

03 (38) июль 2018

# ВЕКТОР

ВЫСОКИХ ТЕХНОЛОГИЙ  
Научно-практический журнал

## КАЧЕСТВО

Юрий Ковалевский,  
Владимир Мейлицев

**20** «УМНАЯ ЛИНИЯ» В КОНКРЕТНОМ  
ИСПОЛНЕНИИ. ВИЗИТ В  
КОМПАНИЮ «ИНФОТЭКС АТ»

## ОПТИМИЗАЦИЯ

Антон Нисан

**36** КАК С ПОМОЩЬЮ АДДИТИВНЫХ  
ТЕХНОЛОГИЙ ПОВЫСИТЬ  
ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ  
ТЕРМОПЛАСТАВТОМАТА НА 40 %

## ТЕХПОДДЕРЖКА

Юрий Полевщиков

**42** НАДЕЖНАЯ ЗАЩИТА ОТ  
НЕВИДИМОЙ УГРОЗЫ

# Что скрывается за высокотехнологичным сервисом?

## Неравнодушное отношение к делу



Безупречный сервис для нас — это больше, чем знание всех возможностей оборудования, практический опыт и профессиональная компетентность. Это еще и искреннее желание сделать все возможное, чтобы вместе с вами достичь успеха. Мы отвечаем за свои слова и всегда выполняем взятые на себя обязательства. Мы вкладываем в инжиниринг душу.



### *Уважаемые читатели!*

Посещая предприятия радиоэлектронной промышленности, иностранные партнеры неизменно удивляются: монтажники и технологи у нас в основном женщины, а за рубежом это мужская профессия.

А вот на руководящих позициях в отечественной радиоэлектронной промышленности наблюдается тотальное преобладание мужчин (уровня генеральных директоров)<sup>1</sup>. На одну женщину – руководителя организации – приходится более 29 мужчин, то есть мужчины составляют 97 % от общего числа руководителей. Среди руководителей среднего уровня соотношение числа женщин к мужчинам составляет 36 и 64 % соответственно. Бытует мнение, что это нормально, так как наша отрасль является очень специфичной с точки зрения как базового образования, так и повседневных интересов женщин и их менталитета.

Ситуация с гендерным неравенством заметна в инженерных областях не только в России, но и в мире. В этом году специалисты PWC опросили 3 627 женщин по всему миру, и 58% из них хотят получать больше возможностей от своих работодателей в вопросах карьерного роста<sup>2</sup>.

Как этого можно добиться? Например, в Великобритании для того, чтобы закрыть этот пробел и сократить гендерный разрыв в инженерном секторе, был учрежден праздник женщин-инженеров, который отмечает-

ся 23 июня. В 2017 году он получил покровительство ЮНЕСКО и теперь является Международным днем женщин в инженерном деле. Праздник вызывает необычайный интерес. В школах, университетах и различных организациях проводились мероприятия, где рассказывали о достижениях женщин в инженерии. Официальный сайт [www.nwed.org.uk](http://www.nwed.org.uk) посетили 42 000 человек, в британской газете «The Daily Telegraph» был опубликован список 50 лучших женщин в инженерной области. За день было проведено более 550 отдельных мероприятий, свыше 350 встреч прошли в школах по всей стране. Этот праздник упоминался в национальных и местных газетах и интернет-ресурсах не только в Великобритании, но и во всем мире.

Международный день женщин в инженерном деле в Россию пока не пришел. Мне не удалось обнаружить каких-либо мероприятий и действий, направленных на раскрытие новых карьерных перспектив. Редакция нашего журнала хочет внести свой вклад в популяризацию инженерных профессий среди женщин. Если у вас есть истории успехов и достижений женщин в российской радиоэлектронной промышленности – напишите нам. Мы с удовольствием их опубликуем. А может быть со временем и составим свой список лучших женщин в инженерной области?

**Антон Большаков,**  
директор по маркетингу

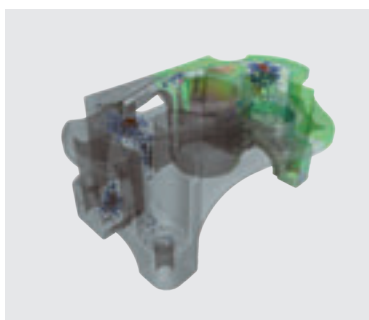
<sup>1</sup> «Кто двигает электронику? Гендерное исследование радиоэлектронной промышленности», ЦНИИ «Электроника», 2017 [https://instel.ru/upload/files/research/KtoDvigaetElektroniku\\_2017.pdf](https://instel.ru/upload/files/research/KtoDvigaetElektroniku_2017.pdf).

<sup>2</sup> Time to talk <https://www.pwc.com/timetotalk>

# В НОМЕРЕ

## НОВОСТИ

- 4 16 ИЮНЯ ГРУППЕ КОМПАНИЙ ОСТЕК ИСПОЛНИЛОСЬ 27 ЛЕТ!
- 6 ОСТЕК-СМТ «С НУЛЯ» ОСНАСТИЛ УЧАСТОК ПО ПРОИЗВОДСТВУ ЭЛЕКТРОННЫХ ИЗДЕЛИЙ ДЛЯ ЛЕД-ЭФФЕКТ
- 8 В ЦРТ ОСТЕК-СМТ ПОЯВИЛАСЬ НОВАЯ ОПТИЧЕСКАЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА VICIVISION M1
- 8 ОСТЕК-АРТГУЛ – ЭКСКЛЮЗИВНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР НАНОТВЕРДОМЕРОВ СЕРИИ «НАНОСКАН»
- 9 ZESTRON® EYE MOBILE – НОВАЯ СИСТЕМА ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО ИЗМЕРЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ОТМЫВОЧНЫХ ЖИДКОСТЕЙ
- 9 МОБИЛЬНЫЕ ОЧИСТНЫЕ СООРУЖЕНИЯ ОТ ОСТЕК-СТ
- 10 ПОБЕДИТЕЛЬ РОССИЙСКОГО ЭТАПА КОНКУРСА РУЧНОЙ ПАЙКИ IPC ЗАНЯЛ 2-Е МЕСТО НА КОНКУРСЕ В НЮРНБЕРГЕ
- 11 «УМНОЕ РАБОЧЕЕ МЕСТО» НА ВЫСТАВКЕ ИННОПРОМ-2018
- 11 КОМПАНИЯ SREA ПРОВЕЛА ВЫЕЗДНЫЕ СЕМИНАРЫ ДЛЯ СТУДЕНТОВ ТУРИНА



ТЕХНОЛОГИИ стр. 16

## ТЕХНОЛОГИИ

**СОВРЕМЕННЫЙ ФИНИШНЫЙ ПРОЦЕСС ИММЕРСИОННОГО СЕРЕБРЕНИЯ YMT GALAXY..... 12**

Авторы: Дмитрий Костеников, Светлана Шкундина, Аркадий Сержантов

**КОМПЬЮТЕРНАЯ ТОМОГРАФИЯ – НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ ДЛЯ СОВРЕМЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА ..... 16**

Автор: Антон Нисан

## КАЧЕСТВО

**«УМНАЯ ЛИНИЯ» В КОНКРЕТНОМ ИСПОЛНЕНИИ. ВИЗИТ В КОМПАНИЮ «ИНФОТЭКС АТ»..... 20**

Авторы: Юрий Ковалевский, Владимир Мейлицев

**ВЫБЕРИ МЕНЯ: ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКАЯ ВИБРАЦИЯ ИЛИ СИСТЕМА МНОГОПОВТОРНЫХ УДАРОВ. КАКАЯ ИЗ НИХ СООТВЕТСТВУЕТ ВАШИМ ТРЕБОВАНИЯМ? ..... 30**

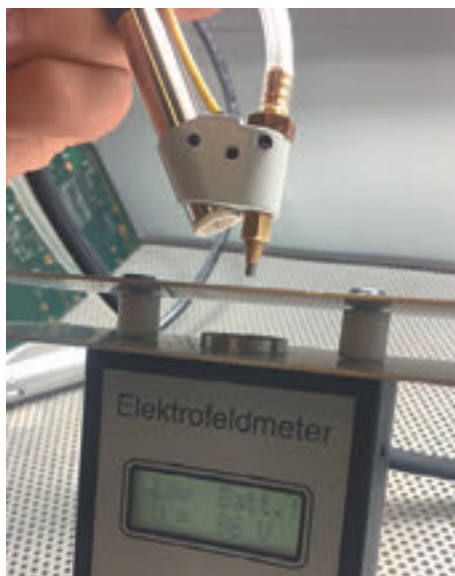
Авторы: Анатолий Лютов, Иван Суходольский



КАЧЕСТВО стр. 20



ОПТИМИЗАЦИЯ стр. 36



ТЕХПОДДЕРЖКА стр. 42

## ОПТИМИЗАЦИЯ

**КАК С ПОМОЩЬЮ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПОВЫСИТЬ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ТЕРМОПЛАСТАВТОМАТА НА 40 %..... 36**

Автор: Антон Нисан

## ТЕХПОДДЕРЖКА

**НАДЕЖНАЯ ЗАЩИТА ОТ НЕВИДИМОЙ УГРОЗЫ ..... 42**

Автор: Юрий Полевщиков

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ. НЕФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ КОНТАКТНЫЕ ПЛОЩАДКИ ..... 46**

Авторы: Аркадий Медведев, Аркадий Сержантов

**КАК ОБЕСПЕЧИТЬ ТОЧНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЙ НАПРЯЖЕННОСТИ ПОЛЯ ..... 54**

Авторы: Дмитрий Кондрашов, Патрик Дейкстра

## АВТОРЫ НОМЕРА

### Дмитрий Костенников

Заместитель начальника отдела главного технолога ООО «Остек-СТ»  
ost@ostec-group.ru

### Светлана Шкундина

Заместитель начальника отдела главного технолога ООО «Остек-СТ»  
ost@ostec-group.ru

### Аркадий Сержантов

Главный специалист отдела проектов Направления химико-технологических решений ООО «Остек-СТ»  
ost@ostec-group.ru

### Юрий Ковалевский

Журнал «Электроника: НТБ»  
journal@electroics.ru

### Владимир Мейлицев

Журнал «Электроника: НТБ»  
journal@electroics.ru

### Анатолий Лютов

Старший специалист по развитию и маркетингу ООО «Остек-Тест»  
test@ostec-group.ru

### Иван Суходольский

Инженер поддержки продаж ООО «Остек-Тест»  
test@ostec-group.ru

### Антон Нисан

Начальник отдела технической поддержки и разработки Направления цифровых производственных технологий ООО «Остек-СМТ»  
3d@ostec-group.ru

### Юрий Полевщиков

Главный специалист отдела продаж ООО «Остек-Интегра»  
materials@ostec-group.ru

### Аркадий Медведев

Начальник отдела научных разработок ООО «Остек-СТ»  
ost@ostec-group.ru

### Дмитрий Кондрашов

Начальник группы волновых процессов ООО «Остек-Электро»  
ostecelectro@ostec-group.ru

### Патрик Дейкстра

Директор компании DARE!! Instruments

# 16 июня Группе компаний Остек исполнилось 27 лет!



День рождения компании – это отличный повод порадоваться достигнутым успехам. А успех любой компании – это сплоченная работа профессионалов, увлеченных интересным и важным делом.

С днем рождения, Остек!



# НОВОСТИ

## ОСТЕК-СМТ «С НУЛЯ» ОСНАСТИЛ УЧАСТОК ПО ПРОИЗВОДСТВУ ЭЛЕКТРОННЫХ ИЗДЕЛИЙ ДЛЯ ЛЕД- ЭФФЕКТ

Российский производитель светодиодных светильников ЛЕД-Эффект вывел производство продукции на принципиально новый уровень за счет внедрения инновационных решений автоматического поверхностного монтажа печатных плат.

ЛЕД-Эффект – российский производитель инновационного светодиодного освещения. Компания специализируется на разработке и выпуске светодиодной продукции для создания комфортной световой среды на различных типах объектов: ЖКХ, придомовые территории и улицы, заправочные комплексы и нефтехранилища, парковки, промышленные предприятия, административно-офисные здания, школы и больницы, складские терминалы, торговые помещения, аэропорты и т. п.

В связи с динамичным развитием, растущим объемом продукции,

а также стремлением выйти на европейские рынки, руководство компании ЛЕД-Эффект приняло решение увеличить производственные мощности – автоматизировать выпуск собственных электронных изделий для светодиодных светильников. Для реализации проекта по модернизации была приглашена компания Остек-СМТ, обладающая многолетним опытом в области разработки и подбора оптимальных решений для автоматизированных линий поверхностного монтажа. После изучения специфики рабо-





чих процессов по выпуску светодиодных светильников различного назначения компания Остек-СМТ предложила решение в виде автоматизированной линии на базе автомата установки Hanwha Precision Machinery в специальном исполнении для работы с платами большой длины.

Предложенный комплекс оборудования имеет оптимальное соотношение по качеству и стоимости, а также отвечает производственным задачам и позволяет изготавливать платы крупного размера длиной более 510 мм, что специфично при производстве светодиодных светильников. Специалисты Остек-СМТ оказывали поддержку и сопровождение на всех этапах проекта: от подбора оборудования, консультаций по подготовке помещений и такелажных работ, до запуска оборудования в эксплуатацию и отладки изделия заказчика. Для скорейшего запуска производства для персонала ЛЕД-Эффект было проведено обучение по работе с оборудованием.

В настоящий момент производство электронных изделий на ЛЕД-Эффект запущено и работает в режиме 12-часовой смены. Благодаря высокой мощности и производительности оборудования компания ЛЕД-Эффект также запустила собственное контрактное производство, которое работает в дополнительную вторую смену.



# НОВОСТИ

## В ЦРТ ОСТЕК-СМТ ПОЯВИЛАСЬ НОВАЯ ОПТИЧЕСКАЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА VICIVISION M1

Оптическая система ViciVision M1 отлично подходит для контроля различных крепежных элементов, фитингов и небольших валов с габаритами до Ø60 × 300 мм. По результатам измерений оборудование формирует отчет с данными измерений в автоматическом режиме. Модель имеет компактные размеры и предназначена для работы непосредственно в цеховых условиях.

Специалисты Центра продемонстрируют возможности новой системы, а также проведут измерения ваших деталей с последующим предоставлением отчета об измерениях.

Для посещения Центра развития технологий отправьте заявку по электронной почте: [Zhidelev.S@ostec-group.ru](mailto:Zhidelev.S@ostec-group.ru) или по телефону: + 7 (495) 788-44-44, доб.: 5883 – Степан Жиделев.

## ОСТЕК-АРТТУЛ – ЭКСКЛЮЗИВНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР НАНОТВЕРДОМЕРОВ СЕРИИ «НАНОСКАН»

С 2017 года ООО «Остек-АртТул» является официальным эксклюзивным дистрибьютором всего модельного ряда нанотвердомеров серии «НаноСкан» на территории РФ. Технические возможности приборов «НаноСкан» охватывают широкий спектр измерений физико-механических свойств материалов и областей применения, среди которых:

- материаловедение;
- авиастроение;
- космическая отрасль;
- автомобилестроение;
- станкостроение;
- медицина;
- энергетика;
- метрология;
- строительство;
- и др.

Сканирующие нанотвердомеры семейства «НаноСкан» разрабатываются в ФГБНУ «Технологический

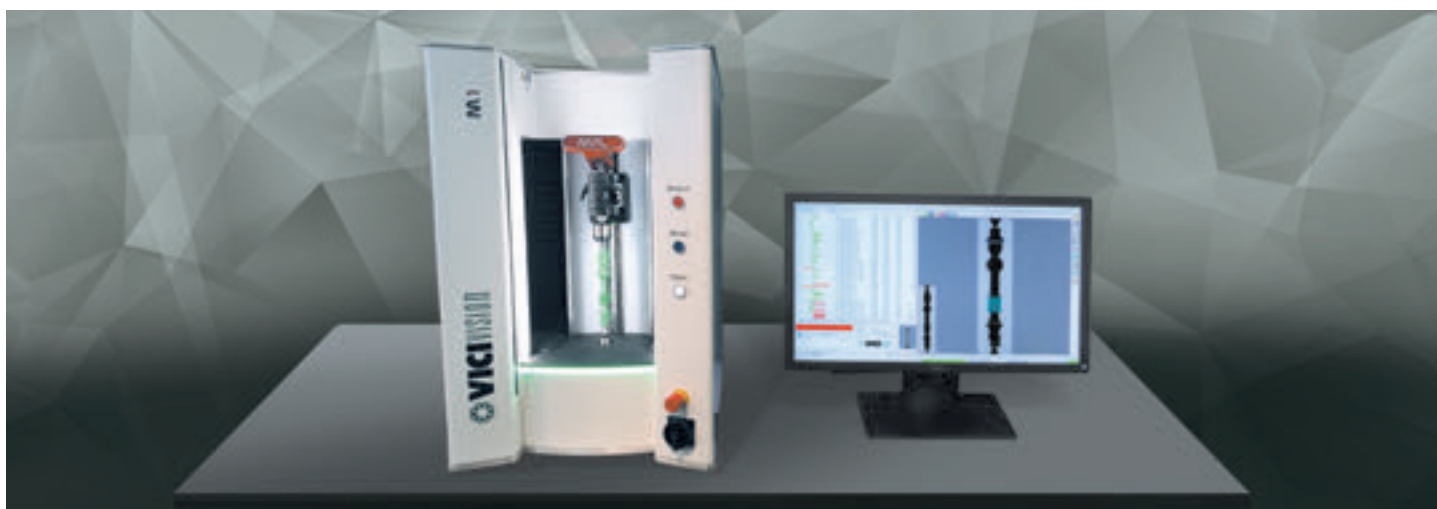


институт сверхтвердых и новых углеродных материалов (ТИСНУМ)» с 1995 года. Предприятие более 20 лет занимает лидирующие позиции на российском рынке аналитического приборостроения.

Остек-АртТул выполняет следующие работы:

- анализ развития рынка и технологий;
- помощь в улучшении дизайна продукта;
- проектирование производства;
- полный спектр работ по поставке оборудования и услуг с учетом современного уровня развития рынка и технологий.

*Более подробную информацию можно получить у специалистов ООО «Остек-АртТул» по электронной почте: [info@arttool.ru](mailto:info@arttool.ru).*



## ZESTRON® EYE MOBILE – НОВАЯ СИСТЕМА ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО ИЗМЕРЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ОТМЫВОЧНЫХ ЖИДКОСТЕЙ

В июне 2018 года на выставке SMT в г. Нюрнберге (Германия) была представлена новая мобильная цифровая система для автоматического измерения концентрации отмывочных жидкостей фирмы Zestron® – ZESTRON® EYE Mobile. Система успешно дополняет существующие решения по автоматизированному контролю концентрации отмывочных жидкостей: ZESTRON® EYE и ZESTRON® EYE CM.

Портативный прибор ZESTRON® EYE Mobile позволяет быстро и точно измерить концентрацию отмывочной жидкости и не требует подключения к электросети и установки в оборудование. Также устройство анализирует данные



раствора и предлагает правильную дозировку концентрата отмывочной жидкости и деионизованной воды для получения оптимальной концентрации в баке.

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



## МОБИЛЬНЫЕ ОЧИСТНЫЕ СООРУЖЕНИЯ ОТ ОСТЕК-СТ

Полигоны складирования твердых бытовых отходов (ТБО) являются объектами высокого экологического риска загрязнения окружающей природной среды из-за просачивания в пределах площади складирования отходов свалочного фильтрата, который является постоянным источником загрязнения подземных вод.

Эту проблему позволяют решить современные мобильные очистные сооружения контейнерного исполнения в полной заводской готовности. На российском рынке их предлагает ООО «Остек-СТ» совместно со своим партнером ЗАО «ИНЕКО». Технология очистки построена на использовании высокоэффективного сорбента IRONPEAT®, позволяющего в одном потоке очищать все основные тяжелые металлы. В зависимости от состава очищаемых стоков установка комплектуется модулями фильтрации от нефтяных примесей, устранения запаха и УФ-обеззараживания.

*Подробную информацию об оборудовании можно получить у специалистов ООО «Остек-СТ» по телефону: +7 (495) 788-44-44 или по электронной почте: [ost@ostec-group.ru](mailto:ost@ostec-group.ru).*



# НОВОСТИ

## ПОБЕДИТЕЛЬ РОССИЙСКОГО ЭТАПА КОНКУРСА РУЧНОЙ ПАЙКИ IPC ЗАНЯЛ 2-е МЕСТО НА КОНКУРСЕ В НЮРНБЕРГЕ

На конкурсе ручной пайки IPC, проходившем в рамках выставки SMT Hybrid Packaging 2018 с 5 по 7 июня в Нюрнберге, россиянин Александр Акпатов (ФГУП «НАМИ») занял 2-е место. Всего в конкурсе приняли участие 27 человек, и только четыре платы оказались полностью или частично работоспособными.

Ранее А. Акпатов победил в московском турнире конкурса IPC по ручной пайке, который проводился уже пятый год подряд в рамках международной выставки Электрон-ТехЭкспо с 17 по 19 апреля 2018г.

В конкурсе приняли участие 25 человек. От участников требовалось выполнить монтаж электронного узла, содержащего как компоненты для монтажа в отверстия, так и поверхностного монтажа, включая чип-компоненты размером 0402 и микросхемы с малым шагом выводов. Монтаж выполнялся вручную с использованием предоставленных инструментов и материалов, на сборку изделия отводилось 60 минут.

При подведении итогов учитывались, прежде всего, завершенность сборки и работоспособность изделия, а также качество в соответствии с требованиями стандарта IPC-A-610 «Критерии приемки электронных сборок», класс 3, владение участником технологией ручной пайки, его навыки, аккуратность и лишь в последнюю очередь – скорость выполнения задания при условии, что участник уложился в отведенный час. Оценивало работу профессиональное жюри, среди чле-



Конкурс ручной пайки IPC в рамках выставки ElectronTechExpo 2018 в Москве



Александр Акпатов на конкурсе ручной пайки IPC в Нюрнберге

нов которого – сертифицированный тренер IPC (CIT), главный специалист ООО «Остек-Интегра» Роман Порядин.

Группа компаний Остек – один из старейших членов ассоциации IPC в России и ее официальный дистрибьютор, предоставила для конкурса полностью оборудованные рабочие места, включая промышленную мебель торговой марки GEFESD,

паяльные станции, монтажный инструмент и необходимые технологические материалы, а также изделия для антистатической защиты. Также ГК Остек проводит тренинги по стандарту IPC-A-610F «Критерии приемки электронных сборок» и IPC-7711/7721B «Восстановление, модификация и ремонт электронных сборок» с выдачей сертификата специалиста IPC (CIS).

## «УМНОЕ РАБОЧЕЕ МЕСТО» НА ВЫСТАВКЕ ИННОПРОМ-2018

На 9-й Международной промышленной выставке ИННОПРОМ, прошедшей в июле в Екатеринбурге, Остек-СМТ представил собственную разработку для повышения качества ручной сборки электронных компонентов «Умное рабочее место».

«Умное рабочее место» – новый продукт собственной разработки Остек-СМТ для организации «умных» сборочно-монтажных участков ручной сборки. Впервые решение было представлено в рамках международной выставки «ЭлектронТехЭкспо-2018», прошедшей в апреле в Москве.

Разработка позволяет повысить качество сборки и эффективность труда с минимизацией челове-

ского фактора. Новинка оснащена интеллектуальным программным обеспечением, учитывающим массу факторов и помогающим добиться максимальной эффективности без потери качества. Решение интегрируется с другим продуктом, разработанным Остек-СМТ, – ПАК «Умная линия» (премьерная демонстрация состоялась на выставке «ЭлектронТехЭкспо-2017»), позволяя построить комплексное умное производство на базе линий автоматического поверхностного монтажа и участков ручной сборки.

«Умное рабочее место» уже успело вызвать высокий интерес у представителей электронной промышленности России, разработка имеет широкие перспективы повсеместного внедрения на отечественных производствах.



## КОМПАНИЯ SPEA ПРОВЕЛА ВЫЕЗДНЫЕ СЕМИНАРЫ ДЛЯ СТУДЕНТОВ ТУРИНА

В конце апреля–начале мая 2018 года компания SPEA провела ряд выездных семинаров для студентов технических колледжей и университетов г. Турин, Италия (и её областей) с целью поиска талантливых молодых специалистов. Такие мероприятия проводятся компанией на регулярной основе и предназначены для юных конструкторов, инженеров и механиков.

После успешного прохождения вступительных тестов молодые специалисты получают возможность пройти шестимесячную стажировку в компании SPEA и в дальнейшем работать на одном из сильнейших предприятий в мире по разработке



и созданию проверочной аппаратуры для радиоэлектронной и микроэлектронной областей. Более тысячи студентов боролись за право пройти стажировку и обучение в компании SPEA – это считается престижным стартом для молодого специалиста.

ООО «Остек-Электро» имеет похожую практику – многие сервис-инженеры по установкам SPEA также сначала проходили стажировку и обучение в ООО «Остек-Электро», а потом оставались работать в компании!

# ТЕХНОЛОГИИ

## Современный финишный процесс иммерсионного серебрения YMT GALAXY

Текст: Дмитрий Костенников  
Аркадий Сержантов  
Светлана Шкундина

Обеспечение требований к современным электронным модулям ведет к появлению новых конструктивных решений. Как следствие, для реализации этих требований необходима разработка новых технологических решений, внедрение новых и совершенствование действующих методов производства.

Основа для построения электронных модулей – несущие базовые конструкции, в качестве которых используются печатные платы (ПП), выполняющие две основные функции:

- обеспечение крепления и объемного расположения электрорадиоэлементов (ЭРЭ);
- обеспечение электрических соединений в соответствии с принципиальной электрической схемой.

Поэтому современная печатная плата должна обладать высокой плотностью компоновки электрических цепей и обеспечивать реализацию современных методов и технологий монтажа ЭРЭ с высокой плотностью упаковки в электронном модуле. Чтобы обеспечить пайку ЭРЭ на печатную плату, контактные площадки должны хорошо паяться, для чего используют различные фи-

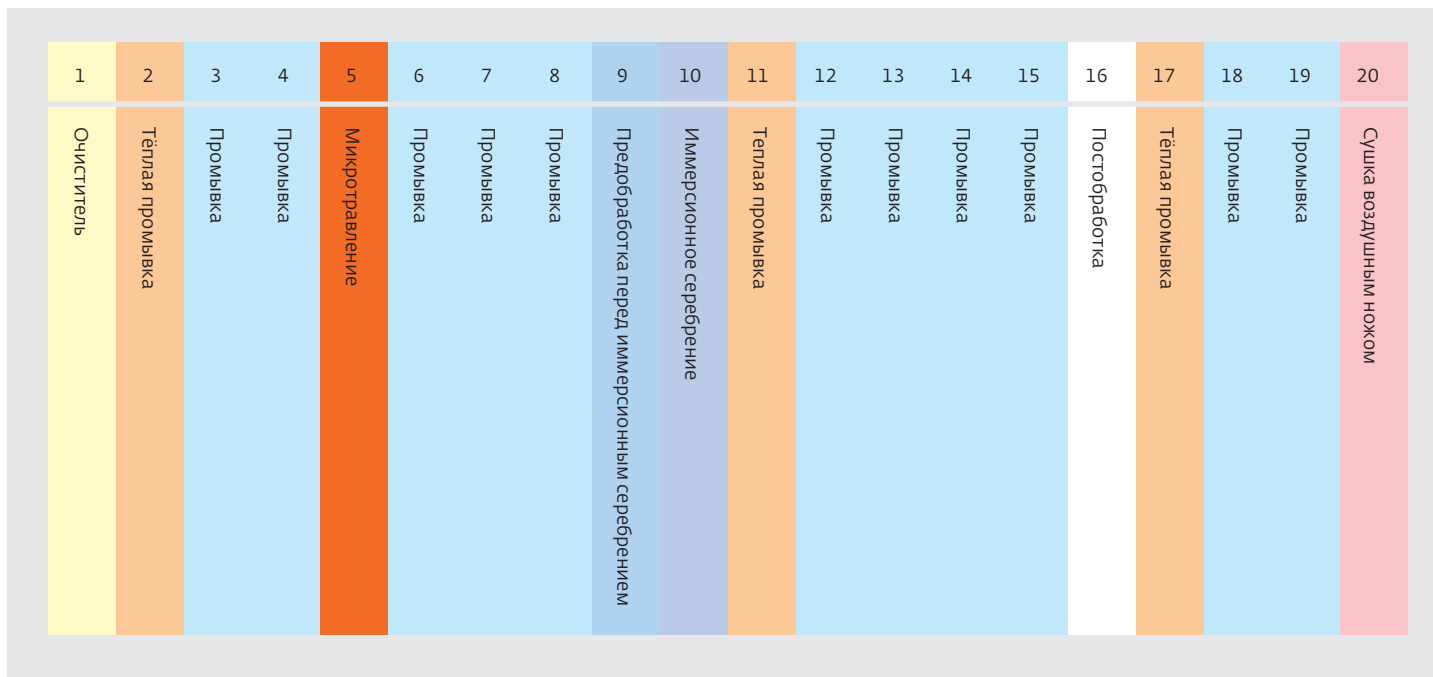
нишные покрытия. Наиболее распространенные из них:

- оплавленное покрытие гальванически нанесенного сплава олово-свинец;
- горячее лужение (HASL-процесс);
- покрытия иммерсионным золотом, оловом или серебром.

Финишные покрытия из оплавленного гальванического и облуженного сплава олово-свинец обладают плохим распределением толщины по поверхности контактной площадки и не могут удовлетворить потребности монтажа с высокой плотностью компонентов. Иммерсионные покрытия являются абсолютно планарными и лучшими для монтажа современной элементной базы на печатные платы.

В настоящее время наиболее распространены в производстве ПП финишные покрытия иммерсионным золотом и иммерсионным оловом. Однако все чаще российские производители ПП большое внимание уделяют процессу иммерсионного серебрения, особенно при производстве СВЧ-печатных плат.

Южнокорейская компания YMT разработала современный процесс иммерсионного серебрения GALAXY. Иммерсионное серебрение – простой процесс, при кото-



1  
Схема процесса иммерсионного серебрения

ром серебро заменяет медь в поверхностном слое при погружении в технологический раствор.

YMT GALAXY – это высокопроизводительный процесс, который может работать как в вертикальном, так и в горизонтальном оборудовании.

Для исключения пожелтения поверхности серебра в процессе хранения ПП компания YMT предлагает использовать защитное органическое покрытие AMB578, которое препятствует воздействию влаги и окружающей среды на слой иммерсионного серебра. Нет необходимости снимать органопокрытие для проведения последующих процессов пайки и монтажа.

В технической литературе рассмотрены ограничения по использованию классического процесса иммерсион-

ного серебрения. В современном процессе, предлагаемом корейской фирмой YMT, таких ограничений нет (Т 1).

Процесс иммерсионного серебрения легко организовать на любом производстве печатных плат (рис 1).

Покрытие иммерсионным серебром YMT Galaxy имеет абсолютно плоскую поверхность на медных проводниках и контактных площадках, что обеспечивает идеальные условия для поверхностного монтажа высокой плотности. Для пайки этого покрытия можно использовать любые типы припоев.

Само покрытие при правильной упаковке и соблюдении условий хранения обладает длительным сроком сохранения паяемости.

Т 1  
Решение проблем покрытия ПП иммерсионным серебром

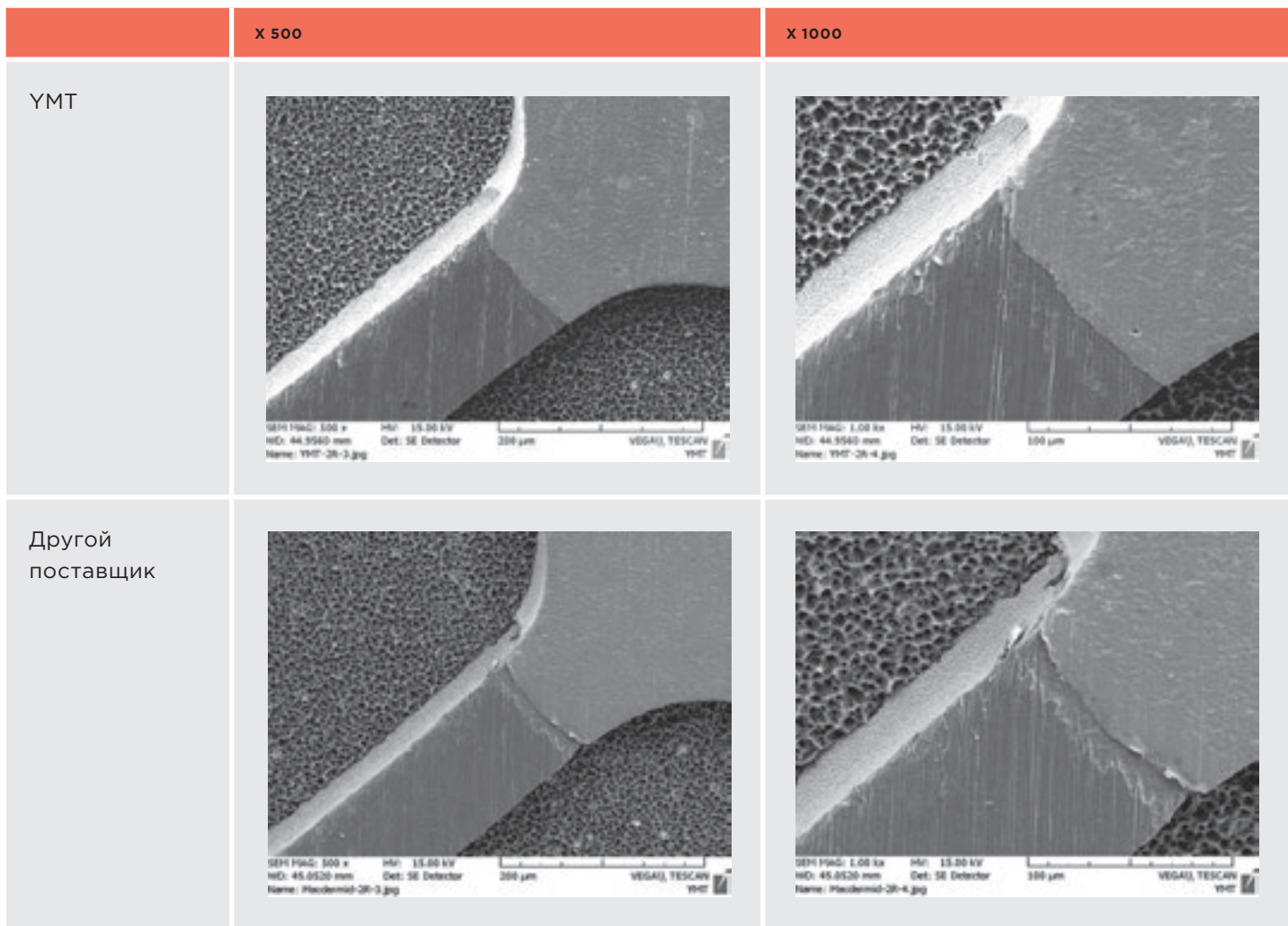
ПРОБЛЕМА	ПРИЧИНА	РЕШЕНИЕ YMT GALAXY
Потемнение	Образование комплекса с серебром (Ag <sub>2</sub> S, AgS) вследствие контакта с серой или хлором	- Получение гидрофобной поверхности - Антиокислительная обработка
Миграция ионов	- Образование интерметаллидов - Загрязнения на поверхности - Повышенная температура и влажность	- Получение гидрофобной поверхности - Тщательная промывка водой
Паяемость	Различие в плотности покрытия на поверхности и в отверстиях вследствие высокой скорости осаждения серебра	Контроль параметров технологического раствора

Т 2

## Результаты тестов серебряного иммерсионного покрытия

№	ПАРАМЕТР	УСЛОВИЯ	ОПИСАНИЕ	РЕЗУЛЬТАТ	
1	Паяемость	Начальный вид Перепайка (3 раза) Макс. T=265 °C	Тест на баланс смачиваемости	Сила смачиваемости	Отлично
2	Тест пайки волной	Начальный вид После теста старения (85 °C/85 %, 96 ч) После термического теста (155 °C, 4 ч) Перепайка (3 раза) Макс. T=265 °C Тест старения + пере- пайка	Бессвинцовый припой, T=280 °C, время 10 - 15 секунд	Хорошая паяемость	Отлично
3	Визуальная инспекция	Начальный вид			Отлично
		После теста старения	85 °C / 85 %, 96 ч	Нет изменений после теста	Отлично
		После термического теста	155 °C 4 ч	Нет изменений после теста	Отлично
		Перепайка (3 раза)	макс T. 265 °C	Нет изменений после теста	Отлично
		Тест старения + пере- пайка	85 °C / 85 %, 96 ч + макс. T=265 °C	Нет изменений после теста	Отлично
4	Смачиваемость припоя	Визуальная оценка		Смачиваемость поверхности	Отлично
5	Микрополости	Рентгеновский микроскоп		Приемлемая пористость	Отлично
6	Тест сдвига шариков припоя	- Размер шариков 0,3 мм - Высота 30 мкм		Высокое усилие на сдвиг	Отлично
7	Тест в солевом тумане	35 °C, 5 % NaCl, 3 цикла (1 цикл: 8 ч воздействие спрея, далее 16 ч ожидание)		Нет коррозии	Отлично
8	Тест адгезии	Тест с липкой лентой		Нет отрыва или деламации	Отлично
9	Тест окисления	Погружение в раствор K <sub>2</sub> S (5 %) 1 мин.		Следов окисления на поверхности нет	Отлично
10	Тест миграции ионов	Условия: 85 °C/ 85 % 550 ч, 50 В. Тест-купон: рисунок проводник/зазор = 100 мкм/100 мкм		Размер сопротивления (более 1 x 10 <sup>6</sup> Ω)	Отлично





2

Фотографии покрытия иммерсионным серебром после снятия паяльной маски при 500-кратном и 1000-кратном увеличении

Раствор иммерсионного серебрения очень стабилен, так как процесс не является автокаталитическим, не разлагается под действием УФ-света. Поскольку процесс иммерсионного серебрения YMT Galaxy – низкотемпературный процесс (50 °C), то нет воздействия на базовый материал и паяльную маску. Также при его проведении исключено высаживание металла между проводниками, что очень важно для исключения рассеивания сигнала в СВЧ-платах.

Преимущества процесса иммерсионного серебрения YMT Galaxy:

- плоская поверхность;
- толщина покрытия 0,3 мкм;
- применение для СВЧ-плат;
- отличная паяемость;
- отличные результаты для сложных рисунков и BGA-компонентов;
- отработанная технология;
- совместимость со всеми паяльными масками и флюсами;
- заменяет горячее лужение;
- дешевле, чем иммерсионное золочение;

- бессвинцовая технология в соответствии со стандартами RoHS и WEEE;
- отличная стабильность ванны;
- пригодность для разварки золотых и алюминиевых выводов.

Процесс YMT Galaxy не воздействует на паяльную маску и, как следствие, не подтравливает медь (рис 2).

В 1 2 представлены результаты стандартных испытаний финишного покрытия – иммерсионного серебрения Galaxy корейской фирмы YMT.

**Современный процесс иммерсионного серебрения YMT Galaxy не имеет недостатков классического процесса вследствие создания гидрофобной поверхности и применения надёжной пост-обработки. Процесс рекомендуется к применению в качестве финишного для высокосложных и СВЧ-печатных плат.**

# Компьютерная томография – неразрушающий контроль для современного производства



Текст: Антон Нисан



Одним из наиболее универсальных и информативных методов неразрушающего контроля по праву считается рентгенография. Первая рентгеновская лаборатория, предназначенная для промышленных исследований, была организована в 1925 году. За прошедшее с тех пор время в технической базе рентгенографии произошло несколько по-настоящему этапных изменений; последнее из них привело к появлению промышленной компьютерной томографии, которая кардинально расширила возможности этой технологии как инструмента неразрушающего контроля и, более того, вывела ее в новые области применения.

Исторически первым способом рентгенографии стала технология с применением пленки (позднее – также бумаги) с фотоэмульсией. В ней изображение объекта получается за счет почернения фотоэмульсии, причем его оптическая плотность выше там, где тоньше слой материала, через который прошли лучи, либо там, где на их пути находился фрагмент с меньшей поглощающей способностью. Таким образом выявляются особенности строения объекта, такие, как вариации толщины, внутренние пустоты, инородные включения, границы деталей из разных материалов.

Пленочный аппарат может быть использован там, где применение машин других типов невозможно или затруднительно: например, пленкой можно обернуть трубу; для матричных полупроводниковых фотоприемников такая возможность пока исключена, а для фосфорных пластин ограничена. Вместе с тем пленочная рентгенография – длительный и сложный процесс. Пленки требуют аккуратного обращения. Для получения изображения необходима многоступенчатая обработка, во время которой надо тщательно контролировать параметры реактивов. Сама потребность в нескольких типах реактивов, а иногда – и в разных типах пленок, является фактором усложнения и удорожания контроля. Наконец, нужно иметь специальные помещения с особыми условиями вентиляции, чистоты, температурного режима и освещения.

Автоматические проявочные машины значительно упрощают и ускоряют работу с пленками; например, обработка пленки в машине FUJI FIP 7000 занимает 11,5 мин., тогда как типичное время ручной обработки – примерно 1,5 ч. Однако машины не отменяют потребности в комплекте реактивов и требуют еще более жесткого контроля параметров растворов. И в любом случае для использования в компьютерных системах пленка требует оцифровки на отдельном оборудовании.

В 1983 году на рынок вышли первые коммерческие образцы оборудования рентгеновского контроля принципиально нового типа – системы на основе фосфорных пластин (ФП), которые сразу представляют информацию в цифровом виде. Принцип действия ФП основан на явлении фосфоресценции – способности некоторых веществ светиться по окончании облучения – самопроизвольно, за счет тепловых флуктуаций электронов, либо вынужденно, при подведении внешней энергии.

Прошедшие через объект рентгеновские лучи создают на ФП «скрытое изображение», которое формируется электронами, выбитыми со своих орбит рентгеновскими квантами; количество таких электронов пропорционально дозе излучения, поглощенного данным фрагментом ФП. Считывание «скрытого изображения» выполняется сканером. В сканере луч лазера попадает на подвижное зеркало, направляющее его на ФП и обеспечивающее сканирование по горизонтали; сканирование по вертикали происходит за счет

движения пластины. Луч вызывает свечение пикселя «скрытого изображения»; оптической системой оно подается в фотоумножитель, за которым находится ПЗС-камера, фиксирующая последовательно, точка за точкой, картину, оставленную рентгеновским лучом на ФП. Система управляется компьютером, в котором и формируется финальное изображение – сразу в цифровом виде.

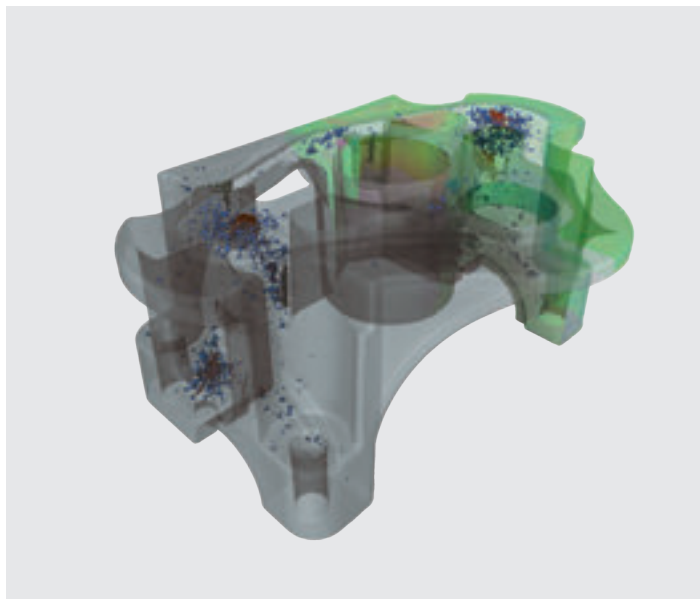
ФП-технология имеет ряд преимуществ перед пленочной. Светочувствительность ФП примерно на порядок выше, чем у пленки, что позволяет примерно в 10 раз уменьшить время экспозиции. Исключается «мокрая» обработка пленки. Благодаря более широкому, чем у пленки, динамическому диапазону обеспечивается возможность исследовать детали более сложной формы с большей толщиной. ФП допускают многократное использование – до 30 тыс. раз. Но главное – изображение сразу представлено в цифровом виде.

Большинство недостатков ФП-технологии носит временный характер. Так, разрешающая способность ФП пока не превышает 10 ЛП/мм; это хуже, чем у лучших пленок (до 20 ЛП/мм). При высоких энергиях излучения чувствительность ФП ухудшается, что может иметь значение для некоторых задач неразрушающего контроля. Однако сегодня обе проблемы уже близки к разрешению.

Раздельность процессов экспонирования и считывания во многих случаях проявляет себя как достоинство аппаратов с ФП – например, при инспектировании крупных объектов, которые невозможно исследовать иначе, чем по частям. Однако применительно к объектам небольших габаритов усложнение системы за счет необходимости сканирования становится ее недостатком. К тому же при значительной паузе между экспонированием и считыванием изображение может быть потеряно: за два часа его интенсивность уменьшается на 40–60 %. Кроме того, ФП довольно уязвимы при небрежном обращении.

Другое современное направление развития технологий рентгенографии свободно от недостатков, свойственных как пленочным, так и ФП-системам. Это направление получило название прямой цифровой рентгенографии, а заключается оно в применении цифровых детекторов (ЦД) излучения вместо пленок и пластин.

Существует несколько разновидностей ЦД. В промышленной дефектоскопии наиболее распространены ЦД на основе аморфного кремния, отличающегося высокой радиационной устойчивостью, что позволяет применять панели на его основе при высоких энергиях облучения. Кроме того, аморфный кремний лучше других материалов переносит воздействие неблагоприятных факторов внешней среды. Правда, детекторы этого типа имеют не очень высокое разрешение – размер их пикселя обычно не бывает меньше 100 мкм. Наилучшим разрешением обладают матричные сборки,



изготовленные по КМОП-технологии – на них получены пиксели размеров в несколько микрон.

Плоскопанельные ЦД способны на площади порядка  $40 \times 40$  см создавать цифровое изображение с количеством пикселей до  $4000 \times 4000$ , их быстродействие – десятки кадров в секунду. Линейные детекторы имеют большие, по сравнению с плоскопанельными, размеры пикселя; снижение разрешения компенсируется способностью регистрировать слабые сигналы и, следовательно, эффективно инспектировать сильнопоглощающие объекты. Разработанные для ЦД алгоритмы калибровки практически полностью исключают их собственные шумы, поэтому аппараты с ЦД особенно эффективны там, где нужны очень высокие чувствительность и контраст изображения в сочетании с возможностью контроля слабых изменений радиационной толщины – до 0,1 %.

Проигрывая пленочным системам по критерию затрат на оборудование, рентгеновские аппараты с ЦД очевидно выигрывают в простоте и скорости получения цифрового снимка и в его стоимости. Те же преимущества, хотя и в меньшей степени, они имеют перед системами с ФП.

В задачах неразрушающего контроля прямая цифровая рентгенография находит наибольшее применение для дефектоскопии сравнительно небольших объектов. Одним из основных узлов аппарата является манипулятор, который позволяет вращать объект и перемещать его относительно трубки и детектора. Это позволяет не только выбирать ракурс и зону контроля, но и управлять геометрическим увеличением системы, поскольку оно определяется соотношением расстояния от трубки до детектора и расстояния от трубки до объекта.

Распространение аппаратов с ЦД привело к следующему шагу, который можно без преувеличения назвать революционным, – к созданию систем компью-

терной томографии. Первый компьютерный томограф был построен еще в 1972 году, но он предназначался для медицинских целей. Для нужд промышленности и материаловедения эта технология стала использоваться лишь в начале 1990-х годов, когда разрешающая способность томографов возросла примерно в 500 раз.

В томографе объект поворачивается с небольшим шагом на  $360^\circ$ , и в каждом положении делается его снимок. Число снимков определяется требуемым качеством цифровой модели и может составлять от нескольких сотен до нескольких тысяч.

Дальше следует этап томографической реконструкции: сложная алгоритмика строит 3D-модель объекта, в которой степень ослабления рентгеновского излучения отображена шкалой серого цвета. Программное обеспечение может преобразовать изображение в цветное, присвоив каждой плотности серого цвета некоторый цвет из видимого спектра со своим уровнем интенсивности.

Возможности, предоставляемые такой цифровой 3D-моделью, чрезвычайно широки, они даже выйдут за пределы собственно дефектоскопии. Например, можно непосредственно сопоставить ее с CAD-данными объекта. Более того, можно импортировать модель в CAD-систему, создав таким образом основу для решения одной из сложных и иногда очень актуальных задач – задачи обратного проектирования.

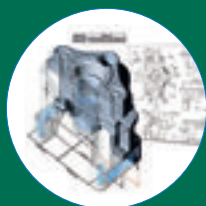
Но и для целей неразрушающего контроля цифровая 3D-модель предоставляет объем данных, несопоставимый с возможностями других методов рентгенографии. При помощи специальных программ по ней можно получить любое желаемое сечение объекта, проконтролировать геометрию его поверхностей. 3D-модель позволяет установить размеры и форму пустот и посторонних включений и их точную локацию в объеме объекта. На такой модели, в отличие от 2D-снимка, невозможно спутать, например, каверну в теле отливки с перепадом толщины ее стенки. Не скроется от обнаружения трещина, которую 2D-аппарат обнаружит, только если ее ориентация достаточно близка к направлению луча. ▣

**Безусловно, промышленная компьютерная томография представляет собой одну из наиболее перспективных технологий неразрушающего контроля. Ее возможности заслуживают пристального внимания при определении облика новых и модернизации работающих производств в самых разных отраслях промышленности.**



#### Литье

- Отработка технологии литья
- Поиск и анализ пустот, раковин и включений



#### Механообработка

- Контроль качества геометрии ответственных деталей сложной формы
- Обратное проектирование



#### Электроника

- Контроль печатных плат, компонентов и качества пайки
- Исследование совмещения слоев, дефектов металлизации



#### Материаловедение

- Исследования внутренней структуры материалов
- Расчет физических свойств материалов



#### Исследования

- Полезные ископаемые и геологические образцы
- Принципы работы механизмов
- Криминалистика

## Лаборатория промышленной томографии: экспертный контроль качества и проведение исследований

- Самая крупная в Восточной Европе
- Оснащенная передовым оборудованием

Лаборатория создана на базе Центра развития технологий (ЦРТ), предназначенного для широкого спектра производственных и научных задач.



будущее  
создается



Channel Partner  
GE Oil & Gas

www.ostec-3d.ru  
+7 (495) 788-44-41  
3d@ostec-group.ru

# КАЧЕСТВО

## «Умная линия» в конкретном исполнении. Визит в компанию «Инфотэкс АТ»

Текст: Юрий Ковалевский  
Владимир Мейлицев

«Индустрия 4.0», «Умное производство» или, в отечественной интерпретации, цифровизация экономики... Этими словами сегодня называют одно из слагаемых четвертой промышленной революции. Промышленная революция, в отличие от революции социальной, движется мелкими шагами, которые не видны современникам событий. Только потом, ретроспективно, значение каждого из таких шагов, роль тех новаторов, благодаря которым они состоялись, оцениваются по достоинству – да и то лишь некоторыми историками и эрудитами или глубокими специалистами в той области, где в прошлом произошло то или иное свершение. Многие ли помнят француза Папена, англичанина Ньюкомена, нашего соотечественника Ползунова? А ведь их работы предшествовали изобретению Уайта, создавшего практически пригодную паровую машину, которая стала одним из ключевых факторов первой промышленной револю-

ции – перехода от преимущественно аграрной модели экономики к индустриальной.

Четвертая промышленная революция отличается от предыдущих тем, что она предсказана, основные ее черты подробно описаны. Это дает возможность следить за ее развитием, искать и находить те самые мелкие шаги, совокупность которых изменит мир. Поэтому мы не могли не откликнуться на известие о том, что в Группе компаний Остек создан комплекс «Умная линия» – один из шагов на пути развития производственных киберфизических систем. Узнав, что комплекс устанавливается на сборочно-монтажную линию екатеринбургского предприятия «Инфотэкс АТ», мы отправились туда.

Прежде всего надо было понять, что представляет собой предприятие, решившее принять «Умную линию» в эксплуатацию. Об этом нам рассказал директор ООО «Инфотэкс АТ» Павел Александрович Кораблёв.



**Павел Александрович, расскажите о продукции вашего предприятия.**

Предприятие ООО «Инфотэкс АТ» существует с 1988 года. Мы специализируемся на разработке и выпуске электронной техники для железных дорог. На сегодняшний день в России установлено порядка 6 тыс. наших систем, есть они и в других странах бывшего СССР – Белоруссии, Казахстане, Украине, Грузии, Армении, Узбекистане, Таджикистане, Туркменистане.

У нас две основные темы. Наиболее массово выпускаются системы контроля перегрева буксовых узлов подвижного состава. Перегрев буксового узла – очень опасное явление: разрушение подшипника колесной пары чревато тяжелой аварией или даже катастрофой.

Существуют два варианта установки контрольной системы. По первому она монтируется на подвижном составе. Второй вариант подразумевает установку аппаратуры на железнодорожных путях, он наиболее распространен в мире, а в России вообще применяется только он. Вот эту аппаратуру мы разрабатываем и производим. Называется она КТСМ – комплекс технических средств многофункциональный для диагностики ходовых частей железнодорожного подвижного состава. Комплекс состоит из двух напольных камер, стойки с системой обработки сигналов и соединительных кабелей. Комплексы располагаются вдоль пути на расстоянии 20–50 км друг от друга – в зависимости от ряда факторов, главным из которых является напряженность движения. Камеры устанавливаются непосредственно на подошву рельса и измеряют ИК-излучение, исходящее от буксовых узлов проходящего состава. Сигнал передается в стойку электроники, установленную рядом с железнодорожным полотном в кирпичной будке, или, в более современном варианте, в сварном модуле заводского изготовления.

**Ваша аппаратура – это внушительных размеров стойки с большим числом разнотипных электронных модулей. Неужели измерение температуры – такая сложная задача?**

Действительно, казалось бы – обычный термометр. На деле всё, конечно, гораздо сложнее. Болومترический датчик камеры выдает слабый аналоговый сигнал,



Аппаратура КТСМ: сверху – комплект стойки КТСМ-02; снизу – один из модулей аппаратуры в процессе сборки

который усиливается, фильтруется и преобразуется в цифровую форму. Кроме того, у камер есть режим автокалибровки – после каждого поезда камера проверяет и, при необходимости, корректирует параметры своего измерительного тракта. Так что электроники достаточно и в камере, причем она работает в очень сложных условиях. Прикрепленная к рельсу камера воспринимает все достающиеся ему ударные и вибрационные нагрузки. Уже по нормативам ускорение этих нагрузок немалое – до 40 g, а на старых, изношенных путях наши замеры иногда показывали ускорение свыше 100 g. Добавьте к этому зимние и летние температуры, весеннюю и осеннюю влажность, снег, иней, загрязнения, неизбежные в воздухе вокруг железной дороги. Понятно, что конструкция камеры должна быть очень надежной, что, в числе прочего, зависит и от качества монтажа печатных плат ее «начинки». Стойка в своем модуле находится в более благоприятных условиях, хотя температура



Производство электронных узлов. Рабочие места ручного монтажа; автоматизированная сборочная линия; рабочее место подготовки питателей, установка ультразвуковой отмытки печатных узлов Miniclean компании PBT Works

и влажность актуальны и для нее. Но у электроники в стойке куда более сложные и многочисленные задачи.

Информацию с камер надо, во-первых, сохранить, во-вторых – обработать. Камеры передают на стойку непрерывный поток информации – следовательно, надо решить задачу выделения участков записи, соответствующих каждому буксовому узлу. При этом узлы бывают разные. В более старой конструкции буксы используются подшипники с цилиндрическими роликами, они рассчитаны в основном на радиальную нагрузку. Теперь применяются так называемые кассеты – радиально-упорные подшипники с коническими роликами; в этом случае к радиальной нагрузке добавляется осе-

вая. Естественно, тепловая картина для каждого типа подшипника своя. Правильное значение температуры можно вычислить, только понимая, с каким типом подшипника мы имеем дело, этим занимается специальный, весьма сложный алгоритм.

Далее. Системы комплектуются камерами разной конструкции, с разной ориентацией, разным расстоянием до проносящегося мимо буксового узла – от 40 до 70 см; это тоже нужно учитывать. В разные сезоны температуру надо измерять по-разному. Плюс то явление, которое мы между собой называем «весенним обострением»: состояние смазки в буксах зависит не только от температуры, но и от ее перепадов, и особенно сильно эти эффекты проявляются при переходах температуры через  $0^{\circ}$ . Весной металл рельса может ночью остывать до температур ниже  $-20^{\circ}\text{C}$ , а днем, под солнцем – существенно нагреваться.

Для внесения поправок на эти явления существуют различные алгоритмы, в том числе термокоррекция. Есть и проблемы аппаратного происхождения – например, просадки напряжения сети. Напольными камерами надо управлять – запускать режим автокалибровки, включать обогрев, открывать и закрывать сдвижную заслонку. Еще одна задача стойки – передача данных в сеть для использования в АСК ПС – централизованной автоматизированной системе контроля подвижного состава.

Поэтому в наших стойках так много электроники: несколько процессоров, устройства цифровой связи, БУНК (блок управления напольными камерами) и еще целый ряд модулей, выполняющих различные функции.



В лаборатории тестирования. Справа от рабочего места инженера-испытателя – стеллаж с испытательным оборудованием, далее – два комплекта стойки КТСМ-02



### А что представляет собой вторая группа аппаратуры?

Второе направление – системы диагностики технических средств – СДТС. Их функция – диагностика устройств сигнализации, централизации и блокировки. Это те устройства, которые управляют стрелками, светофорами и т. п., а мы их контролируем. Надо понимать, что речь идет не о контрольно-проверочной аппаратуре, которая периодически подключается к объекту контроля для его автономной проверки. Наши изделия работают постоянно, осуществляя, фактически, непрерывный мониторинг параметров «подшефной» системы. Они стационарные, устанавливаются в так называемых релейных помещениях – ведь контролируемая аппаратура раньше вся состояла из электромагнитных реле. Условия функционирования в отапливаемых помещениях, конечно, помягче, чем условия работы КТСМ, но задач, определяющих ее сложность, тоже хватает. Диагностической аппаратуре приходится работать не только с цифровыми данными, но и с дискретными – командами (положениями реле), а также с аналоговыми – сопротивление изоляции, уровни напряжений и т. п. Алгоритмы в процессорах анализируют собранные данные для решения главной задачи: предупреждения о возможном отказе с указанием того узла, компонента или жгута, в котором он может произойти.

### Каковы объемы выпуска продукции?

В наиболее удачные времена годовой выпуск доходил до 1 000 комплектов КТСМ, сейчас он составляет примерно 220 комплектов в год. Что касается систем диагностики, то поступление заказов на них предсказать невозможно.

### Что побудило вас пять лет назад приобрести линию автоматизированного монтажа?

Мы решили отказаться от заказов у контрактных производителей по двум причинам. В какой-то момент просто стало понятно, что те средства, которые мы отдавали поставщику плат, лучше оставить внутри компании. Тогда количество заказов было вполне достаточным, чтобы мы могли позволить себе выделение средств на модернизацию производства.

Но главное – нас перестало удовлетворять качество получаемых плат, а оно критически важно для такой ответственной продукции, как наша. Мы ведь могли проверять платы только внешним осмотром, а потом уже на заключительных этапах – при проверке функционирования и далее – в ходе 72-часового прогона в составе стойки. Проведен монтаж компонентов, механическая сборка модулей, потрачены средства и время – и тут выясняется, что печатная плата изготовлена с дефектом. К тому же производитель плат не всегда соглашался, что модуль не работает из-за его брака. Поэтому дилемму – организовывать полноценный входной контроль плат или запустить линию поверхностного монтажа – мы решили в пользу второго варианта.

Еще один плюс от наличия автоматизированной линии: из цикла разработки исключены макетные образцы, со-



Контроль качества изготовления печатных узлов: API Phoenix Microtelx DXR-HD, АОИ Viscom s3088 Ultra blue



бранные проводным монтажом на универсальных макетных платах. Теперь по схеме, созданной при помощи системы автоматического проектирования, изготавливается сразу прототип будущего модуля на штатной печатной плате.

### Полтора года назад вы приобрели установку полуавтоматической рентгеновской инспекции...

Это сделано для обеспечения качества продукции и надежности технологического процесса. В продолжение той же тенденции недавно приобретена установка автоматической оптической инспекции (АОИ); сейчас она работает как отдельно стоящая, мы ее осваиваем.

Дальше – посмотрим, может быть поставим в линию. И самое последнее наше мероприятие, совместное с Остеком, – установка программно-аппаратного комплекса «Умная линия» – предпринято с той же целью – обеспечить качество изделий, стабильность и управляемость производственного процесса.

### А что потом? Вы думали о дальнейшем движении в плане развития производства в направлении цифровой экономики?

Я не считаю себя консерватором, но на эту тему не стал бы говорить что-то определенное. Те проявления цифровизации экономики, с которыми я сталкивался до сих пор в ходе своей работы, не вызывают энтузиазма.



Состав оборудования линии поверхностного монтажа: автомат трафаретной печати DEK HORIZON03iX, инспекционный конвейер Nutek 1NTM 510ICL, автомат установки компонентов Samsung SM 421 и рабочая станция с конвейером Nutek NTM 530WSL, печь оплавления Hotflow 2/12

Я – сторонник подхода, который можно обозначить как разумная эффективность: развиваться надо до тех пор, пока виден эффект от предпринимаемых шагов. Давайте сначала освоим АОИ, поработаем с «Умной линией» – а потом посмотрим.



**Поскольку целью нашего визита было не столько техническое оснащение производства само по себе, сколько знакомство с комплексом «Умная линия», в цехе роль гида взял на себя директор по развитию ООО «Оstek-СМТ» Василий Михайлович Афанасьев.**

**Василий Михайлович, прежде чем говорить об «Умной линии», давайте уточним состав оборудования, для работы с которым предназначается этот программный комплекс.**

Конкретная линия поверхностного монтажа состоит из автомата трафаретной печати DEK HORIZON03iX; инспекционного конвейера Nutek 1NTM 510ICL; автомата установки компонентов поверхностного монтажа Samsung SM 421; рабочей станции с конвейером Nutek NTM 530WSL; конвекционной системы пайки оплавлением ERSA Hotflow 2 / 12. В начале и конце линии установлены, соответственно, загрузчик и разгрузчик Nutek. Оптическая инспекция, как вы уже знаете, пока используется автономно, вне линии.

**Вопрос общего характера: почему Ostek вообще взялся за разработку «Умной линии»?**

У «Умной линии» был предшественник, появление которого стало следствием нашего понимания кадро-



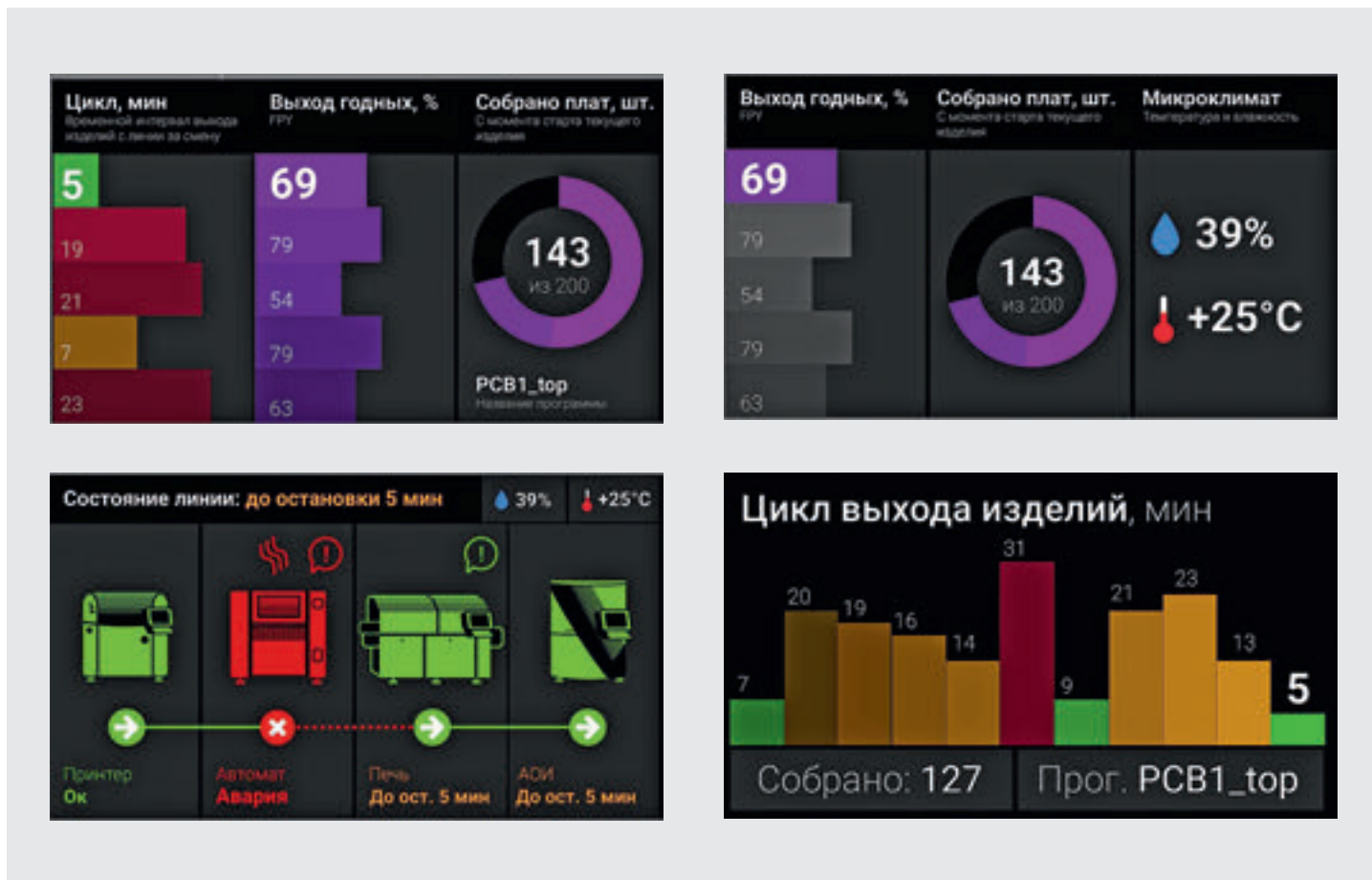
Идет отладка диспетчерского экрана «Умной линии»

вой проблемы активно модернизирующейся отрасли. Оператор в ходе профессионального обучения, в ходе работы на технике приобретает знания, опыт, понимание деталей процесса и – уходит на повышение, именно потому, что он всем этим овладел. На его место приходит человек, которому, фактически, надо начинать все с начала.

Так и получается, что большинство рабочих мест у технологических линий занято людьми, подготовленными не лучшим образом. И мы создали программно-аппаратный комплекс «Умный помощник»: стойка с монитором, в которой хранится база данных, собравшая весь опыт экспертов в этой области технологий, обобщенный и структурированный специалистами Остека.

При возникновении дефекта его надо найти в справочнике, и система выдаст информацию по возможным причинам его возникновения и варианты действий для ликвидации.

Уже заканчивая работу над «Умным помощником», мы поняли, что этого недостаточно. Зачем заставлять пользователя формулировать характер дефекта, искать его в обширной базе данных? Это ведь тоже требует определенной квалификации, которой может и не быть. Система сама должна собирать информацию со станков в линии, сама ее обрабатывать и в результате выдавать пользователю варианты решения проблемы – на ос-



Варианты информационных блоков главного монитора линии

нове данных, собранных с оборудования. Фактически, это и было рождением идеи «Умной линии». «Умный помощник» был доведен до стадии законченного продукта, но продвигать его мы не стали. Финальная точка его развития стала отправным пунктом создания более совершенной автоматизированной системы.

Современное оборудование генерирует огромное количество данных о проходящих в нем процессах. Но до них очень трудно добраться, и практически потребитель использует едва ли 20 % – при том, что при покупке машины он заплатил за все 100 %.

Можно привести аналогию с мобильным телефоном. Последнее поколение кнопочных телефонов имело очень богатый функционал, сравнимый с функционалом современных смартфонов. Но воспользоваться всеми возможностями было очень трудно – если помните, даже текстовые сообщения набирать на клавиатуре довольно неудобно. И только появление смартфонов с сенсорным экраном, который предоставляет несравненно большее удобство доступа ко всем приложениям и функциям аппарата, позволило действительно актуализировать все его ресурсы.

Так же и «Умная линия». Ее задача – собрать всю возможную информацию с оборудования, систематизировать ее и представить пользователю в самой удобной именно для него форме. Мало того: «Умная линия»

должна помогать поддерживать технологический процесс, то есть на основании собранных данных систематизировать дефекты, распознавать признаки развития неблагоприятных ситуаций и затем формировать предупреждения для персонала и советы по недопущению сбоев процесса или действиям по их устранению.

**Но ведь подобными разработками занимаются и компании – производители техники. Почему Остек счел необходимым создать свой вариант?**

Да, такие системы предлагают и Universal Instruments, и Yamaha, и многие другие. Но это системы, ориентированные на оборудование данного производителя. Наша же система принципиально «брендонезависима», она позволяет собрать под единой оболочкой оборудование от разных производителей.

**Почему для первой реализации «Умной линии» была выбрана компания «Инфотэкс АТ»?**

Это не первая реализация. Первый комплект аппаратуры и ПО, так сказать, версия для  $\alpha$ -тестирования, был установлен на одной из линий компании «ПСБ технологии». «Инфотэкс» же привлек нас тем, что они ожидают наибольшей пользы от самой, пожалуй, интересной части комплекса – той, которая анализирует техническую сторону производственного процесса



Диспетчерская панель

и выдает технологу рекомендации по поиску причины дефекта и предупреждения о развитии потенциально опасных ситуаций. Этот аспект применения системы важен и для нас: с одной стороны, в нем воплощается весь опыт Остека и наши предыдущие «умные» наработки, с другой – очень важно оценить эффективность комплекса как средства оказания помощи специалистам в поиске причин брака, его минимизации и, в целом, в поддержании высокой надежности технологического процесса.

### Из чего состоит комплекс «Умная линия»?

«Умная линия» представляет собой совокупность трех составляющих: собственно технологическое оборудование – станки в сборочной линии; периферийное оборудование для хранения, обработки информации и ее отображения, в том числе в удаленном доступе; и, самое главное, алгоритмическая аналитическая система, производящая сбор данных с технологических установок, организацию их в виде СУБД и экспертный анализ происходящих в оборудовании процессов с формированием рекомендаций по преодолению негативных ситуаций.

### Информация, предоставляемая пользователям, как-то ранжирована?

Мы делим ее на четыре категории: текущая информация, аналитическая, оперативная и экспертная.

Текущая информация – это мониторинг состояния выполнения работ и статуса оборудования в каждый данный момент времени. Эта информация выводится на главный монитор линии и на панель диспетчера. На главном мониторе линии отображается самая основная информация о ходе и результатах производственного



Пример экрана аналитической информации на рабочем месте специалиста: вкладка «Производительность»

процесса. Графика укрупненная, с расчетом на читаемость с любого рабочего места линии.

Предусмотрено несколько информационных блоков, содержащих по-разному сгруппированные и в разной форме представленные данные. Блоки можно вызывать по мере надобности, а можно включить режим их чередования – нечто подобное слайд-шоу. Диспетчерская панель располагается прежде всего на рабочем месте диспетчера, она также может быть размещена в кабинете руководителя, начальника цеха, начальника производства, у технологов – у всех, кому нужна выводимая на нее информация. Эта информация значительно более детализирована по сравнению с главным монитором линии, здесь индицируются рабочее и нерабочее состояние оборудования; общая эффективность работы линии (показатель ОЕЕ), почасовой выход годных, временные интервалы простоя линии и его причины.

### На диспетчерской панели показаны выход годных, причины простоя... Разве это не аналитическая информация?

Информация, которую мы называем аналитической, отображается на терминалах рабочих мест специалистов. Она еще более детализирована, иерархически организована, пронизана взаимосвязями и снабжена удобным механизмом управления доступом. Ее экраны построены на виджетах, которые можно удалять, заменять на другие, перемещать, формируя изображение «под себя», организуя индивидуальные настройки доступа и собственный пул отображаемых данных.

Аналогичный подход реализован на всех панелях системы, но для рабочих мест специалистов такое решение наиболее актуально. Любая из основных вкладок анали-



Детализация информации по автомату установки компонентов. Отображены коэффициент загрузки, время и причины простоев, ошибки, события, время цикла

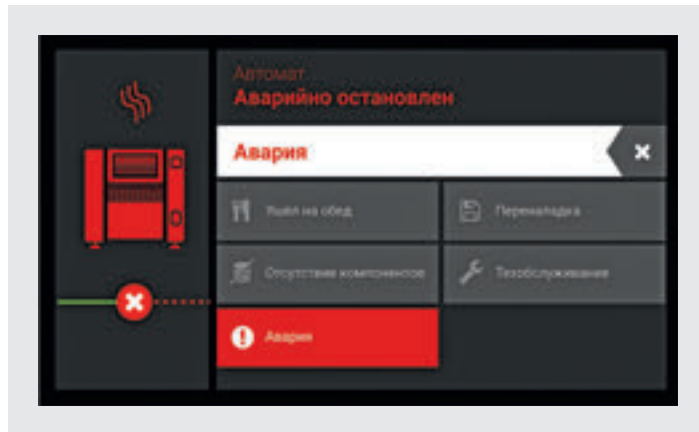
тической информации может служить начальной точкой разветвленного поиска самой подробной информации по интересующему вопросу. Кликнув на нужном участке экрана, можно перейти на вкладку следующего уровня с детальными данными по каждой единице оборудования, получить отчет за нужный период времени и т. д.

### Факт простоя той или иной машины известен из данных, генерируемых самой машиной. Но как программа узнает о причине простоя?

Ввести причину обязан оператор. У него есть планшет, на котором отображается перечень возможных причин простоя. Если никакая из них не подходит, оператор вводит собственный вариант объяснения. На основании этой информации система строит сводную диаграмму, в которой все простои зафиксированы, размещены на временной шкале и сгруппированы по причинам возникновения. В дальнейшем может быть получена статистика за длительный период времени – неделю, месяц, год.

### Какую информацию вы относите к категории оперативной?

Оперативная информация – это уведомления о событиях в линии, которые требуют вмешательства человека. Система формирует их автоматически и в режиме реального времени передает пользователям. Оперативная информация сопровождается цветовой маркировкой: желтый цвет свидетельствует о том, что параметры контролируемого процесса лежат в допустимых пределах, красный – сигнализирует о выявлении проблемы. Например, по трафаретному принтеру может прийти сообщение о том, что измеренная величина дозы паяльной пасты ниже допустимой. Тут же можно получить



Меню для ввода причины простоя

сведения о возможных причинах события: закупорка апертуры трафарета, низкая вязкость пасты, недостаточное усилие прижима ракеля и т. д.

Более того, аналитическая система формирует предупреждения о негативной тенденции. Применительно к тому же недостатку паяльной пасты это значит, что ею будет замечено постепенное уменьшение количества пасты на контактных площадках по сравнению с расчетным, оператор получит уведомление об этом и будет иметь время для принятия мер по предотвращению развития тенденции до уровня отказа технологического процесса.

### Осталась категория экспертной информации...

Эта категория дает много интересных возможностей. Так, к ней относится регулярно обновляемая база знаний по основным технологическим операциям и материалам, там можно найти нужную справочную информацию. Составлен систематизированный список возможных при сборке дефектов, даны подробные описания всех операций сборочно-монтажного производства.

Другая разновидность экспертной информации – технологические помощники. Например, модуль автопрофайлинга. Модуль позволяет настроить температурный профиль процесса оплавления паяльной пасты в точном соответствии с характеристиками конкретного печатного узла.

После ввода параметров печатного узла – количество слоев и толщина печатной платы, информация о теплоемких и термочувствительных компонентах, а также компонентах с малым шагом – модуль рекомендует один из хранящихся в базе знаний температурных профилей. Настроив печь на этот профиль, производят прогон узла вместе с термошаттлом и снимают с последнего кривую реально полученного профиля. Обычно он не совпадает с рекомендованным, и тогда в системе производится его подстройка путем регулирования скорости движения конвейера и температуры в каждой из зон печи.



Подстройка термопрофиля. Передвигая вверх-вниз синие «самолетики», имитируют температуру в каждой из зон печи для конкретной платы, полученное значение отображается цифрами в верхнем правом окне экрана. В том же окне можно варьировать скорость движения конвейера

### Хотелось бы понять возможности «Умной линии» в части анализа причин отказов.

На экране анализа оператор выбирает интересующий его период времени и получает общее число отказов за этот период и диаграммы, показывающие долю каждого из видов отказа – перемычка, дефект пайки, компонент на ребре и т. п. Следующее действие – выбор вида отказа, по которому желательно получить уточняющую информацию. Это делается кликом по соответствующему участку диаграммы, в результате чего на экране появляется распределение числа отказов по разным критериям: функциональным группам компонентов (резисторы, микросхемы и т. п.), типам корпусов, номиналам. Наконец, выбрав одну из категорий объектов в этой линейке, пользователь получает, во-первых, общую оценку степени угрозы проявления данного дефекта именно в этой категории и, во-вторых – перечень возможных его причин с процентами вероятности их актуальности. Экспертная система также формирует отчеты по выбранному показателю: производительности, качеству продукции и т. д.

### Возвращаясь к оборудованию, с которым вы здесь работаете: его состав минимален, даже АОИ не соединена с общим конвейером. Насколько эффективной будет здесь «Умная линия» – для вас, для производителей?

То оборудование, которое здесь имеется, дает возможность отработать в реальном производственном процессе множество функций нашего комплекса. Вы



Окно анализа причин отказов. Выбраны: тип отказа – дефект пайки; категория объекта – микросхемы (SOIC). В нижнем окне перечислены наиболее вероятные причины отказа

упомянули АОИ. Да, при ее нахождении вне линии мы не можем видеть образующиеся дефекты в реальном времени. Но саму функцию их выявления проверить можно: даже если партия плат, проверяемых сегодня, была изготовлена вчера, признаки развития предпосылок к дефекту будут зафиксированы, и их можно подать на вход соответствующего алгоритма. То же относится к выявлению преимущественного характера дефектов и большинству других задач, связанных с оптической инспекцией.

Собственно, таков же смысл этой работы для специалистов предприятия. Они тоже будут осваивать и анализировать функционал комплекса, только со своей точки зрения – в плане полезности для решения своих задач, удобства использования и соответствия сложившейся практике управления производством и работы на технологическом оборудовании.

### Влияют ли особенности конкретной производственной линии на какие-то настройки вашего комплекса?

Обязательно. «Умная линия» – не пакетный продукт и в принципе не может им быть. Ведь каждая линия имеет свои особенности, в первую очередь, по составу оборудования. У комплекса есть неизменное ядро, вокруг которого, как из кубиков, собирается целевая для данного заказа конфигурация.

### Традиционный вопрос в завершение: что дальше?

У нас подписано несколько контрактов, выполнение которых начнется в ближайшие полгода. С другой стороны, сама система находится в развитии, есть много направлений, в которых будет расширяться и улучшаться ее функционал. Что-то на стадии задумок, что-то уже в серьезной проработке. Уже на выставке Электрон-ТехЭкспо-2018 мы представили ряд новых функций комплекса. Всё в полном соответствии с девизом ГК Остек – «Будущее создается». ▣



# УМНАЯ ЛИНИЯ

## ИНДУСТРИЯ 4.0 в поверхностном монтаже



Контроль состояния оборудования 24/7



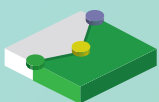
Управленческие и технические отчеты



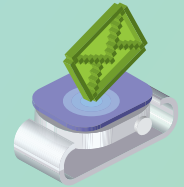
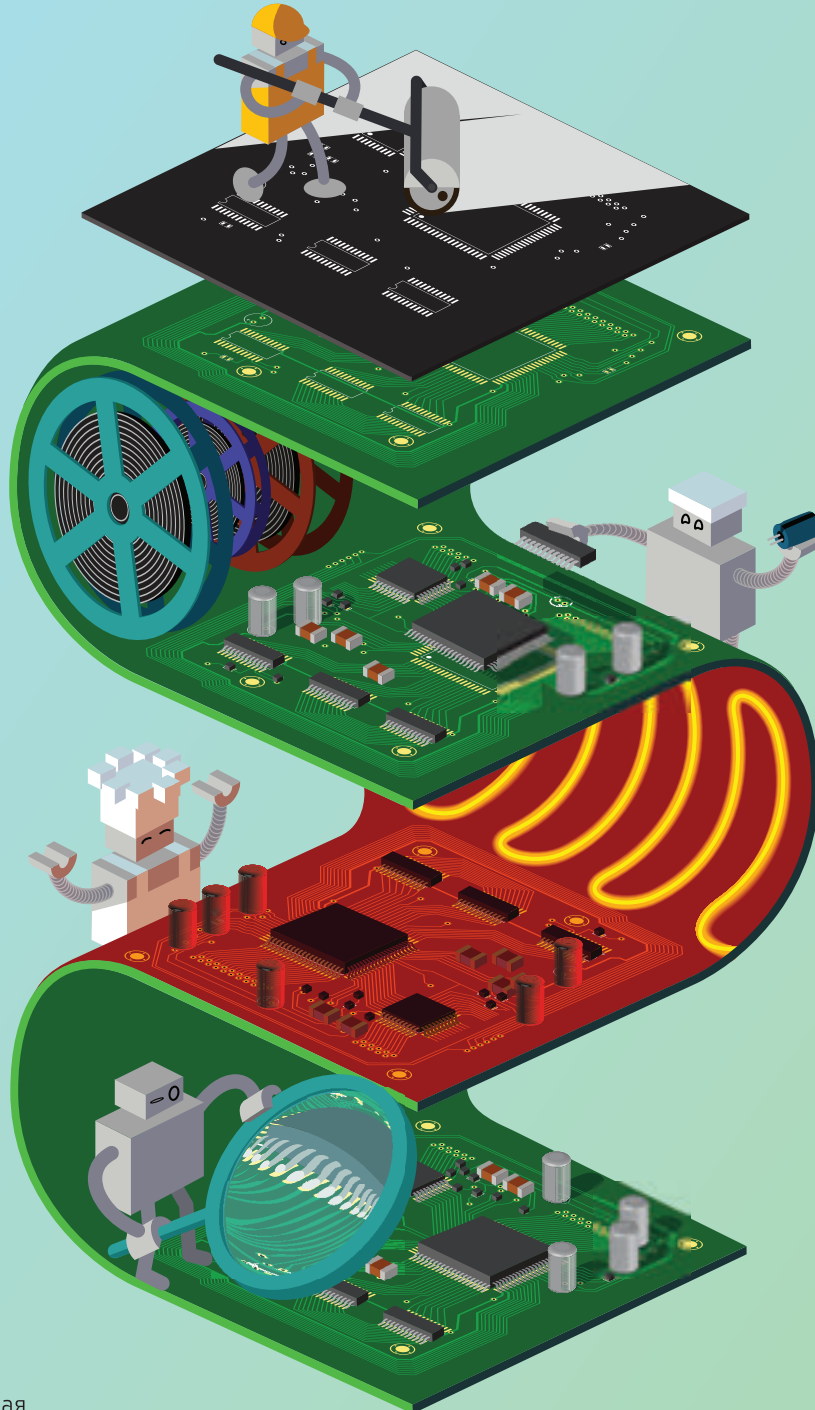
Интеллектуальная видеофиксация событий



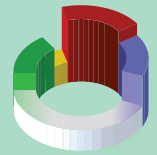
База знаний по технологии на русском языке



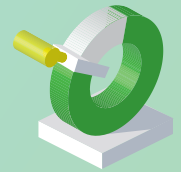
Многофункциональная аналитическая система



Оповещение об отклонениях в реальном времени



Анализ простоев и их причин



Управление производительностью



Повышение качества изделий



Повышение эффективности оборудования



будущее создается

Российская разработка, полностью адаптированная под специфику отечественных предприятий и не имеющая аналогов в мире

[www.ostec-smartline.ru](http://www.ostec-smartline.ru)  
+7 495 788-44-44  
[info@ostec-group.ru](mailto:info@ostec-group.ru)

# Выбери меня: электродинамическая вибрация или система многоповторных ударов.

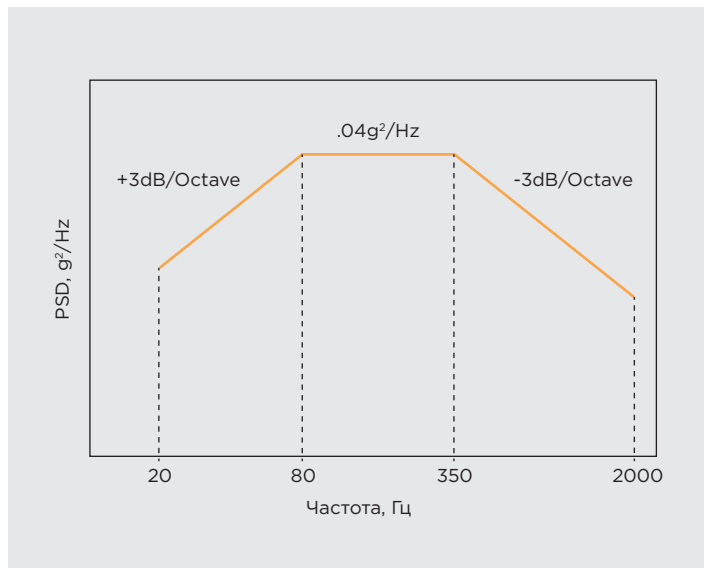
Какая из них  
соответствует  
вашим требованиям?

Текст: Анатолий Лютов  
Иван Суходольский



В 2017 году мы начали цикл статей об ускоренных испытаниях. Неотъемлемой частью ускоренных испытаний являются виброиспытания с шестью степенями свободы. В этой статье мы рассмотрим особенности проведения виброиспытаний в условиях ускоренных испытаний и покажем их отличие от классического подхода к приемосдаточным испытаниям (ПСИ).





1

NAVMAT-профиль

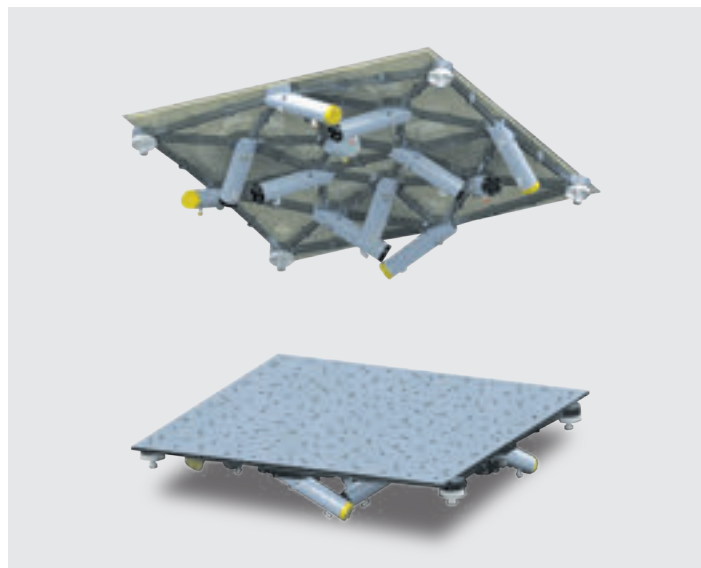
**Электродинамические (далее ЭД, ED) вибростенды** использовались в течение многих лет для моделирования вибрации окружающей среды, испытаний изделий авиакосмической промышленности, автомобилестроения, железнодорожного транспорта и т. д. Любой профиль вибрации на актюаторе вибростенда может быть сформирован при помощи контроллера управления. Случайный профиль вибрации является наиболее реалистичным из-за его схожести с вибрацией окружающей среды. Наибольшую востребованность испытания на случайную вибрацию получили в авиации и космонавтике, автомобильной и железнодорожной промышленности.

Перед запуском космический аппарат испытывают в условиях, близких к окружающим. Во время космических программ Mercury, Gemini и Apollo ЭД-актюаторы использовались для воспроизведения случайной вибрации (ВМС США, 1979). Профиль NAVMAT, показанный на рис 1, стал фактическим стандартом для виброиспытаний на случайную вибрацию в США.

#### Системы многоповторных ударов (RS-системы)

были разработаны в 1989 году компанией Qualmark. В отличие от ED-систем, которые обеспечивают вибрацию с точно контролируемым спектральным содержанием вдоль одной оси, системы с многоповторным ударом обеспечивают вибрацию по всем шести координатам. Это означает, что тестируемая единица одновременно нагружается по трем осям, а также воспроизводится вращение вокруг этих осей. Сгенерированный спектральный профиль называется «псевдослучайный». В отличие от профиля NAVMAT спектральное содержание системы с многоповторными ударами не контролируется в реальном времени, а является характеристикой стола, оснастки и реакции продукта на удары от исполнительных механизмов под столом.

Система повторяющихся ударов спроектирована таким образом, чтобы соответствовать очень специфической



2

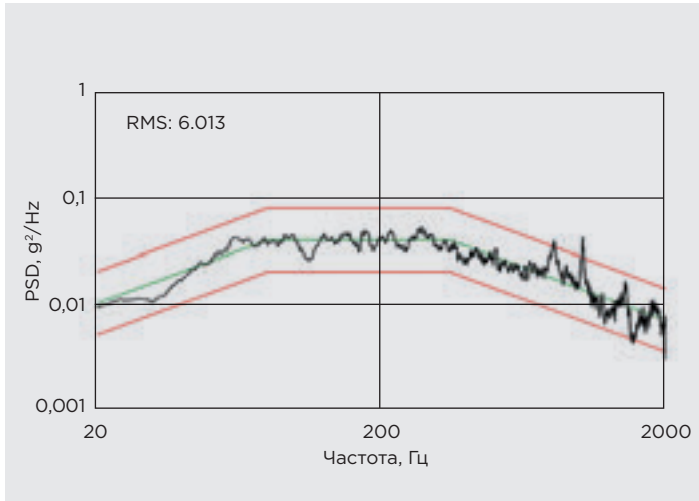
RS-системы

цели – достичь быстрого износа опытного изделия вплоть до поломки. Учитывая значительные различия в задачах, система повторяющихся ударов должна радикально отличаться от ED-системы. На рис 2 показана конструкция типичной RS-системы. Приводы монтируются под углом к поверхности стола, поэтому каждое ударное воздействие вызывает удар больше, чем по одной оси. Они также ориентированы на то, чтобы наносить удары по разным направлениям. Образец крепится к верхней части стола специальным приспособлением, которое отличается от крепежа, используемого на ED-актюаторе.

#### Сравнение спектральной плотности энергии

Случайная вибрация, генерируемая и той, и другой системами, выражается в «g²/Гц» и формой графика спектральной плотности мощности (PSD – power spectral density). Выводы об эффективности испытаний двух систем часто основаны на сравнении этих показателей. Однако их значительно различающаяся конструкция влияет на вызываемые напряжения внутри образца, что может привести к ошибочным выводам относительно преимущества одной системы над другой.

Понимая различия между системами, пользователь может максимально эффективно использовать обе системы, чтобы достигать поставленных целей: создание максимально надежного продукта, снижение затрат на гарантийное обслуживание, увеличение времени работы продукта и повышение удовлетворенности клиентов. Как указано выше, PSD ED-системы можно контролировать и формировать. Измеренная спектральная плотность мощности в ED-системе, запрограммированной на профиль NAVMAT, показана на рис 3. Верхний предел частоты более крупной ED-системы составляет около 2000 Гц, что ограничивает способность возбуждать резонансные частоты меньших



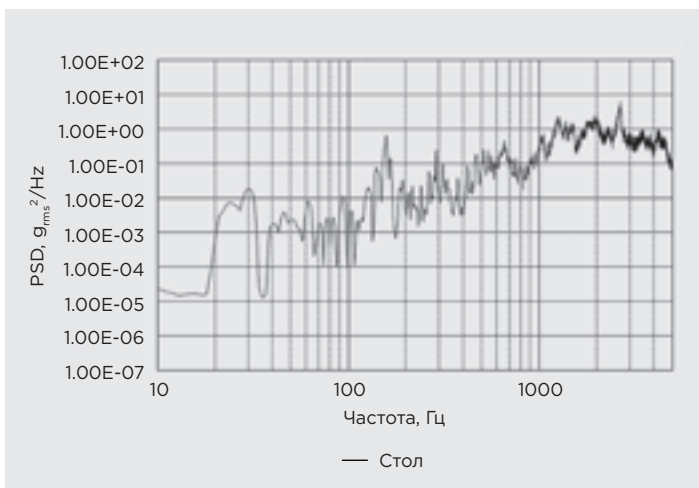
3

NAVMAT-профиль

электронных компонентов. Рассмотрим PSD стола системы многоповторных ударов (рис 4). Форма PSD не плоская, как для случайного сигнала, система имеет значительную энергию выше 2000 Гц, что повышает ее эффективность для испытания меньших сборок и компонентов с более высокими резонансными характеристиками, такими как МПП с SMD-монтажом электронных компонентов.

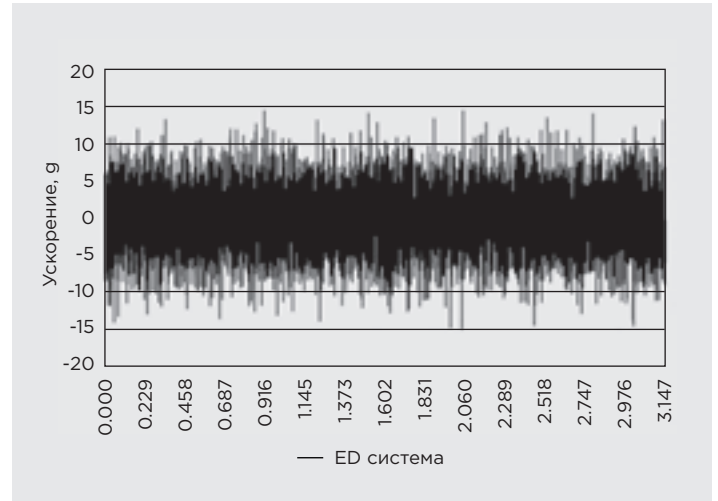
### Сравнение сигналов реального времени

Различия в воздействии становится наглядным, когда исследуются сигналы ускорения в реальном времени от обеих систем. На рис 5 показан сигнал ускорения от ED-системы во время случайной вибрации. Важно, что пиковые уровни ускорения остаются в пределах полосы пропускания 3 сигма. Это типичная характеристика случайной вибрации при генерации контроллером. Кроме того, актуатор имеет ограничение по максимальному размаху, и контроллер системы управления вибрации будет ограничивать движение актуатора. Сигнал



4

PSD RS-системы



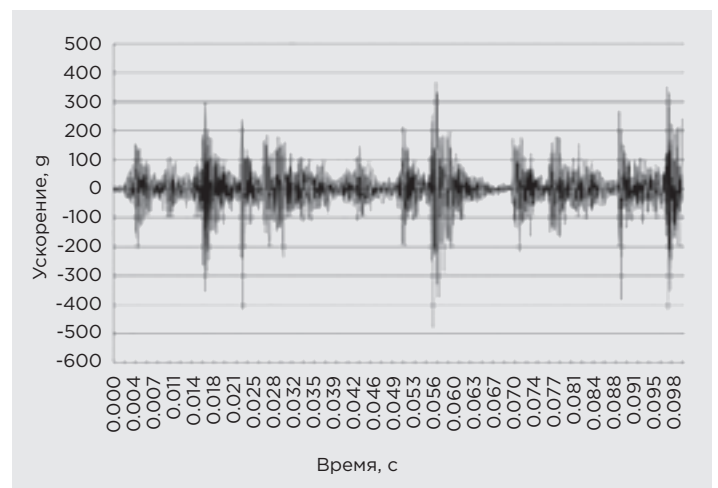
5

Сигнал ускорения ED-системы

реального времени от RS-системы показан на рис 6. Первое различие – мгновенные уровни ускорения. Резкий скачок ускорения появляется, когда воспроизводится соударение привода со столом, причем последующий сигнал и падение амплитуды являются характеристиками отклика стола. Перекрывающиеся удары исполнительных механизмов четко видны. Показанное здесь измерение относится к оси Z, перпендикулярной верхней части стола. В RS-системе максимальное мгновенное ускорение намного выше, чем в ED-системе. Максимальные уровни ускорений, показанные в этом примере, находятся в диапазоне 400-500 g.

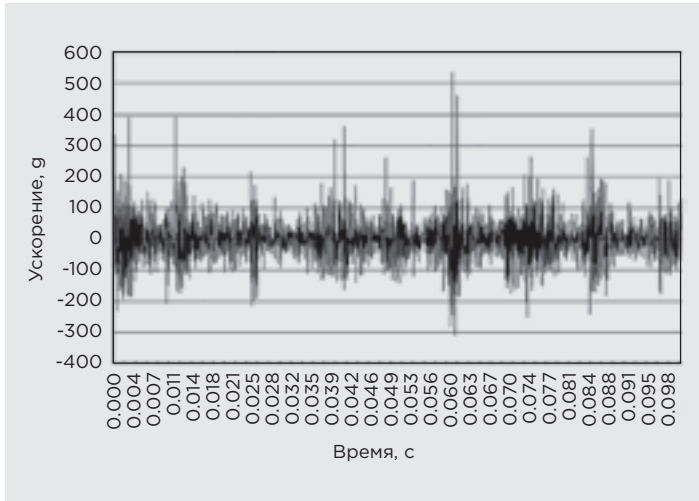
### Дополнительные эффекты последующего возбуждения

Подробная оценка фактической реакции испытуемого образца в двух системах показывает еще одно ключевое различие. С помощью ED-системы PSD дает четкое определение входного сигнала вибрации на образце.



6

Сигнал ускорения RS-системы



7  
Записанный сигнал на тестируемом изделии

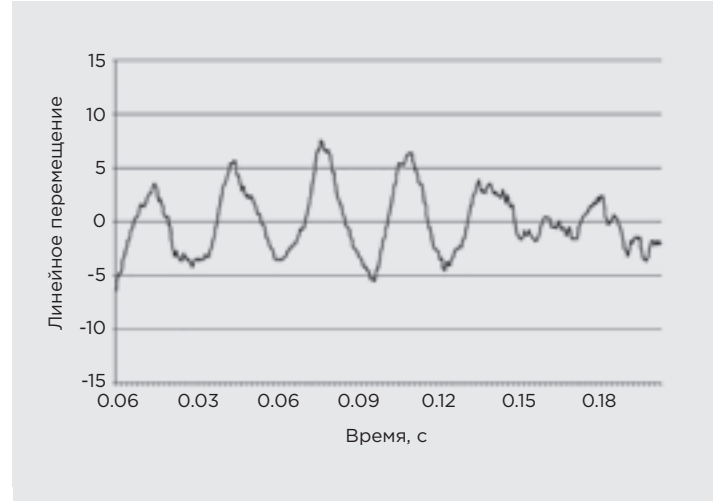
В RS-системе PSD, измеренная на столе, является только частью этого сигнала. Сила удара, действующая на стол, переносится на сам продукт с помощью приспособления. На рис 7 показаны сигналы времени, записанные на изделии при повторяющемся ударе. Пики, связанные с ударами, хорошо видны в этих временных сигналах. Эти пики демонстрируют механический удар на изделии и его собственные резонансные частоты. Допускаем, что эти частоты не будут присутствовать в PSD, измеренные на столе. Усталостные явления в образце возникают, в основном, на резонансной частоте устройства или компонента. Это означает, что удары в RS-системе быстро вызывают усталость в образце независимо от наличия и уровня этих резонансных частот на столе.

### Повторяющийся удар: проведение эксперимента

Сложное и случайное движение изделия, возникающее в результате повторного ударного возбуждения,



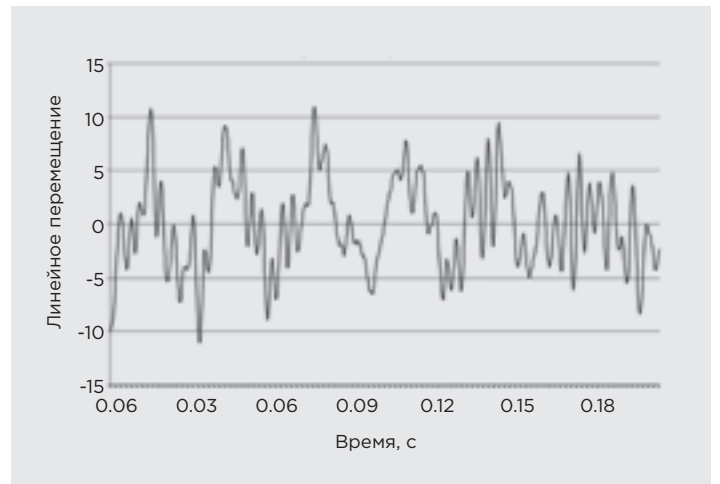
8  
Предельное движение компонентов на плате



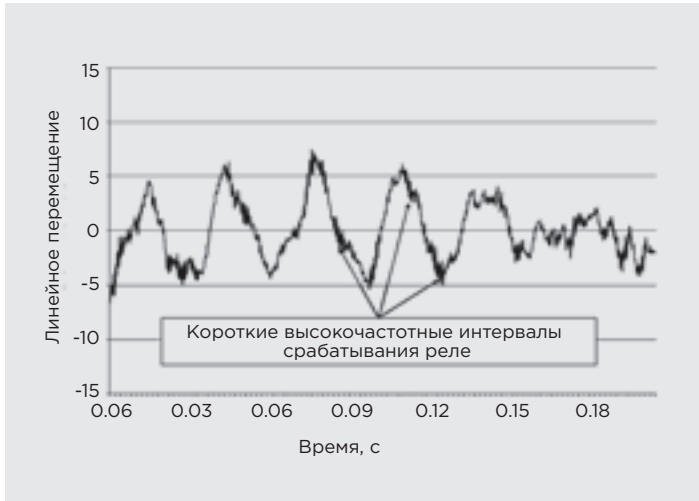
9  
График перемещения платы

может затруднить интуитивное понимание эффектов ударов. Для того, чтобы понять, какой эффект оказывает RS-система на изделие, был проведен и записан на видео эксперимент. Эксперимент был проведен в лаборатории компании Qualmark, Денвер, США. Эффекты хорошо заметны на высокоскоростном видео (5 000 кадров в секунду) – [goo.gl/8quckr](http://goo.gl/8quckr). Когда движение платы в высокоскоростном видео сравнивается с возбуждением столешницы и оснастки, ясно, что смещение стола и крепления очень низкое, а отклик образца платы на передаваемую вибрацию выше.

Когда плата сгибается, деформация индуцируется в точках крепления для всех компонентов на плате. Предельные движения показаны на рис 8, где приведены для сравнения два наложенных кадра из высокоскоростного видео с указанием местоположений. Анализ движения видео позволяет отслеживать смещение выбранных целей. Затем можно вычислить скорость и ускорение этих точек. Этот анализ опи-



10  
График смещения конденсатора



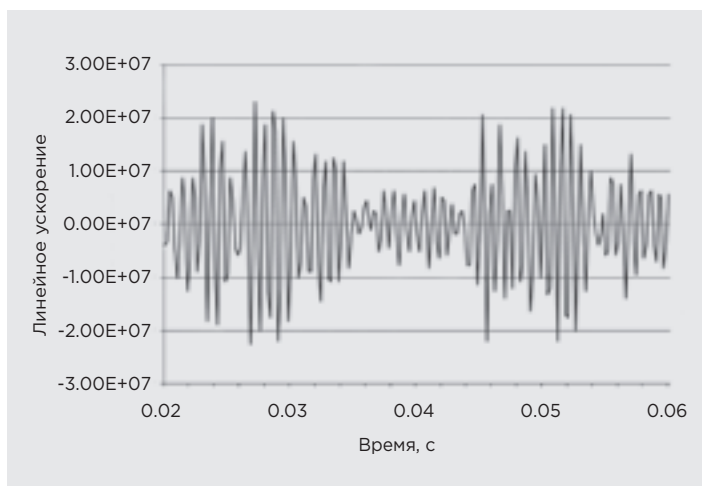
1 1

График смещения реле

сывает результаты отслеживания трех разных точек на тестируемой печатной плате:

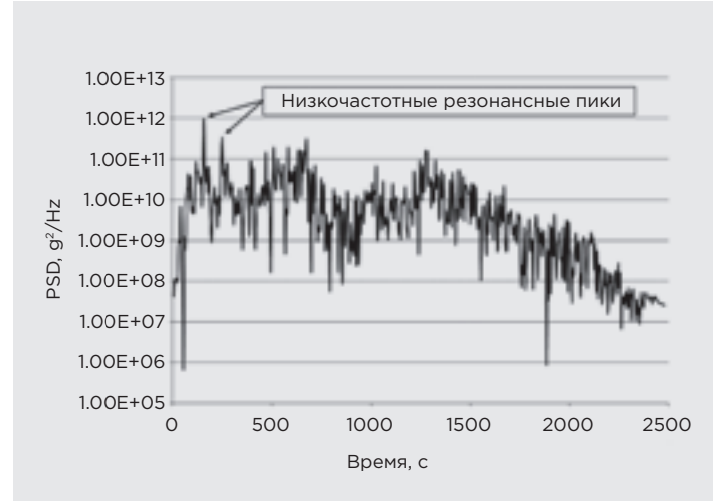
- плата в сборе в целом;
- верхняя часть большого электролитического конденсатора;
- передняя часть реле.

Анализ проходит одновременно по двум осям. На рис 9 представлен график данных о перемещении самой платы. Удар вызвал большие медленные сдвиги в печатной плате, хотя воспроизведения вибраций на низких частотах не было. На рис 10 показан график смещения большого конденсатора. Так как конденсатор зафиксирован на плате, то можно установить при помощи наложения графиков, являются ли эти сдвиги резонансным откликом конденсатора. На рис 11 показано смещение малого реле. Как и в случае с большим конденсатором реле перемещается вместе с платой. Перемещение включает короткие высокочастотные всплески движения с частыми интервалами. На рис 12 показано ускорение реле,



1 2

График ускорения реле



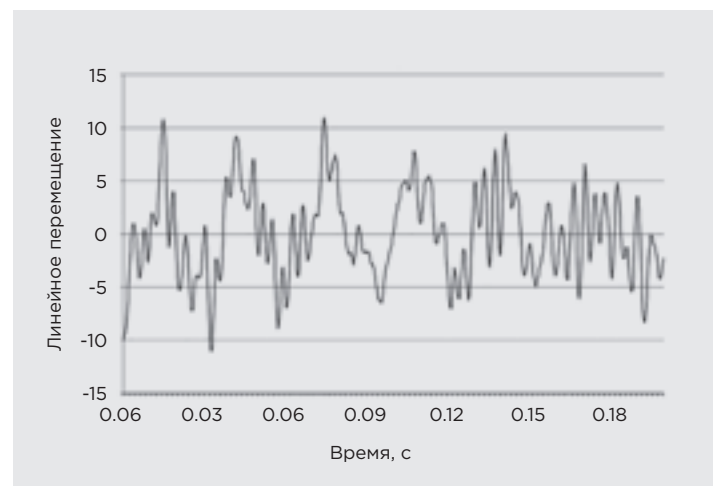
1 3

PSD платы

рассчитанное по данным перемещения. Из формы волны видно, что реле реагирует на удары от приводов с резким ускорением, за которым следует по кругу вниз, повторяя тем самым траекторию движения привода.

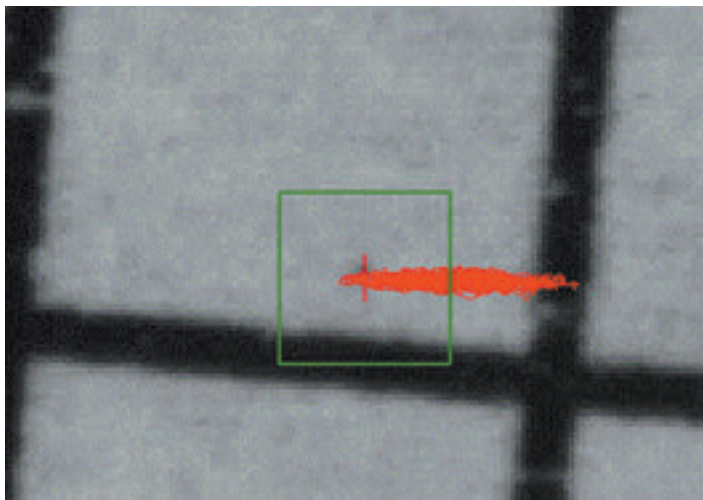
Поскольку реле резонирует на более высокой частоте (~ 1300 Гц на основе графика ускорения), у него есть время, чтобы резонировать между ударами исполнительных механизмов. PSD-графики были созданы из ускорения оси Y платы и реле. Они показаны на рис 13 и 14. С учетом этих данных можно изучить характеристики частотной области платы и реле.

Два низкочастотных пика PSD платы, вероятно, связаны с наблюдаемым резонансным откликом платы при данных смещениях. Как и ожидалось, эти два пика дублируются в реле PSD, поскольку реле двигалось с платой. Тем не менее, PSD реле четко отличается от PSD платы на более высоких частотах, достигая пика на 1300 Гц, совпадающего с данными ускорения реального времени от реле.



1 4

График смещения конденсатора



1 5

Линии слежения на ED-системе

Еще одно интересное различие в движении компонентов в ED- и RS-системах может быть показано с помощью видеокамеры с высокой скоростью записи. На рис 1 5 показаны линии слежения, которые были получены после отслеживания точки на акселерометре, смонтированном на изделии в ED-системе. Как и ожидалось, точка перемещалась по одной оси. Результаты отслеживания одного и того же компонента в системе повторяющихся ударов показаны на рис 1 6. Хотя этот анализ показывает только две оси, аналогичные различия наблюдаются на третьей оси. Очевидно, что траектория, описываемая на рис 1 6, достоверно подтверждает, что RS-система работает в трех направлениях.

Может ли ED-система воспроизвести эту траекторию поочередно в разных направлениях? Наглядные отметки (рис 1 5) показывают, что достичь этого невозможно, даже если мы будем поочередно поворачивать изделие в плоскостях испытаний.

### Различные воздействия, различные цели

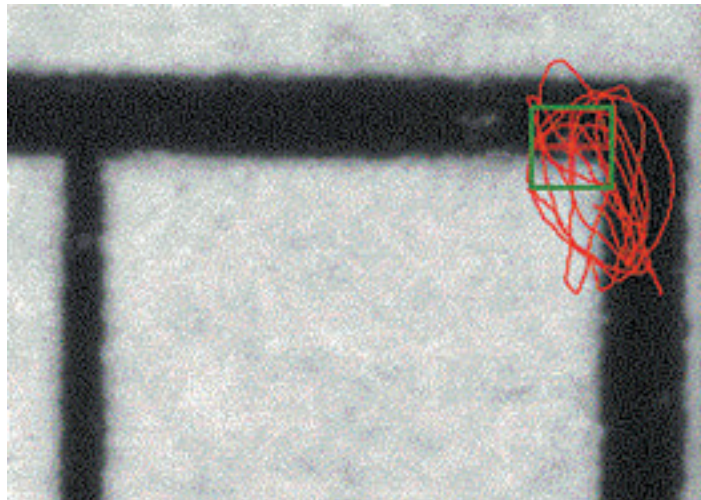
Данные различия не приводят к опровержению эффективности любой из этих систем. Они подчеркивают тот факт, что системы разработаны для достижения различных целей в общих задачах по надежности. В целом ED-системы созданы для проверки соответствия и спецификации и испытаний ПСИ, в то время как RS-системы идеально подходят для тестирования, ориентированного на отказ и доработку пилотного изделия.

### Заключение

ED- и RS-системы генерируют вибрацию разными способами, вызывая различные усталостные характеристики.

В конце 60-х годов прошлого столетия было достаточно использовать ED-системы, чтобы предложить предприятиям высококачественные приборы.

Сейчас зарождается новый подход к организации виброиспытаний изделий: сначала ускоренное тестирование



1 6

Линии слежения на RS-системе

пилотных изделий RS-системами и доработка конструкции. Этот цикл продолжается до тех пор, пока пилотное изделие успешно не пройдет ускоренные испытания. После того, как изделие выпущено в серию, его испытывают на ED-системах.

Со стороны это кажется необычным «сумасшествием». Сущность подхода заключается в том, что производитель хочет добиться высокого качества изделий уже на ранних этапах конструирования образца. На самом простом эксперименте мы убедились, что в RS-системах можно вызывать усталостные явления в образце на тех уровнях PSD, которые недостижимы ED-системой. Если к изделиям специального назначения предъявляются повышенные требования по качеству, то пренебрегать этим тестом опрометчиво.

В то же время RS-системы не являются панацеей от всех проблем. Их нельзя использовать повсеместно. Для ПСИ нет лучшего оборудования для виброиспытаний, чем ED-система.

Поэтому решать вопрос о выборе системы необходимо комплексно, учитывая особенности разных стадий производства изделия. ▢

**Чтобы проработать и внедрить ускоренные испытания на вашем предприятии, отправляйте запрос на электронную почту [test@ostec-group.ru](mailto:test@ostec-group.ru) с пометкой «Ускоренные испытания». Обязательно укажите размеры образцов, их массу и ускорения, на которых вы сейчас проводите ваши испытания.**

## ОПТИМИЗАЦИЯ

# Как с помощью аддитивных технологий повысить производительность термопластавтомата на 40 %



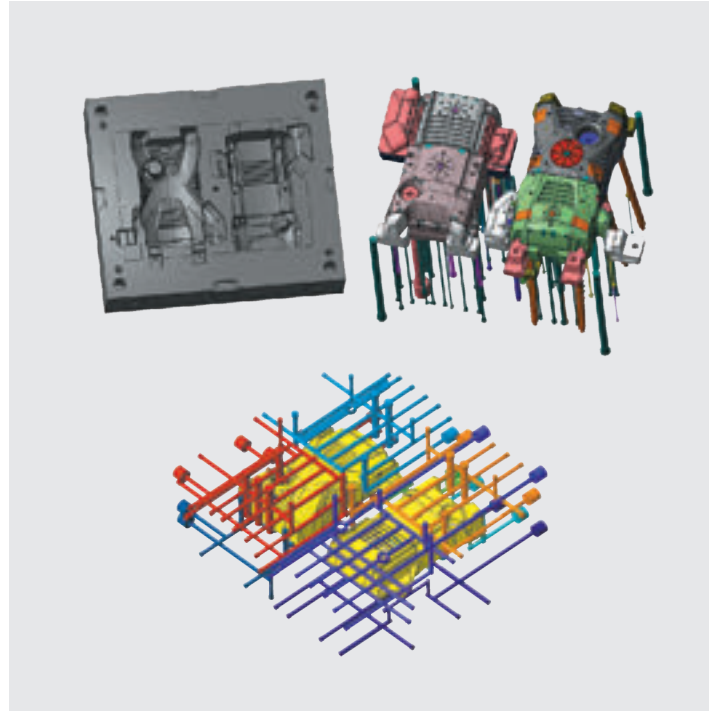
Текст: Антон Нисан

”

Каналы охлаждения во вставках в пресс-формах для изготовления деталей из термопластов методом литья под давлением на термопластавтоматах используются давно. Они позволяют увеличить производительность за счет сокращения длительности охлаждения, повысить равномерность охлаждения и, соответственно, улучшить качество и снизить остаточные напряжения в изделиях. 3D-печать металлами открывает новые возможности в проектировании и изготовлении систем охлаждения пресс-форм благодаря тому, что каналы охлаждения можно равномерно расположить вблизи формообразующих поверхностей сложных пресс-форм.



1  
Мойка высокого давления Kärcher K2 Basic



2  
Каналы охлаждения до перепроектирования. Система охлаждения состоит из нескольких контуров, показанных разными цветами

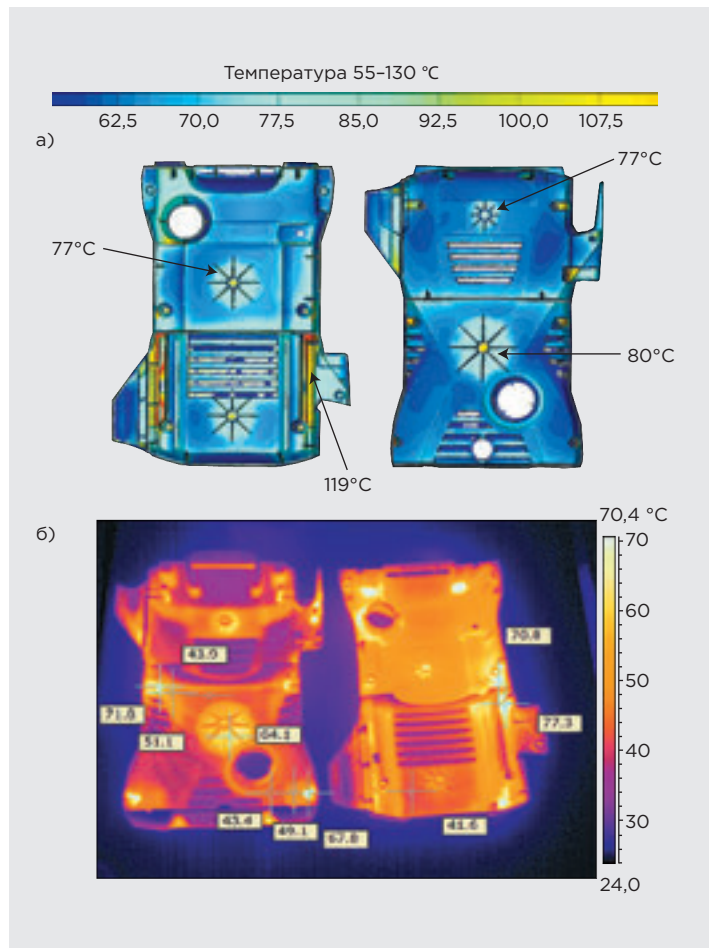
### 3D-печать вставок в пресс-формы для изготовления корпусов мойки высокого давления Kärcher K2 Basic

Мойки высокого давления Kärcher продаются по всему миру: одних только моделей K2 Basic (рис 1) отгружается с завода в Оберзонтхайме под Штутгартом более 2 млн штук в год. Ярко желтый корпус состоит из двух частей и изготавливался на шести термопластавтоматах. Компании было необходимо поднять производительность термопластавтоматов, чтобы удовлетворять растущий потребительский спрос. Для достижения этой цели специалисты компании Renishaw перепроектировали существующую систему охлаждения вставок в формы и изготовили ее фрагменты с помощью 3D-печати.

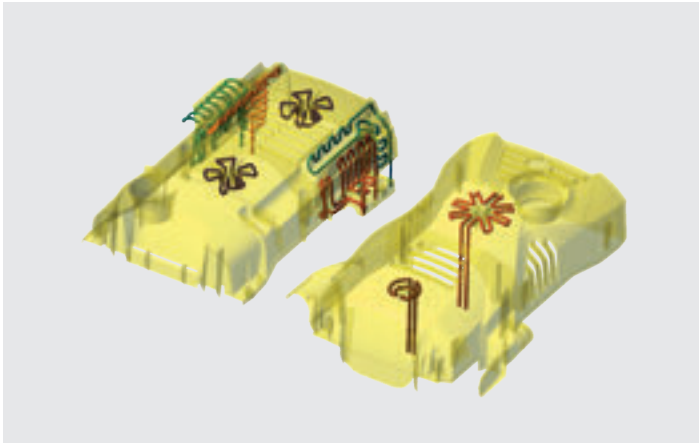
При использовании традиционных каналов охлаждения (рис 2) время цикла составляло 52 секунды, из которых 22 секунды уходило непосредственно на охлаждение отливки с 220 °C до порядка 100 °C – температуры размыкания формы.

Для сокращения длительности охлаждения и, соответственно, времени цикла специалисты компании Renishaw перепроектировали систему охлаждения вставок. Прежде всего было проведено моделирование 20 циклов литья, рассчитаны тепловые поля на внутренней поверхности формы для определения наиболее горячих участков и оптимизации расположения и формы каналов охлаждения в них (рис 3а). Полученные результаты моделирования коррелируются с экспериментальными данными (рис 3б).

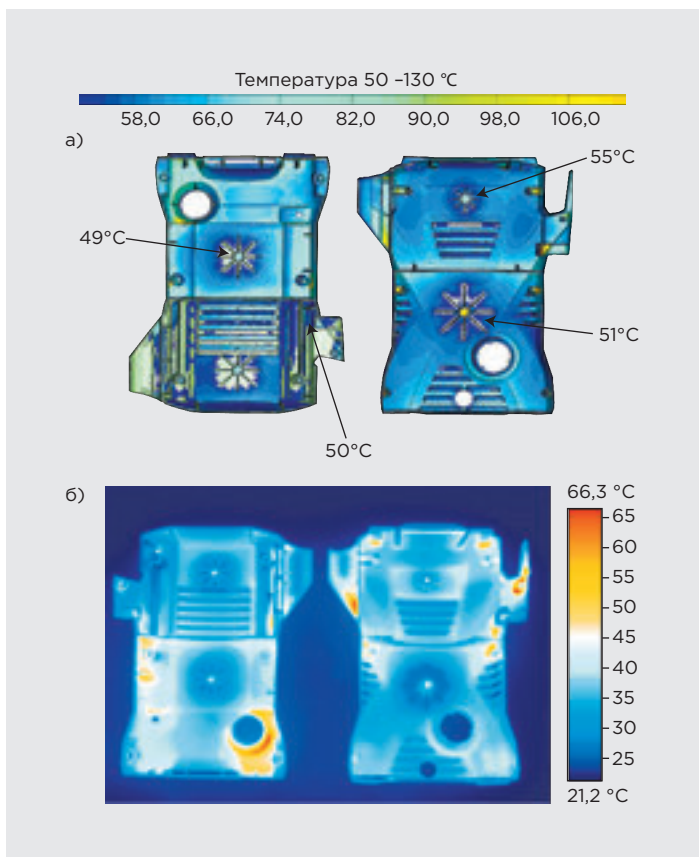
В идентифицированные наиболее горячие участки формы было добавлено несколько контуров охлаждения диаметром 4 мм, спроектированных с учетом



3  
Температурное поле на поверхности вставок до перепроектирования через 22 секунды после начала охлаждения: а) результаты моделирования, б) экспериментальные данные



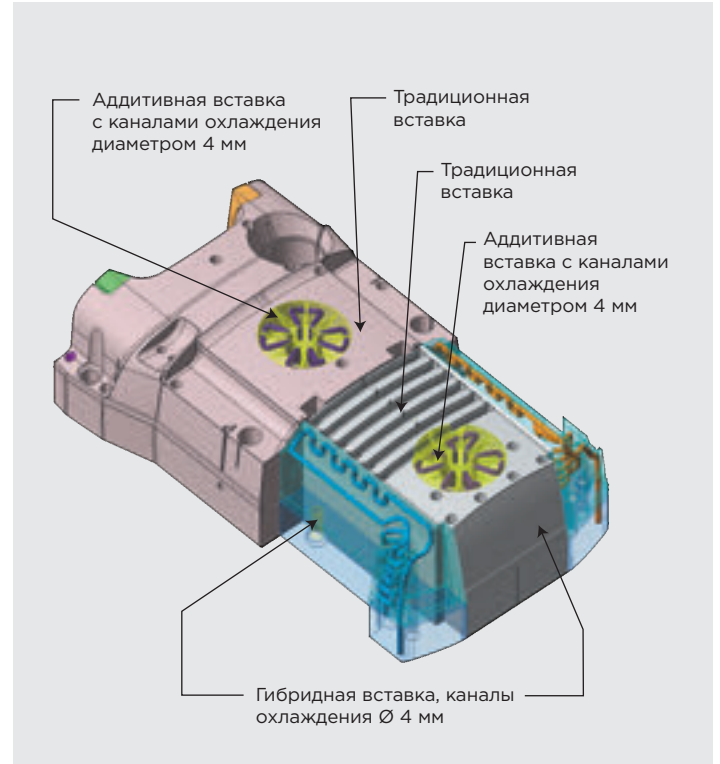
4  
Каналы охлаждения, добавленные во вставки в наиболее горячих областях формы при перепроектировании



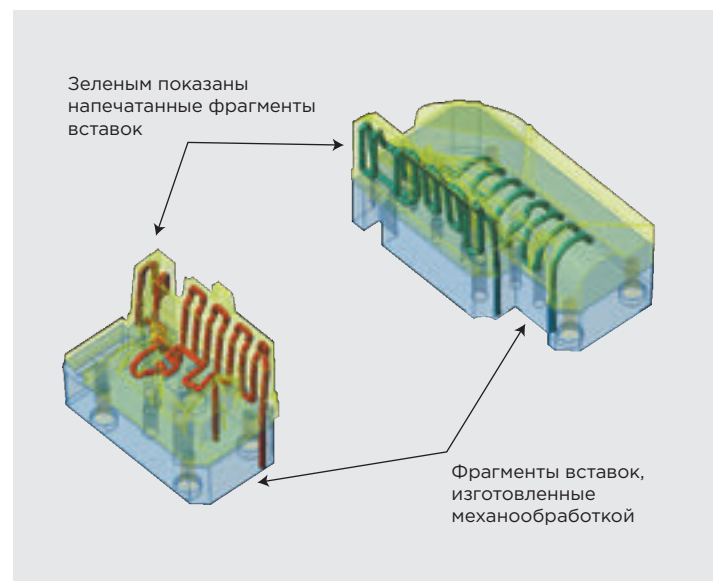
5  
Температурное поле на поверхности перепроектированных вставок через 10 секунд после начала охлаждения: а) результаты моделирования, б) экспериментальные данные

возможностей гибридных и аддитивных методов изготовления вставок (рис 4). В одной области с недостаточным местом для размещения каналов охлаждения компания Kärcher изменила конструкцию самой детали.

Результаты моделирования температурного поля и экспериментальные данные свидетельствуют о гораздо большей эффективности перепроектированной системы



6  
Перепроектированные вставки



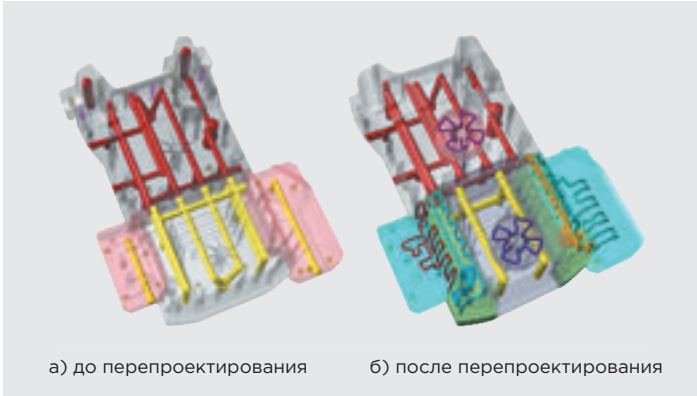
7  
Гибридные вставки

охлаждения: уже через 10 секунд после начала охлаждения температура снижается достаточно для размыкания формы. При этом разброс температуры по поверхности формы существенно ниже (рис 5).

В итоге, в данной форме применены три типа вставок (рис 6): традиционные, изготовленные фрезерованием и вакуумной пайкой, аддитивные, гибридные (рис 7).

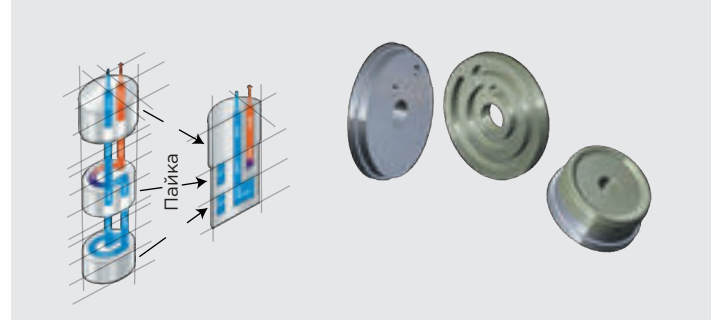
В результате перепроектирования системы охлаж-





а) до перепроектирования б) после перепроектирования

8 Вставки с каналами охлаждения до и после перепроектирования



10

Изготовление вставок фрезерованием и пайкой: вставка разделяется на несколько фрагментов так, чтобы в каждом из них можно было легко выполнить каналы фрезерованием, после чего фрагменты соединяются вакуумной пайкой



9 Группы методов изготовления вставок в формы с каналами охлаждения

дения вставок в формы (рис 8) время охлаждения было уменьшено на 55 % с 22 до 10 секунд, а производительность термопластавтомата повышена на 40 % с 1 500 до 2 100 корпусов в сутки.

### Методы изготовления вставок с каналами охлаждения

Можно выделить три группы методов изготовления вставок в формы с каналами охлаждения (рис 9):

- сверление отверстий и установка заглушек;
- фрезерование и пайка;
- 3D-печать металлами.

Первый метод самый простой, но не эффективный, если формообразующие поверхности имеют сложную форму, при которой просверлить отверстия вблизи поверхности для максимально быстрого отвода тепла невозможно. Второй метод (рис 10) отчасти лишен этих недостатков, но он всё равно

не дает гибкости в размещении каналов охлаждения, обеспечиваемой 3D-печатью. Преимущества 3D-печати над другими методами:

- свобода выбора конфигурации и зон размещения каналов;
- повышение равномерности охлаждения;
- сокращение времени охлаждения (до трехкратного);
- сокращение времени цикла (до двукратного);
- упрощение сборки.

Для печати вставок используется мартенситная сталь М300 (1.2709)<sup>1</sup>. Механические свойства изделий, напечатанных из этой стали, приведены в Т1. Напечатанные вставки подвергаются упрочнению старением при 490 °С в течение 6 часов, шлифовке и полировке

<sup>1</sup> Состав сплава: железо – основа, никель 17-19 %, кобальт 7-10 %, молибден 4,5-5,2 %, титан 0,3-1,2 %.

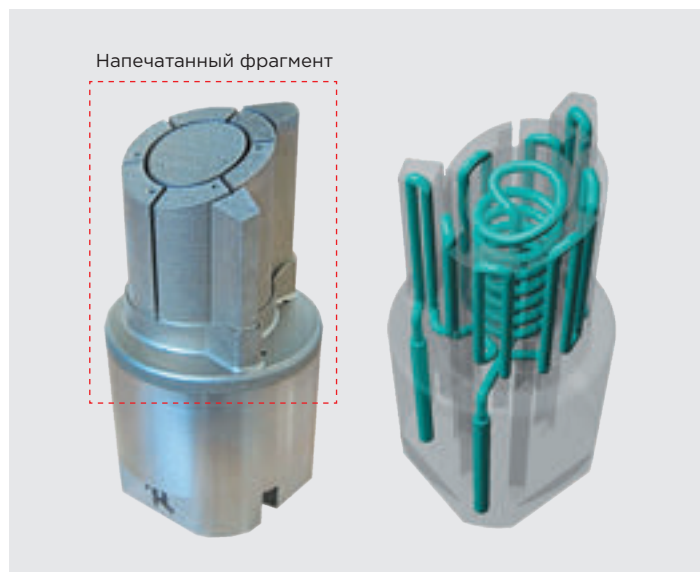
Т 1

Механические свойства изделий из мартенситной стали М300 (1.2709)

ПАРАМЕТР	ПОСЛЕ ПЕЧАТИ		ПОСЛЕ УПРОЧ- НЕНИЯ СТАРЕ- НИЕМ	
	СРЕД- НЕЕ	СКО (σ)	СРЕД- НЕЕ	СКО (σ)
Предел прочности, МПа:				
горизонтальное направление (XY)	1147	3	1917	8
вертикальное направление (Z)	1035	10	1952	23
Предел текучести, МПа:				
горизонтальное направление (XY)	976	17	1873	26
вертикальное направление (Z)	794	23	1898	29
Относительное удлинение до разрушения, %:				
горизонтальное направление (XY)	15	1	6	2
вертикальное направление (Z)	10	2	3	1
Модуль упругости, ГПа:				
горизонтальное направление (XY)	185	9	218	22
вертикальное направление (Z)	189	6	199	8
Твердость по Виккерсу (HV <sub>0,5</sub> – измерение с нагрузкой 4,903 Н):				
горизонтальное направление (XY)	350	15	574	7
вертикальное направление (Z)	357	12	561	13
Шероховатость поверхности после дробеструйной обработки, Ra, мкм:				
горизонтальное направление (XY)	3,5...4,0			
вертикальное направление (Z)	7,5...10,5			

формообразующих поверхностей, а на стенки каналов можно наносить антикоррозионное покрытие.

Также встречаются «гибридные» вставки, фрагменты которых изготовлены по разным технологиям: например, массивные части с каналами сравнительно простой формы – механообработкой, а части, в которых нужны каналы сложной формы вблизи поверхности – 3D-печатью.



1 1

Гибридная вставка в форму с каналами охлаждения

## Оценка возврата инвестиций

Оценим возврат инвестиций на примере успешного применения 3D-печати, позволившего значительно снизить разброс температуры по форме и сократить время цикла более чем в 2 раза. Традиционные технологии – фрезерование и вакуумная пайка – не позволили выполнить каналы охлаждения в верхней части вставки (рис 1 2а) из-за малой толщины высокой стенки, поэтому даже в конце цикла при размыкании формы разница температур стенок формы в верхней и нижней частях доходила до 100 °С. Применение аддитивных технологий позволило добавить в верхней части вставки каналы охлаждения, что значительно улучшило равномерность охлаждения формы – время цикла уменьшилось с 90 до 40 секунд, а разброс температур при размыкании формы снизился в 5 раз до 20 °С (Т 2).

При годовом объеме производства отливок 40 000 штук и одnogнездовой форме потребуется 1 000 машино-часов термопластавтомата в случае традиционной вставки и 444,4 машино-часа при использовании напечатанных вставок. Если стоимость одного часа работы термопластавтомата принять равной 35 евро, то сокращение времени цикла благодаря аддитивным технологиям уменьшит годовые затраты (по машино-часам) на 19 445 евро. Учитывая, что стоимость проектирования и изготовления вставки составила 4 550 евро, то срок окупаемости можно оценить в 2,8 месяца<sup>2</sup>.

## Заключение

Аддитивные технологии позволяют существенно улучшить эффективность системы охлаждения пресс-формы и поднять производительность участка литья пластмасс под давлением. Технологический центр Renishaw специ-

<sup>2</sup> 4 550 евро / 19 445 евро x 12 месяцев

**Т 2**

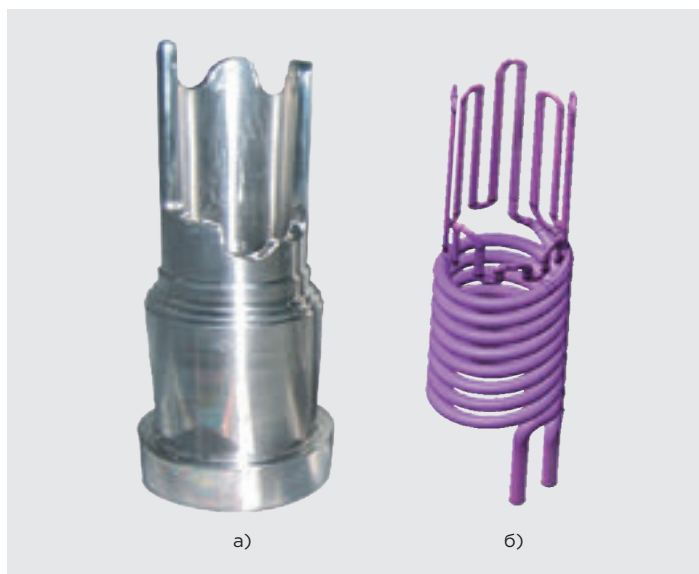
Сравнение параметров процесса при использовании традиционной и напечатанной вставок

ПАРАМЕТР	МЕТОД ИЗГОТОВЛЕНИЯ	
	ФРЕЗЕРОВАНИЕ И ВАКУУМНАЯ ПАЙКА	3D-ПЕЧАТЬ
Время цикла, с	90	40
Давление воды, бар	4	4
Температура воды, °C	25	25
Температура стенок формы, °C:		
в верхней части	135	50
в нижней части	35	30
Каналы охлаждения:		
в верхней части	отсутствуют	экв. Ø 1,8 мм
в нижней части	Ø 4	Ø 4
Качество изделий	неудовлетворительное (утяжины)	отличное

**Т 3**

Оценка возврата инвестиций

ПАРАМЕТР	ЗНАЧЕНИЕ
Объем производства, шт./год	40 000
Количество гнезд в форме, шт.	1
Длительность цикла литья, с:	
при использовании вставок, изготовленных фрезерованием и пайкой	90
при использовании вставок, изготовленных 3D-печатью	40
Стоимость проектирования и печати вставки, евро	4 550
Стоимость одного часа работы термопластавтомата, евро	35
Количество машино-часов на годовой объем производства:	
при использовании вставок, изготовленных фрезерованием и пайкой	1 000
при использовании вставок, изготовленных 3D-печатью	444,4
Снижение затрат (по машино-часам), евро	19 445
Окупаемость, мес.	2,8



**1 2**

Вставка в форму (а), форма каналов охлаждения во вставке, изготовленной 3D-печатью (б)

ализируется на разработке и изготовлении вставок в пресс-формы с каналами охлаждения. В центре, оснащенном 12 установками селективного лазерного сплавления, за более чем 10-летний период работы произведено свыше 12 тысяч вставок. Комплекс оказываемых услуг, рассмотренный на примере оптимизации системы охлаждения пресс-формы для изготовления корпуса мойки высокого давления, включает в себя

- моделирование процесса литья под давлением в существующей пресс-форме;
- определение участков, ограничивающих время цикла;
- оптимизацию вставок с традиционными каналами охлаждения;
- проектирование вставок с каналами охлаждения, изготавливаемыми 3D-печатью;
- моделирование процесса литья под давлением в оптимизированной пресс-форме;
- анализ результатов;
- печать вставок с каналами охлаждения.

В феврале 2018 года в Центре развития технологий (ЦРТ) ООО «Остек-СМТ», представляющем технологические решения Renishaw в области аддитивных технологий, была запущена установка селективного лазерного сплавления AM400 и оборудование для постобработки. Приглашаем вас в ЦРТ ознакомиться с оборудованием, технологией и образцами и повысить эффективность ваших систем охлаждения пресс-форм с помощью аддитивных технологий.

**Заявки направляйте на электронную почту [3d@ostec-group.ru](mailto:3d@ostec-group.ru).**

## ТЕХПОДДЕРЖКА

# Надежная защита от невидимой угрозы



Текст: Юрий Полевщиков



Уже многие предприятия России используют на своих производствах установку «Борей» для безопасного удаления влагозащитных покрытий печатных узлов с помощью микроабразива. На смену вредным и нетехнологичным процессам с использованием химии и режущего инструмента уверенно приходит современное, безопасное и экологичное решение. Наряду с положительными отзывами о работе установки специалисты Остека получают от клиентов вопросы относительно статического напряжения, возникающего в процессе удаления влагозащитных покрытий микроабразивом: «Не будут ли испорчены возникающим статическим напряжением компоненты печатного узла в процессе удаления покрытий? Какие уровни статического напряжения формирует установка в процессе работы? Можно ли быть уверенным в антистатической защите «Борей» и работать с дорогими/ответственными печатными узлами?». Вопросы требуют ответов! Мы дадим их в данной статье на примере работы технической службы Остека.



1  
Точечный микроионизатор



2  
Антистатический браслет

В процессе удаления влагозащитных покрытий в области воздействия абразива возникает статическое напряжение, которое может быть губительным для ряда компонентов в случае превышения их порогов чувствительности (Т 1). При работе с чувствительными электронными компонентами достаточно мгновения для повреждения их разрядом статического электричества. Выход из строя одного или нескольких компонентов автоматически повышает вероятность поломки всего печатного узла и, соответственно, затраты на его ремонт.

Предпосылкой экспериментального исследования эффективности антистатической защиты в установках микроабразивного удаления влагозащитных покрытий послужил интерес к данной теме сразу нескольких клиентов ГК Остек. Одновременно с вопросами, перечисленными в начале статьи, заказчиков интересовали ответы и на другие, не менее важные: «Как в «Борее» реализованы меры антистатической защиты и насколько они эффективны? Все ли установки подобного типа имеют одинаковую эффективность ESD-защиты?».

Специалисты Остека подготовили план испытаний и на базе собственной технологической лаборатории провели эксперимент. Исследование было разделено на две части:

- Определение эффективности и степени влияния различных антистатических аксессуаров на снижение статического напряжения на печатном узле.
- Особенности реализации антистатической защиты в оборудовании «Борей» для исключения рисков разрушительного воздействия статического напряжения на компоненты печатного узла.

Антистатическая защита в процессе снятия влагозащитного покрытия с печатного узла особенно важна – уровни статических зарядов не должны превышать пороги чувствительности компонентов. Установка «Борей» оснащена следующими элементами для снижения электростатического напряжения:

- Точечный микроионизатор (рис 1). Встроен в блок подачи абразива под определенным углом и обеспечивает нейтрализацию заряда в точке соприкосновения потока абразива с поверхностью.
- Антистатический браслет (рис 2). Неотъемлемый инструмент при ручном монтаже или при ремонте печатных узлов. Исключает возник-

Т 1  
Пороги чувствительности компонентов<sup>1</sup>

ТИП ПРИБОРА	ПОРОГ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ, кВ
Транзисторы	0,68 – 2,5
Диоды	0,3 – 2,5
Плёночные резисторы	0,3 – 3
Интегральные микросхемы	0,25 – 3

<sup>1</sup> Источник: Защита электронных средств от воздействия статического электричества, Кучиев Л.Н., Пожидаев Е.Д., И.Д. «Технологии», М, 2005



3

Ионизатор постоянного тока непрерывного действия



4

Портативный измеритель электростатического поля EFM-022

новение электростатического напряжения при работе оператора с микросхемами.

- Ионизатор воздуха постоянного тока непрерывного действия (рис 3). Предназначен для нейтрализации заряда на диэлектриках<sup>2</sup> (материалах с сопротивлением более 100 ГОм). Генерирует мощный поток положительно и отрицательно заряженных ионов, которые, притягиваясь к молекулам противоположной полярности, нейтрализуют статический заряд на объектах рабочей зоны.

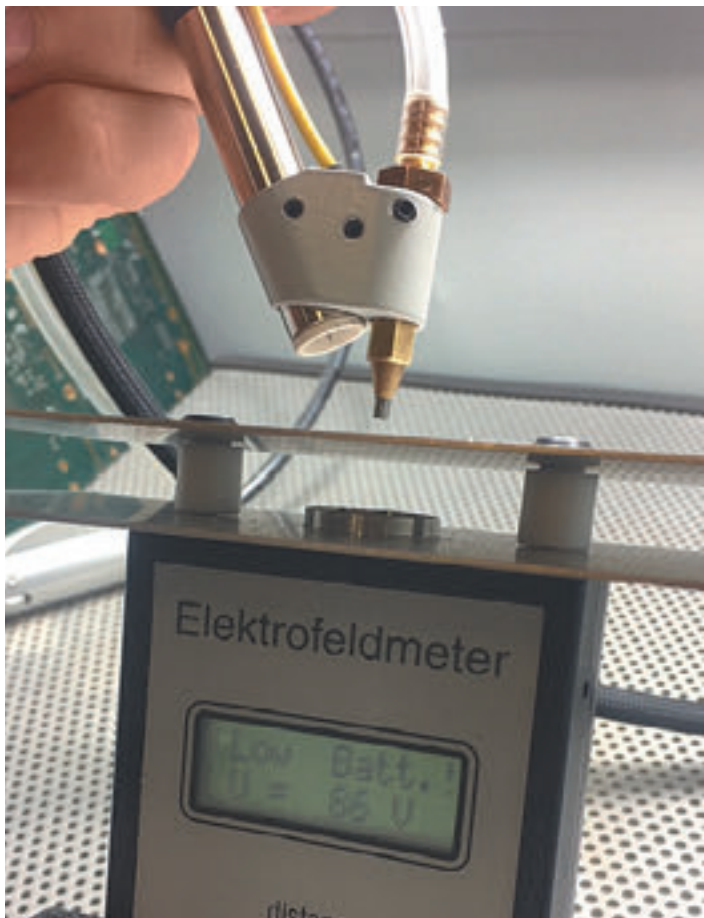
Метод тестирования эффективности ионизаторов согласно стандарту EOS/ESD 3.1 состоит в нейтрализации электростатического заряда на изолированной металлической пластине. Напряжение измеряется бесконтактным тестером. Для тестирования был использован портативный измеритель электростатического поля EFM-022<sup>3</sup> (рис 4). Измеритель с подключенной металлической пластиной, имитирующей поверхность печатного узла (компонента), был помещен в рабочую камеру «Борей». В процессе эксперимента на пластину подавался абразив при различных комбинациях антистатических аксессуаров (рис 5). Результаты исследования приведены в т 2.

Полученные данные наглядно показывают, что точечный микроионизатор оказывает определяющее влияние на снижение электростатического заряда в процессе удаления влагозащитных покрытий с поверхности печатного узла и компонентов. А простой ионизации воздуха недостаточно для снижения антистатического напряжения до допустимых для многих компонентов значений. При испытаниях не учитывалось влияние антистатического браслета, потому что он является базовой мерой защиты и неотъемлемой частью процесса ремонта и доработки печатных узлов.

Теперь рассмотрим отличительные особенности реализации мер антистатической защиты в установке микроабразивного удаления влагозащитных покрытий «Борей». Как было установлено ранее, точечный микроионизатор играет ключевую роль в решении задачи по снижению статического напряжения. В других установках подобного типа такое решение отсутствует либо похожую роль выполняет щуп, выполненный в виде отдельной насадки. В этом случае существуют определенные недостатки и риски: сложно спозиционировать щуп в место подачи абразива, исключив таким образом постоянное снятие статики с компонента; у оператора заняты обе руки, что неудобно и увеличивает время работы. В установке «Борей» микроионизатор зафиксирован у сопла подачи абразива под строго определенным углом и расстоянием, гарантируя защиту от электростатического напряжения, простоту работы и экономию времени оператора.

<sup>2</sup> Международные стандарты по антистатике, в частности, общеевропейский IEC61340-5 «Electrostatics. Part 5: Specification for the Protection of Electronic Devices from Electrostatic Phenomena» рекомендуют по возможности не использовать диэлектрики в ESD-защищенной зоне, а при вынужденном их присутствии нейтрализовывать заряд ионизацией воздуха. Кроме того, в стандартах подчеркивается, что ионизация воздуха порой необходима даже для проводящих поверхностей объектов, если по каким-то причинам их не удается заземлить (например, в движении).

<sup>3</sup> Дополнительная опция установки «Борей».



5 Измерение статического напряжения

Избежать присутствия «незаземляемых» объектов и диэлектриков на рабочем месте практически невозможно. Такие предметы как корпуса приборов, органы управления, шнуры питания, пластмассовые детали, изоляционные материалы и т. д. могут представлять реальную опасность для электронных компонентов, чувствительных к электростатике. В таком случае заземление бесполезно, и наиболее действенным способом нейтрализации заряда на диэлектриках становится ионизация воздуха.

В «Борее» ионизация воздуха осуществляется с помощью ионизатора постоянного тока непрерывного действия. Ионизатор оснащен встроенным вентилятором для доставки ионов на рабочие поверхности. Вертикальное направление воздушного потока обеспечивает равномерную и интенсивную ионизацию заряженных поверхностей диэлектриков во всей рабочей зоне. В отличие от ионизаторов переменного тока ионизатор постоянного тока обеспечивает более высокую концентрацию ионов в воздухе и эффективно нейтрализует заряд даже на быстродвижущихся объектах.

Несмотря на то, что ионизация воздуха – единственный способ нейтрализации заряда на диэлектриках и, как следствие, одно из важнейших слагаемых комплексной ESD-защиты, использование ионизатора

Т 2

Влияние антистатических аксессуаров на электростатическое напряжение в процессе работы на установке микроабразивного удаления влагозащитных покрытий

ТОЧЕЧНЫЙ МИКРОИОНИЗАТОР	ИОНИЗАТОР ВОЗДУХА	НАПРЯЖЕНИЕ НА ПОВЕРХНОСТИ, КВ
-	-	> 5
-	+	3
+	-	0,2
+	+	≤ 0,2

«+» аксессуар активный

«-» аксессуар неактивный

не заменяет других, не менее важных средств превентивной защиты от создания и накопления статического электричества: точечного микроионизатора, ремешков заземления, спецодежды и обуви, систем хранения и транспортировки, всего рабочего инструментария в антистатическом исполнении.

В установке микроабразивного удаления влагозащитных покрытий «Борей» основные меры по снижению электростатического напряжения до допустимых значений реализованы в виде единого комплекса антистатической защиты. Его эффективность подтверждена положительным опытом наших клиентов, которые благополучно решили проблему безопасного удаления влагозащитных покрытий с помощью установки «Борей».

**Проведенный эксперимент подтвердил высокий уровень антистатической защиты установки «Борей» и безопасность и эффективность удаления влагозащитных покрытий даже с самых дорогих и ответственных печатных узлов.**

Оценить преимущества установки «Борей» можно в демозале ГК Остек, где она доступна для демонстрации и испытаний.

ООО «Остек-Интегра» предлагает вам воспользоваться новой уникальной возможностью – взять установку «Борей» в аренду или на тест-драйв. Мы организуем доставку на производство и обучение персонала.

**Заявки на испытания, тест-драйв и аренду оборудования направляйте:**

- по электронной почте [materials@ostec-group.ru](mailto:materials@ostec-group.ru)
- через сайт [https://ostec-materials.ru/my\\_requests](https://ostec-materials.ru/my_requests)
- по телефону +7 (495) 788-44-44 ☎

# Проектирование печатных плат. Нефункциональные контактные площадки

Текст: Аркадий Медведев  
Аркадий Сержантов



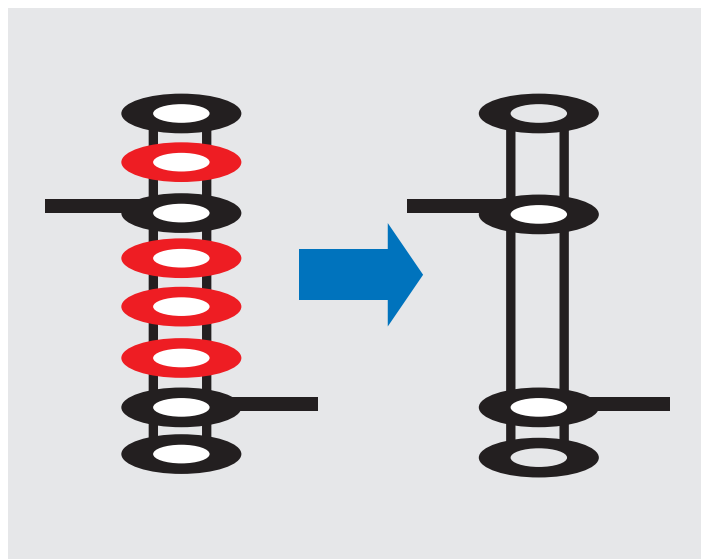
На страницах зарубежных периодических изданий развернулась дискуссия по поводу нефункциональных контактных площадок (НКП), заложенных в проекты многослойных печатных плат (МПП). В ходе дискуссий приводились доказательства об их полезности или вреде в конструкциях МПП. Мы подключились к этой теме и провели анализ различных точек зрения на проблемы наличия или отсутствия НКП в МПП электронных систем различного назначения. На основании этого анализа мы рекомендуем выводить НКП из проекта МПП, если иное не оговорено заказчиком.



НКП – это контактные площадки на внутренних слоях МПП, которые не имеют электрического соединения с каким бы то ни было элементом электрической цепи печатной платы. На рис 1 показан один из примеров наличия и изъятия НКП.

Решение о допустимости наличия НКП в проекте МПП проще принять на этапе технологической подготовки производства (ТПП), когда инженер-технолог занимается преобразованием абстрактного проекта МПП в исполняющие файлы для управления технологическим оборудованием. Этот этап неизбежно присутствует для адаптации конструкторского проекта к конкретным условиям производства и создания управляющих программ для оборудования с числовым программным управлением (ЧПУ). Именно в этот момент технолог может внести какие-либо изменения в конструкцию МПП, не искажая функциональность проекта. На усмотрение технолога НКП могут быть оставлены в проекте либо изъяты или выборочно – где-то оставлены, а где-то изъяты. Все процессы, описанные в статье, касаются компьютерного проектирования, конструирования и технологической подготовки производства.

При использовании систем автоматического проектирования САД (Computer Added Design) конструктор МПП специально не вводит НКП. Они вводятся по умолчанию САД-программами, и добиться их удаления можно, только специально настраивая САД. Сегодня этим озадачиваются только около 5 % конструкторов. Для большинства из них безразлично, будут НКП в проекте или нет, это никак не скажется



1 Нефункциональные контактные площадки. На левом изображении помечены красным, на правом – удалены на этапе технологической подготовки производства

на функциональных свойствах проекта. В результате НКП почти в 95 % случаев присутствуют в проекте МПП, поступающем в производство, и задача технолога, который готовит проект к производству, решить, нужны или не нужны НКП в проекте.

Цель данной статьи – представить доводы, в каких случаях НКП могут быть нужны, а в каких от них лучше избавиться. Для этого мы проведем анализ различных аспектов влияния НКП на характеристики МПП.

### История вопроса.

Вопрос наличия НКП во внутренних слоях многослойных печатных плат обсуждался в течение многих лет и продолжает обсуждаться<sup>1,2,3,4</sup>. Мнения о том, что НКП повышают надежность МПП и поэтому их в обязательном порядке нужно использовать, придерживались в основном военные, опираясь на исследованиях 60-80-х годов<sup>5</sup> прошлого столетия. С ними солидарны проектировщики электронных систем ответственного назначения, считающие, что качество первоначально вне зависимости от сопутствующих производственных издержек<sup>6</sup>. Второго мнения – о необходимости удаления НКП – придерживается большинство производителей МПП. Они считают, что отсутствие НКП снижает затраты и повышает надежность системы межсоединений в МПП, т.к. позволяет избежать расслоений и коротких замыканий между контактными площадками (КП) и проводниками внутренних слоев, улучшает качество металлизации сквозных отверстий, а также, что очень важно, улучшает условия пайки выводов компонентов в отверстия.

<sup>1</sup> Birch B., Road S., Nepean W. Discussion on non functional pad removal / backdrilling and PCB reliability // PWB Interconnect Solut. Inc. 2005. №7. С. 14-32.

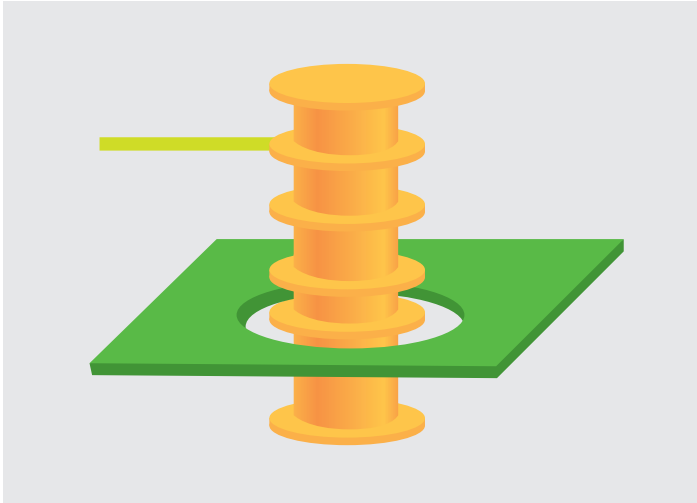
<sup>2</sup> G., Tulkoff C. Non-functional pads should they stay or should they go // DfR Solut. 2010. № 301. С. 45-52.

<sup>3</sup> Birch, Bill, "Discussion on Non-functional Pad Removal/Backdrilling and PCB Reliability," PWB Interconnect Solutions Inc. 103-235 Stafford Road West, Nepean, Ontario, Canada K2H 9C1Caswell

<sup>4</sup> V.Mozharov, O.Khomutskaya. Influence of non-functional contact pads on various characteristics of printed circuit boards. – <http://www.electronics.ru>.

<sup>5</sup> Reid, Paul, "Design and Construction Affects on PWB Reliability," PWB Interconnect Solutions, IPC APEX EXPO.

<sup>6</sup> Division S. Space product assurance: design rules for printed circuit. ECSS-Q-ST-70-12C. Noordwijk, The Netherlands. 173 с.



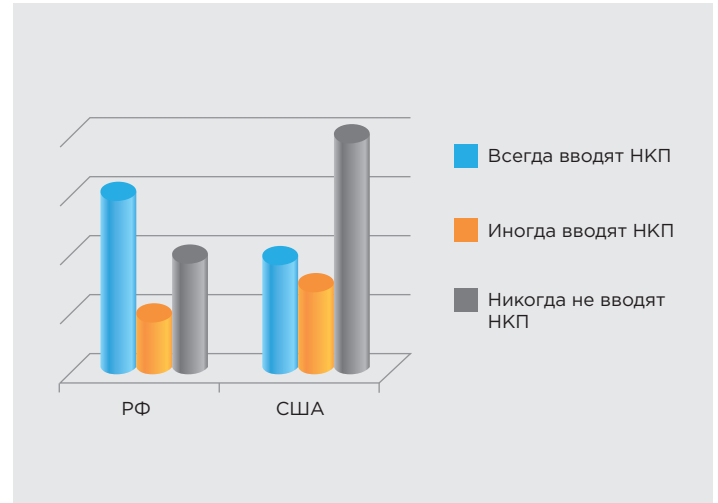
2  
НКП, оставленная в слое питания

## Современное состояние проблемы

Для объективного анализа проблемы во время семинаров ООО «Остек-Сервис-Технология» нами проводилось анкетирование производителей и проектировщиков МПП по вопросу их отношения к НКП. В опросе участвовали 42 отечественных предприятия, и на основе их оценок были сделаны следующие выводы:

- компании, удаляющие НКП, делают это, в первую очередь, для продления срока службы сверл, улучшения условий пайки в отверстия МПП и улучшения условий технологического обеспечения надежности межсоединений и электроизоляционных конструкций МПП. Некоторые предприятия настаивают на том, что отсутствие НКП повышает качество слоев МПП после травления, а также способствует уменьшению вероятности замыканий НКП с соседними проводниками;
- компании, оставляющие НКП, убеждены, что НКП выполняют функции мульти-фланцевых заклепок для устранения опасности расслоения. Они считают, что в данном случае устраняется эффект неоднородного расширения элементов конструкции МПП по оси Z из-за различий в коэффициенте теплового расширения (КТР) разных материалов – меди и стеклотекстолита. Некоторые же компании откровенно признаются, что просто боятся ошибочно удалить нужную функциональную контактную площадку;
- часть участников опроса отметили, что в гибко-жестких МПП специально вводят НКП для обеспечения дополнительного усиления конструкции.

Изготовители, которые предпочитают удалять НКП, обосновывают это еще и тем, что в этом случае



3  
Результаты опроса: отношение респондентов к НКП во внутренних слоях МПП

упрощается процесс сверления<sup>7 8 9</sup>. Медь – это тягучий металл, сверление которого всегда является проблемой, и заточка режущих кромок сверл не рассчитана на сверление меди. С другой стороны, полное отсутствие НКП на большом количестве слоев МПП может привести к большим расстояниям между связанными точками (для соединения площадок) сквозного металлизированного отверстия (СМО), что может повлечь за собой частичное снижение надежности<sup>10</sup>. В качестве одного из компромиссных вариантов рассматривается выборочное удаление НКП. Оно обеспечивает легкость изготовления, сохраняя при этом несколько связующих точек на протяжении всей длины СМО. Другой вариант – оставлять НКП только на слоях питания, даже если они электрически ни с чем не связаны (рис 2). Эти слои не используются для прокладки сигнальных проводников, так что наличие в них НКП никак не повлияет на сложность трассировки<sup>11</sup>.

Все производители также отметили, что:

- использование стеклотекстолита или полиимида в качестве основания МПП не создает какой-либо разницы при решении об использовании НКП<sup>12 13 14</sup>;

<sup>7</sup> Медведев А.М. Сверление глубоких микроотверстий // Производство электроники. 2013. № 1. С. 1-3.

<sup>8</sup> Медведев А.М. Печатные платы. Механическое сверление // Технологии в электронной промышленности. 2012. № 8. С. 10-17

<sup>9</sup> С. Ванцов, к. т.н., А. Медведев, д. т.н., З. Маунг Маунг, О. Хомутская. Надежность процесса сверления печатных плат, понятие отказа. – Электроника: Наука, Технология, Бизнес. – 2016, №6 (000069). С.168-172.

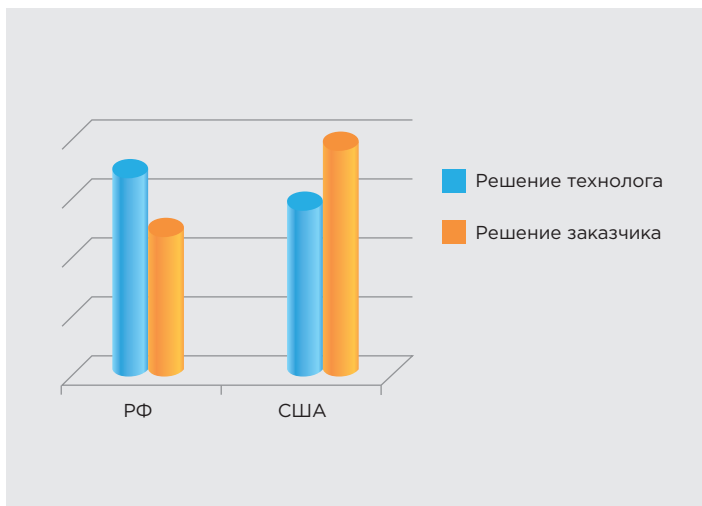
<sup>10</sup> Wickham Martin, "Through Hole Reliability for High Aspect Via Holes," NPL Webinar June 11, 2013

<sup>11</sup> Non Functional Pad Removal. [http://wiki.fed.de/images/7/70/Empfehlung\\_zu\\_Non\\_Functional\\_Pad\\_Removal.pdf](http://wiki.fed.de/images/7/70/Empfehlung_zu_Non_Functional_Pad_Removal.pdf).

<sup>12</sup> Greg Caswell? Cheryl Tulkoff. Non-Functional Pads (NFPs). Should They Stay or Should They Go? – SMTA ISCR 2014/

<sup>13</sup> Altera AN-672, "Transceiver Link Design Guidelines for High-Gbps Data Rate Transmission," 02/15/2013.

<sup>14</sup> Altera AN-529, "Via Optimization Techniques for High Speed Channel Design," May 2008.



4

На каком этапе принимается решение об использовании или удалении НКП

- основной причиной удаления НКП было увеличение технологичности МПП (уменьшение производственных издержек).

## Стандарты

Единственной организацией, официально высказывающейся по поводу применения НКП, является Европейская кооперация по стандартизации в области космической техники (European Cooperation for Space Standardization, ECSS).

Согласно их стандарту<sup>15</sup>, можно не вводить НКП в двух случаях:

- если наличие НКП ухудшает электрические характеристики;
- если отсутствие НКП предотвращает появления областей с высоким давлением в процессе прессования, в которых может уменьшаться относительное содержание смолы в препреге (выдавливание связующего из зоны, окружающей отверстия).

При принятии решения об удалении НКП необходимо соблюдать следующие условия:

- НКП должны остаться на всех слоях питания и земли;
- НКП должны остаться на гибких слоях;
- допускается удалять не более половины всех НКП в переходном отверстии;
- допускается удалять НКП максимум на двух следующих друг за другом слоях;
- допускается удалять НКП только на одной стороне заготовки слоя;
- любые изменения, которые вводит технолог, должны быть в обязательном порядке согласованы с конструктором и введены в конструкторскую документацию.



5

Микрошлифы тестируемых МПП с НКП (справа) и без них (слева)

## Анализ результатов исследований

Чтобы обоснованно решить, как поступать с НКП в конкретном случае, необходимо подробно рассмотреть и проанализировать связанные с ними факторы, так или иначе воздействующие на надежность печатных плат и/или различные аспекты технологических процессов их изготовления.

### Факторы влияния НКП на надежность МПП

Однозначного ответа на вопрос о влиянии НКП на надежность МПП нет. Затруднения в оценке обусловлены тем, что современные требования к надежности аппаратуры зачастую конфликтуют с требованиями по миниатюризации и стоимости конечного устройства, поэтому значение этого влияния неодинаково для различных типов МПП, отличающихся назначением, условиями эксплуатации, плотности трассировки, классу точности и т.д. Единственный повод для оценки надежности создали результаты испытаний МПП на воздействие термоциклов<sup>16</sup>.

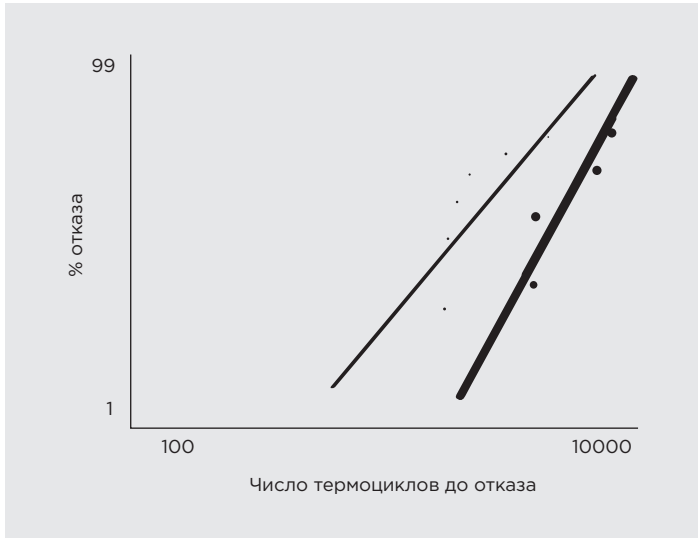
### Увеличение вероятности расслоения

Национальная физическая лаборатория Великобритании провела исследования устойчивости к термоциклированию МПП с и без НКП<sup>17</sup>. Было создано два комплекта образцов толщиной 2,5 мм и соотношением глубины отверстия к диаметру 10:1 (рис 5).

Отказы, обнаруженные при термоциклировании образцов в диапазоне температур от -55 до 125 °С, представлены на рис 6 в виде распределения Вейбулла. График показывает аналогичные градиенты для обоих комплектов образцов. Однако в образцах без НКП время

<sup>15</sup> Thierauf S.C. High-Speed Circuit Board Signal Integrity, Boston, London: Artech House, Inc., 2004. 243 с.

<sup>16</sup> Barker, Donald & Dasgupta, Abhijit, Chapter 20 "Thermal Stress Issues in Plated-Through-Hole Reliability" in Thermal Stress and Strain in Microelectronic Packaging, Van Nostrand Reinhold, 1993.  
<sup>17</sup> Holes A.V. Through Hole Reliability for High Aspect Via Holes. 2013. № June. С. 50-55.



6

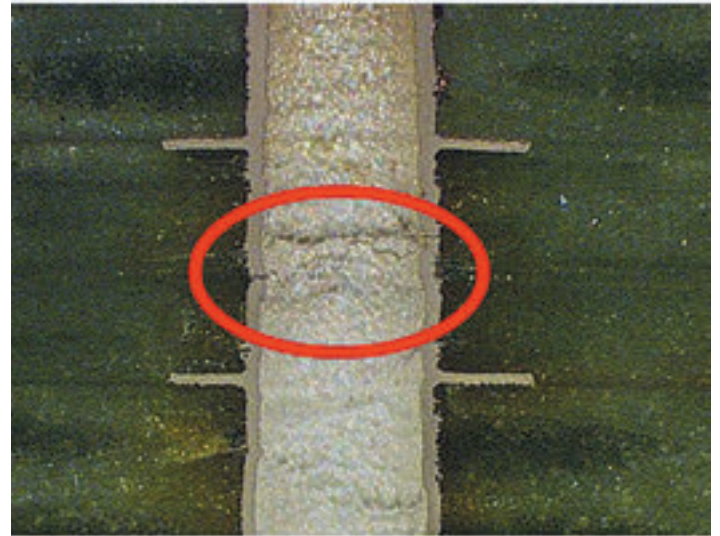
Зависимость процента отказов соединений в МПП от числа термоциклов. Тонкой линией показаны МПП с НКП, толстой – без НКП

до разрушения соединений больше. Количество термоциклов до 50 % отказов составляет около 700 для образцов с НКП по сравнению с примерно 930 циклами до отказа без НКП.

На основании исследования появилось предположение, что наличие НКП увеличивает усталостные разрушения материала на 20 %. Причину этого видят в том, что НКП, введенные в отверстия с высоким отношением толщины платы к диаметру просверливаемых отверстий – так называемым аспектным отношением – выступают в качестве концентраторов напряжений, что приводит к более ранним отказам. Если всё же НКП по каким-то причинам необходимы, для снижения их пагубного влияния на надежность рекомендуется вводить НКП только в местах, наиболее близких к 1/3 расстояния от верхней и нижней поверхности МПП (итого не более двух НКП в дополнение функциональным контактными площадкам). Этот подход делит цилиндр отверстия на три части в отношении термомеханических напряжений при термоциклировании: верхняя и нижняя части не испытывают практически никаких растягивающих или сжимающих напряжений, так как большая часть нагрузки сосредотачивается в средней части переходного отверстия. На рис. 7 показано, как эти напряжения реализуются в виде кольцевой трещины в середине отверстия. Расположение двух удерживающих соединений позволяет получить более равномерное распределение напряжений по всей длине цилиндра отверстия<sup>18</sup>.

#### Усиленный теплоотвод при пайке

Стек НКП формирует радиатор, который рассеивает тепло, из-за чего монтажное отверстие не поддается



7

Микрошлиф переходного отверстия с отказом (выделено красным) в области ввода НКП

прогреву, достаточному для удовлетворительного пропая. Как правило, диаметр контактной площадки в два раза больше диаметра отверстия. Простые расчеты показывают, что каждая НКП увеличивает поверхность теплоотвода в три раза. При пайке выводов компонентов в такие отверстия припой остывает при контакте уже с первыми НКП, в результате не удается реализовать полный пропая. Если эти элементы межсоединений относятся к силовым цепям, сосредоточение тока на ограниченном сечении пайки из-за непропая приводит к катастрофическому перегреву цепи джоулевым теплом и выходу системы из строя. Другие элементы и компоненты схем с выводами для пайки в отверстия, не получив нужного пропая, могут разрушиться при механических воздействиях.

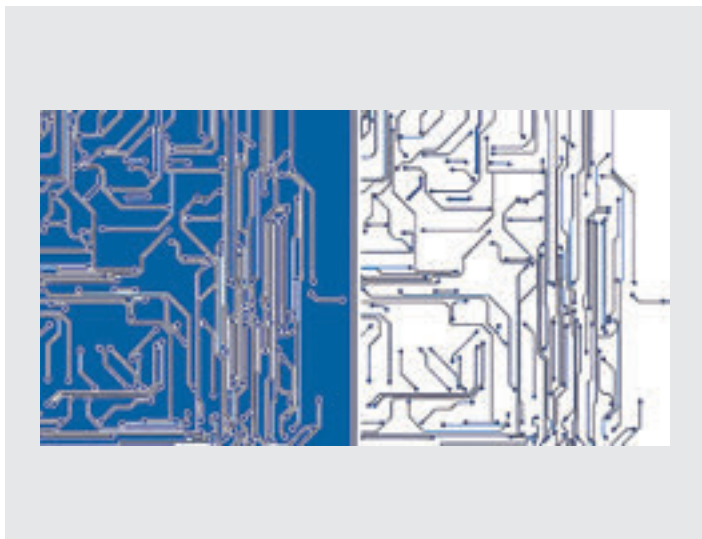
У нас часто спрашивают: что делать? Отверстия не пропаяются. Наш опыт подтверждает, что удаление НКП решает эту проблему.

#### Увеличение времени проверки и количества ложных срабатываний при автоматической оптической инспекции

Для детального контроля качества на производстве МПП используются системы автоматической оптической инспекции (АОИ). Форма НКП не критична, однако АОИ их проверяет как все другие, что приводит к ложным признакам брака, затягивает процесс инспекции и отвлекает внимание оператора – возникает опасность пропуска критической ошибки. Специально проведенные исследования человеческого фактора на достоверность тестирования показали, что вероятность пропуска брака составляет 23 %<sup>19</sup>.

<sup>18</sup> Lau J., Barker D., Dasgupta A. Thermal stress and strain in microelectronics packaging. Van nostrand reinhold company. New York City. 1993. 683 с.

<sup>19</sup> Медведев А. Конструктивно-технологическое обеспечение надежности БЦВМ. Проблемы информатизации. №3, 2008.



8 Слева – слой с заполненными медью пустотами, справа – исходный слой с проводниками

#### Увеличение геометрической стабильности слоев МПП

Фольгированные композитные материалы формируются горячим прессованием за один цикл. При отверждении связующего происходит полимеризационная усадка, которая не может себя реализовать, поскольку она фиксируется фольгой. Таким образом, материал основания слоя МПП получает внутренние напряжения, связанные с его композитной природой. Когда при травлении часть меди убирается, эти внутренние напряжения реализуют себя, деформируя основание слоя. Медь, по сути, армирует тонкое диэлектрическое основание, снижая коробление слоя и не давая высвободиться всем внутренним напряжениям материала на этапе травления<sup>20 21 22</sup>. Таким образом, наличие значительных площадей меди за счет наличия НКП, оказывает позитивное влияние на качество платы в целом и на точность совмещения в частности. Кроме того, уменьшение площади травления за счет наличия НКП приводит к более медленному истощению травильного раствора, что положительно сказывается на качестве травления.

Геометрическая стабильность (с) фольгированного стеклотекстолита FR4 напрямую зависит от толщины медной фольги (t) и толщины диэлектрика (h).

Количественное выражение этой зависимости описывается формулой:

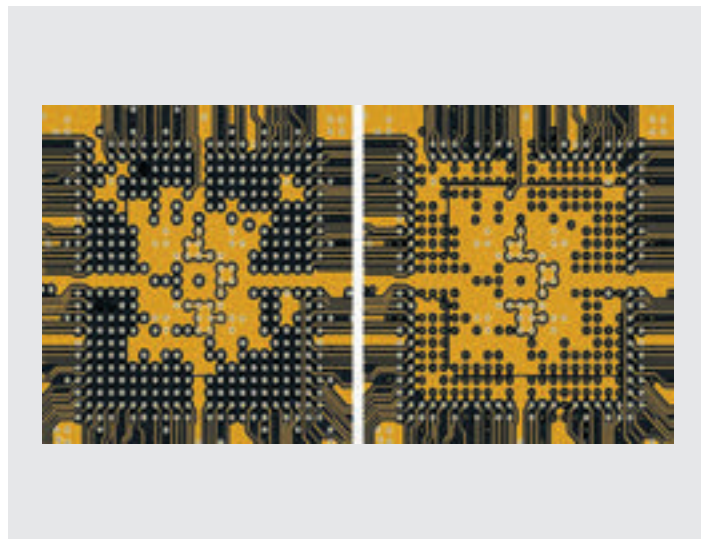
$$c(t, h) = (1,636 \cdot 10^{-3} - 9,106 \cdot 10^{-3} \cdot t) \cdot e^{-4,441 \cdot h} \cdot e^{14,808 \cdot t}$$

$$h \in [0,05; 0,5], t \in [0,018; 0,21]$$

<sup>20</sup> Медведев А.М., Можаров В.А. Размерная стабильность слоев прецизионных многослойных печатных плат // Печатный монтаж (приложение к журналу «Электроника. НТБ»). 2011. № 4. С. 140–147.

<sup>21</sup> Можаров В.А. Математическая модель зависимости усадки стеклотекстолита от его конструктивных параметров // Электронный журнал «Труды МАИ». 2013. № 65. С. 1–8.

<sup>22</sup> Медведев А.М., Можаров В.А. Многослойные печатные платы. Способы улучшения размерной стабильности материалов слоев // Производство электроники. 2011. № 5. С. 30–34.



9 Посадочное место с НКП и без НКП под BGA-компонент на плате

Можно сделать заключение, что наличие большого количества пустот в металлизации слоя ведет к серьезной погрешности расположения и размера межслойных соединений, особенно на тонких основаниях. НКП могут занимать 67 % от всей поверхности слоя; поэтому если рассматривать улучшение его геометрической стабильности как приоритетную задачу, очевидно, что НКП необходимо оставлять (рис 8).

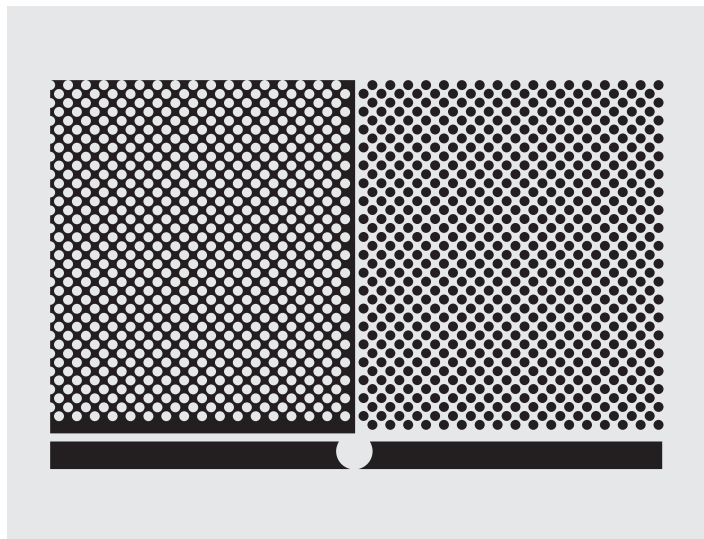
Однако в зонах установки BGA-корпусов подходящие к КП проводники находятся на разных внутренних слоях, при этом они располагаются достаточно близко друг к другу. Их близкое расположение не позволяет заполнить пустое пространство медным полигоном. Поэтому НКП под BGA-компонентом рекомендуются к удалению, т.к. при соблюдении минимального отступа от переходного отверстия площадь заполненного медью полигона будет больше, что улучшит совмещение слоев (рис 9).

#### Уменьшение ресурса сверл

Существует гипотеза о том, что наличие НКП приводит к ухудшениям характеристик сверления, так как сверление происходит через дополнительный слой меди НКП. Это ведет к увеличению температуры в зоне сверления, что, в свою очередь, приводит к залипанию стружки в спиральных канавках сверла и выводу её из зоны сверления и размазыванию расплавленной смолы связующего на торцах контактных площадок внутренних слоев МПП, значительно снижая надежность внутренних соединений МПП.

Для проверки данной гипотезы нами была изготовлена 16-слойная плата размером 175 × 280 мм, в правой части которой было 6014 НКП (62 ряда по 97), а в левой – 6014 так называемых «antipads» – круглых высвобождений в меди без НКП (кружков свободного стеклотекстолита в сплошном медном полигоне), рис 10.

Далее все площадки были просверлены (для каждого типа площадок использовалось отдельное сверло диаме-



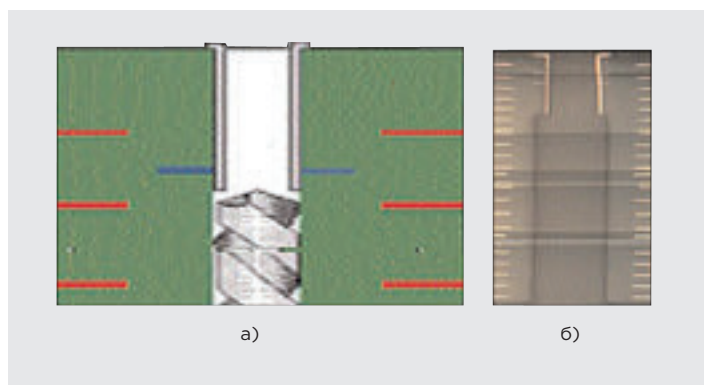
10

Нижняя центральная часть тестовой платы: участок с НКП (справа), полигон с высвобождениями (слева)



11

Первые отверстия на участке с НКП (слева) и на участке с высвобождениями (справа)



12

Обратное сверление для уменьшения емкостной нагрузки: а) схема сверления, б) микрошлиф обратного сверления

тром 0,65 мм), причем после прохождения каждого ряда в обоих случаях (с и без НКП) сверлилось контрольное отверстие на краю платы с медной фольгой (рис 11).

Там, где отверстие просверлено через НКП – видна стружка и буртик, что свидетельствует о сильном затуплении сверла. На контрольных отверстиях без НКП буртик значительно меньше размером, а отверстия не содержат стружку или другие продукты сверления. На половине с НКП буртик начал появляться уже

на 8–10 ряду, а на половине без НКП – только на 32–34 ряду. Это свидетельствует о большем затуплении сверла при сверлении отверстий с НКП. На основании этого можно утверждать, что НКП негативно влияют на стойкость сверла и качество сверленных отверстий в производстве МПП.

#### Создание помех и искажение характеристик линий связи

Для реализации высокой плотности межсоединений в конструкциях МПП используют большое количество переходных отверстий, задача которых – осуществить соединения между слоями в трансверсальном направлении. Зачастую в сквозном переходном отверстии контактные площадки могут присутствовать на каждом сигнальном слое (даже если этот слой не связан трассировкой через отверстие). Очевидно, что эти контактные площадки имеют емкостную связь со слоями питания выше и ниже в стеке. Эта нежелательная емкость увеличивает емкостную нагрузку, создаваемую отверстием; если отверстие длинное или если частота сигнала высока, неиспользованная часть отверстия с его НКП будет выступать в качестве не предусмотренной емкостной нагрузки, искажающей согласование линий связи<sup>23</sup>.

Удаление НКП в этом случае считается обязательным в отверстиях высокочастотных печатных плат. Ряд проектировщиков СВЧ-плат предусматривает высверливание части металлизации отверстия для уменьшения емкостной нагрузки (рис 12).

#### Уменьшение увода сверла при сверлении

В процессе сверления переходных отверстий МПП, особенно с высоким аспектным отношением (более 10:1), наблюдается разность координат входа и выхода сверла, т.е. имеет место отклонение сверла от прямой траектории движения. Сторонники НКП считают, что медные площадки НКП работают как кондукторы, не давая сверлу отклониться от оси сверления. При сверлении МПП с низким аспектным отношением (менее 10:1) погрешностью такого отклонения сверла можно пренебречь. Однако надо учитывать, что современные МПП высокого класса точности имеют переходные отверстия диаметром 0,2 мм и менее, и при таких диаметрах аспектное отношение становится высоким даже при сравнительно небольшой толщине МПП, поэтому проблема компенсации этой погрешности особенно актуальна. Тем не менее, исследования точности позиционирования выхода сверла не показали заметной разницы их рассеивания как представлено на рис 13. Вероятно это обусловлено тем, что конфигурация режущей части сверл не рассчитана на сверление меди фольги МПП, а ориентирована в основном на сверление стеклоэпоксидной композиции.

<sup>23</sup> Thierauf, Stephen, High-speed Circuit Board Integrity, Artech House, January 2004

**Сокращение трассировочного пространства слоя**

Этот фактор имеет значение для определенного класса МПП: для рационального использования пространства слоя рекомендуется удалять НКП. Это позволяет сократить протяженность дорожек и упростить топологический рисунок слоя. На рис 1 4 представлен пример трассировки, когда наличие НКП имеет значение.

**Ухудшение качества металлизации сквозного отверстия**

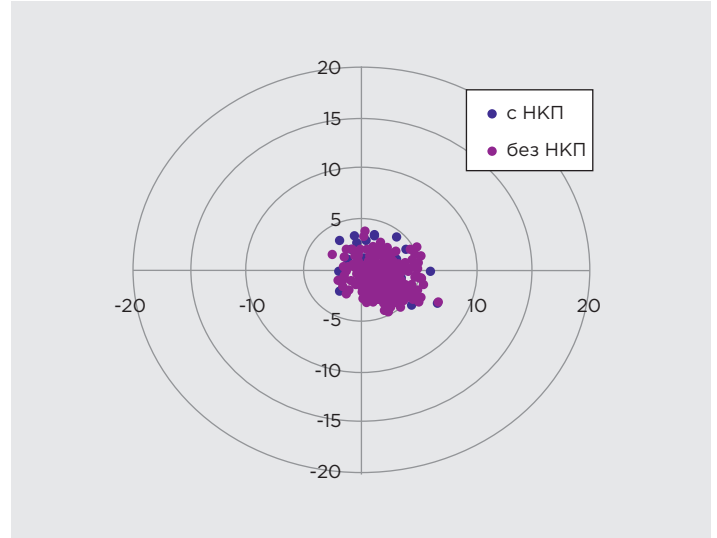
В производстве МПП есть операция очистки отверстий после сверления. Она необходима, чтобы убрать наносмолы, неизбежно остающийся после сверления, со стенок отверстия. Эта очистка медных торцов сопровождается подтравливанием диэлектрика, в результате которого образуются пазухи (на рис 1 5 они показаны белым цветом), в которых скапливаются трудно удаляемые остатки химикатов и технологических загрязнений. Это может приводить к коррозионным процессам разрушения металлизации и миграции загрязнений в электроизоляционные зазоры МПП, что в конечном итоге снижает надежность системы. НКП создают на стенках отверстий своеобразный лабиринт, затрудняющий отмывку, и тем самым снижают потенциальную надежность межсоединений и электроизоляцию.

**Рекомендации по использованию НКП**

Теперь, когда определены эффекты, вызванные наличием НКП, можно сформулировать рекомендации о целесообразности наличия либо отсутствия НКП в проектах МПП.

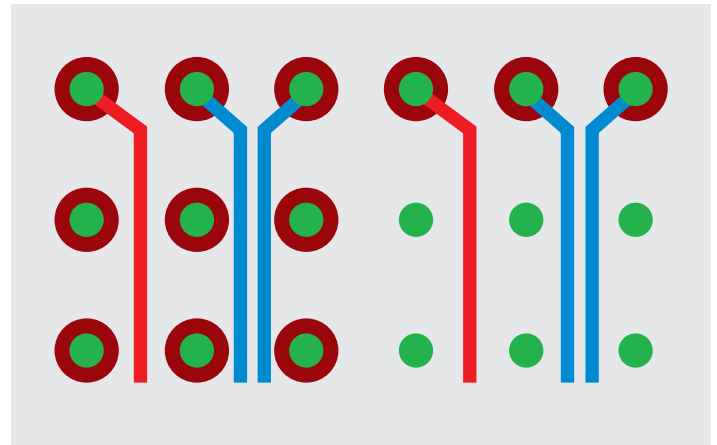
CAD-системы автоматически вводят НКП в проекты МПП. Решение об изъятии НКП принимает или конструктор на завершающем этапе проектирования, или технолог на этапе технологической подготовки проекта МПП к производству. При этом технолог руководствуется необходимостью обеспечить минимальные издержки для производства. С этой точки зрения проекты МПП с НКП приводят к осложнениям при пайке в отверстия, усложнению процедуры контроля средствами АОИ и снижению качества металлизации. Поэтому технолог считает, что их нужно удалять. Конструктор руководствуется другими соображениями, и они тоже, как правило, побуждают его удалять НКП из проекта МПП. Особенно это относится к проектам МПП с согласованными линиями передач: НКП создают нежелательную для линий емкостную нагрузку. Также лишние НКП ухудшают условия для уплотнения трасс проводников. Что касается обеспечения надежности МПП, то проведенные испытания на воздействие термоциклов показали преимущества проектов с удаленными НКП. Наличие НКП не оказывает и существенного положительного влияния на конечный продукт.

Как итог – производителям МПП рекомендуется выводить НКП из проектов, если иное не оговорено заказчиком. □



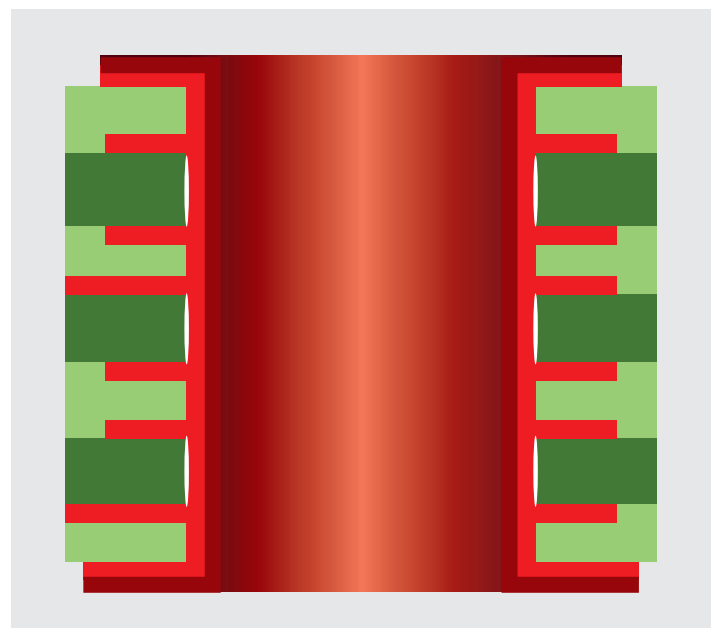
1 3

Координаты выхода сверла



1 4

Схема расположения переходных отверстий и дорожек при наличии (слева) и отсутствии (справа) НКП



1 5

Поперечный срез сквозного металлизированного отверстия

# Как обеспечить точность измерений напряженности поля

Текст: Дмитрий Кондрашов  
Патрик Дейкстра



В статье мы рассмотрим решение проблемы метрологического обеспечения измерений напряженности электромагнитного поля по гражданским и авиационным стандартам с помощью специализированного комплекса на базе активной антенной решетки и прецизионной изотропной антенны. Задача комплекса – снижение общей погрешности измерений, соответствие широкому спектру стандартов на помехоустойчивость, а также снижение стоимости проведения испытаний и владения аппаратурой.

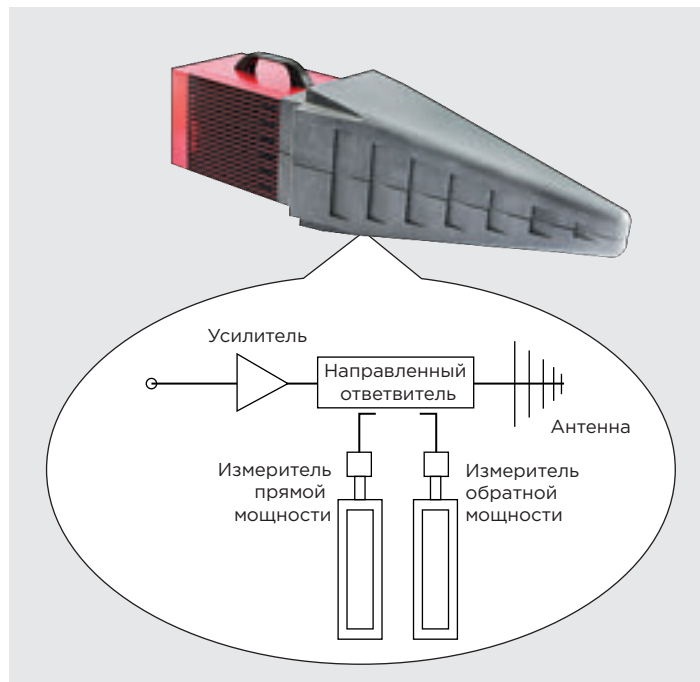


В предыдущей статье «Зачем менять устоявшиеся подходы к тестированию на ЭМС»<sup>1</sup> был подробно рассмотрен уникальный метод проведения испытаний на устойчивость к радиочастотному электромагнитному полю по стандарту ГОСТ 30804.4.3-2013 (IEC 61000-4-3-2016) с помощью нового класса приборов – **генераторов поля от компании DARE!! Instruments (Нидерланды)**. Основная идея метода заключается в замещении классической системы (рис 1) на интегрированный в единый корпус измерительный прибор. Были рассмотрены основные ограничения и недостатки при выборе усилителя и антенны для коммерческих и иных стандартов при использовании стандартного метода испытаний:

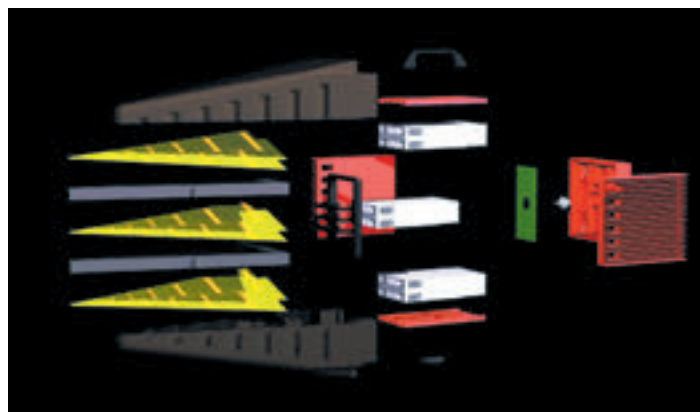
- высокая стоимость при одновременном соответствии требованиям по гражданским и военным стандартам;
- низкий коэффициент усиления антенны;
- недостаточно широкая диаграмма направленности антенны;
- потери на выходе усилителя;
- потери внутри усилителя;
- потери на внешних кабелях от усилителя до ответвителя;
- потери на кабелях от ответвителя до антенны;
- общие потери 3-6 дБ, т.е. более половины номинальной мощности стандартного усилителя;
- низкая скорость измерения;
- отсутствие контроля мощности после направленного ответвителя.

### Принцип работы генератора поля

Принцип комбинирования поля в активной антенной решетке (ААР) позволяет усилить подаваемый на ее вход радиочастотный сигнал и обеспечить формирование нормированного однородного электромагнитного поля на расстоянии 1 и 3 метра от его излучающих элементов с заданной напряженностью поля. Сигнал, поступающий с генератора СВЧ-сигналов на вход генератора поля, делится на три равные части, каждая из которых поступает на вход отдельного усилителя мощности для измерения и контроля прямой и обратной мощности. С выхода каждого усилителя сигнал через направленные ответвители поступает на вход антенного элемента. Антенные элементы представляют собой логопериодические антенны, выполненные на печатных платах и расположенные параллельно друг к другу (рис 2). Запитка антенных элементов выполняется таким образом, чтобы обеспечить синфазное сложение излучаемых ими электромагнитных полей в направлении строительной оси генератора поля. Калибровка однородности поля осуществляется с помощью прецизионных безбатарейных лазерных



1  
Схема генератора поля RFS2006B



2  
Конструкция генератора поля

датчиков напряженности поля, подключенных к общему шасси, на котором установлен блок управления генератором поля.

При этом генератор поля может автоматически изменять поляризацию, используя специализированную радиопрозрачную антенную мачту. Управление поляризацией и подача сигнала происходят по единственному коаксиальному кабелю. Максимальный уровень напряженности поля по стандарту ГОСТ 30804.4.3-2013, доступный на начало 2017 года: 54 В/м в диапазоне частот 800 МГц – 6 ГГц на расстоянии один метр.

Применение ААР для испытаний на устойчивость к радиочастотному электромагнитному полю уже успешно зарекомендовало себя и используется в современных лабораториях по всему миру – от США до Юж-

<sup>1</sup> Журнал «Вектор высоких технологий» № 6 (27) сентябрь 2016



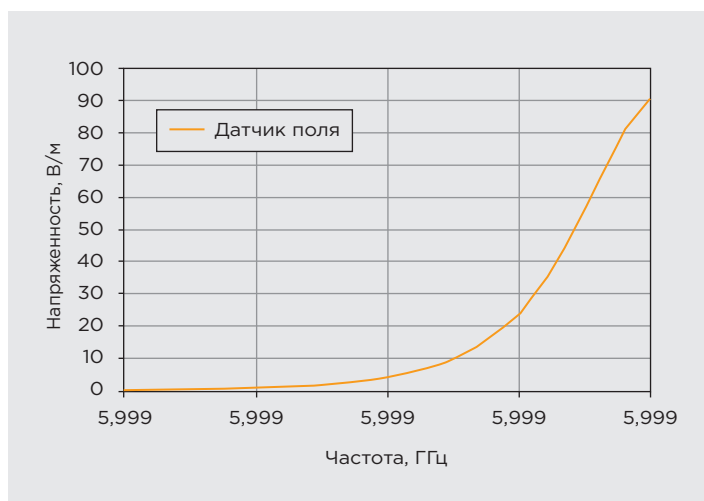
3

Генераторы поля RFS2006BR и RFS2018BR

ной Кореи. Простота проведения испытаний и сокращение используемых данных позволили применить этот принцип при построении более мощных и высокочастотных систем. Очевидно, что 54 В/м и верхнего предела частоты 6 ГГц недостаточно для обеспечения испытаний по авиационным, автомобильным и иным стандартам. Поэтому компанией DARE!! Instruments было принято решение разработать специализированные комплекты генераторов поля, которые соответствовали бы гораздо большему числу ЭМС-стандартов.

## Новый комплект генераторов поля 18 ГГц, 90 В/м

В конце 2017 года DARE!! Instruments выпустила новый комплект для испытаний на восприимчивость к радиочастотному электромагнитному полю в диапазоне частот от 800 МГц до 18 ГГц, который построен на базе двух новых генераторов поля RFS2006BR (800 МГц – 6 ГГц) и RFS2018BR (6 МГц – 18 ГГц) (рис 3).



4

График линейности генератора поля RFS2006BR

Характеристики линейности и АЧХ новых генераторов представлены на графике (рис 4 и 5).

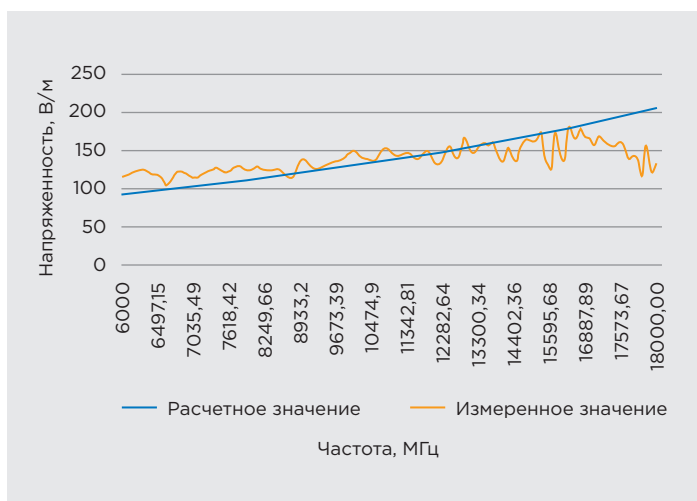
Таким образом, используя метод комбинирования поля в ААР возможно одновременно соответствовать требованиям для сертификационных и предварительных испытаний по принятым стандартам. При этом стоимость данных систем будет на 50 % дешевле, что существенно сэкономит бюджет лаборатории при приобретении оборудования, а также при обслуживании и сервисе.

Но несмотря на применяемый подход важнейшей проблемой остается метрологическое обеспечение измерений напряженности поля при калибровке испытательного стенда, а также точные измерения характеристик однородности поля используемой безэховой камеры. На этапе разработки генераторов поля RFS2006BR RFS2018BR специалисты DARE!! Instruments столкнулись с некоторыми особенностями, которые присущи всем датчикам напряженности поля, производимым на сегодняшний день.

## Универсальность или точность

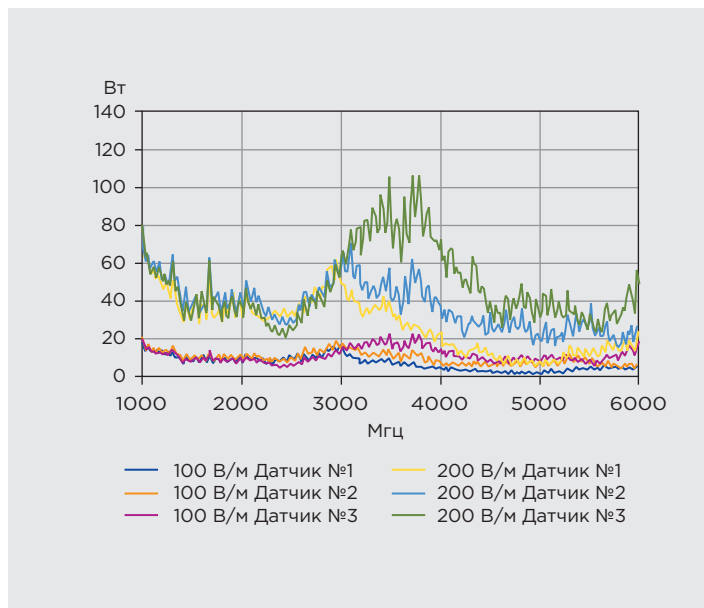
Стабильная работа измерительного оборудования компании DARE!! Instruments со сторонними производителями особенно важна, т.к. компания использует собственное программное обеспечение RadiMation®, а также в тех случаях, когда в лаборатории используется только софт без базового шасси DARE!! Instruments. Данное программное обеспечение позволяет автоматизировать испытания по большинству существующих стандартов (EN, ISO, DO-160, MIL-STD-461 и т. д.), а также имеет более 4500 бесплатных драйверов от 110 производителей ЭМС-аппаратуры и оборудования в своем составе.

Во время испытаний новых генераторов поля RFS2006BR и RFS2018BR инженерам DARE!! Instruments была поставлена задача использовать для кали-



5

График линейности генератора поля RFS2018BR

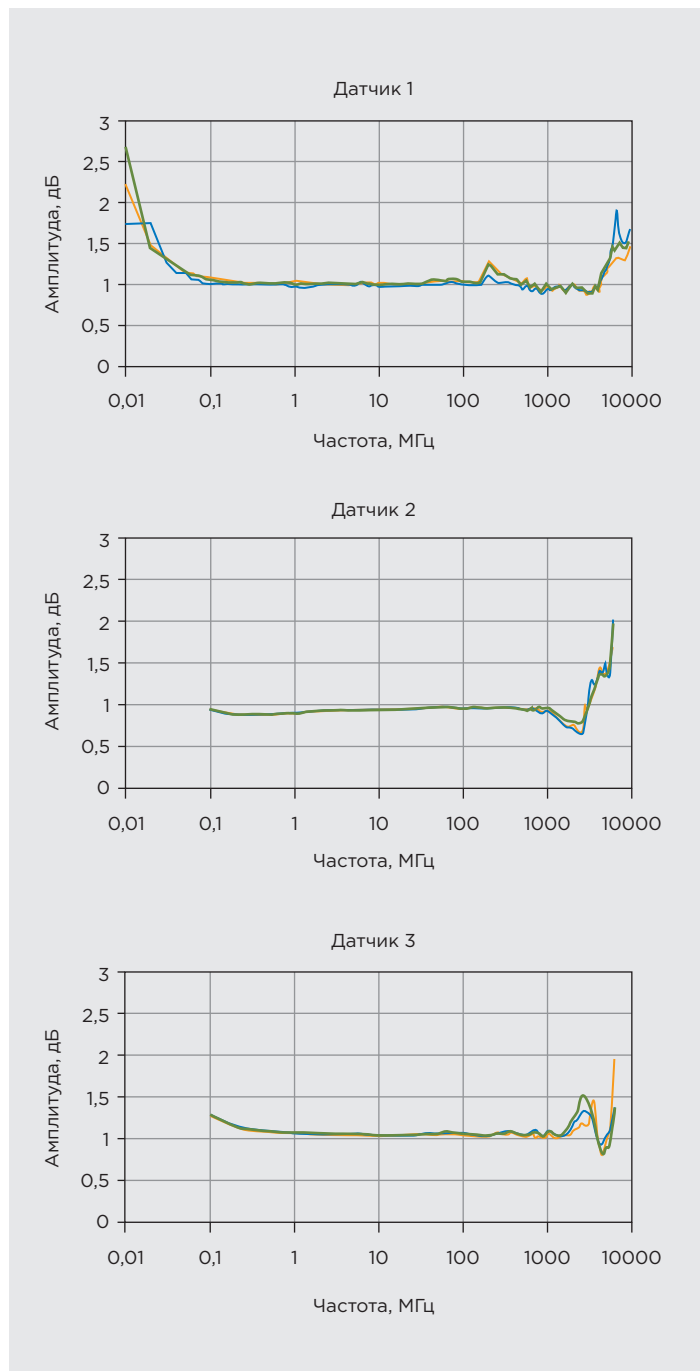


6

Зависимость частоты относительно прямой мощности при горизонтальной поляризации

бровки ААР датчики напряженности сторонних производителей и интегрировать их в программное обеспечение RadiMation® для совместной работы. При проведении тестирования напряженности поля специалисты DARE!! Instruments получили массив измеренных значений с каждого датчика поля, которые значительно различались между собой. Поэтому приходилось постоянно вручную настраивать выходную мощность генератора сигналов и учитывать дополнительные погрешности по каждой оси. В среднем значения прямой мощности, подаваемой с усилителя для каждого датчика поля, отличались в 2-3 раза, однако при этом датчик поля отображал одинаковое значение напряженности поля. Генератор поля решили заменить на стандартную антенну с усилителем и выполнили ряд измерений при одинаковых усилителе, антенне и измерителях мощности с направленным ответвителем. Чтобы более наглядно показать различия в показаниях прямой мощности, на рис 6 приведена зависимость частоты от прямой мощности с антенны. На графике изображена пара кривых для трех датчиков поля. Первая кривая – для каждого датчика при напряженности поля 100 В/м, а вторая – для напряженности 200 В/м. При этом серьезные отклонения в значениях прямой мощности начинаются в диапазоне частот от 3 ГГц, несмотря на то, что пробники отображают одинаковое значение напряженности поля 200 В/м.

Еще одна особенность, которую отметили при испытаниях специалисты DARE!! Instruments для всех датчиков поля, – значение ошибки по АЧХ для каждой измерительной оси X, Y и Z. На рис 7 приведены графики с кривыми по каждой координате



7

Графики АЧХ для датчика 1, 2 и 3

для тех же трех тестируемых датчиков. Значительные отклонения наблюдались от 3 ГГц, а также для датчика с батарейным питанием дополнительно ниже 100 кГц.

На сегодняшний день применяются три основных подхода при проведении калибровки датчиков поля, которые основаны на стандарте, определяющем диапазон частот от 9 кГц до 40 ГГц, а также частный случай, использующий метод интерполяции. Его характерной особенностью является использование зоны поворотной платформы полубезэховой камеры с использованием дополнительного радиопоглоща-



8

Внешний вид датчика поля RSS2010AR

ющего материала. Напряженность поля вычисляется по формуле:

$$E = \sqrt{(K_x \times E_x)^2 + (K_y \times E_y)^2 + (K_z \times E_z)^2}$$

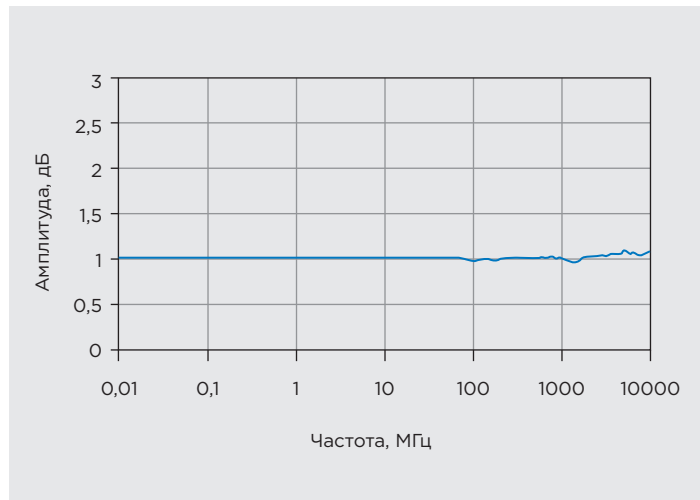
где  $K_n$  – коэффициент калибровки по каждой оси X, Y и Z,  $E_n$  – измеренная напряженности по каждой оси X, Y и Z соответственно.

Таким образом, изотропность датчика существенно сказывается на результатах измерений. Необходимо также учитывать размер датчика, который вносит дополнительное искажение в создаваемое поле, в особенности в НЧ- и ВЧ-диапазоне от 9 кГц до 1000 МГц, изменяя импеданс, а также в более высокочастотной области определяет погрешность АЧХ.

Все эти особенности накладывают значительную дополнительную погрешность при проведении измерений и при калибровке ААР внесут дополнительное нежелательное увеличение погрешности измерения ААР, так как генератор поля измеряет прямую и обратную мощность и подстраивает значение на генераторе сигналов для коррекции уровня, используя показания датчика поля.

Из графиков на рис 7 видно, что отклонения в значениях прямой мощности, а также относительно ортогональных осей датчиков поля наблюдаются в одном и том же диапазоне частот от 3 ГГц. Проанализировав полученные данные, инженеры DARE!! Instruments пришли к выводу, что эти особенности возникают из-за размера и формы датчика поля, а также нескольких не менее важных факторов, таких как:

- высокое значение изотропности и низкий уровень симметрии относительно антенных элементов каждой оси X, Y и Z;
- нормирование изотропности всех датчиков поля на частотах 10 или 100 или 1000 МГц, но не выше;
- отсутствие возможности коррекции датчика поля.



9

График АЧХ датчика поля RSS2010AR

## Универсальный датчик поля RSS2010AR

Принимая во внимание основные недостатки и особенности современных датчиков поля, специалисты DARE!! Instruments разработали универсальный датчик поля, который подходит для калибровки поля и ЭМС-систем в безэховых, реверберационных и ГТЕМ-камерах.

Разработка датчика завершилась в конце 2017 года, и он получил наименование RSS2010AR (рис 8). На сегодняшний день RSS2010AR является самым точным прибором для измерения однородности поля и калибровки испытательных систем на устойчивость к РЧ-полю в диапазоне частот 9 кГц–12 ГГц. На рис 9 приведен график АЧХ датчика поля RSS2010AR с минимальной погрешностью не более 0,3 дБ и измерением напряженности поля до 1000 В/м!

Независимо от погрешности АЧХ, которой обладает любой датчик поля, необходимо нормировать общую погрешность, состоящую из квадратного корня из суммы квадратов линейности, температурного отклика, изотропности, ошибки по АЧХ, погрешности калибровки и нестабильности. Поэтому погрешность по каждой составляющей оси при проведении точных измерений должна быть минимизирована.

В российских лабораториях чаще всего используют один единственный датчик поля, который применяется для всех типов измерений, поэтому к выбору такого прибора необходимо подходить максимально ответственно и учитывать весь спектр задач, в которых он будет применяться. □

**Подробнее с характеристиками датчика и генераторами поля можно ознакомиться на сайте [www.ostec-electro.ru](http://www.ostec-electro.ru)**

# Начните работать в новом качестве

Стандарты международной ассоциации производителей электроники (IPC) — наиболее авторитетные нормативные документы, принятые в отрасли, которые позволяют совершенствовать технологические процессы в мировом масштабе.

Тренинги, проводимые Группой компаний Остек, — наиболее эффективный и доступный способ научиться применять на практике самые востребованные стандарты IPC:

- **IPC-A-610** «Критерии качества электронных сборок»
- **IPC-7711/7721** «Восстановление, модернизация и ремонт печатных плат и электронных сборок»

#### Тренинги IPC от Остека это:

- Более 50 обученных специалистов за год
- Современное оборудование и материалы для практических занятий
- Лучшие мировые практики
- Более 60 видов технологических материалов, радиоэлементов и аксессуаров для ручного монтажа и доработки печатных узлов
- Специально оборудованный класс

#### Тренинги IPC от Остека позволят вам:

- Снизить производственные затраты
- Обеспечить управляемое качество и надежность конечного изделия
- Повысить имидж и конкурентоспособность
- Реализовать практическое применение стандартов IPC в отечественном производстве для всех классов изделий
- Повысить эффективность взаимодействия с поставщиками и сотрудниками

# Что скрывается за масштабным проектом?

## Умение видеть главное



Инжиниринговая компания не может себе позволить ошибаться в теории, потому что это слишком дорого обойдется на практике. Чем сложнее проект, тем выше требования к внимательности и компетентности разработчика на каждом этапе — от плана на бумаге до ввода в эксплуатацию на деле. 27-летний опыт позволяет нам с уверенностью утверждать, что масштабный проект не обязан быть сверхдорогим. Он обязан быть продуманным. В этом — суть ответственного инжиниринга. Мы погружаемся в него с головой.



**ostec**  
группа компаний

будущее  
создается

ostec-group.ru | (495) 788 44 44