

# Применение инфракрасного нагрева для монтажа и демонтажа поверхностного монтируемых компонентов

**Основным фактором, обеспечивающим качество паяных соединений поверхностно монтируемых компонентов в процессе их монтажа и демонтажа и сохранность ремонтируемого изделия, является правильный выбор источника нагрева. Применение инфракрасных (ИК) источников позволяет осуществить локальный нагрев, уменьшить время нагрева ремонтируемого изделия и снизить риск повреждения электронных компонентов. Рассмотрены особенности двух типов ИК-нагревателей: галогенных ИК-ламп накаливания, работающих в ближнем ИК-диапазоне, и керамических нагревателей, действующих в среднем ИК-диапазоне.**

**Владимир Ланин  
Александр Лаппо  
Тимофей Лавор**

## Введение

Современное производство изделий электроники невозможно без разработки новых технологий и оборудования групповой пайки, которое обеспечит качественные паяные соединения при возросшей сложности и плотности монтажа поверхностно монтируемых компонентов [1]. Поверхностно монтируемые компоненты (SMD) в корпусах 01005, 0805, 1210, MELF, SOD, SOT, PLCC, QFP, BGA и т. д. широко распространены в различной электронной технике: мобильных телефонах, персональных компьютерах, бытовых и промышленных приборах.

Для монтажа и демонтажа SMD-компонентов в процессе ремонта электронных изделий применяются инфракрасные паяльные станции различной конструкции, оснащенные разными типами нагревателей. Паяльно-ремонтная станция «Магистр-Ц20» [2] с ИК-нагревом по управляемому двухстороннему тер-

мопрофилю в диапазоне 130–540 °С, состоящая из верхнего керамического нагревателя мощностью 250 Вт и нижнего нагревателя — алюминиевого термостола размером 300×300 мм и мощностью 2100 Вт — поддерживает заданные температуры с помощью блока управления и персонального компьютера (рис. 1а).

В комплекте станции AOYUE 710 [3] предусмотрены блок управления, инфракрасная пушка — инфракрасная галогенная лампа мощностью 200 Вт, нижний кварцевый предварительный нагреватель мощностью 650 Вт, система охлаждения, а также блок бесконтактного инфракрасного температурного контроля во время пайки или демонтажа (рис. 1б).

Технология ИК-пайки имеет ряд преимуществ, таких как [4] высокая скорость нагрева, возможность управления термопрофилем, избирательность нагрева, а также требует дальнейшего развития для повышения качества монтажа и демонтажа поверхностных компонентов в электронных модулях с плотной компоновкой. Для обоснованного выбора источников ИК-нагрева необходим анализ тепловых полей нагреваемых объектов, оценка влияния расстояния от нагревателя до печатной платы на равномерность и скорость нагрева.

## Моделирование ИК-нагрева

Для моделирования процессов инфракрасного нагрева применен метод конечных элементов, позволяющий построить модели систем, имеющих сложную геометрическую конфигурацию и нерегулярную физическую структуру. Для инфракрасного нагрева рассматривается только интегральное, то есть суммарное по всем длинам волн, излучение. Излучающие тепло поверхности задаются абсолютно черными, абсолютно белыми или идеально серыми, поэтому по закону Ламберта их излучение предполагается



Рис. 1. Паяльные ИК-станции: а) «Магистр-Ц20»; б) AOYUE 710

диффузным, с независимой от направления излучения яркостью. В соответствии с законом Стефана — Больцмана, излучаемое с единицы поверхности тепло определяется как [6]:

$$Q = F_s \times \varepsilon \times \sigma \times S_H \times (T_H^4 - T_s^4), \quad (1)$$

где  $F_s$  — угловой коэффициент,  $\varepsilon$  — излучательная способность тела,  $\sigma$  — постоянная Стефана — Больцмана,  $S_H$  — площадь нагрева,  $T_H$  — температура нагревателя,  $T_s$  — температура нагреваемой поверхности.

Длина волны, при которой плотность потока излучения черного тела достигает максимального значения для данной температуры, может быть определена из закона Планка посредством выполнения условия максимума  $T = \text{const}$ :

$$dE_\lambda/d\lambda = d/d\lambda [C_1/\lambda^5 (e^{C_2/\lambda T} - 1)] = 0, \quad (2)$$

где  $E_\lambda$  — плотность потока монохроматического или спектрального излучения черного тела при температуре  $T$ ,  $\lambda$  — длина волны,  $C_1$  и  $C_2$  — первая и вторая постоянные излучения.

Решение уравнения (3) дает формулу закона смещения Вина [7]:

$$\lambda_{\text{max}} \times T = 2,898 \times 10^{-3} m \times K, \quad (3)$$

где  $\lambda_{\text{max}}$  — длина волны, при которой достигается максимум монохроматической плотности потока излучения черного тела с температурой  $T$ .

Для моделирования процесса инфракрасного нагрева необходимо задать начальные и граничные условия. Начальные условия задаются с помощью Wizard модуля Flow Simulation программного комплекса SolidWorks 2012 [8]. К ним относятся система единиц измерения, тип анализа, тип окружающей среды, материал по умолчанию, параметры теплообмена, значения начальных и окружающих условий, точность моделирования, параметры излучаемых поверхностей (Radiative surfaces), источников излучения (Radiative sources) и тепла (Surface source).

Цель моделирования в пакете SolidWorks — получение распределения тепла на плате и установленных поверхностно монтируемых компонентах, подверженных ИК-нагреву. В качестве источников ИК-нагрева выбраны галогенная лампа накаливания КГМ 30/300 (ближняя



Рис. 2. ИК-нагреватели:

а) галогенная ИК-лампа накаливания КГМ 30/300; б) керамический ИК-нагреватель Elstein SHTS/4

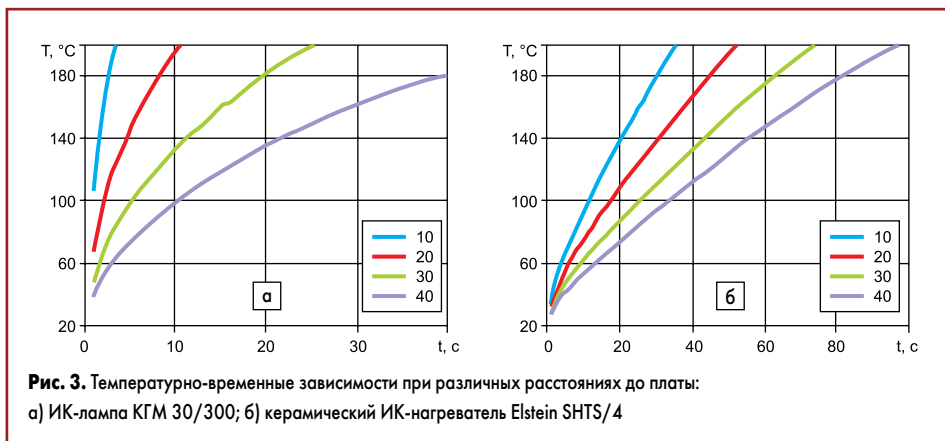


Рис. 3. Температурно-временные зависимости при различных расстояниях до платы:

а) ИК-лампа КГМ 30/300; б) керамический ИК-нагреватель Elstein SHTS/4

Таблица 1. Основные характеристики ИК-нагревателей

	КГМ 30/300	SHTS/4
Длина волны, мкм	0,7–1,5	2–10
Максимальная интенсивность излучения, кВт/м <sup>2</sup>	34,6	76,8
Рабочая температура, К	900	1130
Мощность, Вт	300	300
Напряжение питания, В	30	220
Габаритные размеры, мм	50×12×12	60×60×30

ИК-область спектра) и керамический ИК-нагреватель типа SHTS/4 (рис. 2) фирмы Elstein [9] (средняя ИК-область). Характеристики данных нагревателей приведены в таблице 1.

Моделирование распределения температуры по поверхности печатной платы выполнено в программном пакете SolidWorks 2012. Для расчета были заданы одинаковые для двух типов нагревателей исходные и граничные условия, а также характеристики нагревателей для каждого в отдельности.

Окружающая среда — воздух в нормальных условиях. В качестве модели использовалась 4-слойная печатная плата с габаритными размерами 40×40 мм и с установленными на ней компонентами в корпусах BGA, QFP и SMD —

0805, 1206, 1210. Расстояние от нагревательных элементов до платы изменялось в пределах от 10 до 30 мм. В результате моделирования получены температурно-временные зависимости (рис. 3) и тепловые поля на поверхности электронного модуля (рис. 4). Из температурно-временных зависимостей следует, что с увеличением расстояния до платы скорость нагрева снижается в 2 раза на каждые 10 мм для ламповых и в 1,5 для керамических ИК-нагревателей.

Анализ тепловых полей (рис. 4а) показал, что для галогенной ИК-лампы накаливания КГМ 30/300 неравномерность прогрева печатной платы составила 34–36%, основной нагрев сосредоточен в центре, где достигается температура 200–205 °С, тогда как к краям не превышает 140 °С. На корпусах установленных компонентов неравномерность температуры достаточно значительна и находится в пределах 26–44%.

Для керамического ИК-нагревателя Elstein SHTS/4 (рис. 4б) неравномерность нагрева печатной платы составляет всего 3–4%, температура корпусов поверхностно монтируемых компонентов отличается от температуры печатной платы: BGA на 28–32 °С, QFP — на 24–26 °С и SMD — на 5–20 °С.

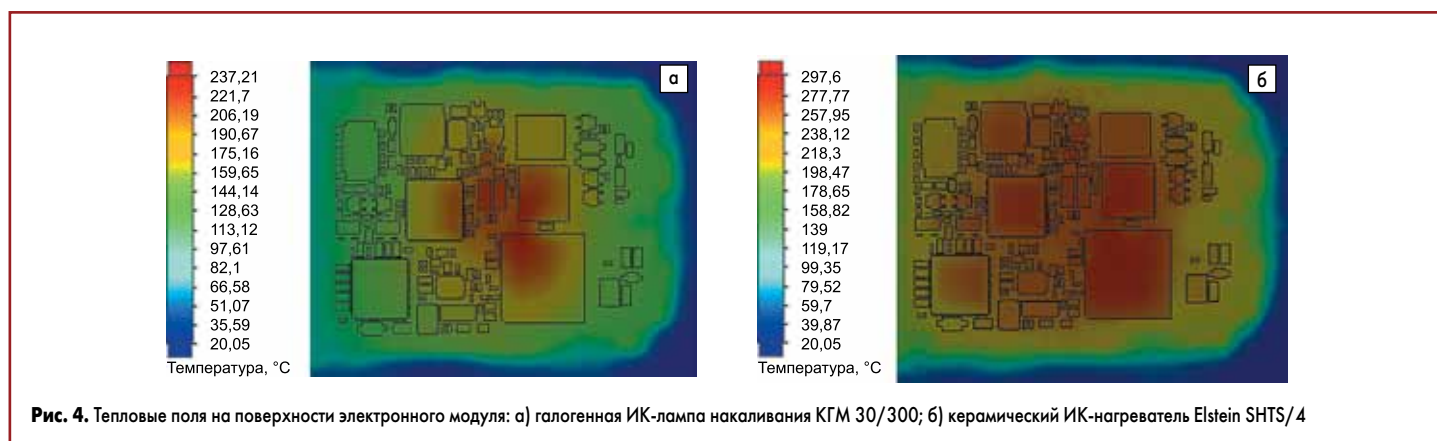


Рис. 4. Тепловые поля на поверхности электронного модуля: а) галогенная ИК-лампа накаливания КГМ 30/300; б) керамический ИК-нагреватель Elstein SHTS/4

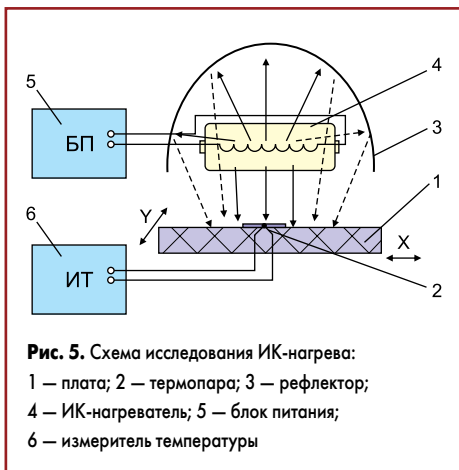
**Таблица 2.** Неравномерность нагрева электронных компонентов, %

	L = 10 мм	L = 20 мм	L = 30 мм
Печатная плата	7–9	5–7	5–7
BGA	5–7	3–5	3–5
QFP	4–6	3–5	3–5
SMD	6–8	3–5	3–5

Для керамического нагревателя исследована неравномерность распределения тепла на различных компонентах в зависимости от расстояния от нагревателя до печатной платы (табл. 2).

### Экспериментальное исследование

Экспериментальное исследование тепловых полей проведено на лабораторном макете (рис. 5), в состав которого входили блок питания, измеритель температуры, источник инфракрасного нагрева. Инфракрасный нагреватель устанавливался на высоте 10 мм от поверхности платы. Измерения температуры нагрева в различных точках печатной платы проводилось с шагом 5 мм по осям X, Y по времени до фазового перехода припоя [10].



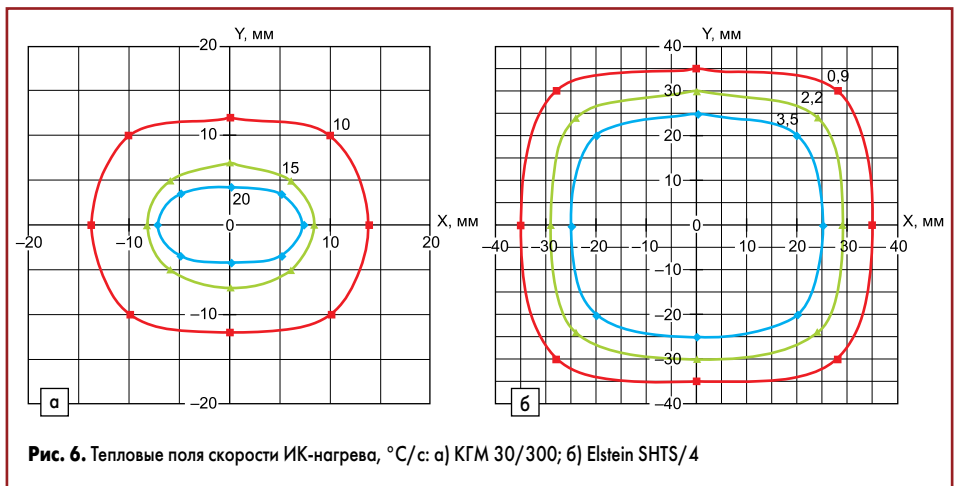
**Рис. 5.** Схема исследования ИК-нагрева: 1 — плата; 2 — термопара; 3 — рефлектор; 4 — ИК-нагреватель; 5 — блок питания; 6 — измеритель температуры

Форма изотерм тепловых полей галогенной лампы накаливания (рис. 6а) свидетельствует о невысокой неравномерности процесса пайки, где максимальная скорость нагрева, равная 20–22 °C/c, зафиксирована на площади 120 мм<sup>2</sup>. Керамический ИК-нагреватель (рис. 6б) характеризуется высокой равномерностью нагрева, но его применение привело к снижению в 5–7 раз скорости нагрева в сравнении с ИК-лампой и составила 3–4 °C/c.

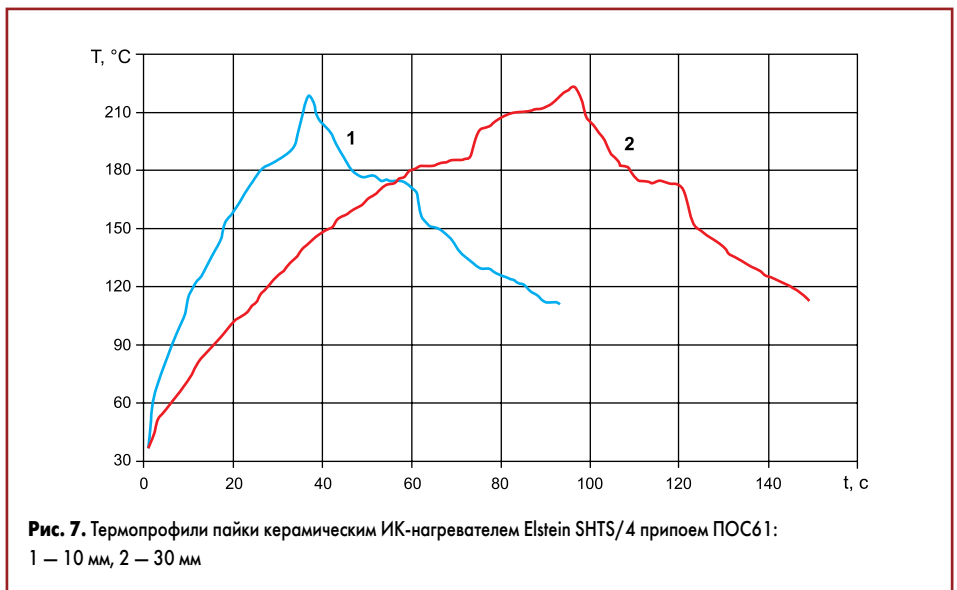
Анализ термопрофилей пайки корпусов BGA ИК-нагревателем Elstein SHTS/4 (рис. 7) для расстояний 10 и 30 мм показал, что при увеличении расстояния в 3 раза скорость нагрева увеличилась в 2–2,5 раза.

### Заключение

Анализ моделей тепловых полей показывает, что для галогенной ИК-лампы накаливания КГМ 30/300 неравномерность нагрева печатной платы составила 34–36%, а на корпусах установленных компонентов неравномерность температуры — 26–44%. Для керамического ИК-нагревателя Elstein SHTS/4



**Рис. 6.** Тепловые поля скорости ИК-нагрева, °C/c: а) КГМ 30/300; б) Elstein SHTS/4



**Рис. 7.** Термопрофили пайки керамическим ИК-нагревателем Elstein SHTS/4 припоем ПОС61: 1 — 10 мм, 2 — 30 мм

неравномерность нагрева печатной платы составляет 3–4%, температура корпусов SMD-компонентов отличается от температуры печатной платы: BGA — на 28–32 °C, QFP — на 24–26 °C и SMD — на 5–20 °C.

Форма экспериментальных изотерм нагрева галогенной лампы накаливания, свидетельствует о невысокой неравномерности процесса пайки, где максимальная скорость нагрева, равная 20 °C/c, сосредоточена на площади 120 мм<sup>2</sup>. Керамический ИК-нагреватель имеет более высокую равномерность нагрева, но его применение в 5–7 раз снижает скорость нагрева в сравнении с ИК-лампой, которая составила 3–4 °C/c.

Для галогенной ИК-лампы характерна большая на 70–74% скорость нагрева в сравнении с керамическими нагревателями, что дает основание для выбора данного источника как основного нагревательного элемента в автоматизированных линиях с высокой производительностью.

Применение керамических ИК-источников среднего диапазона оптимально в ИК-системах, предназначенных для ремонта изделий с SMD-компонентами, поскольку для них требуется высокая равномерность нагрева поверхности изделия во время проведения монтажных работ, а за счет увеличения времени нагрева снижаются термические напряжения в объеме компонентов изделия.

### Литература

- Gibbs R. A Guide to Infrared Rework on BGAs // SMT 2009. May/June.
- Научно-технический центр «Магистр». [www.magistr.su](http://www.magistr.su)
- AOYUE 710 Focused Infrared Welding System. [www.toolboom.com](http://www.toolboom.com)
- Джюд М., Бриндли К. Пайка при сборке электронных модулей. М.: Издательский Дом «Технологии», 2006.
- Смирнов В. В. Метод конечных элементов. Бийск: Изд-во Алт. гос. ун-та, 2001.
- Прахт В. А., Дмитриевский В. А., Сарапулов Ф. Н. Моделирование тепловых и электромагнитных процессов в электротехнических установках. М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2005.
- Медведев А. М. Сборка и монтаж электронных устройств. М.: Техносфера, 2007.
- OSTEC 3D CAD Design Software SOLIDWORKS. [www.solidworks.com](http://www.solidworks.com)
- Керамические инфракрасные нагреватели. [www.symmetron.ru](http://www.symmetron.ru)
- Ланин В. Л., Лаппо А. И. Тепловые поля инфракрасных источников нагрева для монтажа электронных компонентов // Материалы Белорусско-Китайского молодежного инновационного форума «Новые горизонты 2014». 3–4 декабря 2014. Минск, БНТУ.