

В.Л. Ланин, В.В. Парковский

### ПРИМЕНЕНИЕ КОНВЕКТИВНЫХ И ИНФРАКРАСНЫХ ИСТОЧНИКОВ НАГРЕВА ДЛЯ МОНТАЖА И ДЕМОНТАЖА ЭЛЕКТРОННЫХ МОДУЛЕЙ

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,  
ул. П. Бровки, 6, г. Минск, 220013, Республика Беларусь, [vlanin@bsuir.by](mailto:vlanin@bsuir.by)

Для монтажа и демонтажа электронных модулей на печатных платах в мелкосерийном и опытно-производстве широко применяют конвективные источники нагрева [1]. В качестве теплоносителя используют воздух, который, проходя через нагреватель (термофен), приобретает высокую температуру. Эффективность нагрева и температура в рабочей зоне в значительной степени зависят от конструкции сопла термофена [2]. Процесс передачи тепла от термофена к поверхности печатной платы описывается выражением

$$Q = \frac{\lambda S t \Delta T}{l}, \quad (1)$$

где  $\lambda$  – теплопроводность воздуха;  $S$  – площадь зоны нагрева;  $t$  – время нагрева;  $\Delta T = (T_{\text{и}} - T_{\text{ср}})$  – разность температур между источником тепла и окружающей средой;  $l$  – расстояние от источника тепла до поверхности.

При расчете количества тепла, выделяемого в рабочей зоне, необходимо учитывать факторы, влияющие на рассеивание воздуха при выходе из сопла насадки термофена (рис. 1), например коэффициент рассеивания и угол рассеивания  $\alpha$ , которые зависят от конструкции сопла:

$$K_r = \frac{r}{a + r}, \quad (2)$$

где  $r$  – радиус сопла насадки;  $a$  – расстояние, на которое отклоняется воздух при выходе из сопла:

$$a = l \cdot \tan(\alpha), \quad (3)$$

где  $\alpha$  – угол рассеивания, который обусловлен конструктивными особенностями насадки.

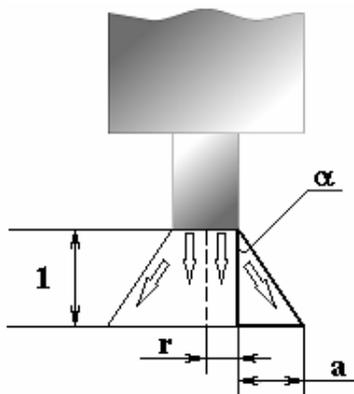


Рис. 1. Воздушный поток на выходе из сопла термофена

Тогда количество тепла, выделяемого в рабочей зоне, рассчитывается следующим образом:

$$Q = K_r \cdot \frac{\lambda S t \Delta T}{l}. \quad (4)$$

Температура нагрева поверхности платы зависит от времени, условий теплообмена и теплоемкости материала платы:

$$T_H = T_T \left( 1 - e^{-\frac{t}{\tau_n}} \right), \quad (5)$$

где  $T_T$  – температура теплоносителя;  $\tau_n$  – постоянная времени нагрева:

$$\tau_n = \frac{C_T}{\alpha \cdot S_n}, \quad (6)$$

где  $C_T$  – теплоемкость материала печатной платы (для стеклотекстолита  $0,9 \text{ Дж/}^\circ\text{C}$ );  $\alpha$  – коэффициент теплообмена источника тепла с поверхностью печатной платы:

$$\alpha = \frac{P}{S_n \cdot \Delta T}, \quad (7)$$

где  $P$  – мощность конвективного источника нагрева:

$$P = K_r \frac{\partial Q}{\partial t} = K_r \frac{\lambda S \cdot \Delta T}{l}. \quad (8)$$

Мощность конвективного нагрева при разности температур  $\Delta T = 255^\circ\text{C}$ , времени нагрева 20 с, средней теплопроводности воздуха в диапазоне температур  $80\text{--}300^\circ\text{C}$   $14,96 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$  нелинейно падает с увеличением расстояния от источника нагрева до поверхности (рис. 2). Температура в зоне нагрева достигает максимальных значений за 15–20 с и также зависит от расстояний от источника нагрева (рис. 3). С увеличением расстояния от источника температура в рабочей зоне растёт медленнее, что снижает термоудар на печатную плату.

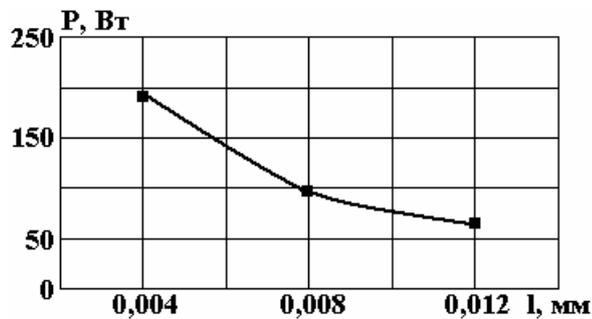


Рис. 2. Зависимость мощности, выделяемой в зоне нагрева конвективным источником, от расстояния до сопла термофена

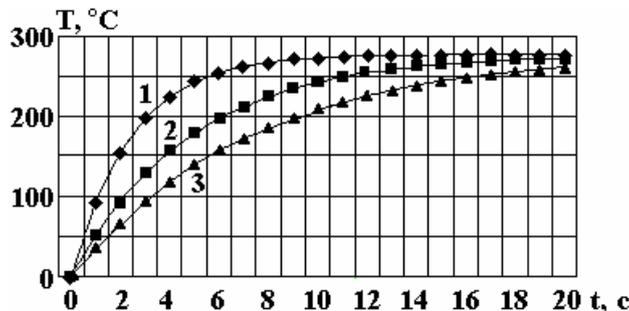


Рис. 3. Термопрофиль нагрева конвективным источником при различных расстояниях от источника

Основным преимуществом конвективных источников нагрева является возможность применения различных насадок термофена для распределения воздушного потока, такой способ нагрева удобно использовать при ремонте электронных модулей. Процесс демонтажа микросхемы при помощи термофена включает: установку вакуумного захвата на ее поверхность, расплавление припоя горячим воздухом (рис. 4,а) и демонтаж (рис. 4,б). Процесс демонтажа горячим воздухом довольно

сложен, так как температура в зоне нагрева зависит от расстояния до нагреваемой поверхности, а также от угла наклона рабочего инструмента относительно нее.

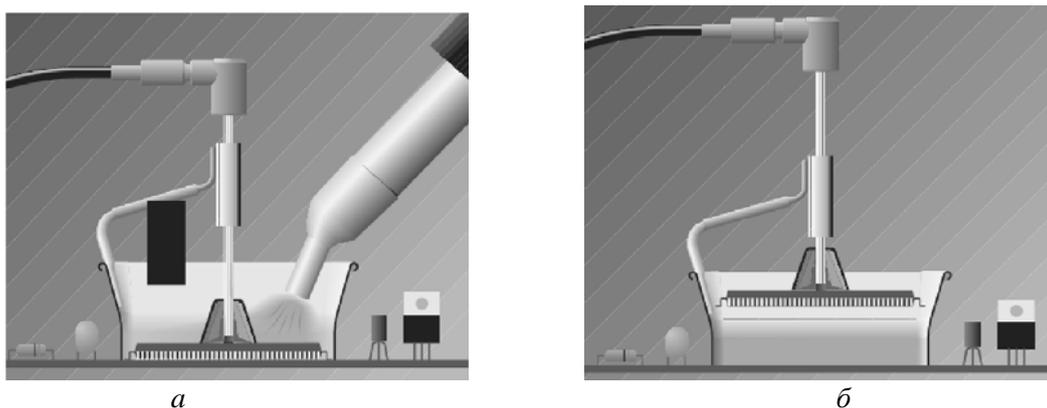


Рис. 4. Монтаж (а) и демонтаж компонента с платы (б) термофеном

При конвективном нагреве необходимо точное дозирование припоя, поскольку чем больше его масса, тем больше времени необходимо на распайку, а значит, печатная плата дольше находится под воздействием температуры, что является критичным для её прочностных характеристик. Использование бессвинцовых припоев, имеющих более высокую температуру плавления, усложняет задачу демонтажа конвективными нагревателями, так как требует высокой точности контроля температуры в рабочей зоне.

Источники инфракрасного (ИК) нагрева также широко используются для монтажа поверхностно-монтируемых электронных компонентов на печатных платах, подогрева печатных плат при монтаже или ремонте электронных модулей. Нагрев ИК излучением имеет ряд преимуществ, однако их реализация зависит от конструкции установки ИК нагрева [3].

В зависимости от конкретных условий используют различные по геометрии рефлекторы, формирующие тепловое поле в зоне нагрева: фокусирующий, диффузный и с сопловой насадкой. Основные преимущества источников ИК нагрева – более высокая температура нагрева, ее стабильность в процессе пайки и возможность точного контроля температуры в зоне нагрева. Однако при ИК нагреве большое количество тепла, выделяемое при нагреве, поглощается корпусами компонентов ввиду их большой площади по сравнению с выводами.

Интенсивность ИК излучения складывается из интенсивностей прямого и отраженного потоков [4]:

$$I = I_{\text{пр}} + I_{\text{отр}} \quad (9)$$

Интенсивность прямого потока излучения зависит от мощности ИК источника  $P_u$ , расстояния от источника  $h$  и размеров зоны нагрева:

$$I_{\text{пр}} = 2 \cdot \frac{P_u}{l \sqrt{x^2 + h^2}}, \quad (10)$$

где  $l$  – длина зоны нагрева;  $x$  – половина ширины зоны нагрева (рис.5).

Интенсивность потока ИК излучения от отражателя с учётом коэффициента отражения

$$I_{\text{отр}} = \frac{\mu \cdot K_s \cdot P_u}{2\pi l \sqrt{R_p^2 + \left(\frac{h^2}{4f} f\right)^2}}, \quad (11)$$

где  $R_p$  – радиус рефлектора,  $f$  – фокусное расстояние,  $K_s$  – коэффициент полезной площади отражения рефлектора,  $\mu$  – коэффициент отражения.

Коэффициент отражения определяется исходя из геометрических размеров ИК источника и поверхности рефлектора:

$$K_S = \frac{S_{И}}{2S_p}, \quad (12)$$

где  $S_{И}$ ,  $S_p$  – площади поверхностей ИК лампы и рефлектора.

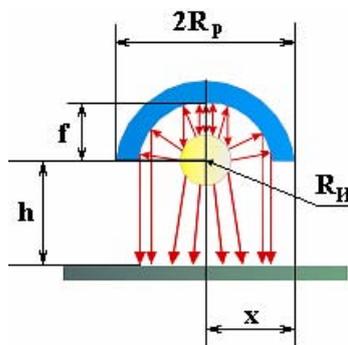


Рис. 5. Схема ИК нагревателя

Интенсивность результирующего потока ИК излучения, падающего на поверхность, ограничена шириной основания отражателя:

$$I_{отр} = K_S \cdot \mu \cdot 2 \cdot \frac{\sum_{i=1}^n \left( \frac{P_u}{2\pi l} \sqrt{R_p^2 + \left( \frac{h^2}{4f} - f \right)^2} \right)}{n}, \quad (13)$$

где  $n$  – количество интервалов, выбираемых при дискретизации зоны нагрева относительно ее центра.

Тогда интенсивность прямого ИК излучения составит:

$$I_{прям} = 2 \int_0^x \frac{P_{И}}{l \sqrt{x^2 + h^2}} dx. \quad (14)$$

Температура в зоне ИК нагрева определяется в соответствии с законом Стефана-Больцмана:

$$T_H = \sqrt[4]{\frac{I + K \cdot T_c^4}{K}} - 273, \quad (15)$$

где  $K$  – постоянная Стефана-Больцмана.

Температура в зоне нагрева зависит также от времени воздействия:

$$T_{нагр} = T_H \left( 1 - e^{-\frac{\tau}{\tau_H}} \right), \quad (16)$$

где  $T_{нагр}$  – температура в зоне нагрева,  $\tau$  – время воздействия теплового потока,  $\tau_H$  – постоянная времени нагрева.

$$\tau_H = \frac{C_T}{\alpha \cdot S_{пов}}, \quad (17)$$

где  $S_{пов}$  – площадь зоны нагрева, ограниченная геометрическими размерами отражателя;  $\alpha$  – коэффициент теплообмена с поверхностью платы;  $C_T$  – теплоемкость материала печатной платы.

$$\alpha = \frac{P_H}{S_{пов} \cdot \Delta T}, \quad (18)$$

где  $\Delta T$  – разность температуры нагрева и окружающей среды;  $P_H$  – мощность нагрева:

$$P_H = I \cdot (S_H + S_P). \quad (19)$$

Зависимость мощности, выделяемой в зоне ИК нагрева источником (с параметрами, приведенными в таблице), от расстояния приведена на рис. 6.

*Параметры источника и зоны ИК нагрева*

$P_{ист}$ , Вт	$h_{ист}$ , м	$R_{ист}$ , м	$l$ , м	$f$ , м	$x'$ , м	$l'$ , м	Площадь рефлектора $S_p$
500	0,05	0,01	0,1	0,03	0,06	0,1	0,009

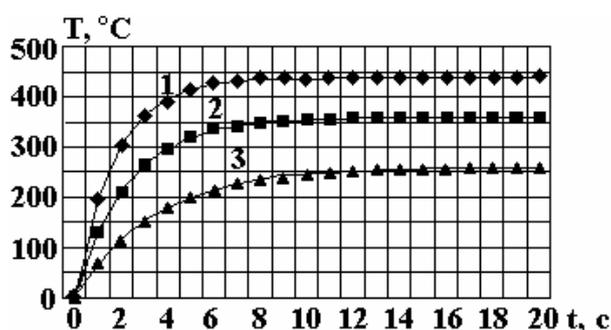


Рис. 6. Зависимость мощности, выделяемой в зоне нагрева ИК источником, от расстояния до источника

Температура в зоне нагрева зависит как от времени воздействия, так и от расстояния до источника ИК нагрева (рис. 7). Температура в рабочей зоне растет достаточно быстро (5–7 с) и в отличие от конвективного нагрева, не критична к изменению расстояния до поверхности.

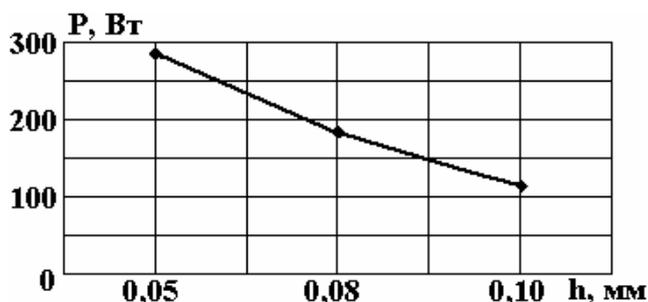


Рис. 7. Термопрофиль ИК нагрева при различных расстояниях от источника

В процессе монтажа и демонтажа электронных модулей конвективными источниками нагрева для поддержания температуры печатной платы и в целях предотвращения термоудара ее подогревают ИК источником излучения (рис. 8). Такой комбинированный способ нагрева реализован в установке для ремонта электронных модулей ERSА IR/PL650 [5], которая представляет собой третье поколение систем ИК пайки, сочетающее три основные технологические системы: ИК и конвекционного нагрева, контроля температуры с обратной связью и бесконтактным измерением температуры. Установка хорошо зарекомендовала себя при работе со сложными печатными платами (с большим количеством компонентов) по бессвинцовой технологии.

При использовании ИК источников нагрева необходимо учитывать конструкцию рефлектора и расстояние от источника до поверхности платы, поскольку излучение не будет фокусироваться в зоне нагрева, что может привести либо к перегреву платы или компонента, либо количества выделяемого тепла не хватит для расплавления припоя. Особенно важно контролировать температуру при бессвинцовой технологии, в таком случае необходимо использовать автоматические системы контроля температуры, обеспечивающие заданный термопрофиль процесса.

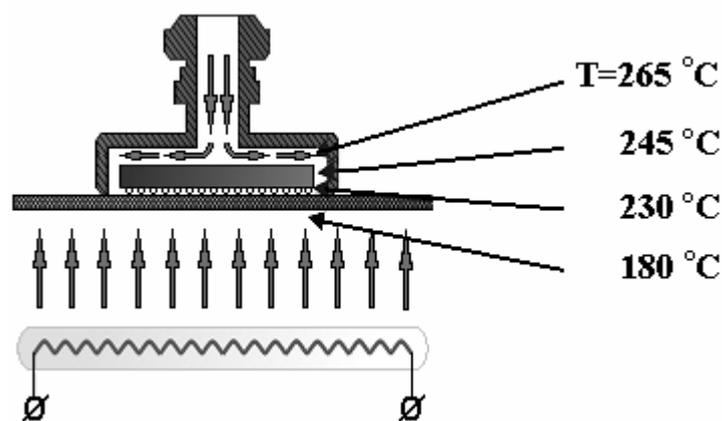


Рис. 8. Нагрев электронного модуля конвективным и ИК источниками

Моделирование термопрофилей конвективного и ИК источников нагрева позволяет рассчитать температуру в зоне нагрева в зависимости от времени воздействия и оптимизировать процесс монтажа или демонтажа электронных модулей, что играет важную роль при работе с дорогими компонентами. Для конвективных источников нагрева необходима оптимизация конструкции насадки для оптимального распределения теплового потока, давления воздуха и скорости распространения в зоне нагрева.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Джюд М., Бриндли К. Пайка при сборке электронных модулей. М.: Изд. Дом “Технологии”, 2006. 416 с.
2. Ланин В.Л., Парковский В.В. Монтаж и демонтаж электронных компонентов // Компоненты и технологии. 2009. №3. С. 147–152.
3. Ланин В.Л. Инфракрасный нагрев в технологии пайки изделий электроники // Электронная обработка материалов. 2007. № 5. С. 91–96.
4. Зворыкин Д.В., Прохоров Ю.Н. Применение лучистого инфракрасного нагрева в электронной промышленности. М.: Энергия, 1980. 176 с.
5. Афанасьев В. IR/PL650 – третье поколение ремонтных центров фирмы ERSA // Технологии в электронной промышленности. 2006. №4. С. 80–83.

Поступила 13.07.09

#### Summary

Parameters convection and infra-red sources of heating for mounting and demounting of electronic modules on printed-circuit boards with is surface-mounted electronic components are optimised. Modeling of thermoprofiles convection and ИК sources allows optimizing influence time and temperature of electronic components.