

# МОДНЫЕ РЕШЕНИЯ – НЕОБЯЗАТЕЛЬНО ПРАВИЛЬНЫЕ

## ВИЗИТ НА ПРОИЗВОДСТВО ООО "АЛТ МАСТЕР"

В.Мейлицев

Московская компания АЛТ Мастер сегодня является одной из крупнейших среди контрактных производителей электроники в России в области сборки печатных узлов. Производственные мощности компании размещены в Зеленограде, они позволяют производить монтаж электронных сборок практически любой сложности с использованием самой современной компонентной базы, а также оказывать услуги по изготовлению кабельной продукции для жестких условий эксплуатации и финишной сборке конечных изделий.

Ведущие специалисты компании имеют огромный опыт в части поверхностного монтажа и связанных с ним технологических процессов – к работам в этой области они приступили еще в конце прошлого века. Естественно, у них сложились свои взгляды на широкий круг вопросов, связанных с темой электронного производства: от состояния и перспектив развития рынка до подходов к оценке эффективности отдельных единиц технологического оборудования в конкретных условиях контрактного производства.

Нас интересовал именно этот опыт, эти подходы. Знакомил нас с ними, проводя экскурсию по производственным площадям предприятия, основатель ООО "АЛТ Мастер" Равиль Хаммятович Дианов.



Равиль Хаммятович Дианов

**Равиль Хаммятович, расскажите, пожалуйста, в нескольких словах о характере вашего производства.**

Сегодня мы работаем примерно с 250 российскими компаниями, из которых порядка семи можно отнести к крупным, а остальные представляют собой средние и совсем небольшие предприятия. Анализ состава наших потребителей неожиданно показал справедливость принципа Парето: 80% оборота формируют 20% наиболее крупных заказчиков, а остальные 80% клиентов дают 20% выручки. Как индикатор это прият-

ный факт, хотя, конечно, такое соотношение ни в коем случае не является для нас самоцелью.

Мы, последние молодые инженеры советских времен, гордимся тем, что наша работа нужна людям, занятыми правильными делами; без нас этим правильным людям, живущим своей работой, было бы значительно сложнее ее делать. Ведь каково это было: проектировать интересные, современного уровня устройства и не иметь возможности изготовить хотя бы опытные образцы.

Обеспечить современную производственную базу для изготовления единичных образцов, малых партий – это одно из важных направлений нашей деятельности. Это значит, во-первых, "растить заказчиков" и, во-вторых, поддерживать "технологический тонус" произ-

водства, еженедельно принимая в работу нетривиальные задачи. Собственно, с этого мы и начинали: организовали шесть рабочих мест для изготовления единичных устройств и опытных партий, и потом добавляли к ним, одну за другой, автоматизированные линии поверхностного монтажа, в чем нам оказал большую помощь наш основной поставщик – компания "Клевер Электроникс".

**Вы говорите о малых партиях, о предоставлении доступа к современной технологии для малых компаний. Однако в ваших линиях работают сборочные автоматы Advantis компании Universal Instruments с монтажными головами Lightning 2 – установки очень высокой производительности. Чем обусловлен такой выбор?**

Наш опыт, наше понимание "устройства" электронной отрасли в мире убеждают, что опытное производство может содержательно работать только рядом с большими производствами.

Пример: люди видят манипулятор – ручной установщик компонентов поверхностного монтажа – и выражают желание иметь такой же для внутренних потребностей своих разработчиков. Кажется: почему бы и нет? Однако... Существует много не очевидных при первом взгляде "однако".

Правильно нанести паяльную пасту на относительно сложную плату современного модуля руками на столе не получится – нужен автоматический принтер. Оплавить в маленькой печи – проблемно выставить требуемый термопрофиль, нужна большая, тиражная. Посмотреть, как припаялись корпуса BGA? Нужна установка рентген-контроля. Не считая обязательных "пустяков", вроде миксера паяльной пасты, устройства термопрофилирования для выставления и контроля профилей оплавления, оснащения рабочих мест контроля и ремонта, ну и еще десятка разных, но важных, мелочей. Заметьте, это мы еще не касаемся экономики содержания штата специалистов с комплектом необходимых компетенций.

Конечно, мы имеем дело не только с малыми партиями. У нас есть заказы объемом и 10, 20, 50 тыс. изделий. Впрочем, турельная 30-шпиндельная голова Lightning 2 дает определенные преимущества и при сборке небольших партий.

Устоявшаяся мировая схема организации линии поверхностного монтажа – чип-шутер (быстродействующий автомат-установщик) плюс прецизионный автомат. Мотивы такого сочетания понятны: всем нужна скорость сборки, но при этом желательно, чтобы большие микросхемы позиционировались с высокой точностью, и чтобы нестандартные компоненты тоже ставили автоматы. Чудес, по крайней мере, в электронике, не бывает, поэтому автоматы со временем стали делать двух типов.

Чип-шутеры – автоматы для стандартных пассивных, а также некоторой части активных компонентов. Чем больше захватов, тем быстрее монтаж. Но чтобы захватов уместилось больше, их нужно располагать близко друг к другу, поэтому такие автоматы способны захватывать только небольшие компоненты (до SOIC-14). Стандартных компонентов на плате, как правило, больше 75%, поэтому для чип-шутера становится допустимым ограничение по высоте забора из питателя. Остальное – высокие, особо крупные, нестандартной формы компоненты – приходится "отдавать" прецизионному автомату – такова цена ускорения. При правильной оптимизации таким образом достигается желаемый результат: и быстро, и разнообразно, и точно.

Теоретический спор, что лучше – турельный (револьверный) или линейный чип-

Монтажные автоматы Advantis X в одной из сборочных линий цеха компании АЛТ Мастер



шутер, не имеет простого решения. Бывает по-разному.

Пример: светодиодные платы со схемой из двух типонамиалов – светодиодов и токоограничивающих резисторов. Для линейного автомата весь комплект этих двух компонентов надо поделить на все питатели, то есть разрезать ленты. Турельный же автомат забирает их из двух слотов – заряжай две ленты и стартуй. Одно удовольствие наблюдать, как над одним местом крутится с бешеной скоростью, набирая детали на все 30 шпинделей, турельная голова, а вторая в это время расставляет их на плату.

Вертикальные турельные чип-шутеры умеют делать Universal Instruments (США) – до 30 шпинделей на турели – и ASM Pacific (Assembly Systems) (Сингапур) – до 20 шпинделей. Линейные чип-шутеры лучше всех, судя по всему, получают у Panasonic (их вместе с прецизионными автоматами Universal для последней модернизации использовал наш маяк – крупнейший мировой контрактный сборщик Foxconn) и Hitachi (с 2015 года этот бизнес принадлежит компании Yamaha). Но линии, составленные из таких автоматов, получаются очень уж длинными, не набегаешь за рабочую смену при большой номенклатуре изделий. Приходится думать об установке угловых конвейеров, чтобы "завернуть" линию назад.

С нашей точки зрения, автомат с головой Lightning 2 проявляет себя как гибкий инструмент, эффективный в разных ситуациях,

что важно для контрактного производства с непредсказуемой программой выпуска, как по номенклатуре, так и по размеру партии.

Кстати, одна из наших линий, включающая автоматы AdVantis X AC-60D с двумя 30-шпиндельными головами Lightning 2 и AdVantis AX-7S, – первая такого класса в Европе. В каждый так называемый "интеллектуальный" питатель этих автоматов можно ставить по две 8-мм катушки, на каждой стороне по 76 слотов, то есть по 152 катушки – всего получается более 300 типонамиалов, и этого хватает для сборки почти любого печатного узла.

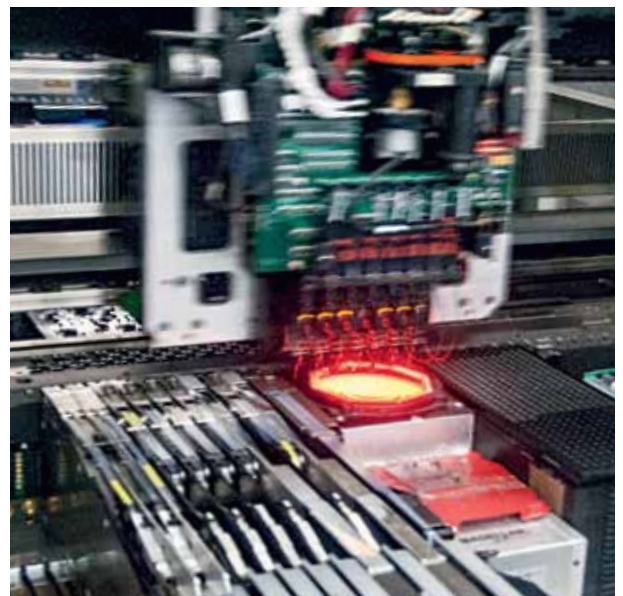
Я не согласен с расхожими заявлениями из серии "мы отстали на 50 лет". Уверен: мы идем в ногу с остальным миром.

### Какая номенклатура продукции собирается на трех ваших линиях поверхностного монтажа?

В день мы делаем от 8 до 12 видов электронных сборок, в том числе с двухсторонней установкой компонентов. Грубо: два часа – на зарядку линии, 20 минут – на установку компонентов, час – на снятие питателей и подготовку к следующей загрузке.

Собственно говоря, наша загрузка зависит не от нас: не мы строим рынок, рынок строит нас. Много ли в стране делают в год вертолетов, самолетов и прочей продукции, требующей высококлассной электроники? По 50–100 экземпляров. А мы – мы делаем не то, что хочется, а то, что нужно нашему потребителю...

30-шпиндельная турельная голова Lightning 2 (слева); 7-шпиндельная линейная голова в работе: контроль захваченных компонентов "на лету" (справа)



**Таким образом, у вас получается до четырех запусков в день на каждой линии? Это немало... Используете ли вы заблаговременную подготовку питателей, подкатные тележки?**

Поначалу планировали купить, но очень уж высокой показалась цена. Подкатные тележки – красивая идея, но при нашей номенклатуре эффективность их использования не вполне очевидна.

**Во всех трех линиях у вас стоят печи конвекционного типа. Используете ли вы в них азотную среду?**

За последние три года мы приблизились к европейскому пониманию достойного уровня качества – 1 500–2 000 DPMO (defects per million), то есть 1,5–2 тыс. дефектов на миллион паек. Мне, как технологу, правильно считать именно так – по количеству дефектных паек как показателю качества процесса. Заказчику же естественно оценивать брак по отношению к общему количеству изделий, то есть в PPM (parts per million). Можно и проще: в процентах от объема партии; у нас этот показатель составляет 0,2–1,0%, что в наших условиях неплохо.

Азот – это дорогое удовольствие. Мы провели анализ, и он показал, что азотная среда среднестатистически дает уменьшение дефектовки на уровне шума. Тут, скорее, работают другие факторы, в первую очередь качество паяльной пасты и ее подготовки, качество поставляемых компонентов, печатных плат и их технологической подготовки, наконец, качество предоставляемой документации.

Однако, если к нам приходят с конкретным требованием пайки в азотной среде, то мы подключаем азот – оборудование у нас есть. Правда, тогда и расценки у нас серьезно увеличиваются, но это уже на волю заказчика.

**Сколько времени занимает термопрофилирование в общем процессе подготовки линии?**

На каждой печи стоит по два-три типовых термопрофиля. Практика показывает, что для основной массы продукции этого вполне достаточно. Поэтому, как правило, операция подготовки печи занимает столько времени, сколько нужно на разогрев, – по паспорту это 20 мин, что намного меньше времени уста-



новки питателей. В сложных случаях, когда речь идет о нестандартных платах с большой теплоемкостью, подключаются технологи, прорабатывают специальный профиль для этой платы, что и отражается в маршрутной карте. Нельзя перегружать оператора самостоятельным выбором среди большого числа термопрофилей.

**Для монтажа микросхем в корпусах BGA требуются специальные термопрофили?**

Обычно да. Это, собственно, есть предмет технологической подготовки текущих проектов.

Вообще, подбор термопрофиля надо рассматривать в значительной мере как искусство. Допустим, на плате 300 разных компонентов. Для каждого есть описание технических характеристик (data sheet) с рекомендуемыми профилями оплавления. Можно, конечно, пытаться изобрести некую формулу, усредняющую общие требования, но усреднение – это всегда упро-

Печь конвекционного оплавления модели RS800 производства компании JT: 8 зон нагрева, 2 зоны охлаждения

Технолог и начальник участка поверхностного монтажа проводят углубленный контроль первых смонтированных изделий в партии. Таким же образом проверяется правильность построения термопрофилей в случаях, когда они должны отличаться от типовых



Ремонтная станция Shuttle Star RW-PS400



шение. Можно пойти по другому пути упрощения: выставлять профиль по требованиям для каждой паяльной пасты. Но тут появляется нестандартный компонент, например, корпус BGA в металле и с бессвинцовыми выводами. Что делать? Или: как посчитать теплоемкость многослойной платы с огромными полигонами?

Работающее, дающее результат решение не содержит ничего заумного: выставляем профиль, клеим термопары, подстраиваем профиль, смотрим качество пайки, подгоняем профиль.

Это что касается массового производства. Для опытных плат и небольших серий установку корпусов BGA мы производим на ремонтных станциях. В данном случае основная проблема – разные коэффициенты температурного расширения (КТР) меди и базового материала платы. При существенном градиенте температур на поле платы легко можно получить проседание области вокруг BGA на 0,05 мм, выход годных получится хорошо если 50%.

Станция, помимо верхнего нагрева, обеспечивает подогрев снизу до 170 °С, что позволяет сблизить значения смещений из-за КТР между медью и стеклотекстолитом. А дальше – BGA захватывается насадкой нужного типоразмера, микрометрическими винтами производится совмещение картинок на экране компьютера – изображений контактных площадок платы и выводов корпуса,

микросхема с помощью микролифта устанавливается на плату, и выполняется оплавление по профилю. Выход годных гарантированно больше 95%.

### Паяете ли вы бессвинцовыми пастами?

Таких заказов у нас немного – как правило, бессвинцовая пайка нужна тем производителям, которые поставляют продукцию в Европу. Но если приходит такой заказчик, то – да, у нас освоена эта технология. Специальных проблем не возникает.

### А как вы решаете проблему пайки компонентов BGA с бессвинцовыми выводами по свинцовой технологии?

Бессвинцовые выводы и оловянно-свинцовые покрытия совместимы. Другое дело, когда у заказчиков есть запрет на использование компонентов с бессвинцовыми выводами. Тогда делаем реболлинг: удаляем исходный бессвинцовый припой выводов, зачищаем контактные площадки, восстанавливаем матрицу шариковых выводов. Аналогичные действия производятся и при ремонте. Да, процесс кропотливый и тонкий – но ведь мы и нужны заказчику для решения тех задач, которые для него трудны или вовсе невыполнимы.

### А парофазной системы у вас нет, даже отдельно стоящей?

Нет, и причина та же, что и с азотной средой: мы не видим проблемы, которую надо было бы устранять при помощи такой системы. Вероятно, парофазная печь действительно обеспечит меньший процент непропаев в определенных случаях, но мы с такими случаями на практике не сталкиваемся. Увидим проблему – примем решение.

Вообще, это наш общий подход: мы считаем, что не надо решать проблемы, которые никак себя не проявляют. Проблему показывает конвейер: если у вас непомерно разрастается ремонтная группа, то тогда действительно надо разбираться, в чем дело, и после этого принимать необходимые меры. Например, так было с установкой SPI. Когда мы увидели, что при всех наших усилиях отбраковка на линии не получается меньше 2%, мы две недели анализировали ситуацию и поняли, что нужен контроль нанесения паяльной пасты.



Системы 3D-контроля нанесения паяльной пасты, установленные в линиях автоматизированного монтажа: слева – Cyber Optics SE300-Ultra; справа – экран более производительной установки Cyber Optics SE500-III

Скажу больше: когда что-то делается из абстрактных представлений о правильном технологическом процессе, то невозможно оценить пользу от нововведения. Если не знаешь, какой параметр хотел улучшить, – как проверить, что получен требуемый эффект?

**Поэтому у вас в каждой линии стоит SPI? Надо сказать, что контроль нанесения пасты пока нечасто встречается у российских производителей... Используете ли вы обратную связь между SPI и трафаретным принтером?**

Проблема, решаемая с использованием SPI, – это проблема некорректного нанесения паяльной пасты: где-то ниточка попалась, где-то плохо промылось отверстие, где-то трафарет поизносился, давление ракеля упало. SPI указывает на наличие проблемы. Решение на месте принимает технолог, оперативно внося коррекции в текущий процесс. Случайный сбой – значит, просто смыть пасту, нанести еще раз. Не понимаю – значит, собираем консилиум, находим источник проблемы: корректируем ПО, перезаказываем трафарет, калибруем станок. Пока не видно, чем тут может помочь связь SPI с принтером. Если неправильно сделан трафарет, как тут поможет обратная связь? Трафарет надо перезаказывать...

Пожалуй, единственное, что нам разумно сегодня делать – собирать статистику. Что и реализуется.

**Автоматическая оптическая инспекция на выходе из паяльной печи стала сегодня практически обязательным эле-**

**ментом линии поверхностного монтажа даже на отечественных предприятиях. У вас три линии, в каждой из них установка SPI, а АОИ – две отдельно стоящие. Почему так?**

Логика работы АОИ как системы экспертной оценки строится на классической схеме оптимизации соотношения "пропуск дефекта – ложная тревога". Занижаем ложные тревоги – получаем большую вероятность пропусков. Занижаем пропуски, – получаем из АОИ в линии просто проходной конвейер.

АОИ в линии – это приемлемо для небольшой номенклатуры больших партий. В таком случае можно позволить себе одну-две смены посвятить отработке ПО для АОИ – настройке соотношения "пропуск – ложная тревога".

Мы используем установку АОИ для инспекции сравнительно больших партий изделий.

Установка АОИ TR7500DT



Установка  
рентгеновского  
контроля  
Ruby FP  
производства  
Nordson Dage



Партии в 50, 100, 200 единиц проверяем на стереомикроскопах: составление программы проверки на АОИ занимает полдня, и автоматизация проверки малых партий попросту приведет к неоправданным задержкам производства – программирование не будет успевать за номенклатурой.

Сейчас мы рассматриваем возможность приобретения инспекции компании TRI третьего поколения, в которой реализован полноценный 3D-контроль. Если количество ложных тревог превысит объем реального брака не более чем в 10–15 раз, то этот уровень можно считать приемлемым, и мы поставим такую инспекцию в линию. Если результаты будут хуже... Не должны быть. Мы верим в прогресс.

### В минувшем году вы приобрели новую установку рентгеновского контроля. Что стало стимулом для такого решения?

Показательная история. Полгода у нас лежал печатный модуль, не прошедший проверку на функционирование. Мы искали дефект всеми возможными способами, дважды тщательно смотрели пайку корпуса BGA на нашей прежней рентгеновской установке – все в порядке. Только устройство не работает.

Затем появилась возможность исследовать модуль на установке Ruby FP в одной из компаний. Она выполнена на очень высоком техническом уровне: фокальное пятно диаметром 0,5 мкм, и при этом способна производить послойный анализ. Установка показала нам холодную пайку! Видно всё: вот бочонок вывода, вот пайка – виден ободок, а здесь пайки нет! Пропаяли – плата заработала. Решили: годовую премию пропускаем, берем новые "глаза"!

### В завершение темы автоматического контроля: как вы проводите электрическое тестирование? Используете установки с "летающими щупами"?

Честно говоря, однажды увидев работу одной из самых современных установок тестирования с помощью "летающих щупов", я чуть не заказал ее. Но, рассудив хладнокровно, мы пришли к выводу, что такой контроль нам не подходит. Тестер с "летающими щупами" требует программирования под каждую задачу, а наша номенклатура обширна и непредсказуема – не займет ли программирование больше времени, чем собственно изготовление партии?

Поэтому малые партии проверяем вручную, для больших регулярных программ делаем специализированные стенды. При том, что такие стенды во многом унифицированы, единственное, что обязательно будет индивидуальным для каждого изделия – контактное устройство. Но и это довольно просто: основа – печатная плата самого изделия, на ней в нужных точках – контакты в виде подпружиненных иголок, плюс прижимы. Проверка проводится почти мгновенно: подаются питания и стимулы, один за другим проверяются сигналы в контрольных точках – всё. У нас таким образом оборудовано 16 рабочих мест электрического тестирования, которые благополучно справляются с производственной программой.

### Как у вас обстоят дела с такой популярной сегодня темой, как прослеживаемость?

Да, "модная" тема. Да, важная. Еще один шаг в сторону Индустрии 4.0.

Наклейка со штрихкодом, фиксация перемещений изделия, привязка к установленной на модуль элементной базе. Технических проблем немного; иногда, правда, на плате нет

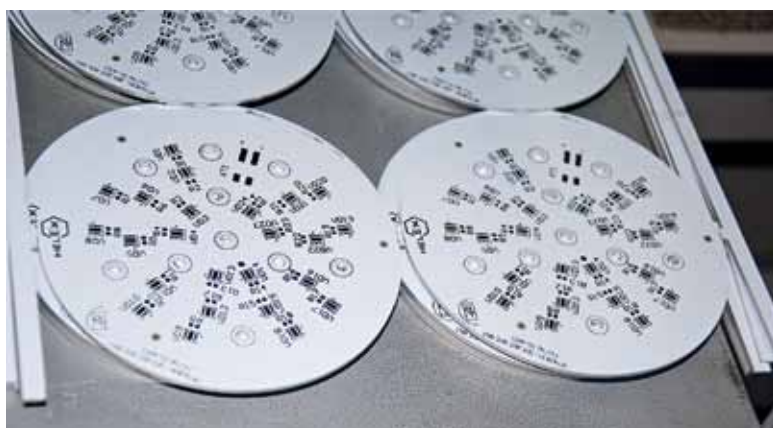
места для наклейки. Если есть требование заказчика – будет прослеживаемость. Другое дело, что порой заказчик требует "прослеживаемость", но не может сформулировать, какую именно информацию хочет получить на выходе. Если говорить о собственных нуждах производства, то нам непонятно, что делать с полученным массивом информации и что из нее следует.

Получается – сам по себе вопрос простой, а проблема лежит где-то в области целеполагания. Второй год мы пытаемся как-то "примерить на себя" систему прослеживаемости, но пока она нашла себе применение только в рамках складского хозяйства.

**Вы рассказали, что считаете важным дать возможность разработчикам изготовить свои устройства на любом из этапов их создания, вплоть до ОКР и НИР. Это означает, что вам могут принести что-то очень необычное...**

Именно так. Какие только платы не приносят иногда... Искривленные, круглые, неожиданно толстые – конструкция конечного изделия, в которое будет установлен электронный модуль, может требовать всякого.

Для таких работ одну из линий мы постарались сделать максимально универсальной, ориентированной на нестандартные платы, нестандартные компоненты. В некоторых случаях нанести паяльную пасту на автоматической установке не получается – можно сделать это вручную, можно на полуавтоматическом принтере Autotronik. Но главное: печь в этой линии, помимо цепного, имеет еще и сетчатый конвейер, так что в ней можно оплавить припой на плате произвольной формы. Таким



образом достигается максимальная универсальность, независимость от особенностей конструкции платы.

Автоматический дозатор. Большую машину этого назначения мы брать не стали, такие операции требуются нечасто. Иногда надо подклеить компоненты – наносим термостойкий клей, расставляем компоненты по заготовке, отправляем на полимеризацию. Или наносим с помощью дозатора маскирующий материал на те контакты, которые не должны быть залиты влагозащитным покрытием. После этого можно наносить влагозащиту методом окунания, что значительно быстрее и дешевле, чем нанесение аэрозолем или кистью. Иногда закрываем отверстия, в которые не должен попасть припой при пайке волной – например, отверстия с резьбой под крепеж.

**Вы используете пайку волной?**

Да, хотя технология древняя, но часто выручает. Плат, подготовленных к оплавлению волной припоя, немного по номенкла-

Круглые платы на металлической основе – далеко не самый сложный случай в практике контрактного производства

Полуавтомат трафаретной печати Autotronik BS1400. К левой стенке примыкает камера совмещения, конструктивно отделенная от области нанесения пасты (слева); автоматический настольный дозатор Dispense Master DIMA DD-500 (справа)







Установка пайки двойной волной ERSA N-WAVE-400F

туре, обычно это простые платы, но когда они есть – это удача. В общем случае для выводного монтажа у нас функционируют 50 рабочих мест.

#### Ваша компания также изготавливает кабельную продукцию. Какие есть особенности в этой области?

Нам заказывают изготовление различных жгутов и кабелей, в том числе специального применения с особыми техническими требованиями и весьма сложной геометрией, предназначенные для жестких условий эксплуатации. Мы установили у себя станок для оплетки жгутов, который позволяет достигать плотности оплетки до 98% – в отличие от стандартного "чулка", в котором не добиться больше 80%. Если кабель предназначен для оборудования с рабочими частотами порядка десят-

ков гигагерц, это становится важным фактором его работоспособности. На своем станке мы можем делать оплетку повышенной прочности, кабели неограниченной длины, с произвольным числом ветвлений.

Есть машина для нарезки и зачистки проводов компании KOMAX, автомат для двухуровневой разделки коаксиальных кабелей Cosmic 48R, для разделки провода МГТФ – Cosmic 32M. Есть автоматический тестер на 520 контактов, который не просто "прозванивает" кабель, а измеряет сопротивление между выводами; в нем имеется встроенная схема проверки электрической прочности цепей напряжением до 2 кВ.

#### Покажите нам что-нибудь из конечной сборки?

Из готовой продукции мы выпускаем, например, управляющие шкафы для лифтового хозяйства. Месячная программа небольшая, 50 единиц, поэтому сборка стапельная. Пока это шкафы для общественных сооружений – магазинов и т.п., но, видимо, скоро займемся и оборудованием для обычных жилых домов.

Более крупной серией идут мобильные касковые аппараты, производительность участка, на котором они собираются, 1 200 изделий в смену.

Еще один интересный продукт – настольные 3D-принтеры. Это разработка выпускников зеленоградского МИЭТа. Управляющая электроника и вся конструкция, кроме печатающей головки и приводов, изготавливаются у нас.

Подготовленные провода для изготовления жгутов (слева): станок для оплетки кабелей (справа)





3D-принтеры.  
Слева: 24-часовой прогон.  
Справа: узоры на изделии – не ради красоты, а для подтверждения характеристик печати

В заключение хочу подчеркнуть: специфика контрактного производства, в особенности в наших условиях, такова, что не знаешь наверняка, что будешь делать завтра и с какими новыми задачами столкнешься. Это непросто, но и интересно. Решая новые задачи, мы нарабатываем опыт, который позволяет нам уже много лет делать качественную продукцию для наших заказчиков. На основе этого

опыта мы развиваем производство и выбираем для него лучшие из целесообразных средства и подходы. Неоправданно дорогие или непрактичные решения, которые порой внедряются в стремлении не отстать от модных тенденций, в конечном счете выливаются в удорожание услуг и ложатся на плечи заказчиков или делают производство неконкурентоспособным. ●