

# Манипуляторы для поверхностного монтажа электронных модулей

**Применение манипуляторов для поверхностного монтажа электронных модулей в опытном и мелкосерийном производстве может обеспечить приемлемую точность позиционирования и в несколько раз повысить производительность по сравнению с вакуум-пинцетом.**

**Владимир Ланин**

vlanin@bsuir.by

**Алексей Васильев**

Тенденции современной электронной промышленности к уменьшению габаритных размеров плат и увеличению плотности монтажа повышают требования к оборудованию, предназначенному для сборки и ремонта электронных изделий. Сокращение размеров электронных компонентов не только коснулось производителей массовых изделий, но и превратилось в проблему для мелкосерийных изготовителей, подтолкнув их к началу механизации и автоматизации сборочно-монтажного производства. Самое бюджетное решение на данном этапе — манипулятор установки компонентов [1]. Это первый шаг на пути освоения технологии поверхностного монтажа (SMT). Оборудование позволяет при минимальных инвестициях повысить качество выпускаемой продукции и снизить потребности в высококвалифицированных монтажниках.

Полуавтоматические системы установки принципиально отличаются от автоматов — у них отсутствует привод установочной головки и перемещение осуществляет оператор. Автоматизация процесса заключается в запоминании управляющим устройством координат установки каждого компонента и в блокировке перемещения манипулятора в заданных точках. Такой принцип установки удобен в мелкосерийном производстве и в лабораторных ус-

ловиях. Производительность установки компонентов достигает 700 шт./ч [2].

Установщик SMP-330 фирмы «Термопро» (рис. 1) предназначен для оснащения рабочего места монтажника SMD-компонентов в мелкосерийном производстве и обеспечивает проведение ручных операций по нанесению паяльной пасты или адгезива методом дозирования и установке SMD-компонентов посредством переноса из питателей с помощью вакуумного пинцета. Установщик может быть оснащен различными типами питателей для подачи компонентов из лент различной ширины или россыпи.

При монтаже компонентов с шагом выводов до 0,5 мм манипулятор обеспечивает точное дозирование мелкозернистых паяльных паст типов 5, 6 через насадки диаметром 0,15–0,2 мм с высокой повторяемостью. При монтаже компонентов с шагом выводов более 0,5 мм дозирование мелкозернистых паяльных паст типов 3, 4 происходит через насадки диаметром от 0,25 мм [3].

Ручной манипулятор для установки компонентов на печатную плату XMP-300 американской фирмы Vokar (рис. 2) быстро и надежно устанавливает поверхностно монтируемые компоненты с ленточных питателей и лотков для россыпи. Захват, удержание, ориентация компонента в пространстве и установка

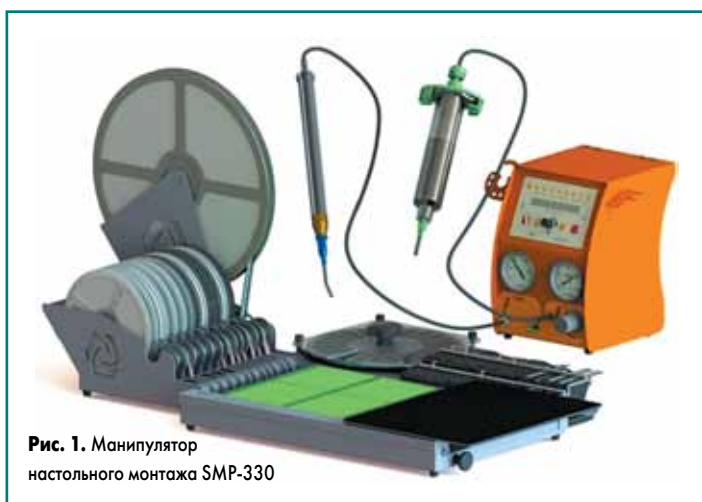


Рис. 1. Манипулятор настольного монтажа SMP-330



Рис. 2. Внешний вид манипулятора XMP-300



Рис. 3. Манипулятор поверхностного монтажа ЭМ-4725

на плату осуществляется с помощью вакуумного захвата. Встроенная система автоматического управления вакуумом обеспечивает его включение при захвате и выключение при установке, что существенно повышает производительность манипулятора.

В зависимости от применяемых опций базовая система XMP может иметь ленточные питатели, пневматический или цифровой дозатор паяльной пасты/клея. Возможна установка видеосистемы для вывода изображения компонентов на монитор [4].

Манипулятор ЭМ-4725 производства ОАО «Планар-СО» (Беларусь) (рис. 3) предназначен для монтажа на поверхность печатных плат SMD-конденсаторов и резисторов, транзисторов в корпусах типа SOT, интегральных микросхем и других элементов, а также для нанесения припойной пасты или клея при помощи дозатора [5].

Манипулятор состоит из вакуумного пинцета, привода Y вакуумного пинцета, дозатора, панели управления, подлокотника и монитора. Устройство осуществляет монтаж SMD-элементов на печатную плату в такой последовательности:

- а) нанесение клея либо паяльной пасты на поверхность платы при помощи дозатора;
- б) присоединение SMD-элементов на поверхность платы вакуумным пинцетом.

В заводской комплектации манипулятора ЭМ-4425 предусмотрены блок управления, головка монтажа, оптический датчик, видеокамера, монитор, компрессор, педаль и переключатель. Манипулятор может быть оснащен ленточными, кассетными или карусельными питателями. С помощью вращающихся бобин (рис. 4а) ленточные питатели обеспечивают подачу компонентов, упакованных в блистер-ленты.

Кассетные двухъярусные питатели предназначены для хранения на рабочем месте SMD-компонентов в обрезках лент. При двухъярусной конфигурации достигается максимальная концентрация различных SMD-компонентов на одном рабочем месте (рис. 4б). Кассетные питатели для обрезков лент устанавливаются на платформу с помощью винтов. На каждой платформе может быть размещено несколько питателей.

Карусельный питатель предназначен для хранения мелких SMD-компонентов россыпью (рис. 4в). Карусель смонтирована на ша-

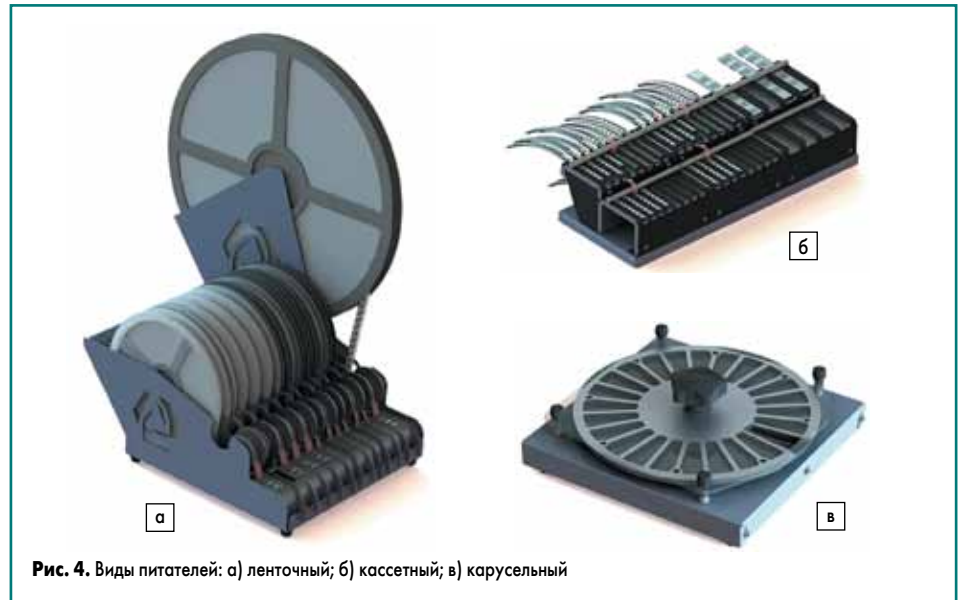


Рис. 4. Виды питателей: а) ленточный; б) кассетный; в) карусельный

Таблица 1. Технические характеристики манипуляторов

Модель	XMP-300 (США)	SMP-330 (Россия)	ЭМ-4725 (Беларусь)
Габариты, мм	670×730×310	580×345×700	740×600×300
Максимальные размеры платы, мм	450×340	500×275	250×350
Производительность, комп./ч	500	300–600	400–500
Максимальная потребляемая мощность, кВт	0,3	0,2	0,2
Шаг выводов, мм	0,5	0,4	0,4
Программируемый дозатор	+	+	–
Дополнительные опции	Питатели, цифровой дозатор	Дозатор, термофен, наборы питателей	Монитор, питатели, дозатор

рикоподшипнике и при помощи рукоятки вращается в любом направлении. В стекле предусмотрена прорезь, через которую оператор имеет доступ к одной из ячеек с SMD.

В таблице 1 приведены технические характеристики манипуляторов для поверхностного монтажа в мелкосерийном производстве.

Для повышения производительности манипулятор дополнительно оснащен дозатором для диспенсорного нанесения пасты и ленточными питателями для подачи SMD-компонентов. На рис. 5 приведена структурная схема модернизированного манипулятора.

Компрессор предназначен для подачи воздуха под давлением к дозатору или создания разряжения в головке монтажа, в зависимости от положения переключателя. Оптический датчик и камера служат для получения изображения и его передачи на видеомонитор. Дозатор осуществляет нанесение паяльной пасты, клея, флюса и других материалов низкой вязкости методом дозирования на печатную плату. Головка монтажа предназначена для захвата SMD-компонентов и их установки на печатную плату. Педаль служит для подачи сжатого воздуха в дозатор. Рабочее место

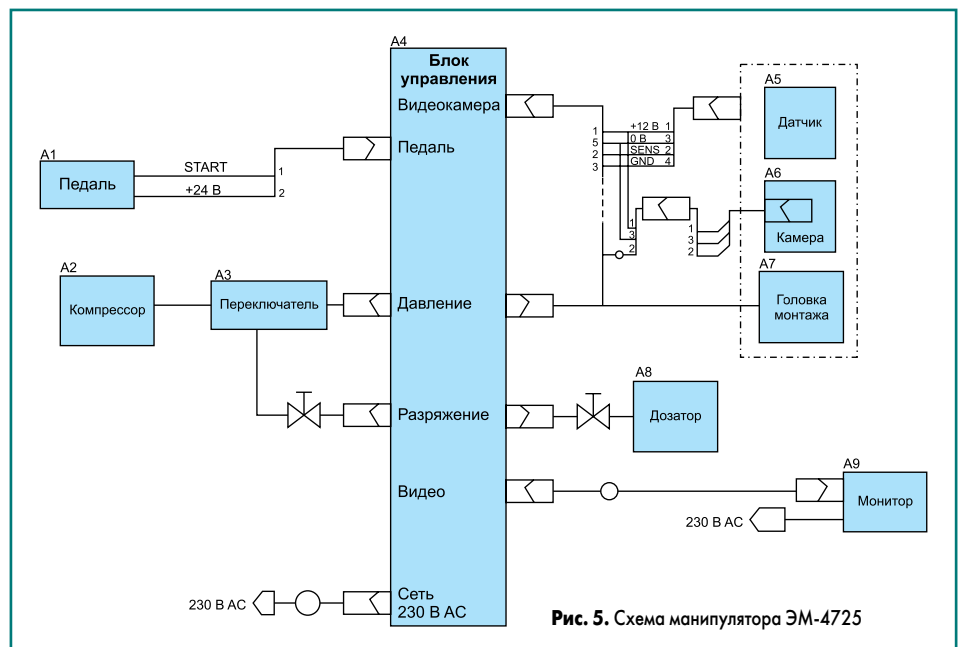


Рис. 5. Схема манипулятора ЭМ-4725



Рис. 6. Рабочее место установки SMD-компонентов

монтажа SMD-компонентов на данном манипуляторе показано на рис. 6.

Для расчета расхода паяльной пасты находим скорость ее истечения из дозатора. На поршень с площадью  $S_0$  действует внешняя сила  $F$ , и паста плотностью  $\rho$  вытекает из отверстия площадью  $S$  (рис. 7). Обозначив скорость движения пасты внутри дозатора через  $v_0$  и согласно уравнению Бернулли, имеем:

$$F/S_0 + 1/2 \times \rho v_0^2 = 1/2 \times \rho v^2. \quad (1)$$

Предположим, что скорости движения пасты во всех точках сечения одинаковые, тогда ее масса  $m$ , протекающая за время  $t$ , равна:

$$m = \rho v S. \quad (2)$$

В стационарном потоке масса  $m$  одна и та же для любого поперечного сечения дозатора, поэтому:

$$\rho_1 v_1 S_1 = \rho_2 v_2 S_2. \quad (3)$$

Если пасту рассматривать как несжимаемую, то  $\rho_1 = \rho_2$  и условие (3) принимает вид:

$$v_1 S_1 = v_2 S_2. \quad (4)$$

С учетом выражения (4) получаем:

$$v S = v_0 S_0. \quad (5)$$

Выражая из формулы (5)  $v_0$  и подставляя в формулу (1), получаем:

$$F/S_0 = 1/2 \rho v^2 [1 - (S/S_0)^2]. \quad (6)$$

Обычно площадь отверстия иглы во много раз меньше площади поршня шприца, то есть  $S \ll S_0$ . Тогда, пренебрегая квадратом отношения  $S/S_0$ , находим силу, необходимую для выдавливания пасты:

$$F = 1/2 \rho v^2 S_0. \quad (7)$$

Скорость вытекания паяльной пасты при этом равна:

$$v = \sqrt{2F/\rho S_0} = \sqrt{2SP/\rho S_0}. \quad (8)$$

где  $P$  — давление.

Масса выдавленной пасты за промежуток времени  $t = 1$  с рассчитывается как:

$$m = S_0 v / \rho. \quad (9)$$

Подставив значение  $v$  из формулы (8), получим:

$$m = (S_0/\rho) \sqrt{2SP/\rho S_0} = \sqrt{2SS_0P/\rho}. \quad (10)$$

При этом плотность паяльной пасты будет равна:

$$\rho = M \times \rho_{pp} / 100\%, \quad (11)$$

где  $M$  — процент содержания металла в паяльной пасте,  $\rho_{pp}$  — плотность припоя в паяльной пасте.

С учетом данных дозатора и пасты Sn62RM92A для  $S_0 = 6,15 \times 10^{-3} \text{ см}^2$ ,  $S = 1,02 \text{ см}^2$

и  $\rho = 7,65 \text{ г/см}^3$  построена зависимость массы дозированной пасты от давления (рис. 8).

### Методика оценки точности позиционирования

Ввиду малых размеров SMD-компонентов, к оборудованию технологии поверхностного монтажа предъявляются высокие требования по точности. В частности, лучшие представители автоматов-установщиков позволяют обеспечить точность установки порядка 10–15 мкм. Базовое значение допуска на центрирование и сдвиг корпусов составляет 25 мкм.

Требуемую точность позиционирования можно рассчитать исходя из геометрических размеров контактных площадок, выводов компонентов и возможных их отклонений. В рассматриваемой схеме (рис. 9) учитывается позиционирование припойной пасты относительно контактной площадки. На схеме площадка припойной пасты смещена влево, а вывод — вправо. При расположении их по центру контактной площадки эти погрешности будут равны 0, то есть  $\Delta x = h = 0$  [6].

Для оценки точности позиционирования можно использовать три критерия:

1. Минимальное расстояние между отпечатком пасты и соседней контактной площадкой по прочности изоляции:

$$\Delta x_1 = P - 1/2((W_B + \delta_k) - (W + \delta_{nn})) - l, \quad (12)$$

где  $\delta_k$  — допуск на размер SMD;  $\delta_{nn}$  — точность изготовления платы.

2. Минимальная ширина зоны перекрытия:

$$\Delta x_2 = 1/2((W_B + \delta_k) + (W + \delta_{nn})) - g. \quad (13)$$

Минимальное значение ширины перекрытия  $\Delta x_{2min} = 0,5p$ .

3. Минимальное расстояние с учетом позиционирования припойной пасты:

$$\Delta x_3 = p - 1/2((W_B + \delta_k) + (W + \delta_{nn})) - l - h, \quad (14)$$

где  $h \leq 0,05 \text{ мм}$ .

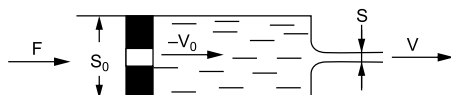


Рис. 7. Схема дозирования паяльной пасты

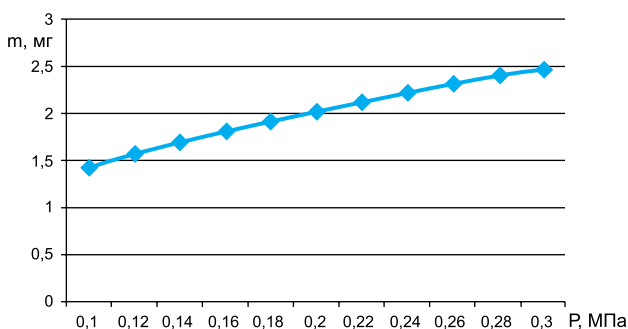


Рис. 8. Зависимость массы дозированной пасты от давления

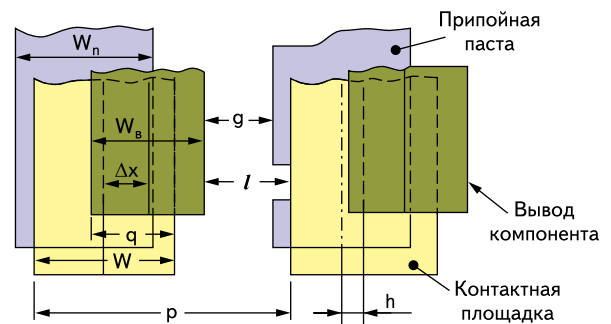


Рис. 9. Схема для расчета точности позиционирования:

$p$  — шаг выводов;  $W$  — ширина контактной площадки;  $W_B$  — ширина вывода;  $l$  — гарантированный зазор исходя из требований изоляционной прочности;  $q$  — ширина перекрытия выводом контактной площадки;  $\Delta x$  — погрешность позиционирования (в направлении X);  $W_n$  — ширина площадки, занимаемой припойной пастой;  $g$  — расстояние от вывода до следующей площадки припойной пасты;  $h$  — погрешность позиционирования припойной пасты

**Таблица 2.** Составляющие точности позиционирования, мкм

Шаг выводов, p	650	500	400	300
Машинная точность	120	90	60	25
Точность компонентов	70	50	40	25
Точность платы	50	40	30	25
Точность нанесения пасты	70	60	50	25
Суммарная точность $\Delta x_i$	162	125	100	50

Применение многовыводных ИС требует проектирования печатных плат с узкими коммутационными дорожками и контактными площадками. При этом могут возникнуть проблемы, связанные с обеспечением необходимого диэлектрического зазора и образованием перемычек припоя между соседними контактными площадками и выводами. В таблице 2 приведены составляющие точности и суммарной точности позиционирования компонентов в зависимости от шага выводов.

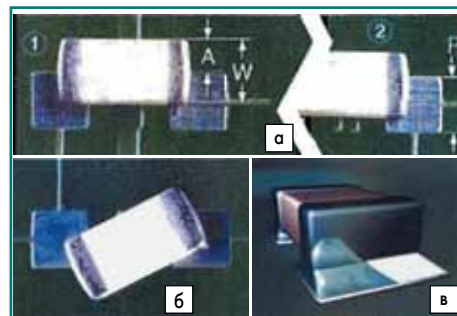
В соответствии с международным стандартом IPC-A-610D установлены визуальные критерии качества электронных сборок, а также регламентированы требования приемки для производства электротехнических и электронных сборок [7]. Требования, предъявляемые к установочным размерам и расположению SMD-компонентов на печатную плату, приведены в таблице 3.

Несоблюдение указанных требований приводит к образованию различных дефектов монтажа. На рис. 10 приведены примеры возможных дефектов при монтаже SMD-компонентов.

Для исследования точности позиционирования и контроля качества установки элементов SMD на печатной плате применен большой инструментальный микроскоп БИМ-1 (рис. 11). При контроле погрешности

**Таблица 3.** Требования к установочным размерам SMD-компонентов при расположении контактных поверхностей с одной, трех или пяти сторон

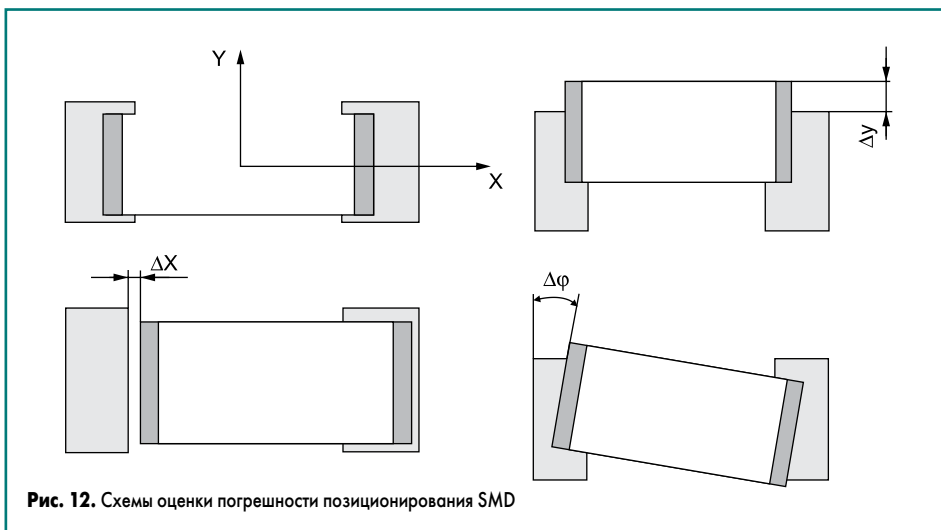
Характеристика	Габарит	Класс 1	Класс 2	Класс 3
Максимальное боковое смещение	A	50% (W) или 50% (P); выбирается наименьшее значение		25% (W) или 25% (P); выбирается наименьшее значение
Торцевое смещение	B	Не допускается		
Минимальная ширина галтели припоя с торца (измеряется от самой узкой стороны галтели припоя)	C	50% (W) или 50% (P); выбирается наименьшее значение		75% (W) или 75% (P); выбирается наименьшее значение
Минимальная длина галтели припоя	D	Галтель припоя должна быть хорошо видна		
Максимальная высота галтели припоя	E	Галтель может выступать за пределы контактной площадки, касание корпуса компонента припоем не допускается		
Минимальная высота галтели припоя	F	Галтель четко просматривается на вертикальных поверхностях выводов компонентов		(G) + 25% (H) или (G) + 0,5 мм; выбирается наименьшее значение
Толщина припоя	G	Должна быть хорошо видна галтель припоя		
Высота вывода компонента	H	Значение параметра определяется конструкцией компонента		
Ширина контактной площадки	P			
Ширина контактной поверхности компонента	W			



**Рис. 10.** Виды дефектов при установке компонентов: а) величина бокового смещения A более 50% ширины контактной поверхности компонента W или 50% ширины контактной площадки P; б) торцевое смещение; в) ширина галтели припоя составляет менее 50%



**Рис. 11.** Большой инструментальный микроскоп БИМ-1



**Рис. 12.** Схемы оценки погрешности позиционирования SMD

**Таблица 4.** Результаты контроля позиционирования SMD-компонентов

Обозначение элемента	Манипулятор			Вакуумный пинцет		
	$\Delta x$ , мкм	$\Delta y$ , мкм	$\Delta \phi$ , град	$\Delta x$ , мкм	$\Delta y$ , мкм	$\Delta \phi$ , град
C1	300	200	0°30'	400	300	1°35'
C2	250	200	0°53'	300	250	1°58'
C3	100	400	1°35'	200	300	1°10'
R1	150	100	0°35'	150	300	0°50'
R2	200	100	1°15'	500	400	1°15'
R3	150	200	0°46'	300	200	0°40'

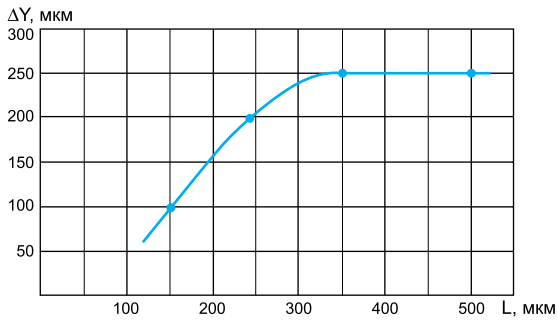
установки элементов измеряют величины их смещения по осям X, Y ( $\Delta x$ ,  $\Delta y$ ), как показано на рис. 12. Результаты оценки точности позиционирования вакуумным пинцетом и манипулятором приведены в таблицах 4 и 5.

С помощью полученных данных построены графические зависимости точности позиционирования от размеров SMD-элементов (рис. 13), массы пасты (рис. 14) и от количества выводов компонента (рис. 15).

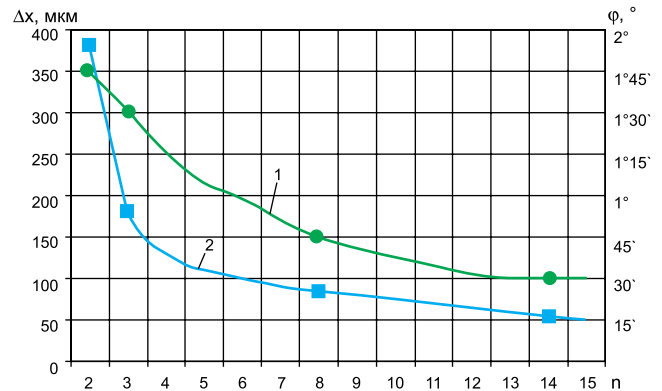
Анализ данных показывает, что установка SMD вакуумным пинцетом имеет значительную погрешность (200–500 мкм). Применение манипулятора ЭМ-4725 позволяет эту погрешность уменьшить до 2 раз за счет более точного перемещения по координатам X, Y. Для снижения погрешности необходимо ис-

**Таблица 5.** Результаты контроля позиционирования многовыводных элементов на манипуляторе ЭМ-4725

Обозначение элемента	$\Delta x$ , мкм	$\Delta y$ , мкм	$\Delta \phi$ , град
VT1	100	100	0°27'
VT 2	150	150	0°45'
VT 3	150	100	0°36'
DD1	150	75	0°6'
DD 2	100	100	0°15'
DD 3	100	100	0°9'



**Рис. 13.** Зависимость погрешности установки от размеров элемента

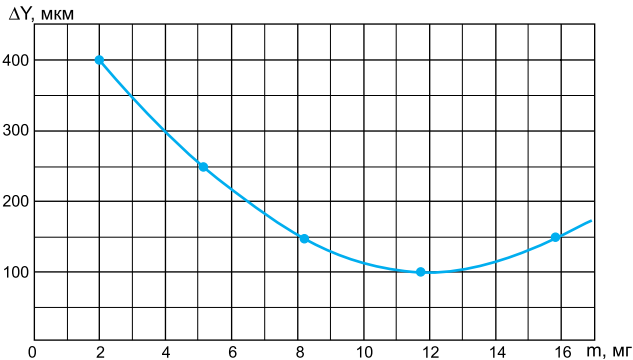


**Рис. 15.** Зависимости точности установки компонентов (1) и угла отклонения (2) от количества выводов компонента

производстве может обеспечить приемлемую точность позиционирования при сборке и в несколько раз повысить производительность по сравнению с вакуум-пинцетом. Использование для поверхностного монтажа электронных модулей манипулятора ЭМ-4725 предпочтительно благодаря малому значению минимального шага выводов, соотношению цена/качество и возможности оснастить его различными дополнительными опциями.

### Литература

1. Lea C. A Scientific Guide to Surface Mount Technology. Buckingham, Electrochemical Publ., 1988.
2. Медведев А.М. Сборка и монтаж электронных устройств. М.: Техносфера, 2007.
3. SMP-330. [www.termopro.ru](http://www.termopro.ru)
4. XMP-300. [www.bokar.com](http://www.bokar.com)
5. Ланин В., Петухов И., Царюк А. Сборка электронных модулей с поверхностным монтажом в мелкосерийном и опытно-производственном производстве // Технологии в электронной промышленности. 2011. № 3.
6. Prasad R.P. Surface Mount Technology. Principles and Practice. Norwell, Kluwer Academic Publ. 1997.
7. IPC-A-610D. Критерии качества электронных сборок. [www.ipc.org](http://www.ipc.org)



**Рис. 14.** Зависимость точности позиционирования SMD от массы паяльной пасты

пользовать оптимальное количество паяльной пасты на контактной площадке, так как если пасты недостаточно или слишком много, растет погрешность позиционирования. С увеличением количества выводов, а значит, и сложности компонента точность позиционирования SMD повышается, что улучшает качество сборки электронных модулей.

### Заключение

Применение простых и недорогих манипуляторов для поверхностного монтажа электронных модулей в опытно- и мелкосерийном