

03 (16) июнь 2015

# ВЕКТОР

ВЫСОКИХ ТЕХНОЛОГИЙ  
Научно-практический журнал

**ПЕРСПЕКТИВЫ**  
Василий Афанасьев

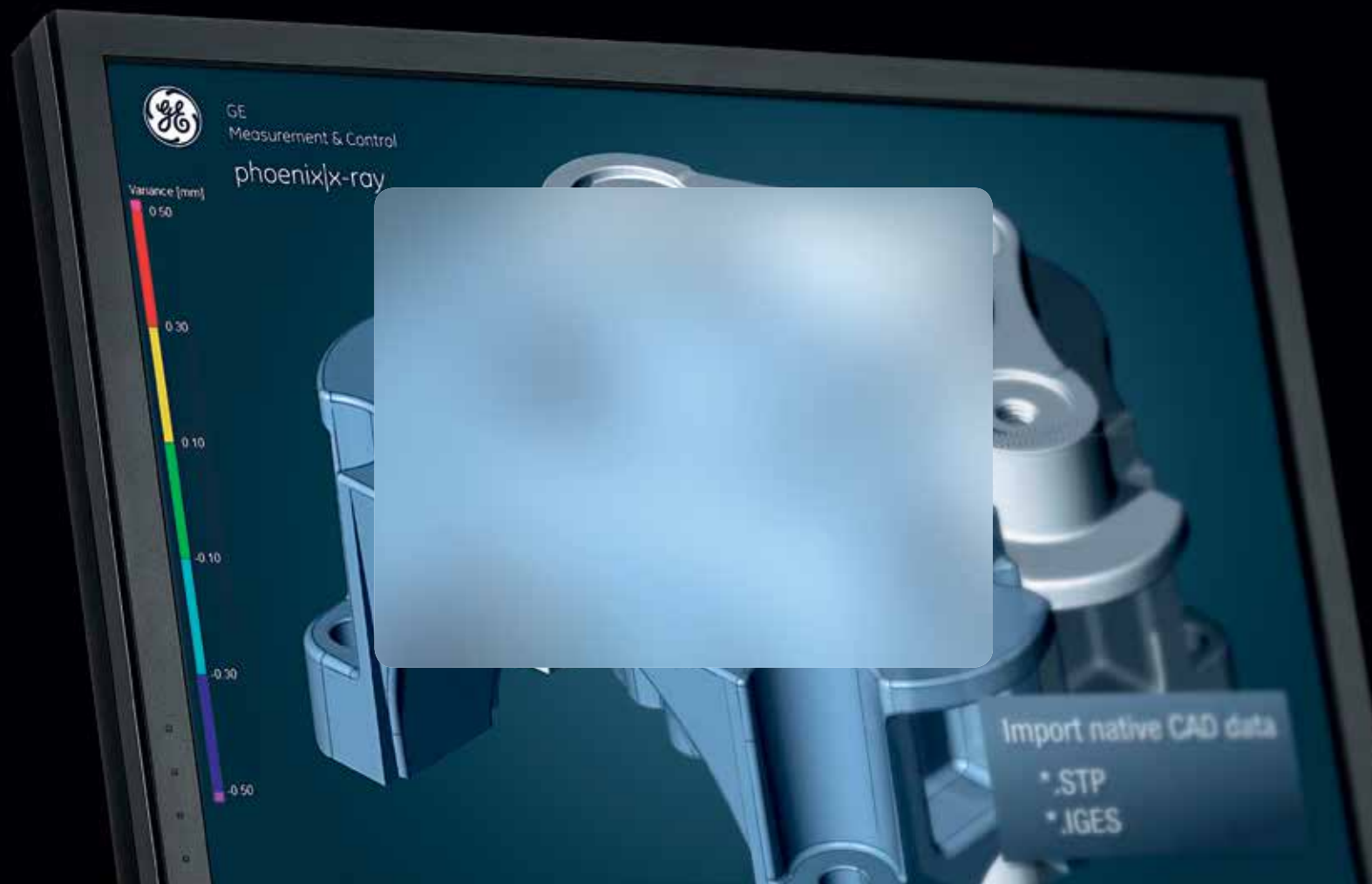
**10** МЕЖДУНАРОДНАЯ  
КОНФЕРЕНЦИЯ  
ПО КОМПЬЮТЕРНОЙ  
ТОМОГРАФИИ 2015

**КАЧЕСТВО**  
Алексей Синичкин  
Василий Афанасьев

**56** ПАЙКА В ПАРОВОЙ ФАЗЕ.  
КАКУЮ СИСТЕМУ  
ПРЕДПОЧИТАЮТ  
ПРОФЕССИОНАЛЫ

**ОПТИМИЗАЦИЯ**  
Станислав Гафт

**60** ОРГАНИЗАЦИЯ  
АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ  
РАБОЧИХ МЕСТ НАЧАЛЬНИКА  
ПРОИЗВОДСТВА И НАЧАЛЬНИКОВ  
ЦЕХОВ (УЧАСТКОВ).  
ОПТИМИЗАЦИЯ ПЛАНОВ  
ДЛЯ ПРИБОРНОГО  
ПРОИЗВОДСТВА



Видеть сегодня устройство изделий  
будущего невозможно, **НО ТЕХНОЛОГИИ  
КОНТРОЛЯ  
ИХ КАЧЕСТВА —  
НЕОБХОДИМО**



### **Phoenix x-ray v|tome|x c450**

Промышленный компьютерный томограф

- Поиск скрытых дефектов в изделиях, в том числе микронных размеров
- Работа с крупногабаритными образцами размером до 500x1000 мм
- Измерение размеров внутренних полостей и толщины стенок
- Обратное проектирование: измерение всех размеров объекта с последующим построением CAD-модели

ООО «Остек-СМТ»  
Направление технологий контроля  
(495) 788 44 44  
info@ostec-ct.ru  
www.ostec-ct.ru





### *Уважаемые читатели!*

Как после великих географических открытий менялось представление о плоской Земле, лежащей на трех китах или трех слонах, так и цифровой прогресс, наблюдаемый в последнее время, меняет представление о конструкции радиоэлектронного прибора и о том, каким образом он создается. Возможности цифровых технологий предоставляют современным алхимикам от электроники и радиоэлектроники больше выбора и разнообразия в созидании.

Например, возможность с помощью методов компьютерной томографии увидеть трёхмерное изображение того, что скрыто человеческому взгляду, сделало востребованным применение технологий контроля в различных сферах производства: от электроники и радиоэлектроники до металлообработки и нефтехимии.

Или преобразование физических объектов в биты информации 3D-сканером и обратно с помощью 3D-принтера. Где угодно, быстро, дешево и самой замысловатой формы. Слово «принтер» приобретает новый смысл. Это уже не периферийное устройство,

печатающее на плоском листе бумаги, а полноценный инструмент «создателей», то есть нас с вами, создающий сложные трехмерные детали из пластика, металла и других материалов.

3D-печать сегодня — это не только технология для арт-проектов или развлечений домашних умельцев. Она уже применяется бесчисленными компаниями каждый день для создания прототипов и моделей деталей; а также деталей и приборов, начиная от пластиковых вентиляционных отверстий до корпуса следующего поколения луноходов, жилых зданий или металлического протеза челюсти для восьмидесятилетних женщины или мужчины. В ближайшем будущем аддитивные технологии будут использоваться для изготовления на месте неисправных деталей оборудования, техники и машин, сокращая затраты на поддержание и хранение запасов ЗИП.

На страницах журнала, который вы держите в руках, наши авторы рассказывают о разнообразных возможностях трехмерного мира, создающих удивительное будущее!

Приятного вам чтения!

**Антон Большаков, директор по маркетингу**

# В НОМЕРЕ

## НОВОСТИ

- |   |  |   |  |
|---|--|---|--|
| 4 | ЦЕНТР ТЕХНОЛОГИЙ КОНТРОЛЯ<br>ОСТЕК-СМТ ВО ВЛАДИМИРЕ ПОД<br>ОБЪЕКТИВАМИ ТЕЛЕКАНАЛА «ЗВЕЗДА» | 5 | ТЕСТ НА КАЧЕСТВО                                 |
| 5 | КОМПАНИЯ NORDSON MARCH ПОЛУЧИЛА<br>НАГРАДУ ЗА СИСТЕМУ ОБРАБОТКИ<br>ПЛАЗМОЙ FLEXVIA-PLUS    | 7 | ЧТО ТАКОЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ?                   |
|   |  | 8 | СОВРЕМЕННОЕ РЕШЕНИЕ ДЛЯ<br>ПРОВЕРКИ КАЧЕСТВА ТПЖ |

## ПЕРСПЕКТИВЫ

**МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ПО КОМПЬЮТЕРНОЙ  
ТОМОГРАФИИ 2015. ОЧЕРЕДНОЙ ШАГ К РАЗВИТИЮ САМОЙ  
ПЕРЕДОВОЙ ТЕХНОЛОГИИ КОНТРОЛЯ** . . . . . 10

Автор: Василий Афанасьев

**3D-ПРИНТЕРЫ КОМПАНИИ VOXELJET:  
КАК СТАРТАП СТАНОВИТСЯ БИЗНЕСОМ** . . . . . 17

Автор: Илья Шахнович

## ТЕХНОЛОГИИ

**КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД РЕШАЕТ ВСЕ.  
ВИЗИТ НА НОВУЮ ЛИНИЮ ПОВЕРХНОСТНОГО МОНТАЖА  
КОМПАНИИ «ПСБ ТЕХНОЛОГИИ»** . . . . . 30

Автор: Владимир Мейлицев

**СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ВИЗУАЛИЗАЦИИ  
ТОНКИХ СТРУКТУР. РАСТРОВАЯ ЭЛЕКТРОННАЯ  
МИКРОСКОПИЯ. ЧАСТЬ 2** . . . . . 40

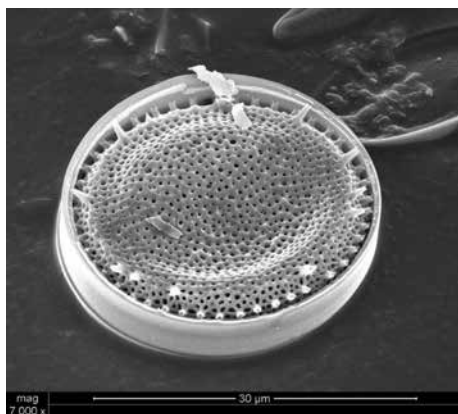
Автор: Андрей Ляпин

**ВОПРОСЫ ФОРМИРОВАНИЯ МНОГОСЛОЙНОГО  
КЕРАМИЧЕСКОГО ПАКЕТА ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА  
LTCC И HTCC** . . . . . 48

Авторы: Виктор Черных, Ёжи Штупар, Андрей Хохлун, Сергей Чигиринский



ПЕРСПЕКТИВЫ стр. 17



ТЕХНОЛОГИИ стр. 40



КАЧЕСТВО стр. 56

## КАЧЕСТВО

### ПАЙКА В ПАРОВОЙ ФАЗЕ. КАКУЮ СИСТЕМУ ПРЕДПОЧИТАЮТ ПРОФЕССИОНАЛЫ . . . . . 56

Авторы: Алексей Синичкин, Василий Афанасьев

## ОПТИМИЗАЦИЯ

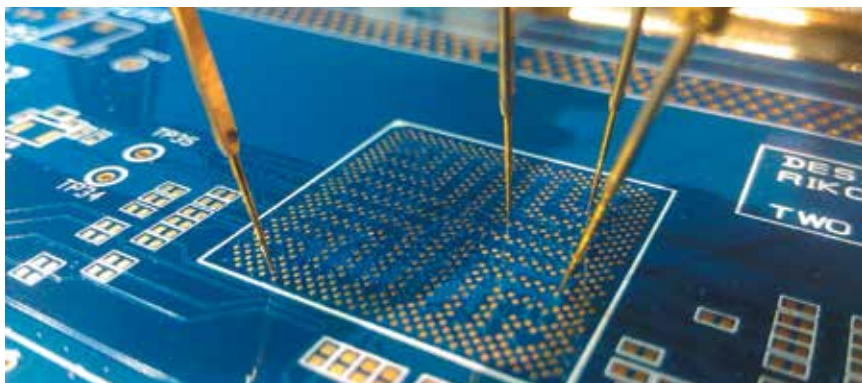
### ОРГАНИЗАЦИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ РАБОЧИХ МЕСТ НАЧАЛЬНИКА ПРОИЗВОДСТВА И НАЧАЛЬНИКОВ ЦЕХОВ (УЧАСТКОВ). ОПТИМИЗАЦИЯ ПЛАНОВ ДЛЯ ПРИБОРНОГО ПРОИЗВОДСТВА . . . . . 60

Автор: Станислав Гафт

## ТЕХПОДДЕРЖКА

### СИСТЕМА ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ SPEA 4060: НЕОБХОДИМОСТЬ ИЛИ ИЗЛИШЕСТВО НА ПРОИЗВОДСТВЕ? . . . . . 70

Автор: Арсений Ликий



ТЕХПОДДЕРЖКА стр. 70

## АВТОРЫ НОМЕРА

- Василий Афанасьев**  
Начальник отдела развития ООО «Остек-СМТ»  
lines@ostec-group.ru
- Илья Шахнович**  
Заместитель главного редактора журнала «Электроника: НТБ»  
journal@electronics.ru
- Владимир Мейлицев**  
Редактор журнала «Электроника: НТБ»  
journal@electronics.ru
- Андрей Ляпин**  
Главный специалист отдела неразрушающего контроля и научно-исследовательского оборудования ООО «Остек-АртТул»  
info@arttool.ru
- Виктор Черных**  
Главный специалист отдела тонкопленочных и гибридных технологий ООО «Остек-ЭК»  
micro@ostec-group.ru
- Ёжи Штупар**  
Технический директор КЕКО Equipment Ltd. (Словения)  
info@keko-equipment.com
- Андрей Хохлун**  
Генеральный директор ООО «Остек-ЭК»  
micro@ostec-group.ru
- Сергей Чигиринский**  
Начальник отдела тонкопленочных и гибридных технологий ООО «Остек-ЭК»  
micro@ostec-group.ru
- Алексей Синичкин**  
Главный специалист отдела проектов ООО «Остек-СМТ»  
lines@ostec-group.ru
- Станислав Гафт**  
Генеральный директор ООО «Остек-Инжиниринг»  
okp1@ostec-group.ru
- Арсений Ликий**  
Инженер группы технического сопровождения ООО «Остек-Электро»  
nec@ostec-group.ru

# НОВОСТИ

## ЦЕНТР ТЕХНОЛОГИЙ КОНТРОЛЯ ОСТЕК- СМТ ВО ВЛАДИМИРЕ ПОД ОБЪЕКТИВАМИ ТЕЛЕКАНАЛА «ЗВЕЗДА»


Всероссийский военный телеканал «Звезда» запустил цикл познавательных передач «Военная приемка», посвященных самым современным и перспективным российским разработкам ВПК, а также новейшему вооружению со всего мира.

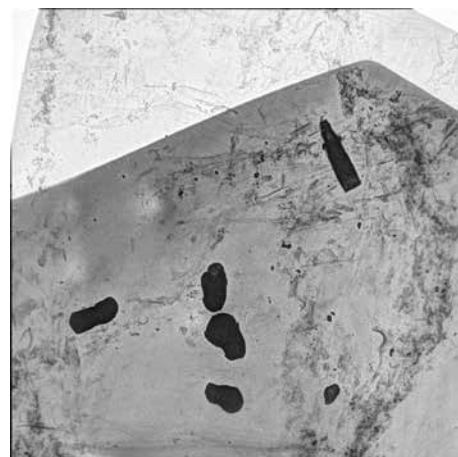
В процессе создания документального фильма об истории развития пулеметов со времен Ивана Грозного и до XXI века под названием «История русского пулемета» телекомпания «Звезда» обратилась в Направление технологий контроля Остек-СМТ. Оружие Остек еще, конечно, не производит, но оказать содействие в проведении рентгеновского исследования для документального сюжета может, для этого в Центре есть все условия.

Съемочная группа отправилась в Центр технологий контроля —

уникальный исследовательский центр, оснащенный современным оборудованием промышленной рентгенографии и компьютерной томографии.

Благодаря рентгенографической инспекции на установке x|cube xl225 удалось выяснить, что же произошло с пулями, не пробившими бронезиловый 5 класса защиты в ходе экспериментов над пулеметами различной мощности.

Несмотря на то, что Центр технологий контроля Остек-СМТ начал свою работу совсем недавно, на его базе уже проведен ряд полноценных научных, прикладных исследований для институтов и предприятий различных отраслей производства, а теперь еще и телевизионные съемки. 



## КОМПАНИЯ NORDSON MARCH ПОЛУЧИЛА НАГРАДУ ЗА СИСТЕМУ ОБРАБОТКИ ПЛАЗМОЙ FLEXVIA-PLUS

На выставке IPC APEX EXPO 2015 компания Nordson, мировой лидер в области систем плазменной обработки, получила награду «Лучший новый продукт» (2015 New Product Introduction Award) в номинации «Системы очистки» за систему плазменной обработки FlexVIA-Plus™.

FlexVIA-Plus™ разработана для обработки гибких печатных плат с высокой производительностью (до 30 единиц за цикл). Это полностью независимая система с низким потреблением газа и малыми габаритами, обеспечивающими минимальную занимаемую производственную площадь, а также низкую стоимость владения. Двойная камера вмещает до 30 плат размером 508 x 609 мм. Универсальные горизонтальные держатели позволяют обрабатывать гибкие платы различных размеров и обеспечивают легкую загрузку.

Высокопроизводительные технологии очистки дают возможность удалять эпоксидную смолу, полиимиды, полимеры с высокой температурой стеклования, смешанные материалы и различные смолы. Кроме того, система эффективно удаляет остатки фоторезиста и паяльной маски, повышая качество сварки и пайки.

«Система создана на основе 10-летнего успешного опыта разработки линейки MARCH VIA™ и использует запатентованные плазменные технологии, обеспечивающие высококачественную активацию и очистку поверхности гибких материалов, — отметил Джонатан Доан, директор по маркетингу компании Nordson MARCH. — Получение этой награды — большая честь для нас».



## ТЕСТ НА КАЧЕСТВО

ООО «Остек-Электро» провело семинар «Контроль качества изготовления радиоэлектронной аппаратуры по электрическим параметрам», в котором приняли участие специалисты ОАО «АПЗ».

Всего в мероприятии участвовали более 30 представителей компаний радиоэлектронной отрасли Нижегородской области, в том числе НПП «Полет», ОАО «АНПП «Темп-Авиа», ОАО «ЦНИИ «Буревестник» и другие.

Деловая программа семинара была посвящена новым подходам в обеспечении качества изготовления продукции предприятий авиационной и космической отраслей, в том числе оборонно-промышленного комплекса.

Автоматизированное тестирование цифровых и цифро-аналоговых модулей, жгутов и кабелей, авто-






матризованные измерительные стенды, применение технологий внутрисхемного тестирования и периферийного сканирования — эти и другие темы освещались на семинаре. Особое внимание было уделено организации электрического контроля радиоэлектронных узлов с учетом увеличивающегося наплыва контрафактной элементной базы, приводились примеры и методики раннего выявления контрафакта и предупреждения дефектов. Выступления экспертов сопровождались демонстрацией видеороликов, участники задавали интересующие их вопросы.

**Мнения**  
**Сергей Белов, начальник КБ отдела гл. конструктора по спецпродукции:** «Очень полезный семинар, затронут ряд тем, которые необходимы в нашем производстве, в частности, организация входного контроля и определение контрафактной продукции. Заинтересовало многоступенчатое тестирование пе-

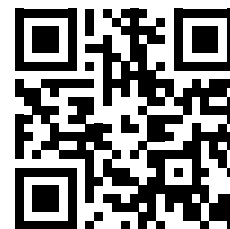
чатных плат на стадиях их изготовления, изготовления электронных блоков, внутрисхемный контроль, JTAG-тестирование и периферийное сканирование. Представлен опыт в создании поверочных стендов. Предложены методики по переходу от внутрисхемного, функционального тестирования к JTAG-технологии периферийного сканирования, исключая человеческий фактор путем автоматизации. Обеспечение до 90 % контроля изделий в автоматическом режиме — это очень большой показатель».

**Евгений Акишин, инженер-электроник ОГК СП:** «Я впервые на таком семинаре, узнал много интересного и полезного. О такой технике читал, но как работает, не представлял. Все при помощи автоматки, позволяющей найти неисправности в плате и локализовать их на стадии производства». 





## ЧТО ТАКОЕ ЭНЕРГО-ЭФФЕКТИВНОСТЬ?



Сегодня вопросы сбережения энергии становятся все более актуальными, так как появившиеся технологии позволяют добиться большей эффективности в управлении потреблением энергии, чем раньше. Инфраструктура многих российских предприятий требует обновления, и новое оборудование дает возможность получать существенную экономию затрат на энергию. Обеспечение высокой энергетической конкурентоспособности российской промышленности является стратегической задачей государственного уровня: государство взяло курс на обновление энергетической инфраструктуры, технологические и управленческие инновации в этой сфере, что отражено в ряде отраслевых стандартов развития энергетики. Новейшие технические средства позволяют с высокой точностью измерять параметры работы оборудования и оперативно управлять технологическими процессами потребления электрической и тепловой энергии, газопотребления и воздухообеспечения, а аналитические компьютерные системы — проводить объективный анализ работы оборудования, оперативно реагировать и предупреждать внештатные и аварийные ситуации, принимать обоснованные технические и управленческие решения. Экономия, достигаемая в результате реализации проектов по повышению энергоэффективности в масштабах одного

предприятия, может составить десятки миллионов рублей в год, что превращает энергосберегающую модернизацию в привлекательный инвестиционный проект.


Остек-СМТ является ключевым поставщиком комплексного оснащения для приборостроения и не раз демонстрировало эффективность внедряемых решений. В 2015 году компания запустила новое направление — Направление энергоэффективности, в деятельность которого входят мониторинг энергозатрат, консультирование в области энергетики, поставка и установка энергосберегающего оборудования, а также реализация комплексных проектов по энергосбережению на промышленных предприятиях.

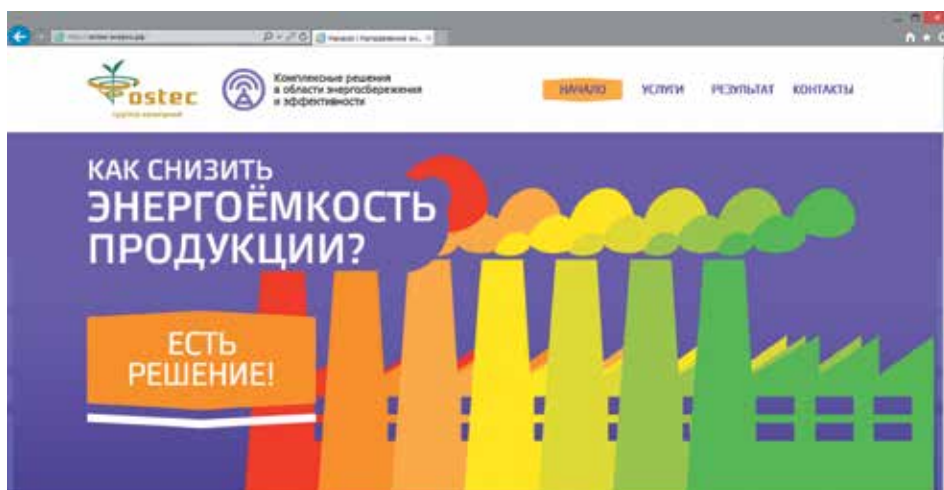
Коллектив направления — это сотрудники со стажем работы в энергетике более 20 лет, обладающие опытом трансфера новейших технологий, руководства производ-

ством и реализации сложных промышленных проектов.

Направление выполняет весь цикл работ от проведения энергетического обследования до реализации «под ключ» проектов по энергосбережению на предприятии, а также полного оснащения энергоиспользующего оборудования заказчика интеллектуальной системой технологического мониторинга и энергоменеджмента.

Недавно был запущен сайт направления — <http://ostec-energo.rf>. На сайте представлена подробная информация о деятельности подразделения, здесь можно ознакомиться с описанием предлагаемых услуг и узнать о выгодах эффективного управления в области энергетики, а также задать вопрос консультанту и получить квалифицированный ответ.

Сайт имеет зеркало: <http://www.ostec-energo.ru>. 



## СОВРЕМЕННОЕ РЕШЕНИЕ ДЛЯ ПРОВЕРКИ КАЧЕСТВА ТПЖ

Контроль качества токопроводящих жил (ТПЖ) — один из важных этапов проверки кабельной продукции и требует особенной точности. Как правило, таким контролем занимается лаборатория при производстве, проверяя образцы из партии изделий. Для работы используются высокоточные приборы, измеряющие сопротивление — микрометры, а также специальные оснастки, позволяющие нормировать измерения на длину в 1 м. Для увеличения точности измерений применяются специальные ванны с погружением

исследуемого образца в водную среду.

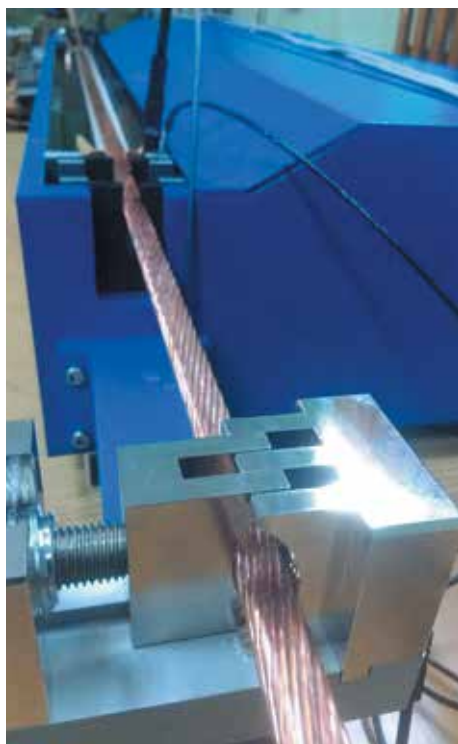
ООО «Остек-Электро» предлагает современное решение для проверки качества ТПЖ, состоящее из микрометра MGR10 и испытательной ванны МК-4 французской фирмы Sefelec.

Методика испытаний следующая. Образец жилы длиной около 2 метров фиксируется в испытательной ванне с помощью специальных краевых зажимов и натягивается. Подключение к изделию выполняется по четырехпроводно-

му методу Кельвина, где токовые выводы коммутируются с зажимами изделия, а потенциальные выводы соединяются с механизмом, отмеряющим 1 метр изделия. Этим компенсируется влияние оснастки на измерение сопротивления ТПЖ.

Ванна состоит из двух отсеков: накопительного и испытательного. После фиксации изделия специальный насос, встроенный в ванну, накачивает воду из накопительной ёмкости в испытательную таким образом, чтобы уровень воды достиг образца. Обычно десятка





секунд достаточно, чтобы образец принял температуру окружающей среды. В этот момент производится измерение сопротивления. Затем насос выключается, и вода перетекает обратно в накопительный отсек. Остается только извлечь изделие из зажимов.

Сопротивление измеряется высокоточным микроомметром MGR10, достигающим разрешения в 100 нОм при погрешности 0,03 % + 0,02 % минимальной шкалы 3 мОм. Специальным пробом считывается температура жидкости в ванне, и измеренное значение пересчитывается на 20 °С или


другую выбранную пользователем температуру. Компенсация вычисляется по формуле:

$$R_c = \frac{R_x}{(1 + \alpha(t - 20^\circ\text{C}))},$$

где  $R_x$  — измеренное сопротивление,  $R_c$  — пересчитанное. Температурный коэффициент  $\alpha$  выбирается пользователем, исходя из материала ТПЖ, например, для меди  $\alpha \approx 3980$  единиц / млн / °С.

Широкий функционал прибора позволяет выбирать различные

режимы измерений. Например, для нестабильных образцов возможно использовать серию до 32 замеров с вычислением среднего значения, а также проводить измерения со сменой полярности. Особенно это актуально для многопроволочных жил.

Решение хорошо зарекомендовало себя на предприятиях кабельной промышленности, позволив упростить процесс контроля производимой продукции и поддерживать конкурентное преимущество по качеству продукции. 



## ПЕРСПЕКТИВЫ

# Международная конференция по компьютерной томографии 2015.

Очередной шаг к развитию самой передовой технологии контроля



Текст: **Василий Афанасьев**

”

Еще в 2012 году, задумав конференцию по компьютерной томографии, мы планировали, что мероприятие станет ежегодным и в соответствии с концепцией развития Направления технологий контроля ООО «Остек-СМТ» начнет привлекать специалистов не только радиоэлектронной промышленности, но и других сфер, где компьютерная томография может находить активное применение. Первая конференция, прошедшая в 2013 году, подтвердила правильность этих предположений, поэтому мы продолжили активную работу по расширению горизонтов применения компьютерной томографии — и вторая конференция в 2014 году уже имела значительный успех. Без малого сотня участников, более 50 организаций, выступления с докладами представителей крупнейших производственных предприятий, самых влиятельных ВУЗов нашей страны и ведущих зарубежных специалистов, три тематические секции: «Материаловедение и металлообработка», «Нефть и газ» и «Электроника и микроэлектроника» — о мероприятии заговорили как о единственном действительно профессиональном событии, посвященном успехам и достижениям компьютерной томографии в России и освещающем научные изыскания, совершенные при помощи данной технологии.

**Успех второй конференции возложил на нас, как на организаторов, дополнительную ответственность. Необходимо было сохранить положительную динамику во всем: в качестве и новизне представляемого материала, в организационной составляющей, в удовлетворенности участников. И мы думаем, что нам удалось провести уже ставшую традиционной конференцию на высоком и принципиально обновленном уровне.**

Сразу же стоит отметить особенность мероприятия этого года: конференция, как и прежде, была двухдневная, но на этот раз мы разделили ее на теоретическую и практическую части, которые состоялись в разных местах. Начавшись 7 апреля в Москве, 8 апреля конференция переехала во Владимир. Это немного изменило традиционный подход к организации мероприятия, что гостями, не привыкшими к такому формату, было воспринято с любопытством и энтузиазмом.

Очевидно, что некоторая интерактивность, возможность реальной работы на оборудовании и решение насущных вопросов делают любой семинар или конференцию живыми, запоминающимися, а главное, по-настоящему полезными. Открытие в городе Владимире Центра технологий контроля ООО «Остек-СМТ»

позволило провести полноценный практический день для участников, которые смогли закрепить на практике теоретические знания, полученные днем ранее, почувствовать то, что не дадут самые содержательные доклады — «пощупать своими руками».

Предпосылкой для создания Центра стала востребованность изучения и применения технологий контроля в различных сферах производства. Фактически он начал функционировать в конце 2014 года. За это время было инсталлировано оборудование, проведен ряд работ по контролю изделий для заказчиков и даже прошли съемки документального фильма телеканала «Звезда».

Официальное же открытие Центра состоялось непосредственно на конференции, во второй день — 8 апреля. Но обо всем по порядку.

Центр технологий контроля (ЦТК) ООО «Остек-СМТ» во Владимире — уникальный исследовательский центр в области промышленной рентгенографии и компьютерной томографии.

Цель создания ЦТК — содействовать развитию и продвижению технологий неразрушающего контроля в России, обмену опытом между учёными и специалистами передовых предприятий.

Возможности ЦТК:

- проведение научных исследований для ведущих российских институтов, прикладных исследований по заказу предприятий, а также пробных исследований изделий;
- реализация программ повышения квалификации для специалистов;
- организация специализированных обучений для предприятий;
- демонстрация высокотехнологичного оборудования.

В настоящее время в ЦТК представлены:

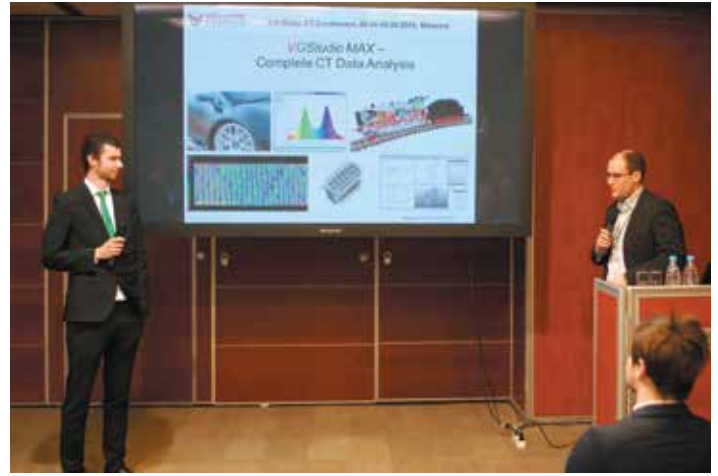
- рентгеновская установка высокого разрешения nanotex|x, предназначенная для широкого спектра 2D и 3D инспекционных задач;
- рентген-телевизионная система Seifert x-cube XL с опцией томографии, основная задача которой — 2D рентгеновская дефектоскопия продукции машиностроения;
- портативный 3D сканер Creaform MetraSCAN для проведения широкого спектра оптических измерений;
- портативная координатно-измерительная система Creaform HandyPROBE.

ЦТК — уникальная площадка для отраслевых мероприятий с возможностью проведения прикладных мастер-классов и исследований на современном оборудовании.

ООО «Остек-СМТ» планирует расширять спектр задач Центра, предлагая еще больше возможностей для исследований и внедрения технологий контроля на отечественных производствах.



1 Доклад С. И. Румянцева об основах КТ



2 С. И. Румянцев и Бенджамин Беккер, Volume Graphics

## Первый день конференции — 7 апреля

Первый день, проходивший в Москве, начался с традиционной пленарной части, которую открыл Никита Александрович Федоров, руководитель НТК (Направления технологий контроля) ООО «Остек-СМТ», представив отчет о проделанной за год работе в рамках своего подразделения и рассказав о стратегических планах на ближайшее время.

Событий оказалось немало:

- продуктовый портфель Направления пополнен новыми видами измерительного оборудования: портативными координатно-измерительными машинами, 3D-сканерами (один из которых можно было протестировать тут же), твердомерами, рентгеновскими дифрактометрами и рентгенофлуоресцентными анализаторами;
- количество сотрудников Направления увеличено до шести человек, они прошли курс обучения литейным технологиям на базе Владимирского Государственного Университета;
- системы рентгеновского контроля GE Sensing & Inspection Technologies GmbH успешно прошли экспертизу на требования нормативных документов «Нормы радиационной безопасности» СанПиН 2.6.1. 2523-09, «Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности» и «Гигиенические требования по обеспечению радиационной безопасности при обращении с лучевыми досмотровыми установками»;
- томограф v | tome | x m внесен в реестр средств неразрушающего контроля качества сварных соединений компании ОАО «Газпром» с формулировкой: «В качестве контрольного средства для определения размеров дефектов сварных соединений и определения погрешности средств неразрушающего контроля»;

- опубликованы результаты исследования о воздействии рентгеновского излучения на электронные компоненты, начаты исследования по изучению проникающей способности на современных цифровых системах.

Пленарную часть продолжили специалисты НТК рис 1. Степан Игоревич Румянцев рассказал участникам, только открывающим для себя компьютерную томографию, об основных положениях данной технологии; Игорь Алексеевич Проказов приоткрыл завесу над основными тезисами в исследовании проникающей способности излучения; представитель компании Volume Graphics Бенджамин Беккер продемонстрировал возможности программного обеспечения для обработки данных томографии — VGSTUDIO MAX рис 2.

Во второй половине дня конференция пошла по собственному, отличному от прошлогоднего, сценарию. На пленарной части председатели секций «Материаловедение и металлообработка» Е. С. Прусов, «Нефть, газ, геология» Д. В. Корост представили узкоспециализированные доклады о применении КТ в материаловедении и нефтегазовой отрасли, а председатель секции «Электроника и микроэлектроника» И. А. Проказов рассказал о юридических аспектах использования систем. Эксперимент со специализированными докладами мы провели сознательно, чтобы донести до специалистов из других областей информацию о том, как работают в других отраслях. Но настоящая работа, сфокусированная на конкретных отраслевых вопросах, началась после разделения участников на секции.

Разделение по тематическим секциям было опробовано еще в прошлом году и показало свою эффективность. Невозможно найти темы обсуждений, одинаково интересные для всех — спектр применений технологии



3 Доклад Ларичева Н. С., МГТУ им. Баумана

рентгеновской томографии очень широк. Поэтому от отработанного механизма проведения конференции решено было не отступать, и участники разделились на узкоспециализированные группы, где и продолжилась работа до завершающего насыщенный и интересный день ужина.

## Темы докладов и обсуждений на секциях первого дня

### СЕКЦИЯ «МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И МЕТАЛЛООБРАБОТКА»

- Прогнозирование и контроль образования усачных дефектов в отливках из алюминиевых сплавов.
- Возможности метода рентгеновской компьютерной томографии при проведении контроля изделий из углеродных композиционных материалов.
- Исследования несплошностей в сварных швах.
- Опыт применения компьютерной томографии при контроле качества отливок и полуфабрикатов.
- Методика обнаружения и определения концентрации дефектов с размером менее разрешения томографии в однородном материале.
- Обзор линейки рентгеновского оборудования General Electric.

### СЕКЦИЯ «НЕФТЬ, ГАЗ, ГЕОЛОГИЯ»

- Применение рентгеновской томографии при изучении пористой структуры лабораторных образцов керна.
- Исследования донных осадков.
- Применение рентгенконтрастных агентов в микротомографических исследованиях образцов горных пород.

- Исследование сохранности палеонтологических объектов с помощью рентгеновской микротомографии (на примере брахиопод).
- Применение РКТ в изучении головоногих моллюсков и конодонтов.
- Исследование структуры пустотного пространства доманиковых отложений методом рентгеновской компьютерной томографии.

### СЕКЦИЯ «ЭЛЕКТРОНИКА И МИКРОЭЛЕКТРОНИКА»

- Компьютерная томография для исследования изделий электронной техники.
- КТ и производство изделий микроэлектроники.
- Практика применения КТ для контроля ПП.
- Применение компьютерной томографии для инспекции электроники.

Вечером, после завершения работы секций, участники конференции отправились во Владимир на практическую часть в Центр технологий контроля.

## Второй день конференции — 8 апреля

Во второй день мероприятия перед нами стояла задача не просто продемонстрировать ЦТК, а провести полноценный практикум с решением актуальных вопросов по каждой из секций. Для этого помещение разделили на три условных сегмента: первый — напротив рентгеновской установки panomex | x, второй — напротив рентген-телевизионной системы Seifert x-cube XL с опцией томографии и третий — учебный класс для проведения дискуссий и докладов, дополняющих теоретическую часть первого дня. Идея состояла в том, что начав работу в одном из сегментов, каждая группа переходит в следующий, и, таким образом, участники (независимо от того, в какой секции они работали) могут ознакомиться со всеми системами контроля в разрезе насущных вопросов своей отрасли и поучаствовать в обсуждениях. Практический день начался с официального открытия Центра технологий контроля и символической церемонии разрезания красной ленточки Н. А. Федоровым рис 4. Разумеется, не обошлось без обязательных в таком деле атрибутов — шампанского и специально изготовленного торта. Это было приятным отступлением от деловой программы, и после небольшого неформального общения продолжилась интенсивная работа.

Неожиданно для нас во Владимир приехала большая часть участников первого дня конференции. В относительно небольшом помещении одновременно работали около 60 человек. С одной стороны, это был приятный сюрприз, так как такое количество пожелавших посетить практикум подтверждало реальный интерес к мероприятию. С другой стороны, у нас возникли некоторые опасения на предмет четкой и слаженной координации групп. Но мы опасались напрасно. Председатели секций рабо-

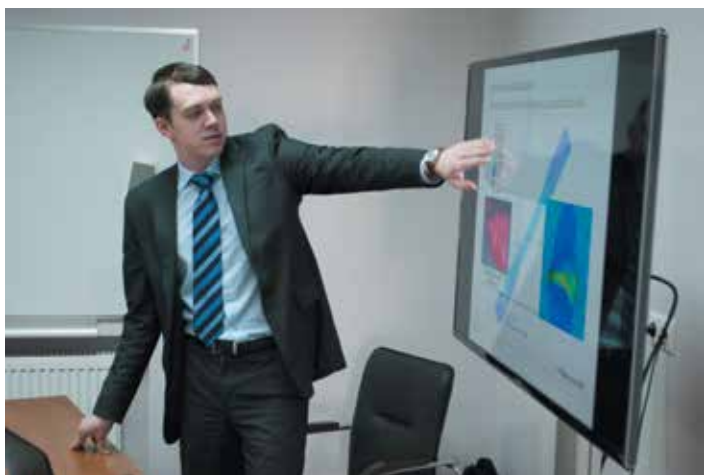


4  
Символическая процедура разрезания красной ленточки

тали безукоризненно, докладчики соблюдали регламент, операторы без заминок проводили демонстрации, и в итоге все три группы участников синхронно и без накладок перемещались от сегмента к сегменту рис 5, 6, 7.

Актуальность и востребованность данного мероприятия сложно переоценить. Работа шла очень интенсивно с 9:00 до 16:00 с небольшими перерывами на чай и кофе. И даже в 16 часов, когда все уже должны были устать после насыщенной двухдневной программы, многие участники продолжали активно дискутировать и задавать вопросы рис 8, 9, и чтобы не опоздать на завершающий конференцию ужин, их пришлось несколько раз приглашать к автобусам.

**Подводя итоги прошедшего мероприятия, можно сделать однозначный вывод — новый формат оказался сверхуспешным, и практическая часть принесла максимальную пользу участникам, интерес к томографии в России неуклонно растет, уровень знаний участников повышается, а сама конференция действительно востребована и полезна.**



5  
Секция «Материаловедение и металлообработка». Доклад Прусова Е. С., ВлГУ



6  
Секция «Нефть, газ, геология». Исследование керна





7  
Секция «Электроника и микроэлектроника». Исследование ПУ

### Выражаем благодарность нашим докладчикам:

Беккеру Б., Volume Graphics  
Быкову А. А., МФТИ  
Васильеву А. В., ООО «Остек-ЭК»  
Гилязетдиновой Д. Р., МГУ им. Ломоносова  
Ковалевой О. А., «Шлюмберже»  
Коросту Д. В., МГУ им. Ломоносова  
Крылову Ю. В., ФГУП «МНИИРИП»  
Ларичеву Н. С., МГТУ им. Баумана  
Павлову А. В., ОАО «Российские Космические Системы»

Пахневичу А. В., Палеонтологический институт РАН  
им. Борисяка РАН  
Прусову Е. С., ВлГУ им. Столетовых  
Савохиной О. М., МГТУ им. Баумана  
Стаценко Е. О., КФУ  
Федичкиной Е. В., ФГУП «МНИИРИП»  
Филенко С. А., ФГУП «ВНИИА им. Духова»  
Шахэ Яну, General Electric  
Шепелю К. Ю., ВНИПИвзрывгеофизика  
Ярцеву Д. В., ОАО «НИИграфит»



8  
Продолжение активных дискуссий после завершения программы мероприятия



## Отзывы участников конференции

### **ФАДЕЕВ СЕРГЕЙ МАКАРОВИЧ, ЗАМЕСТИТЕЛЬ ГЛАВНОГО КОНСТРУКТОРА ОАО «СОАТЭ», СТАРЫЙ ОСКОЛ:**

«Я думаю, что такие мероприятия, особенно для предприятий машиностроения, коим мы являемся, очень нужны, поскольку методики контроля продукции сегодня совершенствуются, и наши предприятия остро нуждаются в таких методиках и оборудовании, позволяющих нам находить и идентифицировать дефекты. Поэтому конференция, особенно с практической частью, демонстрацией возможностей оборудования, работой по нахождению различных дефектов очень полезна. Такие мероприятия надо проводить регулярно».

### **ПАХНЕВИЧ АЛЕКСЕЙ ВАЛЕНТИНОВИЧ, СТАРШИЙ НАУЧНЫЙ СОТРУДНИК, ПАЛЕОНТОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ИМ. БОРИСЯКА РАН:**

«Формат конференции очень удачный. На пленарной части новичкам можно поучиться основам рентгенографии. По секциям тоже удачное разделение, ведь не всем интересны только геология или материаловедение. А то, что в этом году семинар двухдневный, это нововведение очень удачное и интересное, конечно».

### **ПРУСОВ ЕВГЕНИЙ СЕРГЕЕВИЧ, ПРЕДСЕДАТЕЛЬ СЕКЦИИ «МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И МЕТАЛЛООБРАБОТКА», К.Т.Н., ДОЦЕНТ, КАФЕДРА «ЛИТЕЙНЫЕ ПРОЦЕССЫ И КОНСТРУКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ» ВЛГУ:**

«Остек уже третий год проводит конференцию по контролю качества методами рентгеновской томографии в различных сферах. По сравнению с прошлым годом формат значительно изменился, хотя было сохранено разделение на секции, но была представлена и практическая часть, на которой участники смогли вживую ознакомиться с возможностями оборудования, пообщаться с ведущими экспертами, специалистами, обсудить те или иные результаты, получаемые при исследовании образцов для различных задач в разных областях. Я считаю, что подобная практика проведения конференций должна развиваться, поскольку она наглядно демонстрирует возможности оборудования, и люди могут понять принципы работы и возможности. В прошлом году я впервые участвовал в работе конференции, представлял доклад по результатам некоторых пробных исследований. Безусловно, количество участников меняется в большую сторону, и важно, что растет уровень представляемых докладов, уровень самих участников.

Это свидетельствует о том, что люди начинают более осознанно применять томографию и более отчетливо понимать ее возможности для решения тех или иных задач. Кроме того, большое количество людей, проявляющих все больший интерес к этой тематике, свидетельствует о значительном вкладе компании Остек в развитие данного направления в нашей стране».


### **ТОПАЛОВ ЛЕОНИД ВИКТОРОВИЧ, ЗАМЕСТИТЕЛЬ ГЛАВНОГО КОНСТРУКТОРА ОАО НПО СТРЕЛА, Г. ТУЛА:**

«Мы уже не первый раз работаем с Остеком, который нам очень помог в прошлом году, когда здесь в ЦТК только поставили оборудование. Мы приезжали со своими образцами, увидели внутренние дефекты. И мы с удовольствием приняли приглашение участвовать в конференции как в теоретической, так и в практической части. Считаю, что все организовано на высоком профессиональном и, особенно, техническом уровне, все доступно и наглядно показано».

### **ФЕДОСЕЕВ ДЕНИС ВЛАДИМИРОВИЧ, РУКОВОДИТЕЛЬ ПРОЕКТА ПО АДДИТИВНЫМ ТЕХНОЛОГИЯМ, ОАО «НПО «САТУРН»:**

«Данный формат конференции является оптимальным. Специалисты могут ознакомиться с возможностями оборудования, и теоретическая часть была довольно интересна. С точки зрения организации все замечательно. У нас есть определенный опыт, точнее знакомство с подобным оборудованием, нам было интересно, как у GE дела развиваются в этом направлении».

### **КОРОСТ ДМИТРИЙ ВЯЧЕСЛАВОВИЧ, ПРЕДСЕДАТЕЛЬ СЕКЦИИ «НЕФТЬ, ГАЗ, ГЕОЛОГИЯ», К.Г.-М.Н., НАУЧНЫЙ СОТРУДНИК КАФЕДРЫ ГЕОЛОГИИ И ГЕОХИМИИ ГОРЮЧИХ ИСКОПАЕМЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ФАКУЛЬТЕТА МГУ:**

«Изменения по сравнению с прошлыми двумя годами произошли кардинальные. Открытие центра — это вообще здорово, потому что подобного еще не было; и по форме конференции, и по тому, что появилось аппаратно. Это будет толчок вперед, у людей появится возможность смотреть и знакомиться. Безусловно, видно, как растет количество участников, растет их интерес к теме и, самое главное, появляются новые люди. Мероприятие не застаивается из года в год, есть новые лица, и это тоже плюс». 

# 3D-ПРИНТЕРЫ КОМПАНИИ voxeljet: как стартап становится бизнесом

Текст: **Илья Шахнович**

”

Статьи, посвященные прорывным технологиям — это почти всегда синтетический жанр. Синтетический в том смысле, что невозможно разделить историю становления компании, особенности ее бизнес-стратегии, технологии и конкретную продукцию. В области высоких, инновационных технологий все это слито воедино — идеи рождают продукт, первые успешные продажи привлекают инвесторов и дают средства для развития, коммерческий успех приносит деньги на развитие новых идей и т. д. Поэтому рассказ о немецкой компании voxeljet невозможно свести только к описанию ее промышленных систем 3D-печати, безусловно, уникальных и очень интересных.

**И**нновационные технологии не ограничены одной предметной областью. Вот какое отношение имеют установки 3D-печати, причем изначально ориентированные на создание литейных форм, к электронной индустрии? Однако действительно инновационные технологии открывают совершенно новые возможности в самых разных направлениях, позволяют создавать новые продукты с революционными техническими и стоимостными характеристиками. Поэтому знать о таких технологиях специалистам в области электроники просто необходимо.

### **voxeljet: как рождаются стартапы**

В середине 1990-х годов прошлого столетия в Мюнхенском техническом университете группа профессора Йоахима Хайнцля (Joachim Heinzl) работала над проблемой создания промышленных 3D-принтеров. В этой группе трудились аспирант Инго Эдерер (Ingo Ederer), писавший свою докторскую диссертацию (PhD), и дипломник Райнер Хёшман (Rainer Höchsmann). Профессор Й. Хайнцль, вице-президент Мюнхенского технического университета, уже был к тому времени известным и очень разносторонним ученым, признанным специалистом в таких областях, как МЭМС, малошумящие азростатические подшипники, ультрапрецизионная обработка и лазерные измерения, а докторскую степень в 1970 году он получил в области электроакустики. Во второй половине 70-х Й. Хайнцль руководил подразделением центральной лаборатории компании Siemens, которое занималось разработкой принтеров (механических, в том числе матричных) и механических систем для накопителей информации на перфолентах и магнитных пленках. Для нас принципиально важно, что именно тогда Й. Хайнцль начал свои работы в области капле струйной печати на основе пьезоинжекции, завершившиеся в 1977 году созданием первого коммерческого струйного принтера Siemens PT 80i. Поэтому совершенно не случайно, что в 1995 году группа, возглавляемая профессором Й. Хайнцлем, достигла первых успешных результатов в области систем дозирования УФ-отверждаемых полимерных смол. Это была важная составляющая проекта создания 3D-принтеров для песчаных литейных форм. Уже в 1998 году в Мюнхенском техническом университете напечатали первую песчаную литейную форму, тогда же был получен первый патент на изобретение.

5 мая 1999 года И. Эдерер, Р. Хёшман и профессор Й. Хайнцль создали компанию Generis — предшественницу voxeljet. Тогда в ней было всего четверо сотрудников. Сначала компания базировалась в Мюнхенском техническом университете, затем переехала в соседний Аугсбург. В 2000 году молодая компания приняла участие в конкурсе бизнес-планов стартап-проектов

Германии и заняла четвертое место — среди 1261 конкурсанта со всей страны. Компания получила денежный приз и бесплатные годовые услуги по управленческому консалтингу от экспертов всемирно известной корпорации McKinsey & Company. Уже в 2002 году первые принтеры для песчаных литейных форм были проданы компаниям BMW и Daimler.

В следующем, 2003, году произошли очень важные события. С одной стороны, успех был столь очевиден, что компания получила сторонние инвестиции — от венчурного фонда Bayern Kapital и Фонда стартовых капиталов Аугсбурга (Startkapital Fonds Augsburg). Более того, к компании присоединился Рудольф Франц (Rudolf Franz) — профессиональный инвестор, основатель инвестиционной компании Franz Industriebeteiligungen. С другой стороны, в 2003 году произошел раздел Generis: компанию покинул Р. Хёшман, чтобы стать со-основателем фирмы-конкурента. А вместо Generis была официально создана фирма voxeljet technology. Управляющим директором voxeljet стал д-р. Инго Эдерер (с 2013 года — исполнительный директор), а ее главным операционным директором — Рудольф Франц (с 2013 года — финансовый директор). Тогда же в voxeljet появилось новое направление — оказание услуг по изготовлению 3D-моделей и форм из песка и пластика.

С тех пор началось динамичное развитие компании voxeljet. Успешно завершилась разработка технологии печати из пластикового материала — порошка полиметилметакрилата (PMMA). В 2005 году был продан первый крупноформатный принтер, позволявший работать с PMMA — VX800, через два года появилась новая модель VX500, а в 2011 году компания представила самый крупный 3D-принтер в отрасли — VX4000 (рабочая область 4 × 2 × 1 м) и продемонстрировала концепцию «непрерывной» 3D-печати. В 2010 году voxeljet сменила место дислокации и переехала в технопарк в Фридберг под Аугсбургом, в новый производственный комплекс площадью свыше 16 тыс. кв. м.

В 2013 году компания сделала новый шаг и стала открытым акционерным обществом (voxeljet AG), после чего успешно провела первичное размещение акций на Нью-йоркской фондовой бирже. В результате ее капитализация выросла на 64,5 млн долл. Повторная эмиссия акций в 2014 году принесла компании еще 41,4 млн долл. Тогда же под Детройтом (США) был открыт филиал и сервис-центр Voxeljet of America.

В 2014 году оборот компании voxeljet составил 16,163 млн евро, что на 38 % больше, чем в 2013 году. Причем выручка от продаж принтеров составила 9,057 млн евро, а услуги по изготовлению 3D-деталей были оказаны на 7,106 млн евро. А ведь и до этого обороты компании росли со среднегодовыми темпами на уровне 30 %. К концу 2013 года во всем мире было установлено 58 принтеров voxeljet, только в четвертом квартале 2014 года компания продала семь принтеров.



1 Принцип 3D-печати по технологии voxeljet

По прогнозу исполнительного директора voxeljet И. Эдерера, в 2015 году обороты компании составят от 23 до 24 млн евро. Согласитесь, что это очень немало для фирмы, стартовавшей 15 лет назад с четырех сотрудников. А сегодня в voxeljet работают 125 специалистов, и развитие компании продолжается. Так в чем особенности технологии voxeljet, позволившей ей добиться столь впечатляющих результатов?

### Технологии 3D-печати voxeljet

Как и во многих других технологиях 3D-печати детали формируются послойно. Проект в формате какой-либо стандартной системы проектирования (CAD) с помощью специального ПО расщепляется на слои заданной толщины. Эта информация передается в принтер, где начинается послойная печать.

Принципиальное отличие принтеров voxeljet — технология формирования слоев. Здесь используется склеивание порошков, а не спекание или печать жидкими полимерами как во многих традиционных 3D-принтерах. Суть метода — на ровную поверхность наносится тонкий слой порошкового материала. А затем, за второй проход, в нужные места дозируется клей, связывающий частицы порошка. Клей полимеризуется на воздухе — при комнатной температуре или посредством ИК-нагрева. Далее операция повторяется — снова ровный слой порошка и слой клея — и т. д., пока не будет сформирован весь объект. Затем несклеенные частицы порошка просто высыплются, его излишки сдуваются (например, сжатым воздухом), очищаются и используются повторно.

Замечательная особенность такого метода — разнообразие используемых материалов. Сейчас компания

применяет в основном мелкодисперсный кварцевый песок и полиметилметакрилаты (PMMA). Однако большое внимание уделяется разработке новых материалов, таких как литейные смеси на основе циркониевых и хромитовых песков, PMMA-пластмасс; карбида кремния; карбида вольфрама; древесной муки; цемента, керамики и т. д. — материалы могут быть самыми разными, здесь важно правильно подобрать клеевой компонент. Например, для склеивания PMMA-порошков используются органические вещества, для кварцевых песков — специальные неорганические агенты. Причем вместо традиционных фурановых смол компания разработала нелетучее соединение, не выделяющее вредных веществ при нагреве до температур плавления металла. Это очень важно в контексте стремления повышать экологичность производств. Совсем недавно voxeljet объявила о создании нового клеящего фенолоальдегидного полимера, который открывает широкие возможности для печати не только песчаных форм, но и литейных форм из керамики.

### 3D-принтеры voxeljet

Изложенный принцип лежит в основе 3D-принтеров voxeljet. Основные части принтера: система нанесения порошка, печатающая каплеуловительная головка со множеством форсунок для дозирования клея и короб с подвижным дном — рабочей плитой. В начале процесса плита поднята вверх. На ее поверхность с помощью ракеля ровным слоем наносится порошок рис 1. При этом толщина слоя может составлять от 80 до 200 мкм для пластиков и 300 мкм — для кварцевого песка. Затем головка-дозатор наносит клей как в обычном плоттере. При этом возможно разрешение до 600 dpi (точек



2  
Принтер VX500

на дюйм), что эквивалентно  $42,3 \times 42,3$  мкм — как в хорошем полиграфическом процессе. По мере нанесения каждого слоя порошок/клей плита опускается вниз ровно на толщину слоя, и все операции повторяются.

Сегодня voxeljet предлагает шесть различных моделей 3D-принтеров, которые позволяют печатать изделия размерами от  $300 \times 200 \times 150$  мм до  $4000 \times 2000 \times 1000$  мм с производительностью от 0,7 до 123 литров в час (Т 1). Всех их объединяет не только технология печати, но и ориентация компании на создание надежного индустри-

ального оборудования, которое отличает высокая производительность и точность.

Самым первым из продаваемых сегодня был принтер VX500, представленный в 2007 году рис 2. Это компактная модель с размером рабочего пространства  $500 \times 400 \times 300$  мм обеспечивает возможность работы с различными материалами с толщиной слоев до 80 мкм. Разрешение печати — 600 dpi, производительность — до 15 мм/ч по вертикали, то есть порядка 19 с на слой. Габариты такой установки (длина  $\times$  ширина  $\times$  высота) —  $1,79 \times 1,85 \times 1,66$  м, масса — 1,2 т.

Еще более компактна модель начального уровня VX200 с размером рабочего пространства  $30 \times 20 \times 15$  см рис 3. Она позволяет работать со слоями толщиной 150 мкм, разрешение дозирующей головки — 300 dpi, производительность — 12 мм/ч (0,7 л/ч). Габариты установки —  $1,7 \times 0,9 \times 1,5$  м, масса — 450 кг. Хотя это и наиболее простая модель voxeljet, она была представлена одной из последних, в 2012 году. Поэтому в ней реализованы все технологии и возможности, характерные для более крупных установок, в том числе надежность и качество. Сам факт создания такой установки говорит о стремлении компании быть представленной в как можно большем диапазоне различных применений.

Размеры формируемых деталей ограничены габаритами короба. Увеличивать плиту-основание не просто — ведь толщина слоя порошка составляет от 80 до 300 мкм, при этом все перемещения должны быть прецизионными. Тем не менее, компания выпускает линейку принтеров с подвижными основаниями габаритами до  $2 \times 1$  м и высотой короба до 1 м. Именно такими размерами рабочего короба отличается система VX2000 рис 4. Чуть меньшее рабочее пространство —  $1 \times 0,6 \times 0,5$  м — у принтера VX1000 рис 5. Оба этих принтера оснащены сменными

Т 1  
3D-принтеры компании voxeljet

Модель	VX200	VX500	VXC800	VX1000	VX2000	VX4000
Год выпуска	2012	2007	2012	2011	2013	2011
Размеры рабочей зоны (длина $\times$ ширина $\times$ высота), мм	$300 \times 200 \times 150$	$500 \times 400 \times 300$	$850 \times 500 \times 1500/2000$	$1060 \times 600 \times 500$	$2060 \times 1060 \times 1000$	$4000 \times 2000 \times 1000$
Допустимая толщина слоя, мкм	150	80-150	300	100-300	120-400	120-300
Скорость печати (по вертикали), мм/ч	12	15	35	36	21,6	15,4
Расход материала, л/ч	0,7	3	18	23	47	123
Разрешение, dpi	300	600	600	600	200/600	600
Ширина головки, мм	21	112	112	112/450	520/564	1120
Число форсунок	256	2656	2656	2656/10624	4096/13280	26560
Габариты установки (длина $\times$ ширина $\times$ высота), м	$1,7 \times 0,9 \times 1,5$	$1,8 \times 1,8 \times 1,7$	$4 \times 2,8 \times 2,2$	$2,4 \times 2,8 \times 2$	$4,9 \times 2,5 \times 2,3$	$19,5 \times 7 \times 3,8$
Масса, кг	450	1200	2500	3500	5000	-
Требуемое производственное пространство, м	$3 \times 2,5 \times 2$	$3 \times 4 \times 2,2$	$4,8 \times 4 \times 3$	$4,4 \times 7,9 \times 3$	$15 \times 11 \times 3,5$	$25 \times 14 \times 4,8$



3 Принтер начального уровня VX200



4 Принтер VX2000. На переднем плане — сменный рабочий короб

коробами, которые можно просто подвезти на автопогрузчике. При этом модель VX1000 может комплектоваться специальной печатающей головкой шириной 450 мм с 10 624 индивидуально контролируемыми форсунками. Это позволяет печатать один слой всего за два прохода (со скоростью 40 см/с), обеспечивая тем самым производительность до 36 мм/ч (23 л/ч).

Модель VX2000 — самый новый принтер voxeljet. Его рабочее пространство — 2060 × 1060 × 1000 мм, габариты — 4,9 × 2,5 × 2,3 м, масса — 5 т. Как и VX1000, это серьезная промышленная установка, предназначенная для непрерывной круглосуточной эксплуатации. Ее производительность составляет 21,6 мм/ч (47 л/ч), толщины слоев — от 200 до 400 мкм.

В 2011 году компания voxeljet представила систему VX4000 рис 6 с габаритами плиты 4 × 2 м и с допустимой высотой детали до 1 м. Это самый большой промышленный 3D-принтер в мире с объемом рабочего поля 8 м<sup>3</sup>. Однако конструкция этого принтера отличается от других моделей. В нем плита неподвижна, а головка перемещается по вертикали. Причем головка также уникальна. При ширине 112 см она оснащена 26 560 соплами для нанесения клея и обеспечивает разрешение до 600 dpi при скорости перемещения 50 см/с — слой печатается за два прохода головки. При этом производительность принтера достигает 15,4 мм/ч (123 л/ч). Сам по себе принтер обладает внушительными габаритами — 19,5 × 7 × 3,8 м, по сути, это отдельный производственный комплекс. Но и задачи он позволяет решать очень серьезные.

В 2012 году компания представила еще один принтер с новой, революционной технологией «непрерывной» печати — систему VXC800 рис 7. Он позволяет производить объекты теоретически безграничной длины.

Система так и называется — «непрерывный» принтер. В нем печатаемый слой расположен не горизонтально, а под углом. Первый слой наносится на наклонную плиту, установленную на конвейере. Угол наклона плиты подобран так, чтобы порошок с нее не осыпался. Затем конвейер подается на шаг (соответствующий толщине слоя в 300 мкм) вперед, и процесс повторяется сколь угодно долго. Понятно, что плита нужна только в самом начале процесса, далее наклонная поверхность каждый раз формируется системой нанесения порошка. Такой способ позволяет печатать детали непрерывно — на одном конце принтера начинается формирование заготовок, на выходе рабочей камеры порошок осыпается, и с конвейера сходят готовые детали. Размеры рабочей



5 Принтер VX1000



6 Система VX4000

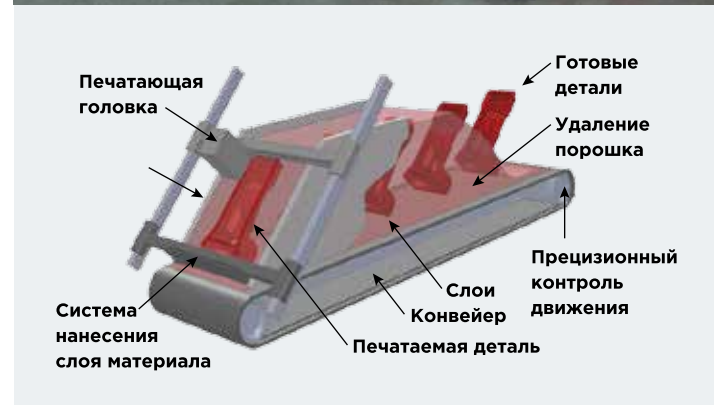
камеры принтера  $58 \times 50$  см, возможная высота — 1,5 или 2 м. Понятно, что эти габариты не ограничивают длину — теоретически можно печатать образец любой длины, лишь бы хватило размеров транспортера и цеха. При этом разрешение печати — 600 dpi, толщина слоя — 300 мкм, производительность — 35 мм/ч (18 л/ч). Очевидно, что при всей кажущейся простоте при создании системы VXC800 пришлось решить немало сложных инженерных задач, например — обеспечить прецизионное управление конвейером.

Таким образом, компания создала линейку принтеров, перекрывающих широчайший спектр задач. Причем заложенная в них технология позволяет создавать объекты, недоступные для иных методов. Например, можно изготовить две детали, вложенные одна в другую, но никак не связанные — например, шар внутри полый сферы, два узла с неразъемным шарнирным соединением и т. п. Более того, в одном коробе можно изготавливать сразу много деталей — как одинаковых, так и совершенно различных. Специальная программа помогает плотно расположить детали в объеме короба, с допустимыми зазорами до 2 мм. Это очень существенно повышает быстродействие установок voxeljet и делает их номинальную производительность (в мм/ч) вполне реальной. Например, в коробе принтера VX500 можно разместить 484 детали с габаритами  $115 \times 34 \times 30$  мм рис 8, 9. Принтер VX1000 позволяет за один цикл — всего за 23 ч — напечатать 780 заготовок для пресс-форм двухтактного двигателя! И подобных примеров немало. Поэтому большие рабочие пространства принтеров voxeljet — это не только крупногабаритные детали, но и высокая производительность, фактически непрерывное серийное производство.



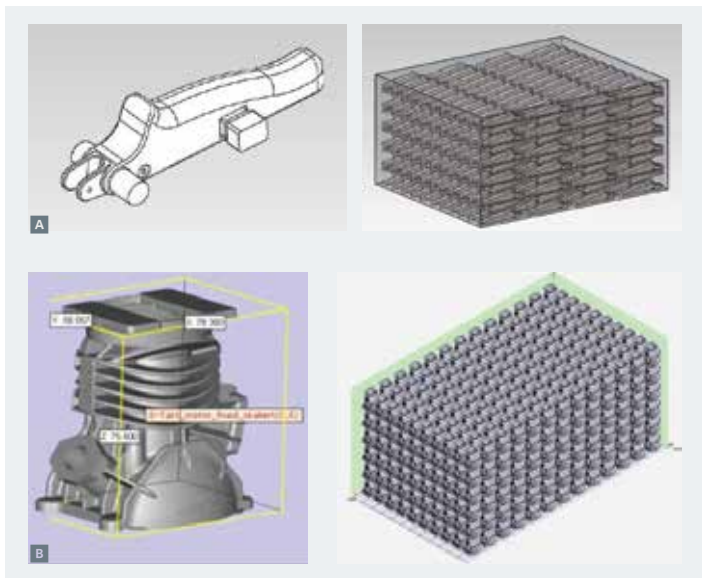
## Услуги производства трехмерных деталей: быстро и недорого

Компания voxeljet не только производит принтеры, но и продолжает выпускать трехмерные детали на заказ, то есть выступает контрактным производителем. При этом в качестве материалов используются PMMA-



7 Принтер непрерывной печати VXC800





8 Пример плотной упаковки в пространстве короба различных деталей: **A** 484 детали с габаритами 115 × 34 × 30 мм в коробе принтера VX500, **B** 780 деталей (78,3 × 58,6 × 75,5 мм) в коробе принтера VX1000



9 Программа плотного размещения деталей в коробе

пластики с различными красителями и песок (кварцевый, циркониевый, хромитовый и т. д.). Крупногабаритное оборудование voxeljet обеспечивает две уникальные на рынке характеристики — крупные размеры деталей и/или высокую производительность при приемлемой стоимости и высоком качестве. Иными словами, компания обеспечивает скорость выполнения заказов и гиб-

кость, характерную для 3D-печати, но при этом цена на услуги соответствует традиционным технологиям, если такая альтернатива вообще есть.

Неудивительно, что среди заказчиков voxeljet — представители самых разных направлений. Это и архитектурные модели различных сооружений, и готовые архитектурные детали зданий (капители колонн,



10 Все это напечатано на принтерах voxeljet



11 Пластиковая модель 1 : 3 легендарного автомобиля Джеймса Бонда Aston Martin DB5 для фильма «007. Координаты: «Скайфолл», напечатанная на VX1000

украшения фронтонов и т. п.), различные дизайнерские решения (кресла, люстры, даже сантехника), статуэтки известных людей, киногероев и т. п. рис.10). Предмет особой гордости компании — именно ей была заказана модель (в масштабе 1:3) легендарного автомобиля Джеймса Бонда Aston Martin DB5 для съемок одного из самых успешных фильмов бондианы «007. Координаты: «Скайфолл» рис.11). Однако в центре внимания voxeljet остается изготовление литейных форм — для чугуна, а также стальных, алюминиевых и медных сплавов. Поэтому расскажем о них подробнее.

## Технологии 3D-печати voxeljet для литейных форм

Наиболее массовая технология металлического литья основана на применении песчаных форм. Эти формы изготавливаются из специальных песчаных литейных смесей. Технология изготовления таких форм трудоемка и плохо поддается автоматизации. Как модели для таких форм, так и сами процессы формовки сложны, требуют ручного труда, зачастую сложные формы собираются из многих деталей, отдельно в них монтируются литейные стержни, литники и т. д. Собственно, над этой проблемой и начинали работать более 20 лет назад создатели компании voxeljet. Технология 3D-печати из мелкодисперсного песка, с неорганическими клеящими агентами оказалось практически идеальным решением. Компания по заказам клиентов выпускает песчаные литейные формы, причем сразу с интегрированной системой литников, для самых разных применений рис.12). В основном заказчиками выступают изготовители двигателей и силовых агрегатов. Производятся пресс-формы для блоков цилиндров судовых дизелей, коллекторов, кожухов мощных насосов (массой до 800 кг), крыльчаток радиально-осевых турбин, литейные стерж-

ни для рубашек водяных радиаторов и т. д. рис.13). Конечно, такие формы одноразовые, однако voxeljet выпускает их в промышленных масштабах, что оказывается дешевле, качественнее и быстрее традиционных подходов.

Другой массовый вид металлического литья, прежде всего — точного, это литье в корковые (оболочковые) формы по выплавляемым или выжигаемым моделям. Такой метод используется в основном для деталей сложной формы. Его суть: изготавливается точная мастер-модель детали (из дерева, гипса и других легко обрабатываемых материалов), по мастер-модели делают матрицу — пресс-форму для выплавляемой модели. Ее тщательно обрабатывают, полируют поверхность. Такая пресс-форма используется для изготовления выплавляемых моделей из воска, парафина или полимерных легкоплавких вспенивающихся материалов (как правило, из полистирола). Готовую модель, к которой добавляется



12 Отливка на основе песчаных литейных форм, напечатанных на 3D-принтере voxeljet

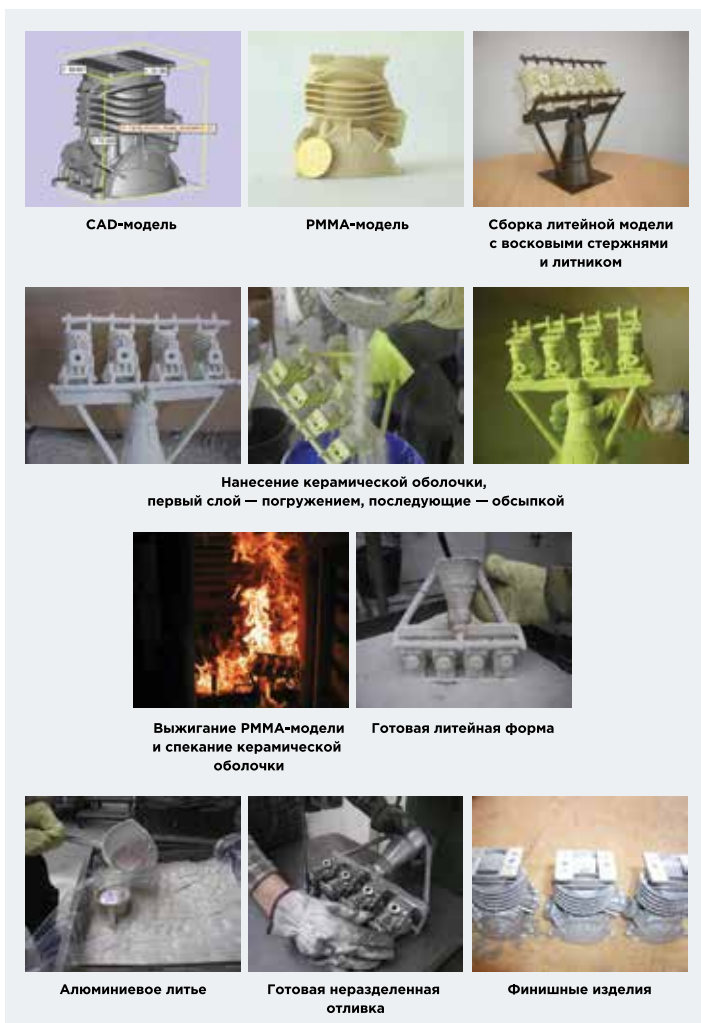


13 Образцы изделий, литейные формы для которых напечатаны на 3D-принтере voxeljet — от сложной дизайнерской конструкции и дизайнерского алюминиевого кресла до узлов двигателей

система литников, погружают в жидкую формовочную смесь (керамическая суспензия) и высушивают. Внутреннюю модель выплавляют горячей водой, форму помещают в печь, где происходит спекание керамики и удаление органических остатков модели, остужают — форма для точного литья готова.

Аналогичная технология используется и компанией voxeljet, только в гораздо более простом варианте рис 14. На 3D-принтере из PMMA-порошка сразу изготавливается модель (мастер-модель не нужна). Чтобы добиться идеально гладкой поверхности, ее погружают в расплавленный воск и/или покрывают эпоксидной смолой. Далее, как и в классической технологии, модель погружают в жидкую формовочную смесь и/или обсыпают формовочной смесью, которая спекается в печи при температуре порядка 800 °С. При этом PMMA-модель выгорает без остатка — образуется готовая оболочечная форма для точного литья. Такая технология используется, например, для отливки головок блоков цилиндров, крыльчатки турбин и т. д.

Казалось бы, проблемы литья деталей силовых установок далеки от электроники. Но автомобильная промышленность, двигателестроение в целом — это лишь пример массового производства. И решения voxeljet уже доказали свою эффективность в такого рода задачах. В сфере создания радиоэлектронных систем немало проблем, связанных с массовым производством сложных конструкций как серийных, так и на уровне единичных образцов и опытных партий. Не говоря уже о том, что электроника — область не самодостаточная, любой электронный блок нужно вставить в какую-либо конструкцию — будь то сотовый телефон, самолет или фазированная антенная решетка. И поэтому передовые промышленные технологии создания сложных конструкций, в том числе литейных, крайне важны для электронной индустрии. Особенно актуальными решения voxeljet могут оказаться в сочетании с другими технологиями, например, технологиями непосредственного формирования схем на трехмерных поверхностях (например, 3D-MID). И здесь возможности точной и высокотехнологичной отливки могут оказаться крайне востребованными.



14 Процесс литья в корковые формы по выжигаемым моделям

**О развитии бизнеса компании, в том числе в России, мы попросили рассказать Тобиаса Кинга (Tobias King), директора компании по приложениям и планированию.**

**Тобиас, в каких областях наиболее востребована продукция voxeljet?**

Преимущества метода трехмерной печати по сравнению с традиционными методами производства заключаются прежде всего в снижении себестоимости. В свою очередь, это снижение обусловлено уменьшением числа технологических шагов, необходимых для создания того или иного изделия. И с ростом производительности принтеров, а значит и возможности изготовления крупных партий деталей, эта тенденция лишь продолжится. Наша компания концентрируется на промышленных применениях. Поэтому не удивительно, что среди наших заказчиков такие промышленные гиганты, как BMW, Daimler, Ford, MAN B&W Diesel и многие другие. Кроме того, voxeljet сотрудничает с авиапромышленностью, с энергетической отраслью, с тяжелым машиностроением, техническими университетами и т. д. В итоге, мы являемся одним из крупнейших поставщиков песчаных литейных в Европе, в месяц наши принтеры потребляют до 200 т песка. И это принципиально — у всех 3D-печать ассоциируется со штучным, а потому дорогим производством. Мы же можем за сутки, в одном цикле сделать 780 моделей для литейных форм для одноцилиндровых двухтактных двигателей на принтере VX1000. Благодаря размерам и производительности нашего оборудования мы оказываем услуги именно серийного производства.

Помимо массовых серийных заказов к нам часто обращаются, если нужно изготовить какие-либо уникальные детали для замены. Например, крыльчатки турбин — зачастую они работают в установках по 50–60 лет, и никакой технологической документации, чертежей на них не сохранилось. А заменять их необходимо. Мы берем такую крыльчатку, сканируем ее в 3D-сканере, формируем CAD-проект и печатаем на 3D-принтере форму для отливки. И здесь проявляется другая особенность 3D-печати — время подготовки производства минимально и не требует серьезных затрат.

Перед нами открываются совершенно неожиданные рыночные ниши — например, изготовление реквизита



для киноиндустрии. Три года назад к нам обратилась английская компания Propshop Modelmakers, производящая бутафорские модели. Им нужно было создать модель автомобиля Джеймса Бонда для фильма «007. Координаты: «Скайфолл». Ведь никакая компьютерная графика не заменит реалистичность сцен, где взрывается или врежется в стену настоящий автомобиль — или его модель. И наши технологии позволили кинопроизводителям сэкономить очень много денег. Причем на весь проект по печати модели автомобиля Aston Martin DB5, от получения заказа до отгрузки, у нас ушло всего пять дней. Из них собственно печать на принтере VX1000 заняла 25 ч. Есть и другие области кинопроизводства, где востребованы наши услуги. Например, сканируют актера, делают его 3D-модель, после чего подбирают одежду и т. п. В целом, это направление оказалось для нас столь интересным, что в начале 2014 года voxeljet приобрела компанию Propshop Modelmakers, теперь это voxeljet UK, наше дочернее предприятие в Великобритании.

У нас немало заказов из других областей, в частности, наши модели используются при разработке болидов для «Формулы-1». В сфере архитектуры — это

модели зданий, которые делаются из PMMA. Их можно осматривать со всех сторон и разделять на составные части. Из песчаных материалов выполняются копии статуй и архитектурных деталей. В медицине с помощью 3D-моделей занимаются планированием и подготовкой операций. В сфере потребительских продуктов 3D-печать очень полезна при изготовлении кресел, светильников и других предметов экзотической формы — перечислять можно долго. Недавно к нам обратились из FIFA, им нужно было сделать фигуры знаменитых футболистов в полный рост. Мы выполнили этот заказ. Потом фигуры раскрашиваются и могут использоваться в музеях восковых фигур по всему миру. Причем можно говорить о зарождении отдельного направления — по нескольким фотографиям человека с разных ракурсов можно построить его 3D-модель и напечатать на принтере.

Мы получаем запросы от самых разных заказчиков, перед нами открываются все новые и новые рынки. Продукция компании успешно распространяется во всем мире с помощью 35 партнеров-дистрибьюторов. Среди них — и наш российский дистрибьютор, компания Остек.

### **Какое направление бизнеса — производственные услуги или продажа оборудования — наиболее важны для бизнеса voxeljet?**


Большую часть прибыли компания получает от продажи принтеров, но предоставление услуг для нас не менее важно, поскольку с этого обычно начинается сотрудничество с заказчиками. Кроме того, производственные услуги — это высокорентабельный бизнес, выручку в этой сфере мы направляем на создание новых технологий и принтеров. А они, в свою очередь, позволяют предоставлять новые услуги. Так что два этих направления взаимосвязаны и взаимодополняют друг друга.

### **Каковы ваши планы по развитию бизнеса в России?**

В России, как и во всем мире, мы следуем нашей бизнес-модели, предусматривающей развитие в двух направлениях — предоставление услуг и продажа установок. Сейчас мы контактируем с перспективными клиентами, демонстрируем возможности своих 3D-принтеров. Начинается все обычно с того, что клиенты заказывают определенные детали (такие заказчики в России уже есть), потом начинают увеличивать объемы заказов и в конце концов дозревают до приобретения собственного принтера. Это наиболее эффективный путь, минимизирующий все риски.

### **Клиенты могут использовать только те материалы, которые поставляет voxeljet?**

Конечно, нет. Материалы для изготовления деталей пользователи могут покупать самостоятельно, поскольку зачастую на месте это гораздо дешевле. У voxeljet есть список порошков и клеев, которые проверены и одобрены к использованию для каждого конкретного 3D-принтера. Но, в принципе, спектр порошков и клеев может расширяться, просто каждый конкретный случай должен быть специально протестирован на конкретных устройствах компании voxeljet.

И мы всегда открыты для сотрудничества в плане разработки технологий для новых материалов. Даже если ко мне завтра придут и скажут: «Нужен принтер для шоколадного порошка», я отвечу: «Нет проблем, давайте начнем исследования и поиск клеевой субстанции на основе сахара». Причем тут также возможны два пути. Во-первых, клиент может приобрести небольшой недорогой принтер и экспериментировать на нем. Или же мы сами можем искать решение, адаптируемое для наших промышленных систем. Никаких ограничений тут нет! 

## Аддитивные технологии в Остек

Технологии трехмерной печати активно развиваются на мировом рынке. Их уникальные возможности используются как лидерами промышленного производства изделий и оборудования для серийного производства сложных деталей, так и научными организациями и университетами – для быстрого прототипирования трехмерных моделей в масштабе или в натуральную величину.

Остек готов предоставить широкому кругу специалистов возможность ознакомиться с новейшей технологией, не только понять «как это работает», но и получить физический доступ к оборудованию и попробовать испытать свои идеи на реальных образцах или оценить возмож-

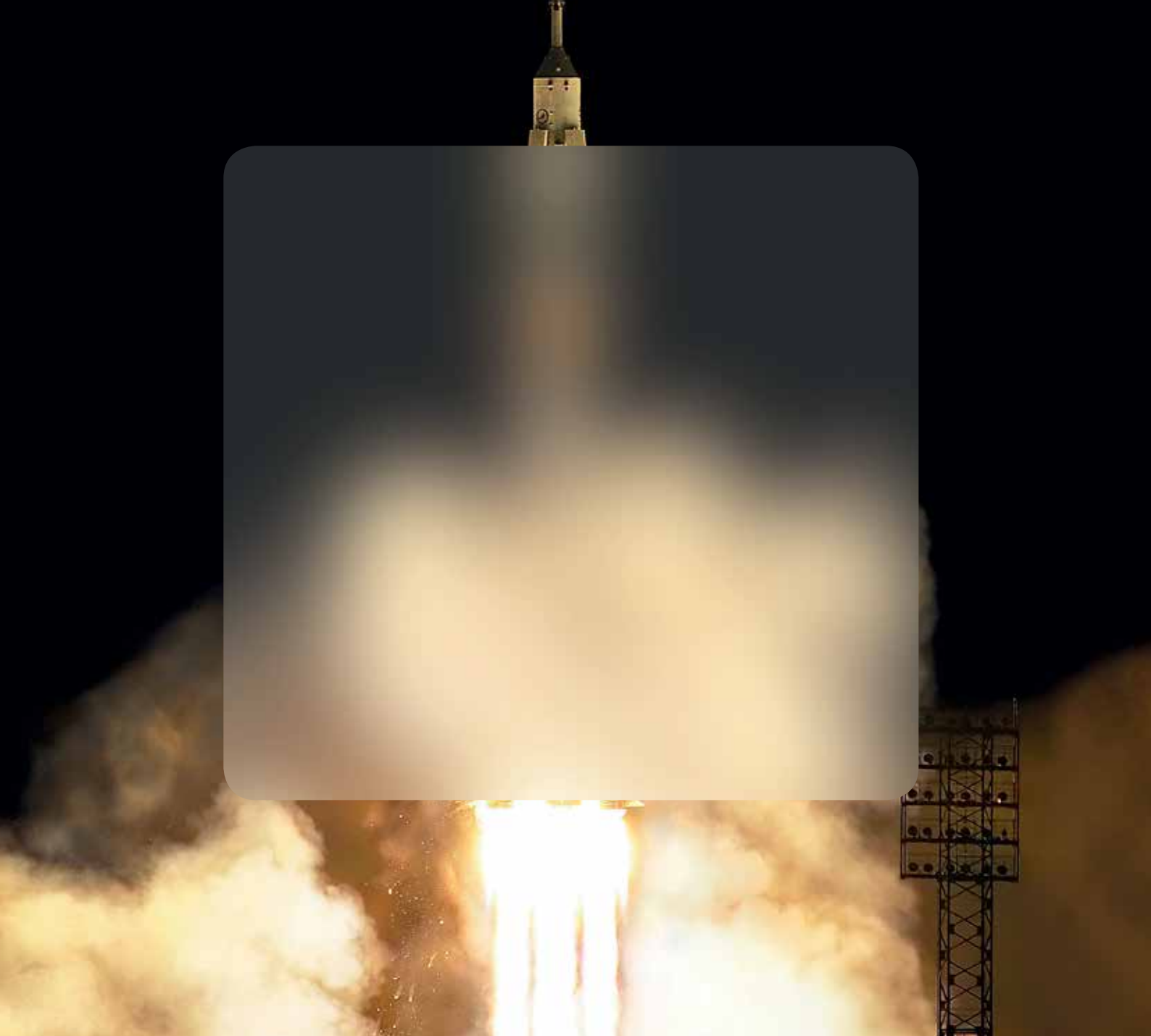
ности 3D печати для собственного производства. В нашем демозале развернут целый участок аддитивных технологий на базе оборудования партнера – компании VoxelJet AG. Наши специалисты помогут оценить реализуемость ваших моделей на практике, возможные сложности и пути их преодоления, получить материальное воплощение ваших идей. В процессе общения вы сможете самостоятельно разобраться в технологии и возможностях оборудования, подобрать наиболее эффективное решение, которое позволит вашему предприятию перейти на качественно новый уровень производства, сократив издержки времени и денег на всей цепочке от CAD-модели до реального изделия.



Мы приглашаем вас на разговор! А темы для беседы могут быть разные: от реверсинжиниринга деталей старого, но вполне рабочего оборудования, до создания моделей, прототипов или литьевых форм с огромными линейными размерами 4000 x 2000 x 1000 мм, недоступными для любых других технологий при максимальном сохранении точности.

У фантазии не должно быть пределов. Только тот, кто мечтает и пробует, достигает тех вершин, которые еще вчера выглядели неприступными. А мы постараемся, чтобы этот путь был максимально коротким и правильным!

Подробная информация на сайте [www.ostec-3d.ru](http://www.ostec-3d.ru)



## Видеть сегодня авиакосмическую технику будущего невозможно, **но технологии производства электроники для нее — необходимо**

Новые характеристики, которыми будут обладать электронные компоненты бортового оборудования летательных аппаратов завтра, зависят от технологий их производства, что необходимо внедрять сегодня. У нас уже есть решения для такого развития, разработанные в сотрудничестве с мировыми поставщиками новейшего оборудования и технологий. Эти решения позволяют найти оптимальный путь к успеху производства электроники в авиационной и космической промышленности.



будущее  
создается

[www.ostec-group.ru](http://www.ostec-group.ru)  
(495) 788 44 44  
[info@ostec-group.ru](mailto:info@ostec-group.ru)



## ТЕХНОЛОГИИ

# КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД РЕШАЕТ ВСЁ

Визит на новую линию  
поверхностного  
монтажа компании  
«ПСБ технологии»

Текст: Владимир Мейлицев

”

В декабре 2014 года нас пригласили посетить цех контрактного производства компании «ПСБ технологии». Повод был серьезный: демонстрация недавно запущенной автоматизированной линии поверхностного монтажа, оборудование для которой поставило и в наладке которой участвовало ООО «Остек-СМТ».

Компания является «производственным крылом» холдинга PCB technology, включающего также дизайн-центр «Схематика» и «ПСБ СОФТ» — компанию-поставщика САПР печатных плат. Относительно новой линии нас интересовали обычные вопросы. Какие цели ставились при ее приобретении? Какое место она заняла в общей структуре производства? Каковы ее технические возможности, какие заказы на ней выполняются, оправдала ли она средства, на нее затраченные?

На все эти вопросы нам ответил Александр Акулин, технический директор ООО «ПСБ технологии».



## Давайте сначала поговорим о специфике производства в целом. Как бы вы охарактеризовали спектр обычных для вас заказов?

Большие серии — это не наш рынок. Десятки тысяч штук одного и того же изделия, регулярный запуск раз в месяц — такие компании сами строят у себя производственную линейку, оптимизированную под данный тип заказа, и сами контролируют весь процесс. Либо они идут к каким-то дешевым крупносерийным скоростным производителям и там выжимают цену до последней копейки, получая согласие производителя за счет объема заказа.

У нас специфика другая. Мы ориентируемся на потребителя, которому нужно в определенный момент быстро и качественно сделать уникальное изделие в количестве 10, или 100, а может быть и двух-трех штук. И он не знает, когда он повторит это изделие: через месяц или через два года. Как правило, в следующий раз он приносит другое изделие, не менее уникальное; или то же изделие, но в другом варианте исполнения.

Если говорить о категориях заказчиков, то к нам идут и со спецтехникой, и с изделиями общего назначения. Мы получили сертификат соответствия системы качества ГОСТ РВ 0015.002 и можем работать с государственными структурами, но охотно выполняем заказы и от коммерческих предприятий. Нам хотелось бы совмещать и то, и другое — насколько позволяет рынок.

Количественный диапазон наших заказов — от 2–3 единиц до 1000. Бывает даже так, что заказчик просит установить только компонент BGA, а остальное делает сам. Типовую партию изделий — 100–200 штук — мы изготавливаем за один день или за несколько часов. Даже совсем маленькие партии не особо меняют картину: платы очень сложные, с множеством номиналов компонентов, основное время уходит на зарядку питателей. В месяц мы выполняем 50–60 заказов, работаем с двумя выходными в одну смену, так что в среднем получается два-три заказа в день, максимум пять.

## Какую задачу вы ставили перед собой, начиная планировать расширение производства?

Первую линию поверхностного монтажа мы покупали под небольшие заказы сложных плат. В ее составе был универсальный автомат Europlacer IINEO со скоростью до 12 тыс. компонентов в час, парофазная печь ASSCON, трафаретный принтер SPEEDPRINT.

Наш план развития был умеренным. Мы считали, что нужно купить еще один небольшой установщик, может быть еще один аппарат Europlacer и некоторое другое оборудование, компактное и недорогое. На тот момент



Александр Акулин



1 Автоматическая линия поверхностного монтажа в цехе компании «ПСБ технологии»

предполагаемые инвестиции ограничивались суммой 150, максимум 200 тыс. долларов.

При планировании мы руководствовались несколькими критериями. Большое значение имел выбор поставщика — это должен быть серьезный, солидный партнер для долгосрочного сотрудничества. Мы хотели, чтобы он не только поставил хорошее оборудование, но и обеспечил сервис и оперативное взаимодействие в дальнейшем, при необходимости — поставку дополнительного оборудования, оснащение программным обеспечением, консультации, в том числе технологические — все это было важно.

Конечно, мы тщательно изучали само оборудование, оценивали разные бренды, изучали предложения от разных поставщиков. Это был, по сути дела, тендер: мы сравнивали предложения и по функционалу, и по цене. И нашим выбором стала компания «Остек-СМТ».

Однако специалисты Остека не только смогли убедить нас в том, что они предлагают качественное оборудование на хороших условиях, но и вдохновили на куда более масштабный проект. В окончательном виде согласованная к поставке линия состояла из кассетного загрузчика плат Nutek NTE 710LM, трафаретного принтера DEK Horizon 03iX, скоростного установщика компонентов (чип-шутера) Samsung SM471, прецизионного установщика компонентов SM482, печи конвекционного оплавления ERSA 3/20, буферного конвейера, системы автоматической оптической инспекции Viscom и работающего с ней кассетного разгрузчика плат.

В итоге мы очень серьезно вложились, значительно серьезнее, чем предполагали изначально. После показа основных агрегатов в составе демонстрационной линии на выставке ЭкспоЭлектроника 2013 в течение месяца оборудование было привезено на наши производственные площади, мы установили его, настроили и пустили в эксплуатацию. И теперь видим, что это помогло нам выйти на абсолютно новый уровень. На такой уровень, на который мы и не рассчитывали, и не собирались выходить — по производительности, по техническим возможностям, по объему производства. Мы можем теперь выполнять в четыре-пять раз больше заказов, чем два года назад. И у нас есть возможность смонтировать с отличным качеством печатные платы практически любой сложности, будь то многопроцессорная материнская плата для суперкомпьютера или миниатюрная плата смартфона или планшета.

### **Почему вы решили поставить трафаретный принтер фирмы DEK, ведь это далеко не самое дешевое из подобных устройств?**

Мы знали теоретически и убедились на практике: от качества нанесения паяльной пасты зависит качество монтажа, особенно для BGA-компонентов и малоразмерных компонентов с маленьким шагом выводов. Не последним аргу-

ментом в пользу предложенной Остеком модели стало имя компании-производителя — одного из наиболее уважаемых мировых брендов. Наконец, мы консультировались со многими технологами на разных предприятиях, и все подтверждали, что трафаретный принтер фирмы DEK обеспечит точность, аккуратность и стабильность нанесения пасты.

### **Вы поставили в линию два автоматических установщика — и это для не очень крупносерийного контрактного производства... Они оба действительно нужны?**

Конечно. Первое, за что мы боремся — это количество типоминиалов компонентов, которые можно устанавливать на плату. Две машины позволяют нам монтировать без перезагрузки питателей до 240 различных видов компонентов, и уже сейчас на некоторых заказах этот потенциал используется почти полностью, а мы, приобретая оборудование, думали еще и о заделе на будущее.

Второе: часто нужно поставить на плату большое количество компонентов 0402, или 0805, или 0603 — их может быть тысяча, две тысячи штук, иногда четыре тысячи. Чтобы не тормозить весь процесс, их установка на плату должна укладываться в одну-две минуты. Для этого нужен чип-шутер, который, пусть и с меньшей точностью, чем та, которая необходима для микросхем, обеспечивает нужное быстродействие. Максимальная скорость по спецификации у двухпортального установщика Samsung SM471 — 75 тыс. компонентов в час.

Реальная получаемая производительность доходит до 30...50 тыс. компонентов в час, что объясняется спецификой заказов: для небольших и средних партий разнотипных изделий глубокая оптимизация процесса установки нецелесообразна.

У Samsung удобные питатели, мы приобрели обычные пневматические и так называемые смарт-питатели. Для нас особенно важна способность смарт-питателя работать с короткими лентами, даже с обрезками лент. С этим мы очень часто сталкиваемся при получении комплектации от клиента.

Функцией автоматического распознавания питателя мы не пользуемся. У нас нет своей продукции, вся продукция заказная. Компоненты под каждый заказ идут индивидуально, и порой в течение дня проходит несколько наименований изделий от разных заказчиков, каждый со своей комплектацией. Даже если это комплектация нашей поставки, то она все равно разделена для разных заказов. При этом повторяемость компонентов практически отсутствует, разве что один-два номинала конденсаторов. Поэтому удобнее готовить для установщика программу под каждое изделие и устанавливать питатели в позиции, заданные этой программой; держать заранее подготовленные питатели не имеет смысла.

И потом, питателей иногда попросту не хватает. Мы приобрели их очень много, можем подготовить для монтажа, скажем, сразу 200 видов компонентов, но это количество часто уходит на один заказ, и для следующего приходится проводить подзарядку, перезарядку. Думаю, мы будем приобретать дополнительные питатели, потому что номенклатура компонентов под каждый заказ растет.

А еще в автомате установлен обрезчик лент — такой подарок сделал нам Остек. В него попадает использованная лента из питателя, разрезается на куски, и в поддоне оказываются не длинные «макаронны», а короткие фрагменты, которые удобно оттуда удалять.

Подкатные тележки с чип-шутером мы не используем, только тележки для хранения питателей — это оказалось удобнее, чем хранить их на стеллажах. Питатели можно заряжать на тележках, но, как правило, зарядка выполняется на столе, после чего питатель либо сразу ставится в свою позицию на станке, либо устанавливается на тележку, если это готовится к запуску следующий заказ.

Второй станок — прецизионный установщик SM482 для работы с более крупной элементной базой: микросхемами, в том числе BGA, и с чип-компонентами больших типоразмеров. Может устанавливать практически все виды микросхем, обладает точностью, хорошей скоростью, низким уровнем шума.



#### Автомат трафаретной печати Horizon O3iX

Время холостого цикла (холостого хода) печати ..... 12 с  
 Точность совмещения трафарета и платы ..... ± 12,5 мкм  
 Скорость движения ракеля ..... от 2 до 300 мм/с  
 Давление ракеля ..... от 0 до 20 кгс  
 Доступно большое количество дополнительных опций, в частности:

- программируемый дозатор пасты;
- различные системы фиксации и поддержки ПП, в том числе полностью автоматическая система поддержки Grid-Lok;
- несколько вариантов систем очистки трафаретов и автоматического контроля качества нанесения пасты;
- и многое другое.

#### Для подачи на установщик матричных поддонов вы выбрали Samsung STF 100S — внешний питатель, находящийся вне рабочего поля. Это удобно?

Внешний питатель удобно заряжать, поддоны можно перезаружать, не останавливая работу станка. Но главное — поддон, расположенный вне рабочего поля, оставляет его свободным для питателей из лент разной ширины и пеналов.

#### А что скажете про печь конвекционного оплавления?

Печь Ersa HOTFLOW 3/20 мы выбрали, исходя из ее больших технологических возможностей. Она имеет по 10 зон нагрева и по четыре зоны охлаждения сверху и снизу, что позволяет очень точно выставить температурный профиль пайки, настроить режимы. Это важно, в частности, для плат большого размера, с большим количеством BGA-компонентов; на этой печи мы отработали режимы и для бессвинцовой, и для смешанной пайки.

Надо сказать, в таком решении заключался некоторый риск. Печь очень длинная, и было не совсем ясно,



#### Автомат установки компонентов SM471

Количество установочных головок ..... 2 портала по 10 головок  
 Скорость установки ..... до 75 000 комп/час  
 Точность установки ..... ± 50 мкм для чип-компонентов  
 Устанавливаемые компоненты ..... от 01005 до 14 × 14 мм  
 ИМС с шагом до 0,4 мм  
 BGA, CSP с шагом до 0,4 мм  
 Распознавание и центрирование компонентов осуществляется «на лету» в процессе перемещения компонентов на плату.  
 Предусмотрено несколько режимов сборки, включая параллельную сборку двух плат разными порталами и сборку одной большой платы двумя порталами одновременно.



2  
Ленточные питатели на тележке для хранения

как доставить ее к месту установки в цеху: по коридору она не проходила. Пришлось заносить ее с улицы через проделанное в стене отверстие. Специалисты Остека совместно с такелажниками подготовили необходимую оснастку, поддоны, подвесы, и печь с помощью кранов поднимали на второй этаж, заносили в цех, разворачивали и устанавливали на место. Управились за один день...

Перед печью установлен конвейер, совмещенный с питателем для поддонов установщика SM482. Конвейер нужен для визуального контроля плат после установки, а также в тех случаях, когда после автоматического монтажа некоторые компоненты требуется дополнительно установить вручную.

### Прежде вы пользовались парофазной печью ASSCON VP1000–64. Вы находите, что печь конвекционного оплавления имеет перед ней преимущества?

Я не стал бы однозначно говорить именно о преимуществе. Однако у парофазной печи есть некоторые нюансы, которые на контрактном производстве превращаются в проблемы. Если при разработке платы допущены ошибки, например, посадочные места для чип-компонентов сделаны не по стандарту IPC, то может возникать дефект типа «надгробный камень», когда чип-компонент поднимается на один из своих торцов, образуя паяное соединение только с одной стороны.

Справедливости ради надо отметить, что такая же неприятность может случиться при пайке в конвекционной печи, но в азотной среде. Процесс окисления в этих условиях сильно заторможен, и тут включается один неприятный механизм. Чем медленнее окисляется поверхность капли припоя, тем больше на ней сила поверхностного натяжения. Представьте себе резистор: на одном конце расплавленная капля, а другой конец лежит на пятне паяльной пасты. Капля тянет его поверхностным натяжением, и он приподнимается, не успев «прилипнуть» другим концом, — получаем тот же «надгробный камень». Если учесть, что на наших платах может быть несколько тысяч маленьких резисторов и конденсаторов, то можно себе представить, сколь велика трудоемкость последующего ремонта. Так что наша рекомендация — качественно разрабатывать посадочные места для чип-компонентов и руководствоваться стандартами IPC.

И хотя у парофазной печи есть свои достоинства, теперь мы используем ее очень редко. Даже небольшие



#### Автомат установки компонентов SM482

Количество установочных головок . . . . . 1 портал, 6 головок  
Скорость установки . . . . . до 28 000 комп/ч  
Точность установки . . . . . ±50 мкм для чипов, ± 30 мкм для QFP  
Устанавливаемые компоненты:  
Распознавание «на лету» . . . . . поле обзора 16 мм от 01005 до 14 ×14 мм,  
ИМС с шагом до 0,4 мм, BGA,  
CSP с шагом до 0,65 мм  
Неподвижная камера . . . . . поле обзора 35 мм до 32 ×32 мм,  
ИМС с шагом до 0,3 мм, BGA,  
CSP с шагом до 0,5 мм, до 55 × 55 мм мультираспознавание  
Шесть камер для распознавания и центрирования компонентов располагаются непосредственно на модуле с установочными головками напротив каждой из них, что исключает необходимость перемещения к отдельной камере центрирования и позволяет центрировать одновременно шесть захваченных компонентов в процессе перемещения их к печатной плате.  
Установка позволяет работать с большим количеством как пневматических, так и электронных питателей, упрощающих работу с различными лентами компонентов, в том числе и с обрезками лент.

опытные партии идут у нас через конвекционную печь, не говоря уже о серийных, где незаменимой становится высокая пропускная способность этой машины. Впрочем, иметь две печи всегда полезно.

### Следующий этап — контроль. Насколько необходима столь мощная система автоматической оптической инспекции как Viscom S 3088?

Для контроля качества пайки мы раньше пользовались настольной установкой автоматической оптической инспекции (АОИ) с ручной загрузкой модулей типа Omron R NS II pt. Она имеет только одну вертикальную камеру, но особый алгоритм анализа изображения, использующий систему трехцветной подсветки, гарантирует высококачественную проверку с минимумом ложных тревог.



**Конвейерная печь конвекционного оплавления HOTFLOW 3/20**

Габариты (Д × Ш × В) .....	6590 × 1530 × 1580 мм
Рабочая ширина конвейера .....	45–580 мм
Высота компонентов .....	+25 / -37 мм
Скорость конвейера .....	20–200 см/мин
Длина зоны нагрева .....	3700 мм
Длина зоны охлаждения .....	1490 мм
Ширина рабочей зоны .....	770 мм
Модулей конвекции .....	10 сверху / 10 снизу
Преднагрев .....	7 сверху / 7 снизу
Пайка .....	3 сверху / 3 снизу

Нагрев осуществляется горячим воздухом или азотом; при пайке в инертной среде ведется контроль наличия кислорода во внутреннем объеме. Высокая равномерность и повторяемость нагрева обеспечивается технологией MULTI-JET. Регулировка скорости вращения вентиляторов позволяет гибко управлять параметрами процесса. Имеется система центральной поддержки для предотвращения прогиба крупногабаритной платы при нагреве. Эффективная система фильтрации воздуха от продуктов, выделяющихся в процессе пайки.

Однако в новую линию мы решили добавить систему Viscom S 3088 flex с буферным разгрузчиком для согласования процессов изготовления и контроля. Это установка под серийные заказы, особенно под повторяющиеся. В таких случаях удобно один раз настроить и потом в реальном времени проверять сразу все: и качество нанесения пасты, и правильность установки компонентов, и качество паяных соединений.

Впрочем, эта система — хороший выбор в любом случае. Помимо вертикальных камер обзора у нее есть еще восемь фронтальных камер, и они могут наблюдать компоненты с любой стороны. Это резко улучшает достоверность, результативность инспекции: можно видеть приподнявшиеся выводы микросхем, «надгробные камни»... Мы рассчитываем, что эта установка позволит проводить детальную инспекцию самых сложных изделий, не нарушая общего ритма линии при любых представимых сегодня объемах заказов.

### В каком режиме вы используете рентгеновский контроль? По требованию заказчика?

При запуске нового заказа контролируется вся установочная партия, порядка 10 плат. Положительный результат контроля говорит о том, что технологический процесс отработан, и тогда мы переходим к выборочному контролю или контролю по возврату — когда заказчик возвращает платы после отказа при электрическом тестировании.

Если на платах установлены BGA-компоненты, то они подвергаются пристальному контролю — как правило, на рентгеновскую установку идет 30 % плат. Небольшие партии с BGA-компонентами проверяются полностью. Военные заказчики всегда требуют 100 % рентгеновский контроль — конечно, мы его делаем.

### В завершение разговора о контроле: проводите ли вы функциональное тестирование?

Да, часть заказов мы ставим на функциональное тестирование. Как правило, для этого заказчики предоставляют свои инструкции. Стенды комплектуем совместно: компьютеры наши, а специализированные пульта, согласующие устройства — от заказчика. Иногда мы можем собрать установку из своих приборов. И проводим функциональное тестирование, а иногда и прошивку микропрограмм.

В перспективе можно подумать о JTAG-тестировании; если говорить о внутрисхемном тестировании летающими зондами, то пока для нас это очень дорого. Однако в будущем, возможно, появятся условия для возвращения к этому вопросу.



#### Система автоматической оптической инспекции S-3088-flex

Поле обзора верхних камер . . . . .	57,6 × 43,5 мм
Минимальный размер чип-компонента . . . . .	01005
Разрешение камер (переключаемое)	
вертикального обзора . . . . .	23,4 и 11,7 мкм/пикс.
бокового обзора . . . . .	16,4 и 8,05 мкм/пикс.
Размеры инспектируемой платы (Д × Ш) . . . . .	508 × 508мм
опционально . . . . .	650 × 508мм
Скорость инспекции . . . . .	20–40 см <sup>2</sup> /с
Библиотека алгоритмов инспекции для всех стандартных компонентов, поддерживающая требования стандарта IPC-A-610E.	
Библиотека снимков обнаруженных дефектов, используемая для самообучения системы и помощи оператору.	
Установка спроектирована для универсального применения, от производства прототипов до работы в условиях крупносерийного производства.	

### Насколько сейчас загружена новая линия?

Не могу сказать, чтобы на 100 %. Загрузка неравномерная; помимо всего прочего, очень сказывается нестабильность в сроках поставки компонентов. Из-за этого порой бывает почти нечего делать. Но в другие моменты количество ждущих выполнения заказов становится очень большим, и тогда высокая производительность линии нас просто спасает.

### Продолжаете ли вы эксплуатировать предыдущую линию?

Да, конечно — для опытных заказов и небольших партий. В таких случаях заказчики обычно приносят компоненты в неподходящем для автоматического монтажа виде — в пакетике, россыпью, нарезкой, причем без всякого запаса. Многие заказчики либо не понимают требований автоматизированного производства, либо плохо организуют работу своих отделов снабжения, либо не в силах

решить проблемы с бухгалтерией. Приходится идти им навстречу. Те компоненты, которые можно поставить автоматически, мы монтируем на автомате Europlacer, остальное устанавливает оператор на манипуляторе фирмы FRITZSCH — в цеху их несколько. Конечно, этократно увеличивает трудоемкость производства.

Устранение дефектов, выявленных при контроле, выполняется на рабочих местах монтажников. На каждом из них есть микроскоп, монитор, трехканальная паяльная станция. На мониторе монтажник проверяет, действительно ли имеет место дефект, информация о котором поступила, скажем, по сети от АОИ, и после исправления на нем же отмечает выполненные действия. Таким образом, у нас хранится полная «история жизни» модуля.

### С какими трудностями вы сталкиваетесь при подготовке к запуску партии изделий в производство?

Подготовка заказа — это большая работа. Трудности начинаются с исходной документации. Первая и самая важная проблема — несоответствие чертежа, спецификации и электронных файлов.

Второе — недоработки в самих проектах, их несоответствие стандарту IPC. Чаще всего это снижает качество монтажа, но бывает, что огрехи в документации приводят к прямым ошибкам. Например, некорректно указан ключ на чертеже, и партия изделий монтируется неправильно по вине разработчиков.

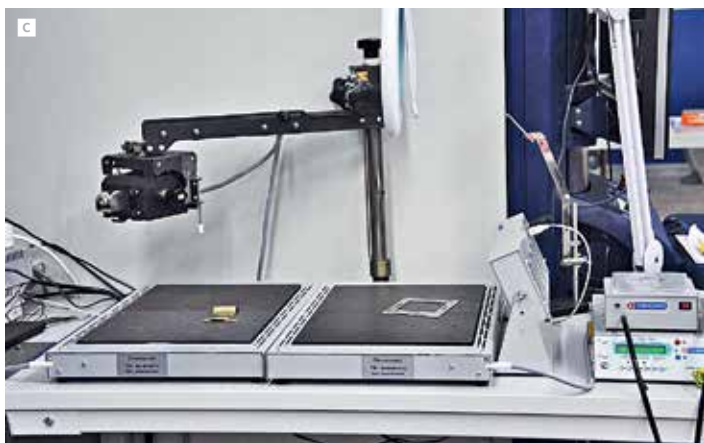
Третье — это комплектация, которую предоставляет заказчик. Я уже говорил, что часто дают компоненты без технологического запаса. Бывает, что предоставляют некачественные ленты: помятые, не первой свежести, в нарезке, с нарушенной покрывной пленкой и т.д. Все это очень трудно зарядить в автоматы, приходится монтировать вручную.

Иногда в комплектации заказчика попадают компоненты плохого качества. Бывает пересортица: заказчик заявляет, что это один компонент, а выясняется, что совершенно другой. Или в проекте учтен компонент в одном корпусе, а реально он — в другом. Например, в документации стоит чип-компонент 0402, а в поставленной заказчиком ленте — 0603; поставить его или невозможно, или трудно. Таких ошибок очень много и с ними приходится бороться на этапе подготовки.

### А убедить заказчика пользоваться вашей комплектацией — насколько это возможно?

Часть заказчиков пользуются этой услугой, и таких становится все больше.

Но некоторые фирмы, особенно коммерческие, упорно сами занимаются подбором комплектации — ведь они



3 Рабочее место ручного монтажа и визуального контроля/ремонта **A**; установка формовки выводов типа «крыло чайки» **B**; манипулятор **C**; рабочее место для восстановления шариков BGA-компонентов и снятия/установки BGA **D**

на этом зарабатывают. Когда же клиент соглашается работать с нашим отделом комплектации, то мало того, что исключаются перечисленные выше проблемы; мы закупаем компоненты с учетом технического запаса, в частности, для зарядки питателей. В результате и работа идет гораздо быстрее, и качество гарантируется на более высоком уровне.

### Вы как-то проверяете компоненты?

Мы их пересчитываем, проверяем номиналы — насколько это возможно в условиях предоставленной заказчиком упаковки. Потом делаем сушку тех компонентов, которые в этом нуждаются. Это важный момент: компоненты BGA и LGA, если они хранились в негерметичной упаковке и набрали влагу, без предварительной сушки могут быть повреждены во время оплавления. Затем в порядке очередности или в порядке приоритетов, срочности мы запускаем заказ. Заказчик получает готовую партию изделий через две-три недели после предоставления документации и комплектации.

### А проблемы с разными типами покрытий? Платы вы тоже получаете от заказчика?

Как правило, печатные платы нашего производства — это наш основной бизнес. Мы предлагаем хорошие цены и высокое качество, и большинство заказчиков соглашается поручить их изготовление нам. Мы предлагаем все



4 На новой линии автоматического монтажа собираются платы высокого уровня сложности

основные типы покрытий: и припой, и иммерсионное золото, и иммерсионное серебро. Это нормальные, удобные виды покрытий.

Впрочем, проблемы могут быть. Например, если плата с золоченым покрытием хранилась год и более, то из-под слоя никеля выделяется фосфор и создает барьер для пайки. С платами же, привезенными заказчиком, бывают и более элементарные проблемы: и коробление, и некачественное покрытие, и даже просто плохая обрезка.

### **Вы сказали, что ваш основной бизнес — производство печатных плат. А несколько лет назад занялись контрактным производством. Вы меняете рыночную нишу?**

Начав с импорта плат из Китая и Европы, мы понимали, что рано или поздно придут мировые поставщики, которые, имея полумиллиардные (в долларах) обороты, начнут демпинговать, просто обрушат рынок. Поэтому уже на ранних этапах своего развития мы стали строить бизнес не как торгово-посреднический, а как сервисный. Мы позиционировали себя как технологическая компания, которая предоставляет услуги по подготовке печатных плат к изготовлению на современном оборудовании, по проверке, по поставке с очень высоким качеством. И при этом понимали, что все равно нужно и дальше расширять свои возможности.

Таким расширением стали наш дизайн-центр и цех монтажа — мы страховали риски. Цех монтажа будет всегда востребован, ведь какая-то электроника будет выпускаться всегда. Если мы умеем делать ее качественно, то к нам придут заказчики, и в рамках российских цен, российских зарплат, даже если все это сильно оторвется от остального мира, мы сможем выжить.



Мы попросили дать комментарий представителя компании-поставщика, руководителя проектов ООО «Остек-СМТ» Илью Желюкова: чем интересен вам этот проект? В чем особенность этой компании?

Уже много лет Остек и «ПСБ технологии» находятся в близком сотрудничестве, полезном обеим сторонам. Когда кто-то из заказчиков спрашивает наших сотрудников, кто мог бы помочь с печатными платами, мы советуем обращаться к «ПСБ». Нам же наше взаимодействие позволяет иметь обратную связь с рынком. Мы знаем, что происходит у наших клиентов с точки зрения поставщика, а благодаря Александру Акулину мы знаем также, что происходит на рынке со стороны заказчиков печатных плат и комплектующих. Это что касается


### **Такая позиция себя оправдала?**

Да. Как мы и предполагали, на рынке появилось несколько очень активных игроков, которые заметно его подпортили. Качество там не очень высокое, но предлагаются цены, с которыми нам трудно бороться. Однако за счет комплексного предложения услуг мы держим своих заказчиков, они от нас не уходят. Ушли очень немногие, наиболее чувствительные к ценам. Если важна цена на 20 % ниже, они, конечно, уходят. И получают качество — на 20 % ниже.

Надо сказать, в последнее время нам очень помогла новая линия — и удержать прежних заказчиков, и привлечь новых.

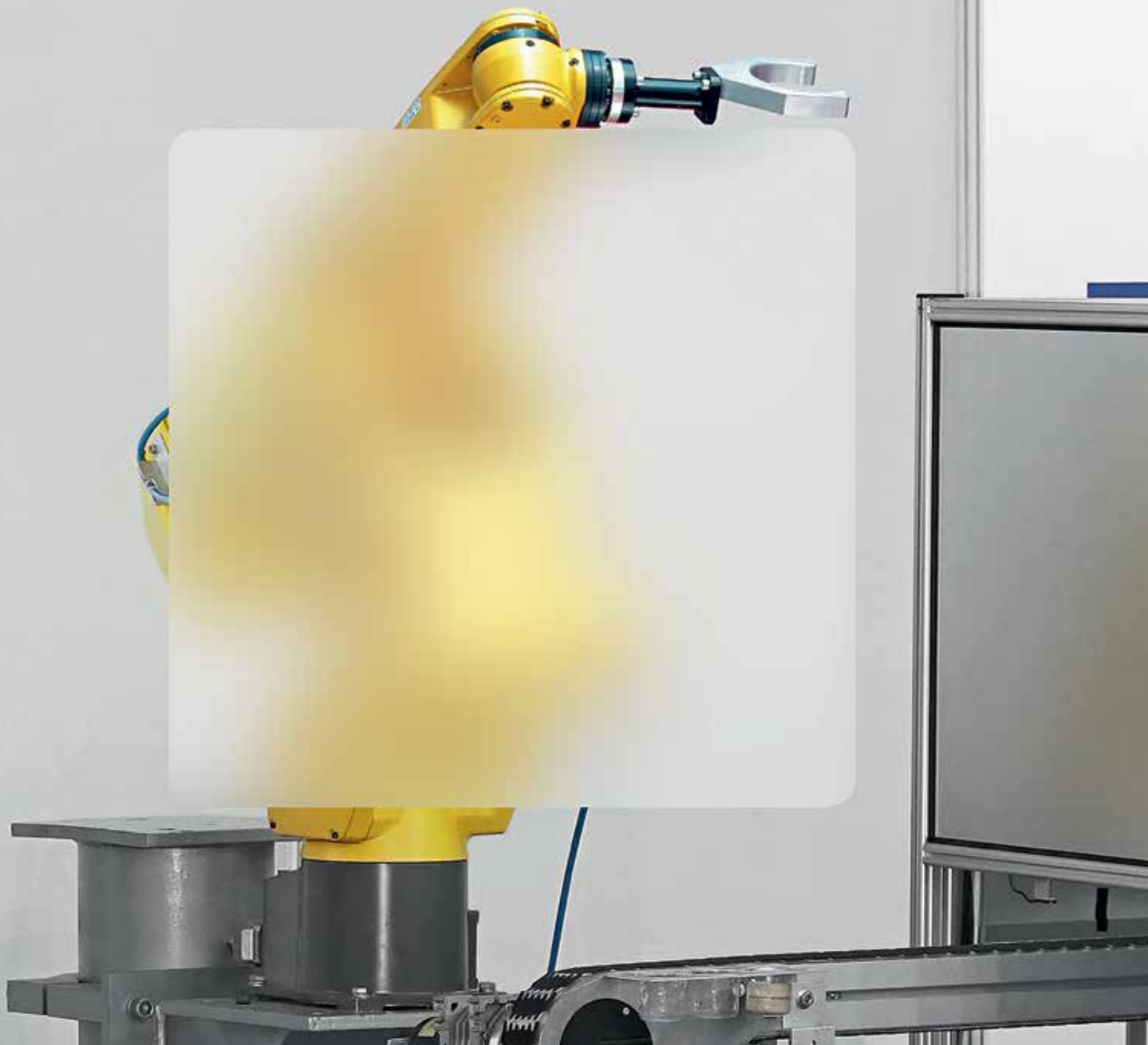
### **А что можно сказать про рентабельность?**

Если ставить задачу окупаемости за один год, то нужно заниматься какими-то другими заказами. Например, следовало бы брать заказы не просто на монтаж, а обязательно — с нашей комплектацией; тогда можно было бы получать прибыль на поставке компонентов. Но мы не идем по такому пути. Этот цех создавался как дополнительный сервис для наших заказчиков, и мы принимаем разные заказы, в том числе очень трудные и не очень выгодные.

Наш подход иной, мы определили срок полной амортизации линии — пять лет. Тогда окупаемость достигается: вычитая ежегодно пятую часть стоимости линии из прибыли цеха, мы видим, что зарабатываем на ней больше, чем отдаем на амортизацию. Да, эта прибыль не очень велика. Но если смотреть в комплексе с учетом того, что наши возможности по монтажу способствуют дополнительному привлечению заказов на изготовление плат и комплектацию, то общая прибыль становится вполне значимой. А в наших планах намечены меры по увеличению прибыли и собственно монтажного производства. 

взаимовыгодного сотрудничества. Если же говорить о компании «ПСБ технологии», то ее выделяет высокая технологичность производства. Многие говорят: «Зачем в России заказывать электронные изделия, когда проще это сделать в Китае, там будет дешевле, надежнее, у нас в России никто ничего не умеет делать. У нас как привыкли паять паяльником с медным жалом, так и паяют, на высокие материи не способны...». Так вот, «ПСБ технологии» — живой пример российского современного производства, а не просто догоняющего наших западных коллег. Это наглядная демонстрация того, что и в России есть высокотехнологичные компании, отвечающие очень жестким требованиям по качеству, надежности, высокой культуре производства. Предприятие «ПСБ технологии» способно выпускать изделия, которые не только не уступают зарубежным аналогам, но по некоторым критериям их превосходят.





Видеть сегодня промышленное оборудование будущего невозможно, **но технологии производства электроники для него — необходимо**

Гибкость, точность и надежность, что будут присущи промышленному оборудованию завтра, зависят от технологий его производства, которые необходимо внедрять сегодня. У нас уже есть решения для такого развития, разработанные в сотрудничестве с мировыми поставщиками новейшего оборудования и технологий. Эти решения позволяют найти оптимальный путь к успеху производства промышленной электроники.



будущее  
создается

[www.ostec-group.ru](http://www.ostec-group.ru)  
(495) 788 44 44  
[info@ostec-group.ru](mailto:info@ostec-group.ru)



# Современные технологии визуализации тонких структур.

## Растровая электронная микроскопия Часть 2



Текст: Андрей Ляпин, к.г.-м.н.



Развитие растровой электронной микроскопии началось через несколько лет после изобретения в 1931 году Эрнстом Руски просвечивающего электронного микроскопа. Однако потребовалось примерно 30 лет для начала коммерческого производства РЭМ. Развитие этой технологии связано с именами Макса Кнолля (Германия), Манфреда фон Ардене (Германия), Владимира Зворыкина (США), Чарльза Отли (Великобритания), Мака Маллана. Первые производства электронных микроскопов были созданы в 1965 году в Великобритании (Cambridge Scientific Instrument) и Японии (JEOL). В последующие четыре десятилетия было собрано несколько десятков тысяч растровых электронных микроскопов.

Современные РЭМ значительно превосходят первые модели по разрешению и функциональности и продолжают постоянно совершенствоваться, превращаясь во все более точные и сложные инструменты. Сегодня используется множество типов РЭМ, характеристики и функциональность которых значительно отличаются друг от друга. Чтобы эффективно использовать РЭМ, необходимо понимать как он функционирует, а также знать причины возникновения контраста растровых изображений, формируемых электронами.

## Устройство РЭМ

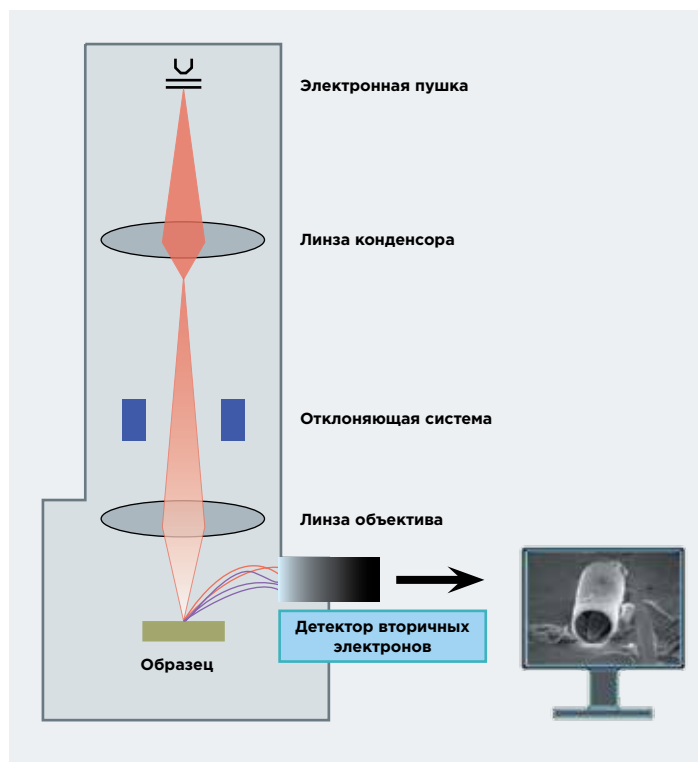
### КОНСТРУКЦИЯ МИКРОСКОПА

Простейший растровый электронный микроскоп состоит из системы электронной оптики, формирующей электронный пучок, столика образцов, детектора для регистрации вторичных электронов, дисплея для вывода изображения и управляющей программы рис 9. Система электронной оптики включает электронную пушку, линзы конденсора и объектива, отклоняющую катушку для сканирования электронным пучком и другие компоненты.

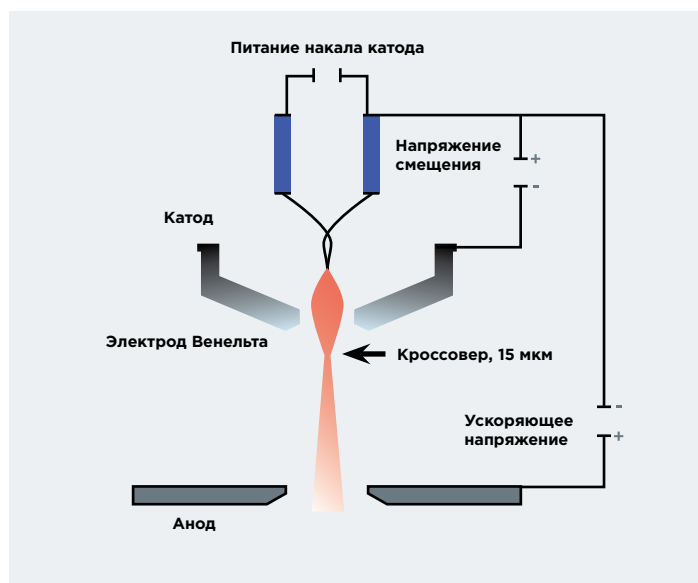
Система электронной оптики (внутри колонны микроскопа) и пространство вокруг образца располагаются в среде вакуума.

### ЭЛЕКТРОННАЯ ПУШКА

Электронная пушка генерирует пучок электронов. На рис 10 показано устройство пушки термоэмиссионного типа (ТЕ). При нагревании до температуры примерно 2800К катода, сделанного из вольфрамовой проволоки диаметром около 0,1 мм, возникает температурная эмиссия электронов с его поверхности. Термоэлектроны собираются в электронный пучок и движутся по направлению к аноду под воздействием приложенного к нему положительного заряда высокого напряжения, обычно от 1 до 30 кВ. В центре анода есть отверстие, через которое проходит пучок электронов. Между катодом и анодом размещают электрод, называемый электродом Венельта, на который подают отрицательный заряд, регулируя величину тока электронного пучка. Воздействуя таким образом на электрод Венельта, можно выполнять тонкую фокусировку пучка электронов. Место, где электронный пучок имеет минимальный диаметр поперечного сечения, называется кроссовером и его принято рассматривать в качестве фактического источника электронов. Диаметр кроссовера — обычно 15-20 мкм. В растровой электронной микроскопии наиболее часто используются пушки термоэмиссионного типа с катодом из вольфрама. Такие пушки получили широкое распространение из-за относительно невысо-



9 Принципиальное устройство РЭМ



10 Устройство электронной пушки

кой стоимости владения прибором. Помимо вольфрама в качестве материала катода можно использовать монокристаллический гексаборид лантана  $\text{LaB}_6$  или гексаборид церия  $\text{CeB}_6$ . Срок службы такого катода выше, и его использование позволяет получать более контрастные изображения. Однако для работы  $\text{LaB}_6$  катода требуется более высокий вакуум вследствие высокой эмиссионной активности гексаборида лантана. Другие типы электронных пушек: пушка с полевой эмиссией (FE) и электронная пушка с эмиссией Шотки (SE).

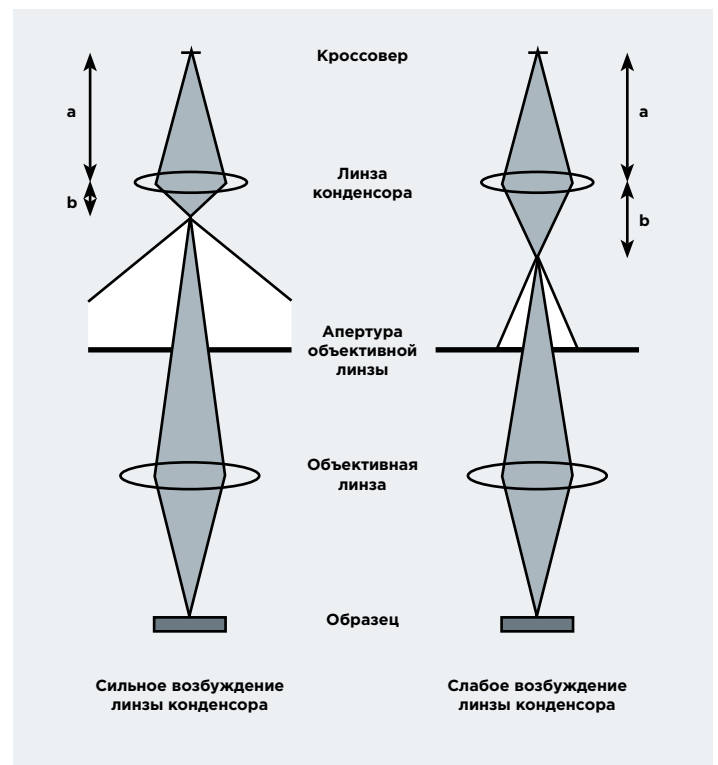
### ЛИНЗЫ ОБЪЕКТИВА И КОНДЕНСОРА

Для работы РЭМ необходим тонкий электронный пучок (зонд). Можно регулировать диаметр электронного пучка, если поместить на выходе электронной пушки регулируемое магнитное поле, создаваемое элементами электронной оптики. Поток электронов из электронной пушки регулируется двухкаскадной электромагнитной линзой, включающей линзу конденсора и линзу объектива. В результате на поверхности образца фокусируется тонкий электронный зонд **рис 11**.

Усиление или ослабление возбуждения линзы конденсора позволяет изменять толщину электронного пучка. Между линзой конденсора и линзой объектива размещается «апертура» — тонкая металлическая пластинка с небольшим отверстием. Пучок электронов, проходя через линзу конденсора, освещает пластинку, а апертура пропускает только часть электронного пучка, которая и достигает объективной линзы. При увеличении возбуждения линзы конденсора электронный пучок, падающий на апертуру, значительно расширяется, поэтому число электронов (величина тока зонда), достигающих линзы объектива, уменьшается. И, наоборот, при уменьшении возбуждения пучок электронов расширяется не столь значительно и большая доля электронов, проходя через апертуру, достигает линзы объектива. Таким образом, настраивая уровень возбуждения линзы конденсора, можно изменять диаметр электронного зонда и его ток. Однако увеличение уровня возбуждения линзы конденсора до бесконечности не приведет к тому, что диаметр электронного зонда станет бесконечно малым. Объективная линза используется для фокусировки, и именно она формирует окончательный диаметр электронного зонда. Если рабочие характеристики линзы объектива недостаточно хороши, то практически невозможно получить электронный зонд оптимального диаметра, несмотря на все усилия по регулировке пучка перед линзой объектива. Таким образом, качество и характеристики объективной линзы — одни из ключевых факторов в работе электронного микроскопа.

### СТОЛИК ОБРАЗЦОВ

В электронном микроскопе образцы исследуют при большом увеличении, поэтому очень важно обеспечить точность перемещения образца. Кроме того, чтобы об-



11

Формирование зонда электронными линзами

### Назначение апертуры объективной линзы

Если использовать всю открытую область объективной линзы, невозможно получить тонкий электронный зонд вследствие сферических aberrаций. Чтобы снизить их влияние, используется тонкая металлическая пластинка с небольшим отверстием, называемая «апертурой». Через апертуру должна проходить только та часть электронного луча, которая проходит через центр объективной линзы. Смещение апертуры относительно центра объективной линзы приводит к значительному увеличению aberrаций, и формирование тонкого электронного зонда становится невозможным. Именно поэтому апертура объективной линзы должна располагаться строго по центру оптической оси.

разец не «улетел» в вакуум, его необходимо закрепить. Для этих задач используют специальный предметный столик, который позволяет хорошо зафиксировать образец и обеспечивает механизм плавного перемещения. Предметный столик для существующих РЭМ может быть оснащен механизмами для перемещения по горизонтали (X, Y) и вертикали (Z), наклона (T) и поворота (R). Перемещение по X и Y используется для выбора поля зрения.

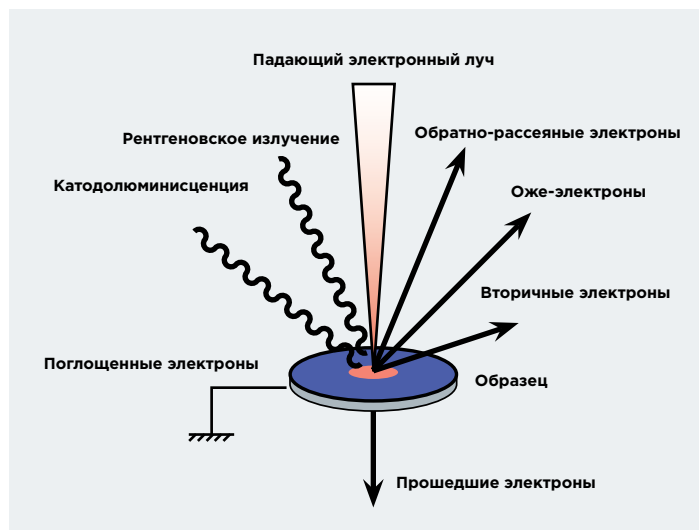
Перемещением по Z изменяют разрешение изображения и глубину фокуса. Наклон столика требуется при исследовании образцов с кристаллической фазой. В некоторых РЭМ используется эвцентрический столик — сложное электронное устройство с точной механикой. Благодаря такому столику не происходит смещения оси наблюдения при наклоне образца, так же как и не происходит расфокусировки при перемещении поля зрения наклоненного образца. В последние годы в дополнение к столикам с ручным управлением все чаще используются столики с моторизованным приводом, в том числе управляемые компьютером. Используя такое управление, можно перемещать столик в выбранную точку мышкой, возвращать его в желаемое место наблюдения, использовать более тонкие и специфичные эвцентрические функции.

### СИСТЕМА ВАКУУМА

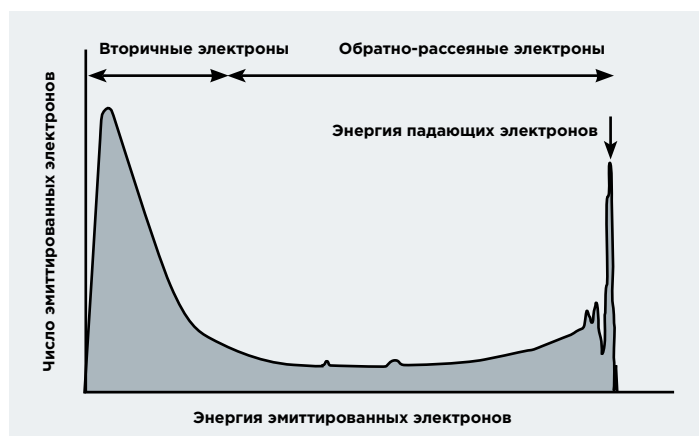
Для работы электронно-оптической системы в колонне термоэмиссионного микроскопа как и в камере образцов должен поддерживаться вакуум с давлением от  $10^{-3}$  до  $10^{-4}$  Па. Обычно эти отсеки откачивают диффузионным насосом. Когда требуется безмасляная среда, используют турбомолекулярный насос. Если в РЭМ установлена пушка с полевой эмиссией (FE), пользуются электроразрядным насосом, поскольку для работы FE пушки необходим вакуум порядка  $10^{-6}$ – $10^{-8}$  Па. Для смены образца требуется восстанавливать давление в камере до атмосферного. В существующей аппаратуре используют два варианта смены образцов. В первом варианте камера с образцом вентилируется полностью, во втором — девакуумируют только предварительную камеру (воздушный шлюз), в то время как в основной камере поддерживается высокий вакуум. Замена образца по первому варианту требует временных затрат на откачку камеры, и у разных промышленных микроскопов она занимает от 2-3 минут до нескольких часов. При использовании шлюза время откачки занимает около минуты, однако использование шлюза — дорогое решение, обычно такими камерами оснащаются микроскопы высокого класса. Использование шлюзовой камеры предпочтительно при большом объеме исследовательской работы и актуально для микроскопов, оснащенных большими камерами для образцов.

### Формирование РЭМ изображения

Когда РЭМ изображение выглядит так, как мы привыкли видеть его невооруженным глазом, не возникает трудностей в понимании и оценке свойств образца. Однако на РЭМ изображении часто можно увидеть непривычный и трудно объяснимый контраст. Чтобы правильно интерпретировать морфологические свойства поверхностных структур при наблюдении подобного контраста, необходимо понимать принцип формирования РЭМ изображения.



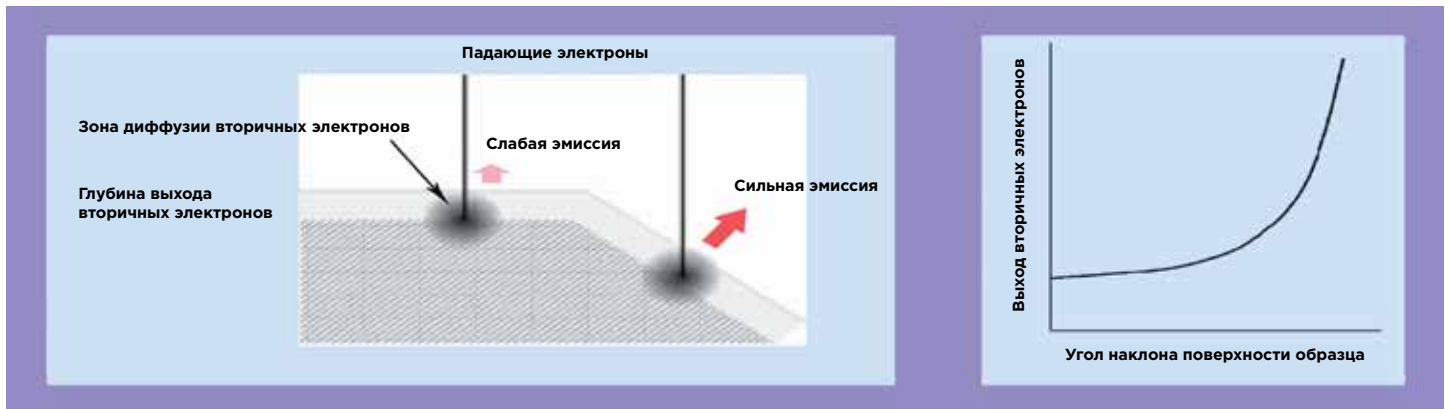
12 Эмиссия электронов и электромагнитных волн из образца



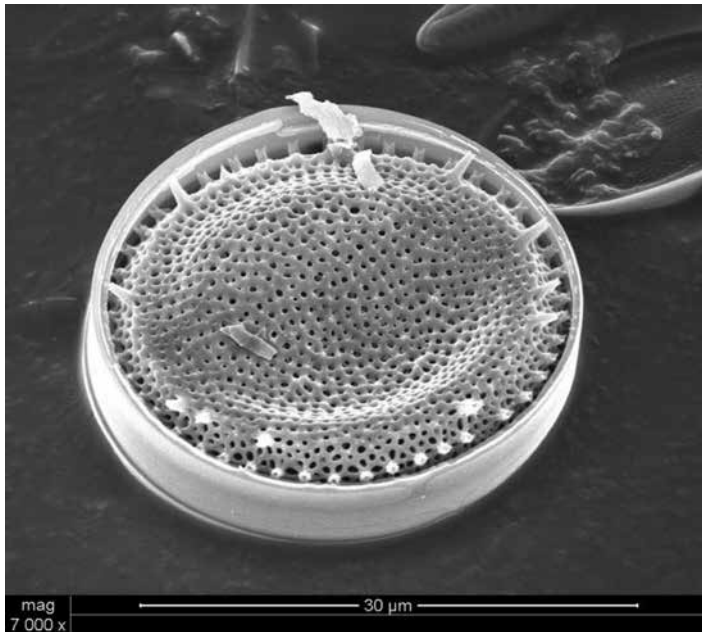
13 Распределение энергии электронов эмиттированных из образца

### ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЭЛЕКТРОНОВ С ОБРАЗЦОМ

Падающие электроны зонда рассеиваются внутри образца, постепенно теряют энергию и поглощаются. Область рассеяния электронов зависит от энергии электронов, атомного номера и плотности упаковки атомов. Чем выше энергия падающих электронов, тем больше диапазон рассеяния; чем больше атомный номер и плотность образца, тем область рассеяния меньше. На рис. 12 показана схематичная диаграмма, иллюстрирующая различные сигналы, эмитируемые образцом после облучения его электронным пучком. Анализируя эти сигналы, можно получать информацию не только о морфологии поверхности (точнее подповерхностного слоя), но и выполнять элементный и структурный анализ образца. В растровой электронной микроскопии для формирования изображения используют вторичные и обратнорассеянные электроны. Распределение энергии различных электронов, эмиттированных из образца, показано на рис. 13. Как правило, энергия вторичных электронов ограничивается значением 50 эВ и менее; в то время как спектр энергий обратнорассеянных электронов очень



14  
Выход вторичных электронов в зависимости от угла облучения



15  
Различия в яркости, связанные с углом выхода вторичных электронов. (Автор фотографии Frans Holthuysen)

широк и варьирует от значений, эквивалентных энергии падающих электронов до низких значений порядка 50 эВ. Небольшие пики в спектре обратно-рассеянных электронов на рис. 15 соответствуют электронам Оже.

### ВТОРИЧНЫЕ ЭЛЕКТРОНЫ

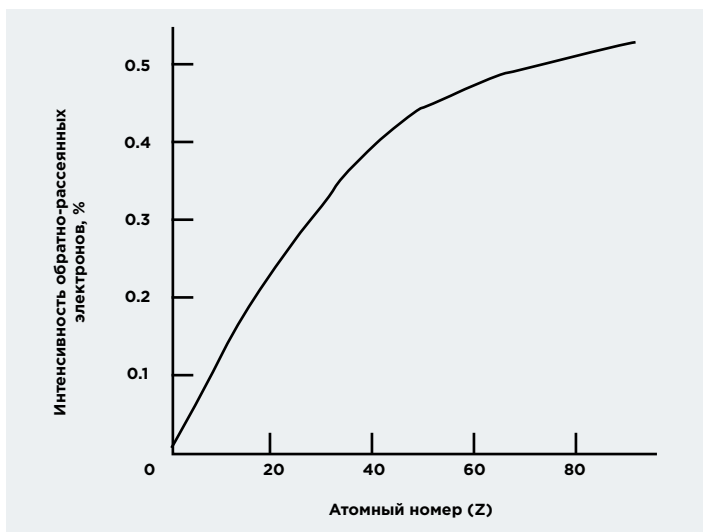
При внедрении в образец падающего электронного пучка возникает эмиссия вторичных электронов, происходящая из свободных валентных электронов, слагающих образец атомов. Так как энергия вторичных электронов очень мала, те, которые генерируются в глубоких слоях, быстро поглощаются образцом. С поверхности образца вылетают только те электроны, которые генерируются вблизи его поверхности или на ней. Это означает, что эмиссия вторичных электронов очень чувствительна к морфологии поверхности. Кроме того, она выше, когда

падающие электроны достигают образца под углом (чем при облучении перпендикулярно поверхности) рис. 14.

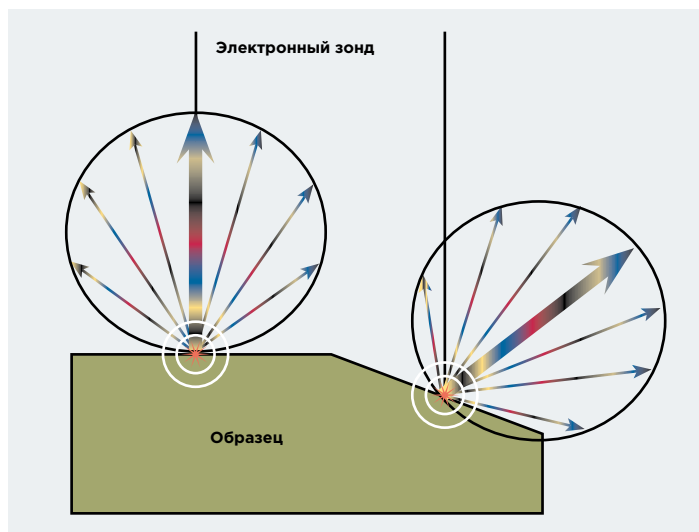
На рис. 15 показано изображение раковины диатомеи во вторичных электронах. Различия в яркости поверхности связаны с различиями угла падения электронов. Таким образом, вторичные электроны прекрасно отражают морфологию поверхности и используются для ее изучения. Поскольку вторичные электроны обладают малой энергией, процесс их выхода подвержен влиянию электрического потенциала вблизи поверхности. Как результат, когда образец электрически заряжается, наблюдается аномальный контраст, а вторичные электроны можно использовать для измерения тока, наведенного электронным пучком в полупроводниковых приборах.

### ОБРАТНО-РАССЕЯННЫЕ ЭЛЕКТРОНЫ

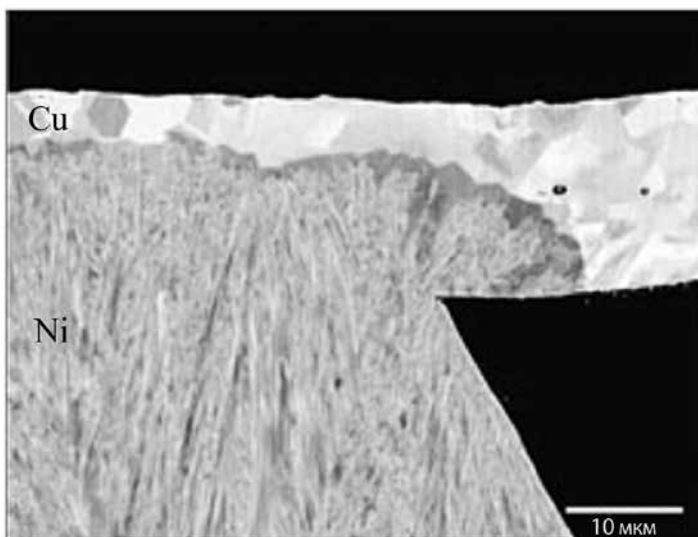
Обратно-рассеянные электроны — это упруго отраженные первичные электроны, излучаемые обратно образцом, без энергетических потерь при его бомбардировке электронным зондом. Иногда их называют отраженными электронами. Обратно-рассеянные электроны несут информацию об относительно глубоких зонах, так как обладают намного более высокой энергией, чем вторичные электроны. Обратно-рассеянные электроны чувствительны к элементному составу образца. Их энергия тем больше, чем больше атомный номер слагающих образец атомов рис. 16. То есть на изображении в обратно-рассеянных электронах участок, состоящий из тяжелых элементов, выглядит ярче. Такой контраст часто называют композиционным контрастом. Его можно использовать для визуализации различий в элементном составе образца. Интенсивность обратного отражения электронов выше в зеркальном направлении рис. 17. Это свойство применяется для изучения морфологии поверхности образцов, поскольку позволяет наблюдать топографический контраст в обратно-рассеянных электронах. Если электронный луч входит в кристаллический образец однородного элементного состава, изменения интенсивности обратно-рассеянных электронов отражают ориентацию кристаллов. Использование этого



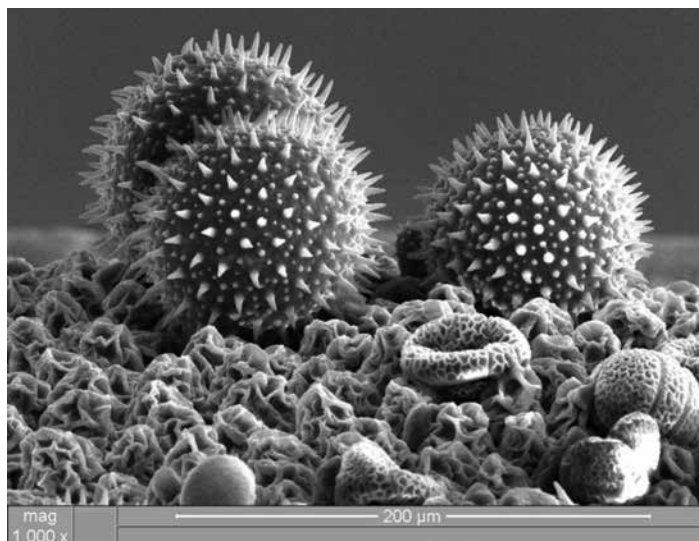
16 Зависимость интенсивности выхода обратно-рассеянных электронов от атомного номера



17 Отношение между углом падения электронного зонда и интенсивностью обратно-рассеянных электронов



18 Контраст от каналирования электронов (ECC)

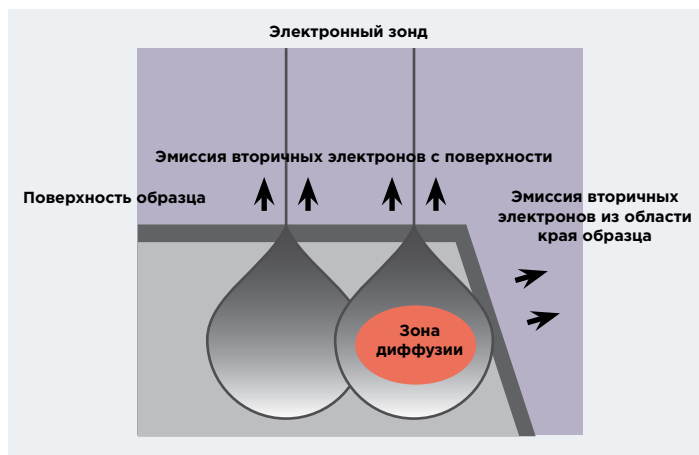


19 Проявление краевого эффекта (автор фотографии Frans Holthuysen)

явления позволяет наблюдать различия в кристаллической ориентации рис 18. Подобный контраст называют контрастом от каналирования электронов (ECC). К изменению контраста этого вида приводит даже легкий наклон кристаллического образца.

### КРАЕВОЙ ЭФФЕКТ

Если на поверхности образца имеются тонкие чешуйки, ступеньки или выступы рис 19, их края выглядят как яркие участки с несколько большей шириной, чем они имеют в действительности. Это явление называется краевым эффектом. Когда электронный зонд облучает участок вблизи края неровности, вторичные электроны, сгенерированные в зоне диффузии первичных электронов, более интенсивно излучаются из области, которая находится ближе к границе раздела сред рис 20.



20 Диффузия первичных электронов и результирующий краевой эффект

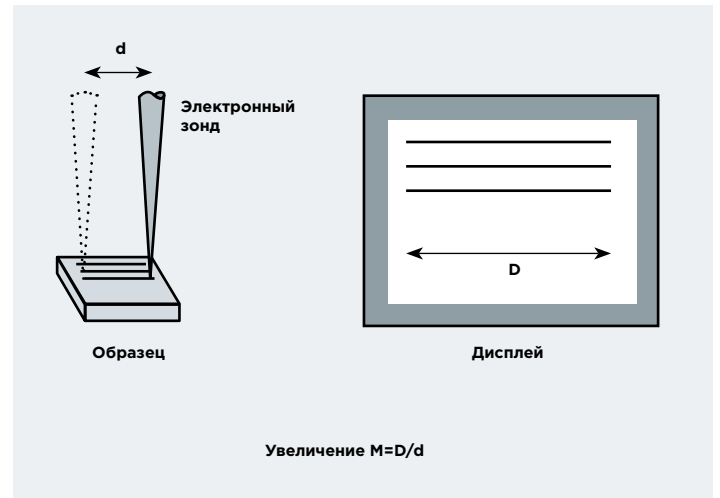
### Рабочие характеристики РЭМ

В процессе сканирования образца электронным зондом по двум осям на экран монитора выводится РЭМ изображение. И если ширина зоны сканирования меняется, то меняется и увеличение выводимого РЭМ изображения. Поскольку размер экрана монитора не изменяется, то уменьшение ширины зоны сканирования приводит к увеличению, и наоборот — увеличение ширины зоны сканирования приводит к уменьшению изображения **рис 21**.

Например, если размер экрана монитора 10 см, то при ширине сканирования 1 мм мы имеем увеличение в 100 раз, если ширина сканирования 10 мкм, увеличение составит 10 000 крат. Исторически так сложилось, что увеличение микроскопа рассчитывают для экрана, принятого за стандартный с размерами 12 см по горизонтали и 10 см по вертикали (у разных производителей РЭМ эти размеры немного различаются). Если используется дисплей большего, чем стандартный, размера, увеличение выводимого РЭМ изображения становится больше. В этом случае увеличение и размер объекта рассчитывают, используя в качестве базы отсчета выводимую на экран стандартную шкалу.

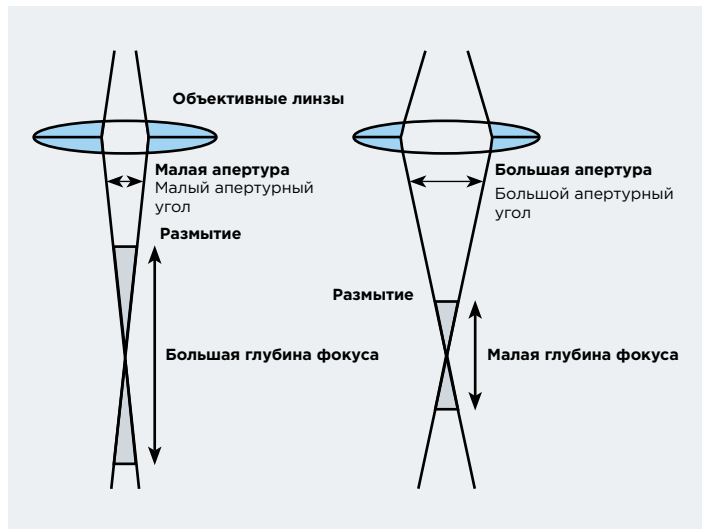
#### ГЛУБИНА ФОКУСА РЭМ

Когда в обычном микроскопе исследуют образец, имеющий глубокий рельеф, то при фокусировании на его верхнем участке нижний участок может выглядеть расфокусированным. Если диапазон четкого изображения между верхним и нижним положениями значительный, говорят, что «глубина фокуса большая». Если диапазон сфокусированного пространства между верхом и низом небольшой, говорят, что «глубина фокуса маленькая». Когда электронный пучок близок к параллельности (угловая апертура мала), изображение остается в фокусе даже

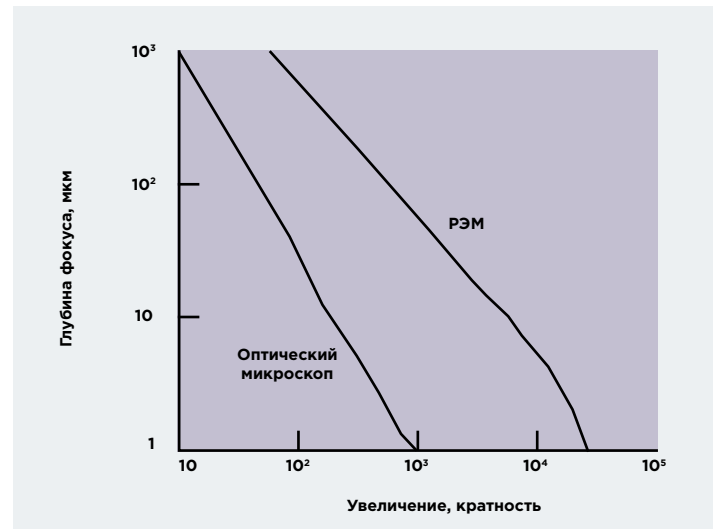


**21** Принцип формирования увеличения РЭМ

при значительном изменении фокусировки **рис 22**. Если электронный зонд сильно расходится (угловая апертура большая), изображение теряет фокус даже при его незначительном изменении. То же происходит и в оптическом микроскопе, где при уменьшении апертурного угла глубина фокуса становится большой, а при большом угле — малой. Глубина фокуса прямо зависит от увеличения **рис 23**. При низком увеличении размытие изображения может быть незаметным, однако по мере роста увеличения оно становится все более значительным. Иными словами, глубина



**22** Соотношение между угловой апертурой электронного зонда и глубиной фокуса




**23** Различия между электронным и оптическим микроскопами по глубине фокуса

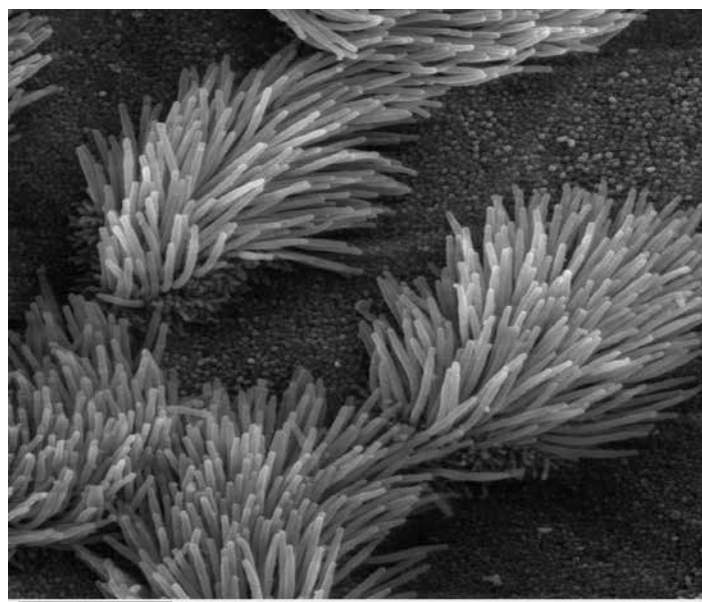


фокуса обратно пропорциональна увеличению. У стереомикроскопа глубина фокуса несколько больше, чем у обычного микроскопа, однако с помощью РЭМ можно получить глубину фокуса на порядок больше. Это связано с тем, что угловая апертура электронного зонда РЭМ много меньше, чем у объективов оптического микроскопа. Глубину фокуса РЭМ изображения можно оценить по фотографии, сделанной при увеличении 5000х **рис 24**. Глубина фокуса РЭМ зависит также от условий формирования изображения. Прямое сравнение глубины фокуса на оптическом и электронном микроскопах показано на фотографии разлома винта **рис 25**. Участки изображения со значительными перепадами высот в оптическом микроскопе выглядят расфокусированными. И, наоборот, на РЭМ изображении вся поверхность выглядит резкой из-за большой глубины фокуса.

#### ВЛИЯНИЕ УСКОРЯЮЩЕГО НАПРЯЖЕНИЯ

При изменении ускоряющего напряжения изменяется глубина проникновения первичных электронов — чем оно выше, тем глубже проникновение. Внутри образца электронный зонд расширяется, вызывая эмиссию электронов из подповерхностной области. При увеличении ускоряющего напряжения излучение из глубины образца создает фон, ухудшающий контраст изображения поверхности. Если образец внутри структурирован, высокое ускоряющее напряжение приводит к наложению изображения внутренней структуры на изображение поверхности, и результирующее изображение становится нечетким. Кроме того, чем выше ускоряющее напряжение, тем больше проявляется краевой эффект. Таким образом, для того чтобы получить четкое изображение структуры поверхности, лучше использовать низкое ускоряющее напряжение. На **рис 26** показаны изображения пластинчатых кристаллов нитрида бора, полученные при трех разных ускоряющих напряжениях. Тонкие кристаллы соли этих элементов, имеющих малый атомный номер, перекрывают друг друга. При высоком ускоряющем напряжении (10 кВ) начинают «просвечивать» кристаллы, лежащие под поверхностью. На изображении «плавающих» кристаллов можно видеть яркие и темные участки. Контраст ярких участков сформирован детектированием вторичных электронов, эмитированных с нижней поверхности «плавающих» кристаллов. Темные же участки наблюдаются там, где кристаллы, расположенные непосредственно под «плавающими», препятствуют эмиссии вторичных электронов с их нижней поверхности. При уменьшении ускоряющего напряжения до 1 кВ ступенчатые структуры кристаллов становятся четкими и видны с хорошим контрастом.

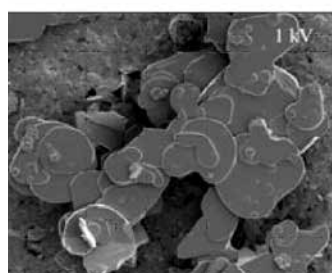
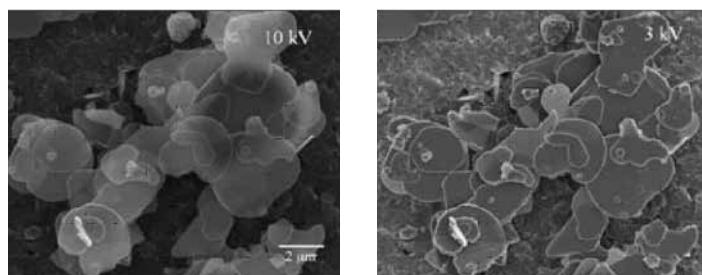
В следующей статье мы расскажем о типах электронных пушек. 



**24** Глубина фокуса на РЭМ изображении при увеличении 5000х



**25** Изображения в оптическом (слева) и электронном (справа) микроскопах одного поля зрения



**26** Различия контраста изображений во вторичных электронах зависят от ускоряющего напряжения. Образец: Пластинчатые кристаллы нитрида бора

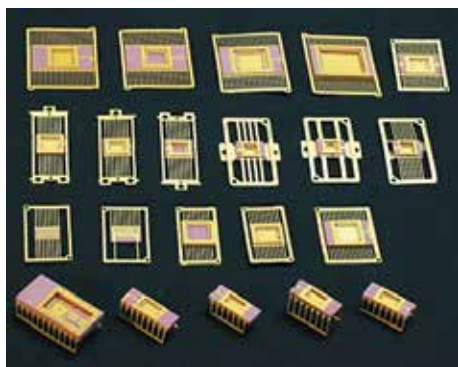
# Вопросы формирования многослойного керамического пакета

## для производства LTCC и HTCC

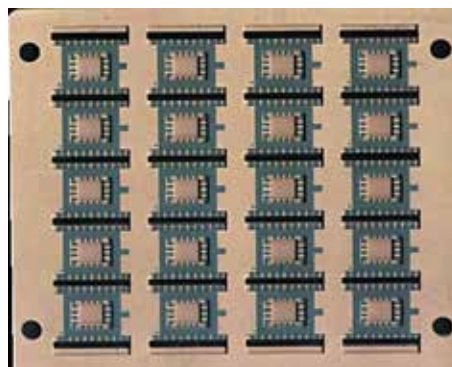
Текст: Виктор Черных  
Ежи Штупар  
Андрей Хохлун  
Сергей Чигиринский

”

В статье описаны методы формирования многослойного металлизированного пакета на основе низко- (LTCC) и высокотемпературной (HTCC) керамики.



2 Маловыводные корпуса ИС производства ОАО «ДЗРД» (Донской)



3 Керамический трехслойный пакет корпуса ИС производства ОАО «ДЗРД» (Донской)

Формирование многослойного керамического пакета — одна из операций типового процесса изготовления керамических HTCC и LTCC комплектующих для изделий радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) (установка SW на рис 1). В этом процессе особенно важны такие параметры, как: герметичность, геометрическая точность размеров изделия и его внешний вид.

Создание плотного многослойного керамического пакета возможно, в первую очередь, благодаря специальным органическим связующим в составе сырых керамических карт (единичных слоёв). При термомеханическом воздействии на совмещаемые карты формируется «сырой» пакет, готовый к проведению дальнейших операций: разделение на дискретные или промежуточные элементы (например, полосы, если необходимо проведение дополнительных операций по формированию торцевых металлизированных элементов изделия). Разделение «сырого» пакета выполняется как стандартной рубкой на установке SM-15 (на прямоугольные элементы), так и фрезеровкой/сверлением на установке CNC (на элементы круглой/овальной или сложной формы).

Значительная роль в процессе создания многослойного керамического пакета отведена технологическому оборудованию и оснастке, что связано с конструктивными особенностями керамического комплектующего изделия.

## Особенности формирования многослойного керамического пакета

### 1. ПО КОНСТРУКТИВНОМУ ПРИЗНАКУ ИЗДЕЛИЯ

Многослойные керамические изделия условно можно разделить на две группы.

**Группа 1.** Изделия, состоящие из 2-5 керамических металлизированных слоев толщиной 300-1200 мкм (значительная номенклатура массовых маловыводных керамических корпусов интегральных схем (ИС), керамические подложки ГИС) рис 2<sup>1</sup>.

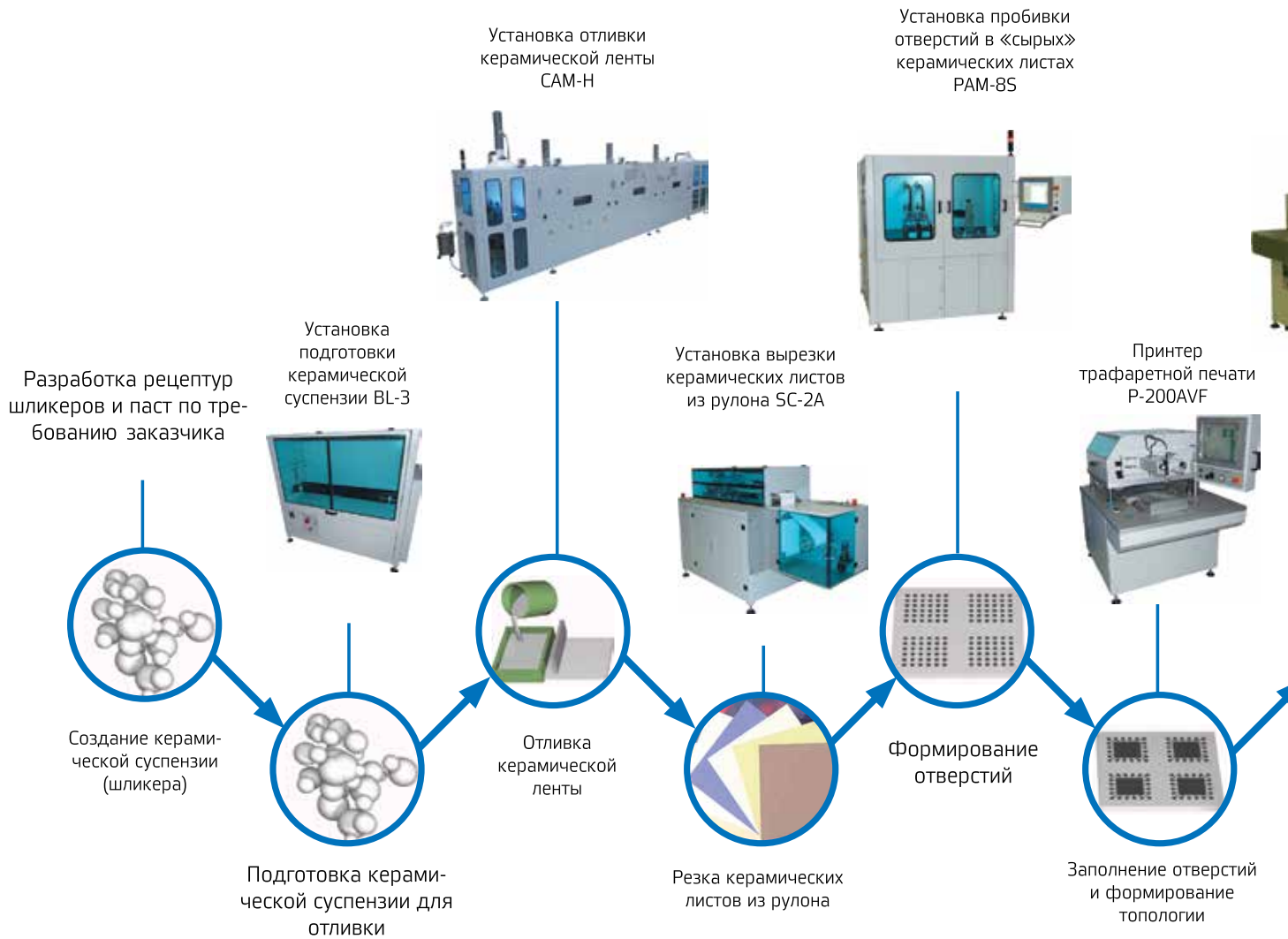
Отличительные особенности процесса формирования многослойного пакета для данных конструктивов: использование для предварительной сборки пакета простых приспособлений (металлические пластины) с центровкой карт с базовыми отверстиями на пины (металлические штыри) и дальнейшим ламинированием (замоноличиванием или прессованием) на одноосном термопрессе рис 4<sup>2</sup>.

**Достоинства:** высокая производительность (до 3000 шт./час 16-выводных корпусов ИС), возможность совмещения операций предварительной сборки и замоноличивания, простота конструкций оборудования и оснастки.

**Недостатки:** малая точность совмещения карт в пакете (определяется точностью оформления базовых отверстий и абразивной стойкостью пинов кассеты) —

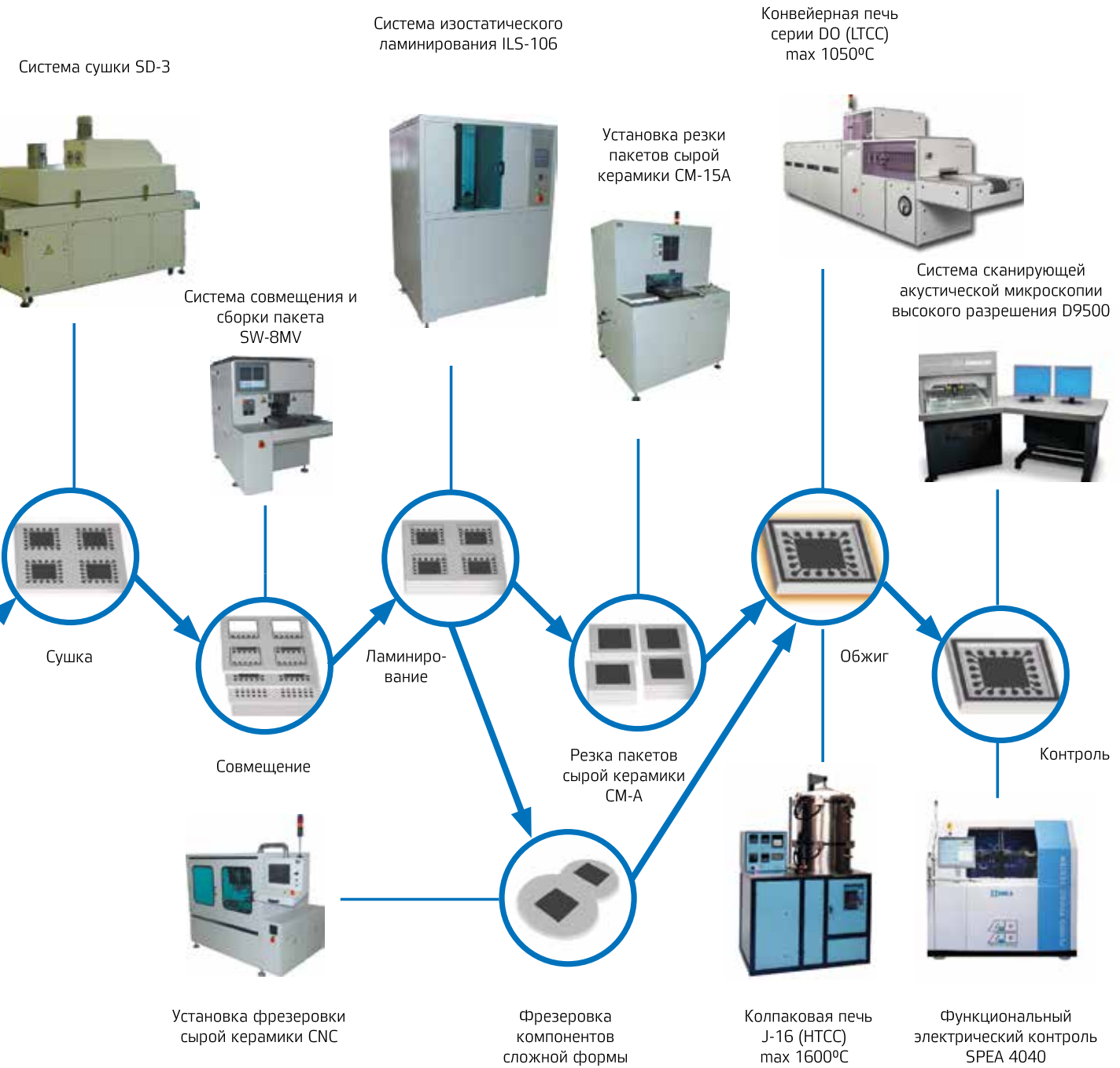
1 <http://www.alund.ru>

2 <http://www.keko-equipment.com>



1

Типовой процесс изготовления керамических НТСС и LTCC комплектующих

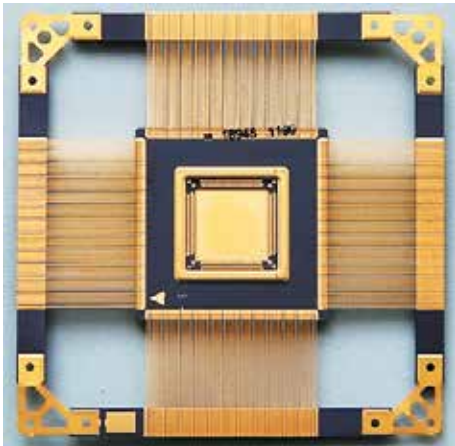




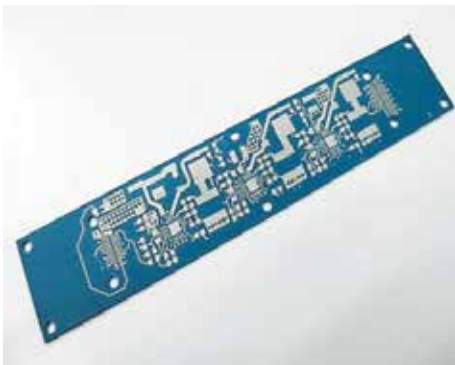
4 Термопресс TPR-12 производства КЕКО Equipment Ltd., Словения

примерно  $\pm 100$  мкм; ограниченность диапазона давлений при прессовании многослойных структур (более 7-10 слоев) из-за увеличения дефектов по геометрии и герметичности изделия (т. е. избыточное давление приводит к деформации пакета по всем осям, а недостаточное давление — к деламинации (расслоению) при дальнейшей работе с пакетом).

**Группа 2.** Изделия под мелкую и среднюю серии, имеющие в своем составе десятки керамических металлизированных слоев толщиной 50-250 мкм (многовыводные керамические корпуса различных типов рис 5, керамические коммутационные платы рис 6, керамические компоненты СВЧ устройств).



5 12-слойный НТСС корпус для ПЛИС производства Куосера (Япония)



6 Пример многослойной керамической платы со встроенными пассивными компонентами (LTCC)



7 Установка укладки в стопку SW-8VH производства КЕКО, Словения



8 Система изостатического ламинирования ILS-1010 производства КЕКО, Словения

Отличительные особенности процесса формирования многослойного пакета для данных конструктивов: использование для предварительной сборки пакета специализированной установки пакетирования рис 7 с автоматической оптической центровкой карт по базовым элементам на карте (отверстия и реперные знаки, выполненные методом трафаретной печати) с дальнейшим ламинированием (замоноличиванием) на изостатическом термопрессе рис 8.



9 Установка вакуумирования керамических карт в герметичный пакет

**Достоинства:** высокая точность совмещения карт в пакете (типично  $\pm 10$  мкм); возможность создания пакета значительной толщины (до 5 мм).

**Недостатки:** увеличение цикла и сложности изготовления деталей, в т. ч. необходимость применения дополнительного оборудования — заварки керамических карт в герметичный пакет с предварительным вакуумированием рис 9.

Дополнительные условия создания многослойного пакета, имеющего в слоях отверстия (сквозные или глухие т. н. «колодцы») для монтажа дискретных элементов.

Для предотвращения искажения геометрии отверстий (особенно для пакета с большим количеством слоев) обычно применяются специальные пластиковые материалы-заполнители объема отверстий, что предотвращает их деформацию в процессе ламинирования. Для изготовления опытных партий используют гели, силиконовые компаунды, наносимые и удаляемые после ламинирования вручную. Одним из вариантов при изготовлении макетных и опытных образцов может быть использование твердых вставок (например, металлических), обернутых тефлоновой пленкой. При серийном производстве — многоступенчатые вставки из тефлона или силикона рис 10, изготовленные методом литья в форму-модель или с помощью механической обработки<sup>3</sup>.

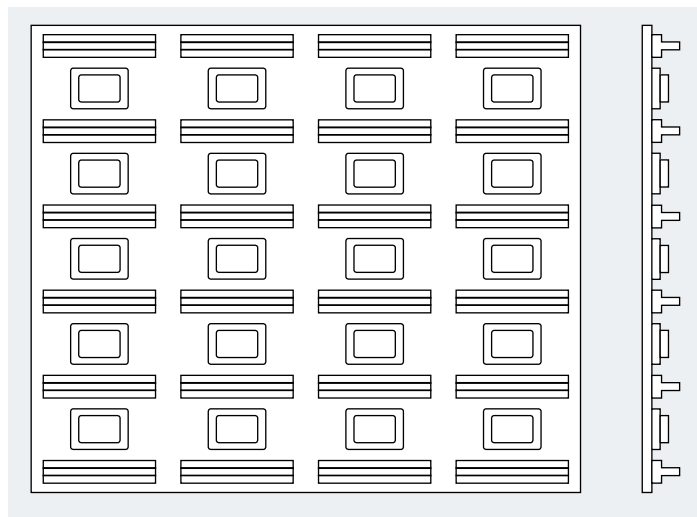
## 2. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИЕМЫ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ МНОГОСЛОЙНОГО ПАКЕТА

При ламинировании пакета происходит уплотнение керамической пленки, и есть зависимость значения усадки от давления. Пример такой зависимости для керамики Ferro L8 представлен на рис 11<sup>4</sup>. Для предотвращения возникновения дефектов изделия (искажение геометрии, в т. ч. коробление; появление трещин и расслоений — нарушение герметичности и появление короткого замыкания/отсутствия контакта) при формировании пакета следует применять специальные технологические приемы.

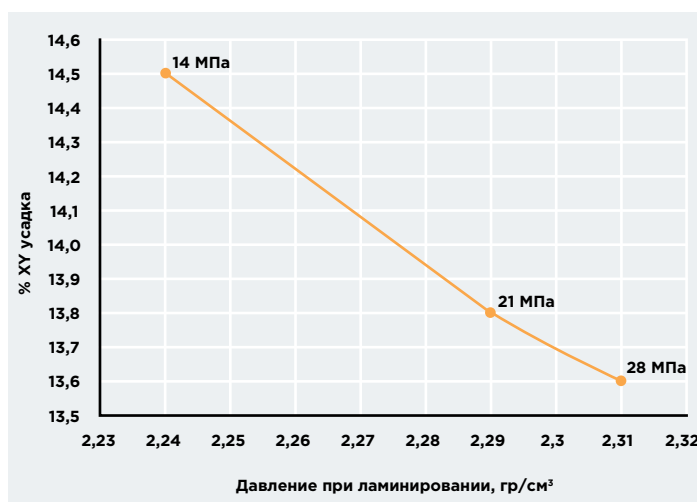
Давление на каждый лист, как правило, и для каждого последующего листа в стеке одинаковое.

Стандартная рекомендация при отработке процесса прессования:

- установить давление и температуру, которые одинаково важны для получения наилучшего результата, исходя из рекомендаций производителя;



10 Конструкция многоступенчатой вставки для ламинирования пакета на рис. 3: вид сверху (слева) и вид с торца (справа)

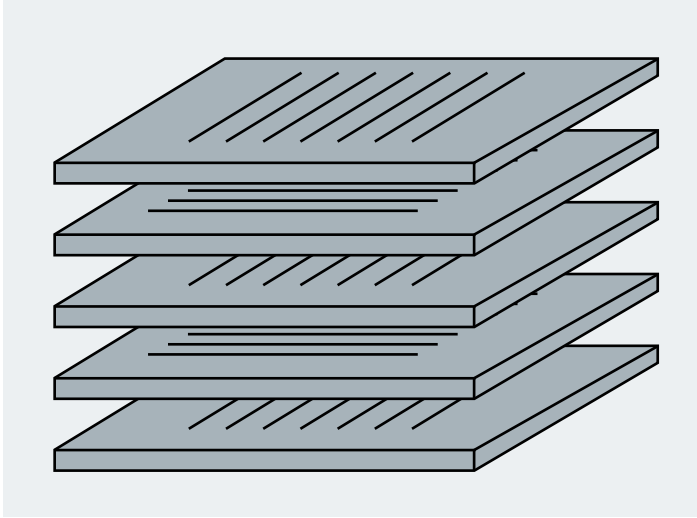


11 Зависимость усадки керамики Ferro L8 от давления при ламинировании

- изготовить 3-5 «стеков-пустышек» (керамические образцы согласно конструкторской документации (КД), но без металлизации и межслойных отверстий, т. е. только с колодцами) при установленном давлении и на 2-3 МПа выше/ниже рекомендованного и вырубить на конечные образцы с помощью СМ-15. Далее провести обжиг, измерить актуальную усадку по осям, проверить соответствие геометрии КД и оценить финальную плотность.

3 «Правила проектирования многослойных LTCC структур», ред. ООО «Остек-ЭК»

4 <http://www.ostec-materials.ru/materials/ferro-l8-ltcc-sistema-dlya-svch-ustroystv-do-31gts.php>



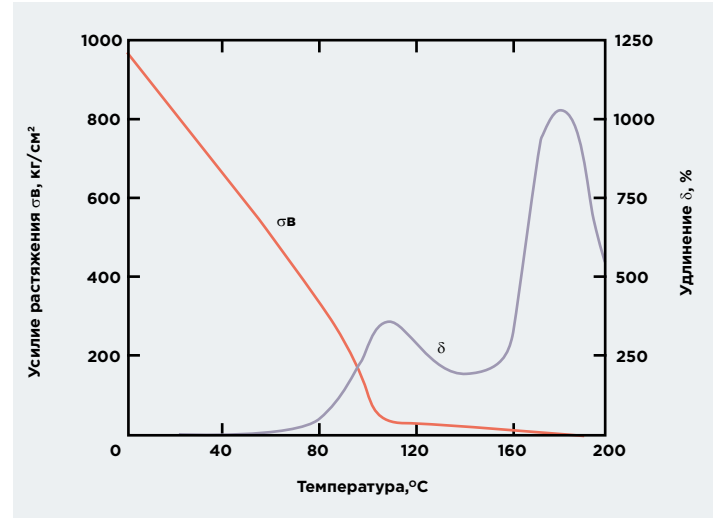
12

Чередование карт через 90° по направлению литья пленки

Кроме того, используются следующие стандартные приемы, позволяющие значительно «усреднить» характеристики используемых керамических карт при пакетировании и ламинировании:

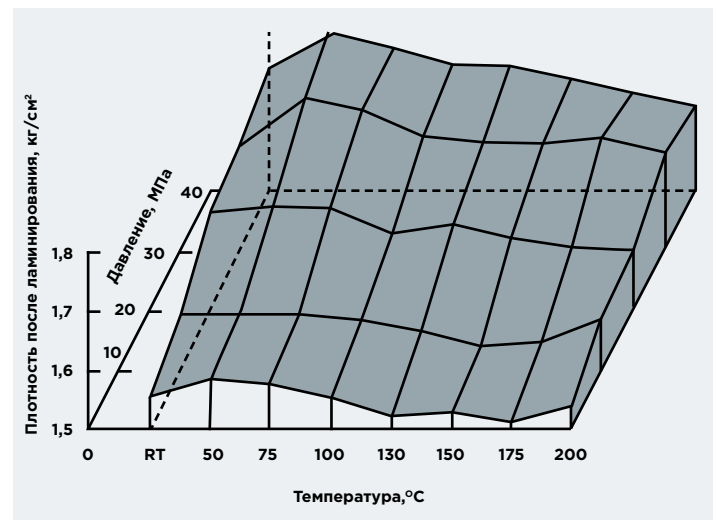
- поворот каждого керамического листа на 90° в направлении литья пленки незначительно уменьшает разницу в значении усадки по осям X, Y по всему пакету рис 12<sup>5</sup>;
- ограничение площади металлизационного рисунка на внутренних картах пакета (типично 50 %, см. «Правила проектирования многослойных LTCC структур» ред. ООО «Остек-ЭК»), обеспечивающее требуемые значения механической прочности межслойного соединения пакета при ламинировании и обжиге рис 13, 14.

В статье рассмотрены только некоторые аспекты разработки и производства многослойных металлизированных структур, которые с учетом функциональных особенностей изделий, их объемов и стоимости производства необходимо принимать во внимание разработчикам изделий и процесса изготовления. Дополнительные рекомендации даны в статье «Особенности



13


Зависимость механической прочности от режимов ламинирования



14

Зависимость режимов ламинирования (температура и давление) и прочности межслойного склеивания

трафаретной печати и сборки в стек на оборудовании КЕКО»<sup>6</sup>, в которой обсуждается вопрос взаимосвязи процессов металлизации и сборки в пакет.

**Современные тенденции развития отечественной элементной базы РЭА специального назначения предполагают резкий рост объемов производства изделий из многослойной керамики (LTCC/HTCC), поэтому мы продолжим рассматривать наиболее сложные технологические процессы данной технологии в наших следующих статьях.** 

5 Imanaka Y. Multilayered Low Temperature Co-fired Ceramics (LTCC) Technology. Fujitsu Laboratories, Ltd. Japan, 2005, Springer Science+Business Media, Inc.

6 ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес. 3/2010, стр. 42-44.





## Видеть сегодня вооружение будущего невозможно, **но технологии производства электроники для него — необходимо**

Характеристики, которыми будут обладать электронные комплектующие техники специального назначения завтра, зависят от технологий их производства, что необходимо внедрять сегодня. У нас уже есть решения для такого развития, разработанные в сотрудничестве с мировыми поставщиками новейшего оборудования и технологий. Эти решения позволяют найти оптимальный путь к успеху производства электроники специального назначения.



будущее  
создается

[www.ostec-group.ru](http://www.ostec-group.ru)  
(495) 788 44 44  
[info@ostec-group.ru](mailto:info@ostec-group.ru)



## КАЧЕСТВО

# Пайка в паровой фазе.

## Какую систему предпочитают профессионалы

Текст: **Алексей Синичкин,  
Василий Афанасьев**

”

Популярность конденсационной (парофазной) пайки в России набирает обороты, совсем немного уступая мировым тенденциям. При этом в России есть все предпосылки к большему развитию парофазной пайки, ведь основное применение такие системы находят в мелкосерийном многономенклатурном производстве, которое характерно для львиной доли наших предприятий.



**В** 2013 году в статьях «Пайка в паровой фазе — друг или враг?»<sup>1</sup> мы рассказывали о достоинствах и ограничениях конденсационной пайки. Если сделать некую выжимку тех статей, можно сказать, что пайка в паровой фазе имеет свои нюансы, равно как и любой другой метод оплавления, но те преимущества, которые она дает (при условии ответственного подхода к работе и наличии высокотехнологичного оборудования), выделяют ее среди остальных технологий пайки.

В нашей стране конвекционные печи по-прежнему преобладают над паровыми системами. Часто при выборе оборудования мы ориентируемся на то, «что стоит на сборочном участке у соседа», подсознательно полагая, что «раз он работает, то и у меня получится» или «если у меня не будет получаться, то подсмотрю у него». Эта точка зрения вполне объяснима, логична и, разумеется, имеет право на существование.

Но также существуют предприятия, которые осваивают новые технологии сборки, рассчитывая исключительно на собственные силы. Одно из них — ОАО «НПО электромеханики», г. Миасс. Предприятие внедрило технологию пайки в паровой фазе, когда в пределах нашей родины никто не мог похвастаться наличием какого-либо опыта или знаний в данной области, да и в целом об этой технологии мало кто слышал.

Внедряя данный способ пайки, специалисты ОАО «НПО электромеханики» по большей части самостоятельно разобрались в физических основах и тонкостях процесса. На протяжении уже практически 5 лет они успешно используют технологию у себя на производстве, и, следовательно, по праву могут считаться едва ли не самыми опытными «экспертами по паровой фазе» у нас в стране.

Вдвойне отраднее, что весной 2014 года на предприятии была введена в производство новая система пайки в паровой фазе, поставленная ГК Остек, а именно — SLC 509 производства немецкой компании IBL Technologies.

Нельзя не отметить, что предприятие, имеющее солидный опыт работы с системой пайки одного производителя и изрядную накопленную базу знаний по ней, при необходимости оснащения новой установкой предпочло не идти самым коротким и легким путем, а сделать выбор в пользу технических преимуществ системы другого производителя.

О том, как проходил выбор, о взгляде на технологию и оборудование, о том, какие требования предъявлялись и какие результаты в итоге достигнуты, рассказал начальник производственного комплекса «НПО электромеханики» Владимир Александрович Серебрянников.

### **Владимир Александрович, что послужило толчком к созданию участка поверхностного монтажа? Когда на предприятии появилось первое оборудование?**

После распада СССР, в канун развала отраслевых профильных технологических институтов, в открытой печати появились сведения о наработках по технологии поверхностного монтажа. Изучив информацию, к концу 90-х годов мы всерьез заинтересовались этой технологией, т.к. на протяжении уже нескольких лет выполняли сборку электронных блоков по «конструктиву» поверхностного монтажа вручную.

Но переход на технологию поверхностного монтажа мы начали, используя небольшую американскую конвекционную камерную печь. А первое серьезное оборудование мы приобрели в 2010 году у Остека. Это были трафаретный принтер, полуавтомат для установки компонентов и ультразвуковая отмывка. В том же году у нас появилась система пайки в паровой фазе, но приобретенная у другого поставщика.

### **Технологию поверхностного монтажа внедряли с помощью конвекционной печи. Что же стало причиной выбора именно паровой фазы для оплавления припоя в то время?**

Если говорить о конвекции, то уже тогда для наших изделий была нужна большая печь — не менее семи зон. Но подъемно-транспортное оборудование не позволяло поднять 7- или 10-зонную конвекционную печь на восьмой этаж предприятия, поэтому начали искать другие решения. С технологией пайки в паровой фазе на тот момент мы были знакомы только по литературным источникам. В России первую печь парофазной пайки нам показали в демозале Остека<sup>2</sup>. После нескольких экспериментов мы определились с технологией, но сама печь нас не удовлетворила.

### **Что именно разочаровало?**

Во-первых, в той системе на этапе предварительного нагрева использовалось инфракрасное излучение. Нам это не подходило из-за проблем с элементной базой и отражательных способностей печатных плат разного типа. Во-вторых, печатная плата заезжала в рабочую камеру на салазках под углом. Если на мелких элементах это могло и не сказаться, то тяжелые вполне могли «поплыть». Поэтому мы нашли других производителей печей и начали с ними работать.



### **Были ли опасения при внедрении новой технологии? Ведь вы стали первопроходцами.**

Опасений не было, у нас на предприятии очень квалифицированные технологи. В свое время мы занимались микросборками и у нас уже было два участка изготовления интегральных микросхем: один по КМОП (на униполярных транзисторах), другой по ТТЛ технологии (на биполярных транзисторах). Технологический уровень и опыт специалистов позволили нам достаточно легко освоить новую технологию.

### **Владимир Александрович, расскажите, пожалуйста, как проходило внедрение технологии? Каковы были первые результаты и насколько они оправдали выбор?**

Внедрение прошло достаточно быстро. В течение недели мы отработали один профиль и смогли паять один тип плат в необходимом количестве. Основная работа началась позже. Мы постепенно наращивали номенклатуру печатных узлов: были большие платы и миниатюрные; одни размером с металлический рубль, другие формата А11, на алюминиевом основании и без теплоотвода (Владимир Александрович показывает две пачки термопрофилей технологической документации толщиной более 15 см). Вся работа заняла около трех лет.

## Как известно, при парофазе может возникать дефект «надгробного камня». Как вы с ним боролись?

Да, мы тоже столкнулись с этим дефектом. Поэтому перевод изделий на новую технологию мы начали с проверки топологии, проверки правильности проектирования контактных площадок. Потом подбирали пасты, пробовали разные типы. Работали с пастами различных производителей и российскими материалами. В итоге остановились на пасте Indium, поставляемой ГК Остек.

Пар быстро передает тепло, одновременно создавая уникально равномерный нагрев печатной платы. При этом получить необходимую зону стабилизации, имея возможность регулировать только мощность нагрева, очень сложно. В итоге мы убрали все, что нам мешало. Добились, что на печатной плате появлялся один «надгробный камень». Но и это нас не устроило, и мы пришли к выводу, что теперь нас ограничивает наша парофазная печь, не дающая той «полочки» стабилизации, которая нам нужна. Поэтому мы купили у Остека новую печь — SLC 509 компании IBL. Она оправдала все наши ожидания, печь замечательная.



## Какие преимущества печи IBL Technologies Вы можете выделить?

Если говорить образно, есть автомобили без усилителя руля, кондиционера и подогрева сидений, а есть IBL — с усилителем, кондиционером и подогревом. Если уйти от этих образов — IBL более совершенная машина, которая предлагает широкие возможности в подборе профилей. По сравнению с простой регулировкой мощности, как было у нас, в SLC 509 можно регулировать высоту плат в облаке пара в процессе пайки и даже регулировать температуру. В «пилотном режиме» машина сама помогает технологу создать любой профиль без риска перегрева или недогрева, даже если нужно паять при температуре ниже, чем точка кипения Galden. Легко подбирается нужный градиент температуры. Возможности просто уникальные.

Мы сумели получить нужную нам «полочку стабилизации». За 2 месяца работы печи (беседа проходила в конце июля 2014) мы наработали более 200 часов на совершенно разных типах печатных плат, и я не помню ни одного «надгробного камня».

## Вы продолжаете работать на старой печи?

Да, продолжаем. С одной стороны, в силу загруженности, с другой — дело в оснастке: за 4 года использования мы сделали разнообразную оснастку для неё. Но предпочтение, безусловно, отдаем нашей новой системе.

## Если бы Вам сейчас пришлось выбирать парофазную печь, имея опыт работы с несколькими производителями, какую бы Вы выбрали?

Я знаю три фирмы-изготовителя парофазных печей, две из которых немецкие и одна американская. Должен сказать, что печь SLC 509 фирмы IBL — лучшая машина из всех.

**Владимир Александрович, благодарим Вас за разговор, желаем успехов в работе и крепкого здоровья! \**

# ОПТИМИЗАЦИЯ

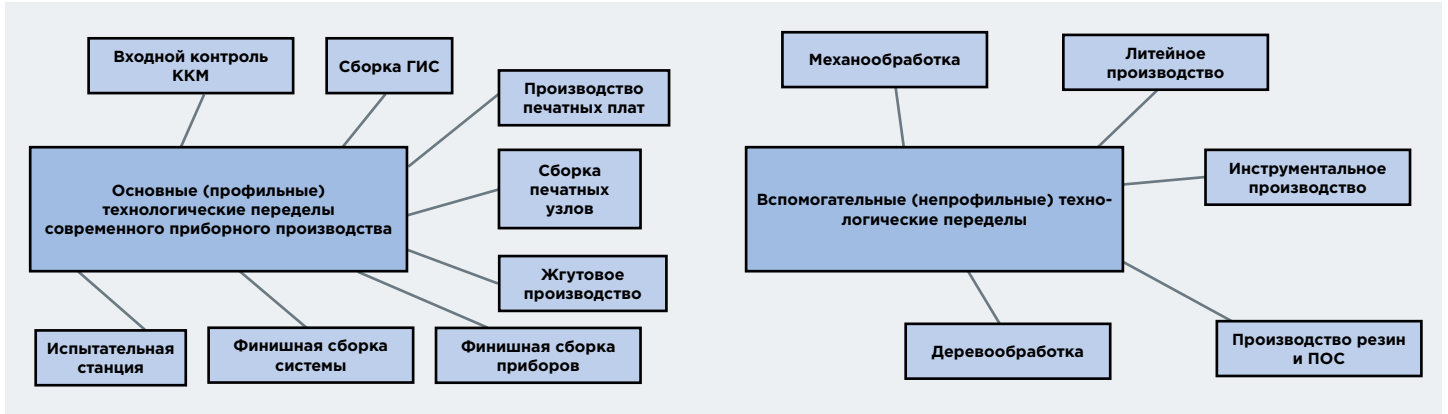
## Организация автоматизированных рабочих мест начальника производства и начальников цехов (участков)



Текст: **Станислав Гафт**



Управление современным приборным производством, включающим большое количество технологических переделов — сложная задача. Эффективное управление выпуском современных приборов с учётом обеспечения их конкурентоспособности, быстрого освоения и постановки на производство новых видов выпускаемой продукции невозможно без внедрения современной цифровой системы управления. Обеспечение комфортных условий работы начальника производства — одного из наиболее значимых руководителей в структуре управления предприятием — важная задача, которую необходимо решать на этапах разработки и внедрения автоматизированного рабочего места.



1 Профильные и непрофильные технологические переделы современного приборного производства

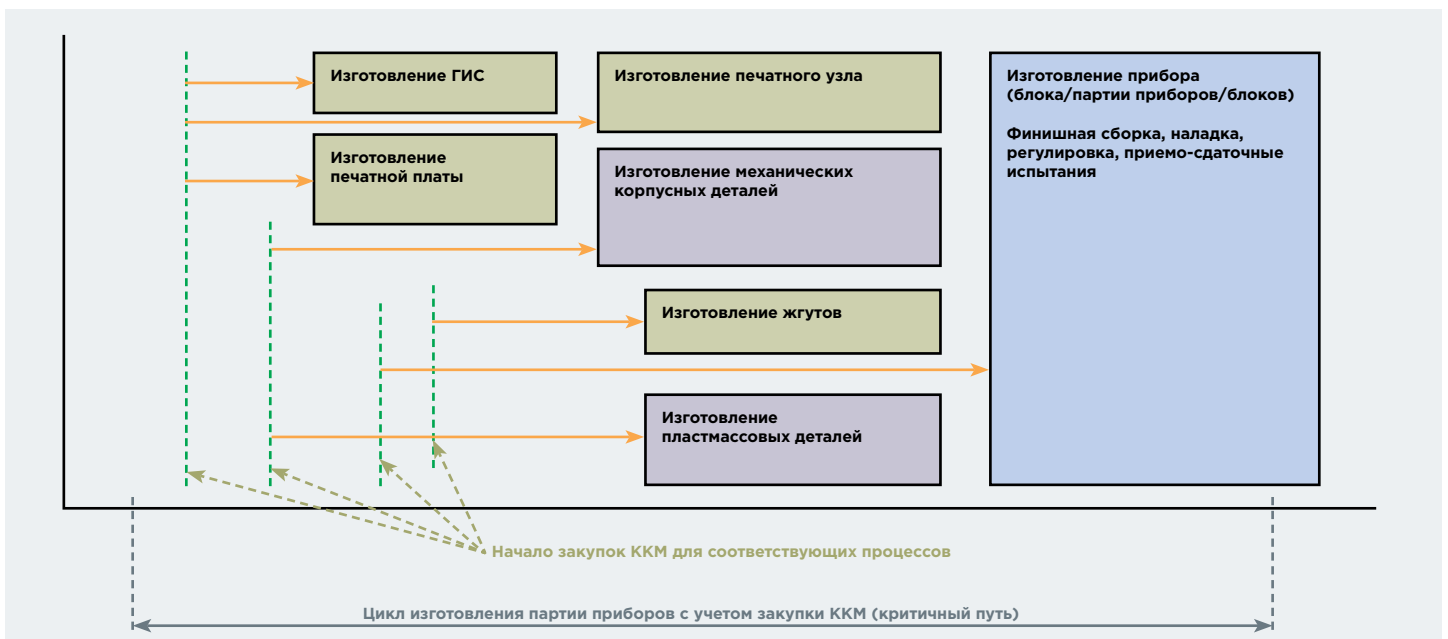
Эффективное производство должно обеспечивать решение двух основных задач:

- выпуск конкурентоспособной продукции;
- быстрое внедрение и освоение новых видов выпускаемой продукции.

Учитывая, что современное приборное производство, как правило, имеет большое количество профильных и непрофильных рис 1 переделов, эффективное управление без внедрения и освоения современной цифровой системы управления практически невозможно.

Необходимость использования в процессе производства современных приборов большого количества разнородных технологий усложняет задачу управления, так как необхо-

димо обеспечить ритмичную и сбалансированную работу всех производственных подразделений предприятия без авралов и простоев. При этом основной причиной проблем являются задержки поставок необходимых компонентов, комплектующих и материалов. Цифровая система управления должна рассчитать время прохождения технологического маршрута изготовления всего прибора и отдельных полуфабрикатов (сборочных единиц). При этом необходимо учитывать возможные задержки на проведение ремонтов в процессе производства, межоперационные пролёживания, связанные, в том числе, и с заполнением межоперационной тары, например, магазинов для промежуточного хранения и межоперационной транспортировки печатных узлов.



2 Вычисление цикла изготовления партии приборов

План производства приборов рассчитывается системой от даты отгрузки с небольшим устанавливаемым при конфигурировании системы запасом в следующей последовательности:

- от даты отгрузки отсчитывается время, необходимое для финишной сборки по наряд-заказу **рис 2**;
- от времени начала финишной сборки (с небольшим технологическим запасом на межоперационное пролёживание и комплектацию) отсчитывается время, необходимое для реализации наряд-заказа по каждой сборочной единице **рис 2**;
- от времени начала производства отсчитывается время, необходимое для изготовления комплектующих для печатного узла (например, печатной платы, гибридных схем и т.д.);
- рассчитывается общее время, необходимое для изготовления установленной партии приборов (критический путь).

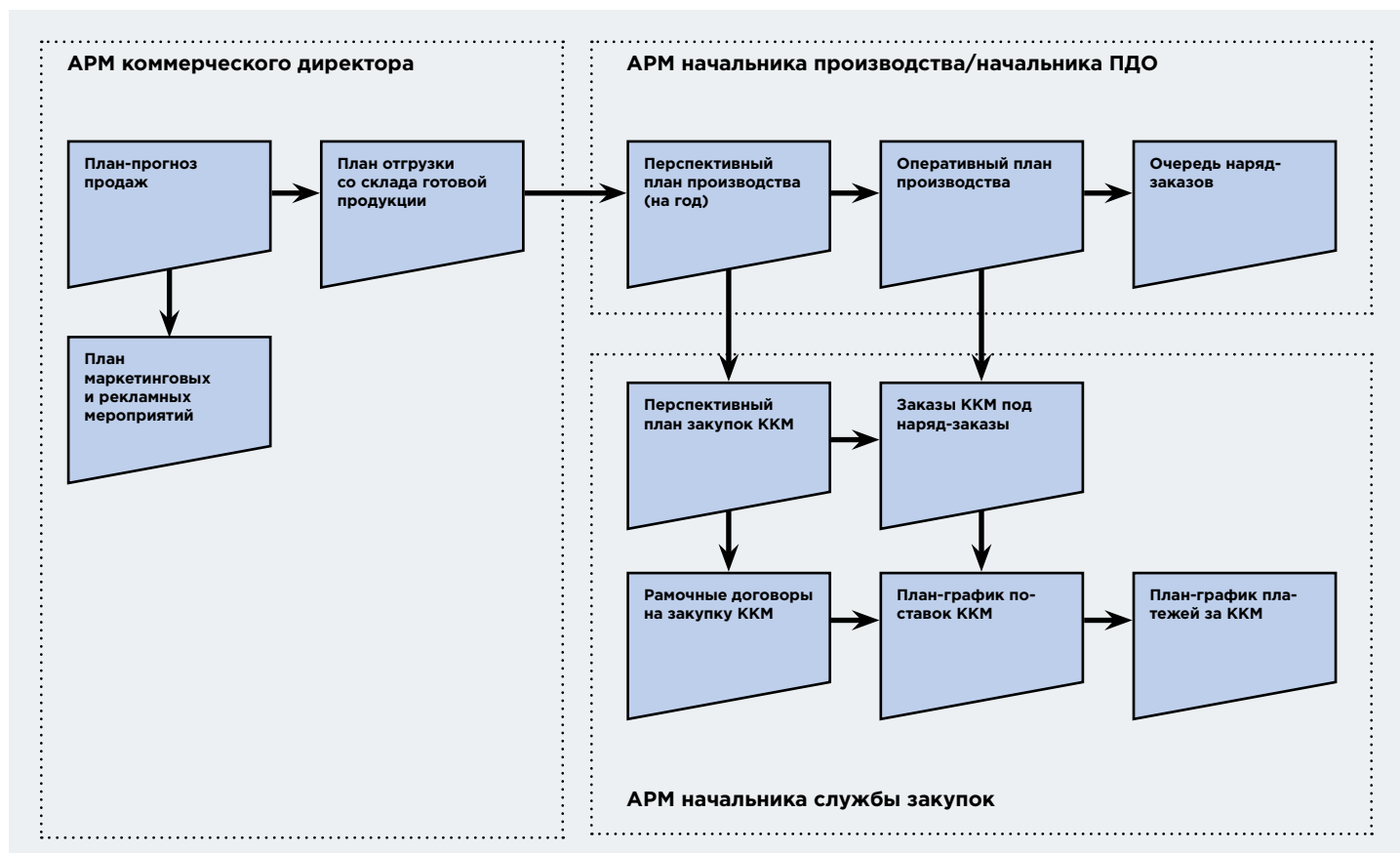
Указанные выше вычисления проводятся системой управления (приложениями «Автопланирование» и «Автозакупки») на основании плана выпуска приборов каждый раз при вводе нового заказа (наряд-заказа); изменении параметров заказа (наряд-заказа); проведении оптимизации.

В предыдущих публикациях уже отмечалась специфика приборного производства по сравнению, например, с механообработывающим. Она состоит в том, что

себестоимость выпускаемой продукции, а, следовательно, цена и конкурентоспособность в значительной степени (как правило, около 70 %) определяются стоимостью применяемых компонентов, комплектующих и материалов (ККМ). Данное обстоятельство указывает на необходимость привлечения специалиста высокой квалификации для обеспечения:

- своевременных поставок ККМ:
  - ◆ для обеспечения ритмичной работы предприятия;
  - ◆ поддержания качества и надёжности выпускаемой продукции на запланированных уровнях при сохранении утверждённой себестоимости;
  - ◆ поддержания существующего уровня среднемесячного дохода рабочих и служащих предприятия.
- оптимальной цены закупаемых ККМ;
- оптимальных условий платежа (например, в течение двух месяцев после поставки, чтобы можно было минимизировать количество оборотных средств предприятия).

Цифровая система управления «Логос», точнее, программный пакет «Автозакупки» совместно с ПП «Автопланировщик» реализует указанные функции, обеспечивая комфортные условия работы для начальника службы закупок в соответствии с блок-схемой генерации документов **рис 3**.





ProductionPlan

План продаж на 2015 год

Договор	Заказчик	Изделие	Кол-во	Цена	Сумма	Вер-ть	Сумма с уч. вер-ти	Срок поставки	Приоритет
АФ-23333	НПО "Таир"	УВРК-10	34	1098,55	7 125 000,00	100,00	7 125 000,00	31.03.2015	7
013	КБТС	УВРК-10	23	1166,55	2 850 000,00	100,00	2 850 000,00	25.03.2015	8
149-95	ФГУП «УСЗ»	Манипулятор шаровой	2	356,00	9 405 000,00	100,00	9 405 000,00	31.05.2015	7
149-95	ОАО "Планета"	УВРК-10	12	998,55	3 420 000,00	80,00	2 736 000,00	30.06.2015	4
149-95	ОАО «Концерн «Вега»	АРМ «И-300М	52	16 000,00	13 880 000,00	10,00	1 368 000,00	30.04.2015	9
149-95	ОАО "Планета"	АРМ "Веста-В	11	2 890,00	10 725 000,00	100,00	10 725 000,00	30.11.2015	5
149-95	ОАО «Концерн «Вега»	АРМ "Веста-В	5	2 900,00	2 805 000,00	100,00	2 805 000,00	10.09.2015	5
149-95	ОАО "Планета"	АРМ «И-300М	23	15 000,00	4 290 000,00	75,00	3 217 500,00	31.08.2015	7
П45-33	КБТС	УВРК-10	42	1470,55	3 300 000,00	20,00	660 000,00	30.06.2015	9
Ф23	ФГУП «УСЗ»	Манипулятор шаровой	100	580,00	6 600 000,00	20,00	1 320 000,00	31.03.2015	7
149-95	ОАО «Концерн «Вега»	УВРК-10	47	1166,55	128 000 000,00	90,00	115 200 000,00	31.08.2015	8
149-95	НПО "Таир"	АРМ "Веста-В	34	3 700,00	163 840 000,00	30,00	49 152 000,00	30.06.2015	9
149-95	ФГУП «УСЗ»	Манипулятор шаровой	13	333,00	59 000 000,00	100,00	59 000 000,00	30.09.2015	3
149-95	ОАО "Планета"	АРМ "Веста-В	44	2 680,00	81 000 000,00	50,00	40 500 000,00	30.06.2015	9
149-95	ОАО «Концерн «Вега»	АРМ "Веста-В	23	2 600,00	148 000 000,00	20,00	29 600 000,00	15.08.2015	5
<b>Итого:</b>					<b>644 040 000,00</b>		<b>129 100 000,00</b>		

Кириленков С. К.:5 А-021 Подготовка

4 План отгрузки готовой продукции на 2015 год

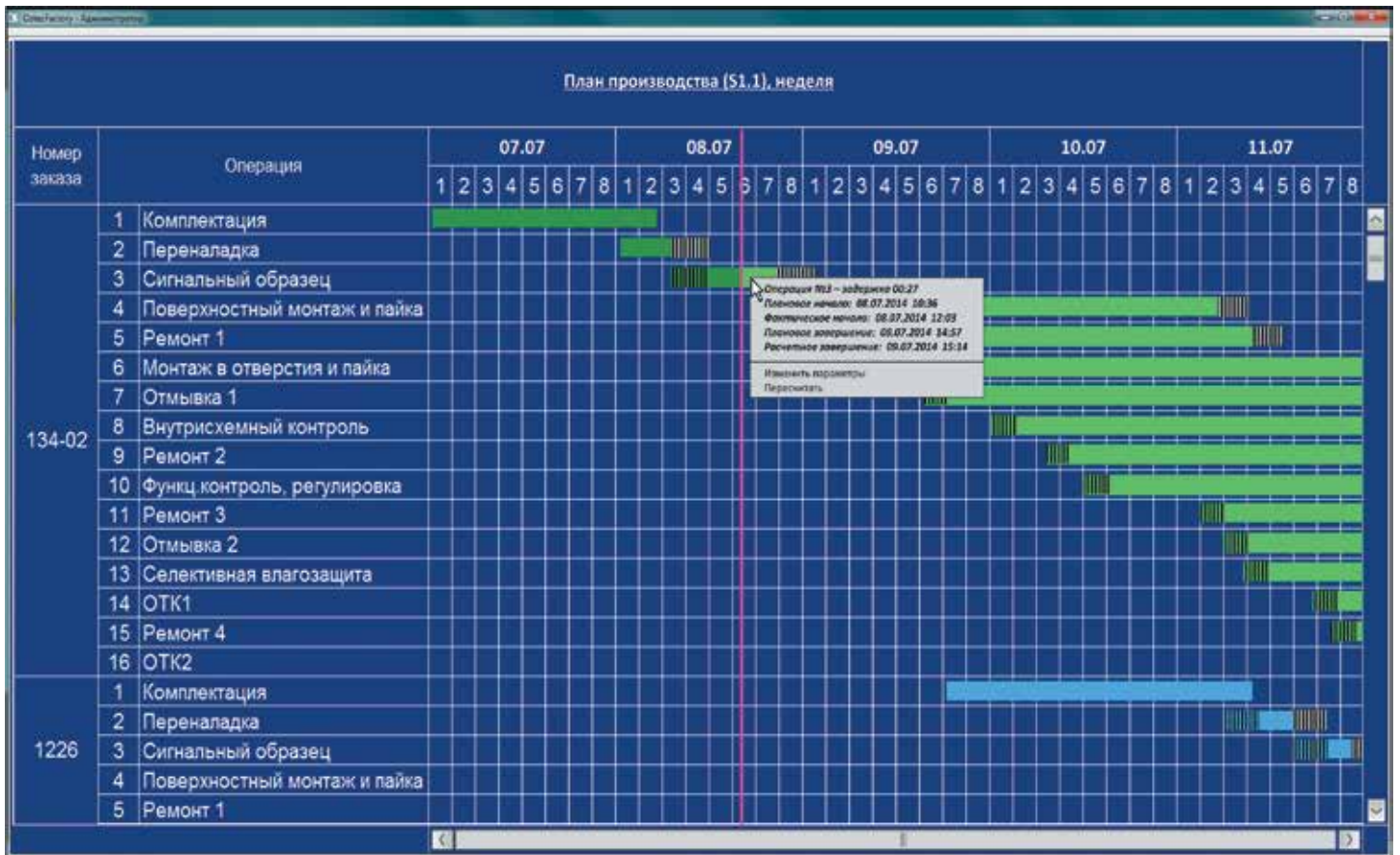
На основании прогноза продаж система генерирует план отгрузок со склада готовой продукции рис 4.

Для обеспечения своевременных отгрузок готовой продукции система рассчитывает перспективный план производства, на основании которого разрабатывается перспективный план закупок ККМ рис 5 и заключаются рамочные договоры с поставщиками (как правило, на год с возможной пролонгацией в случае успешной

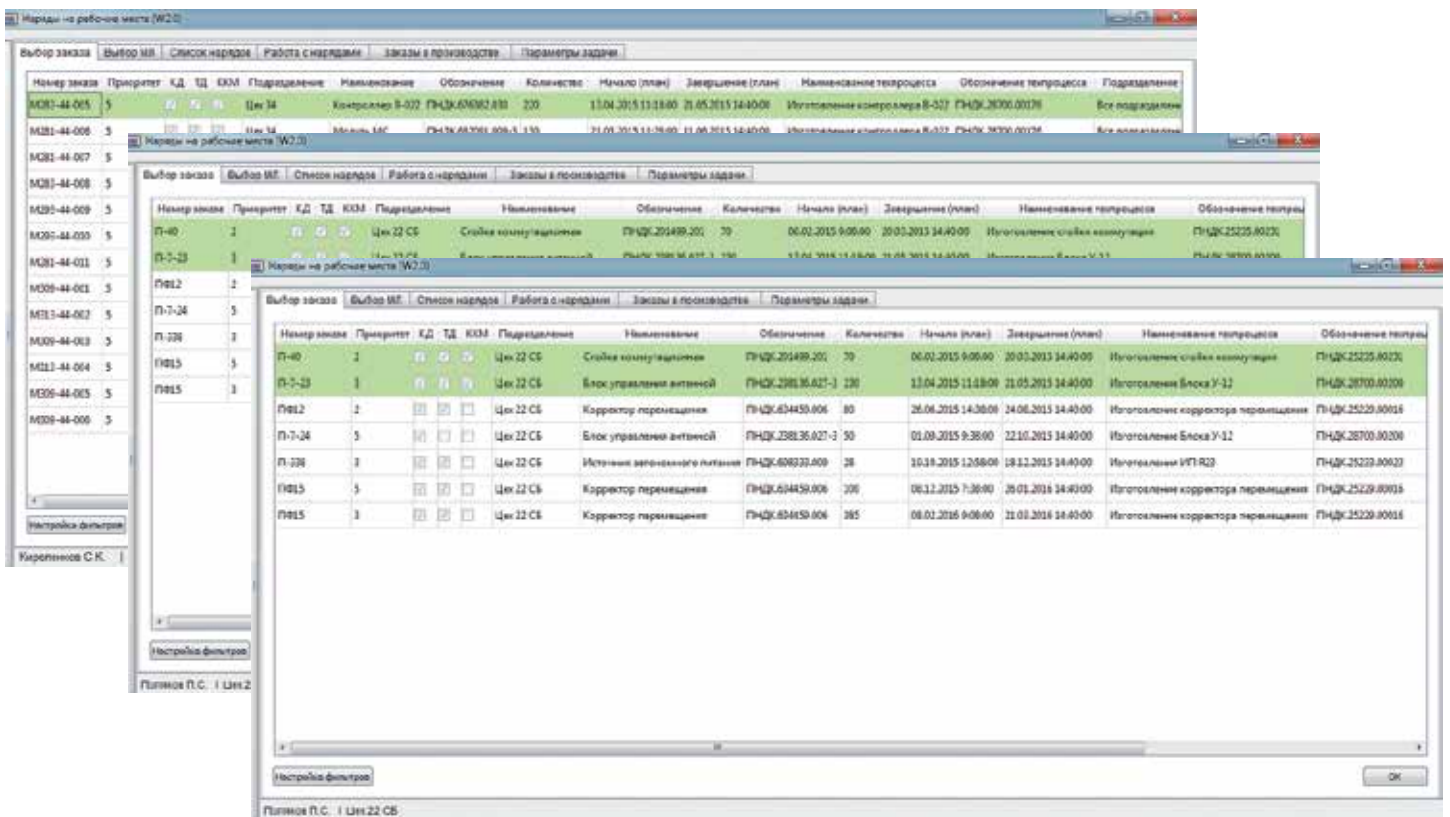
работы). Оперативный план производства и очередь наряд-заказов формируются с учётом реальной ситуации на рынке, требований заказчиков и подтверждённых (подписанных и частично оплаченных) заказов (договоров) на поставку готовой продукции. На основании оперативного плана производства формируются спецификации к заказам на поставку ККМ под конкретные наряд-заказы.



5 Перспективный план закупок ККМ на 20XX год



6 Пооперационный мониторинг выполнения плана производства



7 Интерфейс автоматизированного рабочего места начальника сборочно-монтажного, кабельно-жгутового цехов и цеха финишной сборки

Для обеспечения ритмичной и непрерывной работы предприятия на случай срыва срока поставок, ввода экономических санкций и т. п. форс-мажоров необходимо создать и поддерживать неснижаемый запас сырья (ККМ) на складах. Как правило, для приборных средне- и крупносерийных предприятий по большинству позиций этот запас формируется из расчета на 2...3 месяца работы. Часто для оптимизации затрат на ККМ неснижаемый остаток рассчитывается более точно по отдельным позициям (например, в зависимости от стоимости ККМ, сроков поставки).

На основании подтвержденных дополнительными соглашениями договоров закупки по спецификациям, связанных с наряд-заказами, формируется и модифицируется план-прогноз поставок ККМ.

Для контроля процесса выпуска продукции начальнику производства необходим доступ к информации, отражающей ход выполнения производственных заданий по каждому цеху **рис 6**. Иными словами, с рабочего места начальника производства необходимо обеспечить доступ к интерфейсу каждого начальника цеха/участка **рис 7**.

Необходимо особо отметить, что выполнение плана отгрузок привязано к готовой продукции (приборам). Учитывая, что готовую продукцию (по крайней мере, значительную её часть) выпускает цех финишной сбор-

ки приборов, план-график отгрузки готовой продукции привязан к плану именно этого цеха. В то же время готовой продукцией могут быть и полуфабрикаты, поставляемые в качестве ЗИП (печатные узлы, электронные модули, жгуты, кабели (ТЭЗы — типовые элементы замены) и т. д.).

Внедрение современной цифровой системы приборного производства позволит начальнику производства предприятия обеспечить:

- производство всей номенклатуры выпускаемой продукции в необходимых объемах в оптимальные сроки в соответствии с утвержденным планом производства;
- отгрузку готовой продукции в расчётные сроки;
- ритмичную и бесперебойную работу производственных подразделений без авралов и простоев;
- достижение и поддержание для выпускаемой продукции запланированных значений:
  - ◆ себестоимости;
  - ◆ качества и надёжности.
- запланированный уровень удовлетворённости персонала и, как следствие, снижение уровня «текучки кадров».

Описание алгоритмов и механизма оптимизации производственных планов представлено далее.

# Оптимизация планов для приборного производства

Любая система управления производством должна обеспечивать процесс проведения оптимизации при планировании, учитывая все виды планов: перспективные и оперативные. Без этой функции планы останутся только на бумаге, так как пользоваться ими без постоянной корректировки в соответствии с требованиями рынка и заказчика будет невозможно.

## Определение цели оптимизации перспективного плана

Как уже говорилось, основная задача перспективного годового плана — предоставление руководителям предприятия такой первичной информации, как:

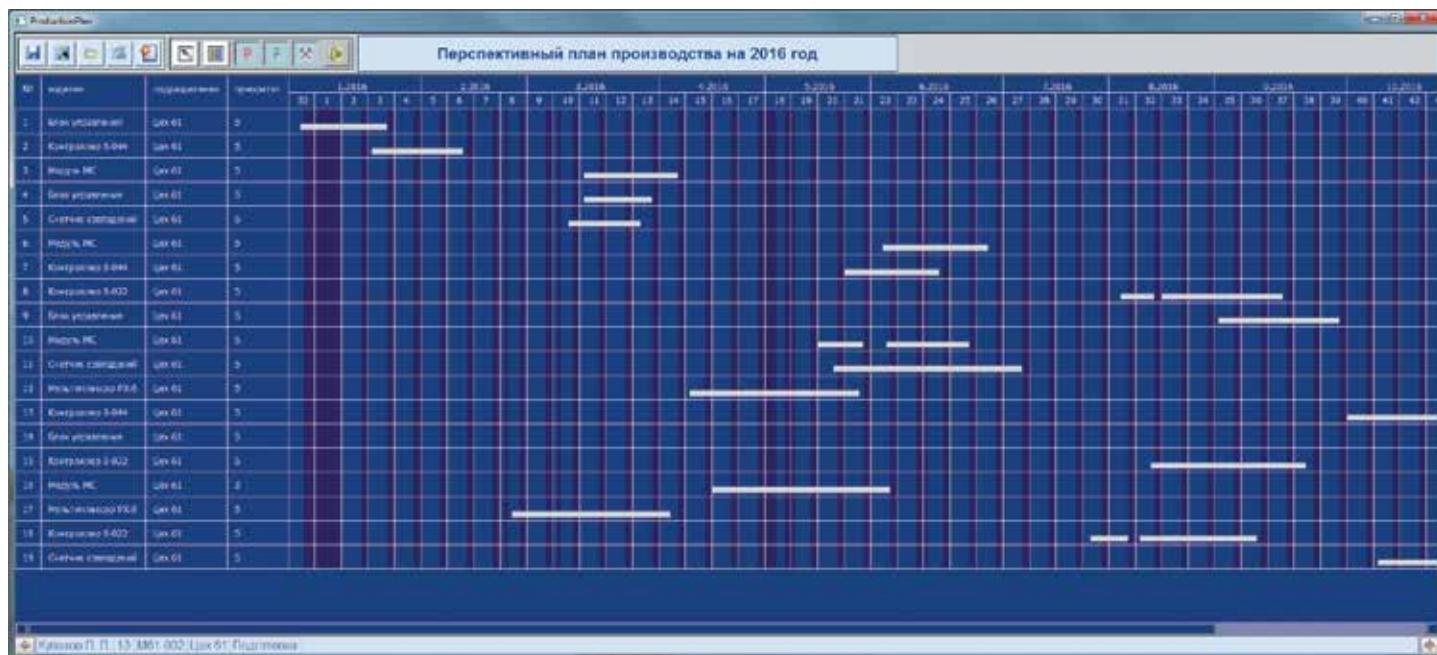
- прогноз и график поступления финансовых средств от реализации собственной продукции;
- план отгрузок продукции со склада готовой продукции, необходимый для реализации графика поступлений финансовых средств;
- необходимый для этого план производства;
- загрузка производственных мощностей;
- загрузка персонала.

Перспективные планы производства согласовываются всеми заинтересованными сторонами и утверждаются генеральным директором. А после неоднократно корректируются, и вслед за ними каждый раз корректируются и планы закупок. Для приборного производства такая практика является вполне обычной, ведь перспективный план разрабатывается, как правило, на основании прогнозов продаж, которые имеют обыкновение меняться в соответствии с требованиями рынка и интересами заказчиков. Но вот компоненты, комплектующие и материалы (ККМ) имеют конечный и, обычно,

не маленький срок поставки. Если их вовремя не заказать, то есть риск:

- не получить ККМ к запланированному сроку начала обработки заказа;
- оставить без работы персонал и выплатить ему вынужденный простой;
- сорвать выполнение договора (пусть даже неподтверждённого к моменту заказа ККМ);
- снизить качество и надёжность выпускаемой продукции из-за нарушения графика поставок ККМ и ритмичной работы предприятия;
- «заработать» штрафные санкции из-за срыва сроков поставки продукции и снизить прибыль;
- потерять репутацию добросовестного производителя, снизить стоимость торговой марки и обанкротить предприятие.

Зачастую на производстве возникает «заколдованный круг»: пока нет подписанного договора (и первого авансового платежа), нет оснований для закупки ККМ; а если не закупить ККМ или не сделать заказ — невозможно выполнить условия договора. Чтобы этот круг «разорвать», разрабатывается, согласовывается и ут-



1

Перспективный план производства до проведения оптимизации

верждается перспективный план производства рис 1, и в соответствии с ним разрабатывается и утверждается план закупок ККМ. Принятие решения о закупке ККМ на первую поставку генеральный директор принимает на свой страх и риск. Естественно, что в такой ситуации необходимо проводить оптимизацию планов, а также определять критерии, по которым в будущем будет оцениваться эффективность проведенной оптимизации.

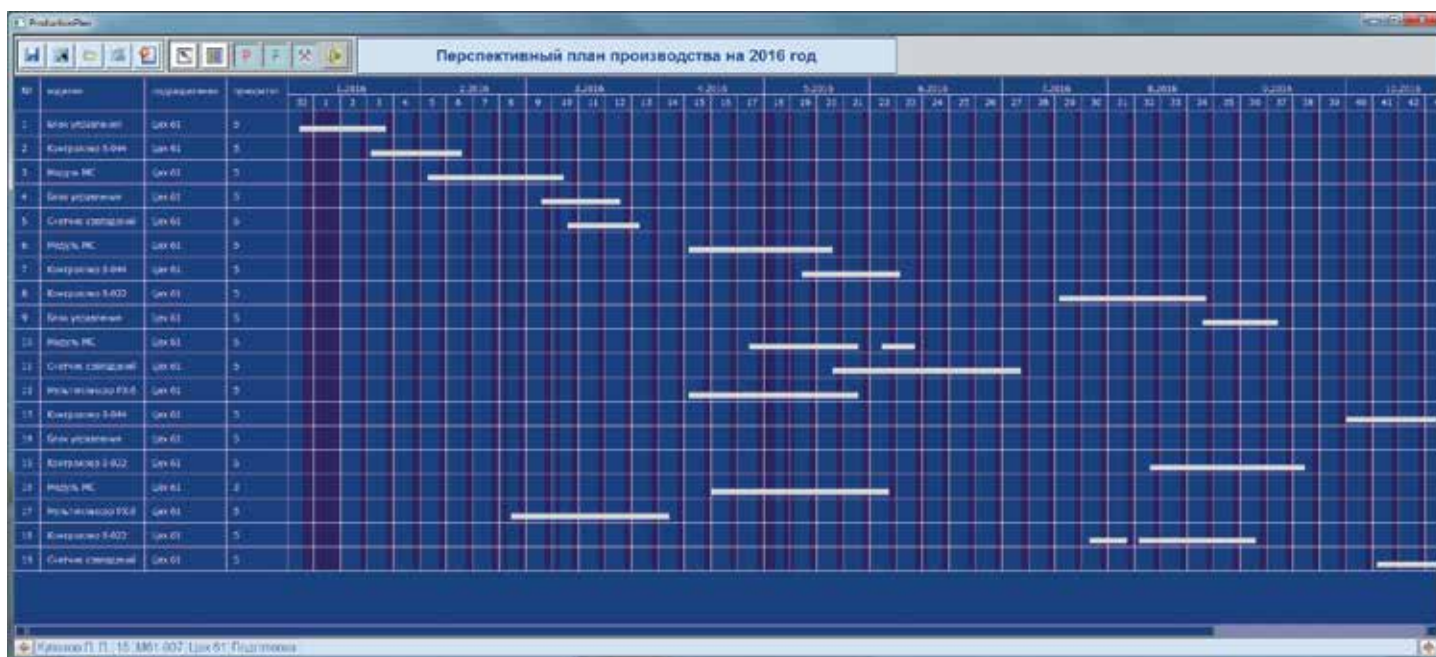
## Параметры проведения оптимизации перспективных планов производства

В качестве параметров для проведения оптимизации перспективных планов производства могут быть использованы:

- равномерность (с учётом сезонности) загрузки персонала;
- равномерность загрузки оборудования рис 2;
- сменность (одна, полторы, две, три рабочие смены, непрерывный цикл);
- плавающее расписание (два сменных инженера приходят на час–полтора раньше и готовят оборудование к работе, два других сменных инженера приходят и уходят на два часа позже для обеспечения требуемого регламента выключения оборудования);
- использование дополнительных рабочих смен (свободной второй смены и/или субботних/воскресных дней для проведения технологической подготовки производства и/или переналадки автоматического сборочного оборудования на выпуск другого типа выпускаемой продукции).

Равномерность загрузки персонала традиционно используется в большинстве систем управления в качестве основного параметра оптимизации планов. Опытный производитель при разработке перспективного плана уже на первых этапах оптимизации предусмотрит следующие мероприятия:

- максимальную разгрузку второй половины января: тяжело выпускать качественную продукцию сразу после длинных праздников. На это время желательно запланировать проведение планового технического обслуживания оборудования, обучение персонала и другие аналогичные мероприятия. В случае необходимости указанные мероприятия можно перенести и использовать высвободившееся рабочее время в качестве резерва;
- максимальную разгрузку второй половины мая: на этот период традиционно приходится период «повышенной дачной активности» персонала;
- разгрузка летних месяцев: при невысокой первоначальной загрузке производства основной (профильной) продукцией (без учёта дозагрузки сторонними заказами) имеет смысл отправить персонал в плановые отпуска.



2  
Перспективный план производства с учётом загрузки оборудования

Как показывает практика, с помощью таких несложных и логичных манипуляций удаётся решить сразу несколько задач:

- равномерно и с учётом сезонности загрузить персонал;
- своевременно, в заранее оговоренные сроки провести регламентные работы — техническое обслуживание, калибровку, поверку оборудования;
- дать возможность персоналу получить отпуск в летнее время, избегая необходимости оплачивать вынужденный простой;
- обеспечить резерв времени, необходимый для выполнения срочных, в том числе сторонних заказов.

### Критерии оценки эффективности проведения оптимизации (перспективных) планов производства

В качестве критериев оценки эффективности проведенной оптимизации могут быть использованы:

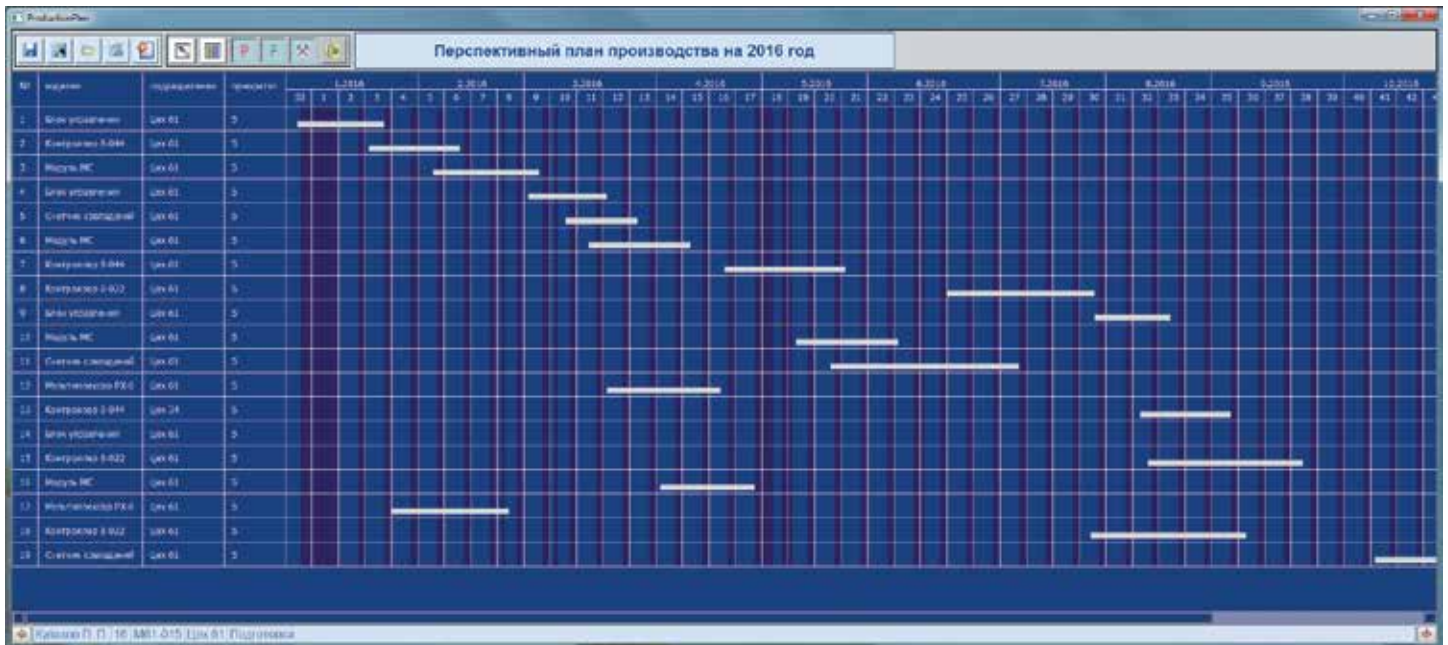
- уровень загрузки оборудования (в %);
- уровень загрузки персонала (в нормо-часах и/или %);
- время вынужденного простоя персонала (в нормо-часах и/или %).

Уровень загрузки персонала, как правило, используется в качестве одного из основных параметров при оптимизации плана производства. Нужно понимать, что если принимать на производство сторонний заказ

на нетехнологичное изделие с большим количеством ручных операций, то мы получим высокую загрузку персонала при низкой загрузке оборудования. Такой заказ для производства вряд ли будет выгоден даже при завышенной трудоёмкости, так как позволяет получить прибыль только как процент от стоимости выполняемых услуг. Наиболее выгодные заказы, например, для сборочно-монтажного производства — это изготовление высокотехнологичных печатных узлов с большим количеством дорогих компонентов. Как правило, стоимость комплектующих, компонентов и материалов составляет около 70 % себестоимости изделия. При этом прибыль, получаемая на больших заказах, считается как процент от себестоимости печатных узлов, включая стоимость дорогих компонентов. Кроме того, стоимость услуг по сборке составляет, как правило, около 20 %, а стоимость наладки, регулировки и испытаний — 80 %. Поэтому наиболее выгодным для сборочно-монтажного производства является заказ на изготовление большого количества сложных печатных узлов и/или приборов, включая поставку ККМ и все услуги по сборке, наладке и регулировке.

Как показывает практика работы современных сборочных производств, при выпуске высокотехнологичной серийной продукции предприятие работает эффективно, если при загрузке оборудования в 70 % коэффициент загрузки персонала составляет 70...80 %, а время вынужденного простоя — не более 10 %.

Для мелкосерийного многономенклатурного производства ситуация с показателями иная. И связано это, в первую очередь, с большими трудозатратами




3

Перспективный план производства после проведения оптимизации с учётом равномерной загрузки персонала, планирования выполнения технического обслуживания оборудования

на проведение технологической подготовки производства и переналадку основного технологического оборудования на выпуск другого типа выпускаемой продукции. Один из основных методов оптимизации для производств данного вида — проведение указанных работ в нерабочие часы. Например, технологическую подготовку производства по отладке управляющих программ и технологических режимов сменный инженер может выполнять после окончания (для основного персонала) рабочего дня, когда происходит охлаждение конвекционной печи. А переналадку на выпуск сложных печатных узлов с большим количеством типонаменов часто проводят во вторую смену или в выходной день. При этом простои персонала минимальны, так как в процедуре переналадки участвует ограниченное количество работников (как правило, только два человека). Современные программы планирования должны иметь адаптивные алгоритмы, умеющие учитывать, в том числе, и указанные методы снижения непроизводительных простоев.

Другой бич мелкосерийного многономенклатурного производства — включение в план производства нетехнологичной и/или нетестопригодной продукции, не позволяющей обеспечить высокий уровень автоматизации технологических процессов сборки и контроля. Вы сразу увидите резкое ухудшение показателей при включении в план продукции данного вида. Борьба за улучшение показателей методами оптимизации практически бесполезно. Нужно кардинальное решение: заставить разработчика и конструктора доработать конструкцию печатного узла.

Оптимизация планов производства — мощный инструмент, позволяющий добиться улучшения основных показателей, определяющих эффективность производства:

- повышения производительности труда;
- снижения непроизводительных простоев;
- повышения качества выпускаемой продукции за счёт обеспечения ритмичной работы предприятия. 

# ТЕХПОДДЕРЖКА

## Система электрического контроля

# SPEA 4060:

необходимость  
или излишество  
на производстве



Текст: **Арсений Ликий**



Именно такой вопрос невольно возникает у руководителя. Ну, в конце концов, производство работает и без подобных средств, почему необходимо оснастить его столь непростым оборудованием? Вопрос справедливый, но нужно учитывать, что технологический и технический облик изделий весьма существенно изменился за последние годы.



1 Система электрического контроля SPEA 4060



Электронный блок или модуль состоит из различных компонентов. Развитие современных технологий сводится к повышению быстродействия, улучшению стабильности параметров и, что немаловажно, к уменьшению геометрических размеров компонентов. Вместе с тем, повышается степень интеграции радиоэлементов на печатной плате — в результате появляется возможность изготавливать устройства с увеличенным функционалом и меньшими габаритными размерами.

Однако не стоит забывать о контроле выпускаемых изделий. Если при использовании дискретных компонентов сохраняется возможность ручного контроля параметров печатных узлов, то повышение степени интеграции ЭРЭ и снижение геометрических размеров обуславливают использование автоматизированных систем электрического контроля, таких как SPEA 4060 **рис 1**.

Система электрического контроля SPEA 4060 позволяет проверять печатные платы на соответствие конструкторской документации. Кратко этапы проверки можно разделить на следующие:

1. Проверка на короткие замыкания и целостность токоведущих проводников (дорожек печатной платы) **рис 2**.
2. Измерение параметров компонентов (R, C, L) и автоматическая проверка соответствия перечню элементов.
3. Измерение параметров полупроводниковых компонентов (измерение падения напряжения рп-перехода).
4. Проверка микросхем на целостность защитных диодов, обрыв внутри кристалла.
5. Проверка микросхем на контрафакт.

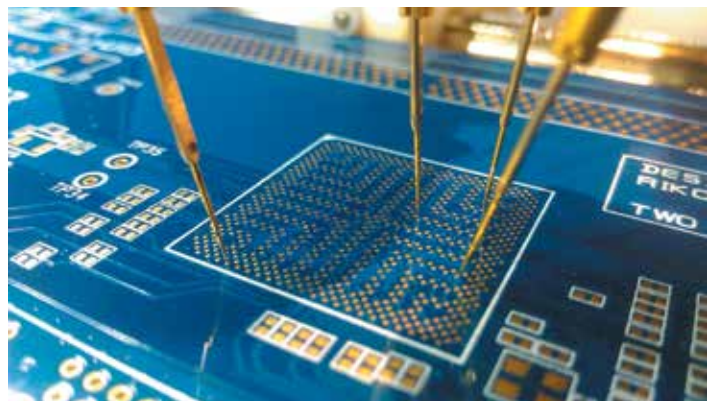
SPEA 4060 оснащена шестью летающими пробниками (четыре сверху и два снизу), которые позволяют осуществлять контроль двусторонних печатных плат. Три цифровые камеры дают возможность оператору проводить визуальный контроль тестируемого узла, не извлекая плату из системы. В качестве дополнительной опции может использоваться автоматическая оптическая инспекция печатных плат.

Вся необходимая информация загружается в систему из любых современных САПР в три шага (PCAD, Altium Designer, OrCAD и т.д.), после чего можно приступать к отладке тестовой программы и, наконец, тестированию.

Одним из главных преимуществ системы автоматического контроля SPEA 4060 является точность контактирования (5 мкм), а также низкая погрешность измерений (0,01%) в широком диапазоне измерения.

Необходимость внедрения современных систем электрического контроля ощущается на всех типах производства: от единичных и мелких серий до серийного изготовления электронных модулей или блоков.

В марте 2015 года Владимирская область пополнилась еще одним предприятием оборонного комплекса,



2 Проверка на отсутствие короткого замыкания и целостность цепи



3 Специалисты анализируют дефект платы, загруженной в SPEA 4060



4  
Тестирование печатной платы

на котором был запущен участок электрического внутрисхемного контроля с системой SPEA 4060.

Перечень задач, выполняемых с помощью внедренной технологии, является классическим для таких машин в условиях опытного производства. Так как производство опытных образцов подразумевает мелкую серию плат, а иногда сводится к единичному производству, процесс тестирования готовых изделий становится весьма трудоёмким и затратным. Использование SPEA 4060 на мелкосерийном производстве позволяет сократить время и ресурсы, затрачиваемые на тестирование готовых модулей, в несколько раз, так как отпадает необходимость изготовления оснастки или стенов под разные типы изделий.

Элементная база, используемая на данном предприятии, состоит, преимущественно, из отечественных компонентов. В ближайшее время предприятие собирается полностью перейти на использование российских ЭРЭ. Стоит отметить, что хотя система электрического контроля SPEA имеет огромную базу данных импортных компонентов, однако тестирование отечественных микросхем не составляет сложной задачи: гибкость настроек позволяет протестировать абсолютно любую микросхему.

Одними из наиболее часто встречающихся проблем при производстве радиоэлектронной техники являются дефекты печатной платы: обрыв токоведущих дорожек, короткие замыкания между слоями и близко расположенными проводниками, отсутствие металлизации переходных отверстий и т.п. Если при производстве модуля была использована печатная плата, имеющая какие-либо дефекты, а монтажный цех уже установил все необходимые компоненты на ПП, то поиск неисправности в таком случае становится весьма сложной задачей, так как помимо дефектов ПП параллельно могут встретиться дефекты элементной базы, ошибки монтажников и многое другое.

Система электрического контроля SPEA позволяет тестировать печатные платы на этапе входного контроля, проверяя целостность цепей и отсутствие коротких

замыканий. Подготовка такого проекта, при наличии всей необходимой документации, занимает не более 10 минут, после чего можно приступать к тестированию печатной платы рис 3, 4.

Так как предприятие производит опытные изделия, которые измеряются единицами экземпляров, очевидна необходимость использования ручного труда на этапе монтажа компонентов на печатную плату. Применение автоматизированной линии на данном типе производства представляется весьма затратным процессом — под каждое изделие необходимо создавать свою программу.

Но с другой стороны, использование ручного труда подразумевает увеличение списка возможных дефектов в готовом устройстве. Причина этому — человеческий фактор. Монтажник может перепутать номинал компонентов, полярность, некачественно выполнить пайку, в результате чего возникают как скрытые, так и плавающие дефекты.

Система электрического контроля SPEA избавлена от влияния человеческого фактора на этапе тестирования. Даже если оператор пытается задать программу или параметры тестирования, которые не отвечают требованиям либо заведомо содержат неверные данные, система автоматически выдаст предупреждение о возникшей ошибке с требованием перепроверить тот или иной пункт тестовой программы.

**Применение на производствах системы SPEA 4060 избавляет от необходимости изготовления стенов тестирования, оснастки для проверки работоспособности конкретного устройства или каких-либо адаптеров. Именно шесть летающих пробников делают SPEA 4060 гибкой системой тестирования, не требующей дополнительных адаптеров под каждую плату. ▣**

# через 10 лет интенсивной эксплуатации



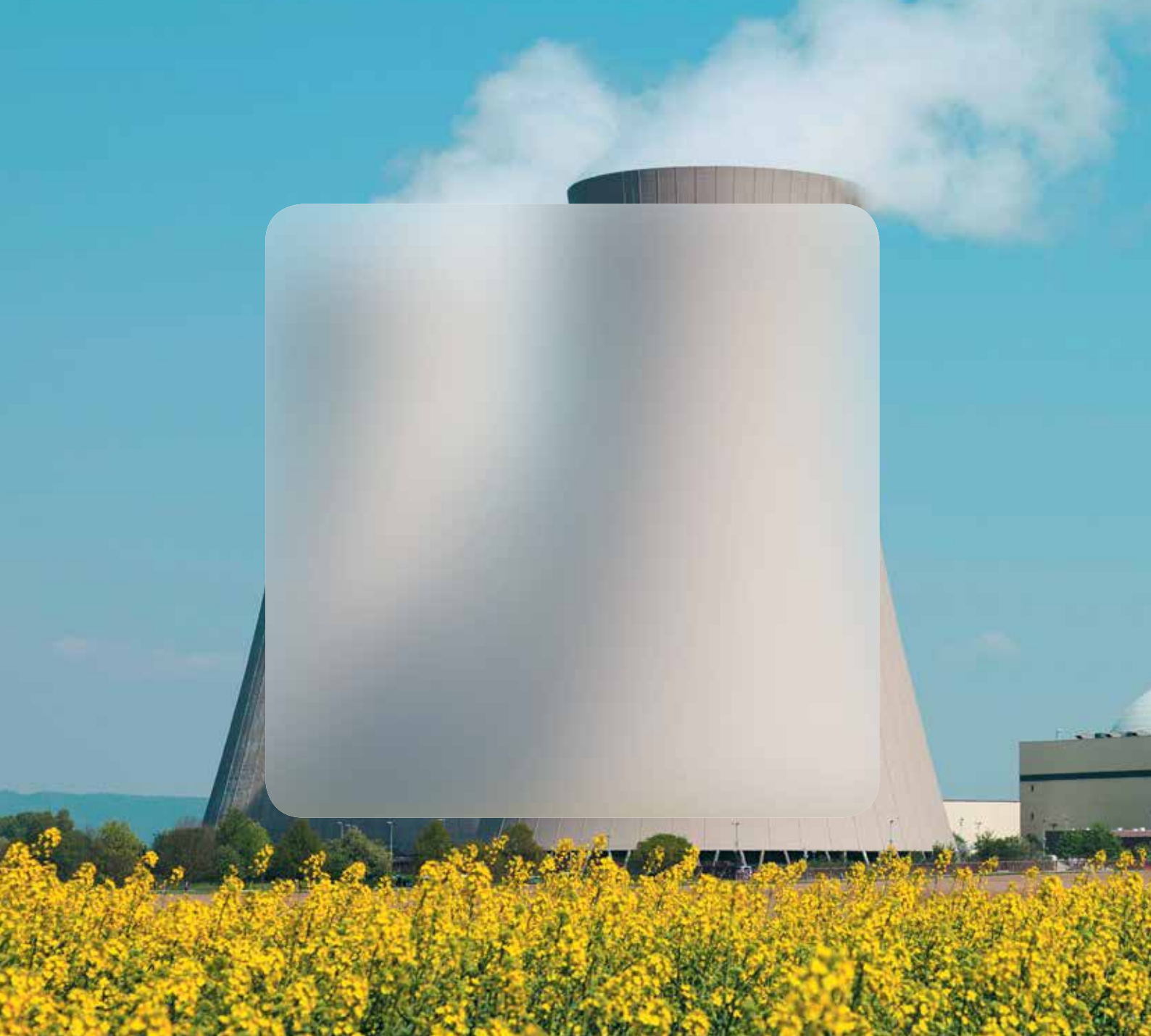
антистатическая промышленная мебель GEFESD останется столь же надежной.

- Продуманная эргономика повышает работоспособность и снижает утомляемость.
- Конструкция, качество материалов и испытания обеспечивают надежность изделий на срок более 10 лет.
- Постоянная модернизация конструкций позволяет соответствовать современным технологическим задачам.
- Модульность и широкий ассортимент комплектующих и опций гарантируют гибкую конфигурацию рабочих мест.

Соберите рабочее место в требуемой комплектации, воспользовавшись онлайн помощником на нашем сайте:  
<http://www.gefesd.ru/designer>



[www.gefesd.ru](http://www.gefesd.ru)  
8 (800) 700-14-44, бесплатный звонок  
из любого региона России  
+7 (495) 788-44-44  
e-mail: [sales@gefesd.ru](mailto:sales@gefesd.ru)



## Видеть сегодня энергетические объекты будущего невозможно, **но технологии производства электроники для них — необходимо**

Возможности приборов и автоматических устройств, что будут использоваться в энергетике завтра, зависят от технологий их производства, которые необходимо внедрять сегодня. У нас уже есть решения для такого развития, разработанные в сотрудничестве с мировыми поставщиками новейшего оборудования и технологий. Эти решения позволяют найти оптимальный путь к успеху производства электрических и электротехнических приборов.



будущее  
создается

[www.ostec-group.ru](http://www.ostec-group.ru)  
(495) 788 44 44  
[info@ostec-group.ru](mailto:info@ostec-group.ru)

