

# О точности установки компонентов для «чайников»

**По поводу точности установщиков компонентов существует большая путаница и множество неясностей. Компоненты становятся все меньше и меньше, а плотность монтажа все увеличивается. Поэтому точность и стала одним из самых важных параметров при выборе нового установщика. Но как можно сравнивать заявленные производителями технические характеристики машин, если вы не знаете, как они получаются и подтверждаются? В этой статье автор попробует объяснить все, что вы хотели знать о точности, но не могли понять.**

**Эдвин де Блау  
(Edvin de Blauw)  
Перевод: Ольга Зотова**

## Сравнивать нужно похожие вещи

Предположим, что ваш друг сказал вам, что он купил машину, которая едет со скоростью 100 км/ч. Думаю, что это вас не впечатлит. Но что будет, если он добавит, что она может набрать эту скорость за 5 секунд и способна ехать с такой скоростью в пустыне с самыми плохими дорогами, какие только можно себе представить, без остановки в течение, по крайней мере, 6 часов? (Кажется, это называется «Ралли Париж-Дакар»?)

Почти то же самое происходит и с определением точности установщика. Если вы укажете, что машина может устанавливать компоненты с погрешностью менее 20 микрон от заданной цели, и не дадите больше никаких данных, то это никому ничего не скажет. Вы немедленно должны будете задать себе следующие вопросы:

1. Это точность установки всех типов компонентов? Это касается только микросхем с малым шагом выводов или и всех других типов компонентов?
2. Какой процент всех компонентов может быть установлен за допустимой областью? Если в технических характеристиках сказано, что точность монтажа составляет 20 микрон, то важно понимать, что какое-то количество компонентов все равно будет установлено за границей допуска.
3. На какой скорости достигается такая точность? Вы понимаете, что если снизить скорость машины, то становится гораздо проще добиться лучшей точности. Тем не менее, на производстве хочется работать на полной скорости.
4. Вам нужна точность? Если вы ставите только большие чипы и обычные микросхемы, то высокая точность установки для вас не так уж и важна. Если вы ставите компоненты 0201 и TSOP с шагом выводов 0,3 мм, то для вас важно знать, что вы сможете это сделать согласно вашим внутренним стандартам качества с допустимым количеством дефектов.

5. Как проверялись эти технические характеристики? Какой метод проверки и какое оборудование использовались?

6. Будет ли машина работать с такой точностью все время в течение дня? Не влияет ли на точность температура окружающей среды? Как часто надо проводить процедуру калибровки машины?

7. Сохранится ли точность установщика спустя 10 лет работы? Как скажется на нем амортизация? Можно ли с помощью калибровки и ежегодного обслуживания сохранить технические параметры машины, или же она будет становиться все менее точной с течением времени?

В 2002 году в IPC (Association Connecting Electronics Industries), международной некоммерческой отраслевой организации, поняли, что промышленности нужен единый стандарт, предписывающий то, как следует определять точность установщиков компонентов. С помощью этого стандарта заказчики смогли бы сравнивать машины, не спрашивая о том, как были получены данные. Стандарт получил название IPC9850. И все больше и больше производителей установщиков поверхностно монтируемых компонентов (включая и компанию MYPDATA) указывают точность своего оборудования согласно этому новому стандарту.

Например, в таблице технических характеристик можно прочесть: «Точность согласно стандарту IPC9850 при Crk 1,33 = 35 мкм и при скорости монтажа 3000 комп/ч». Это может звучать для вас как  $E = MC^2$  или «абракадабра», но подождите! Не надо быть Эйнштейном или профессором математики, чтобы понять формулу. В этой статье мы постараемся объяснить, что к чему, и затронем следующие темы:

1. Что из себя представляет тестовая плата IPC9850, и какой метод измерений следует использовать?
2. В чем разница между точностью и повторяемостью?
3. Что значит индекс Crk?

4. Что представляет собой «чистая производительность» согласно стандарту IPC, и какое она имеет отношение к теоретической скорости установки компонентов?

### Метод тестирования IPC9850

Стандарт IPC9850 четко говорит, какой метод необходимо использовать для определения скорости установщиков. Было разработано несколько специальных тестовых плат для компонентов с малым шагом выводов и для чипов, потому что во многих машинах эти компоненты устанавливаются по-разному: разными монтирующими головками и с использованием разных способов центрирования. Все тестовые платы делаются из стекла, чтобы дефекты самой платы не повлияли на точностные характеристики.

### Тестовые платы IPC9850, используемые компанией MYDATA

Компания MYDATA выбрала тестовые платы QFP100 и 1608C (в метрической системе) для чипов (или 0603 в дюймовом измерении) (рис. 1).

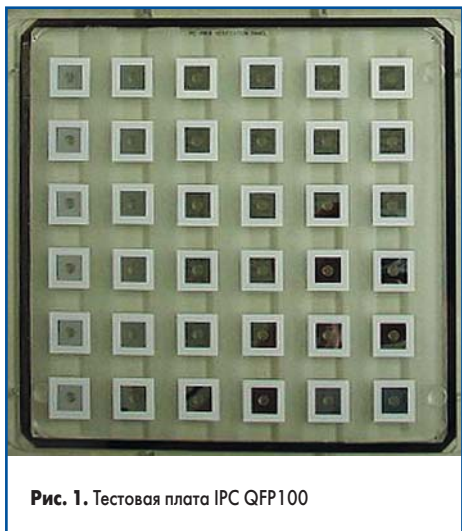


Рис. 1. Тестовая плата IPC QFP100

На тестовой плате QFP100 должно быть установлено под разным углом 36 компонентов с малым шагом выводов. Тестовые компоненты с малым шагом выводов также сделаны из стекла, чтобы устранить возможность того, что плохое качество компонентов повлияет на точность их установки. На тестовой плате располагается 400 чипов под углами в 0°, 90°, 180° и 270°. Для теста используются обычные компоненты 0603.

### Как измерить точность?

Стандарт IPC не предписывает, какая именно координатно-измерительная машина должна использоваться, но вполне очевидно, что эта машина должна быть достаточно точной, чтобы проверить точность монтажа компонентов установщиком. Из практики следует, что измерительная машина должна быть, по крайней мере, в 10 раз точнее, чем измеряемый ею результат. Другими словами, если вы хотите измерить смещение на 1 микрон, то измерения машины должны быть точны до 0,1 микрона!

Представляете, какая дорогая нужна координатно-измерительная машина, чтобы она измерила точность монтажа компонентов высокоточных автоматов?! Компания MYDATA приобрела измерительную машину NIKON стоимостью \$300 000 (рис. 2). Мы пошли на такие капиталовложения, чтобы доказать высокую точность наших установщиков, о которой не понаслышке уже и так знают многие заказчики. Мы просто хотели предоставить доказательства.



Рис. 2. Координатно-измерительная машина NIKON, используемая в компании MYDATA

MYDATA провела тест IPC9850 на 20 машинах на предприятиях заказчиков, чтобы показать, что мы предоставляем данные, полученные не только с одной абсолютно новой специально настроенной машины, находящейся на нашем заводе. Только так можно быть уверенным с большой долей вероятности в надежности предоставленных данных для вашей машины.

Если вы начнете сравнивать заявленные характеристики точности машин по брошюрам, то увидите, что они различаются. Вот некоторые примеры технических характеристик, опубликованных различными производителями установщиков:

- Повторяемость = 15 микрон на  $3\sigma$ .
- Точность = 45 микрон на  $4\sigma$ .
- Точность = 30 микрон (о сигма вообще не упоминается).
- Соответствует теории  $6\sigma$  (никакой другой информации).
- Точность для компонентов с малым шагом выводов согласно IPC 9850 при  $Cpk\ 1,33 = 35$  микрон.

Анализируя такие технические характеристики, никто не скажет, какая все-таки машина наиболее точно установит компоненты на вашей плате. Но еще труднее предсказать, приведет ли это к браку в результате того, что компоненты будут установлены с большим смещением от контактных площадок.

### Что значит «изменение параметров процесса»?

В любом процессе, естественно, есть отклонения. Например, вы едете каждое утро в офис на машине, и среднее время пути составляет, например, 30 минут, но всегда есть какие-то отклонения. Обычно на общее время в дороге влияют светофоры и количество других ма-

шин. Каждый день время отклонения составляет какое-то свое значение, но обычно не превышает 10 минут. Так как факторы, влияющие на это время, вытекают из загруженности дороги транспортом, то мы считаем эти факторы частью процесса. Поэтому они и называются «неотъемлемые изменения параметров процесса». Иногда на процесс могут повлиять и внешние причины. Например, если у вашей машины утром спустило колесо...

Мы можем рассматривать точность монтажа компонентов с такой же точки зрения. Если компонент устанавливается на печатную плату, то предполагается, что он будет установлен в заданной точке координат. Из-за влияния различных факторов реальное место монтажа никогда не будет одним и тем же. Среди факторов, непосредственно влияющих на монтаж компонентов, можно выделить следующие:

- свободный ход несущей головки установщика;
- свободный ход в самих монтажных головках;
- неточность видеосистемы;
- непрочная конструкция рамы установщика.

Внешние причины, например, неправильные CAD-данные, неточная печатная плата, поврежденный компонент и т. д., также могут привести к ряду проблем, но их нельзя учитывать при определении точности монтажа компонентов установщиком. Цель создания технических спецификаций — предсказать, как хорошо машина сможет устанавливать компоненты в заданное положение.

### Что значит «повторяемость»?

Предположим, мы устанавливаем компонент на тестовую плату и затем измеряем, насколько центр установленного компонента смещен от предполагаемой точки монтажа (офсет). Если мы уберем компонент и снова попробуем его установить в то же положение еще несколько раз, то так мы сможем проверить, насколько хорошо машина проделывает эту операцию. Недостаток этого метода заключается в том, что при его использовании не учитывается возможное влияние местоположения компонента на всей площади монтажа.

### Что значит «точность»?

Лучше всего установить много компонентов в разные места на тестовой плате, а затем измерить офсет от заданного положения. Это нужно проделать на множестве плат, чтобы получить лучшее представление о точности монтажа установщика. Эти данные демонстрируют, насколько точно машина устанавливает компоненты на всей площади монтажа.

### Какие данные должны публиковаться?

Конечно, можно публиковать для заказчиков все полученные данные, но это не очень целесообразно. Ведь глядя на все тестовые данные, трудно понять, насколько производительна машина. Да и бумаги на это много понадобится. Поэтому были разработаны статисти-

ческие методы анализа, которые помогают отобразить данные так, чтобы значения отклонений были быстро понятны всем без какой-либо дополнительной информации.

Предположим, что мы устанавливаем на плату 37 чипов и измеряем офсет монтажа относительно заданной точки координат. В таблице 1 показаны измеренные данные офсета. Чтобы данные выглядели компактнее, мы можем сгруппировать их, например, измерения от -15 до -20 микрон объединим в одну группу. В этой

группе у нас 4 полученных измерения. Если мы сосчитаем количество измерений в каждой группе, то получится таблица 2. Чтобы еще более упростить восприятие информации об измерениях, мы можем нарисовать график. Такой график называется гистограммой.

Если по верхушкам столбиков гистограммы провести линию, то мы получим кривую (рис. 3). Первым, кто обнаружил, что процессы, на которые влияют только неотъемлемые изменения параметров, ведут себя предсказуемо, был Карл

Допустим, производитель заявляет о точности монтажа в 25 мкм (микрон). Если не придется никакой дополнительной информации, то невозможно предсказать, как точно машина будет устанавливать компоненты. Возможно, что производитель использует стандартное отклонение ( $=1\sigma$ ). Другими словами, если вы начинаете устанавливать компоненты на этой машине, то 32% всех устанавливаемых компонентов будут смещены от заданного положения более чем на 25 мкм. Что произойдет с оставшимися 68%, непонятно. Поэтому гораздо лучше определять точность монтажа на  $3\sigma$  или  $4\sigma$ . Точность  $3\sigma$ , например, отображает 97% всех полученных измерений, и поэтому широко используется для отображения возможностей машины.

Мораль такова: никогда не рассматривайте характеристики точности и повторяемости установщика, не узнав значение сигма для этих показателей.

### Возможности технологического процесса

Конечно, хорошо знать, насколько точно ваша машина может устанавливать компоненты. Но это совсем неважно, если вам не нужна высокая точность в вашем технологическом процессе. Если на плату устанавливаются только обычные компоненты SOIC и 0805, то покупка самого точного установщика — бесполезная трата денег. Но также необходимо думать о будущем и понимать, что с износом оборудования точность теряется, поэтому важно сравнивать возможности машин с вашими технологическими потребностями. Для этого разработаны различные формулы, которые помогают просчитать, насколько точно будет работать машина в вашем случае.

Ранее мы объяснили, что  $3\sigma$  обозначает 97% всех измерений. Но это все равно ничего не скажет о том, подходит ли вам этот установщик. Проблема со всеми формулами для расчета значения сигма заключается в том, что они не учитывают тот факт, что среднее значение всех измерений может быть полностью сдвинуто.

**Таблица 1.** Измеренные данные офсета

Кол-во установленных чипов	Офсет по X в микронах
1	-7
2	23
3	-12
4	3
5	-1,9
6	-7
7	-17
8	8
9	-22
10	-2
11	-8
12	13
13	9
14	14
15	-1
16	-7
17	-13
18	17
19	-17
20	-2
21	2
22	8
23	-11
24	-7
25	12
26	-1,7
27	4
28	-23
29	-14
30	6
31	-12
32	-2
33	1
34	-9
35	-20
36	16
37	-26
Среднее значение:	-2,9
Ст. отклонение:	12,2

**Таблица 2.** Офсет в микронах по группам

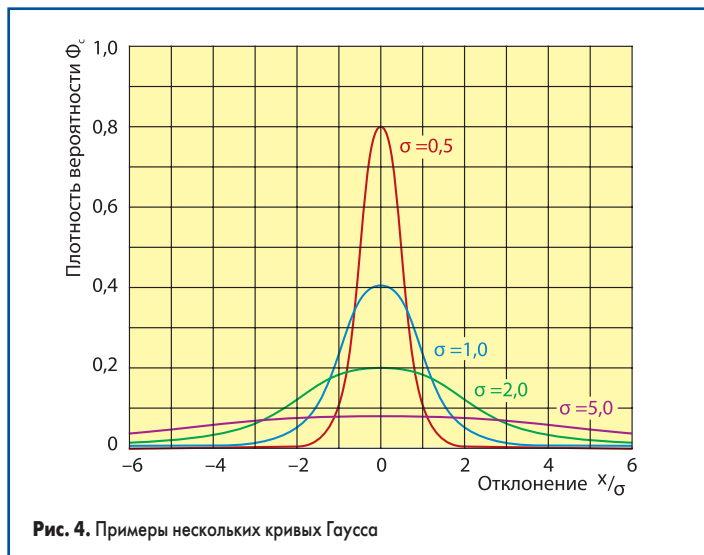
Офсет в микронах по группам	Кол-во в группе
от -30 до -25	1
от -25 до -20	2
от -20 до -15	4
от -15 до -10	5
от -10 до -5	7
от -5 до 0	8
от 0 до 5	6
от 5 до 10	4
от 10 до 15	3
от 15 до 20	2
от 20 до 25	1
от 25 до 30	0

Фридрих Гаусс. Кривые таких процессов всегда имеют форму колокола, и большую часть таких измерений составляет среднее значение. Кривая получила название «кривая Гаусса», или «кривая нормального распределения».

На рис. 4 показаны 4 различные кривые с нормальным распределением. У самой узкой и высокой кривой — самое малое изменение параметров процесса.

Гаусс разработал несколько формул, с помощью которых можно определить распределение по обеим сторонам кривой от среднего значения. Это распределение он назвал стандартным (обычно обозначается как  $\sigma$  или  $1\sigma$ ). Это позволило ему публиковать результаты измерений, не приводя все данные измерений или изображения кривых. Гаусс также определил, что 68% значений нормального распределения расположены между двумя значениями стандартного отклонения.

Ну, вот и все с теорией. А как это связано с техническими характеристиками точности установщика?



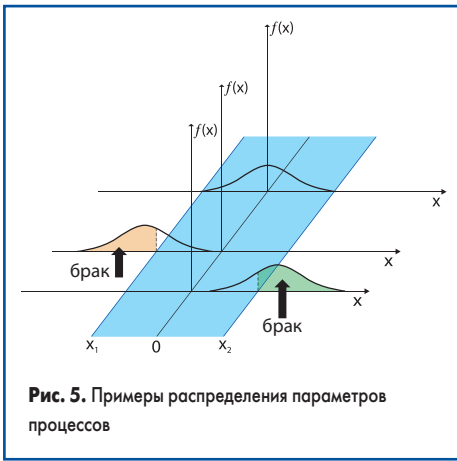


Рис. 5. Примеры распределения параметров процессов

На рис. 5 представлено три повторяемых процесса. Тем не менее, на двух нижних кривых показаны процессы, в которых будет много брака из-за того, что большая часть всех установленных компонентов находится за нужными границами координат, а значит, за допустимыми техническими характеристиками. Поэтому необходима более точная формула, которая бы учитывала такое смещение среднего значения измерений и допустимые границы, устанавливаемые заказчиком.

### Коэффициент Срк

Срк — это самый часто используемый коэффициент для решения описанных проблем и определения возможностей технологического процесса. Этот коэффициент отображает соотношение того, что должно быть выполнено, и того, что может быть выполнено.

Для тех, кто любит формулы:

$S_{rk} = \text{расстояние между средним значением и ближайшей заданной границей} (SL) / 3\sigma$ .

Для тех, кто просто хочет понять, что все это значит:

- Чем выше значение коэффициента Срк, тем лучше процесс подходит для выполнения ваших задач.
- Значение коэффициента Срк в 1,33 равняется 32 единицам отклонений на миллион в вашем технологическом процессе.
- Если перенести это на установщик компонентов, то это значит, что 64 компонента из миллиона установленных будут иметь отклонения от заданных технологических параметров.
- Значение коэффициента Срк = 2 соответствует 2 отклонениям на миллиард в вашем технологическом процессе.

### Допустимые границы вашего технологического процесса в сравнении с параметрами точности, заявленными по IPC9850

Проблема заключается в том, что производители установщиков компонентов не могут публиковать значения Срк для каждого отдельного технологического процесса. Для этого производители говорят, какие границы достигаются при определенном значении коэффициента Срк.

### Пример

Точность 35 мкм при  $S_{rk} = 1,33$  означает, что из одного миллиона установленных компонентов 64 могут быть смещены более чем на 35 микрон от заданных координат. Если это опубликовано согласно стандарту IPC9850, то ясно, какой способ проверки и какие тестовые платы использовались при получении заявленного результата.

Для большинства компонентов допустимые границы гораздо ниже 35 мкм. Если вы работаете согласно стандарту качества IPC610, то нужная точность зависит от типа потребителя, которому вы поставляете свою продукцию. Для изделий промышленного применения чаще всего используется IPC, класс 2. Это значит, что выводы компонента могут быть смещены с контактной площадки на плате максимум на 50% от ширины вывода компонента. Класс 3 чаще всего используется для изделий военного назначения, где допустимое смещение составляет максимум 25%. Класс 1 используется, главным образом, для недорогой потребительской продукции, где смещение вывода может составлять даже 50%.

Давайте рассмотрим пример с самым критичным на сегодня компонентом — 0201. На рис. 6 вы видите размеры компонента (табл. 3), а на рис. 7 — размеры контактных площадок на печатной плате (табл. 4).

Если вы работаете согласно стандарту IPC по классу 3 и будете следовать этим правилам при расчете размера контактных площадок, то компонент все равно можно устанавливать со смещением в 37,5 микрон от центра монтажа. Таким образом, машина с заявленной точно-

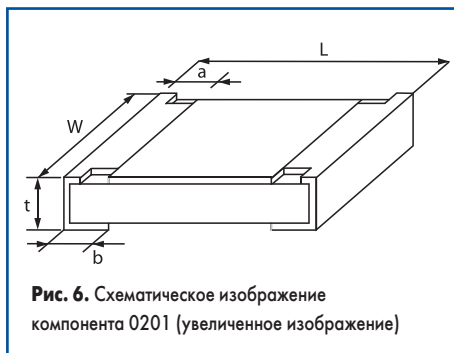


Рис. 6. Схематическое изображение компонента 0201 (увеличенное изображение)

Таблица 3. Размеры в мм

Тип (дюймы)	Размеры				
	W	L	a	b	t
ERJ1G (0201)	0,60 <sup>+0,03</sup>	0,03 <sup>+0,03</sup>	0,10 <sup>+0,05</sup>	0,15 <sup>+0,05</sup>	0,23 <sup>+0,03</sup>

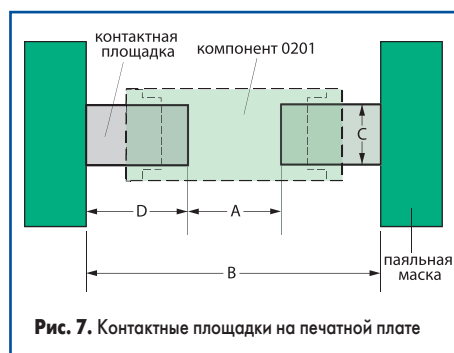


Рис. 7. Контактные площадки на печатной плате

Таблица 4. Габаритные размеры контактной площадки на печатной плате

Размер	A	B	C	D
0201	0,3~0,4	0,8~0,9	0,25~0,35	0,2~0,2

стью в 35 мкм при  $S_{rk} = 1,33$  справится с задачей монтажа компонентов 0201, если монтаж производится по классу 3 стандарта IPC. И теперь вы можете представить, как легко справится машина с монтажом компонента 0201 при работе по классу 1 или классу 2 стандарта IPC.

### Изменение параметров точности со временем

Приятно знать, что у вас достаточно точный установщик компонентов и что он проверен согласно международному стандарту. Но что будет с машиной после того, как вы начнете работу?

### Смещение

Часто встречается проблема сдвига всех компонентов в одном направлении. Эта проблема называется «смещение». Устранить ее можно с помощью повторной калибровки машины. Если повторная калибровка — не очень частая процедура, то большинство заказчиков нормально относятся к этому. Тем не менее, хорошим машинам никогда не нужна дополнительная калибровка, если она не входит в рамки процедуры запланированного технического обслуживания.

### Износ

Гораздо большую проблему представляет собой ухудшение точности монтажа компонентов по различным направлениям. Причиной этому может быть износ монтажной головки или ее несущей. Надежные машины должны устанавливать миллионы компонентов в течение многих лет без потери точности монтажа. Но запас характеристик точности монтажа компонентов новой машины позволит расширить окно технологического процесса и застрахует вас от влияния износа машины на точность монтажа.

### Выводы

Институт IPC разработал стандарт IPC9850, который позволяет однозначно сравнивать точность установщиков поверхностно монтируемых компонентов. Коэффициент Срк позволяет лучше понять, пригодна ли точность установщика для вашего технологического процесса. Компания MYDATA одной из первых среди производителей приняла стандарт IPC9850 и начала указывать во всех таблицах технических характеристик точность своих установщиков согласно этому стандарту.

Когда вы выбираете новый установщик компонентов, обязательно спрашивайте о значении точности согласно стандарту IPC9850. Это поможет вам узнать о точности и скорости монтажа компонентов согласно международно-признанному стандарту.