



Продолжение. Начало в № 3, 4'2005

# Мысли о монтаже

**Олег Пилипенко**

madtitt@yahoo.com

**Как автоматизировать сборку электронных модулей и выбрать для этого оборудование начального уровня?**

В предыдущих публикациях (№3 и 4 за 2005 г.) я постарался убедительно и аргументировано, с цифрами в руках, доказать, что:

1. Автоматизировать процесс сборки электронных модулей экономически выгодно.
2. При наличии некоторой стабильной программы выпуска электронных модулей, гораздо выгоднее осуществлять сборку на собственном производстве.

А теперь вернемся к расчету, приведенному в № 4 журнала. При реальной производительности 3 000 комп./час и упомянутом электронном модуле, сборочная машина обеспечит сборку за месяц (21 рабочий день)  $21/12 \times 1000 = 1750$  электронных модулей (при двухсменной работе). Стоимость сборки каждого модуля при собственном производстве составляет \$2,11, а цена субподрядчика — \$3,7. Экономия на сборке одного электронного модуля —  $3,7 - 2,11 = \$1,59$ . За месяц при изготовлении партии в 1750 модулей экономия средств окажется  $1,59 \times 1750 = \$2782,5$ . А за год (возьмем 10 рабочих месяцев, так как 2 месяца непременно уйдет на праздники, планово-предупредительные ремонты и простои по причине поломок, внезапного тяжелого похмелья у работников и прочих непредвиденных обстоятельств) чистая экономия составит  $10 \times 2782,5 = \$27 825$ . Впечатляет, не правда ли?

При этом все издержки и прочие налоги входят в стоимость \$2,11 за электронный модуль.

Итак, это выгодно. Далее необходимо сделать следующее:

1. Переработать конструкцию электронного модуля для автоматизированной сборки (минимум выводных элементов, размещение всех элементов на одной стороне, используя при необходимости многослойную плату более высокого класса точности, реперные знаки, базовые отверстия, области, свободные от элементов по краям платы и т. д.).
2. Найти грамотного (очень важно!) инженера (или инженера-технолога), который правильно выстроит технологическую цепочку на основе предлагаемых на рынке технологических решений, спланирует размещение оборудования, подводку всех коммуникаций.
3. Этот инженер подберет необходимое оборудование и, что немаловажно, выберет правильного поставщика (очень важное условие, и к нему я вернусь позже), все сам поймет и обучит персонал.
4. Купить оборудование, не забыв выторговать приличную скидку (деньги-то нешуточные!).

5. Подготовить площадку для установки оборудования.
6. Смонтировать и запустить оборудование.

Затем остается только купить большую совковую лопату и грести сэкономленные средства.

Пункт 1 очень подробно описан в материалах поставщиков оборудования, предприятий, предлагающих услуги по сборке электронных модулей, а также в международных стандартах SMEMA и IPC.

Пункт 2, пожалуй, является ключевым. От него во многом зависит скидка на комплект оборудования, дальнейшая его эксплуатация, обучение персонала, технологическая дисциплина, качество, решение и взаимоувязка текущих вопросов и проблем, неизбежно возникающих в процессе производства.

На всем постсоветском пространстве бытует устойчивое мнение: технолог — это несостоявшийся конструктор, не создавая ничего сам, он пытается разобраться в том, что создают другие. Чертеж, схема, гениальная конструкция так и останутся рисунком, информацией, если не будет технолога. Именно от него зависит, как скоро, с какими затратами, в какой степени соответствия замыслу конструктора и технической документации воплотится конструкторская мысль в конкретное изделие.

Если на производстве нет грамотного технолога, оно постепенно приходит в упадок. Качественные расходные технологические материалы заменяются дешевыми, игнорируются требования техпроцессов. Дешевая и некачественная комплектация, плохие технологические материалы усложняют и сбивают техпроцесс. Некому разобраться в причинах брака. Страдает качество, оно нестабильно.

Приведу один очень показательный и довольно курьезный пример из собственной практики. Довелось мне как-то принимать участие в создании технологической линии по сборке и пайке электронных модулей. В пайке волной припой я, признаться, был полным профаном. В техпроцессах предприятия, на котором я работал, перед операцией пайки волной обязательно была записана операция сушки собранных плат в термошкафу при температуре 80 градусов. Причем, паять предписывалось сразу после сушки (термошкаф стоял в одном помещении с установкой пайки). То есть сушка была неотъемлемой частью пайки. Я, как человек недоверчивый, задал вопрос: «Для чего?» «Знающие люди», местные маститые технологи, всерьез уверяли, дескать, платы из текстолита, он очень гигроскопичный. Поэтому влагу перед пайкой необходимо удалить. Иначе она испаряется при пайке, припой кипит, пайка не идет. «И платы с защитной маской тоже?» — спрашивал я. «Тоже!» — уверенно отвечали они. То, что это противоречит здравому смыслу

и на других производствах не применяется, их несколько не смущало. В своих техпроцессах, естественно, никакой сушки перед пайкой я не предусматривал. И на новой технологической линии все пошло как по маслу. Между делом я все-таки пытался разгадать эту каверзную загадку. Отгадка была до смешного простой. Как-то, случайно наблюдая за пайкой на старой установке, я заметил, что ТЭНы предварительного нагрева плат едва-едва теплые, прямо рукой дотронуться можно. Так вот где собака зарыта! Все ведь гениально просто! После флюсования, вследствие низкой температуры предварительного нагрева, из флюса не испаряется спирт, да и сам флюс недостаточно активен при такой температуре. Так называемая «сушка» заменяет предварительный нагрев. Вот и все, раскрыта тайна, над которой 8 лет бились местные «зубры» от технологии. Вот пример того, как не найдя причину, некоторые горе-технологи пытаются устранить последствия. Потом они документируют свои случайные заблуждения и документально и устно передают десятками лет ложные знания и ненужные приемы (вместо того, чтобы написать служебную записку о необходимости отремонтировать оборудование). Впрочем, хотя тайна и раскрыта, на описанном производстве вместо того, чтобы отремонтировать ТЭНы, продолжают сушить (по сути, нагревать) платы перед пайкой волной припоя. Таких случаев в моей практике уже не один десяток, и я, возможно, еще расскажу о них (про паяльники, про температуру пайки, про флюсы, не требующие отмывки, про изопропиловый спирт, про водную и спиртобензиновую отмывку плат).

Если отсутствует должный технологический контроль при создании электронных модулей, возникают ненужные сложности при сборке, пайке и т. п. Убеждая себя и окружающих в том, что сегодня какое-нибудь недалновидное и нетехнологичное решение можно провести быстро и безболезненно (здесь доделай, там подкрути), а технолог — это ненужный мучитель, некоторые горе-инженеры и их руководители (по недопониманию, а иногда и с умыслом) начинают развивать инженерную мысль в ложном направлении. Зачастую свое нежелание думать, принимать решения и брать на себя ответственность они оправдывают тем, что все так делают, в ГОСТе так написано, это дешево и т. п. Незаметно, лет этак через 5, конструкция изделия и технология производства становятся архаичными и безнадежно устаревают. Себестоимость производства растет. Производство заходит в тупик. Нужно начинать все сначала. А это требует больших затрат времени и материальных ресурсов.

Пункт 3. При выборе технологического оборудования начального уровня у предприятия вряд ли найдутся средства и желание обратиться к инжиниринговой фирме-интегратору за квалифицированными услугами по подбору технологии и соответствующего оборудования. Здесь важнее не ошибиться с выбором продавца оборудования. Он по-

может подобрать сбалансированный по цене и производительности комплект, обеспечит своевременную поставку, грамотную пусконаладку, обучение персонала, грамотное и быстрое гарантийное и постгарантийное обслуживание, наличие запчастей на складе или их оперативную доставку от производителя. Кстати, некоторые продвинутые продавцы давно поняли: продавать нужно не оборудование, а комплексное технологическое решение, максимально удовлетворяющее запросы заказчика. А потому начинают создавать у себя отдельные структуры, обрабатывающие заказы как единое технико-технологическое решение с экономическим обоснованием его внедрения, привлекают к этому сторонние организации или специалистов (технологов и экономистов).

Внедряется и такая форма сотрудничества: при желании заказчика модернизировать свое производство, сделать его более гибким и производительным, поставщик забирает старое оборудование с целью восстановления и дальнейшей перепродажи и поставяет новое, с учетом остаточной стоимости прежнего, бывшего в употреблении оборудования.

При выборе комплекта оборудования начального уровня основная ответственность лежит на технологе предприятия (или на ответственном лице, которому поручено это нелегкое дело). Самой важной и дорогостоящей в этом комплекте, естественно, является сборочная машина. Оставим в стороне сугубо специальные характеристики сборочных машин (достижимая точность, способ видеосенсирования и т. п.). Займемся делом. Каковы же критерии выбора и технические характеристики, на которые следует обратить внимание? Будем рассматривать их по степени важности и по порядку.

Первым критерием является производительность сборочной машины, выраженная в количестве компонентов, которые машина в состоянии установить за час (компл./час). Здесь следует четко различать максимальную и реальную производительность. Некоторые производители и поставщики оборудования упорно указывают максимальную производительность в технических характеристиках, даже наряду с производительностью, измеренной по стандарту IPC 9850. Тогда как максимальная производительность характеризует только скорость перемещения суппорта с установочными головками и мало общего имеет с реальной. При измерении производительности по стандарту IPC 9850 используется стандартизованная плата и набор компонентов. Хотя и этот показатель ниже реального процентов на 30, однако по нему уже можно сравнивать аналогичные машины, и конкретная машина может быть таким способом проверена заказчиком. На практике средняя производительность сборочной машины начального уровня колеблется в пределах 40–60% от максимальной и зависит от многих факторов: расположения элементов на плате и питателей, способности программного обеспечения оптимизировать

по времени порядок установки компонентов (свести к минимуму длину пробегов между взятием и установкой компонентов и количество смен наконечников), способности конвертировать в программу установки чертеж платы (в соответствующем формате), затрат времени на простой при ремонте и переналадке. Максимальная производительность (а в подавляющем большинстве случаев для таких сборочных машин указывается именно она) обычно не превышает 6000 комп./час.

Второй определяющий критерий — цена. Базовая цена сборочной машины начального уровня очень сильно зависит от ее технологических возможностей (гамма устанавливаемых компонентов, способ центрирования компонентов, наличие автоматической корректировки нулевой точки, производительность, размер рабочей зоны, количество одновременно устанавливаемых питателей, возможность установки дозатора и полноценной работы с ним и т. д.). Наличие в базовом комплекте таких функций, как автоматическая корректировка нулевой точки, оптимизация программы установки и способности конвертировать чертеж платы в программу установки, очень важны именно для оборудования начального уровня, поскольку стоят немало, если потом докупать их как опции. В более дорогих машинах все эти «мелочи» входят в базовый комплект. Цена на сборочные машины начального уровня варьируется от 20 тыс. до 70 тыс. евро. Печально, но и за такую цену сборочная машина не будет выполнять своего предназначения. Нужно укомплектовать ее питателями для подачи компонентов. А это тоже стоит денег, и немало. Комплект питателей (для начала штук 60) оценивается примерно в половину стоимости самой сборочной машины. Если даже какой-нибудь «добрый» продавец и уступит их дешевле в комплекте с машиной (с дальним прицелом), будьте уверены, когда вам понадобится увеличить число питателей до 120–150 штук (а при многономенклатурном малосерийном гибком производстве и этого мало), он вернет свои деньги с прибылью (а куда же вы денетесь). Полный комплект питателей на сборочную машину начального уровня стоит столько же, сколько сама машина. Поэтому вы должны знать точную цену питателей в комплекте с машиной и отдельно от нее, так как иначе придется или периодически докупать их, или мучиться с выдергиванием и заправкой лент. В идеале количество питателей для компонентов на блистерной ленте должно равняться количеству типонименов компонентов, применяемых в производстве. Из этого следует, что базовая цена не может быть определяющей при выборе сборочной машины начального уровня, поскольку стоимость рабочего комплекта (машина, питатели, компрессор), который запускается в производство, может вдвое превышать базовую цену.

Третий критерий, определяющий выбор, — система питателей и количество одновременно устанавливаемых питателей.



Есть три основных вида компоновки питателей. Первый вид — жесткая компоновка нескольких питателей в одну базу с общим приводом на заводе-изготовителе. Набор питателей в базе заказывается заранее и не поддается изменению у заказчика (например, питатели сборочных машин P20, P40, P60). Второй вид — компоновка нескольких питателей в одну базу с общим приводом с возможностью изменения набора питателей в базе по усмотрению заказчика в процессе эксплуатации (скажем, питатели итальянских машин TWS). Третий вид — отдельные питатели с индивидуальным приводом или приводом от сборочной машины. Эти питатели устанавливаются индивидуально, прямо на сборочную машину. Третий вид питателей является наиболее удобным, но и дорогостоящим. Первый — довольно неудобный. Мне лично приглянулись питатели TWS. При средней цене за питатель почти в 2 раза ниже, чем на других машинах, они вполне надежно выполняют свою функцию. Причем итальянские инженеры разработали настолько простую конструкцию, что для опытного слесаря, владеющего навыками токаря и фрезеровщика, повторить сам питатель не составляет большого труда. Что касается количества одновременно устанавливаемых питателей, то, разумеется, чем больше, тем лучше. Хорошо иметь на сборочной машине хотя бы 60 питателей. Если можно одновременно установить 100–150 — просто замечательно. Не забудьте спросить, а лучше проверить, может ли машина работать со всеми одновременно. Были случаи, когда после модернизации надежной, отработанной сборочной машины (увеличение количества одновременно устанавливаемых питателей вдвое) она могла работать, если только питатели, задействованные в программе сборки данной платы, устанавливали с одной стороны. И это выяснилось при эксплуатации машины у заказчика. Дело, вероятнее всего, в программном обеспечении, но не каждый поставщик заменит вам его по гарантии — машина работает, условия договора соблюдены. Придется раскошелиться на модернизированное ПО или мучиться. Система питателей — очень важный момент при выборе сборочной машины начального уровня.

Перейдем к четвертому критерию выбора сборочной машины начального уровня — к системе центрирования. Если необходимо устанавливать в основном чип-элементы и микросхемы с шагом не менее 0,6 мм, есть вариант сэкономить на оптической системе центрирования 15–20 тыс. евро и купить машину с механическим центрированием. Однако в этом случае в дальнейшем можете забыть об автоматической установке большой номенклатуры точных и сложных элементов. К тому же за механическим центрированием требуется тщательный уход (регулировка, смазка, замена кулачков). Иначе не исключены поломки устанавливаемых компонентов и ухудшение точности установки. Оптические системы центрирования менее капризны, позволяют диагностировать факт и пра-

вильность захвата компонента, механические повреждения установочной головки и наконечника. Они требуют просто периодической протирки оптических элементов.

Пятый, важный критерий — точность установки. Здесь, наверное, лучше говорить не о самой точности установки, а о минимальном шаге между выводами компонента, многократную установку которого сборочной машиной может гарантировать ее производитель.

Шестой критерий — минимальные и максимальные размеры устанавливаемых компонентов и их номенклатура.

Седьмой — размер рабочей зоны. Естественно, чем больше, тем лучше. Для начала, обратите внимание на то, чтобы размер рабочей зоны был кратен стандартному размеру ваших плат. Избыток свободного места можно использовать для установки матричных поддонов с микросхемами (если позволяет программное обеспечение).

Восьмой — возможность автоматической смены наконечников и магазин на 5–10 сменных наконечников.

Девятый — возможность установки полноценного пневматического или шнекового дозатора для пасты и клея. Поверьте опыту — очень пригодится для сборки малых партий. Следует также обратить внимание на возможность последовательного нанесения доз и установки элементов (не все сборочные машины позволяют это делать). Если в пневматическом дозаторе предусмотрена вакуумная отсечка — просто великолепно. Дозирование будет точнее, и исключается вытекание клея при его разогреве в процессе дозирования.

Десятый — сменность работы оборудования. Сборочные машины начального уровня в основном рассчитаны на непрерывную работу в течение не более двух смен. «Не более» означает, что бывает и менее. Поэтому данный вопрос следует обязательно задавать поставщику.

Одиннадцатый — надежность. Надежность подобного класса машин специально не просчитывается и не указывается в технических характеристиках. Соответственно, это качество конкретной машины вы сможете, скорее всего, оценить на собственном опыте. Или проведите разведку у более опытных пользователей выбранной вами сборочной машины. Поставщики оборудования, которым нечего стыдиться, сами дадут вам адреса и телефоны таких пользователей. Общее правило для этого класса машин таково: старые отработанные конструкции более надежны, но менее функциональны.

Двенадцатый критерий — наличие системы коррекции нулевой точки по реперным знакам на плате. Если вы никогда не собираетесь устанавливать чип-компоненты меньше 1206 и микросхемы с шагом менее 1 мм, можете на ней сэкономить. Последующая пайка подправит огрехи установки слепой сборочной машины. Если это, конечно, не пайка волной припоя предварительно приклеенных компонентов. Хотя японская фирма КОКИ уже разработала и продает клей

для приклеивания компонентов со специальными свойствами. При предварительном нагреве на установке пайки волной припоя он размягчается настолько, что позволяет силам поверхностного натяжения выровнять компонент при пайке. Для серьезной сборки система коррекции нулевой точки является необходимой.

Тринадцатый — возможность встраивания в автоматизированную конвейерную линию (подача плат, передача на пайку). Я долго ломал голову над ценностью этого свойства для сборочной машины начального уровня. Дело в том, что некоторые старинные конструкции предусматривают такую возможность. Произошло это, видимо оттого, что при разработке они позиционировались как солидные, производительные машины. Печь оплавления начального уровня, стоящая за сборочной машиной, может справиться с производительностью машины порядка 15 тыс. комп./час. Поэтому она может обслужить от 3 до 6 сборочных машин начального уровня. А выстраивать цепочку автоматических конвейеров между такими машинами экономически абсолютно нецелесообразно. Очень они дороги. Следовательно, данный критерий (тринадцатый) не нужно принимать во внимание. К тому же возможность встраивания машины в конвейерную линию уменьшает количество максимально устанавливаемых питателей. А, как уже говорилось, для машин данного класса это очень важно.

Четырнадцатый — стоимость запчастей. Порядочный поставщик, если ему нечего скрывать, сам назовет вам список и цену запчастей, которые часто могут ломаться в выбранной вами машине. (Любая машина имеет слабые и сильные стороны, важно, чтобы слабых было как можно меньше, стоили они недорого и для их ремонта не требовалось везти машину обратно производителю, а сильных — как можно больше.) Более того, он будет поддерживать их наличие на складе.

Пожалуй, достаточно. Итак, если вы уже выбрали машину, начните с самого главного. Выберите поставщика. От него на 60% будет зависеть удовольствие от работы со сборочной машиной и прибыль от ее эксплуатации. Он должен не только продать, но и помочь выбрать, привезти, запустить, обеспечить гарантийное и постгарантийное обслуживание. И все это должно происходить быстро и квалифицированно. При этом учтите, вы со своей сборочной машиной начального уровня или даже с комплектом оборудования начального уровня за 100–200 тыс. евро клиент в сущности «мелкий» (хотя, возможно, перспективный). Цена одной серьезной сборочной машины производительностью 10–12 тыс. комп./час начинается от 200 тыс. евро, и это без питателей, которые на машины такого класса стоят 600–1200 евро каждый. А потому не все крупные фирмы-поставщики достаточно внимательно относятся к «мелкому» клиенту, после того как продали ему оборудование. Выбор поставщика должен по праву стоять на первом месте.