

# Взаимосвязь процессов проектирования, технологической подготовки и изготовления радиоэлектронных устройств

**Выявление, анализ и адаптация удачного стороннего опыта формирования взаимосвязей между различными ключевыми процессами — важнейшие стратегические задачи предприятия. Все это необходимо для эффективного функционирования предприятия. С этой целью вниманию читателей представлена взаимосвязь процессов проектирования, технологической подготовки и изготовления радиоэлектронных устройств.**

**Виталий Соседко**

vvs1976@yandex.ru

Производство изделий на промышленном предприятии требует выполнения ряда обязательных условий: наличие конструкторской (проектной) документации (это может быть собственная разработка либо сторонний заказ), проведение обработки поступающей документации, осуществление технологической подготовки (для каждого предприятия этот этап специфичен и зависит от имеющихся технологии и оборудования) и непосредственно изготовление. Каждый из этапов можно разбить на достаточно большое количество подэтапов. От того, насколько

технологичны, качественны и организованы эти этапы, зависят сроки изготовления, качество и, соответственно, цена выпускаемого продукта, что непосредственно влияет на получение прибыли производителем [1].

Рассмотрим кратко процесс в целом (рис. 1), а затем каждый из этапов в отдельности. Рассматриваемый вариант можно считать идеальным, на разных предприятиях могут быть отступления в сторону уменьшения количества операций или исполнителей. Этапы могут быть разнесены либо вообще выполняться разными организациями.

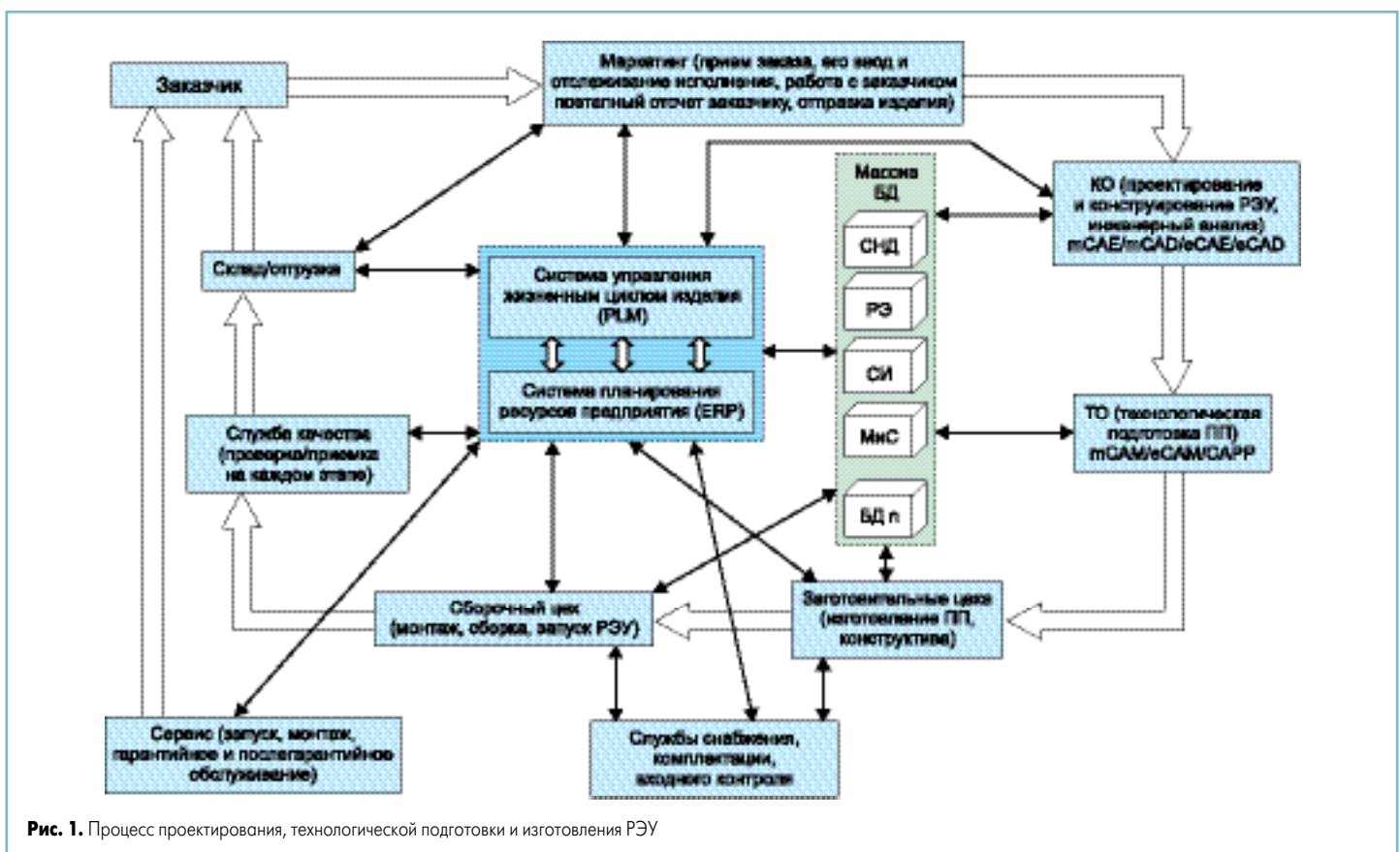


Рис. 1. Процесс проектирования, технологической подготовки и изготовления РЭУ

Заказчик размещает на предприятии заказ на изготовление радиоэлектронных устройств (РЭУ). При этом служба маркетинга вносит в систему управления жизненным циклом изделия (СУЖЦИ — в данном случае PLM-систему) все необходимые данные о заказе и инициирует процесс проектирования, впоследствии отчитываясь заказчику по каждому этапу. Все участники процесса — конструкторский отдел (КО), технологические и сборочный цех, службы качества, снабжения, комплектации и входного контроля — узнают об этом и получают соответствующие задания.

Конструкторский отдел ведет разработку РЭУ в системах автоматизированного проектирования (САПР) — «электронных» (Electronic CAD, eCAD) и «механических» (Mechanical CAD, mCAD) и системах автоматизации инженерных расчетов (eCAE/mCAE-системах), используя массив баз данных (БД). Этот массив содержит следующие единые централизованные БД — электронные справочники:

- систему нормативной документации (СНД) — это справочная система, содержащая ГОСТ, ОСТ, СТП, технические условия и другие нормативные документы предприятия;
- справочник радиоэлементов (РЭ) — набор библиотек eCAD с программной оболочкой для проведения поиска, применения и просмотра справочной информации о РЭ;
- библиотеки стандартных изделий (СИ) — набор библиотек mCAD, справочник материалов и сортоватов (МиС) — для применения в mCAD и др.

Результаты проектирования размещаются в PLM-системе в виде электронной структуры изделия с готовыми проектами и документами. При этом автоматически формируется отчет о выполнении этапа и происходит переход к следующему этапу, сопровождаемый выдачей задания следующему исполнителю — ТО.

Технологический отдел осуществляет технологическую подготовку изготовления РЭУ (конструктива, печатной платы (ПП), монтажа и сборки изделия) с применением соответствующих систем технологической подготовки (eCAM/mCAM) и автоматизированной системы технологической подготовки производства (АСТПП, в международной классификации — SAPP). По завершении данного этапа автоматически формируется отчет о его выполнении, а в PLM-системе размещаются соответствующие документы.

Заготовительные, а затем и сборочный цеха приступают к работе. К этому времени службы снабжения и комплектации на основе данных из PLM-системы, транслируемых в автоматизированную систему управления предприятием (АСУП), в международной классификации называемую ERP-системой (Enterprise Resource Planning — система планирования ресурсов предприятия), осуществляют своевременное приобретение материалов и комплектующих согласно графику производства. Служба входного контроля проверяет их и через склад выдает цехам. Информация об этом передается в ERP-систему, а отчет о выполненных работах — в PLM-систему. Готовая продук-

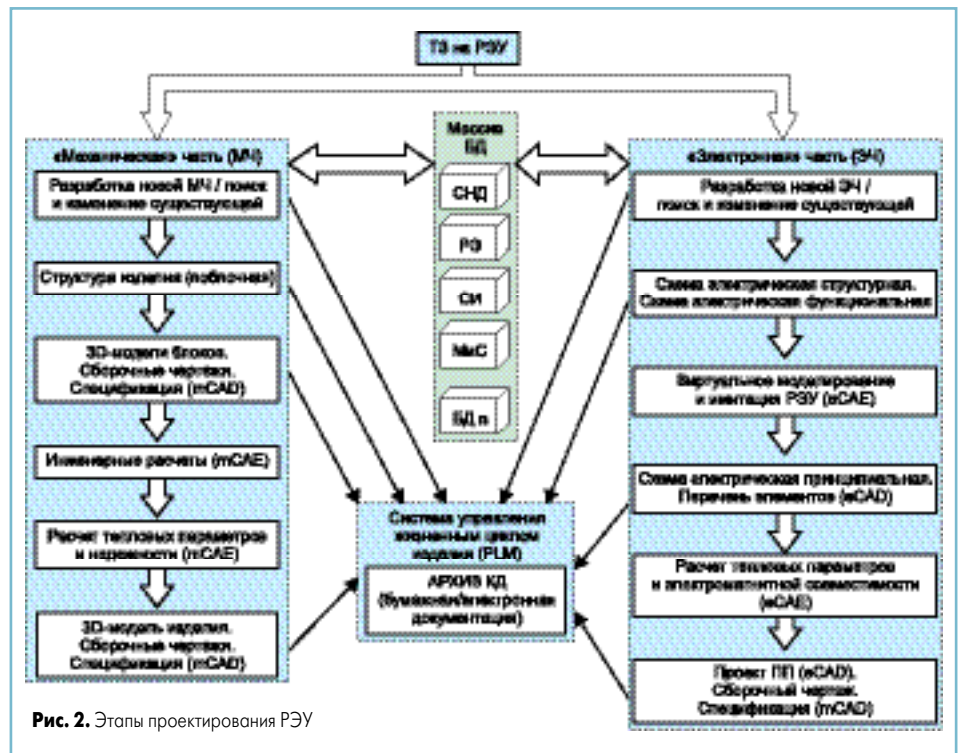


Рис. 2. Этапы проектирования РЭУ

ция из заготовительных цехов передается в сборочный цех с обязательной отметкой о выполнении своего этапа. В сборочном цехе осуществляется монтаж, сборка и запуск готовых изделий. На каждом этапе служба качества контролирует процесс выполнения. Эта информация отражается в PLM-системе.

После сдачи в сборочном цехе службе качества РЭУ передается на склад готовой продукции либо сразу отгружается заказчику. Информация о номере изделия и составляющих РЭУ блоков передается в PLM-систему для отслеживания жизненного цикла изделия с указанием, куда поставлен заказ. Впоследствии служба сервиса использует эти данные при запуске, монтаже, гарантийном и послегарантийном обслуживании.

Проектирование (рис. 2) начинается с формирования и утверждения технического задания (ТЗ), затем разработка ведется по двум профилям, условно названным «механический» и «электронный». Прорабатывается вопрос создания новой механической и электронной составляющих РЭУ либо поиск и изменение имеющихся образцов изделий с учетом ТЗ. Поиск информации ведется в архиве бумажных и электронных документов PLM-системы. После принятия решения происходит следующие процессы.

- Для механической части (МЧ):

Прорабатывается конструкция изделия, формируется блочная структура, в mCAD-системе проектируются 3D-модели блоков, по ним при условии сквозного проектирования автоматизированным способом выполняются сборочные чертежи и спецификации. При этом происходит постоянное обращение к массиву БД, содержащему необходимую для проектирования информацию. В системе mCAE проводятся инженерные расчеты тепловых параметров и надежности. Готовые блоки в mCAD-системе собираются в 3D-модель из-

делия, после этого создаются сборочные чертежи и спецификации. Все эти документы размещаются в PLM-системе в виде электронной структуры изделия.

- Для электронной части (ЭЧ):

Формируются электрическая структурная и электрическая функциональная схемы РЭУ. В eCAE-системе проводится виртуальное моделирование, имитация РЭУ и выбор элементной базы, результатом чего является спроектированная в eCAD-системе электрическая принципиальная схема и выполненный автоматизированным способом перечень ее элементов. Эта схема транслируется в проект ПП, где проводится размещение РЭ в планируемом контуре (по передаваемым из mCAD-системы данным о геометрии контура либо по оговоренным размерам) и трассировка топологии печатных проводников. В процессе подготовки окончательного варианта проекта ПП в eCAD-системе параллельно производится расчет тепловых параметров и электромагнитной совместимости в специализированной eCAE-системе. Окончательный вариант проекта ПП из eCAD-системы транслируется в mCAD-систему для формирования 3D-модели печатного узла с установленными РЭ, сборочного чертежа и спецификации на него. Эти документы размещаются в архиве предприятия в электронной структуре изделия в соответствующих разделах.

Описанный этап предусматривает разработку проектов РЭУ с применением систем автоматизации инженерных расчетов (CAE) и автоматизированного проектирования (CAD). Результатом становятся электрическая принципиальная схема, перечень элементов, проект печатной платы, а также комплект конструкторской документации (КД) и 3D-моделей изделия.

Этап технологической подготовки (рис. 3) ориентируется на конкретное оборудование изготовителя ПП и конструктива. Вначале

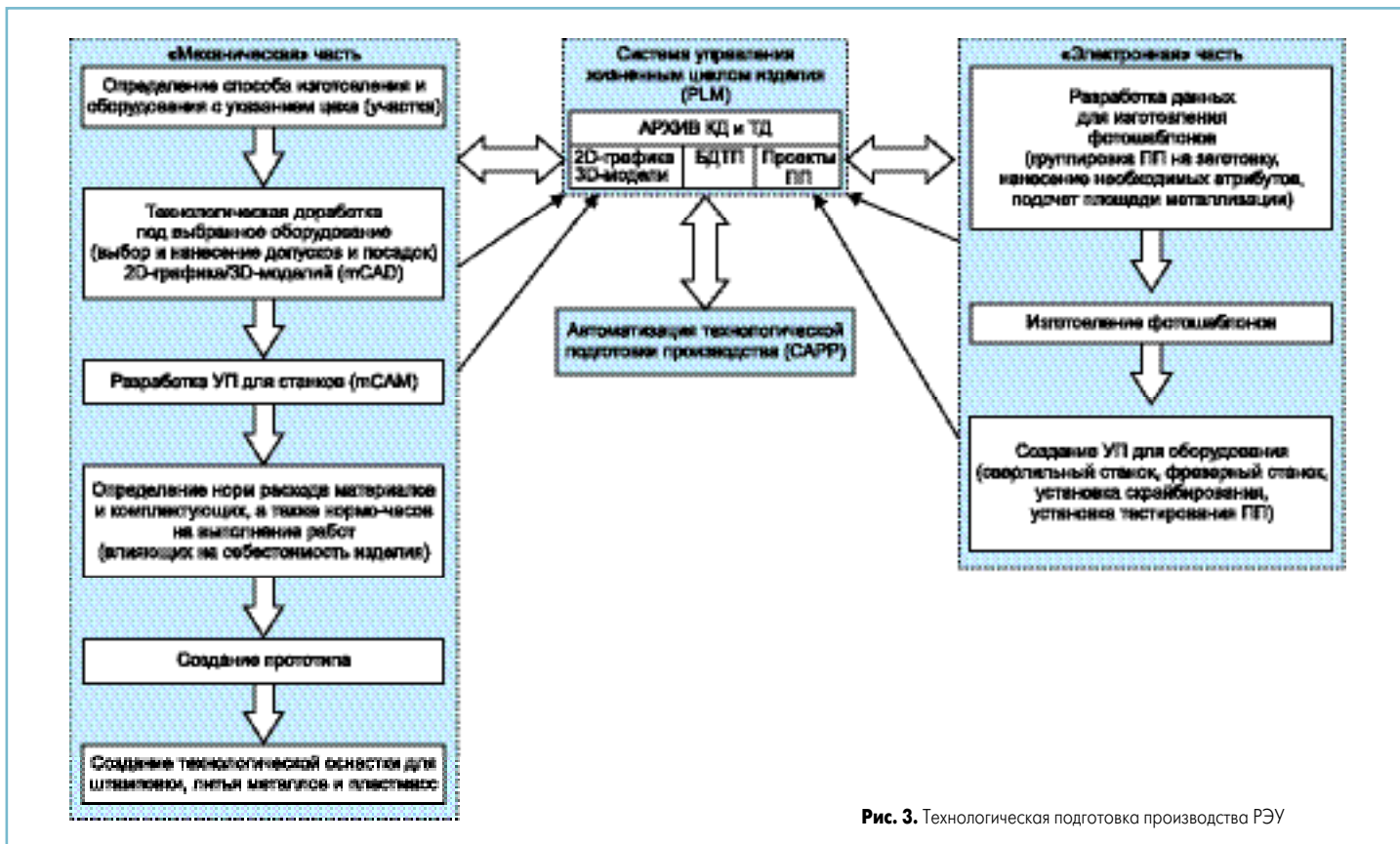


Рис. 3. Технологическая подготовка производства РЭУ

определяется способ изготовления и оборудование для изготовления составных частей изделия. Выписываются заявки на проектирование и изготовление оснастки.

• Для механической части:

В зависимости от того, на каком станке и каким способом будет выполняться работа (фрезерование, сверление, резка, прессование), на основе данных, выполненных в mCAD-системе, из архива PLM-системы происходит их трансляция в mCAE-систему с добавлением соответствующих технологических допусков и посадок. После этого для определенного оборудования с применением соответствующего постпроцессора (программного модуля, предназначенного для преобразования управляющей траектории в управляющую программу) подготавливается управляющая программа (УП). Полученные УП размещаются в PLM-системе в архиве технологической документации (ТД) для доступа к ним оператора оборудования. Рассчитываются нормы расхода материалов и комплектующих, а также норма-часы на выполнение работ (влияющих на себестоимость изделия). На основе 3D-модели создается прототип конструктива (собственными силами либо у стороннего исполнителя) по технологии, выбранной с учетом применяемого материала (полностью подходящего по свойствам аналога), предъявляемых требований (работающий экземпляр либо выставочный образец) и стоимости материала и выполняемых работ [3]. Создается технологическая оснастка для штамповки либо литья металлов или пластмасс [4].

• Для электронной части:

В eCAM-системе (либо программном модуле для системы eCAD) производится разработка

данных для изготовления фотошаблонов: группировка (мультиплицирование) ПП на планируемую заготовку с заданным типоразмером, нанесение необходимых атрибутов (реперных знаков, фоторамок, текстовых данных), подсчет площади металлизации, необходимой для задания точных параметров работы оборудования цеха — изготовителя ПП, создание УП для оборудования (сверлильный станок, фрезерный станок, установка скрайбирования, установка тестирования ПП), изготовление фотошаблонов ПП на установке типа LaserGraver [2] либо фотоплоттере. Созданные данные и УП размещаются в PLM-системе для оперативного доступа к ним операторов оборудования. Готовые фотошаблоны (слоев топологии, защитной маски и маркировки) передаются в цех — изготовитель ПП. Разрабатываются УП для оборудования автоматизированного монтажа РЭ на ПП [5] и для установки тестирования готовых печатных узлов [6].

Для каждого направления проводится автоматизация технологической подготовки производства в SAPP-системе [7]. При этом в PLM-системе происходит работа (редактирование и пополнение) с базой данных технологических процессов (БДТП).

На этапе изготовления РЭУ можно выделить основные подэтапы (рис. 4).

• Для механической части:

Составные части корпуса РЭУ (боковые и задняя стенки, крышки, лицевая панель, стандартные изделия, крепеж) в зависимости от выполняемых технологий (сверловка, фрезеровка, токарная обработка, резка, прессование, гибочные работы, сварка) изготавливаются на соответствующем оборудовании. Производится сборка конструктива.

• Для электронной части:

Изготавливается ПП (сверление отверстий, фрезеровка, нанесение фоторезиста, травление, скрайбирование). В зависимости от оснащения оборудованием и владения соответствующими технологиями проводится тестирование заготовки с ПП, автоматизированный монтаж радиоэлементов (нанесение паяльной пасты, установка РЭ, оплавление ПП в печи) и тестирование готового печатного узла (ПУ). При этом возможен как простой схемный контроль, так и функциональный, с проверкой не только дискретных РЭ, но и сложных микросхем и полупроводниковых приборов.

Функционирующий печатный узел монтируется в выполненный на соответствующем оборудовании корпус блока (изделия). УП для выполнения работ на оборудовании доступны операторам непосредственно на рабочих местах из PLM-системы. Происходит окончательный запуск производства и настройка необходимых контрольных параметров. Изделие проходит ряд испытаний, после чего предъявляется заказчику на месте либо транспортируется на склад или сразу отгружается на место поставки. Информация о выполнении каждого этапа фиксируется в PLM-системе с указанием номеров изделия, блоков, субблоков. Впоследствии эти данные необходимы для проведения сервисной деятельности — запуска, монтажа, гарантийного и послегарантийного обслуживания.

Описанное взаимодействие процессов проектирования, технологической подготовки и изготовления РЭУ предполагает наличие на предприятии внедренных систем: управления жизненным циклом изделия, управления производством, автоматизированного проектирования, автоматизации инженерных расчетов,



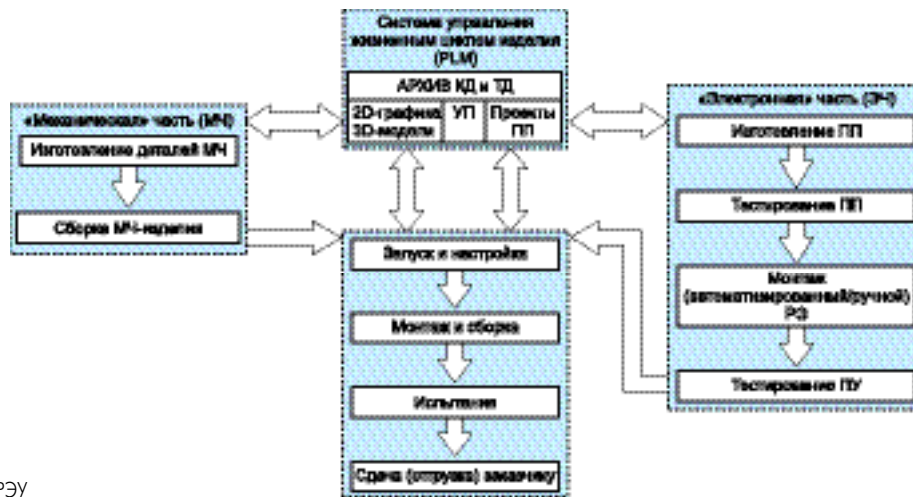


Рис. 4. Этапы изготовления РЭУ

технологической подготовки и автоматизации технологической подготовки производства. Помимо самих указанных систем, необходимы актуальные единые справочники и базы данных, применяемых при проектировании компонентов (РЭ, СИ, МиС, ТП), а также справочно-нормативной документации. Для непосредственного изготовления РЭУ необходимы соответствующие высокотехнологичные станки и оборудование (если не рассматривать альтернативный вариант — контрактное производство у сторонних исполнителей). Таким образом, комплексный подход к организации взаимодействия всех ключевых служб при их своевременном и полном обеспечении необхо-

димыми инструментарием и базами данных, работающих в едином сквозном цикле, обеспечит эффективное технологичное производство РЭУ в кратчайшие сроки и с высоким качеством. ■■■

#### Литература

1. Кунву Ли. Основы САПР CAD/CAM/CAE. СПб.: Питер, 2004.
2. Машины LaserGraver4000S. Руководство оператора. Версия 1.7. 2002.
3. Савельев Е. Воспользуйся инструментами мастера — придай идее объем, или 3D-прототипирование сегодня // САПР и графика. 2011. № 2.
4. PlaceAll 6.00 Руководство по эксплуатации. Fritch GmbH, 2005.
5. Система SPEA 4040 Multimode. Инструкция по эксплуатации. Код 81040464.124. Вып. 1.00. 2008.
6. Полещук В., Рыбаков А., Шишкин А. Проектирование технологической оснастки в Pro/ENGINEER — верное решение // САПР и графика. 2001. № 10.
7. Богуслаев А., Мозговой В., Балушок К., Ясинский Е., Липский Е., Реученко В. Автоматизация технологической подготовки производства ОАО «Мотор Сич» в среде АСПП на базе комплекса TechCARD/Search // САПР и графика. 2009. № 7–8.