

## ЕДИНАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ СРЕДА «РАЗРАБОТКА-ПРОЕКТИРОВАНИЕ-ПРОИЗВОДСТВО» СИСТЕМ СПУТНИКОВОЙ РАДИОНАВИГАЦИИ

Главный инженер – заместитель директора по производству О.Д. Осипов  
Ведущий инженер – руководитель группы САПР М.А. Коновалов  
Ведущий инженер В.В Яриков

Открытое Акционерное Общество  
«Российский Институт Радионавигации и Времени» (ОАО РИРВ),  
193124, Санкт-Петербург, пл. Растрелли 2, [www.rirt.ru](http://www.rirt.ru), [office@rirt.ru](mailto:office@rirt.ru)

В настоящее время организации-разработчики приборостроительной отрасли вынуждены разрабатывать и производить все более сложные изделия и системы с одновременным повышением качества и надежности конечной продукции. Так, сроки разработки навигационной аппаратуры потребителей (НАП) сегодня не должны превышать полутора, максимум двух лет. В таких условиях количество итераций по корректировке КД, практически, сведено к 1. Для соответствия этим требованиям необходимо принципиально менять подходы к организации процессов «разработка-конструирование-производство». В частности, выполнять целый ряд мер, таких как, организация работ на предприятии в соответствии с международными стандартами качества (серия ISO 9000), внедрение CALS-технологий по поддержке всего жизненного цикла изделия (серия ISO 10000, ISO 13000), в основе которых применение современных программно-аппаратных комплексов.

Применение современных программно-аппаратных средств позволяет перейти на новые методы создания НАП. Здесь одним из основных инструментариев разработчика становится САПР по проектированию полузаказных и/или заказных аналоговых, цифровых или комбинированных сверхбольших интегральных схем (СБИС). В арсенале конструктора - переход от использования систем автоматизированного проектирования начального уровня, как своего рода электронных кульманов, - к САПР, обеспечивающих разработку трехмерных параметрических моделей. Автоматизация производства в корне меняет процесс его подготовки и последующего управления.

Непрерывность процессов «разработка – конструирование - производство», а в ряде случаев, возможность параллельной организации труда всех участников, обеспечивается единым информационным пространством, где конструкторская и технологическая документация и информационные массивы представлены не в «бумажном формате», а в электронном. Общая схема единой информационной среды предприятия приведена Рис.1.

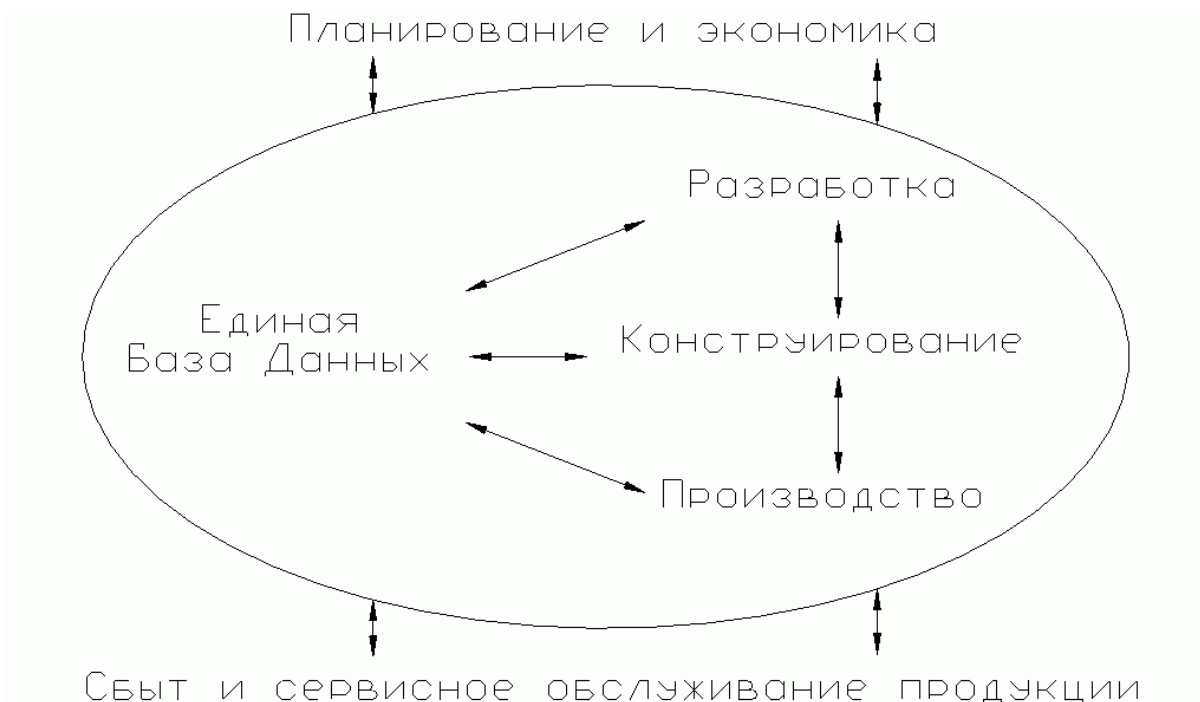


Рис.1. Общая схема единой информационной среды предприятия.

Достоинства метода интеграции систем проектирования, производства, управления технологическими процессами и предприятия в целом начинают ощущаться после первых же инсталляций.

ЕИС обеспечивает решение следующих задач:

- формирование единых процедур управления процессами и взаимодействия всех участников;
- доступность данных на всех этапах работ для каждого участника (в строгом соответствии с правами доступа к данным конкретного пользователя), их целостность и достоверность данных;
- автоматизирует передачу данных при переходе от одного этапа работ к другому;
- обеспечивает возможность быстрой выборки необходимых данных;
- возможность подготовки интерактивного электронного технического руководства (ИЭТР);
- упрощает процесс взаимодействия между подразделениями;
- повышает экономическую эффективность проводимых работ за счет структурирования данных, сокращения числа рутинных и низкопроизводительных операций.

Основной целью при создании ЕИС является повышение эффективности проводимых работ, и конкурентоспособности предприятия за счет сокращения времени, отводимого на разработку, конструирование и производство новых изделий, повышение качества, как самой продукции, так и гарантийного и послегарантийного обслуживания.

Кроме того, применение ЕИС позволяет пройти сертификацию на соответствие требованиям международных стандартов ИСО 9000 и наладить эффективное взаимодействие, в том числе с зарубежными клиентами.

Основной частью ЕИС предприятия является ЕИС проектирования и производства. Она обеспечивает сквозную передачу данных с этапа на этап, т.е. от разработки технического задания на этапы разработки и конструирования, далее – на этап технологической подготовки производства и собственно на производство продукции.

Благодаря внедрению такой системы значительно сократились сроки, необходимые на прохождение цикла «разработка – конструирование – производство», и повысилось качество продукции. Укрупненная схема единой информационной среды проектирования и производства приведена на Рис.2.

При разработке ЕИС проектирования и производства к компонентам системы предъявлялись следующие требования:

1. В части электронного архива и документооборота:
  - структурированное хранение информации;
  - доступ к данным по мандатному принципу (система должна вести учет действий, совершенных пользователем);
  - исключение дублирования данных;
  - обеспечение быстрого поиска информации и составление необходимых отчетов;
  - упрощение работы по поддержке актуальности и достоверности данных в архиве;
  - уменьшение времени прохождения документов от пользователя к пользователю;
  - наличие в своем составе средства по работе с электронной цифровой подписью;
  - обеспечение возможности перехода в дальнейшем к полностью электронному документообороту.
2. В части систем автоматизированного проектирования:
  - наличие базовые функции разработки и конструирования (в том числе моделирование и формирование моделей);
  - связь с пакетами по технологической подготовке производства изделия;
  - наличие процедур для анализа режимов работы и оптимизации конструкции изделия на всех стадиях готовности разрабатываемого изделия.

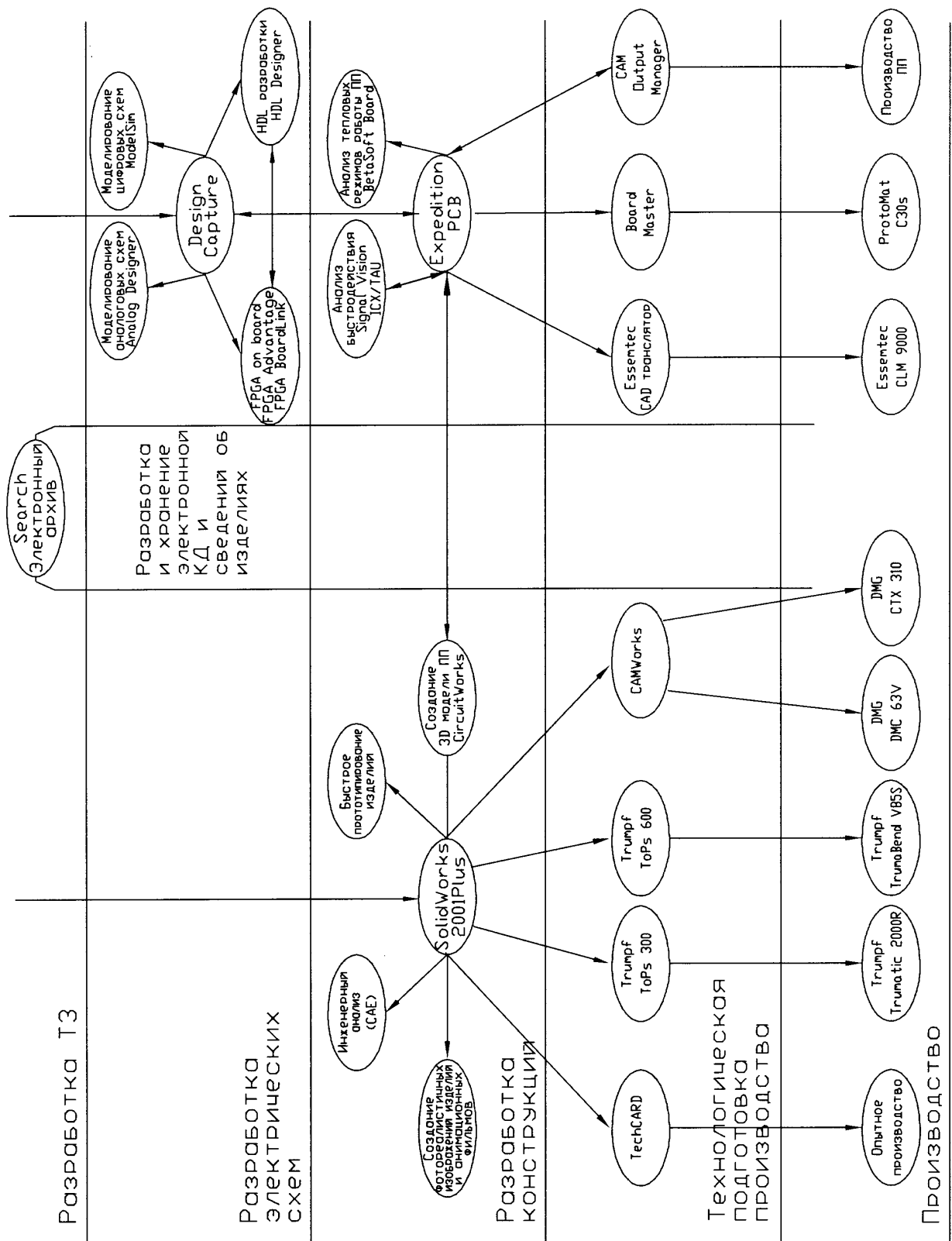


Рис. 2. Укрупненная схема единой информационной среды проектирования и производства

Рассмотрим этапы создания НАП более подробно. Прекрасной иллюстрацией реализации непрерывного процесса «разработка – конструирование – производство» может служить процесс создания СБИС типа

система на кристалле (полузаказных СБИС). Системное проектирование начинается с создания высокоуровневой поведенческой модели работы всей системы. Модель формируется на основе описания ее функций на языках высокого уровня VHDL или Verilog с включением, при необходимости, стандартных элементов из существующих баз данных или описаний на языках более низких уровней, например С, С++. Процесс верификации (проверки работоспособности) модели проводится программно, для чего формируются специальные программные тесты. На этом этапе компьютерного моделирования дается оценка соответствия разработанной модели требованиям технического задания на систему и полноты (достоверности) тестового окружения. По результатам моделирования корректируются поведенческая модель и/или тестовое окружение и процесс повторяется. СБИС типа система на кристалле может включать в себя одно или несколько программируемых процессорных ядер. Разработчик принимает решение о том, какие блоки поведенческой модели будут в последствии реализованы на аппаратном уровне, а какие на программном, в виде встроенного в СБИС программного обеспечения. На этом завершается этап системного проектирования.

На функциональном уровне проектирования разрабатывается и верифицируется алгоритм работы блока или блоков, входящих в систему. На последующем этапе отрабатывается уже модель блока на основе базовых элементов и/или новых элементов в виде иерархических структурных описаний – функционирующих с точностью до фиксированного количества знаков после десятичной запятой. При этом допускает импорт различных аналоговых и/или цифроаналоговых спецификаций, например, из формата Verilog-A. Функциональное проектирование заканчивается генерацией в описание уровня регистровых передач на языках VHDL и/или Verilog. При этом полученный список цепей с помощью специального программного обеспечения преобразуется уже с учетом всех конструктивно-технологических норм. Тем самым разработчик получает математическое описание СБИС, которое позволяет реализовать его на вентильном уровне, практически любого завода изготовителя микросхем, варьируя при этом выбором завода, технологическими нормами изготовления СБИС, ее стоимостью и пр. Далее в автоматизированном режиме осуществляется трансляция с уровня регистровых передач до вентильного уровня, где в качестве описаний базовых элементов выступают библиотеки завода изготовителя микросхем. Полученная топологическая модель кристалла снова проходит верификацию для оценки возможного влияния топологии на работоспособность СБИС. Результатом работы служат управляющие программы для технологического оборудования для производства СБИС и тестовые программы для проверки ее работоспособности.

Столь сложные процедуры проектирования и не менее сложные процедуры разработки топологии кристалла предполагают разделение труда между разработчиками (дизайн-центр) и производством (специализированными заводами). Только крупные фирмы могут себе позволить создать дизайн-центр по

проектированию СБИС, остальные довольствуются заказом на проектирование в специализированных дизайн-центрах, с последующим заказом СБИС на производстве.

На предприятии был создан дизайн-центр, который обеспечивает:

- разработку на системном уровне СБИС класса «система на кристалле» (в иностранной терминологии System on Chip – SoC);
- разработку на системном и функциональном уровне цифровых и аналоговых СБИС класса ASIC и IP блоков СБИС класса SoC для решения вопросов обработки сигналов СРНС ГЛОНАСС, GPS и GALILEO и пр.

Дизайн-центр оснащен рабочими графическими станциями и полной линейкой программного обеспечения фирмы Mentor Graphics для проектирования аналоговых, цифровых СБИС и печатных плат (ПП).

Проектирование НАП предполагает не только создание СБИС, но и проектирование печатных плат и корпусов изделий.

Разработав электрическую схему, где в качестве элементов схемы выступают, в том числе и СБИС, промоделировав ее работу на ПЭВМ, разработчик через процедуры «электронной архивации» передает исходную информацию конструктору для конструирования электронного модуля на базе печатной платы и конструкции в целом.

Разработка топологии печатной платы в этой ситуации осуществляется без дополнительного «описания» электрических связей электрорадиоэлементов (ЭРЭ). Не требуется описание и самих ЭРЭ, которые имеются в единой базе данных. В данном случае требуется только уточнить габариты печатной платы и ряд конструкторско-технологических уточнений. Такая система позволяет не только значительно сократить сроки конструирования, но и избежать появления ошибок неизбежных при «описании» электрических связей. Разработанная топология моделируется на соответствие исходным требованиям разработчика (задержки прохождения сигналов, паразитные параметры, тепловые режимы, ЭМС). Далее файл описания печатной платы, который включает описание эклектической схемы и топологии передается (посредством Internet или на магнитном носителе) на специализированный завод – изготовитель. На основании переданной информации печатная плата изготавливается и проверяется на наличие соединений и отсутствие замыканий на автоматизированном оборудовании.

Параллельно с этим производится автоматизированная передача двумерной электронной модели печатной платы из среды проектирования печатных плат (пакет Expedition PCB фирмы Mentor Graphics) в САПР SolidWorks, которым оснащены рабочие места конструкторов, для получения точной трехмерной параметрической модели печатной платы (Рис.3). Создание

параметрической модели ПП значительно расширяет возможности проектирования НАП. Это связано с тем, что разрабатываемая современная НАП, как правило, имеет в своем составе большое количество ПП различных геометрических форм со сложными механическими узлами (крепления, электромагнитные экраны). Трехмерная параметрическая модель ПП полностью соответствующая электронной модели ПП позволяет конструктору на этапе проектирования оценить механические свойства конструкции печатной платы (собственные резонансные частоты, прочность и т.п.) как отдельно, так и в составе блока аппаратуры.

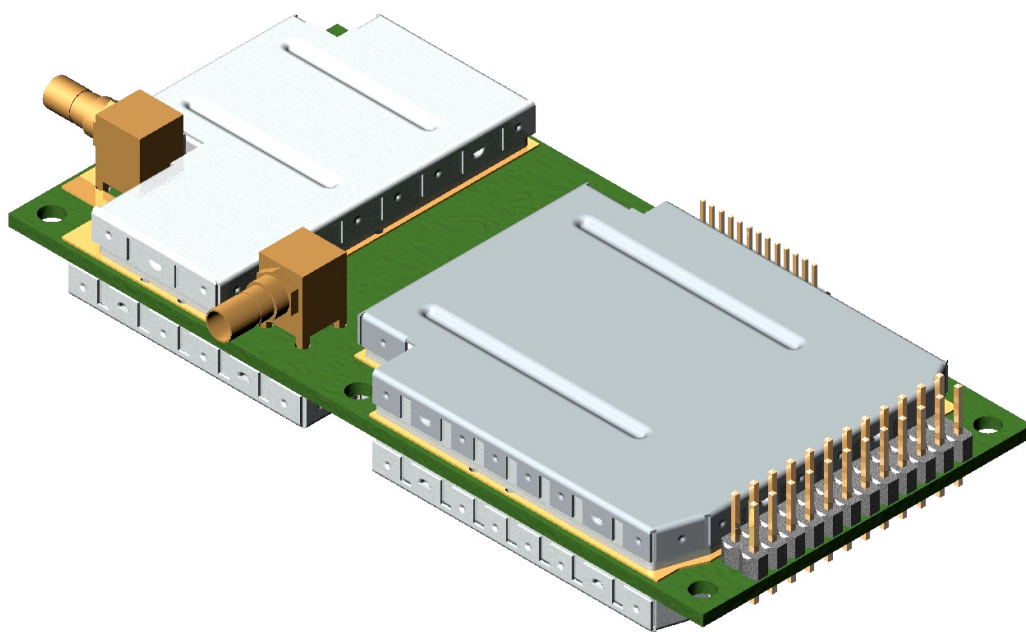


Рис.3 Трехмерная параметрическая модель печатной платы K161

Следующим этапом является разработка корпуса блока при помощи САПР SolidWorks. Располагая полным набором формообразующих компонент, конструктор создает трехмерные модели деталей будущего изделия. Возможности САПР SolidWorks позволяют создавать различные конфигурации деталей, что немаловажно при конструировании, так как проработка вариантов конструкций в 2D САПР требует значительных затрат времени. Встроенные программы инженерного анализа дают возможность проверить поведение модели при воздействиях различных механических нагрузок, при деформациях или различных температурных режимах, рассчитать резонансные частоты и т.д. Конструктор осуществляет «электронное макетирование» изделия и формирует комплект чертежей и электронные модели всех составляющих элементов конструкции. На следующем этапе можно проверить «собираемость» конструкций, осуществить «электронную» сборку всего изделия, проработать внутриблочный монтаж, промоделировать в движении элементы конструкций

(замену батарей и прочее). Сборка конструкции изделия, которая осуществляется на компьютере шаг за шагом (Рис.4), позволяет оценить правильность взаимодействия деталей в устройстве, исключить возможные ошибки. САПР SolidWorks позволяет также вносить изменения в контексте «сборки», т.е. изменения внесенные в «сборку» автоматически отразятся на входящих деталях и, соответственно, на чертежах. Кроме того, по виртуальной модели можно определить физические свойства изделия: его массу, требуемое количество материала для производства детали, инерционные характеристики и пр.

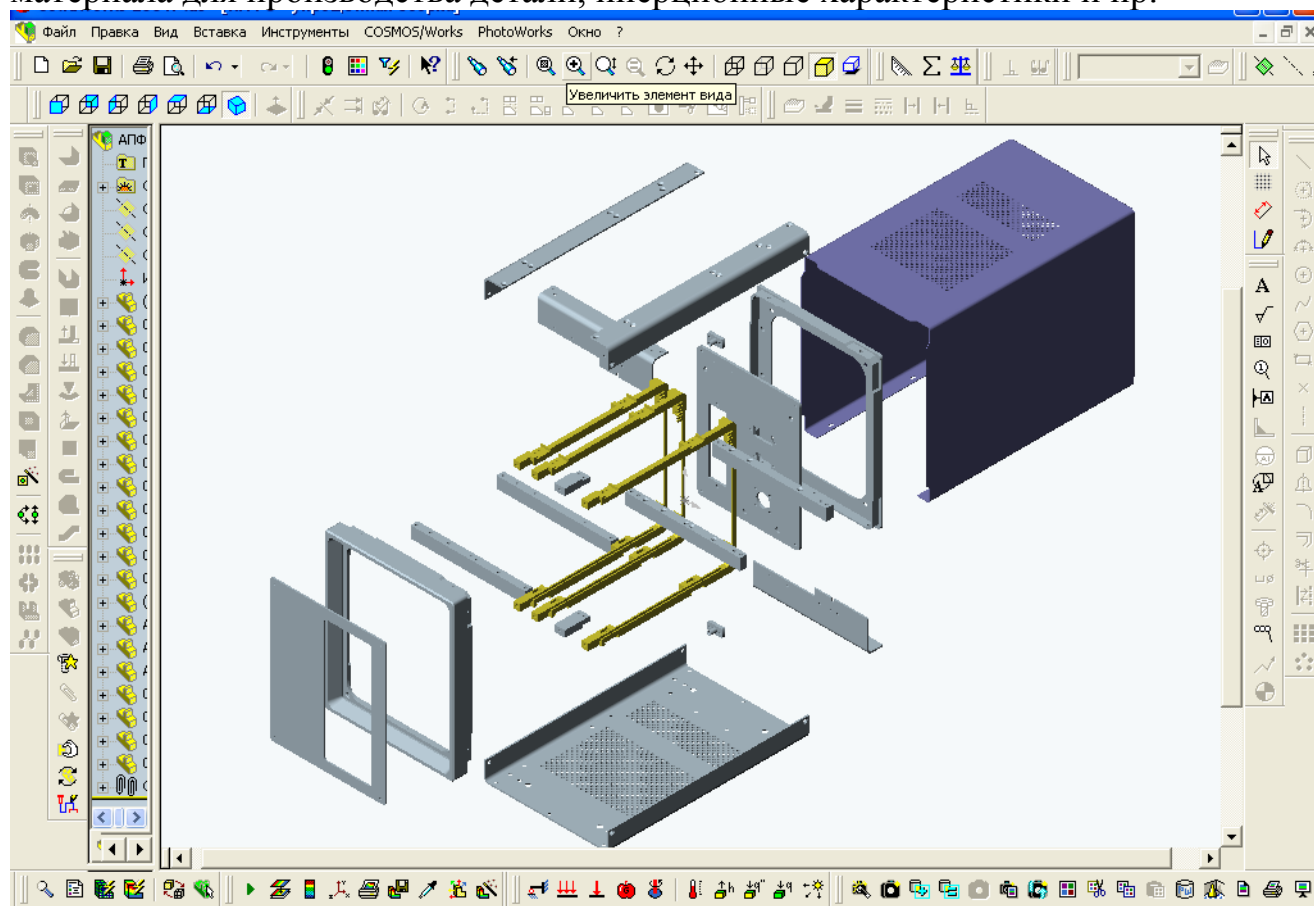


Рис.4 «Вид с разнесенными частями» - пошаговая сборка изделия в САПР SolidWorks

Разработка конструкций в САПР SolidWorks сокращает срок выпуска КД во много раз. Так, например, только на разработку корпуса блока аналогичному Анализатору Параметров Формы Сигнала (АПФС) (Рис.4) в 2D САПР, понадобилось 1,5 человека/месяца (около 240 нормо/часов), на его производство понадобится еще столько же времени. Разработка корпуса АПФС в САПР SolidWorks (Рис.6) и его последующее производство на новой механообрабатывающей линии заняла 80 нормо/часов.





Рис. 5 Блок АПФС

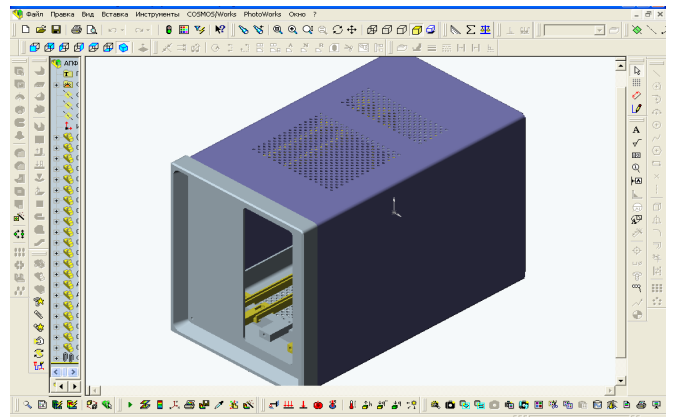


Рис.6 Корпус блока АПФС выполненный в САПР SolidWorks

Следует отметить, что перевод ранее выпущенной документации в формат САПР SolidWorks также значительно ускоряет производство аппаратуры и улучшает качество выпускаемой продукции.

После того как конструктор разработал модель изделия и оформил чертежи, эти материалы передаются в бюро технологической подготовки производства.

Для оснащения технологического бюро был произведен анализ различных программных средств проведения технологической подготовки производства представленных на рынке. Основным критерием выбора САПР являлось возможность стыковки электронной трехмерной параметрической модели полученной после конструирования с программными средствами, используемыми для подготовки и выпуска управляющих программ для технологического оборудования и выпуска технологической документации. Это условие являлось ключевым, так как практика показала, что основные затраты времени при технологической подготовке производства приходятся на преобразование данных к нужной форме. Кроме того, если преобразование данных выполняется в ручную или плохо автоматизировано, то вероятность появления новых ошибок значительно увеличивается. В результате были выбраны программы, приведенные в таблице 1.

Таблица 1. Общий список программного обеспечения, применяемого технологами различных специализаций.

Наименование	Назначение	Примечание
--------------	------------	------------

программного обеспечения		
SolidWorks2001 Plus	Разработка и оформление конструкторской документации на технологическую оснастку.	
TechCard	Оформление технологической документации, специфицированных норм расхода материалов.	
CAMWorks 2001	Подготовка и выпуск управляющих программ для станков с ЧПУ (токарная и 3-х координатная фрезерная обработка)	
Trumpf ToPs 300	Подготовка и выпуск управляющих программ для координатно-револьверного штамповочного оборудования	
Trumpf ToPs 600	Подготовка и выпуск управляющих программ для гибочного оборудования с ЧПУ	планируется к приобретению
Essemtec CAD транслятор	Подготовка управляющих программ для станка с ЧПУ для установки ЭРЭ на поверхность печатной платы	

Применительно к процессу технологической подготовки производства корпусов и деталей НАП, в качестве модуля, позволяющего разрабатывать и модифицировать управляющие программы для станков с числовым программным управлением, была выбрана программа CAMWorks. Поскольку эта программа представляет собой дополнительный модуль к САПР SolidWorks2001Plus, то данные передаются без каких либо преобразований и искажений, и, кроме того, такая тесная интеграция двух программных продуктов делает возможным автоматизировать внесение изменений в управляющие программы в случае изменения трехмерной параметрической модели.

В целом же, в технологическом бюро, на сегодняшний день создано шесть автоматизированных рабочих мест:

1. Автоматизированного рабочего места технолога цифрового производства и оснастки (АРМ ТЦП и ОС);
2. Автоматизированного рабочего места технолога по разработке технологических процессов (АРМ ТП);
3. Автоматизированного рабочего места технолога по расчету специфицированных норм расхода материалов, расчета трудоемкости и сборочно-монтажным работам (АРМ МТ и СМ);
4. Автоматизированного рабочего места технолога по работе с листовым материалом (АРМ ЛМ).

Использование выше названных автоматизированных рабочих мест позволило:

- ускорить цикл технологической подготовки производства новых изделий;
- повысить эффективность труда технологов за счет применения современных САПР, позволяющих использовать базы данных по оборудованию, оснастке, инструментам, типовым технологическим процессам операций, разрабатывать в минимально сжатые сроки подробные, при необходимости попереходные, технологические процессы с указанием оптимальных режимов обработки (скорость, подача, глубина резания, охлаждение и др.);
- организовать, вести и сопровождать архив конструкторской и технологической документации (чертежей, спецификаций, техпроцессов, ведомостей применяемости, текстовых документов и т.д.);
- оперативно проводить настройку вида и состава комплекта технологических документов на различные типы производств (единичное, серийное и т.д.);
- выполнять проектирование технологического процесса обработки детали или узла для различных видов производств (механообработка, гальваника, термообработка, сварка, окраска, литье, прессование, сборка, холодная штамповка, монтаж) в диалоговом режиме;
- осуществлять автоматический подбор оборудования и оснастки к операциям с привлечением средств экспертной системы;
- выполнять формирование и принятие автоматизированных проектных решений на различных этапах проектирования ТП, в том числе использовать в качестве исходных данных для проектирования информации непосредственно из чертежа детали;
- ускорить выпуск управляющих программ для станков с ЧПУ за счет использования единого формата представления данных САПР конструктора и технолога;
- выполнять автоматизированное построение и редактирование операционных эскизов с обеспечением передачи параметров технологического процесса в графическую систему и получением в составе одного бланка (операционной карты) текста и графического изображения;
- выполнять техническое нормирование операций и переходов на основе рассчитанных режимов обработки или по нормативам неполного штучного времени;
- проводить материальное нормирование изделий с составлением сводных специфицированных ведомостей применяемых материалов;
- получать практически любые ведомости и сводные ведомости по операциям, оборудованию, оснастке, расцеховочным маршрутам, технологическим документам;
- проектировать технологическую оснастку с выпуском КД и управляющих программ для станков с ЧПУ для изготовления входящих в штампы и пресс-формы деталей.

Создаваемая на сегодняшний день аппаратура отличается своей сложностью, соответственно возрастает стоимость технологической подготовки производства. Ошибка, допущенная на этом этапе, грозит не только существенными финансовыми и временными потерями, но и может нанести ущерб репутации фирмы многократно превышающий прямые финансовые потери. Одним из методов решения такого рода проблем, безусловно, является применение современных средств проектирования, как конструкций, так и технологической оснастки. Однако, несмотря на все свои достоинства, только 3D модели иногда бывает недостаточно. Если изделие имеет сложный дизайн или множество механически взаимодействующих друг с другом частей, то с экрана компьютера бывает сложно оценить привлекательность и/или работоспособность конструкции. Возможность снизить риски возникновения ошибок, оценить привлекательность изделия, показать заказчику не виртуальную модель, а «живой» прототип позволяет метод изготовления физических моделей изделия с помощью технологии быстрого прототипирования.

В заключение хотелось бы сказать, что применение современных методов разработки и конструирования навигационной аппаратуры, использование современного технологического оборудования, передовых технологий обработки и передачи информации позволяет не только повысить сложность и функциональность изделия при снижении процента брака, но и сделать экономически оправданным совмещение единичного, мелкосерийного и серийного производств. Примечем переход от одного типа производства к другому в ряде случаев может занимать всего лишь десятки минут при минимальных затратах на изменение технологических процессов и при неизменно высоком качестве готовой продукции.

Улучшение функциональности и массогабаритных характеристик разрабатываемой и производимой аппаратуры, сокращение времени, затрачиваемого на цикл «разработка-конструирование-производство» делает возможным оперативно и качественно реагировать и удовлетворять возникающий на рынке спрос на ту или иную аппаратуры. Такое положение позволяет предприятию получать дополнительную прибыль и инвестировать ее в новые разработки, научно-исследовательские работы и социальную сферу, что является залогом успешного развития организации, поскольку только активная разработка и применение наукоемких технологий позволяют сохранять конкурентоспособность.

Литература:

1. Коновалов М.А., Осипов О.Д. Создание единой информационной среды предприятия приборостроительной отрасли. Доклад на международной конференции CAD/CAM/PDM-2003, М.: Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, 2003.

2. Коновалов М.А., Осипов О.Д. Вопросы развития российской радиоэлектроники. Единая информационная среда проектирования и производства Российского института радионавигации и времени. Доклад на научно-технической конференции студентов и аспирантов Государственного университета авиационного приборостроения, 2003 год, Санкт-Петербург.
3. Осипов О.Д. и др. Технический отчет «Разработка методологии конструирования и концептуального моделирования НАП» ОКР «Ряд», «Разработка приборного ряда навигационно-временной аппаратуры потребителей и функциональных дополнений ГЛОНАСС/GPS различного назначения, технологий серийного и массового производства аппаратуры и их внедрения на предприятиях РАСУ»
4. Коновалов М.А., Осипов О.Д. «Вопросы организации сквозного цикла «проектирование-производство» поверхностного монтажа на печатных платах», доклад на международной конференции и выставке CAD/CAM/PDM-2002, М.: Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, 2002, стр.306...309.
6. ГОСТ Р 50.1.028-2001 «Информационные технологии поддержки жизненного цикла продукции. Методология функционального моделирования».
7. Интегрированная система поддержки жизненного цикла, М.: Открытые системы, №4, 2001
8. Компьютерно-интегрированные производства и CALS-технологии в машиностроении: Учебное пособие / Т.А. Альперович, В.В. Баранов, А.Н. Давыдов, С.К. Сергеев, Е.В. Судов, Б.И. Черпаков; Под ред. д-ра техн. наук, проф. Б.И. Черпакова. М.: ГУП "ВИМИ", 1999. -512с.
9. Материалы конференции «Компьютерные технологии сопровождения и поддержки наукоемкой продукции на всех этапах жизненного цикла», М.: АНО НИЦ CALS-технологии «Прикладная логистика», 2001
- 10 Электронный макет как методологическая основа разработки высоконадежных РЭС в рамках CALS-технологий, Кофанов Ю.Н., Кулиев В.Д., Сарафанов А.В., Информационные технологии проектирования и производстве: Науч.-техн. журн. ГУП «ВИМИ», 2001, №3, С.5967