

# Обеспечение качества и надежности производства электроники ответственного применения



**«Электроника ответственного применения» — термин, введенный в обиход российским разработчиком и производителем, ЗАО НПФ «Доломант», подразумевает высокий уровень надежности электроники при использовании в экстремальных условиях эксплуатации. Соответственно, это означает и высокие требования к самому производителю. О том, как обеспечиваются качество и надежность электроники ответственного применения, мы беседуем с заместителем генерального директора по коммерческим вопросам ЗАО НПФ «Доломант» Вадимом Лысовым.**

— ЗАО НПФ «Доломант» позиционируется как высокотехнологичное предприятие по производству электроники, область применения которой сопряжена с экстремальными условиями эксплуатации. Насколько в настоящее время данный рынок развит в России и какова востребованность данной продукции со стороны госзаказчика (космос, авиация, ВПК) и частного бизнеса?

— Для нас позиционирование компании «Доломант» — это не рекламный ролик, образ или «тактический план продвижения», связанный с «моментом», не реакция на сиюминутное. Видение того, каким быть производству, с которым согласовывались локальные тактические действия, а также оперативные и среднесрочные цели, было принято 15 лет назад, в точке «старта». И все эти годы, хоть и не без трудностей, их преодолений, ошибок и прорывных побед, мы

придерживались этой стратегии. Поскольку на этом рынке мы находились постоянно, судить о степени его развитости нам сложно. Очевидно, что изменения огромны, не стоит сравнивать, например, 2006 и 2016 годы. И даже вдвое меньший период неудобен для сопоставления в очень динамичной среде нашей отрасли: быстро изменилось отношение к своей электронике в стране, изменился состав реально работающих предприятий. Это главное. Уровней разработок и применяемых технологий изменения коснулись в меньшей степени, в большей — дисциплины: конструкторской, технологической и в целом проектной. Основные перемены я обозначил, осталось наложить «картинку» на околотехнические явления 2014–2016 гг. (внешнего и внутреннего происхождения) — и получим живой портрет современной отечественной электроники!

Разделять производство ответственной электроники только по отраслям неэффективно. Существует набор требований к производителю, задаваемый разработчиком. И этот набор либо соответствует имеющимся компетенциям производителя, либо нет. В свою очередь, производитель может изменить свои технологические процессы, дисциплину на всех участках взаимодействия производства, освоить смежные технологии, чтобы перекрыть свод требований для проекта, или отказаться от него в пользу других проектов, а то и уйти в другую нишу или вертикальный рынок.

Если упростить все, что я сказал, до двух тезисов, то получается так:

- ниша отечественной электроники ответственного применения для жестких условий эксплуатации последние 2–3 года очень востребована и ее доля растет во всех сегментах рынка;
- параллельно, даже более высокими темпами, растут — не заявляемые, а реальные — требовательность, дисциплина, номенклатура базовых технологий, умение осваивать что-то новое через макетирование и ОКР и качественно, серийно воспроизводить освоенное.

— На Ваш взгляд, каковы компетенции российских разработчиков и производителей в данной области и насколько они закрывают потребности внутреннего спроса?

— Основная компетенция российских разработчиков — на уровне разработок «от модуля до комплекса». Более того, они не просто «закрывают потребность» — нередко они сами ее и создают! Вопросы технологической поддержки в 80–90% случаев решаются в момент начала реализации проекта, силами и на базе выбранного производителя. Но оставшиеся 10–20% вселяют больший оптимизм: появи-



лись и реализуются комплексные проекты, в которых нормоконтроль РКД, техконтроль, создание ТД и освоение происходят в тесной взаимосвязи разработчиков и производителей, во взаимовлияющем партнерстве. Пожалуй, это стоит отнести к самым серьезным достижениям последних лет.

С другой стороны, отечественная среда до уровня «модуля» (комплектующие, материалы) в основном, с некоторыми исключениями, заметно отстает от требований и не соответствует ни разработчикам, ни производству электронной аппаратуры.

— **В этом году ЗАО НПФ «Доломант» запустило серийное производство защищенных планшетных компьютеров «ОНИКС08», предназначенных для применения в жестких условиях эксплуатации, в том числе на транспорте и в полевых условиях. Можно на примере данного продукта рассмотреть жизненный цикл производства электроники ответственного применения? Какие цели и задачи стояли перед разработчиками устройства?**

— Данный продукт действительно показателен, но далеко не единственный в списке удач компании.

Наши цели и задачи соответствовали реализованному — разработке и освоению производства отечественного «планшетника» с характеристиками, не уступающими лучшим импортным аналогам, максимально адаптированным к реальным задачам отечественных потребителей.

Как и большинство других изделий, «ОНИКС08» является производным:

- нашего видения и развития основного направления СКБ — процессорных модулей и интерфейсов к ним;
- долгосрочного стратегического партнерства с серьезными заказчиками;
- удачного маркетинга как при изучении рынка, так и на стадии продвижения готового продукта;
- модернизации ряда производственных процессов и укрепления операционной цепи производства.

Чьих «генов» в успешном продукте больше? Для каждого случая определяющим оказывается свой набор, но порядок перечисления в среднем отражает реальное ранжирование важности.

— **Какие технологические, конструктивные особенности устройства, в том числе из опыта зарубежных аналогов и решений дизайн-центра ЗАО НПФ «Доломант», призваны обеспечить заявленные характеристики по безотказности работы в экстремальных условиях?**

— Не секрет, что знания практически не имеют границ, но уровень разработчиков «Доломант» и наших партнеров не уступает багажу зарубежных коллег. А дальше все происходит как в притче про гениальных скульптуров эпохи Возрождения: они просто отсекали все лишнее в глыбе мрамора. Из существующего ряда унифицированных и специальных устройств, известных на рынке, была определена и выбрана наиболее подходящая для отечественных потребителей базовая модель. Ее дополнили, расширили функционал и таким образом разработали новую. И самое ценное — оперативно макетировали, параллельно отработывая технологии производства, тестирования и испытаний. В итоге «ОНИКС08» успешно прошел приемочные испытания в соответствии с ТУ, подтверждающие его безотказную работу при температурах от  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ , ударах до 100g и устойчивости к пыли и влаге: то, что и требовалось по техническому заданию к проекту на «старте».

— **Каким образом ЗАО НПФ «Доломант» наладило систему поставок материалов, комплектующих для производства планшетных компьютеров «ОНИКС08», какие требования были применены к поставщикам, нюансам входного контроля, а также логистике для организации бесперебойных поставок?**

— В этом примере особых отличий от принятых на предприятии стандартов нет. В «Доломанте» нет «проходных» проектов, для которых снижены требования к поставщикам или стандарты качества. Есть у нас проекты и изделия со «сверхтребованиями», но «ОНИКС-08» в базовом исполнении — стандартное изделие. Отличная разработка, в которой многие вопросы конструктивно решены на уровне разработчиков и ответственно реализуются на подготовленном для этого производстве. Впрочем, есть особенности, выделяющие это изделие из ряда схожих: предположение о востребованности на рынке появилось сразу. В связи с чем еще на «старте» была поставлена задача о применении «серийных технологий» для



производства. В частности, в конструкции «ОНИКС08» применен литой корпус из магниевого сплава, что позволило достичь стоимости изделия на уровне наиболее распространенных зарубежных аналогов при несопоставимом объеме выпуска и реализации. Еще одной особенностью для нашего производства стала необходимость создания «сверхчистого помещения» для производства нестандартного экрана. Ранее такие производственные элементы, относящиеся скорее к производству «микроэлектроники», в структуре производства «Доломант» востребованы не были.

— **Расскажите об организации системы испытаний планшетных компьютеров «ОНИКС08». Какие конструктивные, технологические решения на их основе были пересмотрены?**

— Мне кажется, интереснее ответить на незадаанный вопрос: в чем основное преимущество, для чего, кроме решения частной коммерческой задачи, затрачены значительные ресурсы (кадровые, финансовые, временные, производственные) и «Доломанта», и наших партнеров по кооперации? Речь идет о частном случае в ряду многих: создании одного из элементов отечественной «доверительной электроники». Техническое задание, разработка, макетирование, испытания, постановка на серийное производство и само производство, т. е. полноценный пакет РКД и ТД, принадлежат отечественной компании. Это правильный ответ на сегодняшние вызовы: обеспечение независимости в области ответственной электроники. На уровне, достаточном для обеспечения безопасности, воспроизводимости и развития. «ОНИКС08», от схемотехники и исходных кодов системного программного обеспечения, разработан российскими инженерами, что гарантирует отсутствие аппаратных и программных «закладок» и недокументированных функций. Поддержка российских операционных систем AstraLinux и КРДА позволяет разработчикам программного обеспечения быстро перенести существующие программы на планшет и применить изделие на практике. Российское происхождение и производство также гарантируют большой срок доступности изделия, не менее 10 лет, важный для ответственных проектов с длительным периодом эксплуатации. «ОНИКС-08» сейчас показателен, он «на виду», производится уже ты-





сячами. Для нашей компании это успешный, но не уникальный проект. Своими силами и в партнерстве с нашими стратегическими заказчиками мы создаем «доверительную электронику» по своим инициативным ОКР и по техническим заданиям, РКД наших заказчиков.

— **Какие нюансы организации систем контроля и тестирования на различных этапах производства позволяют ЗАО НПФ «Доломант» обеспечить высокое качество выпускаемой продукции и снизить процент выхода брака?**

— Разработка и постоянное развитие стандартов предприятия с уровнем требовательности выше, чем рекомендации свода ИРС и отечественных ГОСТ, — это фундамент для любого серьезного предприятия. Это включает в себя:

- документированное обеспечение и построение всего производства;
- регламент работы подразделений и сотрудников, направленный на цели обеспечения производственной и технологической дисциплины;
- неформальную требовательность к персоналу компании и его обучение профессиональному мастерству.

Служба качества в лице заместителя генерального директора по качеству прямо подчиняется генеральному директору, чем обеспечивается независимость этой важнейшей функции производства от экономического, производственного и маркетингового воздействия. Постоянный контроль исполнения, мониторинг проблем, аудит по всей вертикали взаимодействия проводятся в непрерывном режиме: нас — нашими заказчиками и партнерами, нами — наших поставщиков и субподрядчиков. Обязательная «обратная связь» по рекламациям, пожеланиям потребителей по продукции и услугам производства оцифрована и воздействует на все элементы функционирующего предприятия. Также важен современный подход при создании (разработке, подготовке РКД и ТД) аппаратуры соответствующего класса: посты контроля, уровень проверок по цепочке «производственной

маршрутной карты», объем и содержание тестов, испытаний прорабатываются на самых ранних этапах, еще до начала производства и первых сигналов о проблемах, и при необходимости корректируются в течение всего срока выпуска. Это относится и к продукции собственной разработки, и к изделиям, производимым по техническому заданию в рамках контрактного производства.

На самом деле, я фактически перечислил все инструменты управления качеством производственных процессов и готовой продукции. Нюанс заключается в одном: в принятой стратегии, которой придерживается компания зачастую вопреки сиюминутной выгоде, рождающей конструктивный конфликт «внутри» и дающей огромное конкурентное преимущество «вне», на требовательном рынке.

— **Какова важность и уровень материально-технического базиса ЗАО НПФ «Доломант» для организации производства электроники ответственного применения?**

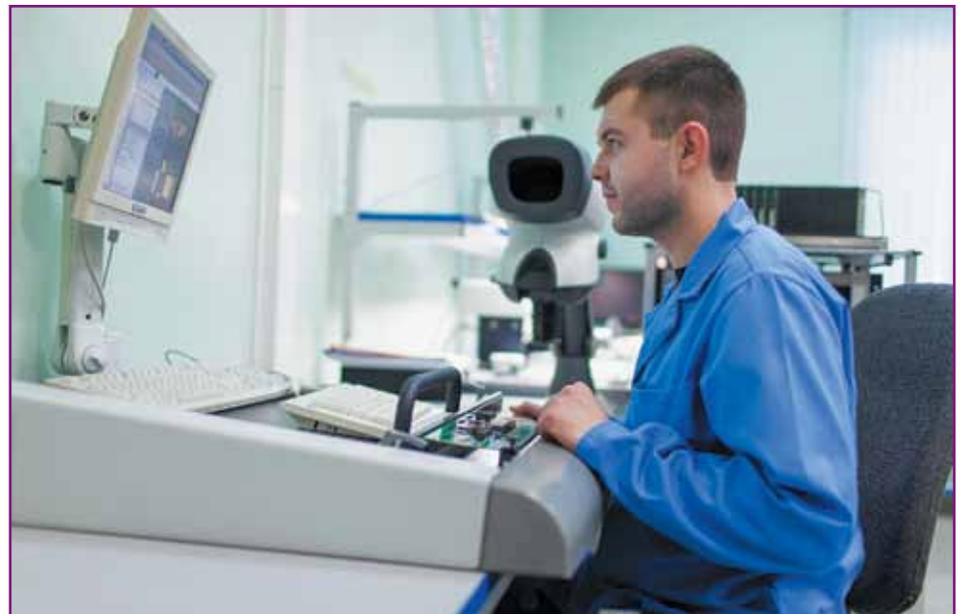
— Очевидно, что без мощных ресурсов все стратегии обречены на участь хрустального моста в имении г-на Манилова. Точка равновесия экономической эффективности

в «Доломанте», как правило, находится чуть впереди нынешнего дня: большая часть ресурсов вот уже 15 лет, постоянно смещаясь, находится в «завтрашнем дне. Важно не потерять при этом чувство общей эффективности своей деятельности,веряемое расчетами. Чтобы не попасть в другую крайность все еще актуального шедевра русской литературы и не построить «империю Плюшкина». А таких имений сейчас в нашей стране очень много: потенциально обеспеченных всем, но бездействующих или работающих с эффективностью натурального хозяйства «для выживания» образца прошлого века.

Если детально рассмотреть этот вопрос, то стоит отметить, что на сегодня наша компания обладает технологичным, прецизионным и производительным промышленным оборудованием для монтажа и сборки электронных изделий различных классов завершенности: «модуль», «узел», «ячейка», «блок», «шкаф». Мы освоили бессвинцовые и переходные технологии, пайка всех изделий осуществляется в азотной инертной среде, а специально подобранный парк аппаратных и программных средств контроля производственного процесса позволяет полностью контролировать технологические процессы и качество готовых изделий.

Возможности производства ЗАО НПФ «Доломант» удовлетворяют современным квалификационным требованиям серийного и опытного производства, характеризующегося:

- наличием на платах микросхем в BGA-корпусах, имеющих более 1000 контактов с шагом от 0,3 мм;
- наличием на платах компонентов в корпусах типоразмера 0201;
- двусторонней установкой поверхностно-монтажных элементов на плату, включая двусторонний монтаж микросхем в BGA- и QFN-корпусах;
- использованием многослойных печатных плат, содержащих более 18 слоев при габаритах не менее 450×320 мм на различных основаниях;



## Двойная неразрушающая инспекция монтажа: рентген и АОИ

Качество установки компонентов на печатную плату на производстве «Доломант» проверяется двумя методами — оптической инспекцией и рентген-контролем.

### Оптическая инспекция

Процедура автоматической оптической инспекции (АОИ) встроена в единый цикл производства. «Доломант» осуществляет идентификацию и отслеживание результатов АОИ по серийным номерам модуля в каждой партии, обеспечивая сохранность результатов в базе данных в течение не менее 5 лет.

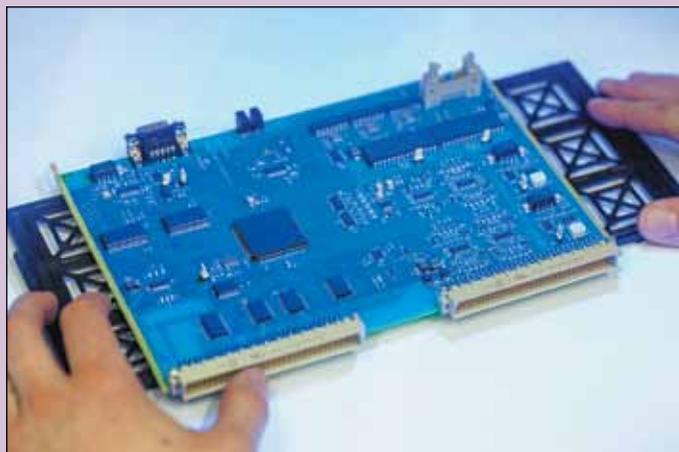
Оптическая инспекция проводится автоматизированным методом сверки с «идеальным образом» изделия. Таким образом выявляются основные дефекты: нестандартные галтели припоя, пропуск, подъем или неверная ориентировка компонента.

Используемая для АОИ установка Orbotech Symbion S36 представляет собой высокоскоростную систему автоматической оптической инспекции электронных изделий с высокой плотностью монтажа и обеспечивает высокий уровень решения проблем инспекции, возникающих в современном крупносерийном и многономенклатурном производстве. С помощью современного программного управления и отлаженной технологии определения дефектов достигается высокая производительность системы и снижается себестоимость выпускаемой продукции.

Достоинства системы АОИ:

- 100%-ная готовность к работе с бессвинцовыми технологиями;
- современная 3D-технология для всеобъемлющей инспекции качества паяных соединений;
- скорость инспекции, сопоставимая со скоростью современных сборочных линий (скорость сканирования до 40 см<sup>2</sup>/с);
- простая и удобная процедура перестройки оборудования при переходе на другой тип продукции;
- надежная современная система распознавания образов (при контроле маркировки компонентов);
- интегрированные интеллектуальные средства управления и контроля технологического процесса;
- максимальный размер печатного узла — 540×470 мм;
- разрешение системы — до 20 мкм.

Для идентификации печатных узлов и отслеживания их движения в процессе производства и последующей эксплуатации используется система лазерной маркировки Nutek LMC 2000HE. Современное производство требует наличия линейных и двумерных штрихкодов на печатных платах, а часто и на компонентах. Лазерный метод оптимален для нанесения информации на плату, поскольку исключает расходы на термостойкие этикетки. Информация наносится на любое место печатной платы в соответствии с программой. Платы фиксируются по краям без использования базовых отверстий. Воздух в рабочей зоне дополнительно очищается поставляемым специализированным блоком для предотвращения загрязнения производственного помещения продуктами горения. Механизм подъема платы исключает необходимость фокусировки луча лазера при различной толщине



плат. Также имеется возможность подключения системы маркировки к локальной компьютерной сети. Система способна наносить на платы различную информацию: дату, время, изображения в градациях серого и т. д.

### Рентген-контроль

Для предотвращения возможного выхода изделий из строя в результате механических и климатических воздействий в процессе эксплуатации на производстве НПФ «Доломант» осуществляется рентген-контроль качества пайки скрытых контактов BGA- и QFN-компонентов (особенно с шагом выводов менее 0,5 мм) на печатных платах и собранных узлах. Имеющееся оборудование позволяет оценить текущее наличие всех контактов в модуле, а также проконтролировать их качество и параметры сборки, влияющие на потенциальную надежность изделия.

Технология контроля с наклонным представлением паяного соединения в различных плоскостях и многократное увеличение (до 1900 раз) позволяют эффективно обнаруживать весь спектр микродефектов в соединении: перемычки между выводами компонентов, непропаянные и ненадежные соединения (холодная пайка), паразитные брызги припоя под корпусами элементов. Высокую контрастность изображения обеспечивают автоматическая фокусировка излучения и возможность плавной регулировки его параметров.

Встроенные возможности программного обучения установки (формирование описаний эталонных объектов в памяти) и задание соответствующих программ позволяют проводить автоматический контроль пайки серийных изделий любого типа. Визуальный контроль процесса осуществляется оператором. Возможность распечатки копии рентгенограммы на принтере высокого разрешения и запись электронной копии на CD-носитель позволяют получить документированные результаты контроля, что немаловажно для электронных устройств ответственного применения.

Неразрушающий рентген-контроль осуществляется не только в цехе монтажа компонентов на печатную плату, но и в отделе финишных операций (сборки, сервисного обслуживания и ремонта). Помимо рентгеновских аппаратов, используется оборудование для JTAG-диагностики.

Используемое на производстве «Доломант» оборудование неразрушающего контроля скрытых соединений:

- установка YXLON Y. Cougar SMT для подготовки и сопровождения процесса монтажа изделий (разрешение <1 мкм, максимальное геометрическое увеличение — в 2000 раз, полное — в 10 000 раз);
- установка Phoenix nanometix для сопровождения ремонтных операций (максимальное воксельное разрешение <1 мкм, геометрическое увеличение до 1970 раз);
- станция периферийного сканирования DS107/TSI (4 канала сканирования с частотой до 40 МГц), позволяющая осуществлять диагностику и ремонт устройств с JTAG-портами.

Таким образом, НПФ «Доломант» имеет возможность производить документированный контроль качества соединений и фиксировать систематические или случайные факторы нарушений на любом этапе готовности изделий и на различных участках производства.



- использованием печатных плат с минимальной шириной проводника в 0,075 мм, минимальным зазором между проводниками в 0,075 мм и минимальным диаметром переходного отверстия в 0,2 мм при минимальном диаметре контактной площадки 0,4 мм;
- соблюдением контролируемых значений волновых сопротивлений печатных плат в пределах  $\pm 5\%$ .

Современная техническая оснащенность и организация производства позволяют выпускать широкий спектр изделий, квалифицирующихся на уровне высшей категории качества по отечественным стандартам и в соответствии с критериями международных рекомендаций IPC для электроники уровня «третьего класса».

— *Перейдем к еще более узким вопросам. Проектирование современной электронной аппаратуры связано с разрешением противоречий между предельными возможностями технологий и постоянно растущими требованиями к увеличению плотности компоновки и уровню надежности элементов межсоединений, на которые приходится примерно 30% отказов аппаратуры. Какие конструктивно-технологические решения реализуются ЗАО НПФ «Доломант» для обеспечения надежности электрических межсоединений?*

— Позвольте не согласиться с «узостью» вопроса: напротив, это глобальная проблема. Грубо говоря, конструктивные решения должны быть исключительно сбалансированы, а требования «выхода за пределы» стандартных технологий объективно обусловлены. На опыте и собственных «битв» за новые изделия, и десятков тысяч изделий, производимых на условиях контрактного производства могу сказать, что около 50% «сверхтехнологий» требуется необоснованно. Это безусловно увеличивает стоимость готового продукта, заранее закладывает серьезную выбраковку или снижает его надежность в эксплуатации.

Конечно, существуют методы расчета надежности изделия еще на этапе проекта, есть



действующие и отработанные технологии производства и контроля. Если для реализации технического задания иного пути, кроме как миниатюризация и переход на «малые метры» с «километрами связей и горами контактов», не находится (из-за ограничений в размерах, энергетике и т.д.), то подготавливаются оборудование и материалы, позволяющие технологически грамотно реализовать проект, и прорабатываются методы контроля, эффективные для данного проекта. Осваиваются станки, готовится оснастка, проводится дополнительное обучение персонала правилам работы в новых условиях. Предъявляются соответствующие требования к поставщикам печатных плат, материалов для работ. Мелочей здесь быть не может. Тут мы снова возвращаемся к общей системе менеджмента качества. Какого-то единого секретного рецепта в этом вопросе нет ни у кого в мире. Это понятно даже неспециалистам: достаточно «вскрыть» и сравнить стандартный бытовой смартфон,

флэш-накопитель, изделие массовой автоэлектроники, узел безопасности движения электровоза и, если есть возможность, систему автопилотирования самолета.

— *Какие еще собственные конструктивно-технологические решения позволяют обеспечивать ЗАО НПФ «Доломант» и свое производство, и качественное выполнение контрактного производства?*

— К тому, что мы уже обсудили, остается добавить работоспособность, студенческую выносливость к обучению на основе профессиональной мудрости коллектива работников и удачу при взаимодействии с непростыми, требовательными и очень разнообразными заказчиками и партнерами.

Пожалуй, я перечислил все самое важное, остальное — «техника», с которой можно и нужно справляться!

*Интервью провел  
Сергей ВЕРЕТЕННИКОВ*