

# Роботизация в производстве СВЧ-компонентов: прецедент создан

Компания «БУТИС» – разработчик и производитель СВЧ-фильтров с тридцатилетним стажем, обладающий полным циклом производства от проектирования топологии до изготовления кристаллов и корпусирования готовых изделий. Около года назад предприятие приступило к реализации проекта по созданию новых изделий с применением технологии flip-chip с одновременной модернизацией производства, которая должна позволить существенно увеличить объемы выпуска компонентов и снизить их стоимость для потребителей. Учитывая большую номенклатуру изделий, выпускаемых компанией, и некоторые их конструктивные и технологические особенности, для автоматизации ряда операций было решено сделать ставку на робототехнические решения. Первый робототехнический комплекс, предназначенный для установки крышек на корпуса компонентов и их герметизации методом пайки, был создан для данного производства компанией «ДС-Роботикс», имеющей запатентованные разработки и опыт реализации проектов в электронике в целом, но впервые выполнившей проект для сферы микроэлектроники. Комплекс уже продемонстрировал свою способность выполнять поставленные задачи, и сейчас проводятся работы по его интеграции в общую систему управления производством компании «БУТИС».

Представители ООО «ДС-Роботикс» и ООО «БУТИС» рассказали нам о том, какие особенности были у данного проекта и как выглядел процесс его реализации с точки зрения поставщика и потребителя.



## ВЗГЛЯД ПОСТАВЩИКА



**Михаил Зотов, генеральный директор ООО «ДС-Роботикс»:** Наше предприятие работает на рынке робототехнических решений уже более 11 лет, но проект с компанией «БУТИС» для нас особенный. Это первый разработанный в России роботизированный комплекс на промышленном роботе для сферы микроэлектроники. В мире таких решений немного,

а возможно – нет в принципе. Дело в том, что для подобных задач, как правило, используется специальное оборудование, а не промышленные роботы. Но на момент старта проекта у нас уже был уникальный опыт роботизации – для решения задачи в производстве электроники, где ранее роботизация практически не применялась. В 2017 году мы запустили робототехнический комплекс для пайки к печатным платам гибких шлейфов дисплеев на производстве компании НПО «Старлайн». Пойти дальше – в микроэлектронику – конечно, нам было интересно.

Робототехника сейчас активно внедряется в различных секторах промышленности, она позволяет заменить ручной труд при выполнении достаточно сложных и нестандартных операций, снизить влияние человеческого фактора,

повысить производительность и точность. В 2020 году в целом по миру отрасль производства электроники стала крупнейшим потребителем роботов среди всех отраслей и с тех пор сохраняет данное лидерство. В 2022 году на ее долю пришлось 28% всех вновь установленных промышленных роботов, что включает роботы для производств бытовой техники, электротехники, полупроводников, солнечных батарей, компьютеров, телекоммуникационных устройств, а также видео- и электронных гаджетов. По данным Международной федерации робототехники (IFR), это почти 157 тыс. шт. в год! В отечественной электронной и радиоэлектронной промышленности роботизация пока находит не столь широкое применение, но потенциал здесь очень высокий.

Специфика электроники, а тем более микроэлектроники – это крайне высокая точность. Далеко не каждый робот может справиться с такими задачами. Поэтому, когда Тимур Халфин из компании «БУТИС» пришел на наш стенд на прошлогодней выставке «Электроника России» буквально с мешочком миниатюрных деталей и спросил, что мы можем с этим сделать, мы дали ответ не сразу. Сначала нужно было проверить сможем ли мы в принципе работать с такими изделиями. Наши инженеры провели теоретические расчеты, а затем тестовые испытания, которые подтвердили результаты расчетов, и только тогда мы взялись за проект.

Работа над проектом заняла порядка девяти месяцев. Работа и систему технического зрения мы подобрали достаточно быстро. Остановились на работе компании ABB с повторяемостью положения  $\pm 10$  мкм. Для него, пожалуй, альтернативы в данном случае не было. ABB – одна из многих компаний в мире, которая создает роботы с такими характеристиками. Но подобрать оборудование – далеко не всё, что нужно для реализации подобного проекта.

Операция, которую заказчик решил автоматизировать первой, – герметизация корпусов СВЧ-фильтров; разрабатываемый комплекс должен был обеспечивать установку крышек с уже нанесенном на них припоем на корпуса компонентов с последующей пайкой в печи. Но дело было в том, что эта операция должна была выполняться по новой технологии, которая еще не была отработана даже на стороне поставщика комплектующих, поэтому в ТЗ постоянно вносились изменения. Так, например, сначала предполагалось, что крышки будут ставиться на корпус припоем вниз, затем разработчик корпуса предложил ставить поверх крышки прижимающий ее грузик, а потом в компании «БУТИС» предложили использовать специальную оснастку, которая, с одной стороны, упрощала процесс, но с другой – требовала установки не крышки на корпус, а корпуса на крышку, при этом крышка должна была располагаться припоем вверх, что с нашей стороны требовало по-другому распознавать части корпуса.

То есть проект был непростым, но очень интересным. В каком-то смысле это была исследовательская работа,

которая выполнялась в тесном взаимодействии с заказчиком. Подобные работы требуют глубокого понимания в том числе технологий заказчика, и то, что представители компании «БУТИС» плотно работали вместе с нами, стало одним из факторов успеха.

В работе над проектом проявилось главное преимущество робототехнических систем – их гибкость. Возможность изменить процесс на программном уровне, без вмешательства в аппаратную часть, позволила создать комплекс практически параллельно доработке технологии, для которой он был предназначен. Также параллельно мы разрабатывали оснастку, что сократило время работы над проектом.

Модуль управления для комплекса писали с нуля, требования несколько раз уточнялись и приходилось вносить много корректировок. Здесь помогло то, что мы территориально находимся недалеко от производства «БУТИСа», поэтому наш программист мог оперативно приезжать к заказчику по мере необходимости, вносить изменения в программную часть и помогать в отладке комплекса. Интеграцию в систему управления производством заказчик взял на себя, поэтому с нашей стороны нужно было только предоставить необходимые интерфейсы.

Сейчас работы по интеграции комплекса на завершающей стадии, но сам комплекс готов, и его возможности по выполнению операции сборки корпуса и его герметизации подтверждены на производстве заказчика. В состав комплекса, помимо робота, входит система подачи заготовок и две печи, выполняющие оплавление припоя по заданному термопрофилю, причем программы для печей, так же, как и для робота, загружаются из общей системы управления в соответствии с типом обрабатываемого изделия.

Успешная реализация комплекса для данной операции показала возможность применения робототехнических средств и на других этапах производственного цикла заказчика. «БУТИС» уже приобрел у нас несколько роботов для выполнения других операций, и, надеюсь, мы поможем компании в достижении высокого уровня автоматизации всего производственного процесса.

Для нас этот проект был знаковый, потому что мы приобрели новый опыт и на практике показали, что наши решения могут применяться в такой сложной и требовательной области, как производство СВЧ-компонентов. Вообще, было приятно видеть заинтересованность компании, работающей в сфере микроэлектроники, в робототехнических решениях. В отечественной электронной промышленности, где очень распространены многономенклатурные производства, роботы могли бы существенно помочь в уходе от ручных, часто «наколеночных», операций и повысить качество и эффективность производств.

Надеюсь, пример «БУТИСа» подтолкнет и других производителей к тому, чтобы воспользоваться теми преимуществами, которые предоставляет робототехника.

## ВЗГЛЯД ЗАКАЗЧИКА


**Тимур Халфин, директор по инновационному развитию ООО «БУТИС»:**

Наша компания специализируется на разработке и производстве СВЧ-фильтров на поверхностных акустических волнах (ПАВ) и занимается этим направлением уже три десятка лет. В среднем, за год наш дизайн-центр разрабатывает около 100 топологий фильтров. Наши

программистами создана собственная программа для расчета топологий, основанная на накопленном за это время опыте. Каждая топология – как удачная, так и неудачная – заносится в базу данных и используется для уточнения расчетов новых изделий. Думаю, такой экспертной системы нет ни у кого в мире.

Фильтры, которые мы разрабатываем, – в своем большинстве уникальные изделия. Например, среди них есть компоненты, сохраняющие свои характеристики в широком диапазоне температур и способные работать при температурах до  $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ , что позволяет использовать их в условиях Арктики или в космической аппаратуре.

Долгое время компания специализировалась именно на таких компонентах – с уникальными параметрами и специфичными применениями. А это значит, что наше производство было широкономенклатурным с объемами от единичных до мелкосерийных. У нас около тысячи типонаименований изделий, при том что размер партии составляет от одного изделия до нескольких тысяч.

Создавая специализированные компоненты, компания чувствовала себя относительно неплохо, но сделать рывок в развитии не получалось. Во-первых, основной потребитель таких изделий – государственный заказчик, а ценообразование при выполнении госзаказа устроено таким образом, что большую прибыль производитель получить не может. Во-вторых, ПАВ-фильтры – это микроэлектронные изделия, и, как у обычных микросхем, себестоимость у них сильно зависит от серийности. При наших объемах мы не могли снизить себестоимость настолько, чтобы получить достаточную прибыль для инвестиций в развитие производства. Мы понимали, что для выхода на новый уровень нам нужно осваивать более широкий рынок, благо СВЧ-фильтры – это продукция, которая востребована в различных достаточно крупных сегментах, таких как связь, навигация, автомобильная электроника. Но для этого нужно было искать возможность

для реструктуризации производства из практически единичного по крайней мере в среднесерийное, а также для существенного снижения стоимости наших изделий для конечного заказчика, потому что, если цена нашего компонента была приемлема, например, для космической отрасли, для автопроизводителя или разработчика базовых станций она была заоблачной.

Такая возможность у нас появилась в прошлом году. Мы получили субсидию Минпромторга России, согласно постановлению Правительства РФ от 24 июля 2021 года № 1252, на разработку и производство фильтров нового поколения – с применением технологии flip-chip.

Конечно, в мировом масштабе это не такое уж и новое поколение, но для нашего рынка это большой шаг вперед, который позволит нам снизить стоимость фильтров на порядок. Дело в том, что в себестоимости фильтра на кристалл приходится совсем немного – около 1%. Еще около 50% стоит корпус, который мы покупаем у отечественного производителя. А вся оставшаяся часть – это сборка, контроль и испытания. Конечно, эта раскладка зависит от сложности и назначения конкретного фильтра – например, у фильтров космического применения на испытания приходится большая доля себестоимости, чем у фильтров для аппаратуры связи. Но в целом картина выглядит примерно так.

Технология flip-chip позволяет сэкономить как на самом корпусе, поскольку он меньше и для его изготовления нужно меньшее количество дорогих материалов, так и на сборке – за счет автоматизации.

Практически сразу после одобрения субсидии мы начали работать над проектом обновленного производства. Но самым первым шагом – еще до получения денег – стала цифровизация, перевод документации в цифровой вид, внедрение системы прослеживания. Это крайне важно при автоматизации, потому что, когда у вас, например, разварка кристалла выполняется ручным способом, цена организационной ошибки существенно ниже, чем в автоматизированном процессе монтажа flip-chip. Если что-то пошло не так, вы можете заметить ошибку и указать работнику, что нужно поправить. В некоторых случаях даже можно исправить бракованные изделия. Монтаж flip-chip не поддается исправлению, а пока вы заметите ошибку автоматическое оборудование уже сделает столько дефектных изделий, что вы понесете довольно существенные потери.

Далее мы приступили к выбору оборудования и проектированию его расположения на площадке. Часть списка необходимого нам оборудования была для нас очевидна. Например, мы уже закупили установку для упаковки компонентов в блистерную ленту. Разрабатываемые



# РОБОТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВ

## Российские разработки

от ТОП интегратора  
промышленных  
роботов России  
(по версии [tadviser.ru](http://tadviser.ru))



Партнер  
Корпорации МСП

+7 (495) 649-60-69  
[info@ds-robotics.ru](mailto:info@ds-robotics.ru)  
[ds-robotics.ru](http://ds-robotics.ru)

в рамках субсидии фильтры имеют размеры  $2 \times 1,6$  мм и устанавливаются на платы методом поверхностного монтажа, поэтому заказчикам, конечно, нужно, чтобы они были упакованы в соответствии с требованиями автоматического монтажного оборудования. Также мы расширяем парк контрольно-измерительных приборов – анализаторов цепей. Ждем прибытия атомно-силового микроскопа, который позволит выполнять контроль топологии, получаемой на нашем кристалльном производстве, неразрушающим методом, в отличие от того подхода, которым мы пользуемся сейчас, а именно электронной микроскопии.

Однако в нашем маршруте есть и нестандартные операции, для которых специализированное оборудование не выпускается. Прежде всего, сборка у нас производится не на конвейере, а на отдельностоящих установках. Хотя мы и планируем создать производство, рассчитанное на большие серии, оно остается многономенклатурным, а следовательно переналадки будут достаточно частыми. Переналадка конвейера под изделие другого типоразмера – достаточно долгая и трудоемкая операция, поэтому конвейер нам невыгоден.

Таким образом, перенос изделий от одной установки в другую выполняется вручную в специальных кассетах. Но возникает вопрос: «Кто или что будет в эти кассеты укладывать изделия?». Первая мысль, которая может прийти в голову, – использовать для этой цели координатный станок, такой как автомат поверхностного монтажа, способный забирать компоненты из россыпи. Мы обратились к одному из российских производителей такого оборудования, который, наверное, наиболее далеко продвинулся в распознавании компонентов с помощью технического зрения. Однако оказалось, что корпуса, с которых начинается сборка и которые должны быть уложены в кассеты изначально, во-первых, блестящие, а во-вторых, еще не имеют маркировки, что усложняет их распознавание. В компании нам сказали, что технически они могут доработать систему распознавания под нас, но это займет много времени, а поскольку других заказчиков, которым это могло бы быть нужно, не так много, если они вообще есть, заниматься этим нецелесообразно.

Тогда мы посмотрели, как с этой задачей справляется немецкий автомат аналогичного класса. Оказалось, что он может распознавать корпуса, но у нас возникли сомнения по поводу технической поддержки, особенно в нынешних условиях.

Третий вариант – использовать робот. Главное преимущество этого решения в том, что оно универсальное. Есть и недостаток – скорость: роботы выполняют подобные операции медленнее, чем координатные станки, «заточенные» фактически под одну задачу. Но для нас

производительность не является «узким местом»: если робот сможет раскладывать до 1000 корпусов в час, этого нам будет вполне достаточно.

Еще одна нестандартная операция – установка собранных изделий в оснастку для измерения параметров. Здесь оборудование должно захватить фильтр из кассеты и точно поставить его на контакты оснастки, которая в СВЧ-электронике является весьма непростым, достаточно прецизионным и часто специализированным под конкретный тип фильтра изделием. После выполнения измерений оборудование должно получить от измерительного прибора результаты и в зависимости от того, годное изделие или нет, поместить его в ту или иную кассету. Очевидно, что для этой задачи тоже вполне подойдет робот. Для этих целей выпускается специализированное оборудование, но оно стоит очень дорого, и при наших объемах – даже планируемых – его приобретение нерентабельно.

Наконец, есть операция герметизации корпуса, когда на основание нужно установить крышку с нанесенным припоем, которая в случае наших новых компонентов имеет размеры около  $1,5 \times 1$  мм, после чего переместить компоненты в печь для оплавления припоя.

Таким образом, задач для роботов на нашем производстве не так мало. Но было важно найти робототехническое решение достаточной точности, поскольку мы всё же имеем дело с микроэлектронными изделиями.

С компанией «ДС-Роботикс» мы познакомились на выставке «Электроника России» в конце прошлого года. Я подошел на их стенд и спросил, могут ли они поставить нам робот для выполнения сборочных операций. Они сказали, что им нужно исследовать этот вопрос и через некоторое время вернулись с положительным ответом. Тогда мы еще не приняли решение, с какой операции начнем, но в том и заключается преимущество робототехнических решений, что если обеспечивается необходимая точность, то перепрограммировать робот под новую операцию не так и сложно. Это в любом случае не создание специализированного оборудования.

Мы решили начать с операции герметизации корпуса. Наш поставщик корпусов как раз предложил нам новую технологию – герметизацию пайкой припоем с содержанием золота. Мы подготовили ТЗ, достаточно широкое, чтобы можно было реализовать разные вариации выполняемой операции, делая особый упор на то, что комплекс должен обеспечивать возможность перепрограммирования нашими силами – фактически загрузкой в него электронной таблицы с координатами. Что мне очень понравилось в работе с «ДС-Роботикс» – это то, что они не стали подходить к вопросу формально, по схеме «вы нам напишите проработанное окончательное ТЗ, а потом мы уже подумаем, сможем ли мы это сделать». Это было важно,

потому что новая технология герметизации еще только разрабатывалась, наш поставщик предлагал разные решения с применением различной оснастки и упаковки деталей корпусов, и мы могли корректировать ТЗ в соответствии с этими изменениями. Конечно, при этом мы старались держаться в пределах разумного, не просить сшить семь шапок из одной овечьей шкуры.

В основе робототехнического комплекса, предложенного «ДС-Роботикс», был робот компании ABB, с продукцией которой мы были знакомы и потому не искали каких-либо альтернатив. Наш подход заключался в том, что, если бы решение от «ДС-Роботикс» нас устроило, мы продолжили бы работать с этой компанией и далее. По нашему мнению, долгосрочное сотрудничество более эффективно, нежели поиск небольшой выгоды путем перебора разных поставщиков. Собственно, так оно и получилось. Сейчас робототехнический комплекс для герметизации корпусов, включающий робот-манипулятор, систему подачи заготовок, а также две печи для пайки российского производителя, физически готов. В настоящее время – уже нашими силами – дорабатывается панель управления, которая будет интегрирована в общую систему управления производством таким образом, что оператору будет достаточно считать QR-код или иным образом

идентифицировать тип производимого изделия, и комплекс будет выполнять операцию в соответствии с нужной программой в автоматическом режиме. Кроме того, мы приобрели у компании «ДС-Роботикс» несколько роботов для выполнения других операций – но это уже следующий этап нашего проекта, завершить который мы планируем к концу следующего года.

Отдельно отмечу, что когда на нашем производстве появились роботы, монтажники поначалу смотрели на них с опаской: не заменит ли их это оборудование. Но мы никого увольнять не собираемся: у нас так или иначе останутся ручные операции, поскольку часть продукции мы продолжим производить малыми сериями. Наоборот, наш штат расширяется: у нас создан новый отдел по программированию роботов. Частично в него переходят наши сотрудники, которые заинтересовались этой деятельностью, а часть людей мы набираем вновь.

Работа над проектом по развитию производства еще продолжается, но уже сейчас мы видим, что робототехнические решения от «ДС-Роботикс» применимы в наших технологических процессах, что позволит нам повысить их автоматизацию, освоить новые изделия и в конечном счете выйти со своей продукцией на новые рынки.

*Материал подготовлен Ю. С. Ковалевским*



**ТЕЛЕГРАММ КАНАЛ**   
**НАУЧНОГО ИЗДАТЕЛЬСТВА**  
**ТЕХНОСФЕРА:**

- Онлайн репортажи с крупнейших выставок отрасли
- Анонсы мероприятий с участием технических экспертов отрасли
- Скидки на журналы издательства до 25%
- Конкурсы и розыгрыши от ведущих компаний
- Книжные новинки и презентации новых выпусков журналов

**Подписывайтесь и оставайтесь в курсе**  
**главных событий научно-технической сферы**

