

УДК 628.98

**Ю. П. Мачехин,**  
 докт. техн. наук,  
**В. В. Ситников,** ст. лаб.  
**В. В. Горбань,** студ.,  
 Харьковський  
 національний  
 університет  
 радіоелектроніки  
**В. Старков,** нач. отд.  
**Н. Максимов**  
 ООО «Светодиодные  
 технологии Украина»

## **ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ИНФРАКРАСНОГО И ЛАЗЕРНОГО НАГРЕВА ПРИ ПАЙКЕ СВЕТОДИОДНЫХ СБОРОК**

### **Введение**

Применение светодиодов в осветительных устройствах основывается на использовании различных технологий монтажа светодиодов в светодиодные сборки, обеспечивающих надежность и долговечность последних [1,2]. Существуют, и широко используются, технологии пайки, которые применяются в зависимости от условий эксплуатации светодиодныхборок и минимизации технологических затрат реализации производственных объемов. Проблемы повышения качества монтажных соединений и производительности при осуществлении поверхностного монтажа вызывают необходимость рационального выбора технологии и оборудования групповой пайки компонентов на плате, что касается в первую очередь светодиодов. Широко применяемая технология групповой пайки волной припоя в полной мере удовлетворяет требованиям монтажа выводных компонентов, монтируемых в отверстия платы, однако для плотного поверхностного монтажа эта технология неприменима [3].

Широкое применение поверхностного монтажа в изделиях электроники потребовало разработки новых технологий групповой пайки. Одной из первых таких технологий, стала пайка компонентов в конвекционных печах, где оплавление припоя осуществлялось за счет нагрева его потоком горячего воздуха. Следующим шагом в развитии технологий пайки стало создание инфракрасных (ИК) печей, которые по сравнению с конвекционными обладают значительно меньшими габаритами (ввиду отсутствия конвейера) и лучшими возможностями по поддержанию необходимого температурного профиля пайки. Инфракрасное излучение обеспечивает высокую скорость локального нагрева и возможность эффективного управления температурным профилем групповой пайки. Для получения качественных паяных соединений в изделиях электроники с плотным поверхностным монтажом необходимы выбор соответствующего оборудования ИК нагрева и оптимизация режимов процесса [4-7].

Целью настоящей работы было развитие теоретических и практических условий применения ИК нагрева для пайки светодиодов при формировании светодиодных

осветительных сборок. В результате разработки макета паяльной установки и проведенных на ее основе исследований, была разработана технология ИК пайки планарным образом монтируемых компонентов (светодиодов). Главная особенность разработанной технологии заключается в том, что уменьшено тепловое влияние на сами светодиоды, которые чувствительны к температурному воздействию.

### **Основные условия применения ИК пайки**

Инфракрасное излучение обеспечивает высокую скорость локального нагрева и возможность эффективного управления температурным профилем групповой пайки. Для получения качественных паяных соединений в изделиях электроники с плотным поверхностным монтажом необходимо соответствующее оборудование ИК нагрева и оптимизация тепловых режимов процесса. Технология сборки платы при температуре пайки до 300 °С должна обеспечивать сохранение свойств элементов в течение нескольких десятков секунд. Наиболее совершенной в настоящее время технологией пайки является локальная инфракрасная, когда нагрев производится сфокусированным пучком ИК излучения только в местах пайки. Установки локальной ИК пайки состоят из двух нагревателей, один из которых подогревает плату снизу до сравнительно невысокой температуры, и верхнего, осуществляющего в нужный момент быстрый локальный нагрев требуемой области платы до температуры плавления припоя. Фокусируемая пайка более всего подходит для проведения ремонтных работ с использованием микросхем в корпусах BGA, а также для монтажа и демонтажа компонентов в труднодоступных местах. Применение ИК пайки является новым перспективным направлением в технологии поверхностного монтажа (SMT), которое обеспечивает уменьшение затрат на эксплуатацию оборудования при одновременном повышении качества паяных соединений. Из всего спектра ИК излучения с длинами волн в диапазоне 0,72–1000 мкм для пайки используется только малая часть этого диапазона: близкое излучение 0,7–1,5 мкм, среднее излучение 1,5–5,6 мкм и дальнее – 5,6–10,0 мкм. Длины волн ИК-излучения определяются законом Планка, который устанавливает связь между температурой источника излучения (при повышении температуры нагревателя длина волны излучения сдвигается в сторону меньших значений). Чем короче длина волны излучения, тем глубже оно проникает в тело, поэтому ИК излучение с меньшими длинами волн будет обеспечивать более глубокое его проникновение по сравнению со средними и большими длинами волн. Различные материалы по-разному адсорбируют ИК энергию. Различают четыре условия передачи ИК энергии телу: отражение, непрозрачность, прозрачность и полупрозрачность. В первом случае вся ИК энергия отражается от поверхности тела, которое не нагревается. Во втором — ИК энергия тормозится на его поверхности, которая в основном и нагревается. В настоящее время в технологии ИК пайки применяют три разновидности конструкций установок, различающиеся видом излучателей: ламповые, панельные и комбинированные. Установки с ламповыми излучателями содержат несколько зон нагрева, где установлен ряд трубчатых ИК ламп снизу и сверху транспортера, на котором размещаются монтируемые платы. В зоне оплавления располагается большее количество ламп, заключенных в отражающие рефлекторы, что позволяет создать большую плотность ИК излучения. В зоне предварительного нагрева лампы располагаются реже, что обеспечивает плавный режим нагрева и выравнивание температуры компонентов. Для удаления летучих соединений, образующихся при пайке, на выходе и входе из зоны нагрева используется система вытяжной вентиляции. На выходе также имеется система принудительного охлаждения плат.

В настоящей работе предложено в качестве перспективного метода пайки светодиодов использовать модернизированный метод ИК-нагрева места пайки с использованием теплового зонта, который перекрывает сам светодиод от теплового

воздействия ИК поля при пайке. Суть модернизированного способа заключается в том, что плата в конвейерной печи с ИК-нагревом перекрывается тепловым зонтом, например, металлическим трафаретом типа трафаретов для нанесения паяльных паст на печатные платы, которые оставляют открытыми только те места, которые соответствуют контактными площадками припаяваемых компонентов. Зонт нагревается до температуры, существенно меньшей температуры нагревателя из-за частичного отражения светового потока благодаря почти зеркальной поверхности зонта.

Для проверки режима и оптимизации условий нагрева было проведено численное моделирование условий ИК нагрева одного элемента сборки. Математическая постановка задачи была сведена к расчету температурного поля на открытой поверхности и на поверхности прикрытой тепловым зонтом. В области платы, перекрытой тепловым зонтом, располагается светодиод. В этой области температура должна быть значительно ниже, чем в области пайки, что и зафиксировано с помощью цветовой карты распределения температуры. Распределение температуры на поверхности платы было смоделировано при двух значениях температур излучателя: 300°C и 365°C. На рис 1 представлен, в условной графической форме, результат вычислений распределения температуры в плоскости теплового зонта и плоскости платы. Следуя температурной шкале, приведенной на рисунках, в правой части, можно оценить температуру платы в области светодиода под тепловым зонтом. Нагреватель располагается над облучаемой поверхностью.

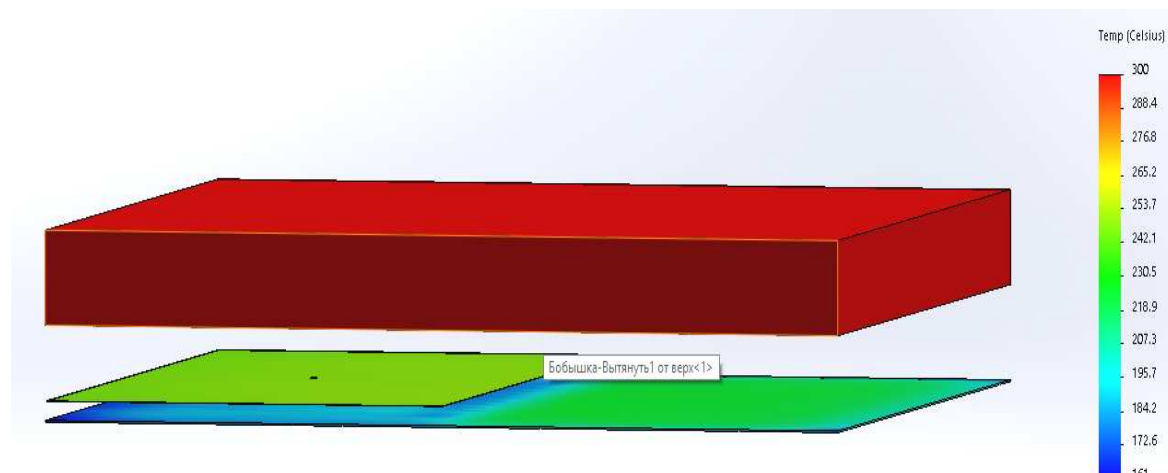


Рис. 1 - Распределение температуры нагрева на поверхности одного элемента, под воздействием нагревателя при температуре 300 °C

Температура, установленная при численном моделировании, показывает, что в области пайки она достаточная для оплавления материала, используемого для пайки. В тоже время температура в области светодиода много меньше, чем в области пайки, что обеспечивает сохранность светодиодов в процессе ИК-пайки. Проведенный расчет распределения температуры под воздействием ИК излучения был подтвержден реальными экспериментальными исследованиями, в которых погрешность оценки составляла около 10%. Эти исследования проводились на разработанной опытной установке ИК-пайки. На установке были выполнены предварительные исследования технологии пайки ИК-излучением с защитой поверхности светодиода тепловым зонтом. Разработанный и изготовленный макет (прототип) установки пайки представлен на рис.2. Макет оснащен 600 ваттным ИК-нагревателем (поз.1), светящим вниз. Нагреватель имеет датчик температуры до  $400 \pm 10^\circ\text{C}$  с контрольной термопарой в геометрическом центре излучающей поверхности. Площадь излучающей поверхности

100x110 мм<sup>2</sup>. Механизм перемещения нагревателя по трем координатам (поз.2) обеспечивает точность позиционирования  $\pm 0,2$ мм. На плите (поз.3) расположены 5 термодатчиков (поз.4), контролирующих распределение температуры по нагреваемой поверхности. Термодатчики практически безинерционные, т.к. не имеют защитных чехлов, а термодатчиковая проволока имеет диаметр 0,2 мм.

Тепловые зонты изготавливались из алюминиевой фольги и фольгированного диэлектрика ФДИ-А50.

Процесс пайки имитировался оплавлением чистого олова (температура плавления 230°C), припойного покрытия олово с добавлением 2% висмута (температура плавления 212°C), припоя ПОС 63 (температура плавления 181°C) и припойной пасты NC 293 (температура плавления 179°C).

В процессе испытаний макетного образца определены расстояния от поверхности до места пайки, время теплового воздействия, необходимого для расплавления припоя, температуру нагревателя и допустимые разбросы технологических параметров.

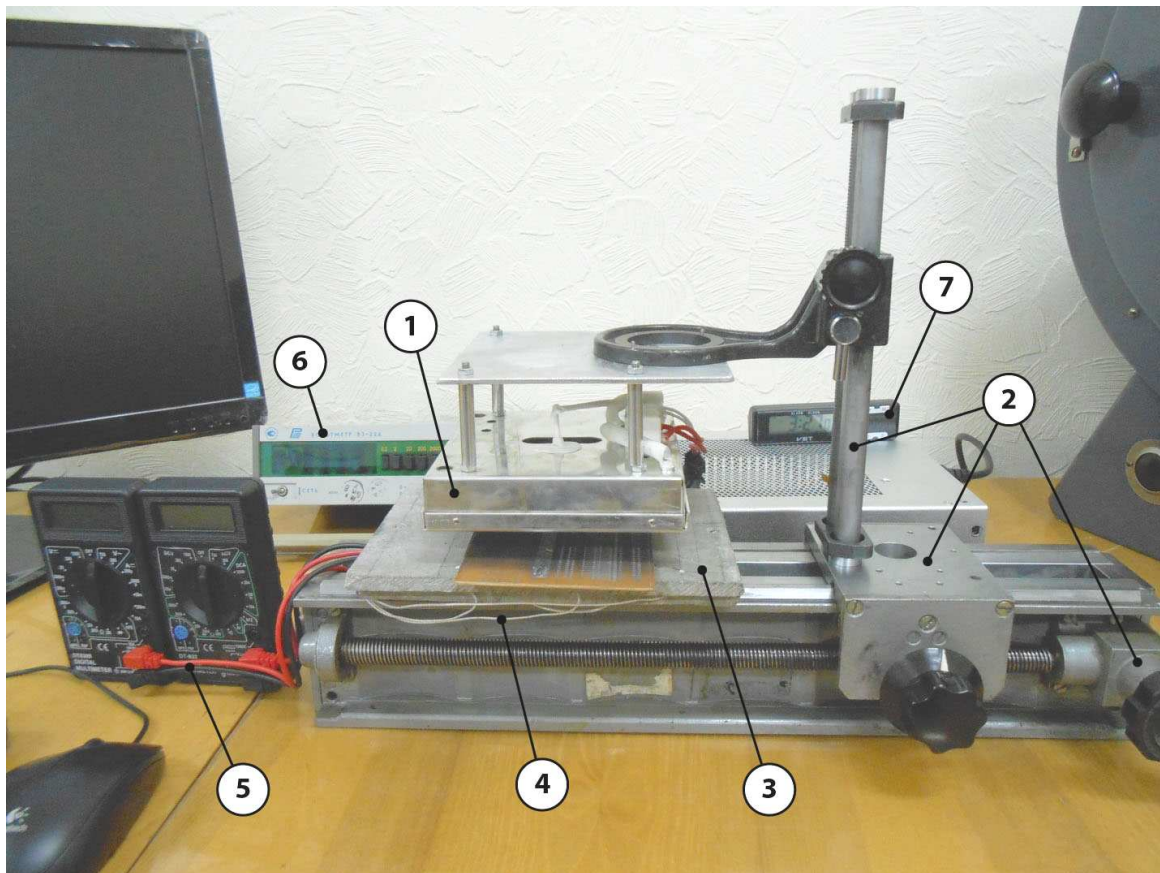


Рис. 2 - Макет установки ИК-пайки

В полном объеме исследования режимов ИК пайки на макете установки были проведены в процессе пайки светодиодов. Главное преимущество разработанной установки заключается в том, что с ее помощью можно исследовать различные технологические приемы ИК пайки, которые можно применять для пайки светодиодов. Макет разработан таким образом, что его можно использовать для пайки с помощью лазерного излучения. Для пайки с помощью лазерного излучения были изучены те источники, которые обеспечивают локальную, точечную пайку светодиодов.

**Перспектива реализации пайки светодиодов с помощью лазерного излучения.** Первая промышленная установка лазерной пайки была создана в США в

1976 году на основе газового лазера. В 1982 году в такой установке уже использовался твердотельный лазер. Сегодня лазерная пайка более других технологий приблизилась к идеальной пайке, которая обеспечивает локальное соединение деталей без перегрева соседних элементов [8]. Благодаря концентрации мощности лазерным лучом в области диаметром около 0,1 мм, стало возможно паять компоненты чувствительные к нагреву и исключить коробление плат. Метод подходит для модулей с плотным расположением компонентов, у которых малое расстояние между выводами. При монтаже не образуются замыкания и шарики припоя. Отсутствие инерционности воздействия излучения позволяет вести нагрев импульсами малой длительности 1...10 мс и точно дозировать энергию. Имеется высокая стабильность температурно-временных режимов. Время непрерывной пайки составляет 0,3...0,8 с, при температуре нагрева 220...250 °С. Время импульсной лазерной пайки составляет 0,02...0,08 с, температура 250...300 °С. Изменяя энергию лазерного излучения, передаваемую в область пайки, можно изменять температуру в широких пределах. Охлаждение при импульсной пайке происходит быстрее, чем при непрерывной пайке. Кратковременное воздействие луча лазера уменьшает окисление. Не требуется предварительный подогрев платы, что является большим преимуществом по сравнению с пайкой волной. Припой быстро расплавляется, смачивает поверхности и заполняет зазор, быстро остывает, что способствует хорошему соединению. Пайки имеют глянцевую поверхность и отличаются высоким качеством. Технология лазерной пайки позволяет создавать полные автоматы. Появляется возможность проводить селективную пайку, при которой отдельные компоненты устанавливаются позднее. Производительность монтажа может до 2000 паек в час.

Очень подробное исследование лазерной пайки было проведено в работе [8], хотя эти исследования основывались на использовании одного типа твердотельного лазера с длиной волны излучения 1,064 мкм. Преимущество лазерного излучения, по сравнению с некогерентным инфракрасным излучением заключается в высокой локализации мощности в зоне нагрева, безынерционность воздействия, что позволяет вести нагрев импульсами малой длительности и точно дозировать энергию излучения в области малой зоны термического влияния. Оптимизация параметров импульсного лазерного излучения позволяет вести прецизионную скоростную пайку планарных выводов, что соответствует требованиям пайки светодиодов.

Физические условия лазерной пайки основаны на достижимом уровне плотности мощности ( $10^8$ - $10^9$  Вт/см<sup>2</sup>) лазерного излучения, что обеспечивает локальный нагрев с высокой скоростью и незначительной зоной термического влияния, что в свою очередь обеспечивает полную сохранность светодиодов от термического воздействия. Режимы лазерной пайки формируются на базе режимов работы лазеров. Для задачи пайки принципиально важными являются два режима работы лазера – импульсный и непрерывный. В качестве импульсного лазера обычно применялся лазер на основе алюмоиттриевого граната с неодимом. Длина волны генерации этого лазера 1,06 мкм и длительность импульса 0,1 с. Лазеры, безусловно, требуют применения довольно сложной и дорогостоящей оптики, которая должна выдерживать большие оптические и температурные нагрузки, а также весьма сложных и дорогостоящих систем контроля и управления режимами работы лазера. Именно охлаждение ламп накачки и активной среды лазера требует двухконтурной системы охлаждения, что, безусловно, усложняет работу с лазером. В настоящее время есть лазеры, которые можно использовать в качестве замены Nd:YAG лазера. Для задачи пайки могут быть использованы мощные полупроводниковые лазеры [9, 10], например, QCW High Power Laser Diode с мощностью излучения 100W и длиной волны излучения 808nm. На рис. 2 показан корпус стоваттного полупроводникового лазера.



Рис. 3 - Мощный полупроводниковый лазер

Другим лазером с необходимым уровнем мощности излучения, который может быть применен для лазерной пайки, является волоконный технологический лазер [11]. Излучение этого лазера может быть с длиной волны 1,07 мкм (волокно, активированное иттербием) и с длиной волны 1,55 мкм (волокно, активированное эрбием). Промышленно производимые волоконные лазеры имеют широкий диапазон параметров. В первую очередь следует отметить очень высокий КПД (25-30%) волоконного лазера. Кроме того, волоконный лазер не требует охлаждения, но для диодных лазеров накачки волоконного лазера используется воздушное охлаждение.

Излучение волоконного лазера можно доставлять до места тепловой обработки с помощью транспортного волокна диаметром от 50 мкм до 150 мкм и длиной до трех метров. Качество пучка излучения очень высокое, что позволяет использовать длиннофокусную оптику, формирующую узкие перетяжки большой длины, и выполнять прецизионную пайку планарных компонент (светодиодов). Непрерывные волоконные лазеры выпускаются малой, средней и большой мощности излучения. Для технологических процессов (резки, сварки и гравировки металлов) применяются непрерывные волоконные лазеры средней мощности от 5 до 100 Вт. Доставка излучения осуществляется по одномодовому волокну, поэтому значение  $M^2$  не превышает 1.2. Мощные лазеры (0,1 -10 кВт) применяются при обработке металла -для резки, сварки, наплавки и спекания порошков.



Рис.4 - Волоконный лазер ИЛМИ-1-50. Средняя мощность в излучении может быть 10, 20 и 50 Вт, энергия в импульсе 0,5 и 1 мДж, частота следования импульсов от 20 до 200 кГц, длина выходного волокна 3 м

В технологических процессах широко используются также импульсные лазеры с энергией импульса до 1 мДж. Тем не менее, применение современных лазерных систем для пайки светодиодов не привели пока к технологическим приемам, которые позволили бы внедрить в практику лазерную пайку светодиодов. Возможности этой технологии далеко не исчерпаны и есть основания ожидать, что дополнительные исследования и сравнение их результатов с ИК пайкой, приведут к новым условиям эффективной и оперативной пайки. Понятно, что перспективы применения лазерной пайки должны быть реализованы в первую очередь на основе волоконного лазера, излучение которого очень удобно доставлять к месту нагрева. Перемещение пучка по поверхности монтажа осуществляется только благодаря смещению фокусирующего объектива.

**Заключение.** В работе были проведены теоретические и экспериментальные исследования условий ИК пайки, предназначенной для монтажа светодиодных сборок. Основу теоретических исследований составил метод теплового расчёта рабочей зоны макетного образца паяльной станции на основе ИК излучения. Приведенные результаты тепловых расчетов были получены с помощью программного комплекса Solid Works Simulation.

Основу экспериментальных исследований составил макет установки, предназначенной для ИК пайки. При изготовлении макета учитывались такие параметры как температура теплового элемента, размеры рабочей зоны и материал теплового зонта. Расстояние между платой и экраном было установлено в 2 мм.

Наряду с изучением возможностей ИК пайки в работе был проведен анализ условий использования современных лазерных источников излучения в ближнем ИК диапазоне, которые обеспечивают практически идеальную пайку. Подготовлены материалы для сравнительного анализа результатов тепловой ИК пайки с результатами лазерной пайкой на основе полупроводниковых и волоконных лазеров.

Результаты получены в рамках проекта ДЗ/450-2013, при финансовой поддержке Государственного агентства по вопросам науки, инноваций и информатизации Украины.

### Литература

1. Кокотов В.З. Конструкции, Технология и автоматизирование проектирование рельефного монтажа: Учеб. пособие. - М.: Изд-во МАИ, 1998.- 96 с.
2. Мэнгин Ч., Макклелланд С. Технология поверхностного монтажа. М.: Мир. 1990.
3. Кундас С. П. , Достанко А. П., Ануфриев Л. П.и др.Технология поверхностного монтажа /Минск: Армита. 2000.
4. Зворыкин Д. Б., Прохоров Ю. И. Применение лучистого инфракрасного нагрева в электронной промышленности. М.: Энергия, 1980.
5. Ланин В. Л., Капралов В. В. Инфракрасный нагрев в технологии поверхностного монтажа // Проблемы проектирования и производства радиоэлектронных средств: Материалы III Международной научно-техн. конф. Т. 1. Новополоцк. 2004. С. 81–84.
6. Ланин В. Л., Хилькевич А. Н. Двусторонний поверхностный монтаж электронных модулей // Известия Белорусской инженерной академии. 2003. № 1(15)/4. С. 145–147.
7. Ланин В. Л. Эффективность нагрева концентрированными потоками энергии при пайке в электронике // Электронная обработка материалов. 2002. № 2. С. 17– 20
8. Ланин В. Л. Инфракрасный нагрев в технологии пайки поверхностного монтажа // Технологии в электронной промышленности, 2007, № 3. С. 38-42
9. <http://portall.zp.ua/video/laser-diode-steel-cutting/id-xTjyrU913mf.html>
10. Ланин В. Л. Лазерная пайка и микросварка изделий электроники //Электронная обработка материалов, 2005, № 3, С. 70– 84
11. Промышленные волоконные лазеры-выбор дня, Ремонт инновации технологии модернизация, 2007, №5, стр.78-78

## ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ІНФРАЧЕРВОНОГО І ЛАЗЕРНОГО НАГРІВУ ПРИ ПАЙЦІ СВІТЛОДІОДНИХ СКЛАДОК

Ю. П. Мачехін, В. В. Сітников, В. В. Горбань, В. Старков, Н. Максимов

*У роботі проведені теоретичні і експериментальні дослідження умов ІЧ пайки, призначеної для монтажу світлодіодних складок. Основу теоретичних досліджень склав метод теплового розрахунку робочої зони макетного зразка паяльної станції на основі ІЧ випромінювання. Приведені результати теплових розрахунків були отримані за допомогою програмного комплексу Solid Works Simulation.*

*Основу експериментальних досліджень склав макет установки, призначеної для ІЧ пайки. При виготовленні макету враховувалися такі параметри як температура теплового елемента, розміри робочої зони і матеріал теплової парасольки.*

## FEATURES OF USE OF INFRARED AND LASER HEATING AT THE SOLDERING OF LED ASSEMBLIES

Yu. P. Machehkin, V. V. Sitnikov, V. V. Gorban, V. Starkov, N. Maksimov

*In work theoretical and pilot researches of conditions of IK of the soldering intended for installation of LED assemblies were conducted. The basis of theoretical researches was made by a method of thermal calculation of a working zone of a model sample of soldering station on the basis of radiation IK. The given results of thermal calculations were received by means of the program Solid Works Simulation complex.*

*The basis of pilot studies was made by the model of the installation intended for IK of the soldering. At production of the model such parameters as temperature of a thermal element, the sizes of a working zone and a material of a thermal umbrella were considered.*