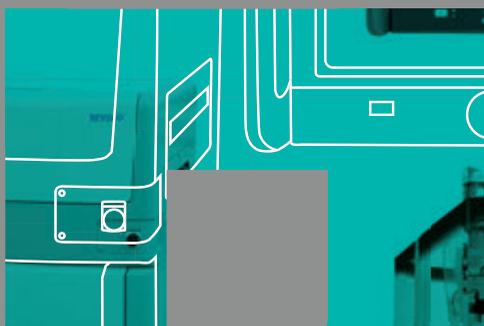


ЭКСПЕРТ+

ЗНАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ИННОВАЦИИ



АСУП на «Орбите»

Контроль процесса производства кабельных сборок

Отвечая на новые вызовы

Поверка и калибровка приборов в XXI веке: интересы промышленности

Апелляция к вибрации

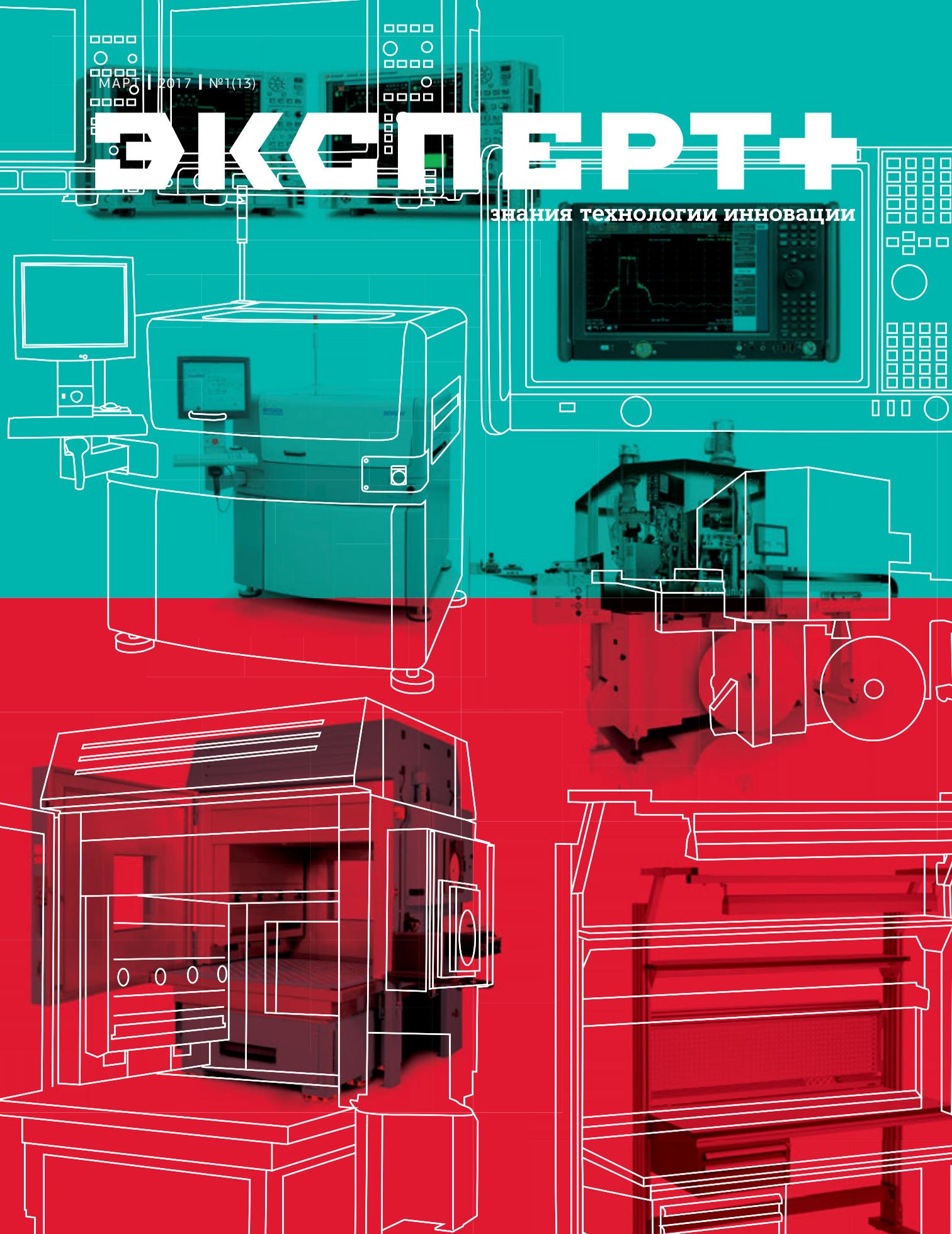
Основы вибрационных испытаний и анализа конструкций



МАРО | 2017 | №1(13)

ЭКСПЕРТ

ЗНАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ИННОВАЦИИ



+ Устойчивый курс



 ДИПОЛЬ

От редакции



Андрей Верецкий,
коммерческий директор АО «НПФ «Диполь»



Импортозамещение из абстрактного понятия превращается в конкретные программы и проекты

Несмотря на сложную экономическую обстановку, мы становимся свидетелями очередного подъема радиоэлектронной промышленности в России — качественного. Расхожее слово «импортозамещение» из абстрактного понятия превращается в конкретные программы и проекты, предусматривающие создание отечественных радио-электронных изделий в режиме «полного цикла». По опыту общения с отраслевыми разработчиками и производителями я берусь утверждать, что все они максимально серьезно подходят к вопросам качества изделий, повторяемости их параметров, соответствия ГОСТам и международным стандартам, что в итоге приводит к общему повышению качества и конкурентоспособности отечественной продукции.

За прошедшие два года наша компания провела ряд технологических аудитов, посетив суммарно около ста предприятий радиоэлектронной отрасли, и мы не понаслышке знаем как о достижениях, так и о проблемах отечественного производства. Одной из них, на наш взгляд, является недооцененность метрологии и недостаточная интеграция метрологических служб в производственные процессы, а ведь именно вовлечение метрологии во все этапы выпуска продукции обеспечивает прослеживаемость и повторяемость характеристик каждого изделия от разработки до серийного выпуска. Это мы и называем качеством.

Сегодня мы предлагаем по-новому взглянуть на роль измерений в производственном процессе и вместе строить новую идеологию интеграции метрологии

в каждый из основных этапов производства — разработку, испытания и сертификацию, серийный или штучный выпуск продукции, а также сервис и последующую модернизацию.

Но воплотить все это мы можем только вместе с нашими заказчиками, находясь в постоянном контакте, обмениваясь новыми знаниями, открывая возможности для создания и реализации очередных проектов. Поэтому мы приглашаем всех в наши офисы, на выставочные стенды, на страницы сайта компании и журнала «Эксперт+», чтобы быть ближе друг к другу, делиться опытом, вместе формулировать новые задачи и добиваться их решений. И наш успех, и процветание всей радиоэлектронной отрасли невозможны без успеха и процветания каждого предприятия.

Содержание

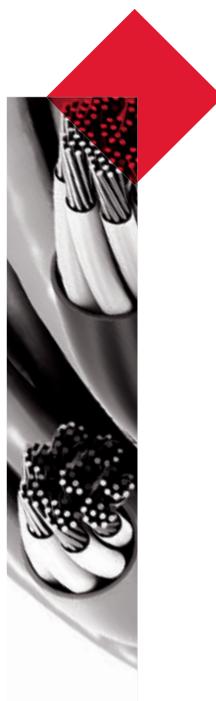


4.
Технологии
На орбите АСУП

12.
Метрология
Отвечая на новые вызовы



20.
Технологии
Свет отверждающий



40.
Технологии
Ультразвук вместо центрифуг



44.
Оборудование
Апелляция к вибрации



56.
Оборудование
Незаменимый источник



62.

Технологии

Объять необъятное



70.

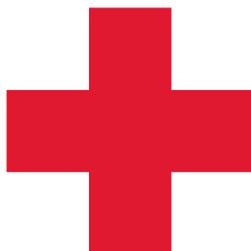
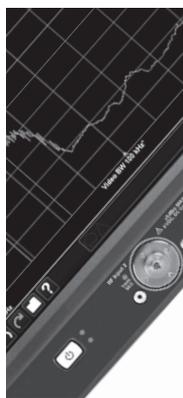
Заказчик

Революция труда

82.

Оборудование

Сделано в Германии



88.

Технологии

REAL time

ЭКСПЕРТ+

ЗНАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ИННОВАЦИИ

МАРТ | 2017 | № 1 (13)

Научно-технический журнал «Эксперт+» является корпоративным информационным изданием компании «Диполь». Журнал посвящен инновационным решениям для разработки, производства и испытаний электронной техники.

Зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи и массовых коммуникаций. Свидетельство о регистрации ПИ № ФС 77 — 58957 от 05 августа 2014 года.

Учредитель ЗАО «Диполь Технологии».

Периодичность выхода — 4 раза в год.

Тираж 2500 экз.

Распространяется бесплатно.

Подписка на журнал осуществляется запросом в произвольной форме на электронный адрес: expert@dipaul.ru

Редакционный совет:

Игорь ИВИЧЕВ

Алексей СМЫШЛЯЕВ

Главный редактор:

Алексей СМЫШЛЯЕВ

Дизайн и верстка:

Елена АХМАДЕЕВА

Компания «Диполь»

Санкт-Петербург

(812) 702 12 66

Москва

(495) 645 20 02

Нижний Новгород

(831) 464 97 27

Екатеринбург

(343) 227 12 66

Прага

+420 2 5573 9633

expert@dipaul.ru

www.dipaul.ru



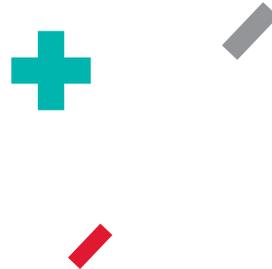
АСУП на «Орбите»

**Контроль процесса производства кабельных сборок
с помощью автоматизированной системы
«Орбита: Управление производством»**





Алексей Gladkih, руководитель проектов направления «Решения для производства кабельных сборок и жгутов»
GladkihAA@dipaul.ru



Сейчас, когда высокотехнологичные производственные площадки мирового рынка диктуют свои правила игры, предприятия Российской Федерации особенно нуждаются в повышении своих показателей и всестороннем развитии.

В настоящее время основными показателями эффективности производственных процессов на предприятии являются:

- максимальная загрузка мощностей;
- высокий уровень ритмичности и синхронизации производства;
- рациональное использование материальных ресурсов;
- эффективное использование основных фондов, оборотных средств и капиталовложений;
- высокое качество продукции.

В журнале «Эксперт+» мы не раз утверждали, что удовлетворение повышенных требований к качеству, бесперебойность сложных производственных процессов, всесторонняя увязка и синхронизация операций достигаются использованием на предприятии комплексных систем оперативного управления производственным процессом, позволяющих решать задачи эффективной организации работы всех подразделений, участков, цеха и производственной площадки в целом.

В данном случае мы говорим о производственной площадке по изготовлению кабельной продукции. Этот тип производства разнообразен и, кроме производственного процесса, связан с процессами МТО, сервисного обслуживания производства, планирования и управления ресурсами, взаимодействием участников, конструкторских и технологических разработок.

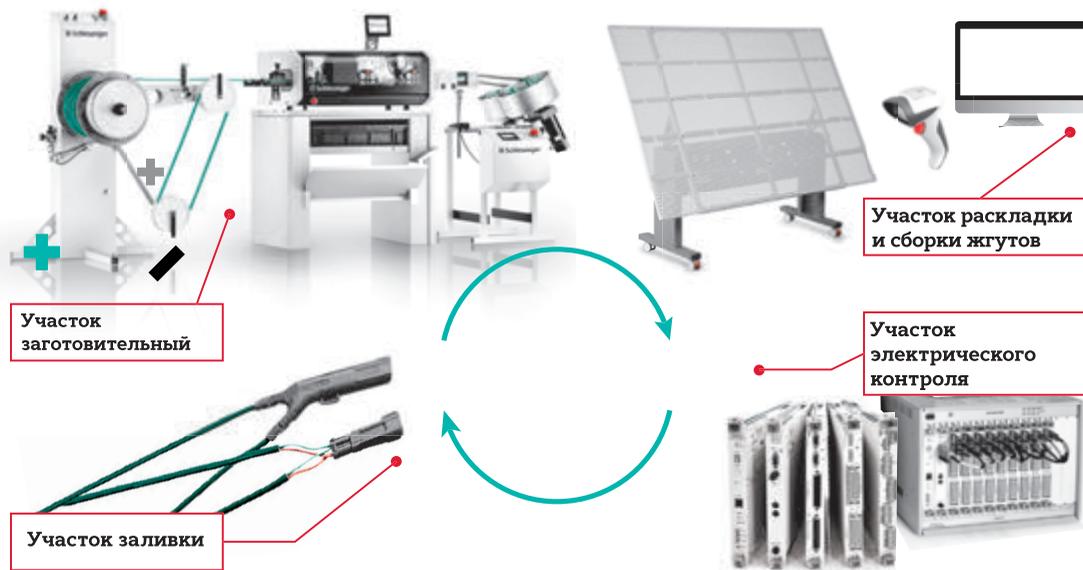


Рис. 1. Единый автоматизированный комплекс

На предприятиях чаще всего проводится точечная автоматизация, которая решает только локальные задачи и не удовлетворяет реальные потребности производственной площадки в целом. Нужно признать, что автоматизация процесса на сегодня является частностью и не применяется повсеместно.

АО «НПО ИТ» (г. Королев) — ведущее предприятие по производству телеметрической и датчиковой аппаратуры, микроэлектроники для ракетно-космической техники — создало на своей производственной площадке цех по отработке перспективных технологий и изготовлению мелкосерийных партий кабельной продукции, в котором предусмотрены два сборочно-монтажных участка, участок мерной резки проводов, участок заливки разъемов, складские помещения и помещения хранения оснастки, отдел ОТК и др.

На данном предприятии (как и на большинстве других) ранее был организован технологический процесс по изготовлению кабельной продукции, но он являлся устаревшим, так как в процессе производства почти не использовались автоматические машины, автоматизированные системы типа САПР, АСУ АСУТП и объединение систем и машин в так называемый единый кросс-платформный комплекс. На подобных предприятиях чаще всего проводится точечная автоматизация, которая решает только локальные задачи и не удовлетворяет реальные потребности производственной площадки в целом. Нужно признать, что автоматизация процесса на сегодня является частностью и не применяется повсеместно.

Учитывая сказанное, специалисты «НПО ИТ» запланировали автоматизировать не только основные участки кабельного цеха, хотя это является основополагающей задачей в комплексной автоматизации, но и производственный цех в целом, используя на этапах разработки и производства систему автоматизированного проектирования, подготовки производства, систему управления,

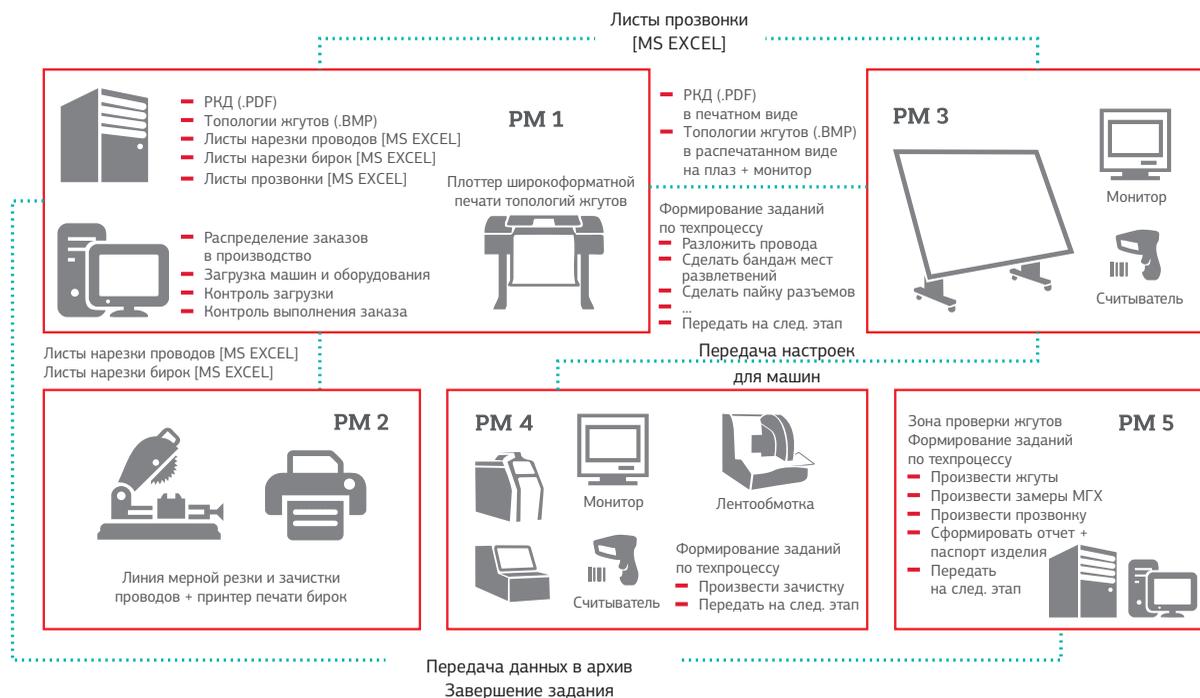


Рис. 2. Единый кросс-платформный комплекс

планирования на уровне производства и цеха. При этом предполагалось придерживаться идеи единого информационного комплекса, позволяющего консолидировать данные об изделии в общем информационном и машинном пространстве. Реализация этого подхода позволила бы решить задачи синхронизации, координации, анализа и оптимизации выпускаемой продукции.

Для решения вышеперечисленных задач компания «НПО ИТ» обратилась к специалистам «Диполя», которые предложили комплексное решение, позволяющее автоматизировать необходимый единый информационный комплекс на базе АСУП «Орбита: Управление производством» (рис. 3).

«Орбита» автоматизирует процессы в части управления заказами на изготовление продукции, технической подготовки и планирования производства, материально-технического снабжения; также она тесно интегрирована с автоматическим оборудованием и автоматизированными системами более высокого уровня. АСУП базируется на международной методологии планирования производственных ресурсов с учетом специфики планирования и управления на предприятиях РФ и позволяет формировать всю необходимую техническую документацию согласно ГОСТ и ОСТ, начиная от техпроцесса и заканчивая паспортом изделия.

На основе этого решения возможно создание в кабельном цеху информационного и машинного комплекса, связывающего технологическое оборудование в едином кроссплатформном пространстве, повышающем уровень оперативного планирования и управляемость производственного процесса, сохранность и актуальность документов.

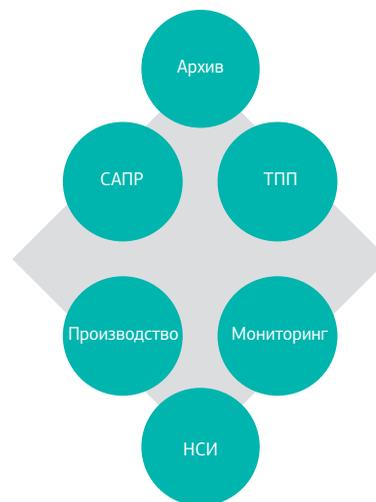


Рис. 3. Функциональные блоки платформы «Орбита: Управление производством»

«Орбита» обеспечивает решение следующих задач:

- эффективное управление производством на уровне цеха;
- прозрачность деятельности сотрудников;
- оптимизация техпроцессов;
- поддержка системы контроля;
- накопление информации, управление данными;
- обеспечение безопасности;
- формализация деятельности каждого сотрудника;
- контроль ключевых показателей эффективности;
- минимизация бумажного документооборота.

С помощью системы «Орбита: Управление производством» автоматизируются следующие процессы:

- контроль состояния и распределения ресурсов;
- оперативное детальное планирование и контроль реальных сроков выпуска;
- расчет единого оперативного плана;
- выдача и контроль исполнения заданий;
- управление персоналом;
- управление производственными фондами;
- сбор и хранение данных;

- производственный документооборот;
- отслеживание истории изделия;
- управление процессами, нормативно-справочной информацией и т.д.

«Орбита: Управление производством» состоит из базового модуля, графического редактора, приложения «Управление-планирование», а также специализированных модулей «Раскладка», «Участок прозвонки», «Участок нарезки» и «Склад». Рассмотрим их функциональные возможности подробнее.

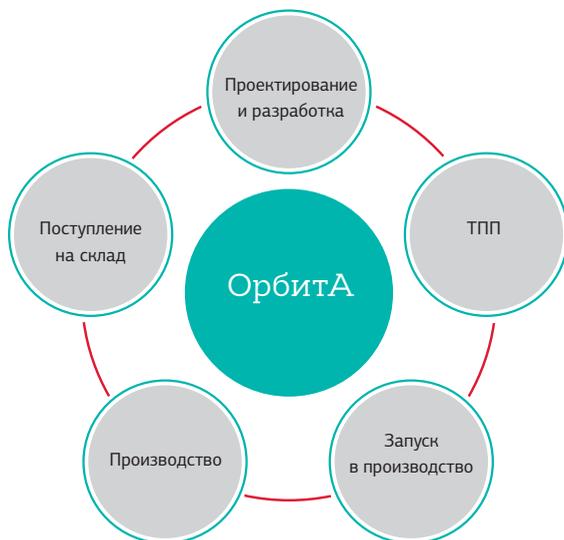


Рис. 4. Этапы разработки и производства кабельной сборки

Базовый модуль включает:

- готовые справочники (изделия, сотрудники, участки, рабочие места, оборудование, инструмент, операции);
- формирование техпроцессов на изготовление изделий;
- возможность формирования заказов в производство;
- возможность передачи заданий на рабочие места;
- возможность передачи установок оборудования;
- возможность задания и контроля нормативной и фактической трудоемкости изготовления;
- возможность печати карточек доступа;
- возможность формирования электронного паспорта изделия;
- возможность контроля доступа сотрудников к рабочим местам.

Графический редактор (САПР) осуществляет формирование:

- топологии жгута;
- листов нарезки;
- таблицы соединений;
- базы данных материалов и комплектующих (провода, соединители)
- базы данных изделий.

Приложение «Управление-планирование» позволяет контролировать движение заказа на всех этапах изготовления и осуществляет:

- формирование диаграммы Ганта;
- формирование диаграммы заказов в производстве;
- оценку загрузки производства;
- планирование загрузки производства.

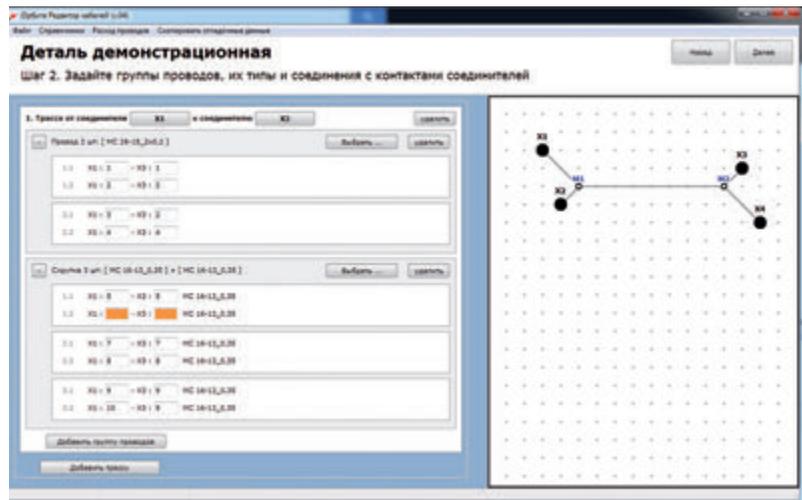


Рис. 5. Графический редактор. Создание эскиза кабельной сборки

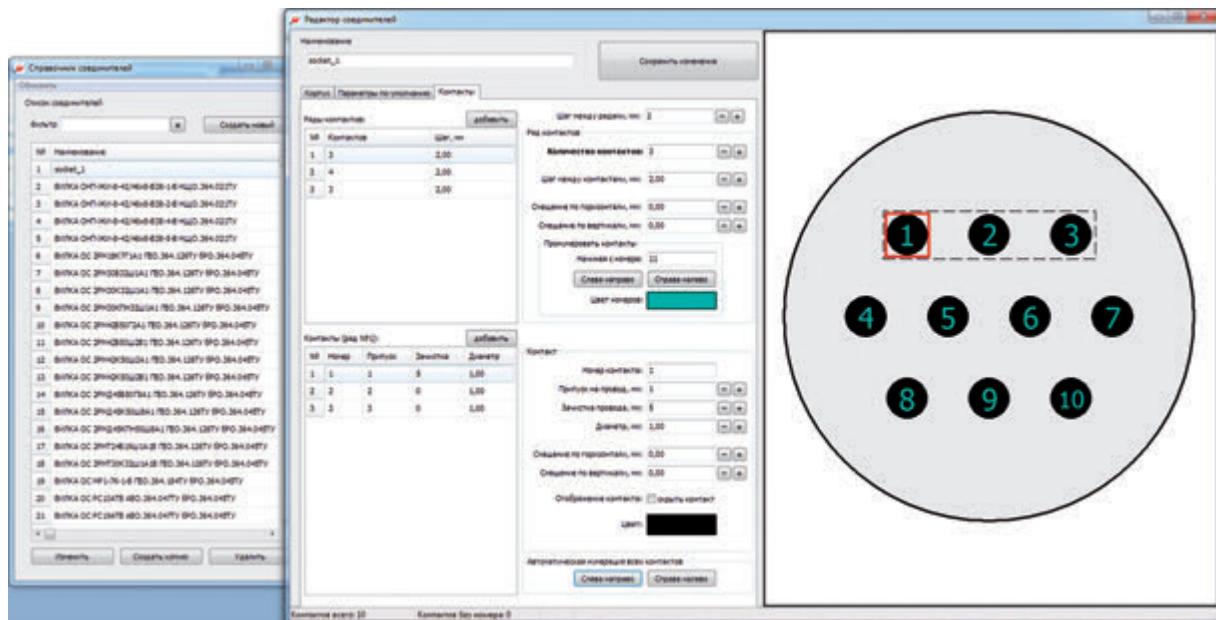


Рис. 6. Графический редактор. Создание соединителя в электронном виде

«Раскладка» — специализированный модуль, включающий следующий индивидуальный функционал:

- загрузка на экран топологии жгута;
- добавление элементов на топологию (схемы распайки, информация о соединителях);
- подсветка пути прокладки провода в жгуте;
- вывод на экран адресации.

«Участок прозвонки» — специализированный модуль, включающий следующие возможности:

- автоматическая передача таблиц соединений;
- контроль доступа оператора на участке;
- контроль загрузки оборудования в процессе работы;
- формирование протоколов тестирования изделий.

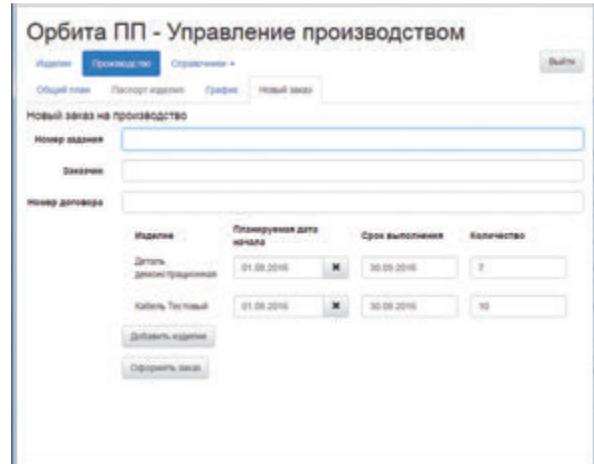


Рис. 7. Запуск изделия в производство

«Участок нарезки» — специализированный модуль, включающий следующий функционал:

- автоматическая передача листов нарезки проводов;
- контроль доступа оператора на участке;
- контроль загрузки оборудования в процессе работы.

«Склад» — специализированный модуль, позволяющий в реальном времени вести контроль движения материала и включающий следующие возможности:

- формирование базы данных материалов и комплектов;
- ведение остатков;
- выведение технологической маркировки;
- контроль движения материалов;
- печать технологических бирок.

АСУП «Орбита: Управление производством» состоит из нескольких базовых специализированных автоматизированных рабочих мест (АРМ), обеспечивающих следующий функционал:

- АРМ Перемотки:
 - ведение справочника катушек;
 - работа с изделием;
 - управление работой с изделием.

- АРМ Нарезки:
 - управление данными о материалах;
 - работа с изделием;
 - управление работой с изделием;
 - работа с КД и ТД;
 - работа с управляющей программой оператора.
- АРМ Сборщика:
 - загрузка на экран топологии жгута;
 - подсветка пути прокладки провода в жгуте;
 - вывод на экран адресации;
 - работа с изделием;
 - управление работой с изделием.
- АРМ Монтажника:
 - загрузка на экран топологии жгута;
 - подсветка пути прокладки провода в жгуте;
 - вывод на экран адресации;
 - работа с изделием;
 - управление работой с изделием.
- АРМ Лентообмотка и оплетение:
 - работа с изделием;
 - управление работой с изделием.



Рис. 8. Визуализация раскладки кабельной сборки



- АРМ Начальника производства:
 - работа с изделием;
 - управление работой с изделием;
 - планирование на смену, день, неделю;
 - редактирование данных;
 - управление и формирование отчетов и протоколов.
- АРМ Технолога:
 - создание техпроцесса;
 - редактирование техпроцесса;
 - создание типовых техпроцессов.
- АРМ Конструктора:
 - работа с графическим редактором;
 - создание и формирование топологии жгута;
 - создание и формирование листов нарезки;
 - создание и формирование таблиц соединений;
 - создание и формирование таблиц маркировки.
- АРМ Администратора:
 - работа с базами;
 - редактирование и контроль справочников;
 - создание и ведение справочников;
 - контроль прав доступа;
 - выдача и организация ролей.

- АРМ Распайки:
 - загрузка на экран топологии жгута;
 - добавление элементов на топологию (схемы распайки, информация о соединителях);
 - работа с изделием;
 - управление работой с изделием.
- АРМ Тестирования:
 - автоматическая передача таблиц соединений;
 - контроль доступа оператора на участке;
 - контроль загрузки оборудования в процессе работы;
 - формирование протоколов тестирования изделий.
- АРМ Мастера:
 - контроль и подготовка рабочих мест;
 - работа с изделием;
 - оперативное управление работой с изделием;
 - редактирование данных.

Внедрение на АО «НПО ИТ» системы «Орбита: Управление производством» позволит осуществить следующие процедуры:

- моделирование технологических процессов;
- моделирование кабельных сборок и соединителей;
- помощь при раскладке жгута в виде визуализации топологии кабельной сборки на рабочем месте сборки и монтажа;
- планирование загрузки производства;
- контроль и управление состоянием заказа;
- контроль доступа к оборудованию и к специализированным АРМ;
- автоматическая подгрузка программ для оборудования (листы нарезки проводов, листы прозвонки, таблицы соединений, таблицы маркировки);
- формирование электронного паспорта изделия и разного рода отчетной документации;
- формирование пакета технической документации согласно ГОСТ, ОСТ.

АСУП «Орбита» обеспечивает общеорганизационные изменения в ведении бизнеса предприятия, позволяет внедрить прогрессивные методы планирования и контроля хода производственного процесса, свести брак производства к минимуму, оптимизировать производство, понизить конечную себестоимость готовой продукции. 

Отвечая на НОВЫЕ ВЫЗОВЫ

Поверка и калибровка приборов в XXI веке: интересы промышленности

Эта статья возвращает заинтересованных читателей к дискуссиям о содержании и применении поверки и калибровки средств измерений, которые разгорались на страницах специальной литературы еще с начала 90-х годов прошлого столетия. Новые подходы являются реакцией на технологические вызовы, связанные с совершенствованием внутренней и внешней среды деятельности предприятий, эффективным управлением ресурсами. Приоритетными являются вопросы развития калибровки для обеспечения качества и конкурентоспособности продукции, возможности выведения ее на международные рынки.



Анатолий Кривов,
заместитель директора
АО «НПФ «Диполь»,
доктор технических наук,
профессор, заслуженный метролог РФ
ask@dipaul.ru



Калибровка средств измерений — это совокупность операций, выполняемых с целью определения действительных значений метрологических характеристик.



Федеральный закон «Об обеспечении единства измерений» 102-ФЗ

В практике прикладной метрологии всегда преобладала контрольная функция, обеспечивающая сведения о пригодности применяемых приборов. Поэтому приоритет поверки приборов в перечне метрологических задач не подвергался сомнению. С конца прошлого столетия развитие информационных технологий привело к скачкообразному и непредсказуемому в будущем росту количества и точности измерений во всех объектах техногенной и природной среды. Возникла объективная потребность в знании того, насколько средство измерений гарантирует их точность в конкретный момент и в конкретном месте. В результате активно развивается деятельность по калибровке средств измерений с оценкой точности ее результатов. В отличие от поверки

средства измерения, под которой традиционно понимается подтверждение того, что прибор полностью удовлетворяет установленным требованиям по величине погрешности, калибровка предполагает выполнение нескольких более сложных процедур. В соответствии с международным словарем [1], калибровка средства измерения — двухэтапная процедура, в ходе которой на первом этапе устанавливается соотношение между значениями величин с неопределенностями измерений, которые обеспечивают эталоны, и соответствующими показаниями с присущими им неопределенностями, а на втором этапе — устанавливается соотношение, позволяющее применять результат измерения, исходя из показания. В этом определении присутствует новое понятие «неопределенности измерений», которое, в свою очередь, является порождением современного этапа прикладной метрологии. Оно введено, чтобы учитывать все меняющиеся в пространстве и во времени факторы, которые могут повлиять на результат измерения величины.



В отечественной практике, как в сфере государственного регулирования, так и при технологических измерениях, принято считать, что измерениям следует доверять, если применяются поверенные приборы. В 2011 г. МОЗМ, МБМВ, ИСО и ИЛАК приняли Совместную декларацию, содержащую новый критерий признания измерений [2]. Теперь международным критерием признания результатов измерений является так называемая «метрологическая прослеживаемость» измерений, когда

применяемый прибор откалиброван непосредственно по национальному эталону или через иерархию калиброванных эталонов, а точность («неопределенность») измерений вобрала в себя «неопределенности» калибровки на всех уровнях иерархии. Таким образом, независимо от традиций отечественной прикладной метрологии, на мировых рынках продукции с недавнего времени действует новое условие признания результатов измерений, основанное на применении

калиброванных приборов. Приоритетным требованием промышленности к прикладной метрологии является совместимость результатов измерений в рамках производственной кооперации, сопоставимость измерений с партнерами по бизнесу и доверие заказчиков продукции. Это не оставляет места для сомнений в перспективах развития калибровочной деятельности в ближайшем будущем.

История калибровочной деятельности в нашей стране насчитывает чуть более двух десятилетий. В настоящее время мы имеем несколько определений калибровки, отличных от применяемых за рубежом. Наиболее часто применяется определение из Федерального закона «Об обеспечении единства измерений» [3]: «Совокупность операций, выполняемых в целях определения действительных значений метрологических характеристик средств измерений». Позже в словаре для метрологов стран СНГ появилось определение калибровки как совокупности операций, устанавливающих соотношение между значением величины, полученным с помощью калибруемого прибора, и значением величины, определенным с помощью эталона, с целью определения метрологических характеристик этого средства измерений [4]. Отечественное метрологическое законодательство, нормативное и методическое обеспечение, практика калибровочных работ не в полной мере соответствуют содержанию международных документов, а внедрение новых требо-

ваний к калибровке в отечественную практику носит несистемный характер. Среди актуальных направлений прикладной метрологии, развитие которых тормозится отсутствием единого и гармонизированного с международной практикой подхода к калибровке, особого внимания заслуживают:

- внедрение современных методов управления (менеджмента) измерений на предприятиях промышленности по показателям точности [5];
- обеспечение компетентности испытательных и калибровочных лабораторий по ИСО 17025 [6];
- проверка квалификации лабораторий путем межлабораторных сличительных испытаний [7];
- признание результатов измерений в рамках совместных научных и технологических проектов, кооперации технологических процессов.

МОЗМ — Международная организация законодательной метрологии. МБМВ — Международное бюро мер и весов. ИСО — Международная организация по стандартизации. ИЛАК — Международная организация по аккредитации лабораторий.

Актуальность развития калибровки в соответствии с принятым в мировой практике подходом не подвергается сомнениям в экспертном сообществе и представителями федеральных органов исполнительной власти. Однако реальный рост калибровочных работ не наблюдается, а количество аккредитованных калибровочных лабораторий снижается. Серьезным препятствием является отсутствие единого понимания содержания, места и роли калибровки во всей совокупности задач по обес-



Калибровка — это операция, в ходе которой при заданных условиях на первом этапе устанавливают соотношение между значениями величин с неопределенностями измерений, которые обеспечивают эталоны, и соответствующими показаниями с присущими им неопределенностями, а на втором этапе на основе этой информации устанавливают соотношение, позволяющее получить результат измерения исходя из показания.



Международный словарь по метрологии VIM 3

печению единства измерений, которое должно быть реализовано в виде стандартов требований к процедуре калибровки средств измерений и эталонов, оценки компетентности и организации работы калибровочных лабораторий. В большинстве случаев применения средств измерений необходимо не только решать задачу прослеживаемости измерений (через полученные калибровочные характеристики), но и оценивать соответствие погрешности приборов установленным нормативным требованиям и требованиям документации (обеспечивается поверкой). Разделение этих задач и отдельная организация калибровочных и поверочных работ связаны с существенными финансовыми и трудовыми затратами. При этом зарубежный опыт показывает, что эти две задачи можно совместить.

В зарубежных странах требования к процедурам калибровки ориентированы на общепринятое определение калибровки [1] и требования ИСО 17025 [6], но реализация этих требований существенно различается в разных странах. Наиболее интересными для нас в калибровочной практике за рубежом являются различные варианты включения в процедуры калибровки приборов

операций по оценке их соответствия спецификациям приборов или другим обязательным требованиям. Этот интерес связан с тем, что такой подход демонстрирует возможность обеспечить метрологическую прослеживаемость и подтверждение соответствия приборов в рамках единой формы регулирования — калибровки средств измерений. Для метролога промышленного предприятия не существует принципиальной разницы, как называется процедура подтверждения соответствия средства измерений — поверка или калибровка. Важно, чтобы выполнялись условия необходимые для успешного ведения бизнеса. Во-первых, это должна быть процедура, которая признается отечественными и зарубежными партнерами по бизнесу и заказчиками продукции; во-вторых, на выполнение процедуры оценки характеристик и подтверждения соответствия приборов предприятие должно один раз получать подтверждение компетентности (аккредитацию). Немаловажно также, чтобы по результатам оценки были доступны данные, необходимые для оценки неопределенности измерений в испытательных лабораториях по ГОСТ ИСО 17025 как количественного по-

казателя компетентности. Необходимо иметь оценки неопределенности измерений для проведения сличительных испытаний калибровочных и других лабораторий по ГОСТ 17043. Очевидно, что для этих условий предпочтение целесообразно отдать калибровке средств измерений, одной из процедур которой сделать подтверждение соответствия обязательным требованиям.

Рассмотрим вариант решения такой задачи на примере стандарта ANSI/NCSL Z540.3 [8] — основного стандарта требований к калибровке измерительного и испытательного оборудования в США, разработанного на основе ИСО 17025. Как и в стандарте ИСО 17025, в американском стандарте полагается, что применяемое средство измерения должно быть не только калибровано, но и, когда это требуется, проверено на соответствие нормативным требованиям и документации. В первую очередь — на отклонение от показаний эталона, т. е. погрешность прибора не должна превышать установленную в документах величину. Стандарт ANSI/NCSL Z540.3 не только предусматривает возможность процедуры подтверждения соответствия прибора при его калибровке, но и устанавливает требо-

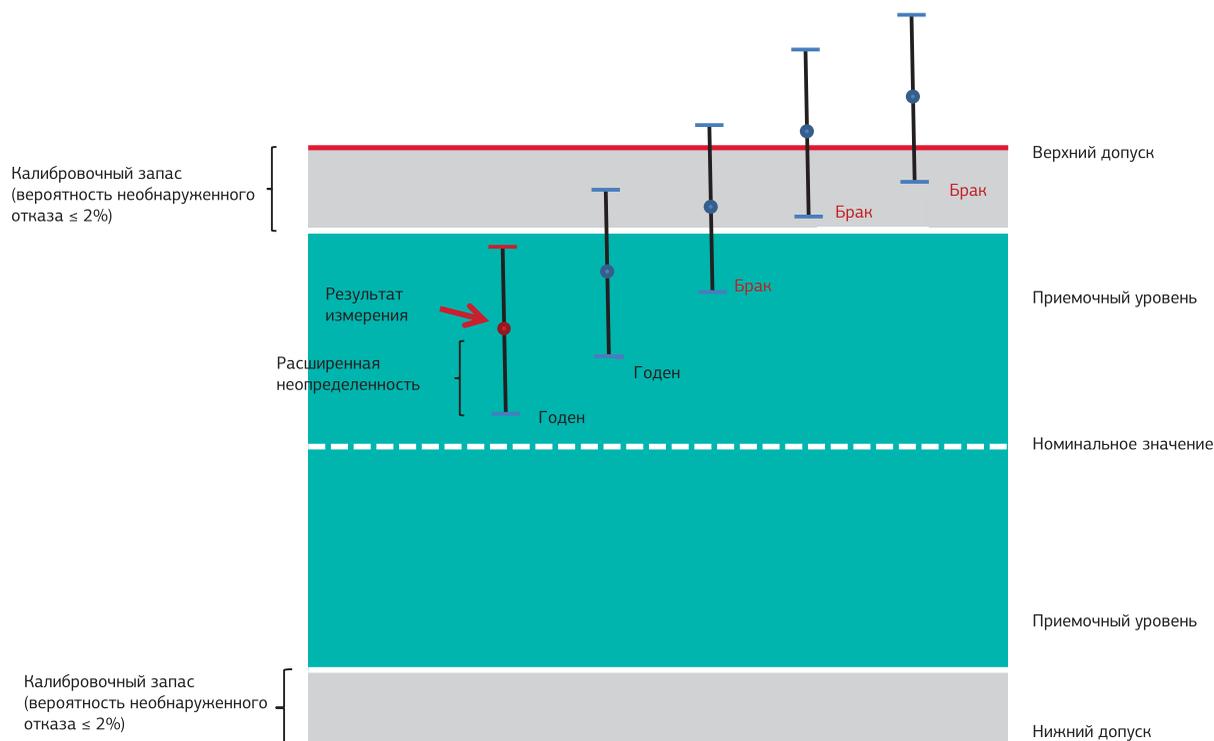


Рис. 1. Принятие решения о пригодности прибора по результатам калибровки по ANSI/NCCL Z540.3

вания к ее достоверности. Этот подход иллюстрирует рис. 1, взятый из материалов фирмы Keysight Technologies. На нем совместно представлены величины допускаемой погрешности, расширенной неопределенности измерений при калибровке и различные ситуации соотношения величин. Отношение диапазона допускаемой погрешности калибруемого прибора к удвоенному значению расширенной неопределенности результатов его калибровки в соответствии со стандартом должно быть не менее, чем 4:1. Для распространенного случая независимых нормальных распределений случайных величин это требование соответствует вероятности признания годным неисправного прибора (ошибка первого рода) не более 2%. Практически во всех сертификатах калибровки приборов, выпускаемых американскими фирмами в различных странах, указывается величина неопределенности калибровки

и соответствие (или несоответствие) требованиям к погрешности, установленным в его документации.

Аналогичный подход к подтверждению соответствия приборов в процессе их калибровки применяется в других зарубежных странах. Так, например, германский документ DAKKS-DKD-5 [9] также предусматривает возможность проверки соответствия приборов требованиям спецификаций. При этом устанавливается требование к достоверности такой проверки в другом виде. Вывод о соответствии метрологическим спецификациям может быть сделан только в случае, если погрешность не превышает установленного предела, уменьшенного на величину расширенной неопределенности измерений при калибровке (рис. 2).

Приведенные примеры демонстрируют возможность различных вариантов содержания процедуры калибровки

средств измерений: от простой проверки пригодности имеющейся калибровки прибора без оформления сертификата до построения новой калибровочной зависимости с оценкой неопределенности измерений и проверкой (подтверждением) соответствия прибора спецификациям изготовителя или обязательным требованиям. Основным признаком, отличающим калибровку от поверки средства измерений, в последнем случае является определение соотношения между показаниями прибора и эталона (т. е. калибровочной характеристики) с учетом их неопределенностей. Благодаря этому обеспечивается выполнение условия метрологической прослеживаемости по ФЗ № 102 [3], которое является, в свою очередь, условием международного признания результатов измерений [4]. Включение операций по подтверждению соответствия приборов позволяет калибровкой заменить широко распространенную

в нашей стране процедуру поверки средства измерений. Хотя эта замена сопряжена с существенным усложнением процедуры, предусматривающей оценку неопределенности измерений и ее учет при проверке погрешности прибора.

В значительной степени проблема сложной обработки результатов измерений решается путем применения автоматизированной калибровки средств измерений. Большинство зарубежных и отечественных приборостроительных компаний поставляет программное обеспечение (ПО) калибровки приборов. Уровень автоматизации ограничивается возможностью ввода показаний калибруемых приборов и совместимостью применяемых эталонов с ПО. Для электро- и радиоизмерительных приборов проблемы автоматизации калибровки не существует. В отношении других групп приборов активно ведутся разработки и уже имеются интересные технические решения.

Калибровка — это совокупность операций, устанавливающих соотношение между значением величины, полученным с помощью данного средства измерений, и соответствующим значением величины, определенным с помощью эталона с целью определения метрологических характеристик этого средства измерений.

Рекомендации по межгосударственной стандартизации «ГСИ. Метрология. Основные термины и определения» РМГ 29-2013

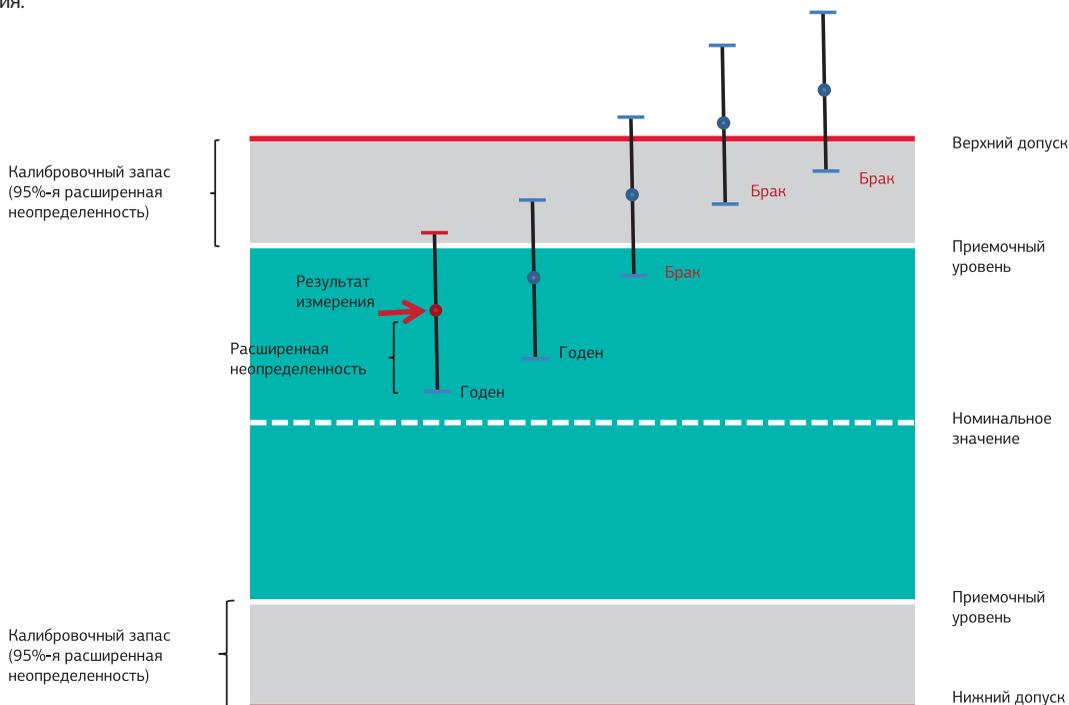


Рис. 2. Принятие решения о пригодности прибора по результатам калибровки по DAkkS-DKD-5

Основными препятствиями на пути развития калибровки являются ограничения нормативно-правового регулирования метрологической деятельности и человеческий фактор. Современное отечественное законодательство устанавливает поверку в качестве единственной формы периодического подтверждения состояния средств измерений в сфере государственного регулирования, которая является беспрецедентно широкой. Большое число групп приборов подвергается обязательной поверке, в то время как за рубежом они калибруются. Кроме того, законодательство допускает использование поверки в любых других сферах экономики. Естественно, это обстоятельство не стимулирует развитие калибровки, оставляя ее на усмотрение отдельных предпри-

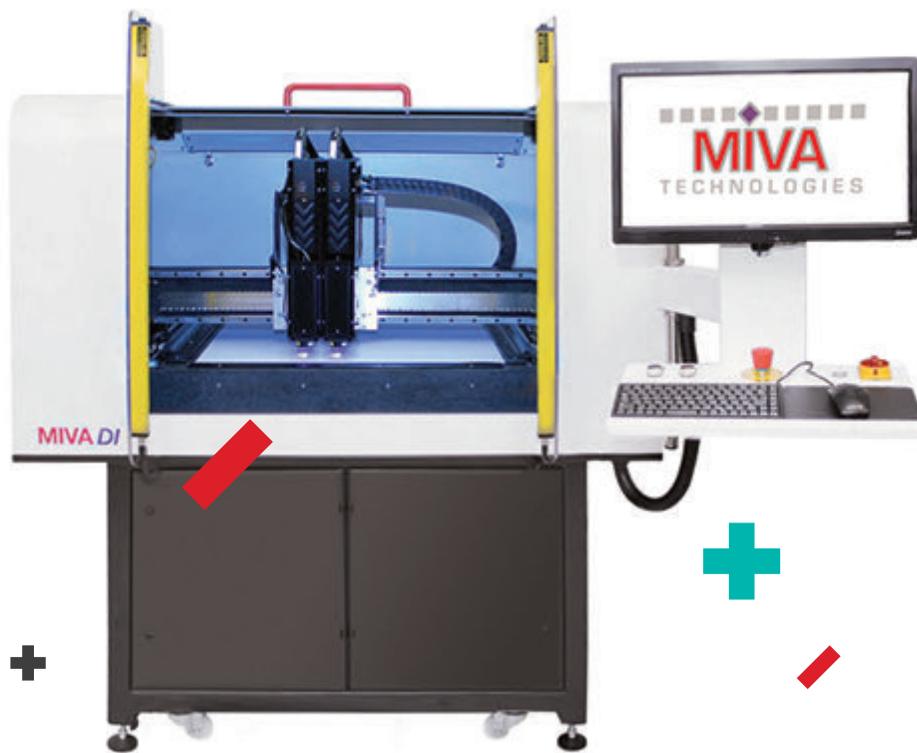
ятий, заинтересованных в выводе своей продукции на мировые рынки, без поддержки государственных структур. Вывод о возможности замены поверки средств измерений калибровкой не следует трактовать как рекомендацию такой замены во всех областях экономики. Она может оказаться необоснованной для ряда областей деятельности, в том числе в сфере государственного регулирования, вследствие невостребованности построения калибровочных характеристик, а также по организационным или экономическим причинам.

Развитие калибровки средств измерений невозможно без разъяснения преимуществ калибровки практикующим специалистам — приверженцам традиционной поверки. Консервативное отношение метрологов к новаци-

ям, связанным с усложнением процедур, усугубляется недостаточным методическим обеспечением калибровки, отсутствием государственной поддержки и единой методологии. Переход к широкому применению неопределенности измерений и калибровки приборов для стран Центральной и Восточной Европы в условиях существенной централизованной поддержки продолжался несколько лет. Следует надеяться, что объективные потребности развития отечественной экономики станут решающим фактором и стимулом развития калибровочной деятельности, несмотря на объективные и субъективные трудности, ограничения действующего нормативного и правового регулирования. 

Литература

1. Международный словарь по метрологии: основные и общие понятия и соответствующие термины: пер. с англ. и фр. / Всерос. науч.-исслед. ин-т метрологии им. Д. И. Менделеева, Белорус. гос. ин-т метрологии. Изд. 2-е, испр. СПб.: НПО «Профессионал», 2010.
2. Совместная декларация BIPM, OIML, ILAC и ISO по метрологической прослеживаемости. 9 ноября 2011.
3. Федеральный закон № 102-ФЗ от 26.06.2008 г. «Об обеспечении единства измерений».
4. РМГ 29-2013 «ГСИ. Метрология. Основные термины и определения».
5. ГОСТ Р ИСО 10012 «Системы менеджмента измерений. Требования к процессам измерений и измерительному оборудованию».
6. ГОСТ ИСО 17025 «Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий».
7. ГОСТ ИСО 17043 «Оценка соответствия. Общие требования к проверкам квалификации».
8. ANSI/NCSL Z540.3-2006 (R2013) American National Standard for Calibration — Requirements for the Calibration of Measuring and Test Equipment.
9. DAKKS-DKD-5 Anleitung zum Erstellen eines Kalibrierscheines. Neuauflage 2010.



Новое поколение установок безмасковой литографии и прямого экспонирования Miva – 2030X/2060X

- Производство фотошаблонов и прямое экспонирование: разрешение до 2 мкм
- Поштучная обработка или обработка партии пластин: поле 500×600 мм
- Два светодиода: возможность работы с фоторезистами и фотоэмульсией
- Высокая производительность: 10–30см²/мин (зависит от материалов)
- Камера высокого разрешения: режим совмещения и автофокус
- Гранитная плита в основании для защиты от вибраций
- Низкая цена и стоимость эксплуатации, отсутствие «проблем» лазерных генераторов

Инновационные решения для электронной промышленности

Санкт-Петербург / Москва / Нижний Новгород / Екатеринбург
www.dipaul.ru / info@dipaul.ru / тел. (812) 702-12-66

Свет отверждающий

Отверждение лаков под воздействием ультрафиолета: физика процесса

Около половины поступающих ко мне вопросов о влагозащите относятся именно к отверждению лаков под действием ультрафиолета. И очень часто, попросив пробник лака с чудесными свойствами, заказчики недоумевают, почему после облучения кварцевой лампой лак так и не полимеризовался. О химии этого процесса я довольно часто рассказываю на презентациях. А вот ее физику нам объясняют Пол Миллс (UV Robotics) и Джим Рэймонт (EIT Incorporated).



Тематика измерения параметров ультрафиолетового (УФ, UV) излучения и управления технологическими процессами близка всем участникам технологических процессов УФ-отверждения. Измерения в тесной связи с соответствующими теоретическими знаниями позволяют ответить на важнейшие вопросы, например: как узнать, правильно ли выполняется технологический процесс, как диагностировать и устранять недостатки качества отверждения, как наладить производственный процесс и выдерживать его в надлежащих пределах. На сегодняшний день эта проблематика достаточно хорошо изучена.

Однако задачи, стоящие перед разработчиками рецептур и поставщиками сырья, несколько различаются: им необходимо еще решить, как установить, оптимизировать и изложить технологические нормы УФ-отверждения для потребителей и как эти нормы могут быть выполнены и применены в реальных условиях.

Во многих случаях конечные потребители интересуются относительными измерениями (в частности, изменилась ли интенсивность УФ-излучения относительно вчерашнего дня и возможно ли осуществление производственного процесса), тогда как поставщикам зачастую требуется давать

измеренные значения параметров УФ-излучения в абсолютном выражении. Для конкретного продукта и способа применения это определенные условия и диапазоны параметров, от которых следует отталкиваться, чтобы достичь качественного отверждения. В отличие от изготовителей, которые могут обойтись формулировками, специфичными для их собственного производства, с поставщиками нужно говорить на более доступном языке, чтобы любой потребитель четко понимал указания и следовал им, а также общался со всеми участниками своей производственно-сбытовой цепочки.

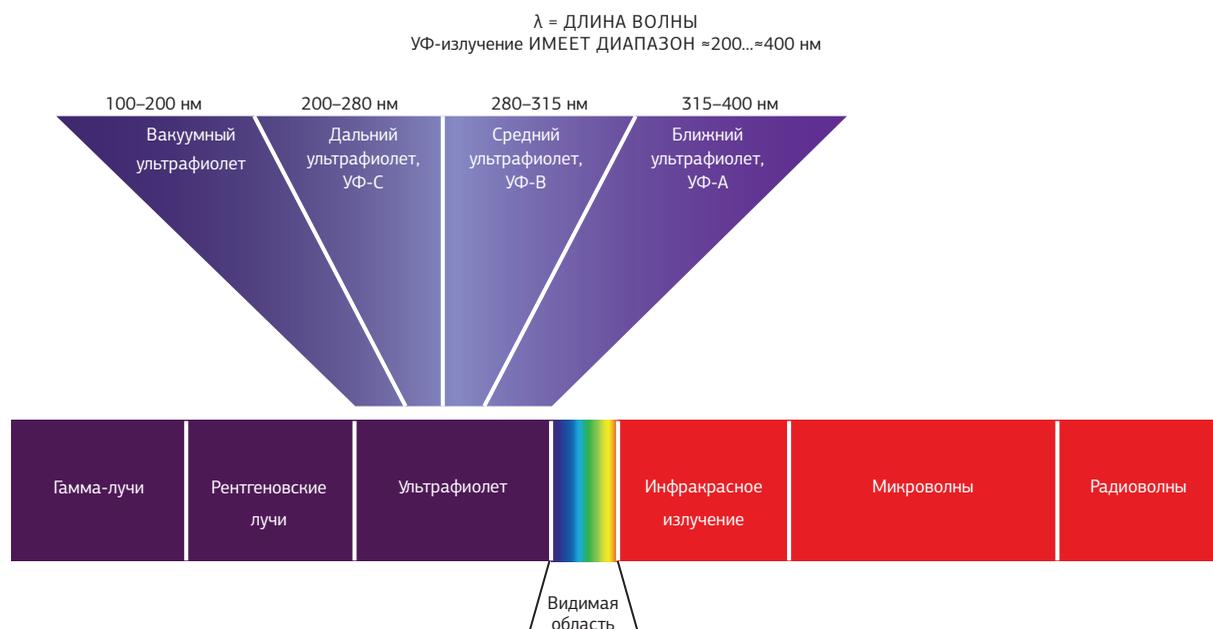


Рис. 1. Длина волны электромагнитного излучения

Таким образом, цель состоит в том, чтобы предоставлять четкую, осмысленную и полезную информацию. Нередко эта цель вступает в противоречие с задачей охраны интеллектуальной собственности на рецептуры. Мы надеемся, что разработчик рецептуры — возможно, на индивидуальной основе — сможет предоставить потребителям своего продукта сведения, необходимые для его успешного применения. Исходных данных, предоставляемых потребителю разработчиком рецептуры, должно быть достаточно для того, чтобы воспроизвести лабораторные условия отверждения

на предприятии потребителя. Но для этого обе стороны должны понимать, какая именно информация нужна для полного описания процесса и его повторения. При выполнении таких измерений полезно также знать о неочевидных факторах, способных внести искажения или ошибки в результаты, чтобы принять надлежащие меры.

Настоящая статья позволит хоть немного уменьшить информационный вакуум в области отверждения УФ-отверждаемых материалов. Рекламный слоган известного производителя мужской одежды некогда гласил: «Образованный потребитель — наш лучший

клиент». С точки зрения поставщика, чем ближе к идеалу, при котором вся производственно-сбытовая цепочка говорит на одном языке, тем меньше вероятность всяческих недоразумений. Для разработчика рецептур более четкое информирование потребителей может быть выгодно еще и тем, что он будет получать меньше неприятных звонков со словами: «Ваш продукт не отверждается».

Основные сведения об измерении параметров УФ-излучения

Начнем с рассмотрения трех основных измеряемых параметров УФ-излучения: длина волны, облученность и плотность энергии.

Длина волны

Излучение — это не что иное, как перенос (электромагнитной) энергии из одной точки пространства в другую. Источником видимого излучения может быть, например, электрическая лампочка, а источником инфракрасного излучения — жарочный шкаф. Ультрафиолетовое излучение вырабатывается специальными источниками. Это излучение характеризуется испусканием энергии электромагнитного поля в той части спектра, которая, как следует из названия, находится за пределами (от лат. *ultra* — «дальше») фиолетовой области. Фиолетовый свет, расположенный на краю видимо-

го спектра, имеет наименьшую длину волны — около 400 нанометров (нм). Ультрафиолетовая область спектра начинается там, где заканчивается фиолетовая, и занимает диапазон длин волн 10–400 нм. УФ-излучение с длинами волн приблизительно от 200 нм и ниже существует главным образом в вакууме и не имеет значимых промышленных применений. «Промышленным» УФ-диапазоном мы называем участок спектра электромагнитного излучения с длинами волн 200–400 нм. Ему не приписывают цветовые эпитеты вроде «зеленый» или «оранжевый», и отдельные его части часто обозначают буквами (УФ-А, УФ-В, УФ-С) в соответствии со стандартом ISO-DIS-21348. Спектральные пики в диапазонах, имеющих промышленные применения, иногда характеризуют соответствующими длинами волн в нанометрах. К распространенным УФ-

диапазомам относятся УФ-А, или UVA (400–315 нм); УФ-В, или UVB (315–280 нм); и УФ-С, или UVC, (280–200 нм).

УФ-излучение с длиной волны менее 200 нм иногда называют «вакуумное» (обозначается VUV, русский эквивалент отсутствует), а УФ-излучение на границе видимого диапазона иногда обозначают как УФ-V (UVV). Не следует путать эти два термина.

На практике спектральные пики излучения УФ-источников, особенно широкополосных ламп (например, ртутных ламп среднего давления) и ламп с добавлением солей железа и галлия, попадают в разные диапазоны из этого списка. На рис. 2 показан типичный спектр излучения УФ-ламп. Разработчики рецептур, как правило, выбирают такие источники, спектр излучения которых согласуется с характеристиками поглощения

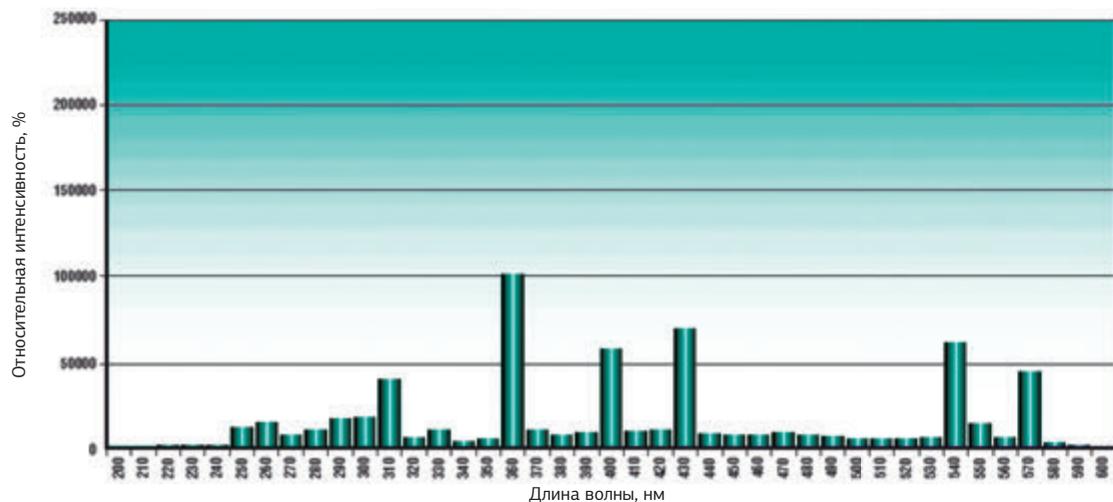


Рис. 2. Спектр излучения ртутной лампы среднего давления

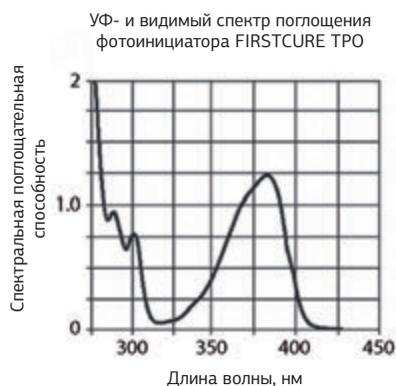


Рис. 3. Характеристика поглощения фотоинициатора, которую следует приводить в дополнение к спектру выходного излучения УФ-источника

всей светоотверждаемой композиции в УФ-диапазоне (фотоинициатор, сенсибилизаторы, стабилизатор и другие материалы). Собственные спектры поглощения этих материалов должны согласовываться со спектром излучения планируемого к использованию УФ-источника, чтобы вся система работала так, как задумано. То есть если использованный в рецептуре лака фотоинициатор поглощает излучение длиной волны 360–370 нм (рис. 3), то лампа, пригодная для отверждения данной рецептуры, должна как минимум иметь пик излучения при этой длине волны).

В идеале УФ-источник следует выбирать согласно указаниям разработчика рецептуры. На практике же разработчику часто приходится работать с конкретным источником, который потребитель уже имеет или планирует использовать с данной рецептурой.

Для измерения длин волн отдельных спектральных составляющих излучения УФ-источника в полосе порядка нескольких нанометров необходим сложный измерительный прибор, называемый спектрометром или спектральным радиометром. Благодаря своей способности измерять отдельные пики спектральные радиометры могут быть полезными при проведении НИОКР при создании оптических компонентов или новых типов ламп. Вместе с тем разработчикам рецептур и конечным потребителям хорошо известен спектр выходного излучения используемого УФ-источника. На производстве зачастую нецелесообразно выполнять детальные спектральные измерения с помощью спектрального радиометра. Более распространены, дешевы, практичны и удобны в использовании простые приборы, которые обеспечивают измерение параметров УФ-излучения в относительно широкой полосе длин волн.

Интенсивность УФ-излучения и облученность

Говоря простым языком, интенсивность — это количество энергии, испускаемой источником УФ-излучения. Представим себе УФ-источник как люстру. Чем правее мы поворачиваем ручку светорегулятора и, соответственно, чем большую электрическую мощность подводим к люстре, тем ярче она светится. Сходным образом можно увеличить «яркость» УФ-

источника, оперируя подобием «светорегулятора». Как и обыкновенные электрические лампочки, УФ-источники различаются по интенсивности излучения. Когда к УФ-источнику подводится большая мощность, он, как правило, ведет себя аналогично лампочке и вырабатывает более мощное УФ-излучение. Но удвоение мощности на входе не значит, что интенсивность

выходного УФ-излучения также удвоится. УФ-источники характеризуются разной потребляемой электрической мощностью. Лампа удельной мощностью 120 Вт/см потребляет мощность 120 Вт на каждый сантиметр длины. При одинаковой удельной мощности, равной 120 Вт/см, лампа длиной 25 см будет потреблять мощность 3000 Вт, а лампа длиной 50 см — 6000 Вт.



Рис. 4. Радиометр EIT UV Power Puck® II



Рис. 5. Зависимость облученности от времени, измеренная в печи DIMA UV-522. Диапазон УФ-А (EIT 320-390)

Приложенная мощность не является показателем: а) количества и типа вырабатываемого УФ-излучения; б) согласования спектрального состава излучения со свойствами конкретной рецептуры; в) количества УФ-излучения, падающего на поверхность отверждаемого материала. Последняя из этих величин называется облученностью (рис. 5). Облученность есть суммарное количество УФ-излучения, падающего на квадратный сантиметр площади поверхности со всех углов, и определяется обычно прямым измерением. С теоретической точки зрения всегда предпочтительно выполнять

измерение на поверхности отверждаемого материала. В лаборатории осуществить такое измерение обычно проще, чем на реальном технологическом оборудовании.

На практике термины «интенсивность» и «облученность» часто употребляют как синонимы, но с научной точки зрения облученность — это количество УФ-излучения, падающего на единицу площади (в данном случае квадратный сантиметр) конкретной поверхности (отверждаемого материала).

Важно правильно выбрать метод и место измерения облученности. Многие УФ-лампы оснащены рефлекторами для фокусировки или рассеяния энергии испускаемого ими УФ-излучения. Интенсивность выходного УФ-излучения лампы может зависеть от геометрических характеристик этих рефлекторов и от того, фокусируется или рассеивается энергия лампы; кроме того, она обычно значительно снижается на концах лампы с внешними электродами (electrode lamp). Если

взять стрелочный прибор для измерения интенсивности света и перемещать его в пространстве вокруг УФ-лампы, его стрелка будет двигаться по шкале синхронно с перемещением. Ввиду такой изменчивости наиболее информативным будет, вероятно, максимальное измеренное значение — величина под названием «пиковая облученность», несущая в себе некоторую осмысленную информацию, которую трудно выразить иным способом. Поэтому пиковая облученность, нормируемая обычно на заданном расстоянии от источника света, служит распространенной мерой интенсивности выходного излучения лампы.

Вернувшись к аналогии с люстрой, можно видеть, что пиковая интенсивность и облученность зависят от ряда параметров, таких как интенсивность выходного излучения лампы (положение ручки светорегулятора), расстояние до лампы и угол, под которым свет падает на чувствительный элемент прибора.

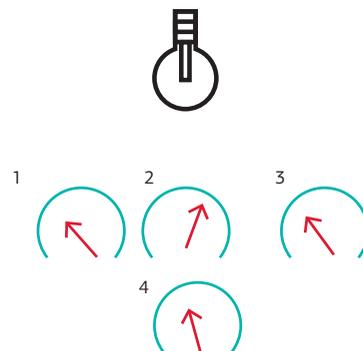


Рис. 6. Характер зависимости измеренного значения облученности от расстояния

На рис. 6 показан простой сценарий, в котором интенсивность выходного излучения лампы поддерживают на некотором постоянном уровне, а прибор перемещают из точки 1 в точку 2 и далее в точки 3 и 4. Показания прибора меняются соответствующим образом — растут с приближением к оси светового пучка и падают по мере движения к краям (а также с увеличением расстояния между точками 2 и 3). Известно, что с удалением от источника света измеренное значение облученности уменьшается. Облученность обратно пропорциональна квадрату расстояния, то есть если точку измерения расположить на вдвое

большем расстоянии, облученность уменьшится вчетверо (2×2 (4 в знаменателе)).

Измеренные значения облученности (в том числе пиковой облученности, которой оперируют чаще) выражают в ваттах или милливаттах на квадратный сантиметр ($\text{Вт}/\text{см}^2$, $\text{мВт}/\text{см}^2$). Типовые промышленные УФ-источники характеризуются значениями облученности в диапазоне УФ-А: менее чем от $100 \text{ мВт}/\text{см}^2$ более чем до $5000 \text{ мВт}/\text{см}^2$ ($5 \text{ Вт}/\text{см}^2$) — другими словами, разница между облученностью при использовании различных ламп может отличаться в 50 раз!

Облученность часто рассматривают как «силу воздействия» при УФ-отверждении. Надлежащая облученность (на соответствующей длине волны) обеспечивает необходимую энергию для проникновения излучения в толстые пленки покрытий и их отверждения на всю толщину. В некоторых применениях недостаточная облученность приводит к неполному отверждению, но во многих случаях оптимальный профиль отверждения определяется комбинацией облученности и плотности энергии.

Плотность энергии УФ-излучения

С помощью плотности энергии учитывается время воздействия УФ-излучения (рис. 7). Мощность в один ватт, действующая в течение одной секунды, сообщает энергию в один джоуль (Дж). Плотность энергии выражается в джоулях или миллиджоулях на квадратный сантиметр ($\text{Дж}/\text{см}^2$, $\text{мДж}/\text{см}^2$). В идеальных условиях отверждаемый материал подвергался бы действию УФ-излучения при постоянном уровне облученности (равномерном профиле экспозиции). Приблизительно равномерный профиль экспозиции имеет место, когда УФ-источник включен, изделие неподвижно, а заслонка, препятствующая попаданию УФ-излучения на поверхность изделия, открывается на заданное время. Плотность энергии можно определить приблизительно, если известна облученность и время экспозиции. Если на поверхность в течение 3 с воздействует УФ-источник с равномерным профилем экспозиции при пиковой облученности $750 \text{ мВт}/\text{см}^2$, результирующая плотность энергии излучения составит

$3 \times 750 \text{ мВт}/\text{см}^2 = 2250 \text{ мДж}/\text{см}^2$, или $2,25 \text{ Дж}/\text{см}^2$. В большинстве случаев на практике профиль экспозиции не равномерен: либо изделие перемещается под лампой, либо лампа — над изделием. В условиях меняющегося уровня облученности приходится измерять экспозицию радиометром и по

результатам измерений рассчитывать полную плотность энергии. Плотность энергии важна для полного отверждения материала, и именно ее разработчики рецептур чаще всего сообщали конечным потребителям. Но плотность энергии не всегда показывает всю картину.

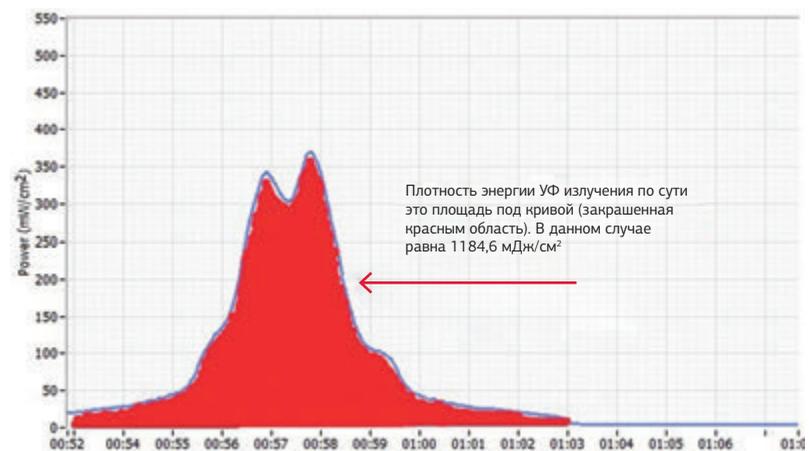


Рис. 7. Плотность энергии излучения (доза излучения). Измерения выполнены в печи DIMA UV-522. Диапазон УФ-А (EIT 320-390)

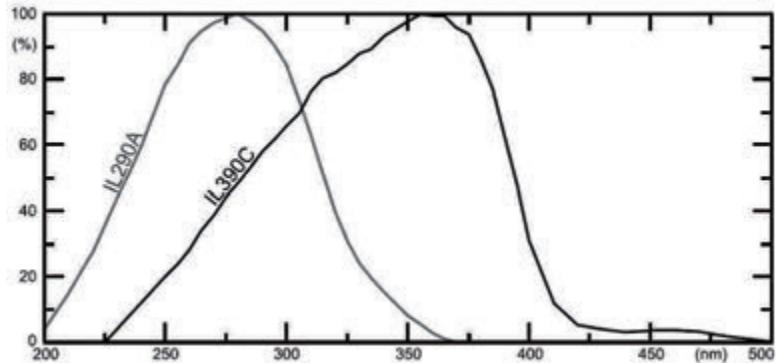


Рис. 8. АЧХ полосового фильтра однонаправленного широкополосного прибора

На практике вместо терминов «плотность энергии» или «плотность энергии излучения» часто употребляют слово «доза».

Примечание о слове «доза» (D): на практике вместо терминов «плотность энергии» или «плотность энергии излучения» часто употребляют слово «доза». В контексте УФ-отверждения более удачным термином является «плотность энергии», но следует иметь в виду, что потребители могут пользоваться и другим термином. Необходимо определиться, какой из терминов будет использовать ваша компания, и соблюдать единообразие в терминологии. В этой статье мы оперируем термином «плотность энергии».

Для того чтобы уяснить разницу между облученностью и плотностью энергии, а также роли этих величин в УФ-отверждении, рассмотрим пример с приготовлением воздушной кукурузы в СВЧ-печи. Инструкция на нашем пакете с кукурузой марки Orville Reddenbacher® рекомендует выдерживать продукт в СВЧ-печи в течение трех минут при высокой мощности. Если мы установим самую низкую мощность, когда будет готова

кукуруза? Может статься, что никогда. Почему? Для приготовления воздушной кукурузы необходимо, чтобы интенсивность воздействующего на нее СВЧ-излучения (то есть облученность) превышала определенный порог. То же самое справедливо при выпечке пирогов и жарке индейки на гриле. Вместе с тем, готовя индейку при температуре 800 вместо 190 °С, вряд ли удастся за короткое время получить хорошо прожаренное блюдо с золотистой корочкой. Поэтому повышать облученность также целесообразно лишь до некоторого предела. Как мы знаем из нашего опыта с воздушной кукурузной, критически важную роль в этом процессе играет время. Если выключить СВЧ-печь слишком рано, на дне пакета, скорее всего, останутся «невзорвавшиеся» кукурузные зерна. Хотя между облученностью и плотностью энергии существует прямая линейная зависимость, нельзя предполагать, что материал будет отверждаться пропорционально. Это может быть так в узком диапазоне технологических параметров, но далеко за его пределами картина окажется совершенно иной.

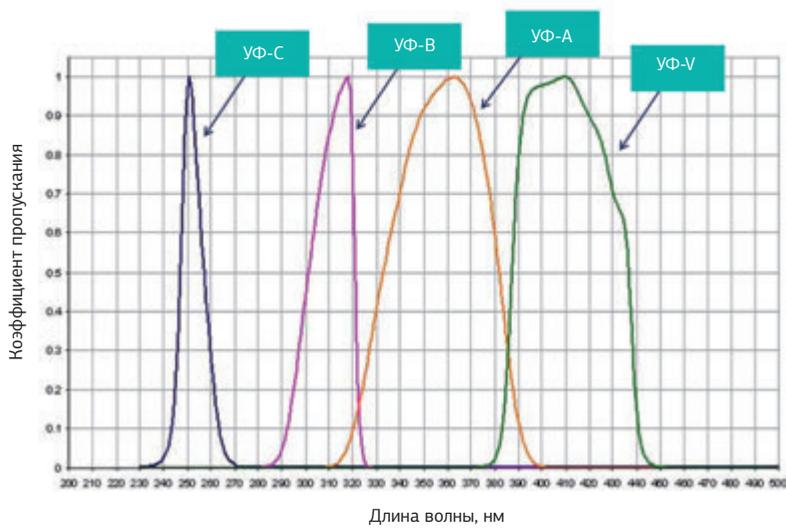


Рис. 9. АЧХ полосового фильтра четырехканального радиометра

Мы определили, какая энергия в джоулях требуется, чтобы отвердить УФ-излучением композицию с конкретной рецептурой, нанесенную слоем данной толщины в условиях лаборатории. Если мы возьмем второй такой же образец и оставим его на солнце так, чтобы получить эквивалентную экспозицию в джоулях, то, скорее всего, свойства образца, оставленного на солнце, будут отличаться, поскольку его УФ-облученность была гораздо ниже.

Таким образом, поскольку длина волны определяется типом выбранной лампы (и ее обычно не нужно измерять), оптимальная пиковая облученность ($\text{Вт}/\text{см}^2$) и плотность энергии ($\text{Дж}/\text{см}^2$) — это два важнейших параметра, необходимых для получения идеально приготовленного ультрафиолетового «блюда». Вместе с тем есть ряд факторов, которые могут повлиять на результаты измерения параметров УФ-излучения и внести в них погрешности.

Измерение УФ-облученности: знай свой прибор

Знание используемых измерительных приборов, их ограничений и правильной методики выполнения измерений поможет вам более адекватно интерпретировать показания приборов. Какие факторы могут ввести пользователя в заблуждение и внести погрешности в результаты измерений? Чем они обусловлены — ограничениями измерительных приборов, неправильным выполнением измерений, нереалистичными ожиданиями? Отчасти причина в ограничениях приборов, отчасти — в методике выполнения измерений, но, так или иначе, имея представление об этих факторах, можно избежать регистрации или записи в протоколе неверных или дезориентирующих данных.

Поскольку длина волны определяется типом выбранной лампы, оптимальная пиковая облученность ($\text{Вт}/\text{см}^2$) и плотность энергии ($\text{Дж}/\text{см}^2$) — это два важнейших параметра, необходимых для получения идеально приготовленного ультрафиолетового «блюда».

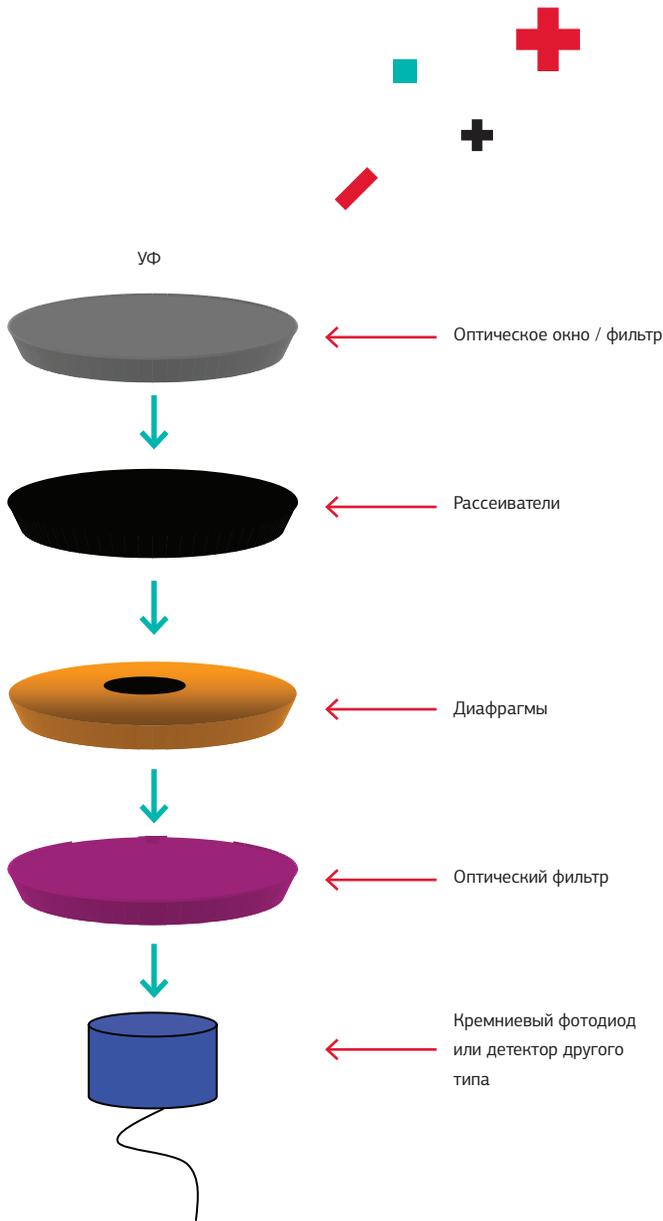


Рис. 10. Типовая схема оптической системы

Полосовая фильтрация и затухание

При разработке детекторных цепей в них часто встраивают полосовые фильтры, чтобы исключить помехи измерениям в конкретном диапазоне от посторонних сигналов и максимизировать чувствительность этих цепей. Распространенный в повседневной жизни пример использования полосовых фильтров — телефоны и другие звуковые устройства. Для наилучшего слухового восприятия телефоны проектируют так, чтобы они воспроизводили звук частотой от 200 до 20 000 колебаний в секунду (герц). Как это соотносится с ультрафиолетом? В широком спектре УФ-излучения удобно выделять диапазоны: УФ-А, УФ-В, УФ-С и УФ-V (на границе видимой части спектра). Такое деление позволяет выполнять более точные измерения в отдельных диапазонах. Проблема в том, что в каждом из «каналов» установлен полосовой фильтр, который может вносить затухание при измерениях на краях соответствующего диапазона. Отдельные фильтры хороши тем, что повышают чувствительность в пределах своего диапазона, но обратной стороной этого является невозможность держаться вдали от краев АЧХ фильтра.

На рис. 8 и 9 показаны примеры АЧХ действующих полосовых фильтров. Кривые на рис. 8 относятся к одноканальному широкополосному прибору, а на рис. 9 — к четырехканальному радиометру.

Проблемы, связанные с фильтрацией, вполне реальны. Например, появившиеся в последнее время узкополосные светодиодные УФ-источники, излучающие на одной длине волны в окрестности 395 нм, неидеально согласуются с некоторыми фильтрами старого образца, имеющими низкий коэффициент пропускания в той области, где находится максимум излучения светодиода. Сейчас разрабатываются новые фильтры, призванные улучшить эту ситуацию.

У изделий разных производителей могут быть неодинаковые полосы пропускания. Каждый производитель выбирает оптические фильтрующие элементы, исходя из конструктивных особенностей своего изделия (прибора). Для потребителя это означает, что показания радиометров разных марок могут систематически различаться даже при совершенно одинаковых условиях измерения. Так, в определенной модели радиометра фирмы EIT используется фильтр с полосой пропускания в диапазоне УФ-А 320–390 нм, а в радиометре другой марки установлен фильтр с широкой полосой пропускания 250–415 нм. Показания обоих приборов будут различными. Распространены незначительные вариации между моделями и даже между экземплярами одной модели,

поскольку производителям необходимо выдерживать баланс между характеристиками оптических элементов и стоимостью изделия. Изготовление оптических элементов стало гораздо более совершенным, но некоторый разброс в характеристиках отдельных оптических систем и партий до сих пор считается обычным делом. Попытка устранить этот разброс привела бы к существенному повышению стоимости приборов.

В большинстве радиометров используется фотодетектор (например, фотодиод), перед которым установлена оптическая система для сбора, фильтрации и рассеяния входящего излучения. Типовая схема такой оптической системы приведена на рис. 10. Используемые материалы и подходы зависят от производителя.

Погрешность косинусоидальности

В большинстве радиометров сделана попытка воспроизвести косинусоидальную характеристику. Почему? Считается, что УФ-отверждение покрытий подчиняется косинусоидальному закону и что УФ-излучение, падающее под углом 90°, имеет больший «отверждающий эффект», чем УФ-излучение с каким-то другим углом падения, например 45°. В теории «отверждающий эффект» уменьшается пропорционально косинусу угла падения. Например, как показано на рис. 11, при угле падения 45° показание составит 0,707 от максимального, что соответствует $\cos(45^\circ)$. Косинусоидальная характеристика — это идеальный случай, и при конструировании оптической системы радиометра стараются воспроизвести данную характеристику.

Второй тип погрешности связан с геометрическими характеристиками измерительной установки. Когда средство измерения расположено на оси светового пучка от источника света, его показания максимальны. На рис. 11 мы уже видели, что при удалении радиометра от оси светового пучка показания уменьшаются. На рис. 12 показаны примеры того, как показания прибора могут искажаться оптической системой. Нижняя кривая — это характеристика исходной конструкции оптической системы зондового прибора. Она существенно искажена относительно теоретически ожидаемой косинусоидальной характеристики (верхняя кривая). Средняя кривая — это характеристика пересмотренной конструкции оптической системы. Она гораздо лучше аппроксимирует косинусоидальную характеристику и позволяет получать

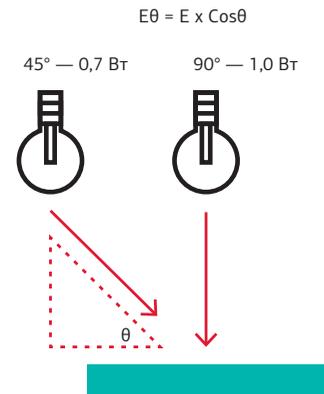


Рис. 11. Погрешность косинусоидальности при измерении

существенно более точные данные. Косинусоидальность характеристики важна в тех случаях, когда для профилирования лампы требуется выполнять измерения с отклонением от оси максимальной облученности. Разумеется, можно проверить косинусоидальность характеристики радиометра, располагая его под известными углами к оси светового пучка фиксированного источника и сравнивая результаты измерений с идеальной косинусоидой, но проще, вероятно, приобретать радиометры тех производителей, которые способны гарантировать качество оптической системы своих приборов.

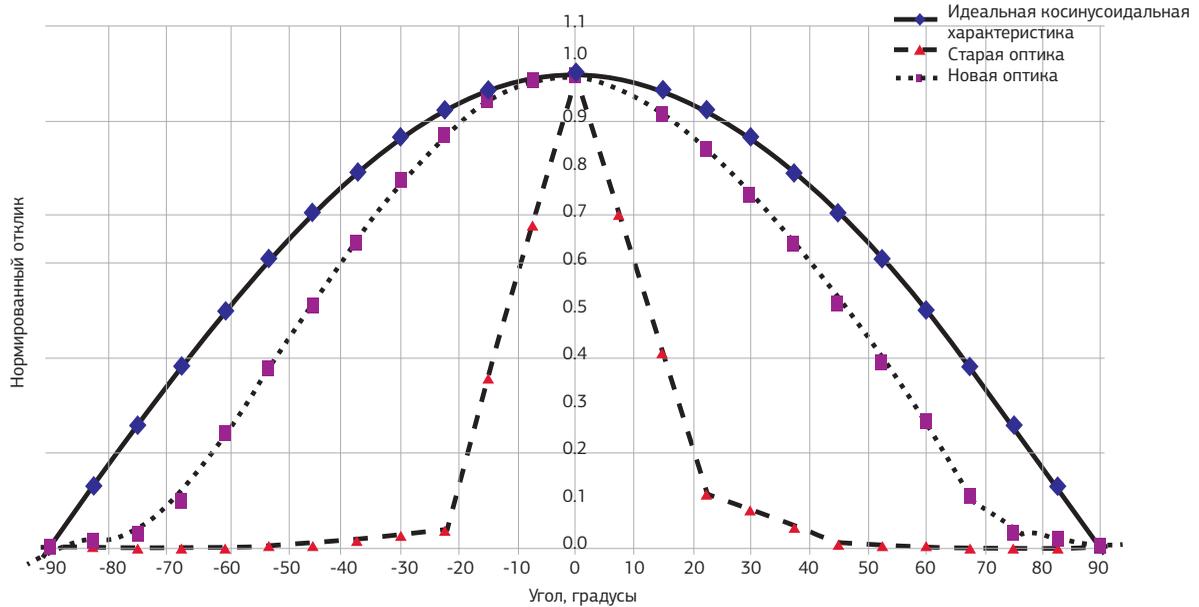


Рис. 12. Искажения косинусоидальной характеристики, вносимые оптической системой

Динамический диапазон и поляризация оптики

Взвешивание новорожденного ребенка на автомобильных весах не даст особо точного результата, поскольку эти весы рассчитаны на гораздо более массивные предметы. Точно так же и для фотометрических измерений необходимо выбрать радиометр, подходящий по диапазону измерения. Если использовать прибор, рассчитанный на мощное (высокоинтенсивное) излучение, с маломощным (низкоинтенсивным) источником, результат будет как в примере с автомобильными весами. Если использовать прибор, рассчитанный на маломощное излучение, с мощным источником, это, скорее всего, приведет к повреждению прибора.

В радиометрах применяются малогабаритные электронные детекторы, отвечающие непосредственно за измерение, и различные оптические элементы для формирования пучка входящего УФ-излучения с нужными характеристиками. Количество УФ-излучения, поступающего на детектор, должно быть сбалансированным — достаточно большим, чтобы выраба-

тывался надлежащий измерительный сигнал, но не чрезмерным, чтобы не вызывать поляризацию оптики. Свойства некоторых оптических элементов могут ухудшаться под продолжительным воздействием интенсивного УФ-излучения вследствие так называемой поляризации. Поляризация обычно выражается в снижении коэффициента пропускания оптического материала и негативно сказывается на точности измерений, с течением времени вызывая все большее ослабление проходящего УФ-излучения. Поляризацию можно свести к минимуму, выбрав качественные материалы, но во многих случаях она, к сожалению, неизбежна. С помощью периодической калибровки удастся компенсировать незначительные изменения, а в долгосрочной перспективе некоторые оптические элементы необходимо заменять.

Температура

Технологическое тепло — нежелательный, но зачастую неизбежный побочный продукт УФ-отверждения. Многие УФ-лампы излучают больше энергии в длинноволновом инфра-

красном и конвекционном диапазонах спектра, чем собственно в УФ-диапазоне.

Хотя УФ-радиометры и не регистрируют эту энергию, они подвергаются ее воздействию, что может вносить неочевидную погрешность в результаты измерения, особенно при длительной экспозиции очень мощными источниками. Следует уточнить у поставщика радиометра тепловые характеристики детектора, используемого в приборе. У многих детекторов с ростом температуры показания несколько уменьшаются.

Слишком высокая температура может даже стать причиной повреждения отдельных приборов; вообще говоря, если предмет на ощупь обжигающий, то температура слишком высока для измерения. В некоторых радиометрах есть удобный индикатор внутренней температуры, чьи показания можно регистрировать в лабораторном журнале, и встроенная сигнализация, срабатывающая, если внутренняя температура превышает максимальную рекомендуемую рабочую температуру (например, 65 °C).

Нормирование параметров УФ-отверждения

Одна из главных областей, в которых поставщикам важно применять правильные методики измерения, — нормирование параметров УФ-отверждения. Хотелось бы надеяться, что изложенные выше соображения внесли определенную ясность в вопрос о том, какими должны быть хорошие технологические нормы. Длина волны, облученность, плотность энергии —

все эти параметры важны для технологического процесса и должны быть отражены в правильно сформулированных технологических нормах.

Часто возникает потребность в защите интеллектуальной собственности, но технологические нормы отверждения следует рассматривать как инструмент информирования и отправную точку, исходя из которой ваши потребители смогут оптимизировать свой технологический процесс.

Недостаточно только описать УФ-источник, так как его выходное излучение может (и будет) меняться с течением времени, а кроме того, не все потребители выберут именно такой источник. Поэтому можно проводить испытания с использованием металлогалогенной лампы Fusion удельной мощностью 120 Вт/см или ртутной лампы с добавкой паров железа удельной мощностью 80 Вт/см, но это описание не заменяет надлежащих технологических норм.

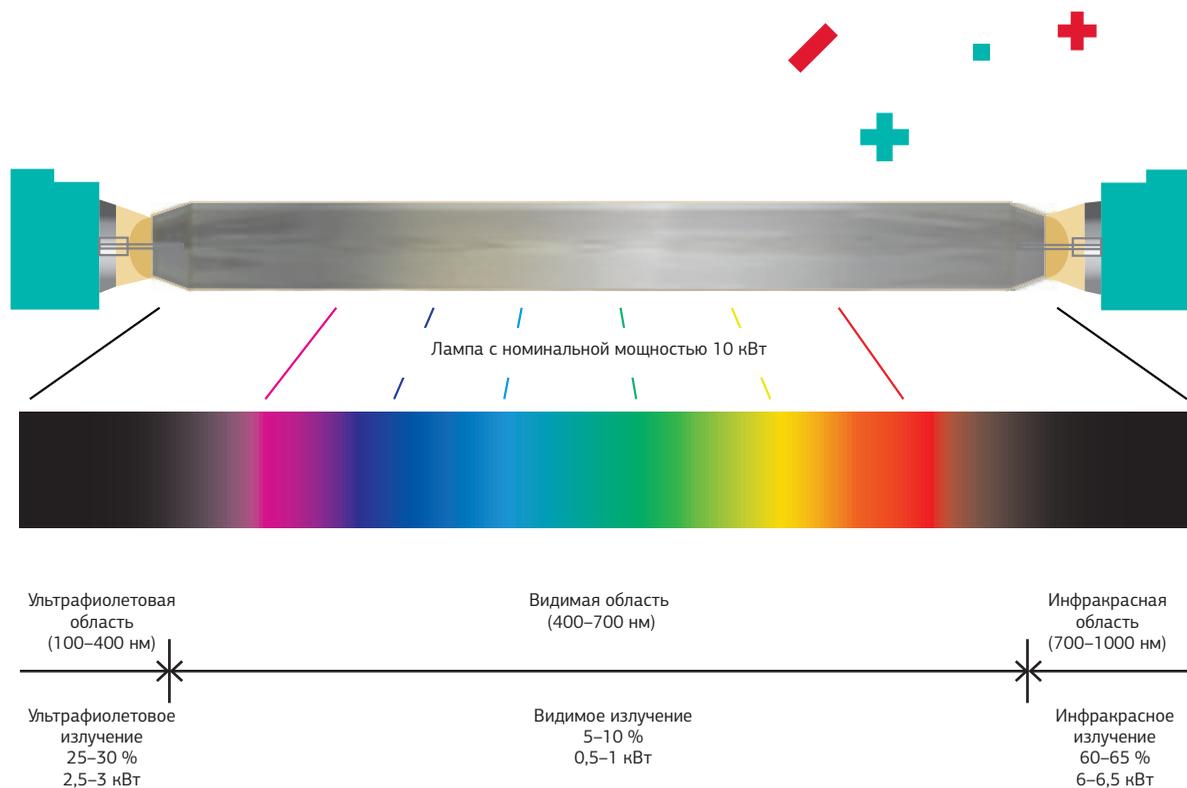


Рис. 13. Распределение мощности лампы по областям



Некоторые примеры технологических норм УФ-отверждения

Лампа Fusion 240 Вт/см — это плохое описание: здесь почти нет информации, пригодной для практического использования. 240 Вт/см — это мера потребляемой мощности лампы, которая не дает никакой информации о ее УФ-излучении. Какова длина волны? Какой тип лампы: ртутная (H), с добавкой паров галлия (V) или железа (D)? Какова плотность энергии?

Дуговая ртутная лампа 160 Вт/см, 5 с — это несколько лучше, но здесь по-прежнему больше информации об источнике, чем об УФ-излучении, воздействующем на изделие. Хотелось бы что-то знать об измеренном значении облученности или дозы.

600 мДж/см² — это еще лучше: теперь у нас есть какая-то информация об измеримых параметрах. Но значительная часть важных данных по-прежнему отсутствует: в частности, о какой длине волны идет речь?

600 мДж/см², УФ-А — хорошее описание, которого было бы достаточно, чтобы соблюсти технологические нормы, если бы только мы знали, какое средство измерения следует использовать.

600 мДж/см², УФ-А (EIT 320–390) — такой вариант лучше предыдущего: теперь нам известно, с помощью какого радиометра были получены данные.

300 мВт/см², 600 мДж/см², УФ-А (EIT320–390) — наилучший вариант. Здесь содержится вся информация, необходимая, чтобы обеспечить качественное отверждение и воспроизвести лабораторные условия измерения.

В некоторых технологических процессах нанесения покрытий требуется использовать две лампы для полного отверждения на поверхности и в толще покрытия. Это следует оговорить особо, приведя соответствующие данные и параметры отверждения. В любом случае, дополнительная информация — например, о типе УФ-лампы, толщине покрытия и параметрах его нанесения — прояснит ваш замысел для потребителей и даст им более четкие ориентиры, помогающие правильно наладить технологический процесс и выдерживать его в надлежащих

пределах. Такое информирование без утаивания подробностей поможет исключить в дальнейшем дорогостоящие ошибки с поиском ответственных.

Резюме

Потребители прибегают к измерению параметров УФ-излучения для мониторинга технологического процесса, а также для диагностики и устранения неполадок. Поставщикам, со своей стороны, часто требуется нормировать эти параметры. Как и с любыми нормами, четкое информирование — залог того, что получатель информации сможет в полной мере уяснить замысел поставщика. Для этого технологические нормы должны содержать основные элементы, необходимые для воспроизведения технологического процесса. 





**ТЕПЕРЬ
С НАПРЯЖЕНИЕМ**

36 В



Паяльник с регулировкой температуры Накко FX-600 (36 В)

Универсальный паяльник Hakko FX-600 с регулировкой температуры и напряжением питания 36 В. Диапазон рабочей температуры 200–500 °С.

Большой выбор наконечников, малый вес и габариты паяльника позволяют осуществлять пайку с различными видами компонентов.

Используется для проведения самых разнообразных паяльных работ, в т. ч. при пайке электронных деталей и микросхем.

Новый паяльник Hakko FX-600 (36 В) является полноценной заменой одноканальных паяльных станций.

- Универсальный уровень мощности (50 Вт).
- Процедура управления рабочей температурой паяльника осуществляется простым поворотом ручки (расположена на рукоятке).
- Имеется возможность фиксации температуры с помощью специального ключа.
- Индикатор состояния установки температуры.
- Надёжный керамический нагревательный элемент длительного срока службы.
- Тепловая защита предохраняет рукоятку инструмента от перегрева.
- Эргономичная и облегченная рукоятка из лёгкой пластмассы обеспечивает удобную работу.
- Стабильность температуры ± 1 °С.

Санкт-Петербург / Москва / Нижний Новгород / Екатеринбург
www.dipaul.ru / info@dipaul.ru / тел. (812) 702-12-66

✕ Новость

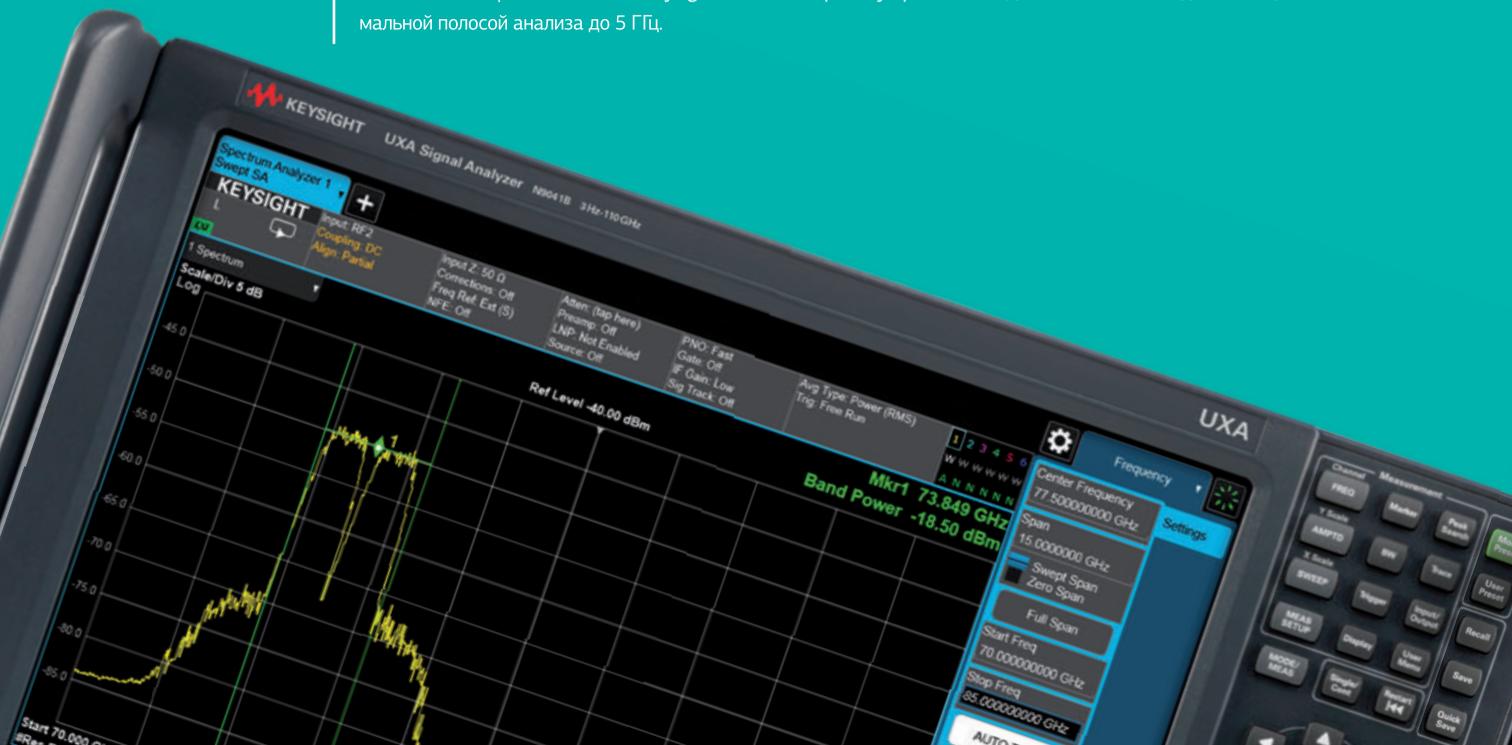


В уникальном диапазоне

Компания Keysight Technologies расширила возможности передовых средств проектирования, моделирования и измерения в миллиметровом диапазоне частот

Компания укрепила свое лидерство в области исследования сигналов миллиметрового диапазона, предложив спектральный анализ в режиме непрерывного свипирования на частотах до 110 ГГц.

На Европейской микроволновой неделе 2016 в Лондоне Keysight Technologies, Inc. объявила о революционном прорыве в области спектрального анализа и анализа сигналов миллиметрового диапазона. Анализатор сигналов N9041B UXA серии X компании Keysight является первым устройством с диапазоном частот до 110 ГГц и максимальной полосой анализа до 5 ГГц.



Ключевые нововведения:

- Самый широкий в отрасли охват непрерывного диапазона свипирования 3 Гц — 110 ГГц.
- Средний уровень собственных шумов — 150 дБм/Гц на частотах выше 50 ГГц.
- Первая в отрасли максимальная полоса анализа 5 ГГц.

Разработка серийных приборов для крайне высоких частот (КВЧ) требует применения богатого метрологического опыта компании Keysight и опыта работы с сигналами миллиметрового диапазона. Анализатор N9041B UXA демонстрирует уникальные возможности компании, обладая такими достоинствами, как улучшенный входной интерфейс, обеспечивающий эффективное смещение с малыми потерями, и средний уровень собственных шумов — 150 дБм/Гц при измерении сигналов с широкополосной модуляцией в миллиметровом диапазоне.

«Новый анализатор UXA наглядно демонстрирует лидирующее положение компании Keysight в производстве

приборов, необходимых для создания продукции для быстро развивающегося рынка коммуникационного оборудования, — отметил Майк Гаспарян (Mike Gasparian), президент группы коммуникационных решений компании Keysight. — Вместе с решением для ВЧ-тестирования 802.11ad анализатор UXA выводит приложения для миллиметрового диапазона, такие как 5G, 802.11ad и автомобильные радары, на новый уровень и является следующим шагом нашей программы, призванной перенести перспективные проекты устройств с частотами выше 50 ГГц в коммерчески эффективные приложения».

Проблемы проектирования систем со столь высокими рабочими частотами весьма серьезны, что повышает потребность в интегрированных инструментах для проектирования, моделирования, измерения и анализа. Программные решения для проектирования и моделирования компании Keysight используют эффективные технологии, ускоряющие разработку

устройств и систем следующего поколения. Эти инструменты применялись в процессе создания N9041B UXA и позволили с первого раза корректно спроектировать схемы миллиметрового диапазона. Кроме того, для измерения параметров проектируемых устройств инженеры компании Keysight использовали лучшие в отрасли измерительные приборы миллиметрового диапазона, включая анализаторы цепей, осциллографы, анализаторы спектра, генераторы сигналов и соответствующее прикладное ПО.

Актуальные области применения этих инструментов предусматривают разработку систем радиосвязи 5G, транспортных сетей миллиметрового диапазона, систем спутниковой связи, автомобильных радаров и систем радиоэлектронной борьбы. Новые приложения требуют создания устройств и систем, способных выполнять точные измерения параметров материалов для промышленных, фармацевтических и медицинских учреждений. 

Комментарий специалиста

Современные радиоэлектронные системы все активнее осваивают миллиметровый диапазон частот, в том числе информационные системы для увеличения емкости канала, микроволновые сканеры для получения изображений в системах безопасности. Нам приятно быть на волне этого процесса и являться премиальным поставщиком подобного уникального одноблочного решения для анализа сигналов.

Революционная разработка Keysight — востребованный на рынке анализатор спектра с диапазоном

частот до 110 ГГц (также доступно промежуточное решение до 90 ГГц). На сегодняшний день это единственное моноблочное решение в указанном частотном диапазоне. Благодаря отсутствию необходимости в подключении внешнего контрольно-измерительного оборудования, N9041B обеспечивает пользователю значительный выигрыш в энергозатратах. К числу уникальных особенностей данного анализатора следует отнести широчайшую полосу анализа 5 ГГц.



Никита Болдырев, руководитель направления радиоизмерительного оборудования компании «Диполь»
nb@dipaul.ru

«Диполь» попал в десятку



На Distribution Executive Partner Forum — ежегодной встрече ключевых партнеров компании Keysight, состоявшейся в феврале в Барселоне, — были подведены итоги 2016-го года и намечены стратегии дальнейшего развития. В ходе мероприятия прошла традиционная церемония награждения лучших дистрибьюторов.

Представитель России — компания «Диполь» вошла в десятку лучших дистрибьюторов региона EMEA (Европа, Ближний Восток, Африка, Индия).

Объем продаж за год, техническая компетентность дистрибьютора, оперативность исполнения заказов, соблюдение сроков поставки, качество сервисного обслуживания — оценка работы проводилась по этим основным параметрам. [↗](#)



Установка ультразвукового спрей-нанесения фоторезиста Eхаста Coat:

- Равномерное нанесение фоторезиста на подложки с рельефом и отверстиями
- Работа с подложками любых форм и размеров, рабочая область до 400×400 мм
- Возможность работы с партией подложек: 60×48 мм, 2", 3", 4", 6"
- Высокая эффективность использования фоторезиста, более 95%
- Различные по производительности варианты подачи фоторезиста
- Автоматическая очистка ультразвуковой головки

Отраслевой интегратор

Санкт-Петербург / Москва / Нижний Новгород / Екатеринбург
www.dipaul.ru / micro.dipaul.ru / micro@dipaul.ru / тел. (812) 702-12-66

Ультразвук вместо центрифуг

Уникальные возможности ультразвукового
нанесения фоторезиста



Сергей Леванов,
руководитель проектов
по микроэлектронике
s.levanov@dipaul.ru

Сегодня подавляющее большинство микроэлектронных производств, где выполняется нанесение фоторезиста на подложки, использует традиционный метод центрифугирования. Однако существует ряд операций, для которых применение центрифуги не гарантирует оптимальных результатов.

Например, в производстве МЭМС-устройств (микроэлектромеханические системы) подложки имеют развитый рельеф, или 3D-структуру. При нанесении фоторезиста на такие подложки центрифугированием слой получается неравномерным: у выступающих частей остаются более толстые затеки, а на углах прямоугольных структур слой, наоборот, очень тонок. Это происходит из-за того, что при центрифугировании фоторезист дозируется в центр подложки и под действием центробежной силы распределяется по поверхности к краям. Еще один пример — нанесение фоторезиста на подложки с отверстиями, когда после проведения данной процедуры на подложке отчетливо видны лучи так называемой тени, создаваемой за счет частичного попадания фоторезиста в отверстия.

Давайте рассмотрим существующие варианты решения подобных задач.

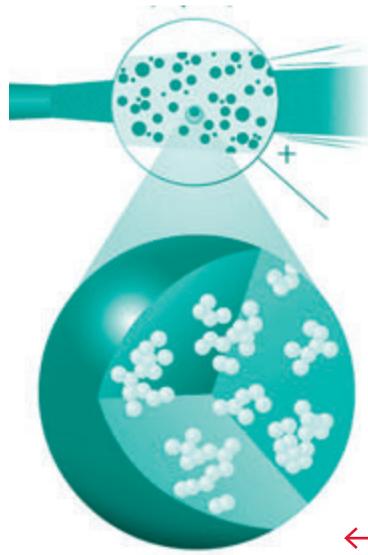
Установки Exacta Coat — бюджетные настольные системы ультразвукового спрей-нанесения, позволяющие наносить равномерный слой фоторезиста на поверхность любой формы.



Рис. 1. Система ультразвукового спрей-нанесения фоторезиста Exacta Coat

Первой попыткой нанести равномерный слой фоторезиста на рельефную подложку стал метод спрей-нанесения. Схема метода приведена на рис. 2.

Данная технология представляет собой адаптированный к фоторезисту вариант покрасочного пульверизатора. Смысл метода заключается в подаче фоторезиста в некую газовую среду для получения потока мелких капель. На практике поток фоторезиста подают в струю сжатого воздуха, а смесь выходит через форсунку. Эта технология частично решила проблему центробежных затеков, поскольку нанесение происходило сверху вниз.



Но все же один большой недостаток остался: из-за разного диаметра вылетающих из форсунки капель (рис. 2) слой получается неравномерным, что критично для дальнейших технологических операций экспонирования и травления. Чтобы избавиться от подобного эффекта, к стенкам канала форсунки направляют высокочастотные колебания, разбивающие проходящие капли на более мелкие одинакового диаметра (рис. 3). Подобный метод называется ультразвуковым спрей-нанесением.

Рис. 2. Схема метода спрей-нанесения: капли фоторезиста в потоке сжатого воздуха

В таком виде метод действительно обеспечил необходимое качество нанесения фоторезиста на рельефные структуры. Получив равномерный поток капель одинакового размера, разработчики создали несколько вариантов ультразвуковых головок, позволяющих решать узкие задачи. В частности, была разработана головка вихревого типа (рис. 4), идеально подходящая для изготовления МЭМС-устройств. Она имеет конусовидный факел распыления

диаметром до 70 мм и способна с высокой равномерностью покрывать рельефные структуры. На рис. 5 приведены изображения рельефной подложки с нанесением фоторезиста центрифугированием (а) и ультразвуковым спрей-нанесением (б). Видно, что слой, полученный ультразвуковым спрей-нанесением, равномерный и одинаковый по толщине на всех участках структуры.

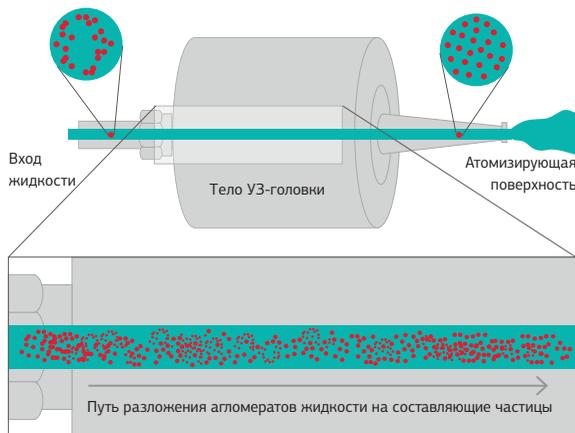


Рис. 3. Схема метода ультразвукового спрей-нанесения

Другой пример — узконаправленная головка, позволяющая покрывать структуры с высоким аспектным соотношением размеров (например, глубоких колодцев или сквозных отверстий). Она имеет факел диаметром всего 5–10 мм, но с ее помощью можно равномерно наносить фоторезист даже на стенки узких вертикальных структур (рис. 6).

Именно благодаря такой головке специалистам компании «Диполь» совместно с инженерами Sono-Tek удалось решить задачу для одного из наших заказчиков: подобрать фоторезист и технологический процесс для получения равномерного слоя позитивного фоторезиста на подложке со сквозными отверстиями. На рис. 7 и 8 приведены фотографии с микроскопа, демонстрирующие слой фоторезиста на внутренних стенках отверстий.

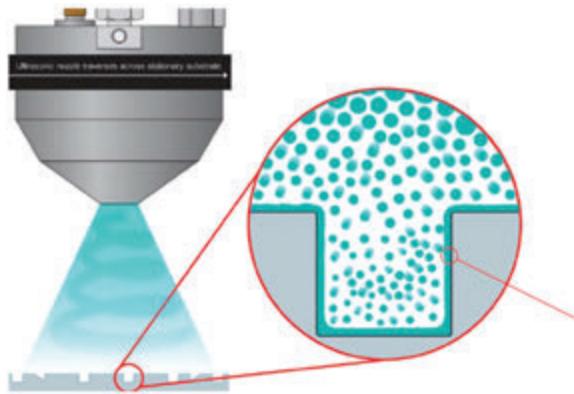


Рис. 4. Вихревая УЗ-головка

Также в ходе экспериментов мы выяснили, что для получения однородного слоя фоторезиста на рельефных структурах большое значение имеют свойства фоторезиста (особенно вязкость), скорость испарения используемого разбавителя и условия нанесения слоя (подогрев рабочей зоны, плазменная активация поверхности перед нанесением). Накопленный опыт и рабочие эксперименты с лабораторной установкой Sono-Tek Exacta Coat в демонстрационном зале компании «Диполь» позволяют нам подбирать решения для самых нетривиальных запросов заказчиков. 

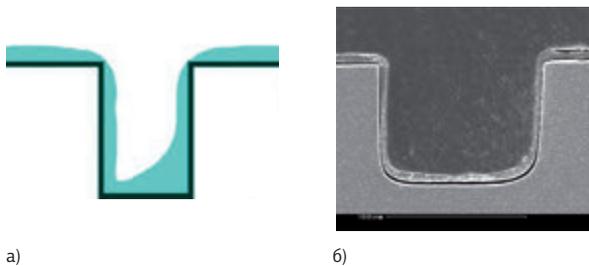


Рис. 5. Результат нанесения фоторезиста на подложку с рельефом: а) методом центрифугирования; б) методом ультразвукового спрей-нанесения

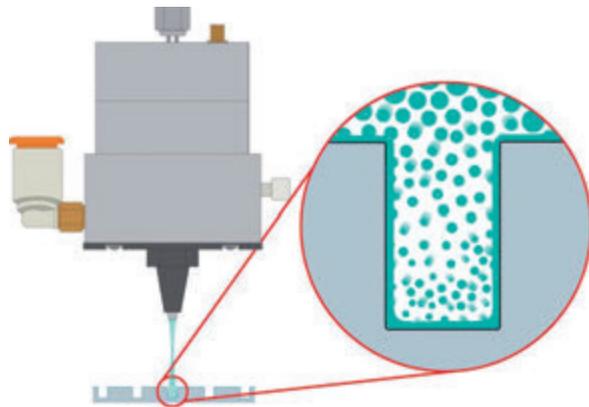


Рис. 6. Узконаправленная УЗ-головка



Рис. 7. Слой фоторезиста на внутренних стенках отверстия (диаметр отверстия 300 мкм)

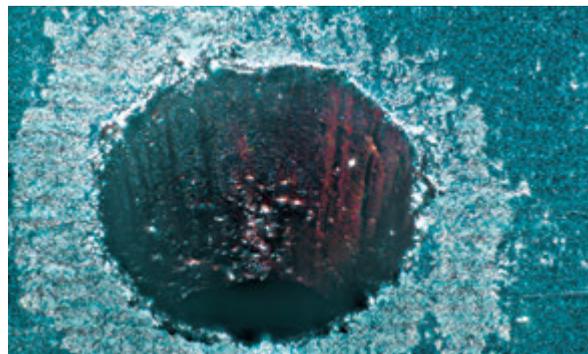


Рис. 8. Покрытая фоторезистом стенка отверстия

Апелляция к вибрации

Основы вибрационных испытаний и анализа конструкций

Проведение вибрационных испытаний и анализа конструкций способствует прогрессу во многих сферах, включая аэрокосмическую отрасль, автомобильную промышленность, деревообрабатывающую и целлюлозно-бумажную промышленность, энергетику, производство оборонной продукции, бытовой электроники и средств связи. Основная область применения методов и средств вибрационных испытаний и анализа конструкций — подавление нежелательной вибрации для повышения качества продукции.

Материалы компании Crystal Instruments
под редакцией руководителя проектов
испытательного оборудования
Олега Туркалова, turkalov@qipaul.ru
Перевод: Артем Вахитов



Олег Турналов,
руководитель проектов
испытательного оборудования

Наиболее распространенный математический метод переноса сигналов из временной области в частотную — преобразование Фурье (ПФ).

Статья знакомит читателя с проблематикой вибраций конструкций. В ней даются основные теоретические сведения и определения терминов, а также обсуждаются практические применения и приводятся реальные примеры. Рассматриваются следующие вопросы:

- основная терминология;
- модели с одной и несколькими степенями свободы;
- модели сплошных конструкций;
- методы и средства измерений;
- методы подавления вибрации;
- модальный анализ;
- анализ рабочих деформаций.

Основная терминология в области вибрации конструкций

Термином «вибрация» называют механические колебания конструкции, которые поддаются наблюдению и количественному описанию. Нежелательная вибрация может вызвать усталость конструкции или снижение ее эксплуатационных характеристик, поэтому желательно устранить вибрацию или ослабить ее последствия. Порой вибрация неизбежна или даже полезна — например, для изучения ее воздействий на конструкцию, управления, модификации характеристик или виброизоляции конструкции с целью минимизировать вибрационный отклик.

Предмет вибрационного анализа разделяется на ряд таких категорий, как свободная вибрация, вынужденная, синусоидальная и случайная, а также разбалансировка вращающихся частей.

Свободная вибрация — естественный отклик конструкции на некоторое ударное воздействие или перемещение. Отклик полностью определяется механическими характеристиками конструкции, по которым можно определить особенности ее вибрации. Например, гитарная струна после

возбуждения вибрирует на частоте ее настройки, издавая нужный звук. Частота этого звука, то есть высота тона, зависит от натяжения струны, но не от способа, которым она была возбуждена.

Вынужденная вибрация — это отклик конструкции на непрерывное воздействие вынуждающей силы, которая вызывает вибрацию на частоте возбуждения. Например, зеркало заднего вида автомобиля всегда вибрирует на частоте, связанной с частотой вращения вала двигателя. При вынужденной вибрации соотношение между уровнем вибрационного отклика и вынуждающей силой имеет детерминированный характер и определяется характеристиками конструкции.

Синусоидальная вибрация — это особая разновидность. Вибрация в конструкции возбуждается вынуждающей силой, представляющей собой чистый одночастотный тон. Синусоидальная вибрация нечасто встречается в природе, зато представляет собой замечательный инженерный инструмент, позволяющий изучать сложные вибрации путем их разбиения на простые однотональные составляющие. Движение любой точки конструкции можно описать синусоидальной функцией времени, как показано на рис. 1 (вверху).

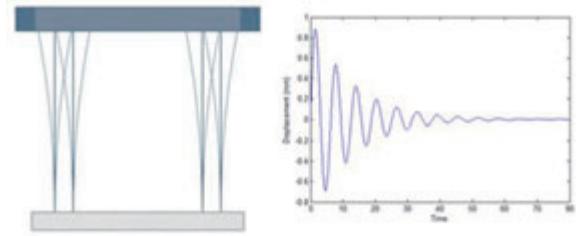
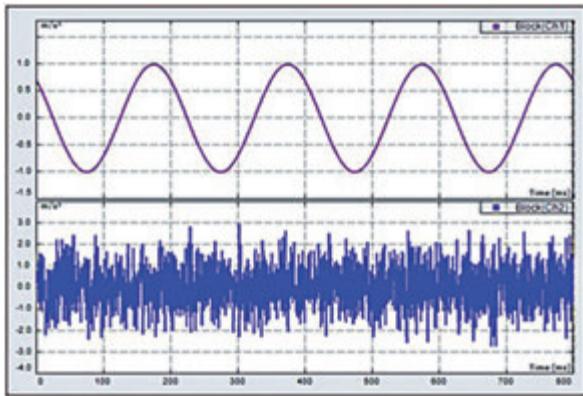


Рис. 2. Вибрационный отклик механической конструкции в зависимости от времени

Рис. 1. Осциллограммы синусоидальной (вверху) и случайной (внизу) вибрации

Случайная вибрация, напротив, весьма распространена в природе. Такова вибрация, которая ощущается водителем автомобиля и возникает под действием сложной комбинации источников, в том числе поверхности дорожного полотна, вибрации двигателя, колебаний внешних элементов конструкции автомобиля из-за ветра и т. д. Вместо того чтобы пытаться охарактеризовать каждый из этих эффектов в отдельности, их принято описывать совокупно с использованием статистических параметров. Случайная вибрация представляет собой количественную характеристику среднего уровня вибрации за некоторый промежуток времени в некотором частотном диапазоне. На рис. 1 (внизу) показана типичная осциллограмма случайной вибрации.

Разбалансировка вращающихся частей — еще один распространенный источник вибрации. Вращение разбалансированной детали машины может вызвать вибрацию всей машины. Разбалансировка порождает вынуждающую силу, которая воздействует на всю конструкцию. Примерами могут служить стиральная машина, двигатель автомо-

биля, система вала, паровые или газовые турбины, жесткий диск компьютера. Вращательная вибрация обычно вредна и нежелательна. Устраняют или минимизируют ее путем правильной балансировки вращающейся части машины.

Все эти категории объединяет то, что конструкция откликается на воздействие определенным движением, связанным с ее механическими характеристиками. Зная основные модели конструкций, а также методы и средства измерений и анализа, можно количественно описывать вибрацию конструкций и влиять на нее.

Анализ во временной и частотной областях

Вибрацию конструкций можно измерять датчиками (акселерометрами), преобразующими колебательное движение (вибрацию) в электрический сигнал. Анализируя эти сигналы, можно определить характер вибрации. В общем случае анализ сигналов может производиться во временной или частотной областях. Это дает два различных представления и два типа информации о характере вибрации.

При анализе во временной области сигнал рассматривают как функцию времени. Для регистрации сигнала могут использоваться осциллограф, регистратор данных или динамический анализатор сигналов. На рис. 2 показана модель конструкции (например, одноэтажного здания) и временная зависимость ее вибрационного отклика на ударное воздействие, зарегистрированного в точке А. Пунктирной линией обозначены колебания конструкции в окрестности положения равновесия.

График зависимости амплитуды вибрации от времени предоставляет сведения, помогающие охарактеризовать поведение конструкции. Сделать это можно, измерив максимальный (пиковый) уровень вибрации, найдя ее период (временной промежуток между соседними точками пересечения нуля в одном направлении) или оценив время затухания (время, за которое огибающая вибрации достигает близкого к нулю значения). Эти характеристические параметры представляют собой типичные результаты анализа во временной области.

Анализ в частотной области также позволяет получать важную информацию о вибрации конструкции. Любой сигнал во временной области можно перевести в частотную область. Наиболее распространенный математический метод переноса сигналов из временной области в частотную — преобразование Фурье (ПФ), названное так в честь французского математика Жана Батиста Фурье. Это преобразование сопряжено со сложными математическими вычислениями, но современные динамические анализаторы сигналов выполняют его автоматически в реальном времени.

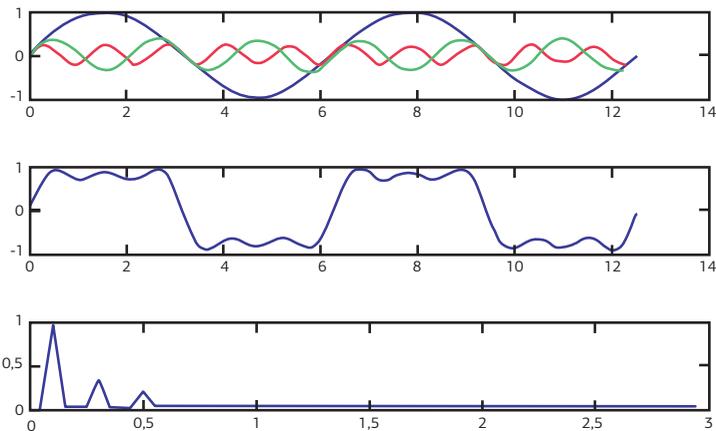


Рис. 3. Представление прямоугольного сигнала в виде суммы чистых синусоидальных составляющих

Теория преобразования Фурье гласит, что любой периодический сигнал можно представить в виде совокупности отдельных синусоидальных сигналов. На рис. 3 показано, как прямоугольный сигнал можно «сконструировать» в виде совокупности синусоидальных составляющих, частота каждой из которых кратна основной частоте прямоугольного сигнала. Амплитуда и фаза каждой синусоидальной составляющей должна быть тщательно подобрана, чтобы в сумме получался сигнал требуемой формы. При использовании ограниченного количества синусоидальных составляющих, как на рис. 3, результат напоминает прямоугольный сигнал, но с искажениями.

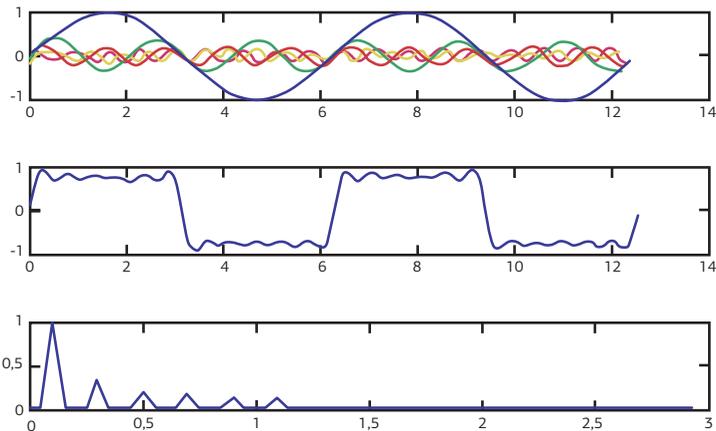


Рис. 4. Приближение формы сигнала к прямоугольной по мере добавления синусоидальных составляющих

Нижние графики на рис. 3 и 4 показывают амплитуду каждой из синусоидальных составляющих. На рис. 3 имеется три синусоидальных составляющих; на нижнем графике они представлены тремя пиками. Частота каждой из них представлена местоположением соответствующего пика на оси частот (абсцисс), а амплитуда — высотой пика, отсчитываемой

по оси ординат. На рис. 4 пиков больше, так как прямоугольный сигнал сформирован из большего количества синусоидальных составляющих. Таким образом, нижний график на рис. 3 и 4 можно интерпретировать как результат преобразования Фурье представленного прямоугольного сигнала.

При вибрационном анализе конструкций обычно регистрируются сигналы во временной области, после

чего производится быстрое преобразование Фурье (БПФ) — это оптимизированная, с точки зрения вычислений, разновидность преобразования Фурье. Нижний график на рис. 4 представляет собой БПФ прямоугольного сигнала, полученное на динамическом анализаторе сигналов. Имея достаточный опыт в сфере испытаний, можно изучать вибрацию конструкций лишь по частотному спектру сигнала.

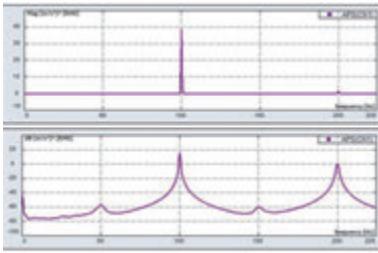


Рис. 5. Как показывает график БПФ на линейной шкале (вверху) и шкале децибел (внизу), шкала децибел позволяет представить на одном графике как большие, так и малые числа

Логарифмическая шкала децибел

Для представления данных вибрационных измерений и испытаний часто используют логарифмическую шкалу (шкала децибел, дБ). Она полезна тем, что позволяет представить, как очень малые, так и очень большие уровни вибрации. На большинстве линейных шкал при попытке охватить весь диапазон амплитуд малые сигналы становятся практически невидимыми. Шкала децибел решает эту проблему, так как на ней сигналы с большой амплитудой «сжимаются», а с малой — «растягиваются». Значение в дБ можно рассчитать по значению на линейной шкале, воспользовавшись формулой:

$$Y_{dB} = 20 \text{ Log} \left(\frac{X}{X_{ref}} \right),$$

где X_{ref} — опорное значение, которое зависит от типа измерения.

На шкале децибел, если числитель и знаменатель имеют одинаковое значение, уровень равен нулю. Уровень +6 дБ означает, что числитель в два раза превышает опорное значение, +20 дБ — что числитель в десять раз больше опорного значения.

На рис. 5 показан спектр БПФ на линейной шкале (вверху) и шкале децибел (внизу). Обратите внимание, что пик вблизи 200 Гц почти неразличим на линейной шкале, но отчетливо виден на шкале децибел.

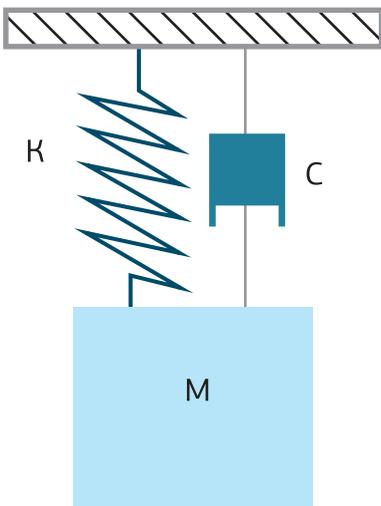


Рис. 6. Простая модель вибрации «груз-пружина-демпфер»

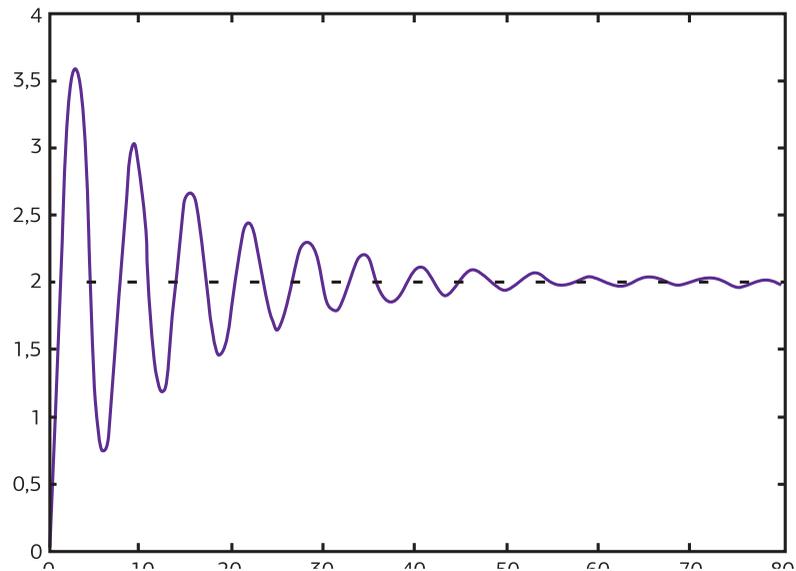


Рис. 7. Свободная вибрация в случае модели «груз-пружина-демпфер»

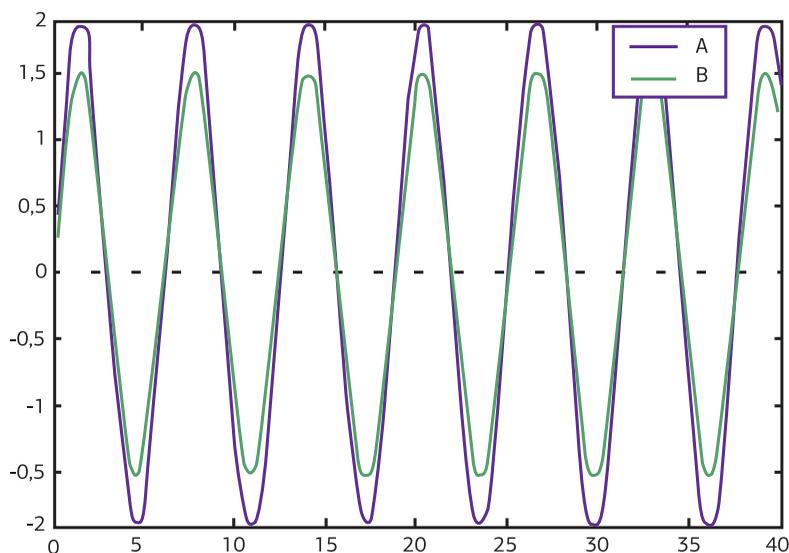


Рис. 8. Отклик модели «груз–пружина–демпфер» на вынужденную вибрацию с изменением амплитуды и фазы: А — вибрация груза, В — перемещение основания

В этой модели факторы, влияющие на вибрацию, полностью описываются параметрами M (масса), K (коэффициент жесткости пружины) и C (коэффициент сопротивления демпфера). Зная эти значения, можно в точности предсказать отклик конструкции на возбуждение.

Масса — это мера плотности и количества материала. Жесткость — коэффициент, связывающий удлинение и возникающую вследствие этого удлинения силу упругости. Коэффициент сопротивления устанавливает соотношение между скоростью движения и возникающей при этом силой сопротивления.

Если потянуть груз вниз, а затем отпустить, груз начнет двигаться по закону, подобному тому, который изображен на рис. 7. Груз будет колебаться относительно положения равновесия, и после каждого колебания

амплитуда его движения будет уменьшаться под воздействием демпфера, пока не станет неразличимо малой. В конце концов движение груза прекратится.

На рис. 7 видно, что промежуток времени между соседними колебаниями всегда одинаков: кривая пересекает ноль через регулярные интервалы, которые называются периодом, который, в свою очередь, представляет собой обратное значение частоты. Для свободной вибрации в случае модели «груз–пружина–демпфер» частота колебаний полностью определяется параметрами M , K и C . Она называется собственной частотой и обозначается как f_n . В случае предположения слабого демпфирования она вычисляется по следующей формуле:

$$f_n = \omega_n / 2\pi = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K}{M}}$$

Вибрация конструкций

Вибрация конструкций может иметь очень сложный характер, поэтому начнем с простой модели и выведем из нее основные понятия, а затем перейдем к более сложным. Простейшая модель вибрации — это модель с одной степенью свободы или модель «груз–пружина–демпфер» (рис. 6). Она состоит из простого груза массой M , подвешенного на идеальной пружине с известной жесткостью K , и жестко закрепленного демпфера. Демпфер работает подобно автомобильному амортизатору: он порождает силу, противодействующую возбуждающему воздействию и пропорциональную скорости движения груза.

Чем больше жесткость пружины, тем больше f_n , и чем больше масса груза, тем f_n меньше.

Рис. 7 дает также некоторую информацию о демпфировании. Теория говорит, что амплитуда каждого колебания убывает с предсказуемой скоростью, связанной с коэффициентом сопротивления C . Обычно демпфирование описывается коэффициентом демпфирования ξ , который связан с C соотношением:

$$\xi = \frac{C}{2M\omega_n}$$

Коэффициент демпфирования может принимать значения от нуля до бесконечности. Когда он мал (меньше 0,1), говорят, что система слабо демпфирована. После возбуждения она колеблется в течение долгого времени. При большом коэффициенте демпфирования говорят, что система передемпфирована.

Она не совершает колебаний и может возвращаться в положение равновесия с большой задержкой. Когда коэффициент демпфирования равен 1, в системе имеет место критическое демпфирование, и она возвращается в положение равновесия за кратчайшее время.

Относительная амплитуда и фаза перемещения груза будут меняться в зависимости от частоты вынуждающей силы, действующей на основание. Варьируя частоту возбуждения основания и регистрируя соответствующую амплитуду (деленную на амплитуду перемещения основания) и фазу перемещения груза, получаем график зависимости амплитуды и фазы вибрации от частоты вынуждающей силы (рис. 8).

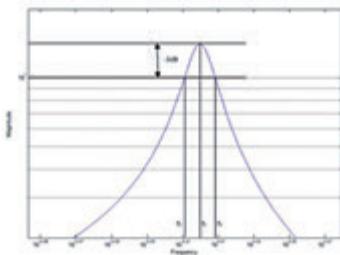


Рис. 10. К расчету добротности Q

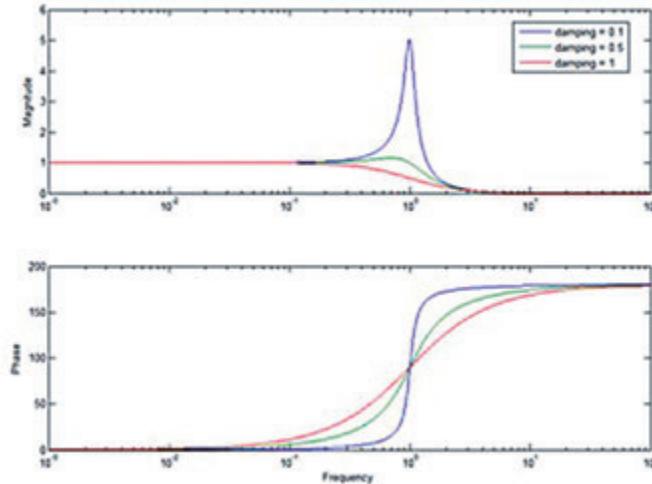


Рис. 9. ЛАФЧ вибрации системы «груз-пружина-демпфер» при различных значениях ζ : а) $\zeta = 0,1$; б) $\zeta = 0,5$; в) $\zeta = 1$

На рис. 9 показаны результаты для трех различных значений коэффициента демпфирования ξ . Во всех случаях на низких частотах относительная амплитуда равняется 1 (0 дБ), т. е. амплитуды равны. С увеличением частоты относительная амплитуда возрастает до некоторого максимального значения. Это пиковое значение достигается на частоте f_n , которая называется собственной частотой. На частотах выше f_n относительная амплитуда уменьшается с постоянной скоростью. Этот график называется логарифмической амплитудно-фазовой частотной характеристикой (ЛАФЧ). Обратите внимание, что ось абсцисс имеет логарифмическую шкалу и проградуирована в герцах. Также следует отметить, что слабому демпфированию соответствует более

высокий пик. При критическом демпфировании (красная кривая) и передемпфировании (не показано) относительная амплитуда не превышает 1, или 0 дБ.

Нижний график на рис. 9 показывает соотношение фаз между перемещением основания и груза на различных частотах. На частотах ниже f_n разность фаз равняется нулю, т. е. груз колеблется в фазе с основанием. Когда частота вибрации основания совпадает с f_n (то есть наступает резонанс), разность фаз составляет 90 градусов. На высоких частотах разность фаз равняется 180°, т. е. колеблется в противофазе к основанию, и они перемещаются в противоположных направлениях. Обратите внимание, что коэффициент демпфирования влияет на наклон фазочастотной характеристики (нижнего графика).

Добротность — общий термин, которым описывается степень недодемпфированности конструкции. В теории вибрации показано, что коэффициент демпфирования связан с остротой пика относительной амплитуды. Коэффициент демпфирования ζ можно выразить через добротность Q , которая определяется как отношение резонансной частоты f_n к ширине полосы частот по половинному уровню мощности в области этой частоты:

$$Q = \frac{f_n}{f_n - f_2}$$

и

$$\xi = \frac{1}{2Q}$$

где f_n — резонансная (она же собственная) частота пика, Гц; f_1 и f_2 — граничные частоты по уровню -3 дБ (уровень 0,5) относительно пиковой амплитуды, как показано на рис. 10.

Другой способ измерения демпфирования — по пиковому отношению амплитуд. Но этот показатель не следует путать с добротностью, так как они не эквивалентны.

Модель с одной степенью свободы («груз-пружина-демпфер») значительно упрощена по сравнению с большинством реальных конструкций. Вместе с тем, понятия и термины, введенные при анализе свободной и вынужденной вибрации в этой простой модели, применимы и для анализа более сложных конструкций.

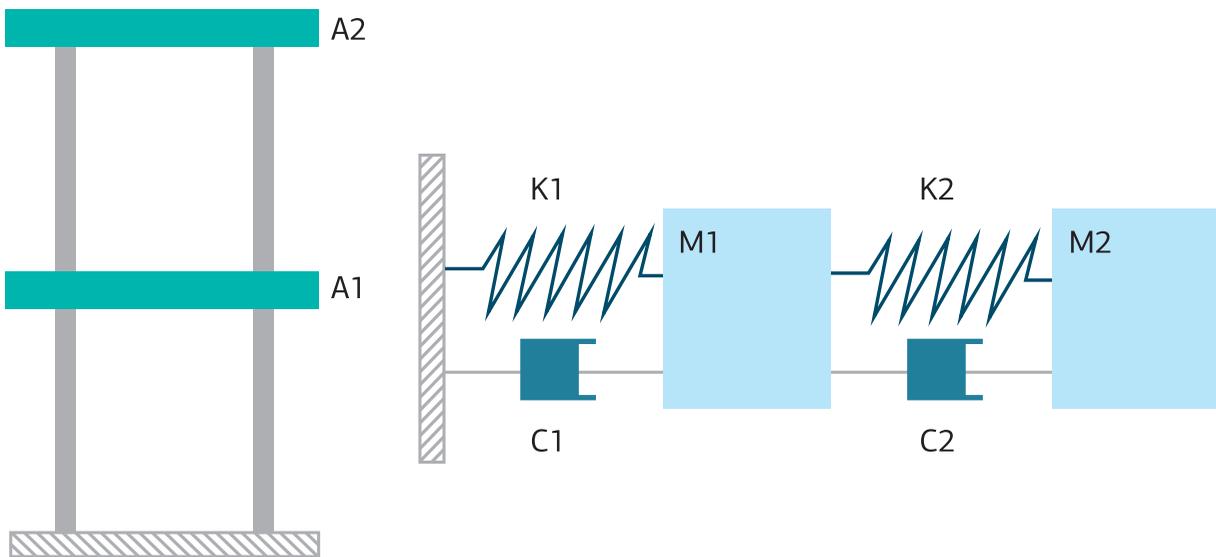


Рис. 11. Двухэтажное здание можно представить в виде модели с двумя степенями свободы, упростив ее до двух взаимосвязанных систем «груз-пружина-демпфер»

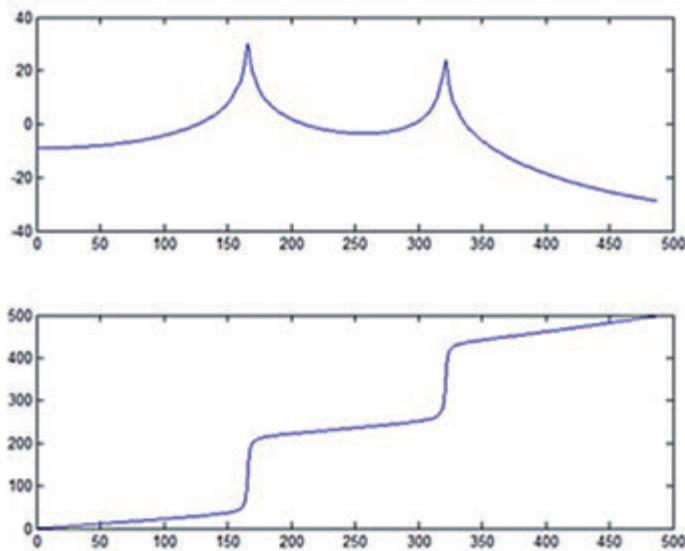


Рис. 12. ЛАФЧХ совокупности двух взаимосвязанных систем «груз–пружина–демпфер»

Модель с несколькими степенями свободы

Первая модель, рассмотренная в этой статье, — модель одноэтажного здания. Эту модель можно обобщить на двух- или трехэтажное здание, в результате чего получится модель с двумя или тремя степенями свободы. Модель двухэтажного здания можно сконструировать, соединив между собой простые системы «груз–пружина–демпфер», как показано на рис. 11.

Совокупность двух взаимосвязанных систем «груз–пружина–демпфер» будет иметь две резонансные частоты. ЛАФЧХ этой составной системы будет подобна приведенной на рис. 12. Коэффициент демпфирования на каждой резонансной частоте можно определить по добротности. Обратите внимание, что на первой резонансной частоте демпфирование слабее, чем на второй, если судить по остроте пиков.

В рассмотренных до сих пор моделях масса была сосредоточена в одной точке, однако сплошная конструкция, такая как балка или струна, в которой масса распределена по объему, требует другой модели. На рис. 13 показана балка, шарнирно закрепленная на обоих концах, так что для нее возможно только вращение, но не поступательное движение. При возбуждении балка будет деформироваться и вибрировать, принимая различные формы в зависимости от частоты вынуждающей силы, а также способа крепления ее концов (граничных условий). На первой резонансной частоте все точки балки будут колебаться в одной фазе, и в процессе колебаний балка будет принимать форму, которая обозначена справа на рис. 13 как «первая собственная форма». На второй, более высокой резонансной частоте балка будет принимать форму, соответствующую второй собственной форме колебаний, и т. д.

Теоретически количество резонансных частот и собственных форм колебаний не ограничено, но на высоких частотах конструкция действует как фильтр нижних частот, и уровень вибрации снижается с ростом частоты. Возбудить собственные колебания более высокого порядка труднее, и они оказывают относительно меньшее влияние на общую вибрацию конструкции.

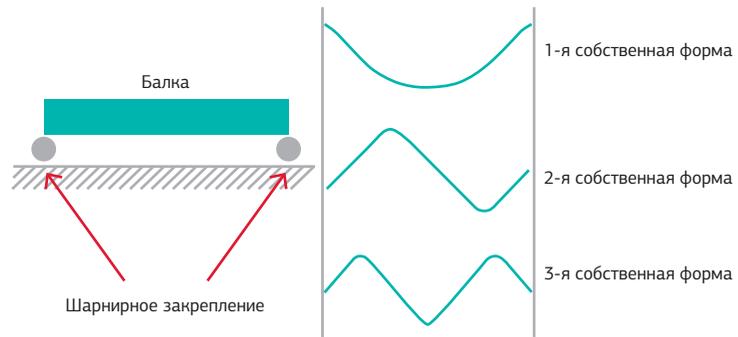


Рис. 13. Балка, шарнирно закрепленная на обоих концах, — пример модели сплошной конструкции

На рис. 14 показана полученная экспериментальным путем ЛАФЧХ стальной балки поперечным сечением 25×6,3 мм и длиной 200 мм. У нее наблюдается множество резонансных частот, начиная с 265 Гц. В окрестности каждого резонансного пика происходит сдвиг фазы на 180°. Обратите внимание, что резонансы четко отделены друг от друга на оси частот, и в области каждого резонанса ЛАФЧХ балки напоминает ЛАФЧХ простой системы «груз-пружина-демпфер».

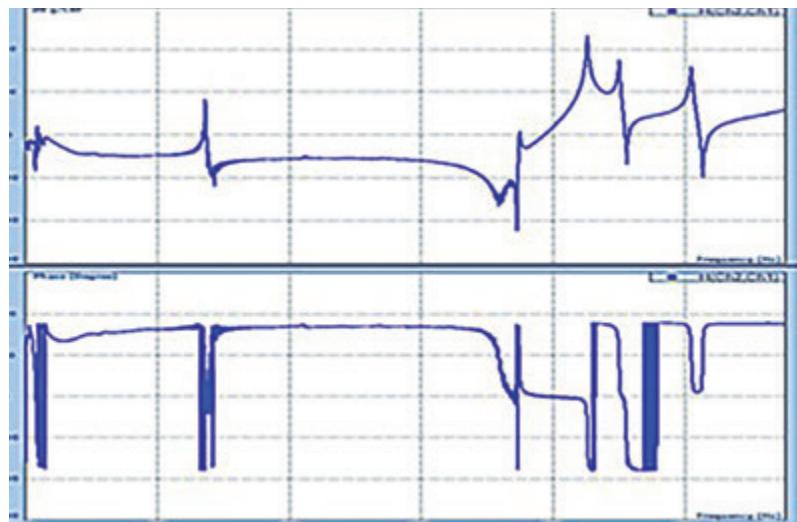


Рис. 14. ЛАФЧХ типовой балки

Изложенное здесь введение в вибрационный анализ конструкций показывает, что в этой сфере есть немало сложностей, и она требует глубоких знаний. К счастью, для людей с техническим и гуманитарным складом ума эти основные принципы и понятия применимы как к простым, так и к сложным моделям, и могут быть выражены в модели с одной степенью свободы, модели с несколькими степенями свободы или модели сплошной конструкции. 

(Продолжение статьи читайте в 14-м номере журнала «Эксперт+»)

VIKING на ближневосточных рубежах

В декабре 2016 г. в Тегеране (Иран) посетителям одной из крупнейших на Ближнем Востоке выставок электроники и компьютерных технологий «Elecomp» была представлена промышленная и антистатическая мебель VIKING (производитель — компания «Диполь»).



Дарья Яргомская,
менеджер по маркетингу бренда VIKING,
компания «Диполь»
market@dipaul.ru



ELECOMP — самое значимое в данном регионе коммерческое мероприятие для предприятий, работающих в сферах электроники, приборостроения, точного машиностроения, аппаратного обеспечения, компьютерных продуктов и услуг. С 1995 г., когда состоялась первая выставка, и по сегодня на площадях ELECOMP ежегодно демонстрируются новейшие достижения в этих отраслях.

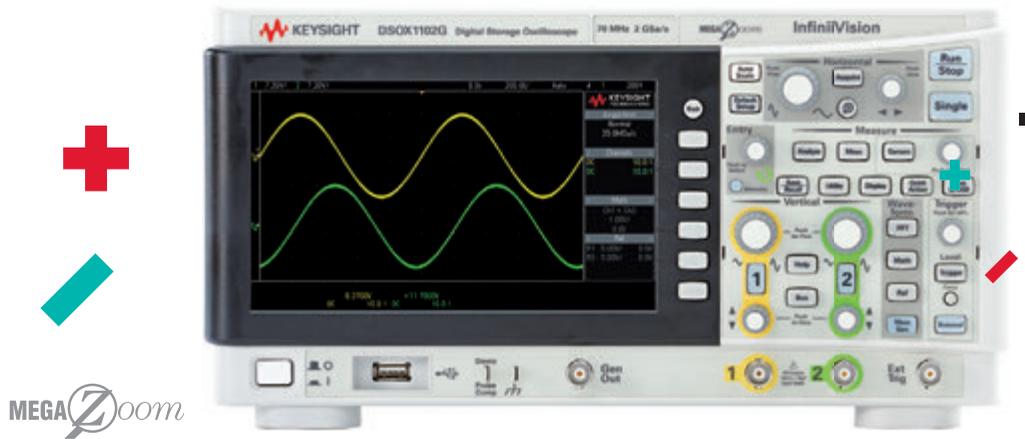
Выставка активно продвигает иранский бизнес электроники и компьютерной техники на международных рынках и активно поддерживается правительством Ирана — крупнейшим потенциальным клиентом данной отрасли, планирующим масштабное внедрение так называемого «электронного правительства».

22-я выставка IRAN ELECOMP 2016 прошла с участием 336 местных и 86 иностранных компаний из 18 стран. Общая площадь выставочных пространств составила более 36 400 кв. м.

Официальный дистрибьютор продукции VIKING на территории Исламской республики Иран — компания Grandil Co — в числе прочего оборудования для предприятий электроники представила посетителям тегеранской выставки рабочие места серий «Альянс», «Классик» и «Комфорт» в антистатическом исполнении.

По словам ближневосточных партнеров компании «Диполь», рабочие столы и оснащение VIKING вызвали положительную реакцию специалистов — посетителей стенда, около трети из них выразили практический интерес к продукции, желание получить дополнительную информацию об изготовляемых рабочих местах и готовность к сотрудничеству.

Учитывая потенциал Ирана как второго по значению государства для экономики региона, давнюю историю российско-иранских торговых взаимоотношений, а также активное развитие отраслей электроники в стране, можно говорить о значительных перспективах закрепления промышленной мебели VIKING на иранском рынке. 🇮🇷



MEGA Zoom

Осциллографы цифровые InfiniiVision 1000 серии X Keysight Technologies

Долой игрушки — купите настоящий осциллограф!

Осциллографы Keysight InfiniiVision 1000 серии X — это высокое качество и признанные в отрасли технологии по невероятно низким ценам. Откройте для себя все возможности профессиональных измерительных приборов и приобщитесь к богатому метрологическому опыту признанного лидера в области измерений.

Не соглашайтесь на меньшее — попробуйте и убедитесь.

МОДЕЛЬ	EDUX1002A	EDUX1002G	DSOX1102A	DSOX1102G
Полоса пропускания	50 МГц		70 МГц (100 МГц опция)	
Скорость захвата осциллограмм	> 50 000 осциллограмм/с			
Частота дискретизации	1 Гвыб/с		2 Гвыб/с	
Дисплей	ЖК 7" WVGA TFT			
Количество каналов	2 аналоговых плюс Trigger View (цифровой канал)			
Глубина записи	100 тыс. точек		1 млн. точек	
Запуск и декодирование сигналов последовательных шин (опция)	I2C, UART/RS232		I2C, SPI, UART/RS232, CAN, LIN	
6 приборов в одном	Осциллограф			
	Встроенный генератор сигналов стандартной формы 20 МГц (в стандартной комплектации моделей EDUX1002G и DSOX1102G)			
	Анализатор сигналов последовательных шин — опция (EDUX1EMBD, DSOX1EMBD, DSOX1AUTO)			
	Цифровой вольтметр — бесплатно при регистрации прибора			
	Частотомер — в стандартной комплектации			
	Анализатор АЧХ — опция (стандартно в DUX1002G, DSOX1102G)			
Цена стандартной комплектации*	\$580	\$840	\$840	\$1100

*Представленные данные являются справочными, подробную информацию можно уточнить у менеджеров компании.

Незаменимый ИСТОЧНИК



LXI

Menu Back

1 2 ABC 3 DEF

4 GHI 5 JKL 6 MNO

7 PQRS 8 TUV 9 WXYZ

0 -

Enter

Properties File

Select Output

1 2 3 4

Voltage Current

Emergency Stop

Memory

Power Supply Outputs

All Terminals
±240 VDC MAX to r

On On On On

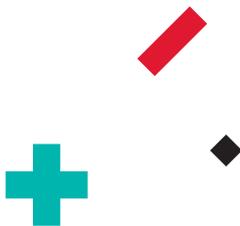
1 2 3 4

4 wire Sense Output +S -S +S -S +S -S +S -S



Алексей Телегин,
ведущий блога по источникам питания
Keysight Technologies

Любой ИП, который может работать в режиме СС, может использоваться в качестве источника тока.



Можно ли использовать стандартный источник питания постоянного тока в качестве источника тока?

Если отвечать кратко, то — да, большинство стандартных ИП постоянного тока могут использоваться в качестве источников тока. Однако этот вопрос заслуживает более пристального внимания, поэтому мы дадим на него развернутый ответ.

Большинство ИП постоянного тока могут работать в режимах стабилизации напряжения (CV) или стабилизации тока (CC). Режим стабилизации напряжения означает, что ИП стабилизирует

выходное напряжение, а уровень выходного тока определяется нагрузкой, подключенной к выходным разъемам. Режим стабилизации тока означает, что ИП стабилизирует выходной ток, а уровень выходного напряжения определяется нагрузкой, подключенной к выходным разъемам. При работе в режиме СС ИП функционирует как источник тока. Поэтому любой ИП, который может работать в режиме СС, может использоваться в качестве источника тока.

Является ли стандартный ИП хорошим источником тока? Идеальный источник тока должен иметь бесконечное выходное сопротивление, а идеальный источник напряжения — нулевой выходной импеданс. Ни один ИП не обладает бесконечным или нулевым значением выходного сопротивления, вне зависимости от режима работы. На самом деле большинство ИП разработаны и оптимизированы для работы в режиме стабилизации напряжения (CV), так как большая часть прикладных задач, в которых используются ИП, требует именно стабильного напряжения. Оптимизация приборов предусматривает подключение конденсатора между выходными разъемами ИП, что позволяет снизить уровень шумов выходного сигнала, а также уменьшить выходной импеданс при увеличении частоты. Таким образом, эффективность стандартного ИП, как источника тока, будет зависеть от диапазона используемых рабочих частот.

При работе на постоянном токе ИП в режиме стабилизации тока представляет собой хороший источник тока. Ти-

повые значения нестабильности по току нагрузки в режиме СС подтверждают этот факт. Так, например, ИП Keysight N6752A (максимальное напряжение 50 В, ток 10 А, мощность 100 Вт) имеет нестабильность по току нагрузки порядка 2 мА. Это означает, что выходной ток будет изменяться не более чем на 2 мА при любом изменении напряжения нагрузки. Таким образом, при работе в режиме СС изменение напряжения на нагрузке на 50 В вызовет изменение тока не более чем на 2 мА. Если принять изменение напряжения ΔV в самом неблагоприятном варианте изменения тока ΔI , то получим: $50 \text{ В} / 2 \text{ мА} = 25 \text{ кОм}$. Это означает, что выходное сопротивление постоянному току данного ИП всегда должно быть больше или равно 25 кОм. На самом деле изменение тока при изменении напряжения на 50 В будет, скорее всего, намного меньше 2 мА, в результате чего выходной импеданс в режиме СС будет намного больше 25 кОм.

Безусловно, эффективность ИП как источника тока должна оцениваться по величине выходного импеданса

не только при постоянном токе. На рис. 1 показан график зависимости выходного импеданса от частоты для ИП N6752A в режиме СС.

Если экстраполировать график в область низких частот, можно наблюдать увеличение импеданса, что свойственно «хорошему» источнику тока. На высоких частотах коэффициент усиления контура стабилизации тока в приборе начинает уменьшаться. По мере уменьшения коэффициента усиления до единицы и менее начинает преобладать вклад выходного конденсатора ИП в величину выходного импеданса, поэтому на высоких частотах выходное сопротивление ниже. Таким образом, то, насколько хорошо ИП будет функционировать в качестве источника тока, будет зависеть от диапазона используемых частот. Чем выше выходной импеданс, тем лучше источник тока. Выходное сопротивление взаимосвязано также с переходной характеристикой стабилизации тока (и в значительно меньшей степени зависит от времени отклика на команду изменения напряжения).

В итоге можно сделать вывод, что в большинстве приложений стандартный ИП постоянного тока может использоваться в режиме стабилизации тока в качестве источника тока.

Как источник питания обеспечивает стабилизацию выходного напряжения и тока?

Ранее мы неоднократно рассказывали о работе ИП в режимах стабилизации напряжения (CV) и стабилизации тока (CC) в различных приложениях. Действительно, режимы CV и CC являются основными рабочими режимами большинства источников питания. Но что именно происходит внутри источника питания, что дает ему возможность стабилизировать выходное напряжение или выходной ток в зависимости от нагрузки?

Большинство ИП способны стабилизировать выходное напряжение или выходной ток на постоянном уровне в зависимости от соотношения величины сопротивления нагрузки и установленных значений напряжения и тока на выходе ИП. Кратко это описывается следующими выражениями:

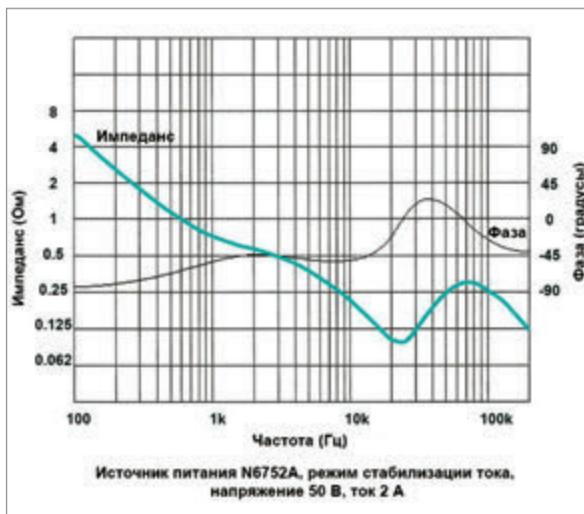


Рис. 1. Зависимость выходного импеданса от частоты для источника питания N6752A в режиме СС

- если $R_{нагр.} > (V_{вых.} / I_{вых.})$, то ИП будет работать в режиме стабилизации напряжения;
- если $R_{нагр.} < (V_{вых.} / I_{вых.})$, то ИП будет работать в режиме стабилизации тока.

Для реализации этой функции большинство ИП имеют отдельные цепи управления напряжением и током с обратной связью, позволяющие ограничивать величину напряжения или тока в зависимости от величины сопротивления нагрузки. В качестве иллюстрации на рис. 2 показана принципиальная схема стандартного выходного каскада 5 В/1 А регулируемого ИП, работающего в режиме стабилизации напряжения.

Каждая цепь управления с обратной связью и усилители режимов CV и CC имеют свое опорное значение входного напряжения. В данном случае оба опорных значения равны 1 В. Для стабилизации выходного напряжения усилитель ошибки режима CV сравнивает свое опорное напряжение с напряжением на резисторном делителе, который делит входное напряжение на 5, ограничивая выходное напряжение $V_{вых.}$ величиной 5 В. Аналогичным образом усилитель ошибки режима CC сравнивает свое опорное напряжение с напряжением на резисторе токового шунта 1 Ом, расположенном в цепи выходного тока, ограничивая выходной ток $I_{вых.}$ величиной 1 А. В схеме, приведенной на рис. 2, сопротивление нагрузки $R_{нагр.}$ составляет 10 Ом.

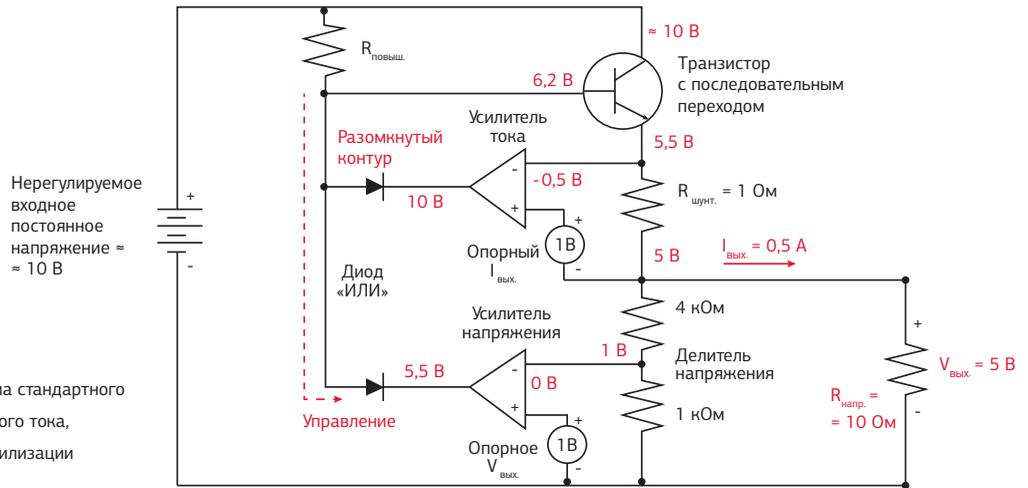


Рис. 2. Принципиальная схема стандартного источника питания постоянного тока, работающего в режиме стабилизации напряжения



Рис. 3. Выходная вольт-амперная характеристика источника питания в режиме стабилизации напряжения

Так как это сопротивление больше значения $V_{\text{вых.}}/I_{\text{вых.}} = 5 \text{ Ом}$, ИП работает в режиме CV. Усилитель ошибки CV берет на себя управление транзистором с последовательным переходом, отводя избыточный ток базы этого транзистора через цепь диода «ИЛИ». Усилитель CV работает в контуре с обратной связью, поддерживая напряжение рассогласования на уровне 0 В. Вместе с тем, так как фактическое значение выходного тока составляет всего 0,5 А, усилитель СС старается увеличить его, но не может, потому что выходным сигналом управляет усилитель CV. Усилитель СС работает в контуре без обратной связи. Его выходной сигнал приближается к положительному пределу, при этом напряжение рассогласования составляет $-0,5 \text{ В}$. Выходная вольт-амперная характеристика ИП в режиме стабилизации напряжения приведена на рис. 3.

Теперь допустим, что мы увеличим нагрузку за счет снижения выходного сопротивления с 10 Ом до 3 Ом. На рис. 4 показана принципиальная схема стандартного выходного каскада 5 В/1 А регулируемого ИП с изменениями для работы в режиме стабилизации тока с сопротивлением нагрузки 3 Ом.

Так как сопротивление нагрузки $R_{\text{нагр.}}$ меньше значения $V_{\text{вых.}}/I_{\text{вых.}} = 5 \text{ Ом}$, ИП переключается в режим стабилизации тока СС. Когда падение напряжения на резисторе токового шунта возрастает и совпадает с опорным напряжением 1 В, что соответствует выходному току 1 А, усилитель ошибки СС берет управление на себя, отводя

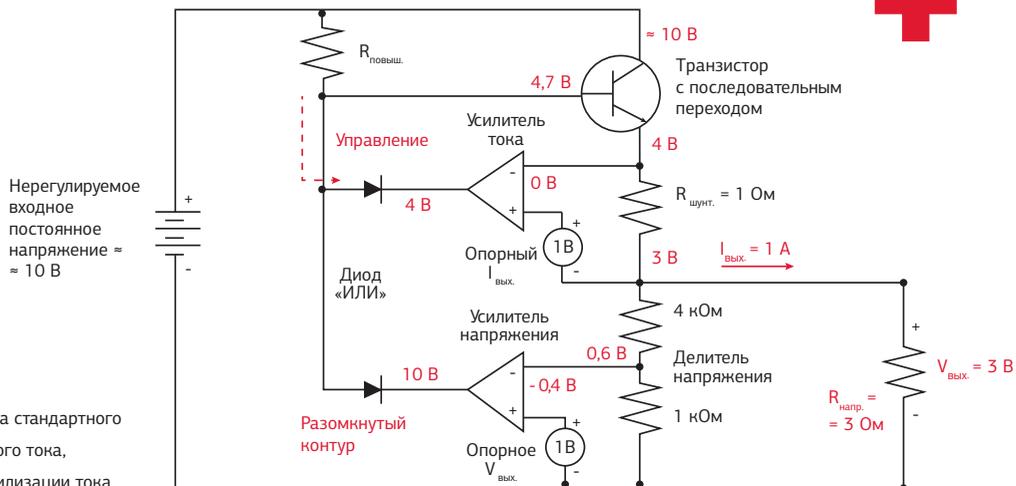


Рис. 4. Принципиальная схема стандартного источника питания постоянного тока, работающего в режиме стабилизации тока

избыточный ток базы транзистора с последовательным переходом через цепь диода «ИЛИ». Усилитель СС теперь работает в контуре с обратной связью, регулируя величину выходного тока таким образом, чтобы напряжение рассогласования сохранялось на уровне 0 В. Вместе с тем, так как фактическое значение выходного напряжения составляет всего 3 В, усилитель CV старается увеличить его, но не может, потому что выходным сигналом управляет усилитель СС. Усилитель CV работает в контуре без обратной связи. Его выходной сигнал приближается к положительному пределу, при этом напряжение рассогласования составляет $-0,4\text{ В}$. Выходная вольт-амперная характеристика ИП в режиме стабилизации тока приведена на рис. 5.

Как мы уже выяснили, большинство ИП имеют отдельные контуры управления напряжением и током с обратной связью для регулирования выходного сигнала при работе в режимах CV и СС. Который из этих контуров возьмет на себя управление, зависит от того, в каком соотношении находятся величина сопротивления нагрузки и установленные значения выходного напряжения и тока. Таким образом, защита и тестируемого устройства (нагрузки), и ИП осуществляется путем ограничения напряжения и тока, которые подаются на нагрузку с ИП. Представляя теоретические принципы функционирования ИП в режимах CV и СС, легче понять, почему различные характеристики ИП являются именно такими, а также представить, как на этой основе можно расширить возможности ИП. 

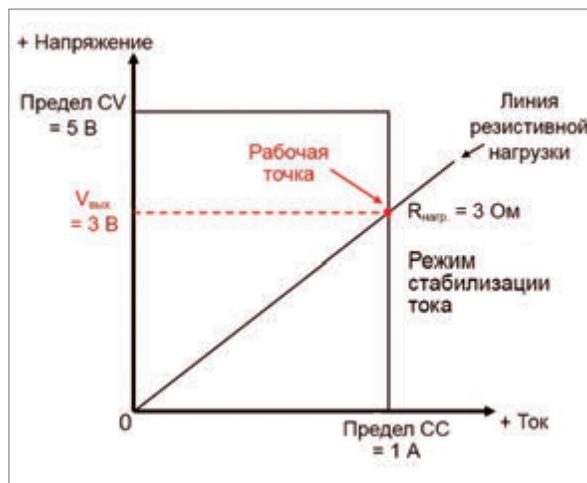


Рис. 5. Выходная вольт-амперная характеристика источника питания в режиме стабилизации тока



Ссылка на блог по источникам питания
Keysight Technologies

Объять необъятное

Экранирование жгутов —
решение сложных задач





Дмитрий Максимов, руководитель проектов направления «Решения для производства кабельных сборок и жгутов»
dim@dipaul.ru

Экранирование является важнейшим этапом технологического цикла производства кабельных сборок и жгутов. Действительно, именно качественно проведенное экранирование определяет в конечном счете степень защиты жгута от электромагнитных помех, а также его механическую защиту при механических воздействиях разного рода.

Особенности процесса экранирования жгутов

Рассмотрим ряд особенностей технологического процесса экранирования жгутов, применяемого в настоящее время на большинстве предприятий промышленности:

1. Экранирование жгутов осуществляется монтажниками вручную: протягивание ветвей жгута через плетенку, заделка плетенки в соединитель, пайка ветвей жгута, бандажирование мест разветвлений и т. д.
2. Наиболее часто используемый материал — плетенка ПМЛ ТУ 4833-002-08558606-95 диаметром от 2 до 55 мм (рис. 1).
3. При экранировании жгута задействовано несколько человек.

Перечисленные особенности, в свою очередь, определяют основные проблемы данной технологии:

- сильная зависимость результата экранирования от квалификации персонала;
- высокая трудоемкость осуществления экранирования;
- сложность экранирования кабелей большой длины (15 м и более);
- низкое качество изготавливаемых изделий;
- дополнительные неучтенные расходы, связанные с закупкой некачественного материала;
- срыв сроков изготовления изделий из-за отсутствия на складе плетенки необходимого типоразмера;
- сложность выпуска партии изделий при увеличении серийности, объемов выпуска и т. д.

Рассмотрим возможные пути решения данных проблем.

Сильная зависимость от квалификации персонала

Данная проблема стоит наиболее остро. Действительно, возраст большинства высококвалифицированных специалистов-монтажников — предпенсионный, а отсутствие молодых высококвалифицированных специалистов для выполнения данной операции может стать определяющим фактором в качестве и сроках изготовления жгутов.

Один из возможных путей решения данной проблемы — привлечение к работе новых высококвалифицированных специалистов, найти которых в настоящее время крайне сложно. Другой — снижение зависимости данной операции от квалификации персонала следующими способами:

- путем частичной автоматизации процесса экранирования и вовлечения в него менее квалифицированных специалистов, а также молодых сотрудников;
- вовлечением высококвалифицированных сотрудников непосредственно в другие ответственные операции изготовления жгута.

Высокая трудоемкость

Значительное снижение трудоемкости в данном случае возможно путем частичной автоматизации экранирования жгутов, в том числе при использовании современного оборудования для экранирования жгутов путем оплетения.

Сложность экранирования кабелей большой длины (15 м и более)

Данная проблема обусловлена как неудобством самого процесса экранирования путем протяжки кабелей указанных длин, так и возможностью повреждения изоляционной трубки проволокой плетенки. Для облегчения данной проблемы плетенка зачастую растягивается по диаметру с помощью ручных или механизированных средств.

Путем решения данной проблемы может быть уменьшение сложности экранирования путем автоматизации процесса — осуществление оплетения жгутов на полуавтоматическом технологическом оборудовании.

Технология экранирования путем оплетения позволяет пропорционально наращивать производственные мощности, обеспечивая повышение объемов.



Рис. 1. Плетенка ПМЛ ТУ 4833-002-08558606-95

Низкое качество изготавливаемых изделий

Низкое качество изготавливаемых изделий обусловлено использованием некачественных материалов (неоднородность плотности плетенки ПМЛ по длине, наличие «разорванных проволок», «пустот» и т. д.).

Данная проблема может быть решена повышением качества изготавливаемых жгутов при использовании для экранирования мягкой медной луженой проволоки ММЛ в необходимом соотношении (количество прядей, проволок в пряди, диаметр проволок,

плотность и т. д.) согласно ТУ 4833-002-08558606-95 на плетенку ПМЛ.

Для экранирования в данном случае может быть использовано современное технологическое оборудование для оплетения жгутов.

Дополнительные неучтенные расходы, связанные с закупкой некачественного материала

Данная проблема решается приобретением качественной проволоки ММЛ и ее последующего использования для экранирования жгутов.

Срыв сроков изготовления изделий из-за отсутствия на складе плетенки необходимого типоразмера

Возможные пути решения данной проблемы:

- Закупка всех необходимых типоразмеров плетенки ПМЛ (2×4, 3×6, 4×5, 6×10, 10×16, 16×24, 24×30, 30×40, 40×55).
- Закупка проволоки ММЛ, используемой для экранирования жгута диаметрами 0,10±0,1; 0,12±0,1; 0,14±0,1; 0,20±0,1; 0,30±0,1.

Очевидно, что номенклатура закупаемой проволоки ММЛ в два раза меньше номенклатуры плетенки ПМЛ, что также упрощает процесс закупки необходимых материалов для экранирования.

Для экранирования жгутов проволокой ММЛ, согласно требованиям ТУ 4833-002-08558606-95 на плетенку ПМЛ, может быть использовано полуавтоматическое оборудование с контролем скорости и плотности оплетения.

Сложность выпуска партии изделий при увеличении серийности, объемов выпуска и т. д.

Технология экранирования путем оплетения позволяет пропорционально наращивать производственные мощности, обеспечивая повышение объемов производства без увеличения численности высококвалифицированного персонала.

Таким образом, для решения всех указанных проблем существует несколько возможных путей. Одним



Рис. 2. Оплетение — современная технология экранирования жгутов и кабелей

вариантом является использование технологии оплетения жгутов на полуавтоматическом оборудовании с контролем скорости и плотности оплетения (рис. 2).

Данная технология позволяет:

- уменьшить зависимость конечного результата от квалификации персонала и «человеческого фактора»;
- в несколько раз снизить трудоемкость операции экранирования;
- облегчить процесс экранирования кабелей большой длины;
- повысить качество изготавливаемых жгутов;
- обеспечить пропорциональное наращивание производственных мощностей без увеличения численности высококвалифицированного персонала.

Применение современной технологии экранирования жгутов

Для внедрения современной технологии экранирования жгутов на действующем предприятии компания «Диполь» предлагает высокотехнологичные установки оплетения с ЧПУ компании ОМА (Италия) (рис. 3, 4). Данные установки в полной степени адаптированы под использование отечественных материалов для экранирования жгутов.



Рис. 3. ОМА — производитель современных систем оплетения с ЧПУ

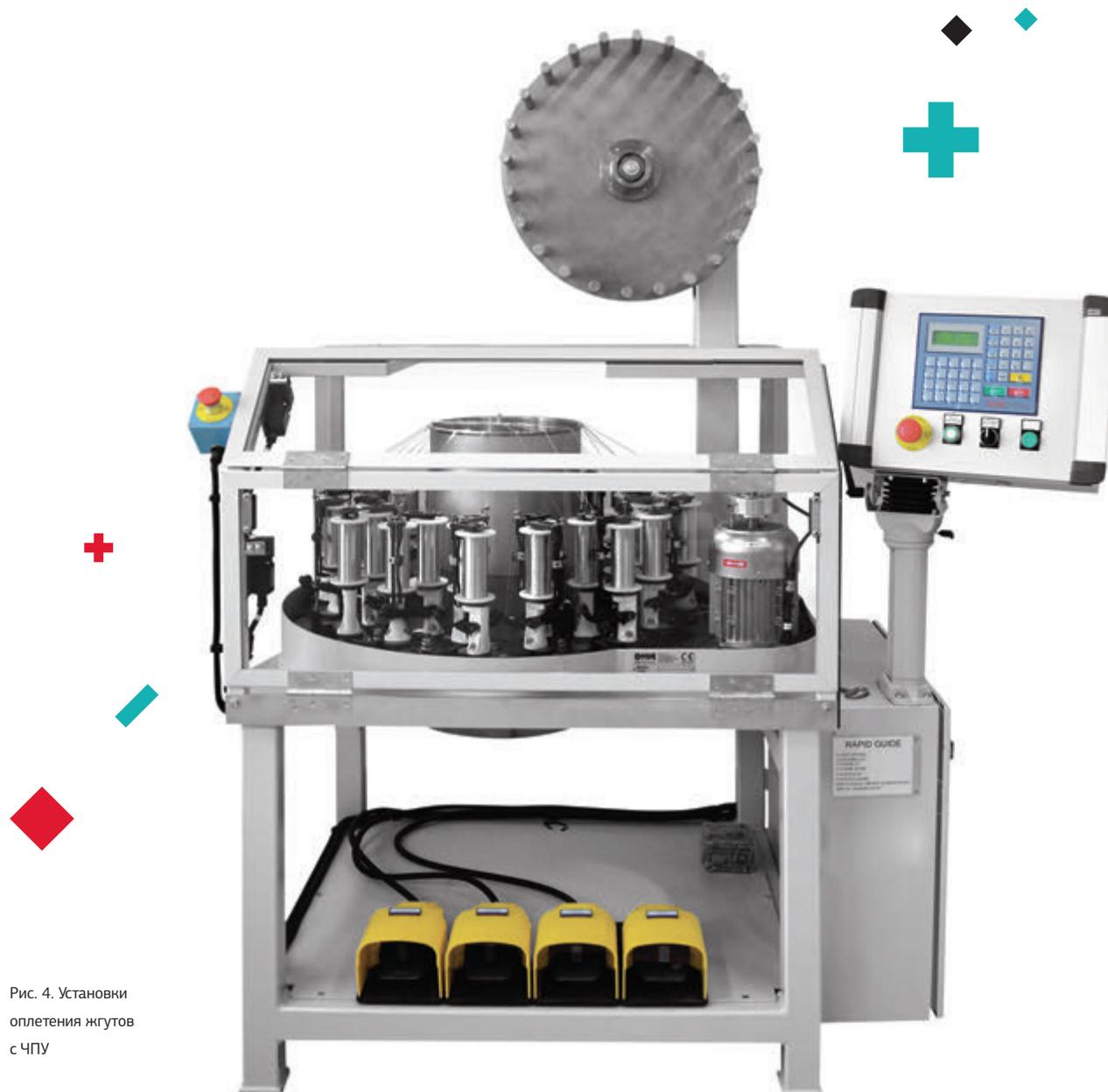


Рис. 4. Установки оплетения жгутов с ЧПУ

Оборудование ОМА

Основным преимуществом данного решения является наличие программного управления и контроля плотности и скорости оплетения жгута при сопоставимой стоимости для более простых конкурентных решений по оплетению жгутов. Главные технические характеристики установок оплетения ОМА:

- оплетаемый диаметр ветви жгута 5–60 мм (в зависимости от числа размотчиков);
- любая длина кабеля (с соединителями) — от 0,1 до 3000 м;
- возможность использования отечественных материалов различного типа и диаметра (ММЛ, проволока из алюминиевых сплавов, арамидные нити и т. д.);
- возможность оплетения жгута с ответвлениями, количество ветвей не ограничено;
- непрерывная регулировка шага плетенки, скорости оплетения с панели (управление ПК);
- регулируемая и контролируемая плотность оплетения — от 75 до 99%;
- максимальная масса жгута (кабеля) для оплетения — 500 кг (в зависимости от типа исполнения установки);
- автоматическое обнаружение обрыва и остановка процесса;
- наличие подсветки рабочей области;
- невысокий уровень шума при работе (<75 дБ).

Адаптация под отечественные материалы

Необходимо отметить, что для использования отечественной проволоки для оплетения необходима вспомогательная система для перемотки проволоки со стандартных катушек любого отечественного производителя (рис. 5) на стандартные катушки с проволокой, используемые в установках оплетения ОМА. В качестве данной системы рекомендуется использование шпулярника (рис. 6) с установкой перемотки проволоки на катушки (рис. 7) (производство компании ОМА).



Рис. 5. Проволока отечественного производства



Рис. 6. Шпулярник — размещение катушек с отечественной проволокой

Специалистами «Диполь» проведена адаптация стандартного решения ОМА под основные используемые материалы отечественного изготовления. В процессе адаптации было проработано очередное конкурентное преимущество предлагаемого решения: возможность перемотки проволоки со стандартных катушек любого отечественного производителя без дополнительных операций и вспомогательной тары.

Данное преимущество реализуется наличием специально разработанной быстросъемной оснастки для установки и размещения катушек различных стандартных размеров с проволокой отечественного изготовления.

Основные технические характеристики шпулярника ОМА:

- наличие универсальной оснастки для установки катушек различных типоразмеров с отечественной проволокой;
- число разматывающих станций для формирования характеристик ПМЛ (посадочные места для катушек) — 6, 8, 10, 12, 14, 16;

- максимальный переносимый вес одной катушки — 30 кг;
 - автоматическое обнаружение обрыва и остановка процесса;
 - компактное размещение в цехе.
- Основные технические характеристики установки перемотки отечественной проволоки на катушки ОМА:
- возможность одновременной намотки двух катушек с отечественной проволокой (в т. ч. проволоки различного диаметра);
 - возможность программирования уровня заполнения катушек с панели управления (автоматическая остановка машины при достижении соответствующего уровня заполнения);
 - автоматическое обнаружение обрыва и остановка процесса;
 - компактное размещение в цехе;
 - использование современных установок оплетения с ЧПУ ОМА для оплетения жгутов на одном из отечественных производств изделий специального назначения (рис. 8, 9).



Рис. 7. Установка перемотки отечественной проволоки на катушки



Рис. 8. Программирование плотности оплетения жгута

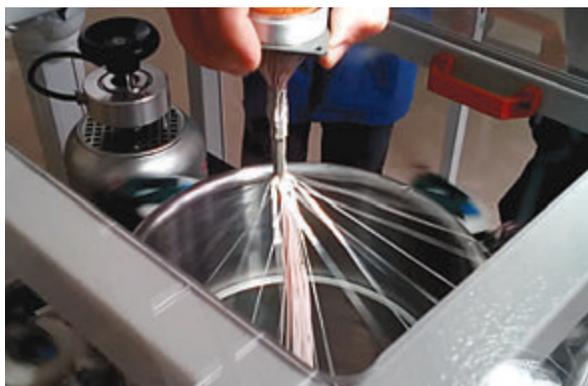


Рис. 9. Оплетение ствола и ветвей жгутов

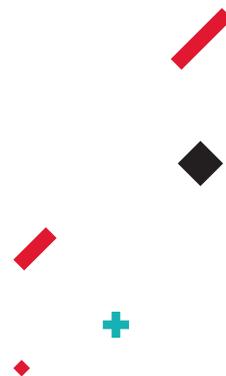
Итоги

Опыт внедрения технологических решений позволяет утверждать, что современная технология оплетения жгутов не только решает большинство проблем ручного процесса экранирования жгутов, но также обеспечивает:

- снижение трудоемкости при экранировании до 50%;
- возможность пропорционального наращивания производственных мощностей без увеличения численности высококвалифицированного персонала;
- повышение качества оплетенных изделий, неповреждение изоляции при экранировании;
- отсутствие проблем при закупке качественной плетенки нужного диаметра;
- задействование в технологическом процессе экранирования не более одного сотрудника.

На современном рынке представлено множество решений, позволяющих в значительной степени облегчить задачу производителю при проведении экранирования жгутов. Необходимо отметить, что данные решения, в силу разных причин, не всегда могут быть интегрированы в технологический процесс, существующий на предприятии, и в результате не используются производством.

Наша компания имеет значительный опыт внедрения технологии оплетения в существующий технологический процесс с внесением соответствующих дополнений в конструкторскую документацию. Специалисты «Диполя» с готовностью делятся этим опытом со своими заказчиками при решении текущих задач. 



Революция труда

В нашем журнале мы регулярно рассказываем о заказчиках, являющихся стратегическими партнерами компании «Диполь». Продолжая эту традицию, мы посетили тамбовское предприятие АО «ТЗ «Ревтруд», входящее в состав Объединенной приборостроительной корпорации «ГК «Ростехнология», которая объединяет научные и производственные предприятия радиоэлектронной промышленности России.



Историческая справка

Тамбовский завод «Ревтруд» ведет свою историю с созданных в 1919 г. артиллерийских мастерских, предназначенных для ремонта и изготовления артиллерийских систем. Позже, освоив выпуск электродвигателей, завод перепрофилировался в электромашиностроительное предприятие.

В годы Великой Отечественной войны завод быстро освоил производство продукции для нужд фронта и выпускал снаряды для «Катюш», зенитные установки, минометы, автоматы, передвижные электростанции, рельсосварочные аппараты.

В 1951 г. «Ревтруд» перешел в Министерство радиотехнической промышленности и приступил к разработке и производству радиотехнических изделий для нужд народного хозяйства и обороны страны. Наряду с Вооруженными силами, продукция предприятия поставлялась для гражданской авиации, МПС, для нужд геологоразведки.

В 1954 г. завод налажил выпуск бытовых стиральных машин, ставших на десятилетия фирменной продукцией народно-хозяйственного назначения.

В 1984 г. Указом Президиума Верховного Совета СССР за высокое качество выполнения плановых заданий и выпуск новой радиотехнической продукции завод «Ревтруд» был награжден орденом Трудового Красного Знамени.

В настоящее время среди основных приоритетов предприятия — продукция, представляющая различные системы радиоэлектронного противодействия средствам связи противника (автоматизированные станции помех КВ- и УКВ-диапазонов, пункты управления), командно-штабные машины со средствами радионавигации, связи и управления. В последние годы налажен выпуск целой линейки электроагрегатов, навигационной аппаратуры.

Благодаря высокой организации, технологической специализации, составу оборудования и профессиональной подготовке персонала, предприятие располагает большими возможностями по изготовлению радиоэлектронных приборов и сложных комплексов со всеми видами механической обработки деталей и сборок.

Мы ведем беседу с начальником участка микроэлектроники Сергеем Григоренко

— СЕРГЕЙ АНАТОЛЬЕВИЧ, РАССКАЖИТЕ О ВОЗМОЖНОСТЯХ ВАШЕГО ЗАВОДА, ОБ ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ.

— Сейчас «Ревтруд» обладает всеми основными видами производств, необходимыми для изготовления изделий военной, гражданской техники и техники двойного назначения: механообрабатывающее производство, кузнечно-прессовое, штамповочное, литейное, пластмассовое, керамическое, гальваническое и другие.

Уровень применяемых технологий позволяет осуществлять выпуск сложных радиотехнических систем и устройств с использованием прогрессивных технологий и высокопроизводительного оборудования. Мы располагаем парком современного технологического оборудования, такого как вертикальные трех- и пятикоординатные фрезерные обрабатывающие центры, автоматы продольного точения, токарно-фрезерные обрабатывающие центры, установки лазерного раскроя, плазменной и гидроабразивной резки, высокопроизводительные автоматизированные линии гальванических покрытий, линия поверхностного монтажа SMD-компонентов, установка рентгеновского контроля, установка струйной отмывки печатных плат, комплекс испытательного оборудования на климатические и механические виды воздействий. В настоящее время идет активная подготовка к запуску цеха по производству элементов микроэлектроники. Также имеется современная измерительная аппаратура, позволяющая осуществлять регулировку радиоприемных и радиопередающих устройств в диапазоне частот до 40 ГГц.



Рис. 1. Сергей Григоренко



Рис. 2. Проверка качества пайки с помощью установки рентгеновского контроля

— КАКОВА ОСНОВНАЯ СПЕЦИАЛИЗАЦИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ? РАССКАЖИТЕ О ВАШЕЙ ПРОДУКЦИИ.

— АО «ТЗ «Ревтруд» специализируется на изготовлении командно-штабных машин, аппаратных связи и средств радиоэлектронной борьбы (РЭБ), дизельных электроагрегатов, антенно-мачтовых устройств, радиопередающих устройств, работающих в диапазонах СДВ, КВ (1,5-30 МГц), УКВ (30-600 МГц), радиоприемных устройств, работающих в диапазонах до 3 ГГц, а также товаров народного потребления.

Нами успешно освоено производство военной техники для различных органов военного управления: командно-штабных машин на автомобильных (в том числе бронированных) и гусеничных бронированных шасси, а также на шасси БТР-80 — «Р-145БМ1», «Р-145БМА», «Р-149БМРг», «Р-142НМР», «Р-142НСА», «Р-142НПО», «Р-142НПС», радиостанций «Р-166», стартового командного пункта СКП-11ВП, автоматизированных станций помех Р-378БМВ и Р-330БМВ, составных частей радиостанций нового поколения малой мощности «Р-168-100У-2», линейки дизельных электроагрегатов мощностью 1; 2; 3,5; 7; 10 и 16 кВт, автоматизированных антенно-мачтовых устройств 10Т, 12Т, 17Т, АМУ-5, современных транзисторных усилителей мощности 1кВт - 2С37-ПП-1, 2С37-ПП-2, 2С37-ПП-3, 2С37-ПП-4 (диапазон частот 30-600 МГц) для изделий техники РЭБ, навигационной аппаратуры «Азимут», блоков аппаратуры внутренней связи, коммутации и управления (АВСКУ), усилителей мощности СДВ-диапазона, мишенных установок для полигонного оборудования.

Для обеспечения выполнения технологических операций был разработан проект участка микроэлектроники, включающий в себя нормированные по классу чистоты помещения.

— МЫ ЗНАЕМ, ЧТО СЕЙЧАС У ВАС ИДЕТ ПОДГОТОВКА К ЗАПУСКУ МИКРОСБОРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА. ЭТО НОВЫЙ РОД ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ДЛЯ КОМПАНИИ?

— Совершенно верно. В 2012 г. по итогам проведенного технологического аудита нашему заводу рекомендовали создание участка микросборочного производства, к которому мы приступили в рамках проекта «Техническое перевооружение на АО «ТЗ «Ревтруд».

Для обеспечения выполнения технологических операций был разработан проект участка микроэлектроники, включающий в себя нормированные по классу чистоты помещения, приточно-вытяжную вентиляцию, инженерное оборудование (компрессор, генератор азота, установка водоподготовки, газовая рампа), бытовые помещения. Возможно, я перечисляю очень подробно, но хочется продемонстрировать глобальность этого проекта, реализованного компанией «Диполь».

Участок микроэлектроники позволит выпускать изделия в объеме мелкосерийного производства. Его персонал, в который будут входить технологи, операторы, регулировщики, специалисты по обслуживанию оборудования и помещений, уже начинает осваивать микросборочное производство. Это самое большое подразделение участка микроэлектроники. Участок микросборки позволяет устанавливать элементную базу (кристаллы, активные и пассивные элементы, разъемы и пр.) на микроплаты, соединять контактные площадки, выполнять настройку и регулировку изделий, установку в корпус.

Данное производство уже вызывает интерес у потенциальных заказчиков. В частности, привлекает внимание возможность производства изделий для электротехнических узлов и узлов силовой электроники.

Оснащение участка состоит из следующего оборудования:

- установка плазменной очистки;
- установщик компонентов и кристаллов, в том числе кристаллов, устанавливаемых по технологии FlipChip;
- установка ультразвуковой сварки типа «шарик-клин»;
- установка ультразвуковой сварки типа «клин-клин»;
- установка сварки расщепленным электродом;
- анаэробная печь;
- установка вакуумной пайки;
- паяльно-ремонтные станции;
- система бесконтактных измерений;
- видеомикроскоп высокого разрешения;
- акустический микроскоп;
- установка ультразвуковой отмычки;
- течеискатель (большие течи);
- измерительная аппаратура и приборы.

Сборочное подразделение позволит выпускать следующую продукцию:

- гибридные интегральные схемы, транзисторы;
- микросборки НЧ-, ВЧ- и СВЧ-диапазона с повышенными эксплуатационными требованиями, включая микросборки в герметичных корпусах с газонаполнением;
- элементы силовой электроники.



Рис. 3. Комбинированная радиостанция Р-145БМ 1 предназначена для организации радиосвязи с наземными объектами, проводной связи с внешними абонентами как в составе подвижных узлов связи, так и автономно

Другое подразделение данного участка предназначено для получения тонких пленок, необходимых при производстве микроплат. Участок изготовления микроплат позволяет получать платы с проводниками на керамической основе, а также на других материалах, таких как арсенид галлия, сапфир, ситалл, карбид кремния и пр. с шириной дорожки до 2,6 мкм. Преимуществом таких плат, несомненно, являются высокие эксплуатационные характеристики, позволяющие работать с высоко- и сверхвысоко-частотными сигналами при тяжелых условиях эксплуатации. Мы сможем производить одно- и двусторонние платы размерами от 1,5 мм до 100 мм. Покрытия проводников могут быть медными, золотыми, покрытыми сплавом олово–висмут (толщина покрытия от 0,3 до 10 мкм).

Отдельно хочется упомянуть подготовленные помещения химических процессов: пол в них выполнен в наливном химостойком исполнении, для защиты персонала предусмотрен аварийный душ. Операторы работают только с лицевой стороны установок, а обеспечение химическими веществами и обслуживание установок при этом выполняется с тыльной стороны установок — вне чистой зоны, в специальном коридоре для обслуживания установок.



Рис. 4. Комбинированная радиостанция Р-142НСА, предназначенная для обеспечения управления и радиосвязи

Рис. 5. Автоматизированная станция помех КВ-радиосвязи, предназначенная для создания помех наземным линиям КВ-радиосвязи

Оборудование данного участка будет следующим:

- установка магнетронного напыления;
- установка электро-лучевого напыления;
- химические установки травления, гальванического наращивания, обработки пластин и подложек;
- установка получения фотшаблонов (безмасковая литография);
- установки нанесения, сушки, проявления фоторезиста;
- установка совмещения и экспонирования;
- установки дисковой резки;
- установка лазерной резки и прошивки отверстий;
- установка лазерной подгонки резисторов;
- установка лазерной герметизации с газонаполнением.

Вакуумное напыление и литография размещены в помещениях, соответствующих классу ИСО-6.

В дальнейших планах нашего предприятия предусматривается развитие микроэлектронного производства. С этой целью около 135 м² выделено для освоения технологии низкотемпературной спекаемой керамики (LTCC).

Участок LTCC позволит изготавливать такие изделия, как:

- металло-керамические корпуса;
- изделия для микрофлюидики;
- многослойные платы, в том числе и с внутренним охлаждением, и с внутренним расположением пассивных компонентов;
- элементы силовой электроники;
- системы военно-бортовых коммуникаций;
- интегральные антенны;
- антенно-фазированные решетки;
- мембранные датчики давления;
- пассивные СВЧ-компоненты (конденсаторы, резисторы, фильтры и пр.).

Данное производство уже вызывает интерес у потенциальных заказчиков, в том числе и из гражданских отраслей. В частности, привлекает внимание возможность производства изделий для электротехнических узлов и узлов силовой электроники.

К участку микроэлектроники на нашем предприятии уже проявили интерес и представители иностранных компаний, специализирующихся на производстве электротехнических изделий, что весьма актуально для производства продукции гражданского назначения.



Андрей Иванов, заместитель руководителя направления «Чистые производственные помещения и инновационные технологии» компании «Диполь»
a.ivanov@dipaul.ru



Современные реалии, когда развитие отечественной радиоэлектронной промышленности фактически отрезано от новейших мировых технологий и оборудования, сложно назвать комфортными. Но приятно осознавать, что такие предприятия, как «Ревтруд», восприняли новые вызовы как возможность модернизировать собственное производство, повысив качество своей продукции и расширив ее ассортимент.

В последнее время термин «импортозамещение» популярен не меньше, чем модные до этого слова «нанотехнологии» и «инновации», которые часто использовались как заклинание для привлечения государственных денег на предприятие. В «Ревтуде» импортозамещение действительно работает.

Для обеспечения собственных и сторонних потребностей в комплектующих «Ревтруд» совместно с компанией «Диполь» разработали проект создания цеха по производству микроэлектронных компонентов, который включал в себя поэтапную реконструкцию существующих помещений с созданием необходимой инфраструктуры и последующим ее оснащением необходимым технологическим оборудованием.

Для меня участие в создании чистых помещений на предприятии АО «ТЗ «Ревтруд» в качестве руководителя проекта было значительным, но далеко не первым опытом, и я смог воспользоваться всеми накопленными ранее знаниями.

Реализация проекта оказалась непростой, но интересной. Как в любом строительстве, мы наткнулись на множество подводных камней в виде недостаточной проработки проектных решений, нехватки необходимых ресурсов, а порой и срывов сроков поставщиками материалов. Предприятие «строго, но справедливо» относилось к нашим трудностям и по возможности помогало в осуществлении поставленной цели. В конечном итоге проект был реализован в срок, на высоком техническом уровне и в полном соответствии с параметрами, необходимыми для производства качественной продукции.



Рис. 6. Передаточное окно

Особо хотел бы сосредоточить внимание на чистых помещениях. Чистое помещение — это герметичная зона, в которой контролируются параметры чистоты, влажности, температуры. Чем выше класс чистоты, тем жестче контроль параметров.

Общая площадь реконструкции составила более 800 м², включая чистые помещения различных классов чистоты от ИСО-8 до ИСО-6 порядка 600 м².

Производственные помещения в зависимости от назначения разбиты на участки. Производство спроектировано таким образом, чтобы передвижения персонала по производству были сведены к минимуму без потери функциональности технологического процесса, ведь, как известно, основной источник загрязнения в помещениях — это человек, и чем больше он передвигается, тем больше излучает загрязняющих частиц.

На производстве организовано строгое зонирование при помощи системы контроля доступа. Каждый работник имеет индивидуальный пропуск с установленными правами доступа именно на те участки производства, в которых он непосредственно работает, то есть он не сможет попасть в ту часть производства, к технологическому процессу в которой он не имеет отношения.

Для передачи изделий между участками и для пополнения запасов материалов со складов в помещениях организованы передаточные окна с системой звуковой сигнализации. Такое окно представляет собой небольшую герметичную камеру, встроенную в перегородку между помещениями и имеющую дверцы с обеих сторон: открывается дверца, внутрь камеры кладутся необходимые материалы, и только после того, как дверца с противоположной стороны будет закрыта (иначе сработает звуковая сигнализация), сотрудник может забрать положенные материалы. Такой принцип передачи позволяет свести к минимуму загрязнения, связанные с переносом материалов из одного помещения в другое.

Во всех помещениях также установлены переговорные устройства из нержавеющей стали, встроенные в стену, каждому из них присвоен свой номер. Переговорные устройства позволяют связываться с любым участком на производстве, не имеют никаких съемных частей, а по внешнему виду и принципу работы похожи на традиционный домофон.

В каждом ЧПП, помимо датчиков температуры и влажности, дополнительно установлена независимая система мониторинга параметров микроклимата и влажности со встроенным GSM-модулем.

Рис. 7. Участок сборки и корпусирования





Рис. 8. Датчики микроклимата и влажности



Рис. 9. Рабочее место, оборудованное ультразвуковым микроскопом

Рис. 10. Переговорное устройство



В «серой», не нормируемой по классу чистоты, зоне есть помещение диспетчерской или серверной с оборудованным компьютером рабочим местом, где, благодаря установленным во всех ЧПП камерам видеонаблюдения, можно контролировать производственный процесс. Камеры оснащены датчиками движения и ведут архивную видеосъемку с записью данных на сервер.

В качестве дополнительного бонуса мы установили программу для удаленного управления системой вентиляции и кондиционирования воздуха, системой холодоснабжения. При желании можно, не вставая с рабочего места, настроить необходимые параметры климатики в помещениях, увидеть ошибки систем, посмотреть параметры теплоносителя, температуру наружного воздуха и многое другое. При подключении данного рабочего места к Интернету в случае необходимости можно проводить диагностику смонтированных систем дистанционно.



Рис. 11. Общий вид (коридор)

В каждом ЧПП, помимо датчиков температуры и влажности, используемых системой вентиляции для автоматического поддержания заданных параметров, дополнительно установлена независимая система мониторинга параметров микроклимата и влажности со встроенным GSM-модулем, которая круглосуточно передает СМС-сообщения на заданные номера телефонов при отклонении параметров на определенную величину, что позволяет контролировать параметры среды, даже не находясь на предприятии. Кроме того, датчики загрязнения фильтров также выведены в диспетчерскую и сигнализируют о необходимости замены фильтра. Там же находятся датчики пожарной сигнализации с номерами контролируемых помещений. Пожарная сигнализация в цехе микроэлектроники, в свою очередь, подключена к центральному пожарному пульту предприятия, на который дублируется информация в случае пожара в цехе микроэлектроники.



Рис. 12. Газовые коммуникации





Рис. 13. Участок химической обработки
(гальваники)



Рис. 14. Компьютерное оборудование
диспетчерского помещения



Рис. 15. Установка деионизации воды

На участках, где используются газы, в том числе азот, установлены датчики кислорода, отображающие содержание кислорода в воздухе.

Помимо нормированных помещений, для организации жизнедеятельности участка предусмотрены дополнительные помещения: раздевалка для верхней одежды, санузлы, включающие душевые кабины. Проходя через санузлы, сотрудники входят в раздевалки для «чистого» переодевания, где надевают соответствующую классу чистоты одежду и обувь, и далее, через обдувочный шлюз, проходят в чистую зону.

При реализации данного проекта, отталкиваясь от нашего опыта и в соответствии с существующими стандартами и нормами, мы постарались учесть все нюансы и пожелания непосредственного заказчика, чтобы на новом производстве работалось комфортно, а главное — безопасно. 🇷🇺



Рис. 16. Участок фотолитографии



Рис. 17. Аварийный душ на участке химической обработки



Ручные и полуавтоматические установки совмещения-экспонирования серии AG500:

- Оптимальное решение для пластин 60×48 мм и полупроводников 2"–6" при разрешении до < 0,8 мкм
- Универсальная оснастка для образцов и шаблонов
- Автоматическое выравнивание образца параллельно шаблону
- Удобство работы оператора: моторизованная видеосистема и джойстик (для версии -ST)
- Массивное основание для защиты от вибраций (для версии -ST)
- Низкая цена и стоимость эксплуатации

Отраслевой интегратор

Санкт-Петербург / Москва / Нижний Новгород / Екатеринбург
www.dipaul.ru / micro.dipaul.ru / micro@dipaul.ru / тел. (812) 702-12-66

Сделано в Германии

Технологические новшества в области разработки и производства систем графаретной печати от компании EKRA



Дмитрий Иванов, коммерческий директор
АО «Диполь Технологии»
ivanov@dipaul.ru

Компания EKRA (Германия) основана в 1946 г. Являясь частью группы предприятий ASYS, на протяжении десятилетий EKRA была и остается технологическим лидером в разработке и производстве систем трафаретной печати. Портфель оборудования компании чрезвычайно широк: ручные, полуавтоматические и полностью автоматические системы трафаретной печати применяются как в небольших лабораториях, так и на глобальных производствах. Слоган «Сделано в Германии» не просто сопровождает предприятие на протяжении последних 35 лет, но и подтверждается высочайшей степенью точности и надежности производимых систем трафаретной печати.

За годы своего существования EKRA разработала и вывела на рынок большое количество технологических новинок в области трафаретной печати. В данной статье мы расскажем о наиболее интересных, на наш взгляд, технологиях, используемых в принтерах EKRA.

Пневматическая головка печати с обратной связью и пневматическим управлением

Все автоматические трафаретные принтеры EKRA, включая базовые конфигурации, поставляются с двумя независимыми пневматическими головками печати, в конструкции которых применены специальные пневматические цилиндры с низким коэффициентом трения. Обе печатающие головки имеют 100%-й замкнутый контур и контролируются с помощью высокоточного пропорционального воздушного клапана, который гарантирует постоянный уровень давления ракеля в течение всего процесса печати. Эту технологию в компании EKRA называют «плавающий ракель», и означает она то, что печатающая головка может компенсировать вариации в толщине печатной платы. Давление печати регулируется автоматически программным обеспечением и не требует дополнительных корректировок со стороны оператора.



Рис. 1. Новейший автоматический трафаретный принтер SERIO 4000

Пользовательский интерфейс SIMPLEX

SIMPLEX — совершенно новый уникальный пользовательский человеко-машинный интерфейс (HMI) для управления сложным технологическим оборудованием. В его основе лежит сенсорный дисплей с технологией Multi-touch, «понимающий» и обрабатывающий несколько касаний одновременно. Данный HMI позволяет интуитивно понятно осуществлять программирование установки, настройку зон автоматической инспекции, обучение считыванию реперных знаков и т. д. В результате время подготовки машины к работе сокращается на 15%, что, согласитесь, весьма существенно в условиях реального производства. Пользовательский интерфейс SIMPLEX был представлен в 2013 г. и сразу же завоевал престижную премию NPI AWARDS. С помощью данной технологии управлять сложным технологическим оборудованием не труднее, чем смартфоном на базе ANDROID или iOS.

Видеосистема позиционирования EVA

Сердцем всех автоматических принтеров EKRA является запатентованная система технического зрения EVA (EKRA VISION ALIGNMENT). Она состоит из двух CCD-камер высокого разрешения, выполненных в едином корпусе. Камеры осуществляют считывание реперных знаков для последующего совмещения печатной платы и трафарета, причем для этого используются два независимых программируемых источника освещения: направленный и рассеянный свет. Благодаря им, камера распознает объекты даже с чрезвычайно низкой контрастностью. Совмещение происходит над столом принтера, и вся система камер зафиксирована на оси X/Y. Это обеспечивает высочайшую точность камеры в ± 1 мкм. Три регулятора по осям для совмещения на столе принтера имеют разрешение 0,5 мкм, что в совокупности гарантирует максимальную точность и повторяемость процесса.



Рис. 2. Пневматическая головка печати с обратной связью



Рис. 3. Сенсорный дисплей с технологией Multi-touch делает управление принтером не труднее, чем смартфоном на базе ANDROID или iOS

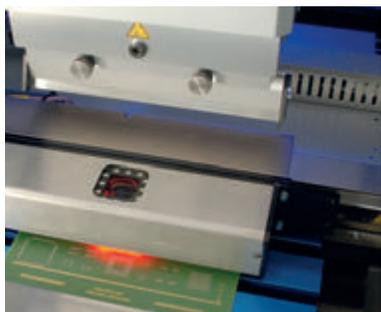


Рис. 4. Видеосистема EVA на базе двух CCD-камер

Система оптической инспекции качества нанесения 2 1/2 D

С одной стороны, система оптической инспекции контролирует трафарет на наличие остатков пасты в аперттурах до того момента, когда они могут повлиять на результат печати, с другой стороны — сразу же после процесса печати система оптической инспекции проверяет отпечаток на наличие пасты на контактных площадках и определяет возможные замыкания.

Функция контроля трафарета обеспечивает отсутствие заблокированных апертур в течение процесса производства. Если система обнаруживает заблокированную аперттуру, автоматически запускается программа очистки трафарета, а затем повторно проводится инспекция, чтобы удостовериться в отсутствии проблемы.

После процесса нанесения система проверяет наличие пасты на контактных площадках и наличие замыканий. При этом используются два различных типа освещения, как и в системе позиционирования: прямой и рассеянный свет. Паста отражает свет по-разному под действием двух различных систем освещения, и на основании полученных отраженных сигналов генерируется объемное изображение отпечатка (отсюда и название системы 2 1/2 D). Все данные по отраженным сигналам сводятся в гистограмму, с которой сравнивается каждая напечатанная плата, что помогает быстро вычислить наличие дефектов.

Следует уделить внимание тому, как просто осуществляется программирование автоматических трафаретных принтеров EKRA. Во время процесса программирования оператор определяет наиболее критичные места на печатной плате и позиционирует камеру соответственно. Система сканирует и запоминает аперттуры чистого трафарета и генерирует так называемый тестовый шаблон, проецируемый на печатную плату. При этом трафарет и программа инспекции генерируются за один шаг! Подключение к каким-либо библиотекам и использование CAD-данных при этом не требуется. Тип инспекции трафарета и платы с легкостью может быть определен оператором.

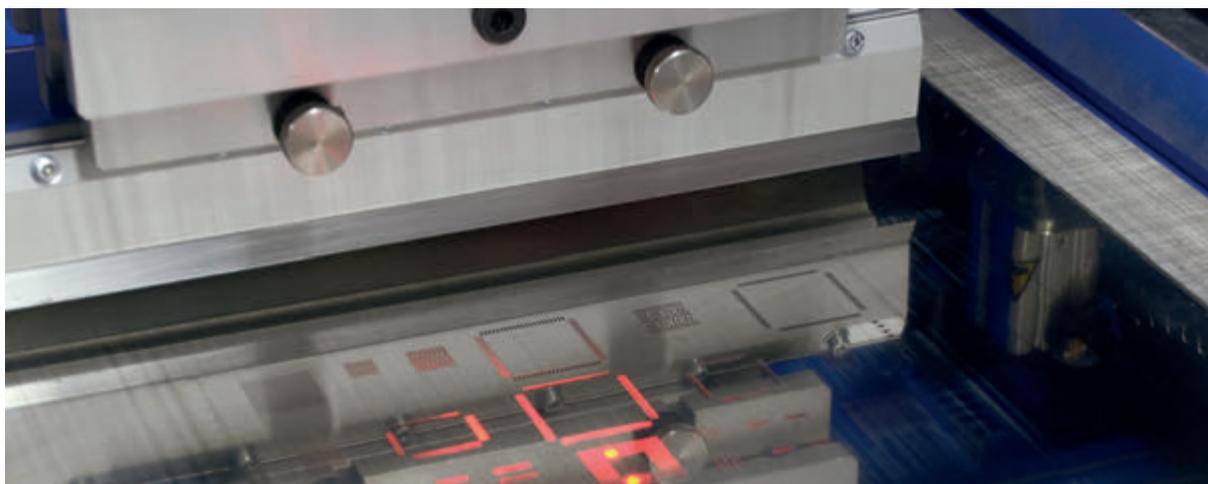


Рис. 5. Инспекция трафарета на наличие загрязнения апертур

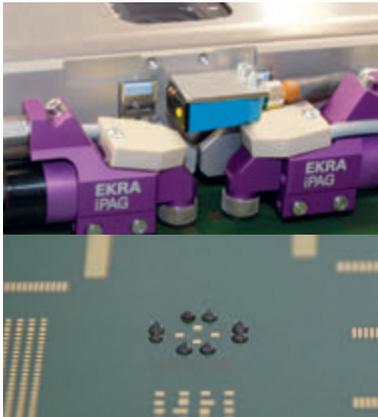


Рис. 6, 7. Нанесение пасты с помощью встроенного в принтер дозатора

Встроенный капле струйный дозатор IPAG JET

Еще одной уникальной новинкой в автоматических трафаретных принтерах EKRA является встроенный капле струйный дозатор. Если встроенные дозаторы на основе шнека известны достаточно давно, то капле струйная технология применена впервые в отрасли.

Капле струйный дозатор IPAG JET способен дозировать 20 точек клея диаметром 500 мкм всего за 6 с. Новый капле струйный дозатор не требует особого обслуживания и даже позволяет оставлять тюбик с пастой в машине, если предполагается не использовать систему в течение нескольких дней, без опасности засыхания пасты. Капле струйная технология является бесконтактной. С помощью нее можно наносить клеящие точки диаметром 0,5 мм примерно вчетверо быстрее, чем со стандартным шнековым дозатором. Это обеспечивает гораздо более широкое окно процесса.

Системы транспортировки и прижима печатных плат

Во всех автоматических трафаретных принтерах EKRA уже в стандартной конфигурации включены две системы прижима платы: боковой прижим и прижим сверху за кромку (рис. 8).

Для плат с толщиной более 1 мм, как правило, лучшим вариантом выбора является система бокового прижима. В таком случае плата зажимается между передним неподвижным рельсом конвейера и задним подвижным. Давление прижима может регулироваться в ручном режиме. При этом плата и система прижима находятся на одном уровне, а значит, можно без проблем наносить пасту у самой кромки и в углах печатной платы, что в ситуации, когда все стремится к миниатюризации, является несомненным преимуществом.

Для тонких печатных плат рекомендуется дисковая транспортная система (рис. 9), которая заменяет среднюю часть стандартного внутреннего конвейера принтера. Дисковая транспортная система позволяет качественно прижать плату у кромки, что предотвратит ее коробление. Как правило, дисковая система используется в сочетании с системой верхнего прижима. Кроме описанных выше систем транспортировки, также доступны: транспортная система для подложек с высокими абразивными свойствами, транспортная система для тяжелых печатных плат, транспортная система с тремя зонами буферизации для больших объемов производства.

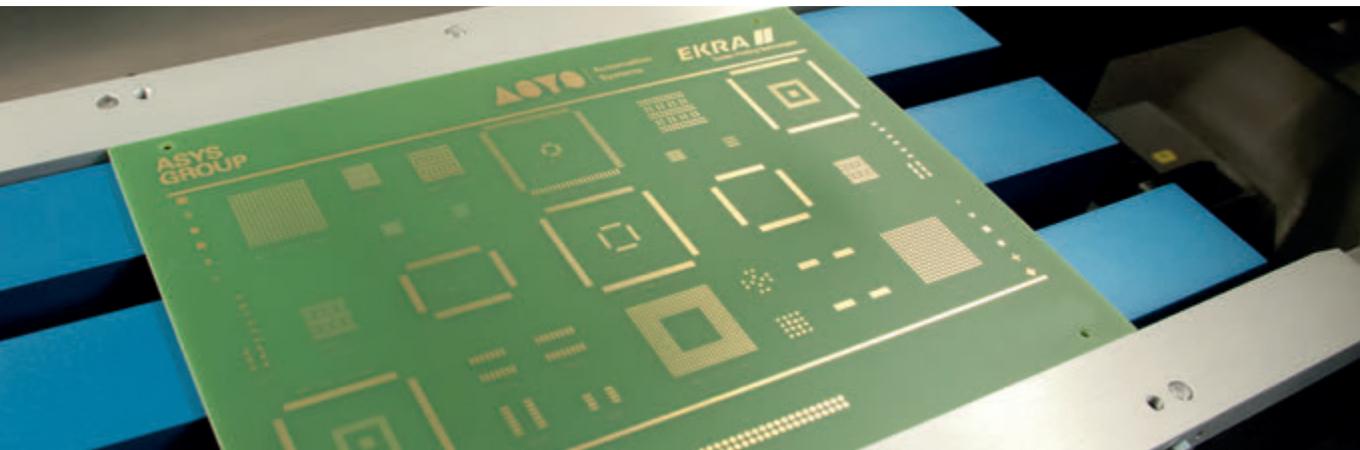


Рис. 8. Стандартная система транспортировки и прижима



Рис. 9. Дисконная транспортная система

Прослеживаемость производственного процесса

Отталкиваясь от все более высоких требований электронной промышленности, предъявляемых к качеству, гибкости и производительности, EKRA предлагает полный набор решений для организации прослеживаемости производственного процесса: начиная с возможности чтения штрих-кода с печатных плат, ракелей, трафаретов, паяльной пасты и так далее для всестороннего контроля и снижения человеческого фактора на этапе подготовки производства и заканчивая сложными решениями увязки оборудования EKRA в единое информационное пространство со сложными системами управления производством MES.

В заключение отметим, что, благодаря своим инновационным решениям, компания EKRA всегда находится на шаг впереди в условиях постоянно меняющейся технологической и конкурентной среды. Каждая опция в системах трафаретной печати EKRA разработана с расчетом на значительное повышение общей эффективности, что в конечном итоге приводит к повышению эффективности и снижению расходов всего предприятия. На сегодня в мире установлено и работает около 8000 систем трафаретной печати EKRA, что позволяет говорить о мировом технологическом лидерстве компании в этой области. 



Рис. 10. Процесс считывания штрих-кода с трафарета

Будь REAL TIME

**Анализ сигнала в реальном времени:
открывающиеся возможности**



Теория Фурье гласит, что любое электрическое явление во временной области состоит из одной или нескольких синусоидальных волн с соответствующими частотами, амплитудами и фазами. То есть, можно преобразовать сигнал во временной области в его эквивалент в частотной области. Измерения в частотной области способны показать, сколько энергии имеется на каждой конкретной частоте.

Во многих случаях частотная область гораздо удобнее для определения гармонического состава сигнала. Те, кто занимаются связью, радиолокацией и радионавигацией, телеметрией, очень заинтересованы в определении внеполосного и паразитного



Никита Болдырев,
руководитель направления
радиоизмерительного оборудования
nb@dipaul.ru

излучения, наличия гармоник несущего сигнала. Инженеры и техники также часто обеспокоены искажением сообщений, транслирующихся с модуляцией несущего сигнала. Интермодуляция третьего порядка (т. е. две составляющие сложного сигнала, модулирующие друг друга) может причинить много хлопот, поскольку компоненты искажения могут попасть в интересующую полосу частот и не будут надлежащим образом отфильтрованы. Устройством для наблюдения за спектром является анализатор спектра или (все более часто употребляемое обозначение для современных приборов) анализатор сигналов (АС). Основными параметрами АС являются:

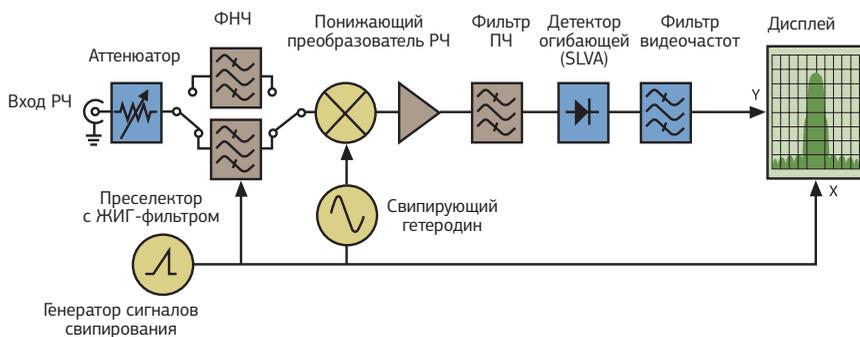


Рис. 1. Структурная схема свирующего анализатора

- частотный диапазон (до 1 ТГц, оборудование компании Keysight);
- чувствительность;
- полоса анализа сигнала (до 1 ГГц, N9040B Keysight);
- точностные характеристики (погрешность амплитудная и фазовая);
- динамический диапазон;
- искажения (в западной литературе используется понятие точки пересечения по интермодуляционным составляющим третьего порядка TOI);
- полоса анализа сигнала.

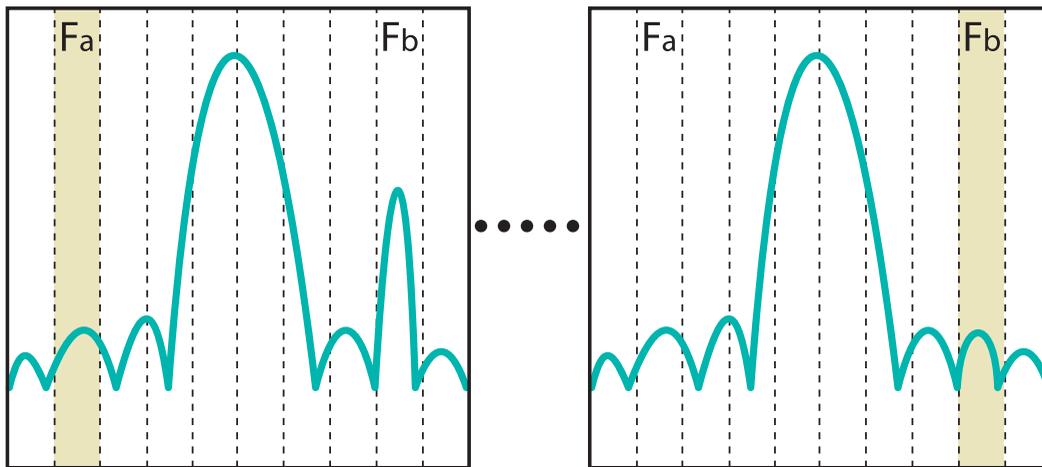


Рис. 2. Свипующий анализатор спектра позволяет просматривать последовательность частотных сегментов

Анализаторы обосновались в терагерцовом частотном диапазоне. Чувствительность и точность — это те параметры, которые перманентно улучшаются. За последнее десятилетие задачи по увеличению полосы и реализации анализа в реальном времени приобрели большую актуальность, и такая тенденция продолжается. Связано это с развитием широкополосных систем связи, радиолокации и РЭБ, с использованием систем со множественным доступом, в которых несущие сигналов меняются во времени. Для детального понимания анализа сигнала в режиме реального времени необходимо рассмотреть эволюцию архитектуры анализаторов сигналов.

Свипующий анализатор спектра

В свипующих анализаторах (рис. 1) зависимость мощности от частоты определяется посредством преобразования исследуемого сигнала с понижением частоты и его свипирования в пределах полосы пропускания фильтра промежуточной частоты (ПЧ), называемой полосой разрешения (RBW). Детектор, включенный за фильтром ПЧ, вычисляет амплитуду на каждой частоте выбранной полосы обзора. Такое решение обеспечивает широкий динамический диапазон, но обладает существенным недостатком: в каждый момент времени амплитуда может быть вычислена только на одной частоте. Данный подход

основан на допущении, что в течение полного свипирования измеряемый сигнал остается практически неизменным. Следовательно, достоверные измерения могут быть получены только для относительно стабильных входных сигналов. При резких изменениях сигнала возможен пропуск некоторых из этих изменений.

Как показано на рис. 2, свипующий анализатор спектра анализирует частотный сегмент Fa, в то время как кратковременное изменение в спектре происходит в сегменте Fb (изображение слева). Когда свипирование достигает сегмента Fb, данное событие прекращается, не будучи обнаруженным (изображение справа). Свипующие анализаторы спектра

не могут надежно регистрировать подобные явления, поэтому при их использовании для исследования радиочастоты сигналов большинства современных средств связи нельзя рассчитывать на высокую производительность. Помимо пропуска кратковременных сигналов, имеется вероятность неправильного представления спектра импульсных сигналов, используемых в современных системах радиосвязи и РЛС. Свирующие анализаторы позволяют получать спектр импульсного сигнала только при многократном свивировании.

Векторные анализаторы сигналов

При анализе сигналов с цифровой модуляцией для получения информации об амплитуде и фазе сигнала необходимы векторные измерения. Упрощенная структурная схема векторного анализатора сигналов (VSA) приведена на рис 3.

Векторный анализатор преобразует входной РЧ-сигнал в цифровую форму в пределах полосы пропускания прибора и записывает в память информацию об амплитуде и фазе преобразованного сигнала, которая

используется цифровым сигнальным процессором для демодуляции, обработки и отображения результатов измерений АЦП. Входящий в состав векторных анализаторов сигналов АЦП оцифровывает широкополосный сигнал ПЧ, после чего преобразование с понижением частоты, фильтрация и детектирование выполняются цифровым способом. Алгоритмы быстрого преобразования Фурье (БПФ) применяются для преобразования из временной области в частотную. Векторный анализатор измеряет параметры модуляции, например деви-

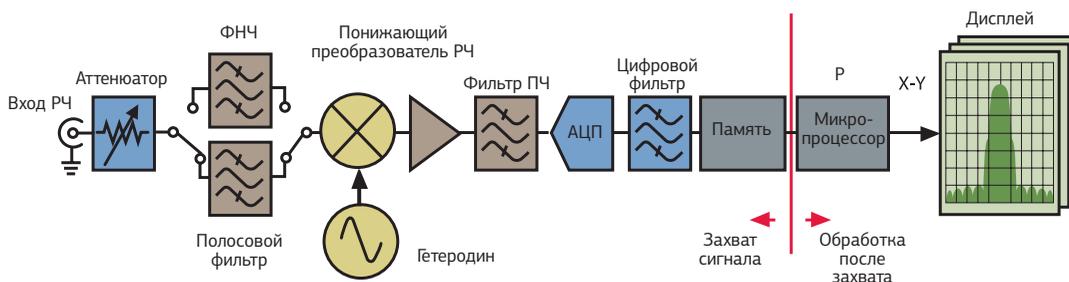


Рис. 3. Векторный анализ спектра

ацию частоты ЧМ-сигнала, мощность в кодовой области, амплитуду вектора ошибки (EVM) и диаграмму созвездий. Кроме того, с помощью векторного анализатора сигналов можно отображать мощность в канале, зависимость мощности от времени и спектрограммы. Несмотря на возможность сохранения осциллограмм в памяти, векторный анализатор имеет ограниченные функции анализа кратковременных переходных процессов. В режиме автоматической развертки, обычном для таких анализаторов, захваченные сигналы перед обработкой должны быть занесены в память. При последовательной обработке пакетов данных прибор не реагирует на события, появляющиеся между моментами регистрации данных. Это затрудняет и даже делает невозможным обнаружение одиночных или редких событий.

Анализаторы спектра реального времени

Термин «реальное время» появился на ранних этапах цифрового моделирования физических систем. Анализ сигналов в режиме реального времени предполагает выполнение операций анализа со скоростью, достаточной для точной обработки всех составляющих сигнала в интересующей полосе частот. Для этого необходимо соблюдение следующих условий:

- частота дискретизации входного сигнала отвечает критерию Котельникова (Найквиста) (частота дискретизации должна минимум в два раза превышать интересующую полосу пропускания);
- все измерения выполняются непрерывно и достаточно быстро, чтобы отслеживать изменения входного сигнала.

Архитектура анализатора спектра реального времени (RTSA) рассчитана на решение проблем, связанных с невозможностью использования свипирующего и векторного анализаторов спектра для анализа динамических РЧ-сигналов и переходных процессов. RTSA анализирует сигнал с применением цифровой обработки сигналов (DSP) перед занесением данных в память, что коренным образом отличается от обработки после захвата сигналов, заложенной в архитектуру векторного анализатора. Обработка в реальном времени позволяет обнаруживать события, которые не могут быть зарегистрированы анализаторами с другой архитектурой, и выполнять запуск по этим событиям, чтобы избирательно сохранять данные в памяти.

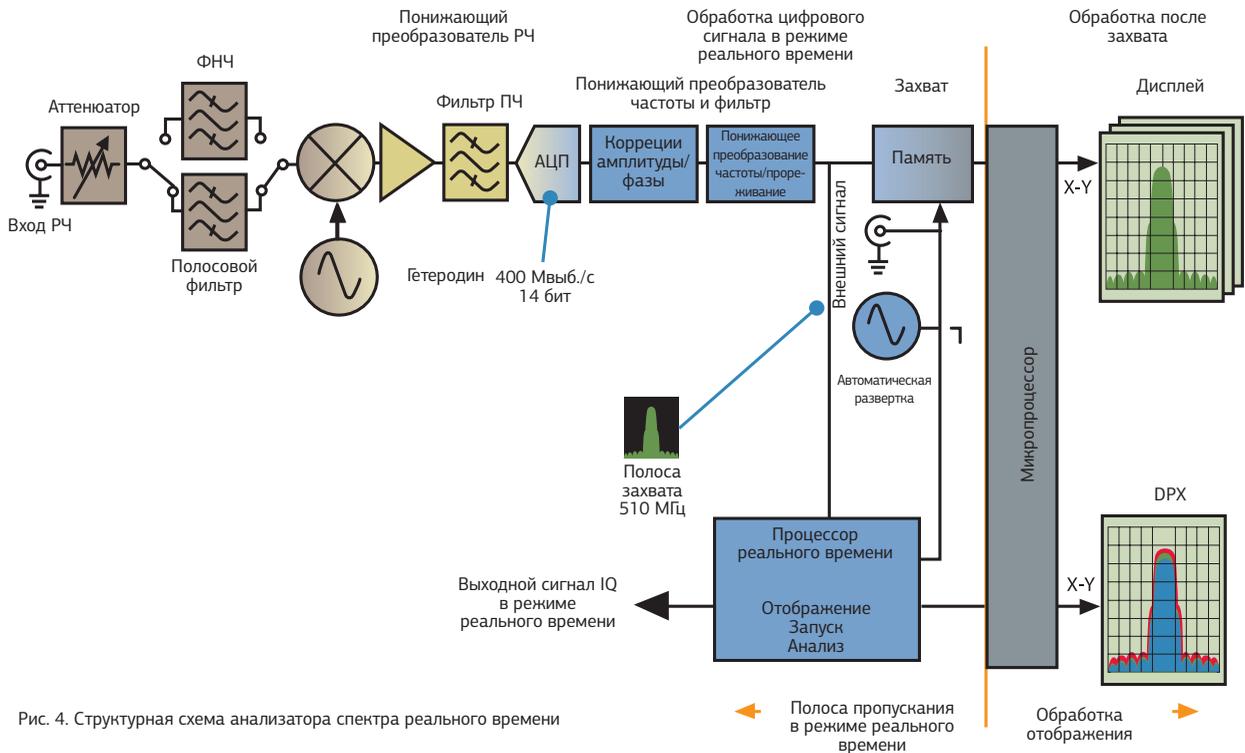


Рис. 4. Структурная схема анализатора спектра реального времени

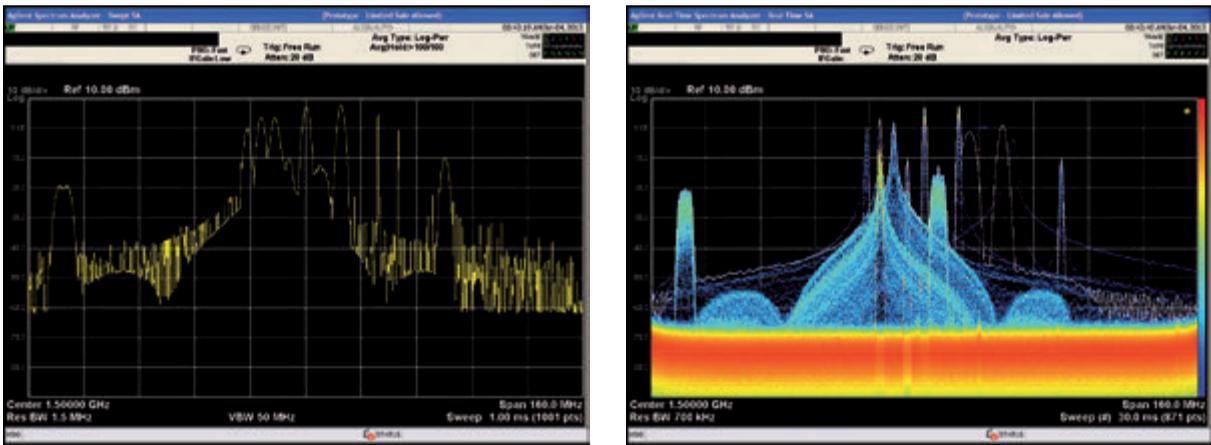


Рис. 5. Спектр сигнала: в свипующем анализаторе (слева) и в реальном времени (справа).

На рис. 5 представлен спектр сигнала в свипующем анализаторе и в реальном времени. Отличие здесь далеко не только в цвете, а в детализации структуры эфира и спектра.

Какие возможности открывает анализ в реальном времени и где он необходим:

- Системы с множественным доступом, в которых несущие информационных сигналов могут менять частоту несколько сотен раз в секунду. ППРЧ (псевдослучайная перестройка рабочей частоты) используется как в военной, так и в гражданской сфере: сигнал, передающийся с использованием данного метода, устойчив к глушению.
- Анализ переходных процессов. Анализ сигнальных аномалий, зачастую позволяющий идентифицировать причину возникновения неисправностей, среди которых могут быть частотные ограничения средств передачи сигналов (когда отфильтровываются высокочастотные составляющие сигнала), неправильная конструкция печатных узлов, трактов передачи сигнала, некорректная работа интегральных и дискретных компонентов.
- Определение характеристик радиолокационных и импульсных сигналов. Радары, работающие в импульсном режиме, передают сигналы в течение очень короткого времени и применяют скачкообразную перестройку частоты. Чтобы зарегистрировать такой сигнал и выставить помеху, необходимо обнаруживать слабые сигналы очень малой длительности.

Таким образом, анализаторы спектра реального времени открывают новую веху в анализе сигналов и позволяют увидеть и детектировать события, которые еще вчера бы остались непознанными. Компания Keysight, будучи одним из лидеров в разработке и производстве анализаторов спектра с полосой анализа в реальном времени до 510 МГц, более чем оправдывает свое новое название (key — «ключ», sight — «зрение», «видение»).

Работа по **НОВЫМ** стандартам

Компания ООО «ДИПОЛЬ-Производство» получила сертификат соответствия международному стандарту системы менеджмента качества ISO 9001:2015



Анастасия Кривова,
заместитель директора по качеству
KrivovaAO@dipaul.ru

С момента своего появления ООО «ДИПОЛЬ-Производство» непрерывно совершенствует внутренние процессы, повышая качество изготавливаемой продукции. Закономерным следствием такого подхода стало получение в 2010 г. сертификата соответствия ISO 9001:2008. Внедрение системы менеджмента качества ISO 9001 осуществлялось в рамках всего производственного процесса, включая сопутствующие подразделения. А регулярные внутренние и внешние проверки обеспечили независимую оценку системы менеджмента качества.

В сентябре 2015 г. Международная организация по стандартизации приняла пятую редакцию стандарта ISO 9001. Сотрудники компании «ДИПОЛЬ-Производство» приняли к сведению внесенные изменения и разработали требуемые нормативные документы. Так, в течение года была приобретена и внедрена в производственный процесс опτικο-волоконная установка лазерной резки, расширены возможности технологии гибки, оптимизирован ряд технологических процессов, расширен штатный состав компании, а также разработано и доработано свыше тридцати локальных нормативных документов в области охраны труда и качества. В начале 2017 г. Ассоциация по сертификации «Русский регистр» провела независимый аудит компании, результатом которого стало получение сертификата соответствия, отвечающего установленным требованиям международного стандарта ISO 9001:2015.

В настоящее время мы ведем непрерывный мониторинг производственного процесса и контроль качества на всех этапах изготовления продукции. Руководители подразделений и специалисты компании проходят регулярное обучение в области охраны труда, а также контроля и улучшения качества изготавливаемой продукции. По итогам каждого года проводится «День охраны труда и качества». В компании введена система поощрений за качество изготавливаемой продукции.



Благодаря внедрению стандарта ISO 9001 в «ДИПОЛЬ-Производство» выстроена эффективная система управления всем производственным процессом, что оказало дополнительный положительный эффект по ряду направлений:

- повышение качества производимой продукции;
- сокращение сроков изготовления заказов;
- повышение степени удовлетворенности потребителей;
- повышение эффективности производства;
- уменьшение числа ошибок в процессе производства;
- углубление знаний персонала в области качества;
- повышение уровня удовлетворенности персонала.

Как следствие, стали возможными расширение ассортимента и рынка сбыта изготавливаемой продукции.

Кроме того, использование системы менеджмента качества ISO 9001 привело к обострению риск-ориентированного мышления: компетентными специалистами компании анализируются все потенциальные несоответствия и факторы, приводящие к отклонениям от запланированного процесса; заблаговременно внедряются корректирующие и предупреждающие мероприятия для минимизации негативных последствий. Как следствие, усовершенствован ряд процессов за счет выявления и устранения потерь при осуществлении деятельности.

В соответствии с требованиями международного стандарта, в компании осуществляется непрерывное документирование, контроль, анализ и периодический пересмотр ключевых производственных и управленческих процессов. Таким образом, «ДИПОЛЬ-Производство» демонстрирует прозрачность системы, лучшую управляемость, непрерывное совершенствование своей деятельности с помощью современных инструментов менеджмента качества. 





Шкафы сухого хранения **VIKING** серии DC

- Диапазон поддержания влажности 1–50% с точностью +/- 1 %;
- Полностью антистатическое исполнение, мобильность, 2 цветовых решения на выбор;
- 3 изолированных отделения, возможность установки до 6 дополнительных полок в каждое;
- Удобная система управления с помощью цифровой панели;
- Светодиодная подсветка внутренних отделений шкафа;
- Рациональное энергопотребление и низкий уровень шума;
- Автоматическая функция сигнала открытой двери;
- Обеспечение класса защиты IP55 от внешних воздействий.

Отраслевой интегратор

Санкт-Петербург / Москва / Нижний Новгород / Екатеринбург
www.dipaul.ru / micro.dipaul.ru / micro@dipaul.ru / тел. (812) 702-12-66



САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

Россия,
197101, Санкт-Петербург,
ул. Рентгена, д. 5б

Тел./факс: (812) 702-12-66
E-mail: info@dipaul.ru

МОСКВА

Россия,
127254, Москва,
Огородный проезд, д. 20, стр. 1

Тел./факс: (495) 645-20-02
E-mail: msk@dipaul.ru

НИЖНИЙ НОВГОРОД

Россия,
603057, г. Нижний Новгород,
пр. Гагарина, д. 50, корпус 15, офис 106/2

Тел./факс: (831) 464-97-27
E-mail: nnov@dipaul.ru

ЕКАТЕРИНБУРГ

Россия,
620027, Екатеринбург,
ул. Азина, д.24, офис 609

Тел./факс: (343) 227-12-66
E-mail: ekb@dipaul.ru

ПРАГА

Czech Republic,
150 00 Prague 5,
Plzenska 155/133

Tel./fax. +420 2 5573 9633
E-mail: info@dipaul.eu



info@dipaul.ru
www.dipaul.ru

ЭКСПЕРТ+
ЗНАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ИННОВАЦИИ