

Д. т. н. А. А. ГРАЧЕВ

Дата поступления в редакцию  
25.10 2002 г.

Украина, г. Киев, НПФ "VD MAIS"  
Email: grachov@vdmiais.kiev.ua

Оппонент к. т. н. А. А. ЕФИМЕНКО  
(ОНПУ, г. Одесса)

## ПОВЕРХНОСТНЫЙ МОНТАЖ ЭЛЕКТРОННЫХ КОМПОНЕНТОВ: ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

*Поэтапное внедрение технологии и оборудования для поверхностного монтажа электронных компонентов позволит создать производства, отвечающие современным требованиям.*

Преимущества перехода на технологию поверхностного монтажа по сравнению с выводным монтажом в отверстия очевидны. Известно, что в 1990-х годах вопросами разработки технологии, оборудования и материалов для поверхностного монтажа в Украине занимались ряд отраслевых институтов и предприятий, например, НИТИ «Темп» (г. Одесса), АО «ЭСМаш», ПО «Микропроцессор» (г. Киев), ПО «Электрон» (г. Львов) и др. Характерным для того периода являлись недостаточная номенклатура и количество электронных компонентов для поверхностного монтажа, т. к. отечественные предприятия только осваивали их производство. Кроме того, отсутствовал серийный выпуск оборудования для монтажа и пайки компонентов.

На сегодня обстановка с технологией поверхностного монтажа на действующих и возрождающихся производствах электронной аппаратуры резко изменилась. Сегодня для разработки и изготовления современной аппаратуры с использованием поверхностного монтажа есть любая элементная база известных зарубежных фирм, таких как IBM, Motorola, Analog Devices, Phillips, Murata и др. Кроме того, оснащение предприятий зарубежным современным технологическим оборудованием и материалами для поверхностного монтажа электронных компонентов способствует внедрению его при сборке электронной аппаратуры.

Следует отметить поэтапный характер внедрения технологии поверхностного монтажа.



Рис. 1. Ручная установка трафаретной печати фирмы ESSEMTEC

На первом этапе, при малых объемах производства (не более 3—5 тыс. печатных узлов в месяц и 100 компонентах на плате), а также в экспериментальном и опытном производстве, используется ручной монтаж электронных компонентов на поверхность печатных плат с применением паяльных станций, например, фирмы RACE (США). При этом использование паяльника с наконечником «мини-волна», термопинцета, термофена, термоотсоса и термоэкстрактора обеспечивает монтаж и демонтаж всех компонентов, включая микросхемы в корпусах SOT, SOI, SOIC, QFP, PLCC. Кроме того, применение паяльного устройства фирмы RACE серии TF-700 позволяет вести конвекционную поштучную пайку и демонтаж современных микросхем в корпусах типа BGA. При этом обработка технологического процесса пайки должна проводиться с обязательным учетом размера и местоположения микросхемы на плате, конструкции и количества слоев платы, количества и массы близрасположенных компонентов, а также общего нагрева всей платы снизу. Особенности монтажа и демонтажа микросхем в BGA- и CSP-корпусах рассмотрены в [1].

Следующим этапом при сборке электронной аппаратуры с объемом производства не более 15—20 тыс. печатных узлов в месяц и 100 компонентах на плате является переход предприятий на групповые технологические процессы подготовки печатных плат путем нанесения паяльной пасты трафаретной печатью и оплавления в печах паяных соединений установленных электронных компонентов. Для этого приобретаются:

- оборудование для нанесения паяльной пасты трафаретной печатью;
- оборудование, производящее установку компонентов на плату;
- оборудование для оплавления паяльной пасты.

Требованиям мелкосерийного производства аппаратуры в наибольшей степени отвечает относительно недорогое оборудование фирмы ESSEMTEC (Швейцария) для нанесения паяльной пасты и установки компонентов на поверхность плат.

Общий вид ручной установки трафаретной печати показан на рис. 1. Основные характеристики оборудования для ручной трафаретной печати фирмы ESSEMTEC приведены в табл. 1.

Совмещение трафарета с рисунком платы в представленных установках обеспечивается с точностью не хуже 0,02 мм. Диапазон смещения платы при совмещении с трафаретом по осям X и Y равен 5 мм, а по углу — 2,5°.

Таблица 1

Характеристики установок ручной трафаретной печати фирмы ESSEMTEC

Наименование	Размеры печатной платы, мм	Примечание
SP-002B	435×355	Плоский стол. Произвольное крепление
SP-002BL	510×510	Вакуумный прижим
SP-002t	435×355	Магнитный прижим на стойках
SP-002M	435×355	Магнитный прижим на стойках
SP-002V	435×355	Вакуумный прижим
SP-002VL	500×410	Вакуумный прижим
SP-002SL	500×410	Вакуумный прижим

Для установки компонентов на платы успешно используются ручные манипуляторы серии EXPERT фирмы ESSEMTEC (рис. 2) с производительностью от 300 до 600 компонентов в час. Обычно такие манипуляторы состоят из следующих основных узлов:

- базового устройства с пантографом;
- головки с автоматическим вакуумным захватом;
- встроенного или внешнего компрессора;
- набора вакуумных наконечников;
- карусельного питателя для подачи компонентов из россыпи.

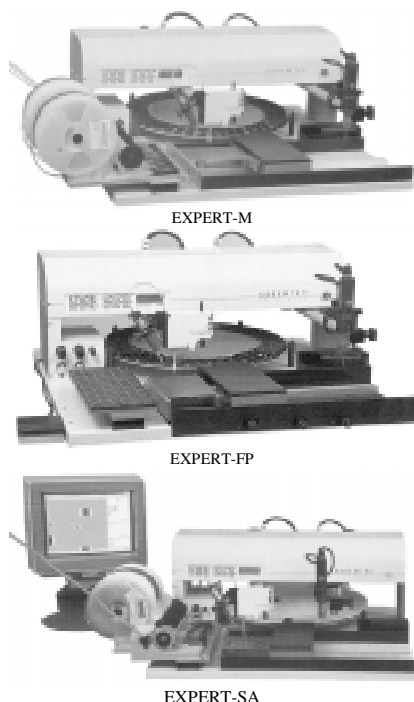


Рис. 2. Манипуляторы фирмы ESSEMTEC

Дополнительно поставляются питатели из ленты и пенала.

Ручные установщики компонентов EXPERT-M могут быть переоборудованы в полуавтоматические EXPERT-SA путем добавления персонального компьютера.

Производительность монтажа повышается до 1000 компонентов в час за счет исключения ошибки оператора при установке

компонентов. Компьютер в соответствии с программой указывает, какой компонент и из какого питателя необходимо захватить. После срабатывания вакуумного захвата он указывает, куда необходимо установить компонент, а в точке установки срабатывают пневматические тормоза. Оператору остается только развернуть компонент вокруг своей оси и опустить его на плату. Вакуумная головка автоматически отпускает компонент.

Система полуавтоматического монтажа EXPERT-FP/SA для установки компонентов с малым шагом создана на базе модели EXPERT-FP и усилена функцией полуавтомата системы EXPERT-SA.

В табл. 2 представлены основные технические характеристики манипуляторов фирмы ESSEMTEC, которые могут быть доукомплектованы дозатором паяльной пасты, а также системой пайки горячим воздухом и системой визуального контроля.

Таблица 2

Характеристики манипуляторов EXPERT

Характеристика	Тип манипулятора			
	Expert-M	Expert-SA	Expert-FP	Expert-FPSA
Производительность, компонентов в час	600	1000	600	600
Стандартный фиксатор плат	+	+	—	—
Полуавтоматическая модель	—	+	—	+
Точность размещения компонентов	—	0,1	—	0,1
Типы корпусов устанавливаемых компонентов, мм	0805- 0.6		0201- 0.4	
Возможность установки дозатора	+	+	+	+
Расход сжатого воздуха, л/мин	10	10	10	10
Масса, кг	20	20	26	26
Габаритные размеры, мм: 750×1040×310				

Для пайки установленных на поверхность плат электронных компонентов используются печи, которые отличаются методом подогрева (инфракрасным, конвекционным, смешанным), количеством зон, мощностью, шириной транспортера.

Практика использования ИК-нагрева при пайке компонентов на поверхность плат показала, что он имеет ряд недостатков. Основные из них:

- «затенение» низких компонентов высокими с возможным образованием зон непроя;
- существенное (в ряде случаев) влияние отражающей способности корпуса компонента на процесс пайки;
- нестабильность распределения температуры внутри отдельных зон печи.

Кроме того, возможно влияние ИК-излучения на работоспособность сложных структур современных интегральных микросхем.

Поэтому в настоящее время предпочтение отдается печам с конвекционным нагревом. При их работе горячий воздух распределяется внутри рабочего объема печи таким образом, что в каждой точке создаются одинаковые условия пайки.

Относительно недорогой конвекционной конвейерной печью, хорошо знакомой на предприятиях Украины, является печь MISTRAL-360 фирмы TECHNOPRINT (Голландия), используемая в мелкосерийном и серийном производстве (см. рис. 3 и табл. 3).



Рис. 3. Конвейерная печь конвекционного оплавления Mistral-360

Таблица 3

Характеристики конвекционной печи MISTRAL-360

Количество температурных зон	4
Длина рабочих зон, мм	1400
Температурный диапазон пайки, °С	180—260
Максимальная ширина печатной платы, мм	365
Скорость конвейера, см/мин	10—120
Мощность печи, Вт	7800
Напряжение питания, В	220/380

Следующим этапом оснащения предприятий является приобретение оборудования, обеспечивающего объем в 20 тысяч и более печатных узлов в месяц.

В этом случае для нанесения паяльной пасты на платы может быть использован полуавтомат трафаретной печати SP-006 фирмы ESSEMTEC (рис. 4), конструкция которого и автоматическая магнитная фиксация высоты рамки в процессе печати позволяют достичь высокой точности и воспроизводимости.

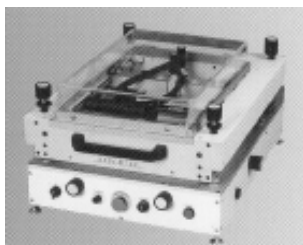


Рис. 4. Полуавтомат трафаретной печати SP-006 фирмы ESSEMTEC

Базовые характеристики полуавтомата SP-006:

- верхний стандартный стол;
- нижний стол, оборудованный вакуумным насосом и контролирующими приборами;
- ракели двойного действия, автоматически перемещающийся по направляющим, с необходимыми регулируемыми устройствами;
- одинарный или двойной процесс печати (печать, чистка/печать, печать/печать);
- точное базирование по трем координатам ( $X$ ,  $Y$ , угол поворота);
- суппорт для подачи инертного газа;
- магнитный замок, фиксирующий размещение рамки на время печати;
- различные виды запуска процесса печати: ручной старт, автоматический старт;
- набор адаптеров для более точной и качественной настройки рамок и трафаретов;
- прочная стальная конструкция.

Технические параметры SP-006:

- максимальный размер печатающей рамки (мм) – 500×400 (модель L – 600×500);

- производительность – 10÷120 мм/с;
- погрешность совмещения трафарета с платой— 0,025 мм;
- габаритные размеры 750×550×360 мм.

В случае необходимости увеличения производительности процесса трафаретной печати паяльной пасты (в условиях крупносерийного производства) может быть использован автомат трафаретной печати SP-100 (рис. 5) с повышенной скоростью перемещения ракеля.



Рис. 5. Автомат трафаретной печати SP-100 фирмы ESSEMTEC

Работа автомата управляется от встроенной микропроцессорной системы. Все контролируемые параметры отображаются на дисплее. Память объемом до 99 программ, учитывающих различные параметры и режимы работы автомата, позволяет вести технологический процесс без присутствия оператора.

Базовые характеристики автомата SP-100:

- исполнение настольное или напольное;
- автоматический контроль, в т. ч. подъема и скорости перемещения ракеля;
- программирование стартовой позиции и хода ракеля;
- электропривод для двойного ракеля (с полиуретановой или металлической рабочей частью);
- магнитная фиксация односторонних или двухсторонних плат;
- размеры плат до 583×583 мм;
- точное базирование по трем координатам ( $X$ ,  $Y$ , угол поворота);
- магнитный замок, фиксирующий размещение рамки на время печати;
- автоматическое включение или отключение процесса печати в зависимости от наличия плат;
- автоматическая загрузка и выгрузка печатных плат.

Технические характеристики SP-100:

- максимальный размер печатающей рамки (мм) — 583×583;
- максимальная высота над платой (мм) — 24;
- программируемое давление ракеля — 10—120 Н;
- производительность — 30÷100 мм/с;
- погрешность совмещения трафарета с платой — 0,025 мм;
- габаритные размеры 780×840×790 мм.

Установку электронных компонентов в серийном и крупносерийном производстве на жестко фиксированные или подвижные печатные платы осуществляют автоматы типа «pick and place». Их отличают повышенная универсальность, возможность монтажа любых компонентов [2].

Выбор автоматов-установщиков зависит, прежде всего, от программы выпуска изделий и сложности

конструкции монтируемого узла (размеры печатной платы, количество и номенклатура устанавливаемых корпусов, способ их установки и др.). Если, например, на плату устанавливается большое количество различных типоразмеров корпусов, то предпочтение следует отдавать гибким автоматам средней производительности, позволяющим устанавливать подавляющее количество компонентов. При большом количестве однотипных и несложных плат преимуществом будут обладать высокопроизводительные автоматы, у которых переход на другой типоразмер плат будет связан только с перезарядкой питателей компонентов.



Рис. 6. Автомат-установщик CP60L™ фирмы Samsung

Автоматы фирмы Samsung (рис. 6, табл. 4) построены по модульному принципу, имеют компьютерные системы управления, обеспечивают работу установочных головок и транспортных трактов, а также взаимодействие систем центрирования, коррекции и опознавания компонентов.

Необходимо отметить, что автоматы-установщики фирмы Samsung, по сравнению с автоматами других ведущих зарубежных фирм, имеют наиболее выгодный показатель «производительность/цена».

Для конвекционной пайки электронных компонентов в условиях крупносерийного производства могут использоваться конвейерные печи RF2062C, RF2082C (рис. 7) и RF20102C фирмы Samsung. Печи поставляются на станине с сетчатым или цепным конвейером. Параметры процесса пайки в печах контролируются встроенным микропроцессором и выводятся

на дисплей пульта управления. Печи имеют соответственно 6, 8 и 10 зон нагрева с отдельной конвекцией в каждой зоне. Технические характеристики печей приведены в табл. 5.



Рис. 7. Конвейерная конвекционная печь RF2082C

Таблица 5

Характеристики печей для групповой пайки

Параметры	Тип печи		
	RF2062C	RF2082C	RF20102C
Количество зон	6	8	10
Потребляемая мощность, кВт	35	43	51
Потребляемый ток, А	105	125	145
Скорость нагнетания воздуха, м/с: 0,5 — 4			
Скорость движения конвейера, м/мин: 0,3 — 1,6			
Габаритные размеры, мм	3530×1200×1420	4250×1200×1450	4970×1200×1420
Масса, кг	1400	1500	1600

В настоящее время успешное внедрение технологии поверхностного монтажа на предприятиях и фирмах Украины проведено при сборке охранных систем, медицинской аппаратуры, средств связи, автомобильной электроники, специальных изделий. Ряд предприятий и фирм, например, фирма «Алай» (г. Киев), завод «Орион» (г. Тернополь), фирма «Экран» (г. Чернигов), СП «Комета-ЭП» (г. Днепропетровск), НПП «ВТН» (г. Винница), компания «Крок-Ком» (г. Николаев) и др. оснащены современным зарубежным автоматизированным оборудованием фирм Philips (Нидерланды), Quad, Fuji (США), Djuki (Япония) и др.

В условиях массового производства электронной аппаратуры с использованием поверхностного мон-

Таблица 4

Характеристики автоматов фирмы Samsung для установки компонентов

Параметры		Тип автомата			
		CP20C/CV	CP45F™	CP45FV™	CP60L™
Размеры печатных плат, мм	макс.	460×400×4	460×400×4	460×400×4	500×400×4
	мин.	50×5×0,4	50×30×0,4	50×30×0,4	50×50×0,4
Типы устанавливаемых компонентов		SOP, QFP, chip	QFP, BGA, chip	QFP, CSP, chip	SOP, QFP, BGA, CSP, chip
Время установки чип-компонента, с		0,37	0,19	0,19	0,1
Ширина ленты питателей, мм		8, 12, 16, 24, 32, 44, 56			
Точность установки компонентов на плату, мм	chip	±0,1	±(0,08...0,1)	±(0,08...0,1)	±0,065
	QFP	±(0,05...0,08)	±0,065	±0,04	±0,065
Габаритные размеры, мм		1660×1540×1408	1660×1540×1408	1660×1540×1408	1700×1870×1470
Масса, кг		1100	1150	1150	2010

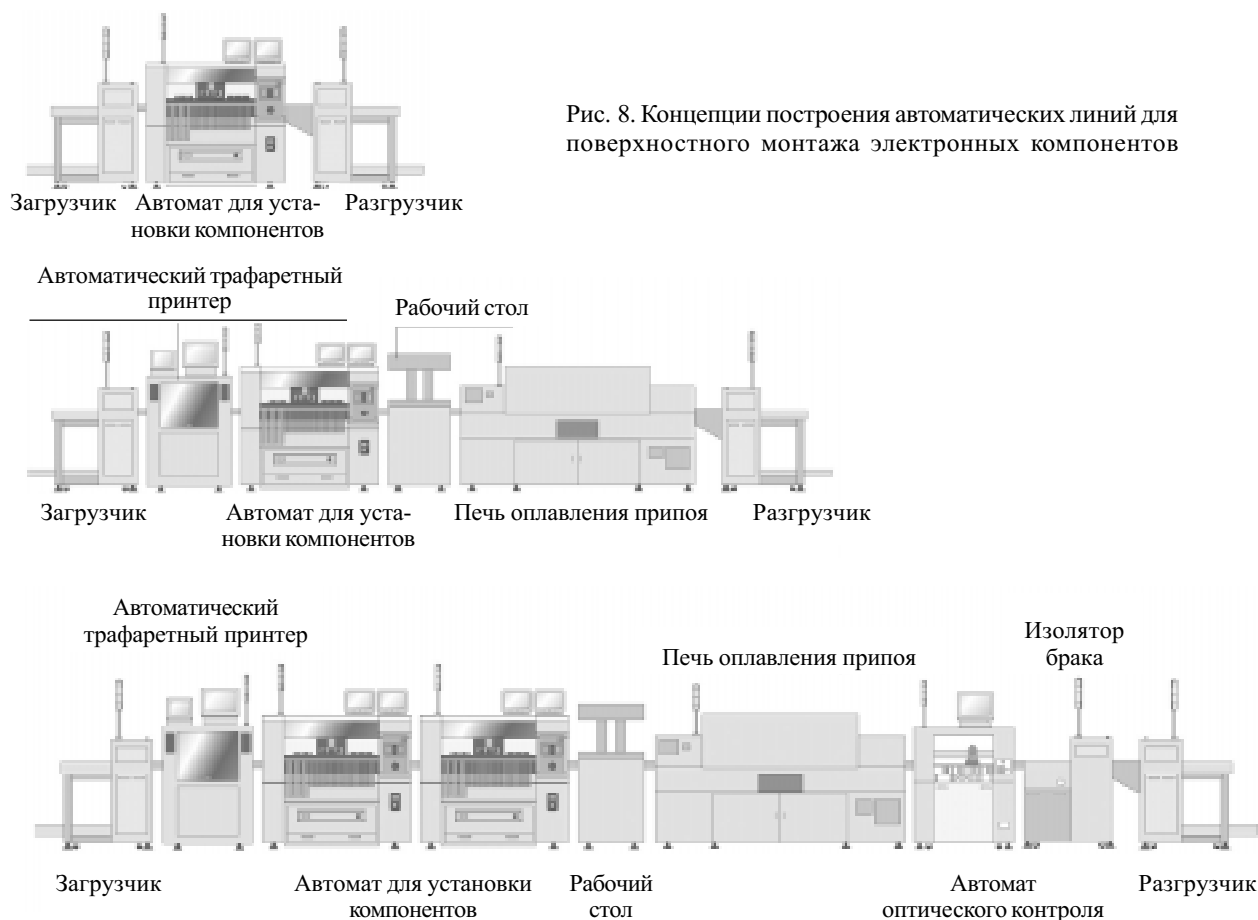


Рис. 8. Концепции построения автоматических линий для поверхностного монтажа электронных компонентов

тажа компонентов определилась тенденция использования не отдельных установок трафаретной печати, автоматов-установщиков и печей, а интегрированных монтажно-сборочных комплексов, которые строятся в виде технологических конвейерных линий. В состав таких линий в качестве связующих элементов между автоматизированными установками входят загрузчики, разгрузчики и конвейерные устройства, обеспечивающие стыковку оборудования в едином технологическом цикле. Конструкторские концепции построения таких технологических конвейерных линий приведены на **рис. 8**. Как видно из рисунка, в зависимости от исполнения в состав линии могут быть включены один или несколько автоматов-установщиков компонентов, различные по исполнению загрузочные, разгрузочные, а также тестирующие устройства.

Дальнейшее развитие технологии и оборудования для поверхностного монтажа связано с совершенствованием электронных компонентов, для которых характерным является:

- миниатюризация, уменьшение массы;
- повышение быстродействия, увеличение степени интеграции и функциональной емкости;
- повышение рабочих частот;
- увеличение количества выводов корпусов и уменьшение шага между ними;

— перевод нестандартных компонентов в конструктивы для монтажа на поверхность плат.

Поэтому дальнейшее расширение области использования поверхностного монтажа с применением автоматизированного оборудования будет характеризоваться увеличением номенклатуры компонентов, монтируемых на поверхность плат, и выполняемых технологических приемов.

\*\*\*

Таким образом, технология и оборудование для поверхностного монтажа электронных компонентов, пройдя поэтапное внедрение на предприятиях и фирмах, выпускающих электронную аппаратуру, позволит создать производства, отвечающие современным требованиям. При этом следует учесть, что только при гибкой структуре этого производства, легко и быстро адаптируемого к новым требованиям потребительского рынка, возможен выпуск конкурентоспособной аппаратуры.

#### ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Грачев А., Малиновский Н. Поверхностный монтаж и демонтаж микросхем в корпусах BGA и CSP // Электронные компоненты и системы.— 2002.— № 3.— С. 38—42.
2. Грачев А., Малиновский Н. Поверхностный монтаж электронных компонентов // Там же.— 2002.— № 1.— С. 28—47.