивление материала;

$[\delta] = \text{см}$ – толщина слоя;

$[S] = \text{см}^2$ – площадь поверхности слоя;

$[\Delta P] = \text{Вт}$ – передаваемая мощность;

$[R_T] = \text{°C}/\text{Вт}$ – тепловое сопротивление слоя.

Излучение

Теплоотдача с поверхности нагретого тела в окружающее пространство путем излучения зависит от температуры тела и окружающей среды, а также от свойств поверхности, от ее излучательной способности. Количество тепла (Вт), переданного излучением, определяется законом Стефана-Больцмана

$$\Delta P_l = \alpha_l \cdot S_l \cdot \Delta\tau = \frac{\Delta\tau}{R_T},$$

где: $[\alpha_l]$ – коэффициент излучения;

$[S_l] = \text{см}^2$ – поверхность излучения.

Конвекция

Конвективный теплообмен осуществляется теплопроводностью от нагретого тела к охлаждающей жидкости или газу при их перемещении относительно нагретой поверхности. Конвекция может быть свободной (естественной) при свободном (естественном) перемещении газа или жидкости относительно нагретой поверхности, и принудительной, если перемещение газа осуществляется за счет внешнего давления.

Теплоотдача путем конвекции определяется законом Ньютона:

$$\Delta P_k = \alpha_k S_k \Delta\tau = \frac{\Delta\tau}{R_{T.k}},$$

где: $[\alpha]$ – коэффициент теплоотдачи конвекцией;

$[S_k] = \text{см}^2$ – поверхность теплоотдачи;

$[R_{\text{тк}}] = \text{°C/Вт}$ – тепловое сопротивление конвекции.

Теория подобия

Наибольшую трудность при определении коэффициентов теплоотдачи вызывает получение достоверных данных о характере конвективного теплообмена. Практически единственным способом определения коэффициента теплоотдачи α для различных условий является эксперимент. То есть, для того чтобы рассчитать и сделать радиатор (теплоотвод) его надо предварительно испытать. Это противоречие помогает устранить теория подобия. Теория подобия позволяет распространить результаты единичного опыта на целую группу подобных явлений.

Согласно теории подобия протекание физических процессов теплопередачи можно характеризовать не только отдельными физическими параметрами охлаждающей среды и охлаждаемой поверхности, но и определенным образом составленными из них безразмерными величинами, называемыми безразмерными критериями подобия физических процессов. Если критерии подобия для двух опытов одинаковы, то одинаковы в них и свойства физических процессов, определяемые этими критериями. При тепловых расчетах обычно используются следующие критерии подобия:

1). Критерий Рейнольдса, обеспечивающий гидродинамическое подобие исследуемых процессов,

$$\text{Re} = \frac{V \cdot d}{\nu} = \frac{M_a \cdot d}{F \cdot \mu},$$

где: $[V] = \text{см/с}$ – скорость охлаждающей среды;

$[d] = \text{см}$ – определяющий размер (При течении охлаждающей среды в каналах – эквивалентный диаметр канала, а при течении относительно плоской стенки – минимальный размер этой стенки).

$[\nu]$ и $[\mu]$ – коэффициенты кинематической ($\text{см}^2 \cdot \text{с}^{-1}$) и динамической ($\text{г} \cdot \text{см}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$) вязкости охлаждающей среды;

$[M_a] = \text{г/с}$ – расход воздуха в канале;

$[F] = \text{см}^2$ – сечение канала.

2). Критерий Прандтля, характеризующий физические параметры окружающей среды,

$$\text{Pr} = \frac{\nu}{a},$$

где: $[a = \frac{\lambda_T}{c_p \rho}] = \text{см}^2/\text{с}$ – температуропроводность среды;

$[\lambda_T = \frac{1}{\rho_T}] = \text{Вт}/(\text{°C} \cdot \text{см})$ – теплопроводность среды;

$[\rho] = \text{г/см}^3$ – плотность среды. –

3). Критерий Грасгофа

$$\text{Gr} = \frac{g \beta d^3 \Delta \vartheta}{\nu^2},$$

где: $[g] = \text{см/с}^2$ – ускорение силы тяжести;

$[\beta] = 1/\text{°C}$ – температурный коэффициент расширения.

4). Критерий Нуссельта

$$\text{Nu} = \frac{\alpha_k d}{\lambda_T},$$

где: $[\alpha_k] = \text{Вт}/(\text{°C} \cdot \text{см}^2)$ – коэффициент теплоотдачи.

Результаты опыта обрабатываются в виде соотношения между критериями подобия – критериального уравнения теплообмена

$$\text{Nu} = f(\text{Re}, \text{Pr}, \text{Gr}).$$

Критериальное уравнение теплообмена имеет различный вид в зависимости от условий теплообмена и, главным образом, от характера движения охлаждающей среды. Наиболее предпочтительными с точки зрения реализации являются воздушные системы охлаждения. При естественном охлаждении тепло от ВИП МТ отводится на конструкцию теплопроводностью, излучением и естественной конвекцией. Соотношение между этими видами теплоотдачи определяется конкретными условиями размещения ВИП МТ. Но в большинстве случаев основной способ теплопередачи – излучение и естественная конвекция. При постоянных, не зависящих от высоты потерях температуры изделия

$$\tau_H = \tau_{0H} + \frac{\Delta P}{(\alpha_{\lambda} + \alpha_k)S} = \tau_{0H} + \Delta\tau_0 \frac{\alpha_{\lambda} + \alpha_{k0}}{\alpha_{\lambda} + \alpha_{kH}},$$

где $\Delta\tau_0$ – превышение температуры изделия на земле при $H = 0$.

Коэффициент теплопередачи излучением при реальных перепадах температур между корпусом и внешней средой $\Delta\tau = 30 \dots 100$ °С можно принять постоянным и равным $\alpha_{\lambda} = 7 \cdot 10^{-4}$ Вт/(°С·см²). Коэффициент теплоотдачи α_k при естественной конвекции можно определить, если знать критериальное уравнение теплообмена. Для естественного охлаждения критериальное уравнение можно записать:

$$NU = C (Pr Gr)^N,$$

для $Pr Gr = 10^2 \dots 10^{10}$.

Для конкретного изделия α_k зависит в основном от плотности воздуха

$$\alpha_{kH} = \alpha_{k0} \left(\frac{\rho_H}{\rho_0} \right)^n.$$

Коэффициент теплоотдачи излучением в зависимости от степени черноты поверхности при реальных превышениях температуры составляет $\alpha_{\lambda} = 2 \dots 9$ Вт/(м²·°С). Теплоотдача излучением практически не зависит от высоты, но значительно снижается с увеличением скорости обдува и охлаждение излучением становится нецелесообразным.

Для элементов радиоэлектронного оборудования (по Дульневу) $n = 0,25 \dots 0,5$ (в зависимости от величины произведения $Pr Gr$).

При естественном охлаждении коэффициенты теплопередачи очень низкие, поэтому потери должны быть малыми, а поверхности охлаждения большими, что и приводит к низким удельным мощностям и большим массам. Для изделий с небольшой мощностью потерь и небольшими размерами естественное охлаждение наиболее рационально.

Теплопередача за короткое время работы и при незначительной разности температур не сможет заметно проявиться. Превышение температуры однородного (в тепловом отношении) тела при этом равно

$$\tau = \frac{\Delta P}{c_0 M_r} t = \frac{1 - \eta}{\eta} \cdot \frac{P_2}{c_0 M_r} t,$$

где: c_0 – средняя по объему теплоемкость;

M_r – масса;

ΔP , η , P_2 – потери, к.п.д., отдаваемая мощность;

t – время работы.

Если имеются два модуля с одинаковой отдаваемой мощностью и допустимой температурой, но с различными к.п.д. и массами, то время нагрева до допустимой температуры второго модуля отнесенное к времени нагрева до допустимой температуры первого модуля можно определить, используя следующее соотношение

$$t_2 = \frac{M_{r2}}{M_{r1}} \cdot \frac{1 - \eta_1}{\eta_1} \cdot \frac{\eta_2}{1 - \eta_2} \cdot t_1.$$

Время нагрева до допустимой температуры модуля при кратковременных нагрузках увеличивается при увеличении теплоемкости.

Обычно модуль питания смонтирован на вертикальную печатную плату. Основное тепло передается посредством конвекции и излучения от верхней поверхности модуля, частично боковыми поверхностями блока и тыльной стороной печатной платы. Конвекция – преобладающий режим теплопередачи в охлаждаемой вентилятором среде. Радиация, наряду с конвекцией, становится существенной без прину-

дительного охлаждения. Контактная теплопередача важна при использовании радиаторов. Тепловые потоки показаны на рис. 2.

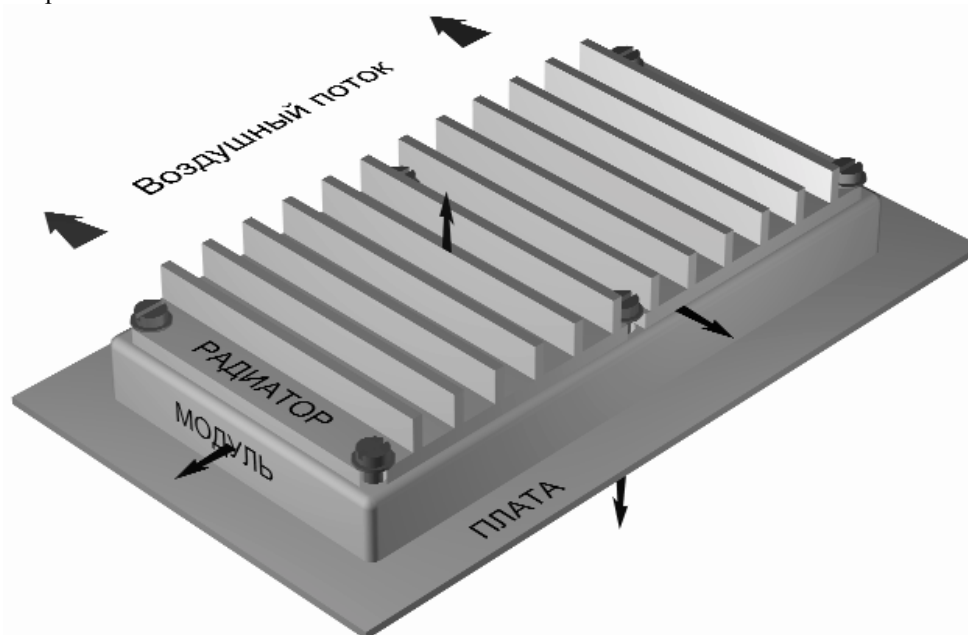


Рис. 2. Общий вид модуля МП100 с радиатором

Обозначим:

T_a – температура окружающей среды,

T_j – температура внутри модуля,

ΔP – мощность, рассеиваемая модулем,

R_{tja} – тепловое сопротивление модуль – корпус,

R_{tsa} – тепловое сопротивление корпус – радиатор,

R_{tcs} – тепловое сопротивление радиатор – окружающая среда,

R_{tjc} – тепловое сопротивление окружающая среда – модуль.

Связь температуры, мощности потерь и тепловых сопротивлений определяется следующим соотношением:

$$(T_j - T_a) / \Delta P = R_{tja} + R_{tsa} + R_{tcs} = R_{tjc}.$$

Тепловое сопротивление модуль - окружающая среда состоит из тепловых сопротивлений модуль - корпус, корпус - радиатор и радиатор - среда. Тепловые сопротивления модуль - корпус, корпус - радиатор и радиатор- среда можно считать заданными.

Для типовых ВИП МТ, выпускаемых отечественными и зарубежными фирмами на рис. 3 приведены зависимости мощностей рассеяния (потерь) от величины выходного тока при различных входных напряжениях.

Для увеличения массы и теплоемкости типовых ВИП МТ отечественные и зарубежные фирмы выпускают несколько типов стандартных радиаторов. Радиаторы устанавливаются на ВИП МТ с пастой КПТ-8 и крепятся винтами М3. На рис. 4 и 5 показаны общие виды радиаторов типа 1 и 2. Площади радиаторов типа 1 и 2 соответствуют площадям типовых ВИП МТ.

Для выбора стандартного радиатора достаточно задать мощность потерь и температуру окружающей среды. При этом используются паспортные графические зависимости на радиаторы или аналогичные зависимости, полученные экспериментально, показанные на рис. 6 и 7.

При наличии обдува ВИП МТ можно использовать и без радиатора. Выбор скорости воздушного потока по мощности рассеяния и температуре окружающей среды показан на рис. 8...10.

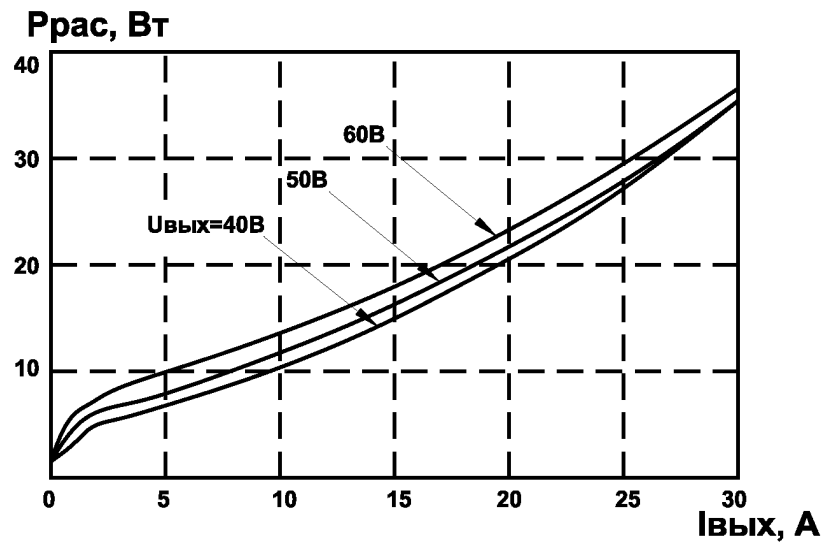


Рис. 3. Зависимости мощностей рассеяния (потерь) от величины выходного тока при различных входных напряжениях для типовых ВИП МТ, выпускаемых отечественными и зарубежными фирмами

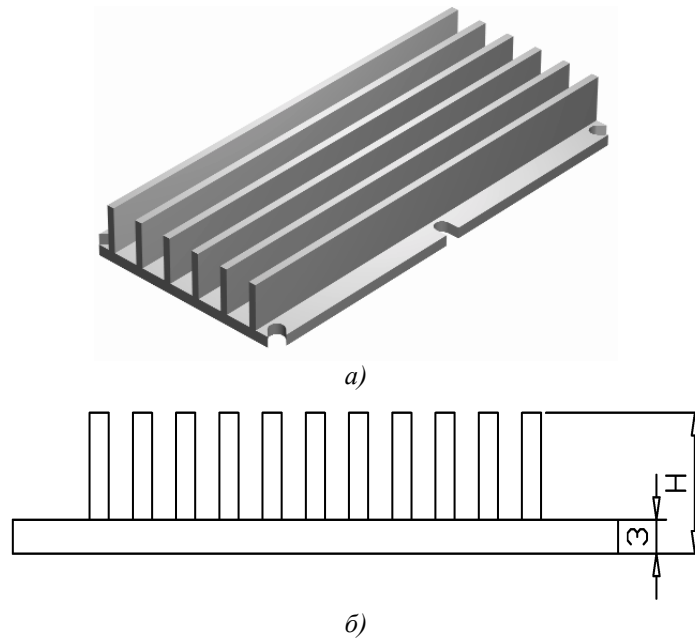
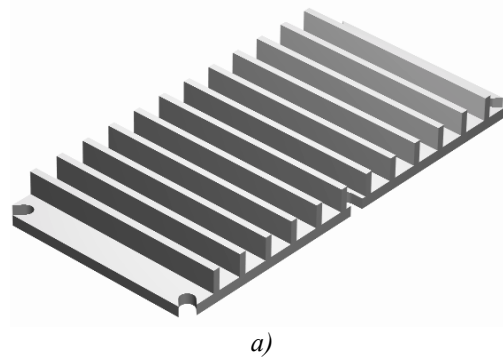
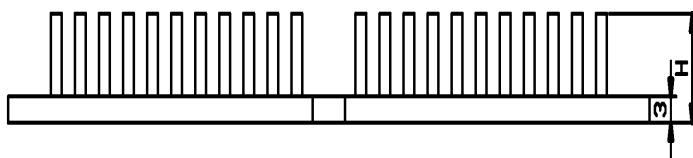


Рис. 4. Общий вид радиаторов типа 1 (а) и габаритные размеры (б)



а)



б)

Рис. 5. Общий вид радиаторов типа 2 (а) и габаритные размеры (б)

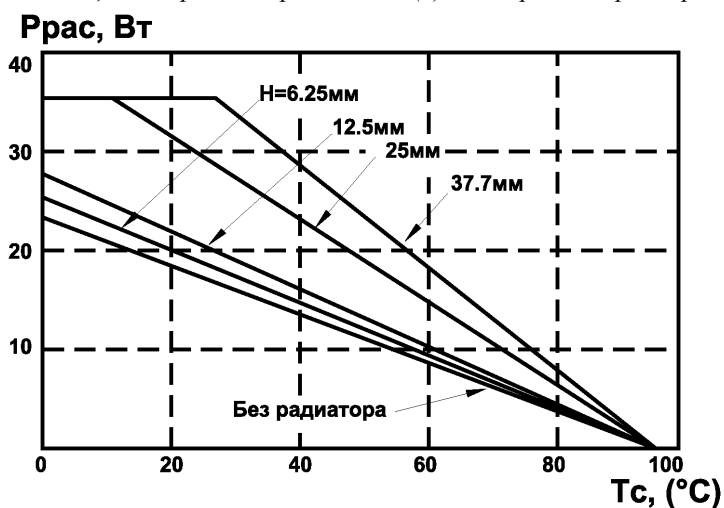


Рис. 6. Выбор стандартного радиатора типа 1 по мощности рассеяния и температуре окружающей среды

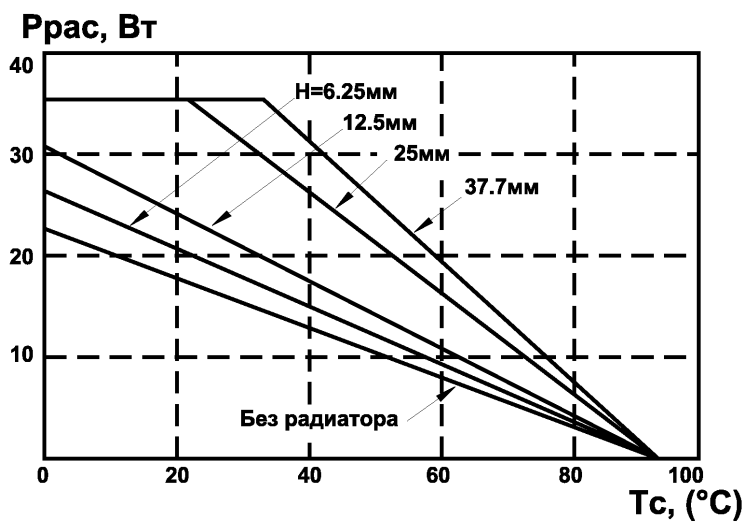


Рис. 7. Выбор стандартного радиатора типа 2 по мощности рассеяния и температуре окружающей среды

При наличии обдува ВИП МТ можно использовать и без радиатора. Выбор скорости воздушного потока по мощности рассеяния и температуре окружающей среды показан на рис. 8.

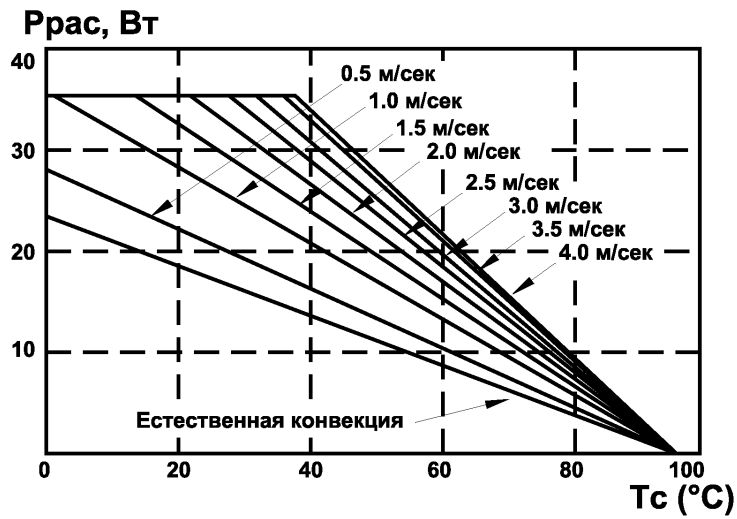


Рис. 8. Выбор скорости воздушного потока (0...4 м/сек) по мощности рассеяния и температуре окружающей среды

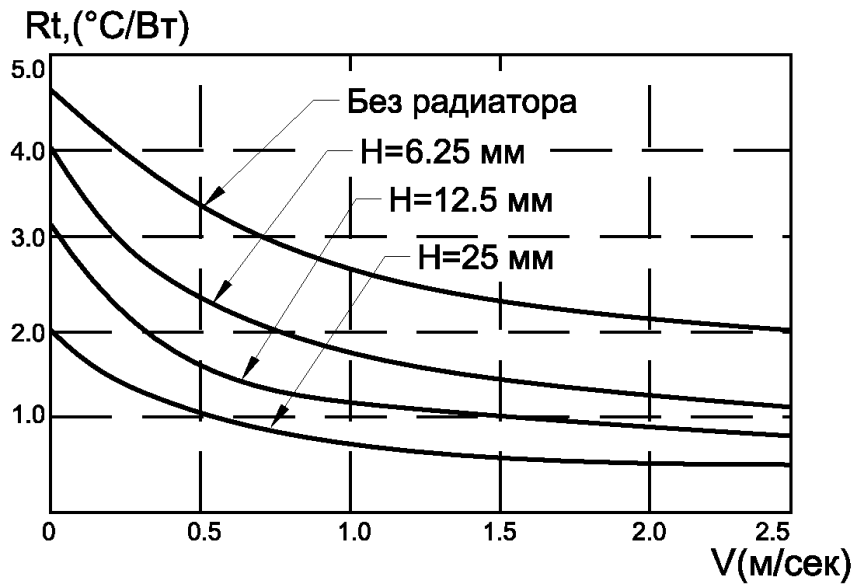


Рис. 9. Зависимость термосопротивления ВПП МТ с радиатором типа 1 от скорости воздушного потока

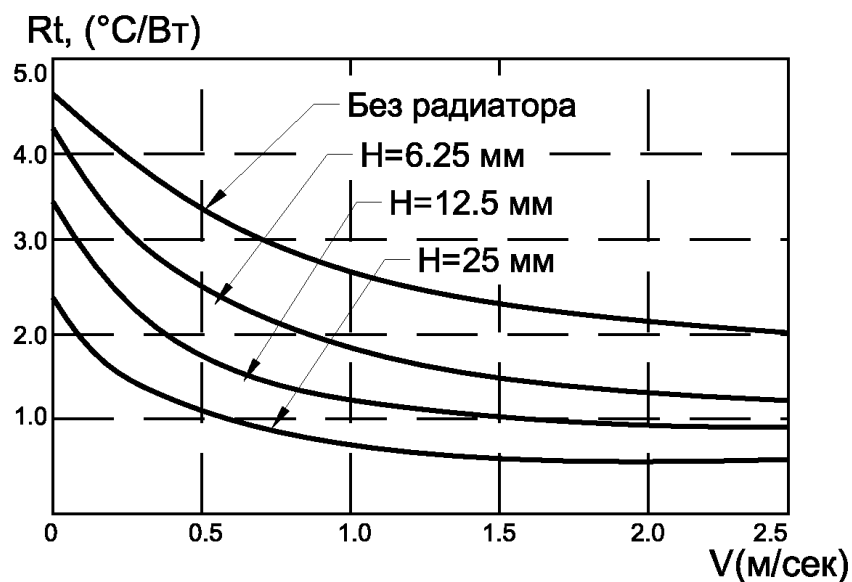


Рис. 10. Зависимость термосопротивления ВПП МТ с радиатором типа 2 от скорости воздушного потока

Приведенные зависимости получены в реальных условиях работы модулей и поэтому обеспечивают достоверное и простое получение необходимых данных при проектировании. Их можно применить к стандартным радиаторам других типоразмеров (с учетом материала), а также использовать для выбора радиаторов, отводящих тепло от изолированных от них транзисторов, что позволяет заземлить радиатор и уменьшить емкостные токи.