



ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

ИФВЭ 2000-8
ОЭА

А.Ф.Дунайцев, А.П.Леонов, А.Ф.Лукьянцев, Н.К.Марчихин,
Н.Н.Рабский, А.В.Савельев, А.Н.Сытин, С.Н.Федотов

**СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ В ПРОЕКТИРОВАНИИ
И ПРОИЗВОДСТВЕ ЭЛЕКТРОНИКИ В ИФВЭ**

Протвино 2000

Аннотация

Дунайцев А.Ф., Леонов А.П., Лукьянцев А.Ф. и др. Современные тенденции в проектировании и производстве электроники в ИФВЭ: Препринт ИФВЭ 2000–8. – Протвино, 2000. – 17 с., 6 рис., 1 табл., библиогр.: 30.

Рассматривается структура построения интегрированной системы автоматизированного проектирования и производства радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) для проведения исследований в области физики высоких энергий, учитывающая объективные аспекты создания РЭА и обеспечивающая сокращение сроков ее проектирования, производства и внедрения. Рассматриваются возможности реализации такой системы, характерными чертами которой являются: *открытость, гибкость процесса создания программно-аппаратных средств, возможность коллaborации научных центров* при разработке совместных экспериментов и установок.

Abstract

Dunaitsev A.F., Leonov A.P., Lukyantsev A.F. et al. Modern Tendency of Design and Manufacturing of Electronics in IHEP: IHEP Preprint 2000–8. – Protvino, 2000. – p. 17, figs. 6, tables 1, refs.: 30.

An integrated CAD/CAM system for high energy physics electronics design and manufacturing is discussed. The proposed system architecture meets specific requirements of the high energy physics electronics domain and provides the fast and effective design-to-production cycle. Its basic implementation features are openness and flexible of hardware/software configuration, which facilitate running collaborative projects for the world high energy physics community.

Введение

Одной из основных задач научных центров является обеспечение экспериментальных установок и ускорителей заряженных частиц современными программно-аппаратными средствами.

Аппаратура используется не только для сбора и обработки гигантских потоков информации с экспериментальных установок, но и для управления ускорителями, при диагностике пучков заряженных частиц, в системах радиационной безопасности, при управлении криогенными системами, в инженерных системах и др. [1,2,3,4]. Поскольку по мере развития программы исследований экспериментальные установки модернизируются, требования к аппаратуре могут меняться и, как следствие, создаваемые программно-аппаратные средства должны быть *открытыми* для внесения изменений без нарушения на длительный срок функционирования установки.

Для комплектования систем электроники широко используется аппаратура как промышленного производства [5,6,7], так и разработанная данным научным центром [8,9] или в коллaborации с другими физическими центрами [10]. В последнем случае процесс создания РЭА может осуществляться на нескольких предприятиях в разных странах. Однако, независимо от числа и национальной принадлежности разработчиков, с момента зарождения идеи до ее реального воплощения необходимо выполнить ряд этапов, в конечном счете определяющих качество изделий. Для этого необходима интегрированная система автоматизированного проектирования и производства РЭА (ИСАПП РЭА), обеспечивающая требуемое качество аппаратуры при сокращении временных и материальных затрат. Предлагаемая система, с одной стороны, является интегрированной, так как характеризуется широким спектром решаемых задач, с другой стороны, системой сквозного проектирования и изготовления, так как предназначена для последовательного выполнения процедур создания РЭА от момента разработки технического задания до внедрения изделий в эксплуатацию и их исследований на объекте. Основными факторами, определяющими структуру такой ИСАПП РЭА, являются:

- функциональное разнообразие и сложность аппаратуры;
- сокращение сроков разработки, производства, испытаний и внедрения программно-аппаратных средств в эксплуатацию;
- обеспечение заданной надежности аппаратуры;
- инвариантность структуры системы автоматизированного проектирования и изготовления к изменению программных и аппаратных средств проектирования, а также технологии производства;

- необходимость обеспечения санкционированного доступа к базам данных (архивам) по локальной сети предприятия и INTERNET;
- обеспечение возможности выполнения отдельных этапов работ по созданию РЭА для новых экспериментов и ускорителей на разных предприятиях в рамках межинститутского и международного сотрудничества.

Выполнение столь разнообразных, а иногда и противоречивых требований предопределяет необходимость системного подхода к организации процесса создания РЭА [11]. Однако использование системного подхода, как и владение методами системного анализа, являются лишь необходимыми, но недостаточными условиями успешного решения задачи. Необходимо знание предметной области, умение найти оптимальное решение в многообразии частных задач проектирования.

В данной работе предпринята попытка системного подхода к решению проблемы создания РЭА для научных исследований с использованием многолетнего опыта авторов, представляющих специалистов различных профилей, участвующих в создании аппаратуры на всех стадиях ее проектирования и производства.

1. Концептуальные аспекты организации ИСАПП РЭА для научных исследований

ИСАПП РЭА для научных исследований обеспечивает итеративный процесс создания РЭА, в котором осуществляется рациональное распределение функций между человеком и ЭВМ [11,12]. Такой подход подразумевает использование эвристических способностей человека и его возможностей решения неформализованных задач (что особенно важно при создании сложной РЭА для проведения научных исследований), а также огромных возможностей ЭВМ при решении задач, имеющих формализованное описание.

Такая система представляется *итерационным процессом*, заключающимся в выполнении совокупности процедур $C = \{C_1, C_2, \dots, C_n\}$ во взаимодействии:

- трех множеств при разработке и проектировании — множества моделей $M = \{M_1, M_2, \dots, M_n\}$, множества операций над моделями $O = \{O_1, O_2, \dots, O_n\}$, множества критериев, ограничений и условий проектирования $\Pi = \{\Pi_1, \Pi_2, \dots, \Pi_n\}$;
- трех множеств при производстве — множества изделий $I = \{I_1, I_2, \dots, I_m\}$, множества операций над изделиями $P = \{P_1, P_2, \dots, P_m\}$, множества критериев качества при производстве, настройке и испытаниях $K = \{K_1, K_2, \dots, K_m\}$.

Полагаем, что в процессе проектирования каждая процедура $C_i = < O_i, \Pi_i, M_i >$ переводит модель проектируемой схемы в следующее состояние M_i^{c+s+k} , где c, s, k — число итераций модели M_i при системном, схемотехническом и конструкторском проектировании соответственно. При производстве — каждая процедура $C_i = < P_i, K_i, I_i >$ переводит изделие в следующее состояние I_i^{m+n} , где m, n — число итераций изделия I_i при макетном и опытном производстве соответственно.

Интерактивный итеративный процесс показан на рис.1, где человек и ЭВМ выступают как партнеры. При этом, как правило, человек выступает в качестве звена обратной связи, определяя процедуры $C = \{C_1, C_2, \dots, C_n\}$, оценивая критерии $\Pi = \{\Pi_1, \Pi_2, \dots, \Pi_n\}$ и $K = \{K_1, K_2, \dots, K_m\}$, адаптируя стратегию проектирования и производства к изменяющейся базе данных. Обмен информацией между человеком и ЭВМ осуществляется в узлах диалогового взаимодействия. При этом обеспечивается жесткий анализ действий, выполняемых человеком, и ЭВМ.

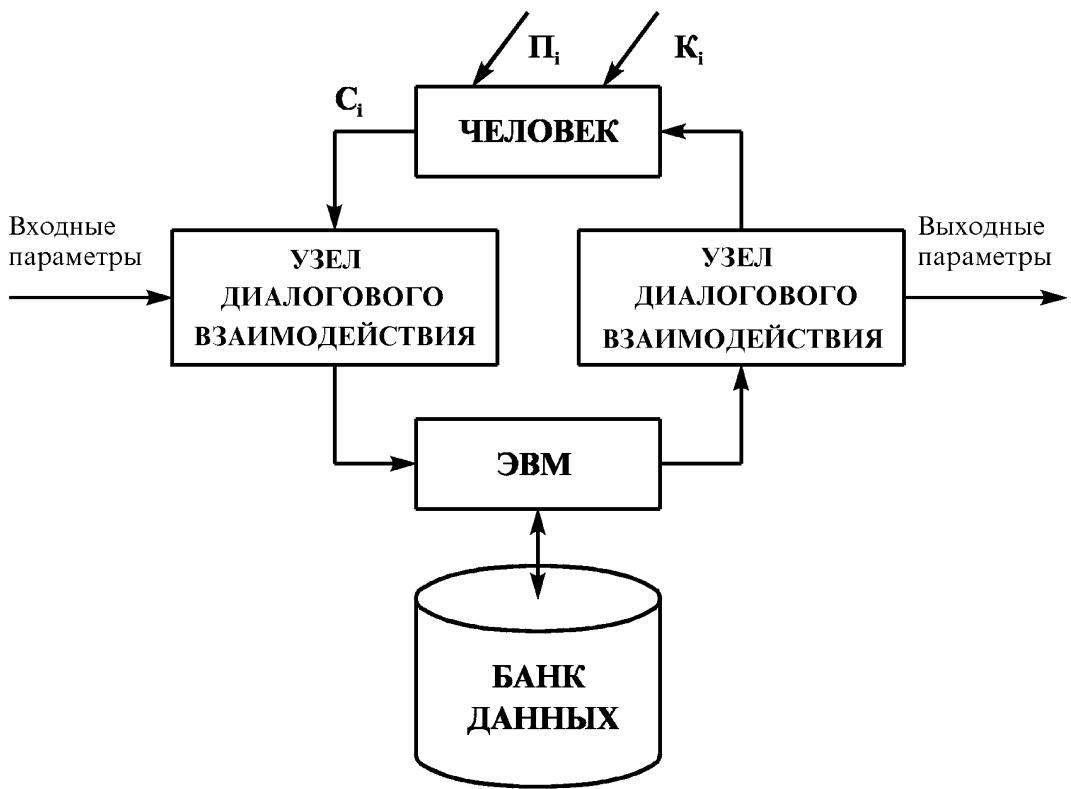


Рис. 1. К итеративному поиску решений.

Укрупненная схема ИСАПП РЭА представлена на рис.2. Разрабатываемой РЭА комплектуются системы сбора и обработки данных (ССД) с экспериментальных установок и разнообразные системы контроля и управления (СУ). Конечного пользователя интересует *соответствие выходных параметров заданным для всей системы в целом*, а не только для отдельных электронных модулей. Поэтому в процессе разработки присутствуют взаимосвязанные уровни проектирования систем и отдельных модулей, а также уровни производства и испытаний отдельных модулей и систем в целом.

Принимая во внимание ограниченность объема данной статьи, коротко рассмотрим особенности каждого из этапов создания РЭА. Более подробно они будут рассмотрены в последующих работах.

1.1. Системное и алгоритмическое проектирование

Рассматривая схему, приведенную на рис.2, выделим замкнутую петлю, включающую алгоритмическое и системное проектирование, а также анализ на соответствие техническим требованиям. Выходная модель M_i^c данного итерационного процесса является функциональной моделью создаваемого устройства, содержащей всю информацию, необходимую для разработки технического задания на схемотехническое и конструкторское проектирование. Подготовка технического задания без выполнения данного этапа может привести к серьезным ошибкам и упущениям на системном уровне, и, как следствие, к значительному увеличению сроков внедрения и стоимости создаваемой аппаратуры.

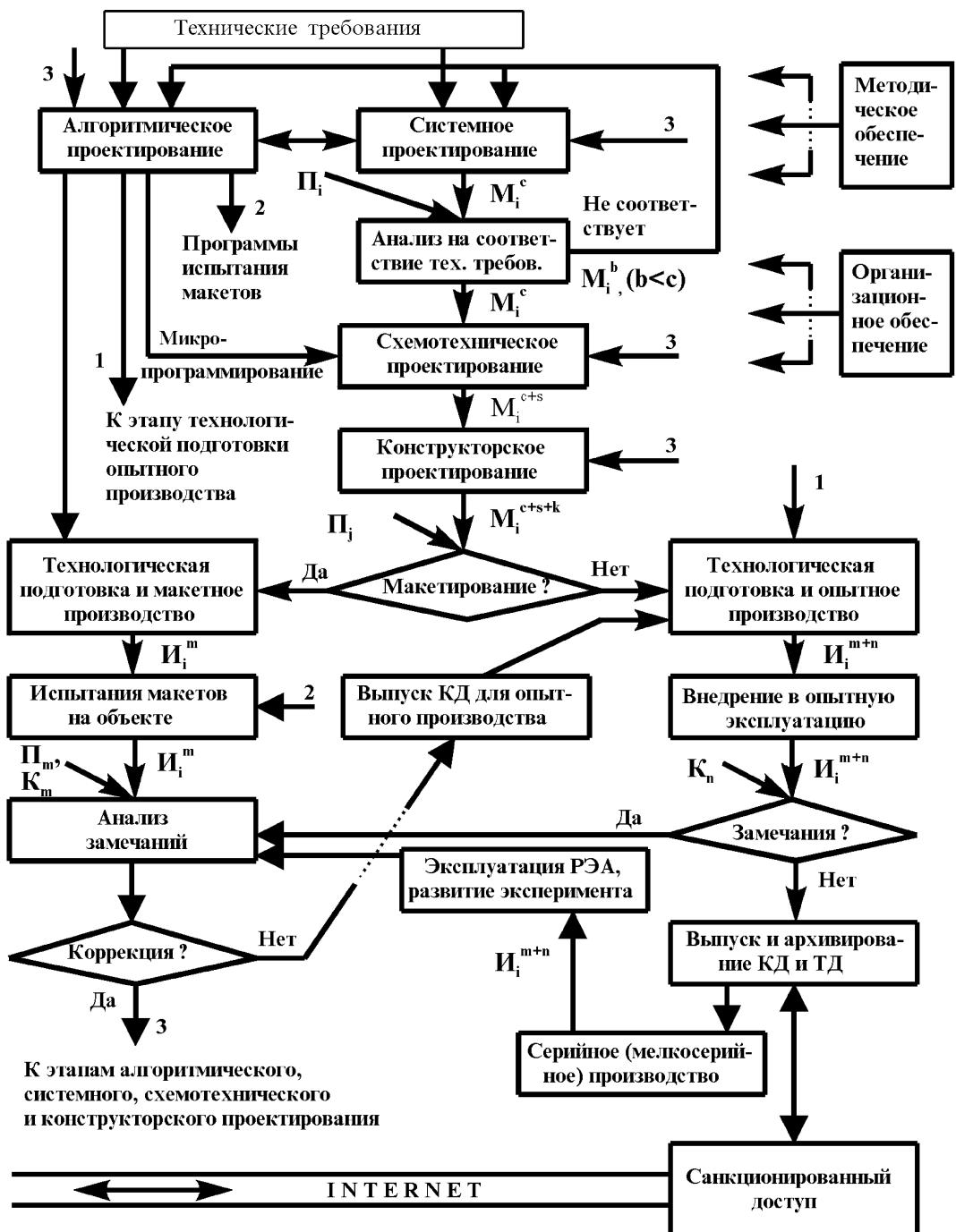


Рис. 2. Структура ИСАПП РЭА для исследований в области физики высоких энергий, где $M_i^c - c$ — модификация модели M_i ; c — число итераций при системном проектировании; $M_i^{c+s} - (c+s)$ — модификация модели M_i ; s — число итераций при схемотехническом проектировании; $M_i^{c+s+k} - (c+s+k)$ — модификация модели M_i ; k — число итераций при конструкторском проектировании; $I_i^m - m$ — модификация изделия I_i ; m — число итераций изделия при макетном производстве; $I_i^{m+n} - (m+n)$ — модификация изделия I_i ; n — число итераций изделия при опытном производстве.

Схема уровня системного проектирования РЭА приведена на рис.3.

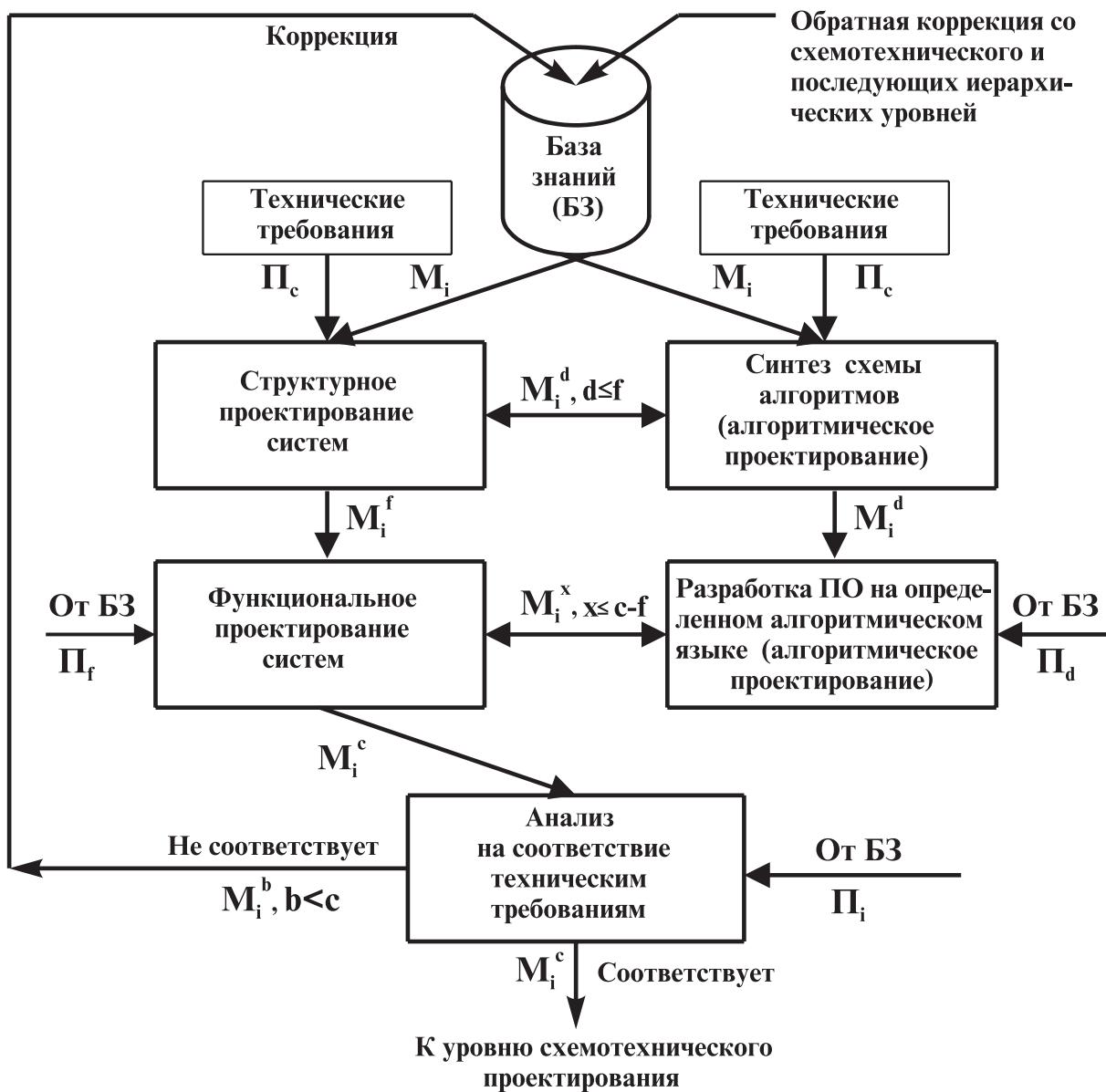


Рис. 3. Организация итерационного процесса на уровне системного проектирования, где $M_i^f - f$ — модификация модели M_i ; f — число итераций при структурном проектировании, в том числе, d итераций при синтезе схемы алгоритмов; $M_i^c - c$ — модификация модели M_i ; ($c - f$) — число итераций при функциональном проектировании, в том числе x итераций при разработке программного обеспечения на определенном алгоритмическом языке.

На уровне структурного проектирования ССД или СУ (рис.3) с использованием базы знаний ведется их укрупненное рассмотрение. Для ССД и СУ в зависимости от их назначения (цели) и накопленных на данный момент знаний (существующих и перспективных) формируется модель M_i^f , для которой определены:

- структурная схема; структура программно-аппаратных средств;
- разделение на функции, реализуемые аппаратным и программным путями;
- диапазон значений входных и выходных параметров отдельных модулей (узлов).

Задачей функционального проектирования является построение оптимальной модели M_i^c с целью выполнения заданных законов функционирования, где оптимальность принимаемого решения определяется текущим состоянием *базы знаний*.

Для ССД определяются:

- функциональные схемы составляющих систему модулей;
- входные, выходные и внешние параметры для модулей;
- технические задания на схемотехническое и конструкторское проектирование модулей и систем.

Для СУ определяются:

- функциональные схемы устройств управления;
- типы приводов и датчиков обратной связи;
- технические задания на схемотехническое и конструкторское проектирование.

Создание современной РЭА на системном уровне осуществляется с использованием *алгоритмического проектирования* [13], а именно:

- проектирования схемы алгоритмов, где осуществляется планирование программной системы на уровне структурного проектирования (модели M_i^d);
- разработки программного обеспечения на определенном алгоритмическом языке, тесно взаимосвязанной с уровнем функционального проектирования.

Кроме того, к этапу алгоритмического проектирования относятся:

- микропрограммирование (на уровне схемотехнического проектирования) — разработка программ процедур, выполняемых аппаратным способом;
- разработка программного обеспечения для настройки, испытаний и тестирования систем и модулей, выполняемая при технологической подготовке производства.

При проектировании на структурном, функциональном и схемотехническом уровнях используется *база знаний* (рис.4), компонентом которой, образующим определенный уровень представления знаний, являются базы данных (БД) [14,15]. Фактически *база знаний* является экспертной системой. При формировании базы знаний используются не только *модели соответствия*, но и *творческий опыт* специалистов различных профилей, участвующих в реализации проекта (например, физиков-экспериментаторов, схемотехников, программистов и др.). При таком подходе роль человека сводится не только к обновлению информации в базе данных, но и к определению и постоянному совершенствованию *алгоритма выбора решений* в соответствии с накоплением опыта проектирования и изменением знаний в данной прикладной области.

Существенно, что *база знаний* является *обучающейся* системой, так как информация в ней постоянно обновляется не только “сверху”, но и в соответствии с результатами анализов на всех уровнях проектирования.

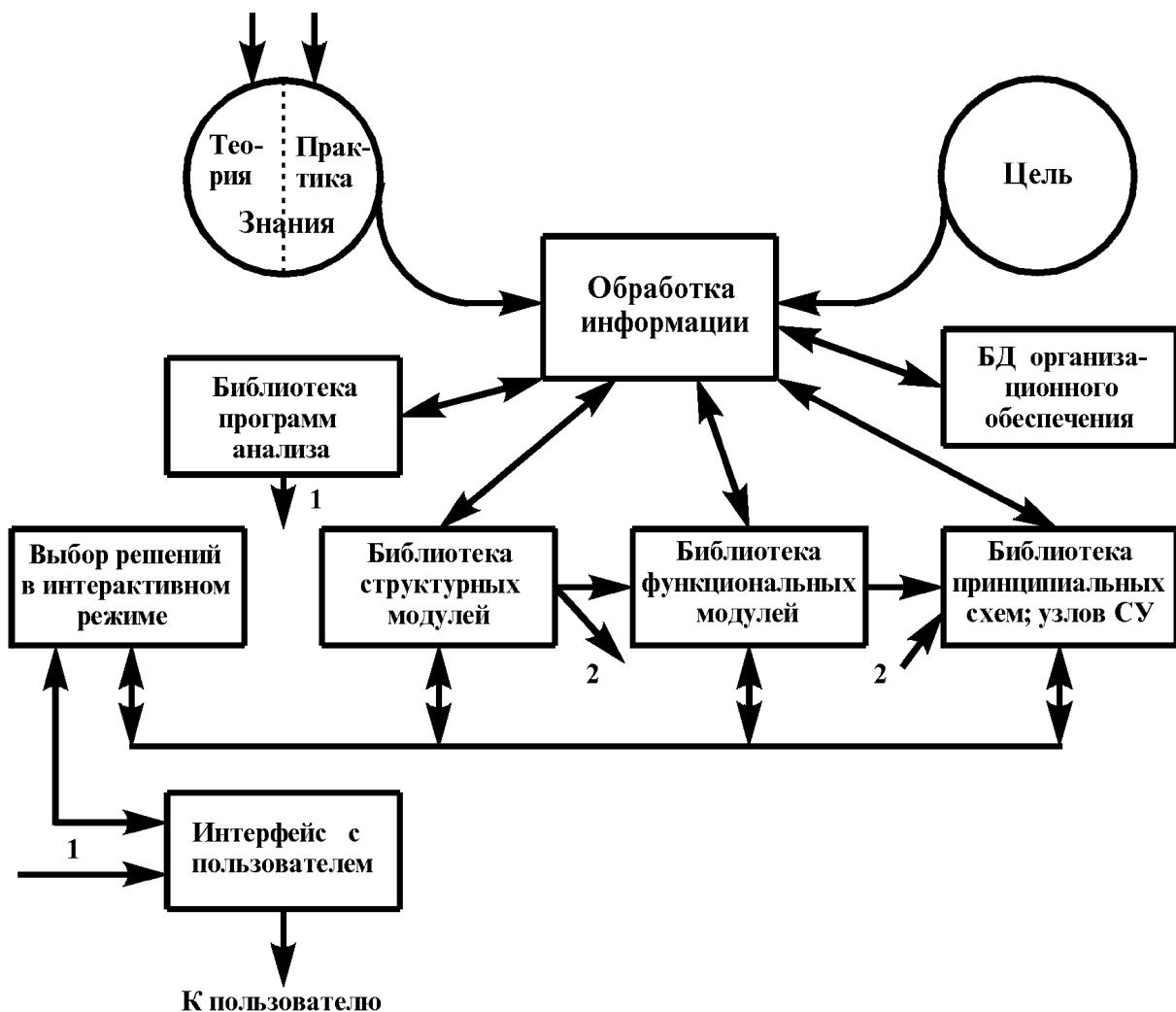


Рис. 4. К формированию базы знаний.

База знаний представляет собой:

- библиотеки структурных и функциональных модулей, принципиальных схем и узлов СУ;
- совокупность алгоритмов выбора решений в интерактивном режиме;
- набор алгоритмов для анализа проектируемых систем на соответствие техническим требованиям.

Отметим, что важнейшей частью БЗ, определяющей эффективность ее использования, является интерфейс с пользователем.

Практически на этапе создания *базы знаний* закладываются основы для решения проблем *структурного и параметрического синтеза* [13] создаваемой аппаратуры.

При анализе на соответствие техническим требованиям, т.е. системном анализе с учетом уточненных параметров элементов, исследуемыми факторами для ССД являются:

- оценка работоспособности системы с учетом задержек сигналов при выбранной элементной базе;
- оценка мощностей рассеивания;
- анализ запаса помехоустойчивости.

Для СУ анализируются:

- статические и динамические параметры системы;
- температурные режимы и возможные внешние воздействия;
- заданные критерии оптимальности.

С точки зрения формализации, процедура *системного анализа* представляется достаточно сложной, так как для системы в целом практически невозможно составить *аналитическую модель* $Y = F(X, Q)$, где Y, X, Q — соответственно векторы выходных, внутренних и внешних параметров. Поэтому при создании *библиотеки программ анализа* используются как имитационное моделирование [16,17], так и экспертные оценки, полученные на основе анализа данных исследования реальных систем в реальных условиях. По результатам этого анализа уточняются структурная и функциональная схемы.

Результатом проектирования на системном уровне являются технические задания (ТЗ) на схемотехническое и конструкторское проектирование, позволяющие выполнять работы на последующих иерархических уровнях не только на данном предприятии.

1.2. Схемотехническое и конструкторское проектирование

На уровне схемотехнического проектирования выделим пять подуровней:

- разработку принципиальной электрической схемы модуля;
- микропрограммирование (раздел алгоритмического проектирования);
- анализ (моделирование) принципиальной схемы;
- коррекцию принципиальной схемы и/или микропрограммы по результатам моделирования;
- уточнение выходных параметров модуля.

В настоящее время задача синтеза принципиальных схем в соответствии с требованиями ТЗ не решена, так как с одной стороны, не все задачи, требующие выполнения в процессе синтеза, формализованы, а с другой, — для ряда формализованных процедур синтеза не найдено эффективных алгоритмов решения на ЭВМ. Принципиальные электрические схемы, как правило, разрабатываются, исходя из опыта предыдущих работ с учетом возможностей предполагаемого технологического процесса производства. При этом *целесообразно* использовать хранящиеся в базе знаний (библиотеке) типовые схемотехнические решения широко используемых функциональных узлов (различных интерфейсов, памяти, усилителей и т.д.).

Моделирование принципиальных схем (аналоговое, цифровое, смешанное) является одной из наиболее проработанных задач проектирования, где эффективно используется ЭВМ [19,20,21,22]. При анализе широко используются *метод наихудшего случая, оценка изменения параметров схемы из-за наличия допусков на номиналы компонентов, дрейфа* и т.д. [13]. По результатам схемотехнического моделирования может быть проведена

корректировка принципиальной схемы, а иногда, в довольно редких случаях, и корректировка функциональной схемы модуля. Таким образом, этап схемотехнического проектирования является итерационным, выходная модель M_i^{c+s} (рис.2) которого может быть создана в результате s проходов.

На уровне конструкторского проектирования осуществляются:

- эскизное проектирование, включающее процедуру компоновки изделия на основе электронного конструирования [23], основными критериями качества которого являются системное быстродействие, помехоустойчивость и электромагнитная совместимость;
- проектирование печатных плат модулей РЭА [24], включающее процедуры компоновки компонентов, трассировки соединений и проверки соблюдения технологических ограничений;
- проектирование электромеханических узлов СУ и механических элементов модулей (лицевых панелей, радиаторов и т.д.), включающее разработку сборочных и рабочих чертежей;
- анализ тепловых режимов, помехоустойчивости, паразитных емкостей и индуктивностей, механических характеристик и т.д. в разработанных вариантах конструкции [20,21,23]; при анализе РЭА, работающей на тактовых частотах $f > (40-50)$ МГц, используются трехмерные 3D-структуры [25];
- оптимизация конструкции, т.е. возврат к более ранним процедурам C_i итерационного процесса конструкторского проектирования, если это требуется по результатам анализа.

Модель M_i^{c+s+k} , содержащая набор конструкторской документации (КД), необходимой для макетного производства, завершает этапы схемотехнического и конструкторского проектирования. КД для опытного производства выпускается по результатам макетных испытаний (рис.2).

1.3. Макетное и опытное производство РЭА

При создании РЭА для проведения исследований следует выделить три этапа производства и его технологической подготовки: *макетное, опытное и серийное* (рис.5.).

Если основной задачей макетного производства является проверка и доводка технических решений (схемотехника, программное обеспечение, конструктивные решения и т.д.), то целью опытного производства является отладка технологии изготовления и испытаний как отдельных модулей ССД и СУ, так и систем в целом, хотя доводка технических решений продолжается и на этом этапе производства.

В целях сокращения сроков *макетного* производства используются:

- разработка минимального комплекта КД, обеспечивающего производство, настройку и испытания;
- “упрощенный” вариант технологической подготовки производства;
- специальные технологии в процессе производства; например изготовление печатных плат методом фрезерования [26];
- специальные технологии монтажа и сборки систем [27].

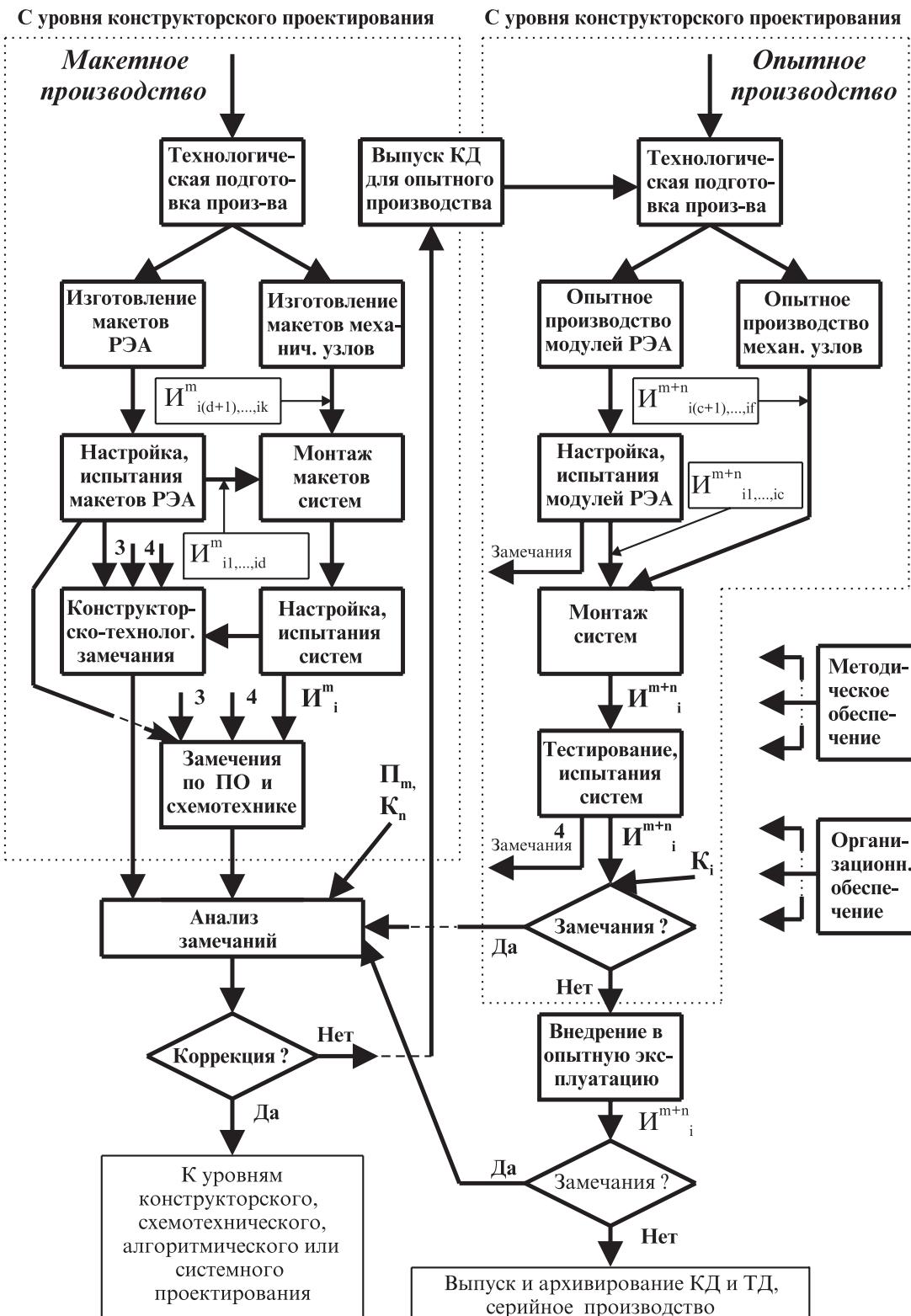


Рис. 5. Организация производства РЭА для научных исследований.

С целью обеспечения заданной надежности ССД и СУ применяются:

- специальные алгоритмы тестирования систем;
- как правило, более широкая программа испытаний по сравнению с опытным и серийным производством, включающая нередко и исследования во внштатных режимах, приводящие к необратимым изменениям.

Технологическая подготовка производства охватывает задачи реализации результатов конструкторского проектирования. Одной из ее задач является подготовка информации для автоматизированного технологического оборудования по производству и контролю тех или иных узлов электронных модулей [28]. Передача информации от САПР к оборудованию осуществляется по вычислительной сети. Причем сеть может быть как локальной, если РЭА производится на том же предприятии, где и проектировалась, так и глобальной, если она производится на другом предприятии.

Выделим три этапа технологической подготовки:

- для производства макетных образцов;
- для опытного производства;
- окончательной корректировки технологической документации перед серийным (мелкосерийным) производством и помещением ее в архив.

В процессе проектирования КД необходимо выделить пять этапов:

- разработку КД по результатам электронного конструирования;
- проектирование КД для макетного производства;
- коррекцию КД по результатам макетирования и проектирование комплекта КД, обеспечивающего производство опытных партий РЭА;
- коррекцию КД по результатам исследования программно-аппаратных систем на реальном объекте и результатам их опытной эксплуатации;
- проектирование полного комплекта КД, необходимого для серийного производства и эксплуатации РЭА.

В процессе макетного производства изготавливается и испытывается набор $I_{i1,\dots,id}^m$ электронных модулей и комплект $I_{i(d+1),\dots,ik}^m$ механических узлов, которые затем монтируются, образуя макет I_i^m ССД или СУ. Настройка РЭА, а также ССД и СУ осуществляется, как правило, на автоматизированных рабочих местах и стендах, также подключенных к вычислительной сети. Испытания систем по расширенной программе проводятся сначала на специализированных рабочих местах и стенах, а затем непосредственно на объекте. По результатам испытаний фиксируются замечания по схемотехнике и программному обеспечению, а также конструкторско-технологические недоработки. По критериям, условиям и ограничениям проектирования P_m , критериям качества при производстве, настройке и испытаниях K_n производится анализ замечаний и принимается решение либо о необходимости новой итерации на уровне макетного производства, либо о переходе к изготовлению опытной партии.

При производстве опытной партии модулей РЭА $I^{m+n}_{i1,\dots,ic}$, механических узлов $I^{m+n}_{i(c+1),\dots,if}$, систем I_i^{m+n} в целом отрабатывается технология их изготовления и испытаний, а также выявляются недоработки в схемотехнике, программном обеспечении и конструкции. В процессе испытаний ССД и СУ при опытном производстве проверяется

их работоспособность в диапазоне требований, определяемых ТЗ. Например, осуществляются проверка работоспособности систем в заданном температурном диапазоне и их испытания на вибrostенде при "транспортных" частотах, что позволяет выявить факты некачественной пайки и брака в узлах механического крепления. Иногда проводятся специальные исследования на помехоустойчивость.

При наличии замечаний они анализируются и по результатам анализа, либо продолжается итерационный процесс доводки изделия, либо оно передается в опытную эксплуатацию.

Внедрение в опытную эксплуатацию перед запуском в серийное производство — *отличительная особенность* процесса создания аппаратуры для научных исследований. В результате опытной эксплуатации разработчик получает новое изделие I_i^{m+n} либо готовое к серийному производству, либо (при наличии замечаний) требующее доводки (рис.2, 5).

Заметим, что в процессе развития эксперимента может потребоваться изменение серийного изделия I_i^{m+n} (рис.2), приводящее к выполнению нового цикла проектирования и производства.

К архиву конструкторско-технологической документации желательно обеспечить санкционированный доступ как по локальной сети предприятия, так и по *Internet*.

Функционирование ИСАПП РЭА невозможно без развитого *методического и организационного обеспечений* (рис. 2, 5), регламентирующих порядок ее эксплуатации, организационную структуру и взаимодействие подразделений, участвующих в создании аппаратуры.

2. О некоторых вопросах реализации ИСАПП РЭА для проведения исследований

При реализации рассматриваемой системы основной проблемой является разрешение главного противоречия процесса создания РЭА между *потребностями эксперимента и возможностями их удовлетворения*.

Если *потребности* определяются непосредственно заказчиком (например, физиком-экспериментатором), исходя из особенностей и целей решаемой задачи, то *возможности* их удовлетворения зависят от целого ряда объективных и субъективных факторов, основными из которых являются: уровень развития технических и программных средств проектирования, технологии производства, финансовые, кадровые, временные и другие ресурсы. С учетом реалий необходимо решить четыре комплексные задачи:

- обеспечить представление результатов предшествующих этапов проектирования в виде, достаточном для его продолжения, что важно для неоднородных систем, к которым относится ИСАПП РЭА, особенно при условии выполнения отдельных этапов на разных предприятиях;
- создать среду для взаимодействия коллективов сотрудников различных специальностей (предприятий) в рамках разработки и производства программно-аппаратных средств;
- обеспечить отдельные технологические цепочки для создания макетных образцов и серийной аппаратуры, минимальные сроки коррекции и выпуска конструкторской и технологической документации;
- обеспечить открытость ИСАПП РЭА.

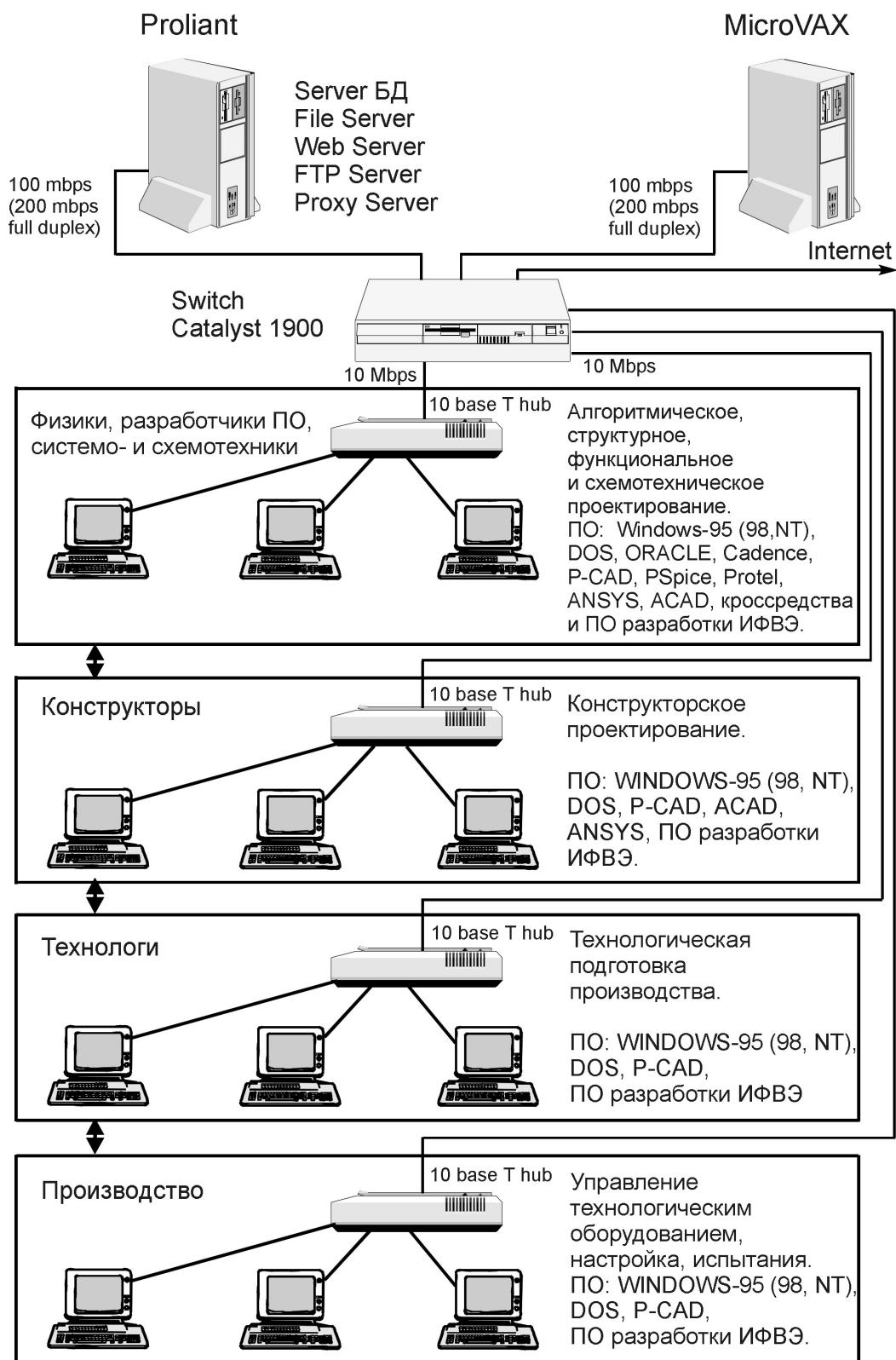


Рис. 6. Пример реализации локальной сети ИСАПП РЭА.

При разработке концепции предлагаемой ИСАПП РЭА, один из возможных вариантов реализации которой представлен на рис.6, использован многолетний опыт создания и развития системы автоматизированного проектирования и производства электроники в ИФВЭ.

Широко используемые в этой системе коммерческие пакеты прикладных программ P-CAD [24], ACAD [30], ORACLE [31] и др. предназначены для выполнения отдельных этапов разработки и производства программно-аппаратных средств, что потребовало создания среды для их одновременного и взаимосвязанного функционирования в интегрированной системе (например, программ P-CAD и ACAD при выпуске и коррекции КД).

Несмотря на то, что современное технологическое оборудование совместимо с коммерческими пакетами прикладных программ (таких, как P-CAD, PROTEL, CADENCE и др.), для некоторых технологических операций потребовалась разработка соответствующего программного обеспечения силами предприятия [28,29]. К таким задачам, например, относятся: расчет величины тока в гальванических ваннах в зависимости от площади металлизации печатной платы, подготовка информации для управления установкой контроля качества слоев и непосредственно многослойных печатных плат, оптимизация управления фотоплоттером и сверлильными станками, увеличивающая производительность и уменьшающая износ оборудования и др.

Следует заметить, что проблемы лингвистического и математического обеспечений ИСАПП РЭА решаются при выборе соответствующего программного обеспечения.

Созданная в ИФВЭ ИСАПП РЭА может обеспечить:

- разработку программного обеспечения для систем и интеллектуальных электронных модулей, включая разработку средств микропрограммирования;
- смешанное моделирование принципиальных схем;
- разработку топологии многослойных печатных плат;
- коррекцию топологии по результатам анализа ее геометрии;
- выпуск комплекта КД;
- подготовку информации для автоматизированного технологического оборудования;
- производство печатных плат конструктивов ЕВРОМЕХАНИКА, КАМАК, ФАСТБАС и др. с габаритными размерами до 450 x 450 мм, числом слоев до 12, классом сложности рисунка 3-4;
- монтаж, настройку и испытания модулей и систем;
- гибкость в процессе создания программно-аппаратных средств, комфортность при совместной деятельности со специалистами зарубежных центров.
- контроль процессов проектирования и производства аппаратуры.

Постоянное повышение требований к РЭА предопределяет совершенствование технологии проектирования и производства. Динамика развития программных и аппаратных средств вычислительной техники показывает, что не более чем за 3–5 лет происходит их смена. Причем новое прикладное программное обеспечение разрабатывается под новые операционные системы, которые устанавливаются на новые технические средства. При этом явно прослеживается тенденция на увеличение быстродействия, объемов оперативной и дисковой памяти вычислительных средств. В табл. 1 приведены минимальные требования к аппаратной части при использовании различных систем проектирования.

Таблица 1.

Используемое программное обеспечение	Требуемая операц. система	Тип процессора	Объем операт. памяти, МБ	Требования к монитору	Место на жестком диске, МБ
P-CAD 4.5	DOS	386	4	640-480 точ., 16 цвет.	10
P-CAD 8.5	DOS	486	8	640-480 точ., 16 цвет.	85
ACCEL-EDA 12.0	W-95/98/NT	P-100	16	800-600 точ., 256 цвет.	100
PROTEL	W-95/98/NT	P-100	16	800-600 точ., 256 цвет.	400
SPECCTRA 7.0	W-95/98/NT	P-MMX, PRO	32	800-600 точ., 256 цвет.	30
AUTOCAD R14	W-95/98/NT	P-100	16	800-600 точ., 256 цвет.	120
ANSYS 5.5	W-95/98/NT	P-MMX, PRO	32	1024-768 точ., 256 цвет.	500
CADENCE	W-95/98/NT	P-100	32	1024-768 точ., 256 цвет.	150
MENTOR GRAPHICS	W-95/98/NT	P-100	32	1024-768 точ., 256 цвет.	200

Имевшие место замены технологического оборудования, вычислительной техники и программного обеспечения в условиях действующего производства показали правильность подхода к организации ИСАПП РЭА, открытость и гибкость которой позволяют решить указанные задачи с минимальными потерями.

Заключение

Авторы надеются, что предлагаемая концепция будет полезна специалистам при определении оптимальных решений в многообразии частных задач, возникающих при создании современных программно-аппаратных средств для научных исследований.

Список литературы

- [1] CMS Collaboration. Technical Proposal for CMS Computing. - Preprint CERN/LHCC 96-45, CERN, Geneva, 1996.
- [2] Alferov V.N., Brook V.L., Dunaitsev A.F. et al. The UNK Control System. – In: Proceed. of the International Conference on Accelerator and Large Experimental Physics Control Systems, Tsukuba, Japan, 1991.
- [3] Москалев В.А., Сергеев Г.И. Измерение параметров пучков заряженных частиц. – М.: Энергоатомиздат, 1991.
- [4] Ageyev A., Alferov V., Dunaitsev A. et al. Control System of the IHEP Cryo Complex. – In: Proceed. of the 1997 International Conference on Accelerator and Large Experimental Physics Control Systems, Bejing, China, 1997.
- [5] CAMAC. A Modular Instrumentation System for Data Handling. EUR 4100, 1972.
- [6] The VMEbus Specification, Revision D, Draft 3.01. - VITA, April 24, 1990.
- [7] IEEE Standard FASTBUS Modular High-Speed Data Acquisition and Control System. ANSI/IEEE Std 960-1986.- The Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., New York, USA, December 12, 1985.

- [8] Белова Э.В., Братский А.А., Говорун В.Н. и др. Развитие системы ФАСТБАС в ИФВЭ: Препринт ИФВЭ 89-73, Серпухов, 1989.
- [9] Ермолин Ю.В., Коноплянников А.К., Кубаровский В.П. и др. Система съема информации установки “Лептон-Ф” с использованием вспомогательных контроллеров и буферной памяти: Препринт ИФВЭ 84-25, Серпухов, 1984.
- [10] Matioustine A., Sytin A., Clausen M. et al. A Configurable RT OS Powered Fieldbus Controller for Distributed Accelerator Controls. – In: Proceedings of the 1997 International Conference on Accelerator and Large Experimental Physics Control Systems, Bejing, China, 1997.
- [11] Разработка САПР. Кн. 1. Петров А.В., Черненький В.М. Проблемы и принципы создания САПР. /Под ред. Петрова А.В. – М.: Высшая школа, 1990.
- [12] Анисимов В.И., Дмитревич Г.Д., Перков Н.К. и др. Учебно-исследовательская система автоматизированного проектирования радиоэлектронных схем. /Под ред. Анисимова В.И. – Л.: Изд.-во Ленинградского университета, 1989.
- [13] Норенков И.П., Маничев В.Б. Системы автоматизированного проектирования электронной и вычислительной аппаратуры. – М.: Высшая школа, 1983.
- [14] Разработка САПР. Кн. 4. Вейнеров О.М., Самохвалов Э.Н. Проектирование баз данных САПР. /Под ред. Петрова А.В. – М.: Высшая школа, 1990.
- [15] Попов Э.В. Экспертные системы: Решение неформализованных задач в диалоге с ЭВМ. – М.: Высшая школа, 1987.
- [16] Разработка САПР. Кн. 9. Черненький В.М. Имитационное моделирование. /Под ред. Петрова А.В. – М.: Высшая школа, 1990.
- [17] Леонов А.П. К проблеме синтеза квазиоптимального по быстродействию цифрового управления позиционированием объекта: Препринт ИФВЭ 99-1, Протвино, 1999.
- [18] Разевиг В.Д. Применение программ P-CAD и PSpice для схемотехнического моделирования на ПЭВМ. В четырех выпусках. /Под ред. Веденеева Г.М. – М.: Радио и связь, 1992.
- [19] Mentor Graphics Corporation. A Guide to Design Process and Database Concepts. Part No. 055303. – Oregon, USA, 1994.
- [20] Saber/Fusion Mixed-Mode Simulator. - <http://www.analogy.com/Products/DataSheets/Saberfusion/sfds.htm>.
- [21] Advanced SIM User Guide and Reference Manual. – Protel International Pty Ltd., 1997.
- [22] Барнс Дж. Электронное конструирование: методы борьбы с помехами. – М.: Мир, 1990.
- [23] Разевиг В.Д., Блохнин С.М. Система P-CAD 7.0. Руководство пользователя. – М.: МП “Русь-90”, 1995.

- [24] Lipman J. EDA Tools accelerate high-speed PC-board design. – Electronic Design News, March, 1996.
- [25] PCB-Prototyping with LPKF: Fast, accurate, environmentally-friendly!. LPKF No.1 in Prototyping. - Garbsen, Germany, Internet: <http://www.LPKFCADCAM.com>.
- [26] Гриднев В.Н., Малов А.Н., Яншин А.А. Технология элементов ЭВА. /Под ред. Малова. – М.: Высшая школа, 1978.
- [27] Леонов А.П., Милютин В.П., Рабский Н.Н., Хворостянов А.Г. Разработка программного обеспечения для сопряжения САПР ИФВЭ с автоматизированным технологическим оборудованием: Препринт ИФВЭ 96-84, Протвино, 1996.
- [28] Леонов А.П., Лукьянцев А.Ф., Милютин В.П. и др. САПР проект и сравнительный анализ некоторых результатов ее работы и пакета PCAD: Препринт ИФВЭ 95-101, Протвино, 1995.
- [29] Наградова М. AutoCAD. Справочник конструктора. – М.: Прометей, 1991.
- [30] ORACLE RDBMS, Database Administrator's Guide. Version 6.0. Part No3601-v.6.0. - Oracle Corporation, 1990.

Рукопись поступила 13 марта 2000 г.

А.Ф.Дунайцев и др.

Современные тенденции в проектировании и производстве электроники в ИФВЭ.

Оригинал-макет подготовлен с помощью системы L^AT_EX.

Редактор Н.В.Ежела.

Технический редактор Н.В.Орлова.

Подписано к печати 16.03.2000 Формат 60 × 84/8. Офсетная печать.
Печ.л. 2.12. Уч.-изд.л. 1.7. Тираж 130. Заказ 80. Индекс 3649.
ЛР №020498 17.04.97.

ГНЦ РФ Институт физики высоких энергий
142284, Протвино Московской обл.

Индекс 3649

ПРЕПРИНТ 2000-8, ИФВЭ, 2000
