



СВЕТОДИОДНЫЕ ИЗДЕЛИЯ: КАК ИХ СОБРАТЬ КАЧЕСТВЕННО И НЕДОРОГО?

Александр Завалко

lines@ostec-group.ru

«Протираем радиатор ваткой, смоченной спиртом, то есть обезжириваем. Водка тоже подойдет. Наклеиваем скотч на радиатор. Устанавливаем светодиоды на скотч... Корпус светодиода при этом нужно придерживать пальцем... Самодельный светодиодный светильник готов. Время изготовления – 5 минут с перекурами»

Из статьи в Интернете

«Лето 2010 года было жаркое, и наши светодиодные табло для АЗС, расположенные на солнечной стороне, отказали. С северной стороны табло как новое, а с южной – полностью мертвое»

Из разговора с отечественным производителем светодиодных изделий

В последнее время создание и применение светодиодных ламп, экранов, светофоров и аналогичных изделий, предназначенных для освещения и отображения информации, является «горячей темой», и число отечественных производителей, монтирующих светодиоды, растет как снежный ком.

Относительная простота схемотехники и общей конструкции светильника в сочетании с государственной поддержкой так и манят производителей, желающих достичь быстрого успеха в нише инновационных светодиодных технологий. Помимо создания законодательной базы (примечателен Федеральный закон N 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации», запрещающий с января 2011 года лампы накаливания мощностью 100 Вт) идет также финансовая и информационная поддержка.

На сайте www.rusnano.com обещают: «У нас к вам только два вопроса: чем вы лучше других и как вы это будете продавать? Если вы сможете на них ответить, через два месяца вы получите деньги и сделаете свое производство!». Также выявлена несомненная польза светодиодного освещения, по сравнению с люминесцентными лампами, для здоровья. В лучах твердотельных светильников люди легче переносят интенсивную умственную нагрузку, да и деятельность сердечнососудистой системы улучшается (<http://www.rusnano.com/Document.aspx/Download/26267>). В таких благоприятных условиях отечественный рынок светодиодов динамично развивается, хотя и в два раза медленнее мирового. Рубеж в 200 млн. долларов США может быть взят уже в следующем, 2012 году (информация с сайта www.rusnano.com).

Одной из ключевых особенностей светодиодных систем является длительный срок эксплуатации, а также ресурс светодиодных модулей в 100000 часов и даже более (www.gkst.org/business/6). Расчеты экономической выгоды применения светодиодных систем освещения или отображения информации основываются именно

на таком длительном сроке эксплуатации изделий. Но не стоит забывать, что заявленные десятки тысяч часов являются итогом ускоренных, а не натуральных испытаний светодиодов. В условиях реальной эксплуатации отказ может наступить намного раньше декларируемых 100000 часов. Примечательно, что в большинстве случаев гарантия на изделия из самых надежных светодиодов дается производителем на 1-3 года, что может быть даже меньше срока окупаемости.

В случае светодиодных светофоров отказы может заметить каждый внимательный пешеход или автолюбитель. На рис. 1 приведены фотографии светофора, установленного неподалеку от местожительства автора.

Цель данной статьи – разобраться, в чем причины отказов техники, призванной работать по 10-100 тыс. часов? Какие моменты следует учесть производителю, чтобы добиться высокой реальной, а не заявленной надежности, не зависив при этом себестоимость выше конкурентного уровня?

Причины отказа светодиодов могут быть различны, но, в конечном итоге, сводятся либо к ошибкам конструирования, либо бракованному комплектующим, либо ошибкам монтажа. Обсуждение ошибок

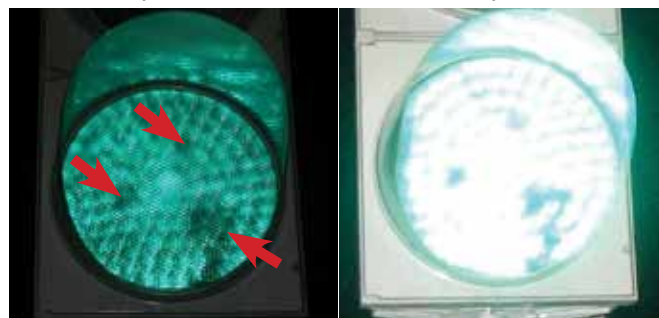


Рис. 1 Снимки одного и того же светофора с выгоревшими светодиодами. Снимок справа сделан с большего расстояния для наглядного выделения отказавших светодиодов

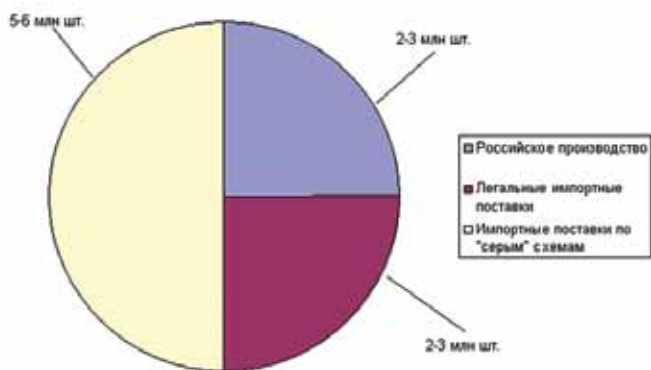


Рис. 2 Сегментация предложения светодиодов в РФ по происхождению

проектирования и некачественных компонентов выходит за рамки данной статьи. Только заметим, что согласно дорожной карте «Использование нанотехнологий в производстве светодиодов» от РОСНАНО половина светодиодов в РФ имеет сомнительное происхождение (рис. 2 и стр. 104-105 <http://www.rusnano.com/Document.aspx/Download/27395>).

Но, даже избегнув контрафакта и ошибок проектирования, многие отечественные производители не могут справиться с проблемами монтажа и технологическими дефектами. С точки зрения сборочно-монтажного производства качественная сборка светодиодного экрана или светильника не является такой уж заурядной задачей. Ниже перечислены некоторые моменты, на которые стоит обратить внимание цехового технолога и начальника сборочного участка. Размеры платы. Помещается ли плата в имеющиеся сборочные автоматы, печь оплавления, устройство нанесения паяльной пасты, конвейерную линию и т.д.

Вес платы. Платы с алюминиевым основанием могут быть тяжелыми. Например, вес листа T-111 размером 480x600 мм и толщиной 1,5 мм равен 1,3 кг. На большие тяжелые платы сложно наносить паяльную пасту, проводить пайку оплавлением, ремонтировать. Блестящие алюминиевые платы могут быть проблемой для оптических датчиков конвейерной линии

Светодиод является классическим примером электронного компонента, чувствительного к электростатическому разряду. Помимо моментального выведения дорогостоящего компонента из строя, возможен худший вариант отказа, когда светодиод постепенно деградирует и отказывает уже в отпущенном заказчику изделии (рис. 3).

Для предотвращения таких отказов необходимо ввести на производстве систему ESD защиты, а также проводить ресурсные испытания готового печатного узла. Под системой антистатической защиты подразумевается именно комплекс мер, а не растянутый браслет на руке монтажника. Реализация такой ESD защиты, также как и

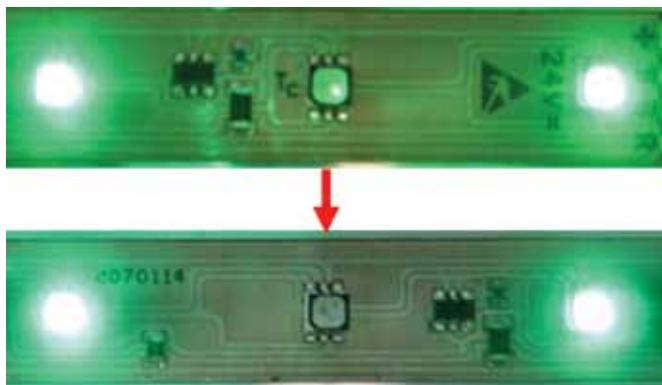


Рис. 3 Деградикация светодиода, поврежденного статическим разрядом

ресурсных испытаний, требует дополнительных капиталовложений и зачастую рассматривается неохотно, а прорабатывается наспех. Многие светодиоды чувствительны к влажности. Причем при относительной влажности более 70% и температурах более 25°C светодиод нужно смонтировать сразу после вскрытия упаковки. В таблице 1 показана зависимость предельно допустимого времени экспозиции светодиода Cree® XLamp® 4550.

Таблица 1 Зависимость предельно допустимого времени экспозиции светодиода (в днях) от влажности и температуры, рекомендации производителя

Температура	Относительная влажность						
	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%
30°C	9	5	4	3	1	1	1
25°C	12	7	5	4	2	1	1
20°C	17	9	7	6	2	2	1

Светодиоды, находившиеся в атмосфере сборочного участка дольше допустимого времени, требуется сушить 24 часа при 80°C (уменьшать время сушки нельзя, так как сушить при большей температуре производитель запрещает). После сушки светодиод должен быть смонтирован (припаян) в течение часа. Таким образом, качественный монтаж светодиодов, чувствительных к влажности, требует хорошей организации производства, наличия шкафов сухого хранения, системы поддержания микроклимата на сборочном участке с ведением журнала влажности/температуры. На практике эти рекомендации часто игнорируются.

Светодиод с выпуклой линзой может вызвать затруднения при автоматической установке. Проблема состоит в том, что брать за линзу светодиод нельзя, а чтобы ухватить за периметр вокруг линзы, требуется специальный захват (рис. 4). Неудачное соотношение геометрии вакуумного захвата и светодиода приводит к потерям компонентов, неточной установке или повреждению линзы и отказам светодиодов.

Светодиод является изделием, наряду со сложными ПЛИС, процессорами, памятью, чувствительным к нарушениям температурного профиля пайки оплавлением. Слишком большие скорости нагрева



Рис. 4 Светодиод с выпуклой линзой и подходящим вакуумным захватом автомата установки компонентов Fuji NXTII

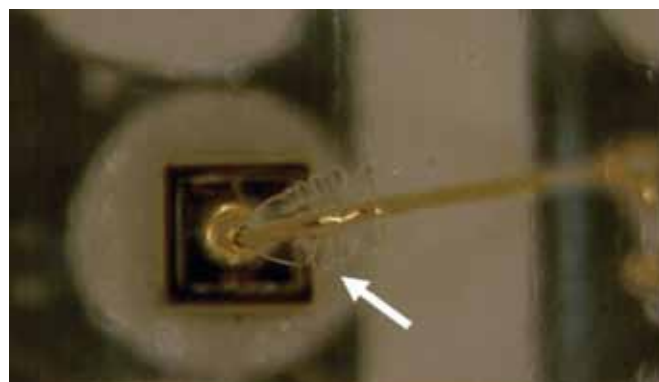


Рис. 5 Трещина в корпусе светодиода, вызванная резким градиентом нагрева при пайке оплавлением (данные OSRAM)

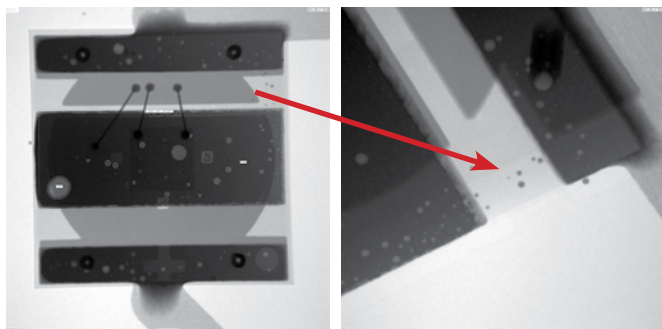


Рис. 6 Рентгеновские снимки смонтированного светодиода с центральной теплоотводящей площадкой. Площадь пустот в пайке под ней около 10%. Справа показаны шарики припоя, не обнаруживаемые визуально

или охлаждения, перегрев выводит светодиоды из строя или значительно снижают ресурс надежности (рис. 5).

Такая чувствительность светодиодов в сочетании с алюминиевыми основаниями печатных плат и размерами изделий приводит к ужесточению требований к монтажному оборудованию (печаам оплавления). Данное утверждение справедливо, если речь идет о качественном монтаже светодиодов, призванном обеспечить полный рабочий ресурс изделия, а не о монтаже изделий ради сиюминутной выгоды или подтверждения «освоенности» бюджетных денег.

При монтаже определенных типов светодиодов возникают проблемы с контролем качества пайки. Проконтролировать качество пайки, содержание пустот в галтели паяных соединений, отсутствие шариков припоя между контактами без применения сложного оборудования рентгеновского контроля затруднительно (рис. 6).

Пустоты в пайке теплоотводящей площадки приводят к росту теплового сопротивления и перегреву светоизлучающего кристалла в светодиоде. При перегреве деградация светодиода многократно ускоряется, и изделие отказывается намного раньше положенного срока. Шарики припоя между выводами диода, показанные на рис 6, провоцируют токи утечки и также снижают надежность изделия. Правильная постановка светодиодных изделий в производство сопряжена с тщательной проработкой проекта, несмотря на видимую простоту изделий.

Ниже перечислена часть факторов, влияющих на выход годных и надежность изделий:

- возможности конвейерного оборудования при работе с крупными, тяжелыми, блестящими платами;
- организация и культура производства, аккуратное обращение с чувствительными к статике и влажности компонентами;
- возможности автомата установки компонентов по установке светодиодов, особенно с выпуклыми линзами;

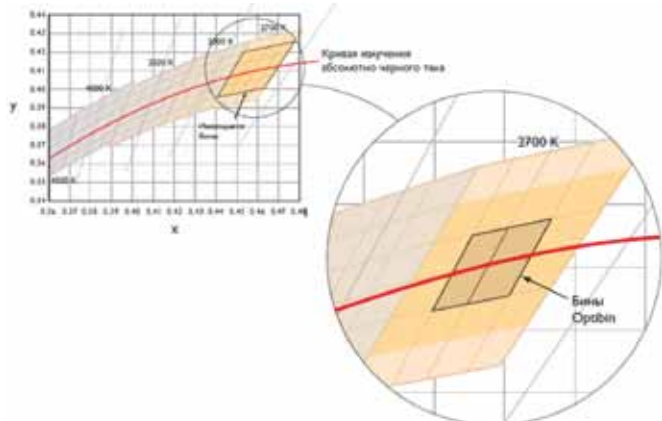


Рис. 7 Математическая модель для сортировки светодиодов Optibin, предложенная компанией Philips Color Kinetics. Optibin разбивает светодиоды более однородно, чем ANSI C78.377A

- возможность печи оплавления выдерживать рекомендованный производителем светодиодов температурный профиль;
- наличие грамотной технологической поддержки производства;
- возможность проведения ресурсных и других испытаний;
- наличие рентгеновской установки (для отдельных типов светодиодов).

Следующий вопрос, возникающий после проработки обозначенных выше особенностей, состоит в определении себестоимости сборки печатного узла. Конечно, для ряда изделий важно обеспечить надежность, пусть даже высокой ценой. Но для типового светодиодного печатного узла высокая себестоимость означает низкую конкурентоспособность. Кому нужен бытовой светильник по космической цене?

В мире вопрос себестоимости монтажа светодиодных изделий решается при помощи специализированного оборудования. Самая низкая стоимость монтажа одного светодиода достигается при использовании автоматического сборочно-монтажного оборудования. Среди автоматов, реализующих технологию поверхностного монтажа (устройство нанесения паяльной пасты, автомат установки компонентов, печь для пайки оплавлением), самым дорогим, как правило, является автомат, устанавливающий компоненты на плату. Он же является самым медленным звеном, определяющим производительность всего сборочного участка.

Поэтому основой низкой себестоимости монтажа является именно автомат-установщик. Рассмотрим подробнее требования, которые предъявляет к такому автомату и его конструктивным особенностям серийная установка светодиодов.

Разбиновка светодиодов. Излучаемый спектр, величина падения напряжения на переходе и светового потока являются важнейшими характеристиками светодиода и особенно существенны для систем освещения и отображения информации. При производстве светодиодов излучаемый диодом спектр и световой поток отличаются от партии к партии. Если не учитывать отклонения характеристик светодиодов, то в собранном изделии не удастся добиться однородного свечения диодов по всей поверхности печатного узла. При проектировании изделия, не учитывающем возможный разброс характеристик светодиодов по падению напряжения, может возникнуть ситуация, когда отдельные светодиоды перегружены по току, перегреваются и гораздо быстрее деградируют.

Для облегчения задач производителя поставщики светодиодов разбивают поставляемые компоненты на бины (они же ранги) – партии диодов с одинаковым спектром свечения. Разбиение регулируется специальными стандартами (посвященными колориметрии), в частности, стандартом ANSI C78.377A. Современные требования к однородности светодиодов по характеристикам становятся более жесткими, и производители светодиодов выделяют еще более мелкие бины (рис. 7).

Сортировка светодиодов требует дополнительных затрат, и покупка неразбированных светодиодов экономически более выгодна. Но как быть с разбросом характеристик? Одним из вариантов решения является установка светодиодов на одном печатном узле из одной катушки, в которой все светодиоды практически одинаковы. Требование установки светодиодов из одной катушки в сочетании с поставкой мощных светодиодов в широкой ленте 16 мм и более приводит к существенному снижению скорости установки светодиодов в реальных условиях.

Традиционные автоматы для установки компонентов поверхностного монтажа оказываются неэффективными. Поэтому производители автоматов для поверхностного монтажа попытались учесть специфические требования монтажа светодиодов в конструкции своих автоматов. К сожалению, очень часто заявленная специализация автомата под LED (светодиоды) означает всего лишь расширенную по размерам рабочую зону, позволяющую монтировать крупные платы, и ничего более.

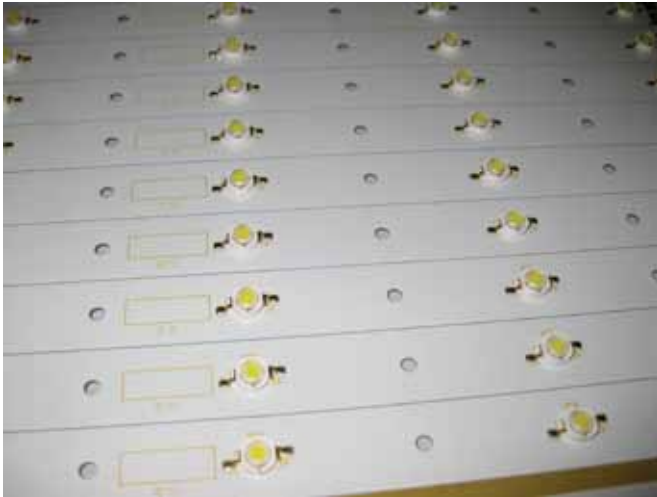


Рис. 8 Типовой светодиодный светильник



Рис. 10 Автомат SLM 110 с одним порталом, устанавливающий светодиоды на крупную печатную плату

Одним из действительно специализированных автоматов, доступных на отечественном рынке, является автомат SLM 110/120, Samsung Techwin. Целью создания автомата является удовлетворение внутренних потребностей по монтажу светодиодов на заводах Samsung Electronics. На мировой рынок SLM вышел только после внедрения на производстве самого Samsung.

При проектировании SLM были учтены следующие специфические особенности светодиодных изделий:

- эффективная установка светодиодов одного типа из одного пита-теля без потери производительности;
- установка компонентов по матрице с фиксированным шагом (рас-стояниями между компонентами) (рис. 8);
- небольшое количество типонаименований компонентов;
- установка компонентов на большие (порядка метра) печатные платы;
- необходимость устанавливать достаточно крупные и высокие све-тодиоды из лент шириной 12, 16, 24 мм и более без значительной потери производительности;

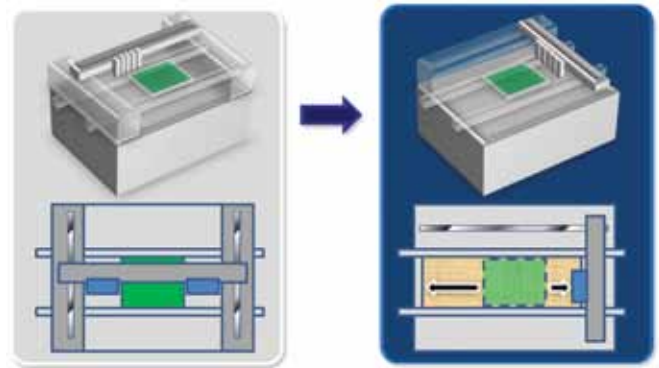


Рис. 11 Смена ориентации портала позволяет собирать длинные платы вплоть до 1200 мм



Рис. 9 Специализированный автомат для установки светодиодов SLM120 с двумя установочными порталами

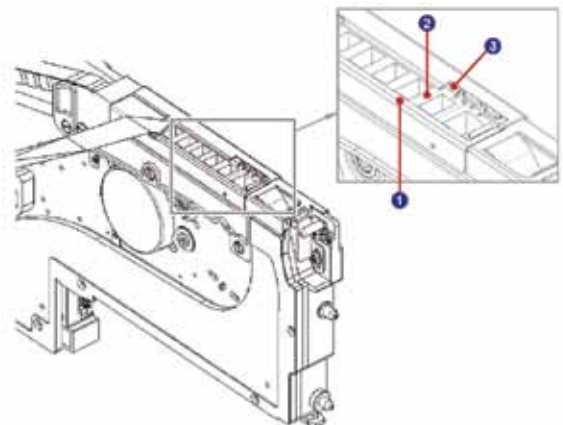


Рис. 12 Специализированный питатель для подачи светодиодов. 1 – рама питателя, 2 – лента с диодами, 3 – направляющая ленты. Момент одновременного захвата пяти светодиодов



Рис. 13 Автомат SLM110 одним движением устанавливает пять светодиодов на плату. Шаг между захватами изменяется на ходу, подстраиваясь под шаг диодов на плате

- многие LED имеют светлый или прозрачный корпус, что может вызывать сложности в работе системы технического зрения (СТЗ) автомата;
- не применяются очень сложные микросхемы (QFP с шагом 0,5 мм и менее, BGA с размером корпуса 40x40 мм и т.д.), требующие прецизионного автомата.

Внешний вид автомата SLM 110/120 показан на рис. 9. Аббревиатура SLM означает Special LED Mounter или «специализированный автомат для установки светодиодов». Цифры 110 означают наличие одного установочного портала (блока захватов) (рис. 10), а цифры 120 – наличие двух таких порталов.

И если название автомата не производит впечатления особой креативности и нестандартного подхода, то конструкция машины вызывает неподдельный технический интерес. На рис. 10 можно увидеть, что блок захватов перемещается не вдоль платы, а поперек платы, перпендикулярно движению конвейера. Такое решение позволяет осуществлять монтаж компонентов на платы длиной до 1200 мм (рис 11).

Следующей «изюминкой» является конструкция питателя. Для того чтобы установка компонентов из одного питателя происходила без потери скорости, был разработан специальный питатель, позволяющий осуществлять захват сразу пяти светодиодов за одно движение (рис. 12).

В связи с тем, что шаг компонентов в ленте варьируется (кармашки со светодиодами могут повторяться через 4, 8, 12, 16 мм), расстояние между вакуумными захватами автомата сделали изменяемым. Эта же уникальная особенность конструкции позволяет осуществлять не только одновременный захват светодиодов, но и их одновременную установку (рис 13).

Таким образом, учитывается матричное расположение диодов на плате и достигается резкий прирост производительности за счет раздвигаемых головок.

Еще одной «изюминкой» автомата является оптимизация процесса считывания реперных знаков. Платы светодиодных светильников могут состоять из множества отдельных линеек, и процесс считывания всех реперов занимает десятки секунд. Эта особенность светодиодных изделий учитывается в автомате за счет оптимизации перемещений (рис 14).

Также полезными особенностями автомата являются такие важные в реальном производстве детали как распознавание кармашка компонента в ленте и проверка наличия компонента в нем (рис. 15). Такая оптическая проверка при помощи системы технического зрения (СТЗ) имеет преимущества перед традиционной проверкой уровня вакуума: ошибка, сообщающая об отсутствии компонента,

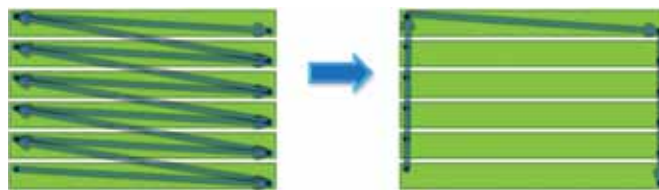


Рис. 14 Оптимизация последовательности считывания реперных знаков в автомате SLM

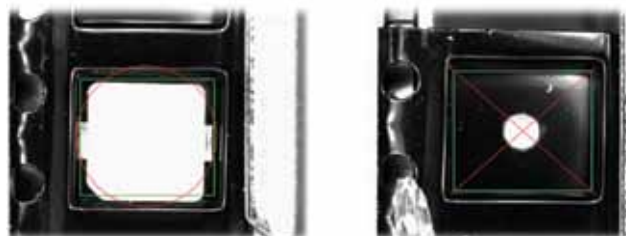


Рис. 15 Проверка наличия светодиода в области забора

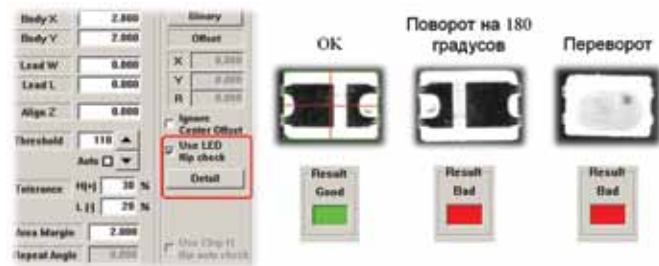


Рис. 16 Повернутые на 180 градусов или перевернутые светодиоды автоматом SLM установлены не будут

будет выдана быстрее и в более ясной для оператора форме. Если появляется ошибка по вакууму, то проблема необязательно вызвана отсутствием компонента, в ней надо разбираться. Если же оператор видит изображение пустого кармашка ленты, то все однозначно, и в итоге SLM меньше простаивает.

Следующая особенность СТЗ состоит в распознавании перевернутых светодиодов (рис. 16).

Все перечисленные «изюминки» упакованы в компактный автомат, который можно установить даже на небольшом производственном участке (рис. 17).

Как видно на эскизе, питатели можно устанавливать в автомат только с одной (фронтальной) стороны. Для сборки изделий с небольшим количеством типонаименований, какими и являются типичные светодиодные изделия, больше и не надо. Искусленный читатель, несомненно, увидит на эскизе SLM сходство с другими автоматами серии SM от Samsung Techwin. Так и есть: SLM сделан на той же платформе SM, что и популярные в России автоматы SM-321, SM-421, SM-411.

Еще одной конструктивной особенностью является система центрирования компонентов. В автомате SLM реализована система, которая распознает и центрирует компоненты во время их пролета над камерой. Центрирование происходит на постоянной скорости без остановки портала. Если провести бытовую аналогию, система центрирования работает как сканер, только перемещается не камера, а захваченные компоненты (рис. 18).

Такая система центрирования компонентов уже известна в других автоматах установки, в том числе и представленных на отечественном рынке. Её плюсом является возможность поднять реальную производительность автомата, убрав непроизводительную остановку на центрирование. Недостаток данного подхода является продолжением достоинства – центрирование «на пролете» не очень удачно при работе с крупными тяжелыми микросхемами типа BGA 45x45 мм

или микросхемами, требующими особо высокого разрешения и точности – QFP с шагом 0,5 мм и менее. Такой необходимости нет при монтаже типовых светодиодных изделий, светильников, экранов. В особо сложных случаях монтажа насыщенных печатных узлов предпочтительна совместная работа SLM с многофункциональной прецизионной машиной, например, SM-421.

Только применение автоматов, специально «заточенных» под установку светодиодов, позволяет минимизировать себестоимость монтажа светодиодных изделий. Важно наличие всего комплекта «изюминок» в одном автомате, только тогда специализированный автомат превзойдет типовой среднесерийный автомат (таблица 2).

Таблица 2 Сравнение возможностей специализированного и универсального автоматов применительно к установке светодиодов

Параметр автомата	SLM 120/110	Типовой автомат с рядным расположением захватов
Габариты плат	Длина монтируемых плат – до 1200 мм. Специальное направление перемещения блока захватов поперек конвейера	Возможность собирать платы длиной более 600 мм подразумевает специальное исполнение машины. В жертву приносятся производительность, количество позиций под питатели и т.д.
Установка светодиодов без разбивки	Возможна за счет последовательного забора светодиодов из одной катушки	Невозможна. Как компромисс, предлагаются варианты, когда установка светодиодов из конкретной катушки/питателя программно привязывается к установке согласующих резисторов
Производительность по чипам 0603, максимальная	SLM 120 – 43000 комп/час SLM 110 – 21500 комп/час	Производительность зависит от конкретной модели, но соотношение производительностей примерно такое:
Реальная производительность по светодиодам 8x8 мм, на плате массив из 192 диодов	SLM 120 – 28000 комп/час SLM 110 – 16000 комп/час	если максимальная производительность по 0603 составляет 26000 комп/час, то реальная производительность по светодиодам 8x8 мм составит порядка 5000–10000 комп/час
Оптимизация чтения реперов	Есть, дает ощутимый прирост производительности	Может присутствовать в автоматах от ведущих производителей, нужно уточнять у поставщика или производителя автомата
Распознавание перевернутых LED в светлом/прозрачном корпусе	Есть	Нет, может быть опционально
Одновременный захват нескольких светодиодов из одного питателя	Есть	У головок роторного/револьверного типа возможен последовательный забор компонентов. Забор компонентов головками рядного типа из одного питателя непроизводителен
Возможность установки ПМИ со стандартными характеристиками (чипы, SO, SOT, MELF, QFP)	Есть	Есть
Высота устанавливаемых компонентов	До 8,5 мм стандартно, до 10 мм – опционально. Более высокие светодиоды экзотичны	Может составлять 15-20 мм и более
Возможность установки сложных микросхем (QFP с шагом 0,5 мм и менее, керамические BGA ит.д.) из поддонов	Отсутствует	Зависит от конкретной модели, ее комплектации, нужно уточнять у поставщика или производителя автомата

Характеристики «типового автомата с рядным расположением захватов» - понятие абстрактное, являющееся собирательным образом таких моделей, как SM4xx, Paraquda, MYxx, KE-20xx, Mx-xxx, MG-x, MC-x и других среднесерийных автоматов.

Идея таблицы – показать, что именно специализированный автомат, созданный под конкретную задачу, позволяет решать её с максимальной производительностью и минимальными затратами. Универсальная же машина, при всех ее достоинствах, в специализированном деле установки светодиодов проявит себя хуже и позволит добиться минимальной себестоимости монтажа.

Надеемся, что рассмотренные в статье тонкости задач монтажа светодиодов будут учтены отечественными производителями и инноваторами, и они будут создавать качественные, надежные и недорогие отечественные светодиодные светильники, светофоры, табло, экраны и телевизоры. ■■



Рис. 17 Эскиз 1 Размеры автомата SLM: 1 – 1650 мм, 2 – 1200 мм, 3 – 1530 мм, 4 – 2090 мм

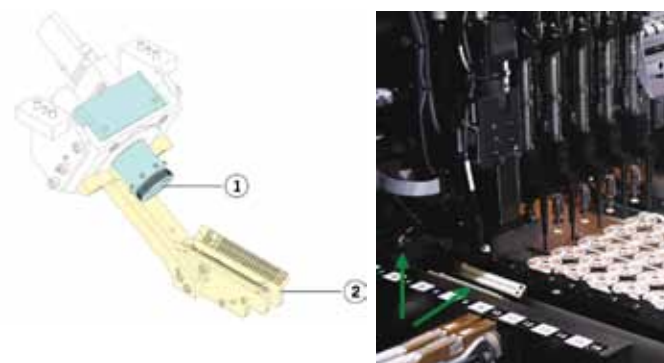


Рис. 18 Схема и фотография камеры центрирования автомата SLM, работающей на проход. 1 – сама камера, 2 – система освещения. На фото они показаны стрелками