

82988

K-932

**ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ  
ЛАБОРАТОРИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ  
И АВТОМАТИЗАЦИИ**

13-8115

**КУРКОВ  
Евгений Васильевич**

**ИССЛЕДОВАНИЕ, РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ  
ПОДСИСТЕМ МАШИННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ  
И АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ИЗГОТОВЛЕНИЯ УЗЛОВ  
ЯДЕРНОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ**

**Специальность 05.13.06 - автоматизированные  
системы переработки информации и управления**

**Автореферат диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук**

**(Диссертация написана на русском языке)**

Дубна 1974

Работа выполнена в Совзном научно-исследовательском институте приборостроения (СНИИП).

Научный руководитель: кандидат технических наук

А.Ф.Белов.

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор

Ю.М.Шамаев,

кандидат физико-математических наук

Ю.Н.Симонов.

Ведущее научно-исследовательское учреждение:

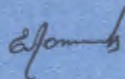
Московский инженерно-физический институт.

Автореферат разослан "\_\_\_" \_\_\_\_\_ 1974 г.

Защита диссертации состоится "\_\_\_" \_\_\_\_\_ 1974 г. на заседании Ученого совета Лаборатории вычислительной техники и автоматизации ОИЯИ, г.Дубна, Московской области.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Ученый секретарь Совета



Е.А.ЛОГИНОВА

13-8115

**КУРКОВ**  
Евгений Васильевич

**ИССЛЕДОВАНИЕ, РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ  
ПОДСИСТЕМ МАШИННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ  
И АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ИЗГОТОВЛЕНИЯ УЗЛОВ  
ЯДЕРНОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ**

**Специальность 05.13.06 - автоматизированные  
системы переработки информации и управления**

**Автореферат диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук**

**(Диссертация написана на русском языке)**

Необходимость ускорения темпов развития ядерного приборостроения в связи с повышением его роли в современной науке и технике требует постоянного совершенствования методов разработки аппаратуры. Автоматизация расчетных и проектных работ при помощи вычислительной техники является самым перспективным способом сокращения сроков создания новых приборов без увеличения численности разработчиков. Этим объясняется повышенный интерес к проблемам, связанным с машинными методами проектирования аппаратуры.

Наибольшее развитие машинные методы проектирования получили в настоящее время в области разработки цифровой аппаратуры, в особенности самих вычислительных машин. В ряде организаций Союза созданы системы автоматизированного проектирования аппаратуры. Однако все существующие системы проектирования сильно связаны с отраслевыми конструктивами, технологией и типами технологического оборудования и нормальми по оформлению схемной и конструкторской документации. Поэтому ни одна из них не удовлетворяет полностью требованиям, отражающим специфику ядерного приборостроения. Известные системы предназначены, как правило, для проектирования только цифровой

аппаратуры на многослойных печатных платах с применением покупных интегральных схем. Для аппаратуры ядерного приборостроения, наоборот, характерна большая доля аналоговых и смешанных цифро-аналоговых схем, проектирование которых на печатных платах с двухсторонним монтажом не предусматривается существующими системами. Специфические схемы ядерной электроники (например, зарядно-чувствительные усилители, электроника искровых камер) целесообразно проектировать и изготавливать в виде гибридных микроузлов частного применения. Их проектирование в существующих системах также не предусмотрено.

Кроме того, эффективность известных систем в значительной мере зависит от применяемого в их составе нестандартного дополнительного оборудования, недоступного для рассматриваемой отрасли. Перечисленные причины не позволяют заимствовать полностью готовые системы проектирования.

Поэтому при разработке машинных методов проектирования для ядерного приборостроения автору пришлось решить ряд задач, связанных с выбором состава подсистем проектирования и разработкой оптимальных алгоритмов проектирования. Этим вопросам, составляющим методологическую основу диссертации, посвящена теоретическая ее часть. На основании предложенных и исследованных методов в последующих разделах диссертации решаются задачи, непосредственно связанные с реализацией конкретных подсистем проектирования узлов ядерно-физической аппаратуры на печатных платах и гибридных схемах. В работе исследованы также вопросы технического обеспечения подсистем машинного проектирования и изготовления приборов специальной аппаратурой ввода и вывода графической информации для связи с ЭВМ.

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения и пяти приложений.

Во введении сформулированы поставленные перед автором диссертационной работы задачи:

- анализ возможностей и эффективности автоматизации этапов проектирования аппаратуры при помощи ЭВМ;
- выбор первоочередных задач автоматизации проектирования;
- анализ алгоритмов и исследование качества алгоритмов проектирования узлов аппаратуры на печатных платах;
- исследование и оптимизация модели печатной платы;
- анализ задач конструкторского проектирования и технологической подготовки производства гибридно-интегральных схем (ГИС);
- разработка, исследование и внедрение подсистемы проектирования и изготовления оригиналов печатных плат и подсистемы изготовления оригиналов ГИС;
- анализ методов и разработка технических средств для повышения эффективности подсистем проектирования и изготовления аппаратуры;
- исследование эффективности предложенных подсистем проектирования и изготовления узлов ядерно-физической аппаратуры и разработанных технических средств по результатам их внедрения.

Ниже излагается содержание диссертации по главам.

В первой главе проводится обзор проблемы полной автоматизации процесса проектирования аппаратуры, включающего анализ линейных электронных схем в стационарных и переходных режимах и учет разброса параметров схемных компонентов /9/, синтез и моделирование цифровых схем, машинное проектирование конструкции узлов аппаратуры /1,2/, разработку документации и составление тестов для проверки дискретных узлов. На основании анализа важности рассмотренных задач для

проектирования ядерно-физической аппаратуры, анализа алгоритмов их решения, требуемого объема памяти и машинного времени выбираются первоочередные задачи автоматизации. Решение этих задач должно оптимизировать соотношение между эффектом и затратами при наличии таких ограничений как мощность имеющейся ЭВМ и время разработки алгоритмов и программ. Делается вывод о необходимости проведения автоматизации в две очереди с выбором для первой очереди задач конструкторского проектирования печатных плат с двухсторонним монтажом и изготовления оригиналов печатных плат и гибридных схем частного применения. Во вторую очередь разрабатываемой для ядерного приборостроения системы должны быть включены задачи анализа линейных электрических схем, моделирования логических схем и синтеза тестов для цифровых схем.

Во второй главе конкретизируются задачи этапа конструкторского проектирования и технологического синтеза для печатных плат и ГИС. Обосновано применение алгоритмического подхода и решены методологические вопросы осуществления этого подхода: расчленение полной задачи конструкторского проектирования на подзадачи, выбор наиболее оптимальных с точки зрения конечного результата проектирования алгоритмов решения подзадач, отыскание критериев оптимальности алгоритмов.

Так как каждая выделенная подзадача проектирования решается своим алгоритмом, возникает проблема сравнения алгоритмов по качеству получаемых с их помощью решений. Автором предложена методика оценки качества алгоритмов размещения модулей на платах (под модулями в общем виде понимаются интегральные схемы (ИС) и отдельные электрические компоненты). Методика основана на понятии эталонного размещения, для которого расстояния между соединенными модулями

распределены по закону  $P(d) = \exp(-d/d_{cp})$ . Здесь  $P(d)$  - вероятность того, что расстояние между модулями равно  $d$ ,  $d_{cp}$  - среднее расстояние между модулями на плате:  $d_{cp} = M[d]$  - математическое ожидание величины  $d$ . Плотность распределения задается функцией

$$f(x) = \frac{\exp(-x/d_{cp})}{d_{cp} [1 - \exp(-d_{\max}/d_{cp})]}$$

в интервале  $0 \leq x \leq d_{\max}$ . Соединения размещаемых модулей между собой и с разъемом задаются матрицей связности  $C = \|c_{ij}\|$ , где элемент  $c_{ij}$  равен числу связей между модулями  $i$  и  $j$ , а расстояния между посадочными местами модулей на плате задаются матрицей расстояний

$D = \|d_{ij}\|$ , где  $d_{ij} = |x_i - x_j| + |y_i - y_j|$ . По указанной исходной информации определяются экспериментальные "вероятности" нахождения соединенных модулей на расстоянии  $x$  друг от друга  $P_3(x)$ . За меру качества размещения предлагается принять значение величины

$$F = \frac{1}{d_{cp}} \left\{ \int_0^{d_{\max}} [P_3(x) - P(x)] dx + \int_{d_{cp}}^{d_{\max}} [P(x) - P_3(x)] dx \right\}$$

, интерпретируемой как нормализованное превышение средней экспериментальной вероятности над средней теоретической, что благоприятствует получению минимального значения суммарной длины соединительных проводников

$$L = \min \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N c_{ij} d_{ij},$$

где  $N$  - общее число модулей. Данный метод сравнения оказался удобнее известных методов статистического моделирования. Проведенные в работе оценки качества трех алгоритмов размещения при значительно меньшем объеме вычислений привели к результатам, совпадающим с полученными методом моделирования. Наилучшее размещение модулей получается по алгоритму направленных перестановок, который был реализован автором в виде программы ПРИМ-2 для ЭВМ "Минск-22"/3/. Чтобы сделать алгоритм независимым от конкретной конфигурации расположения посадочных мест для модулей на плате, предложена универсальная фор-



мула вычисления величины  $d_{ij}$  через номера посадочных мест  $p_i$ ,

$$p_j : d_{ij} = \text{ent} \left| \frac{p_i - p_j}{n_k} \right| + |p_i - p_j - n_k [ \text{ent} \left| \frac{p_i - 1}{n_k} \right| - \text{ent} \left| \frac{p_j - 1}{n_k} \right| ]|,$$

где  $n_k$  - число посадочных мест в горизонтальном ряду,  $\text{ent}[x]$  - целая часть числа  $x$ .

Начальное размещение модулей выбирается либо случайным образом, либо определяется по простому алгоритму последовательного (попарно-го) размещения, описанному в диссертации. Время размещения  $n$  модулей по программе ПРИМ-2 растет быстрее, чем  $n^2$ , что является существенным ограничением для ее использования при  $n > 30^{1/3}$ . Поэтому в работе предложена модификация алгоритма, реализованная в программе ПРИМ-10, позволяющая уменьшить число перестановок, благодаря чему время размещения сокращается в 4-7 раз по сравнению с программой ПРИМ-2. Кроме того, в данной модификации предусмотрено расположение модулей, сильно связанных с разъемом, в местах, которые могут задаваться разработчиком.

Из анализа алгоритмов трассировки, основанного на критерии удлинения трасс по сравнению с теоретическим расстоянием между соединяемыми точками, следует, что лучшие результаты получаются при использовании волнового алгоритма<sup>12/</sup>. Далее проводится анализ модели печатной платы для определения оптимального соотношения между числом интегральных схем, устанавливаемых на плате ( $N$ ), и числом контактов разъема для внешних связей платы ( $P$ ). Предложенный в работе общий подход к решению этой важной для машинного проектирования задачи основан на совместном учете двух предпосылок<sup>15/</sup>. При заданных размерах платы, числе модулей  $N$  и минимальном шаге проводников  $d$  имеется ограничение числа выводов  $P$  в виде функции

$$P_1 = \varphi_1(N),$$

которое определяется величиной части площади платы,

предназначенной для прокладки проводников от разъема к выводам микросхем. Кроме того, между  $P$  и  $N$  существует эмпирическая зависимость вида  $P_2 = \varphi_2(N) = KN^\tau$ , где  $K$  и  $\tau$  - постоянные, которые могут быть определены для каждого заданного комплекса интегральных схем и зависят также от класса сложности схем узлов. Показано, что при одновременном учете этих двух предпосылок полученное соотношение между  $P$  и  $N$  является оптимальным с точки зрения использования ресурсов платы по размещению соединительных проводников. Приведены оптимальные соотношения между  $P$  и  $N$  для основного типоразмера плат конструктива АСАП<sup>\*)</sup> 140x160 мм<sup>2</sup>. Средние оценки числа ИС и числа выводов разъема для этой платы хорошо согласуются с приведенными в диссертации примерами имеющих близкие размеры печатных плат различных отечественных и зарубежных организаций и фирм. Рассмотрена формализация модели печатной платы для трассировки и проанализированы способы хранения модели в оперативной памяти ЭВМ.

На основании проведенных в данной главе исследований выбраны основные алгоритмы проектирования печатных плат.

В качестве примера применения предложенных в главе методов и алгоритмов описывается реализованная подсистема программ проектирования печатных плат МАСТЕР-ПП. При ее разработке главная предпосылка состояла в том, что в выделенной последовательности взаимосвязанных трудоемких работ объем исходных данных для решения всех задач должен быть минимальным. Поэтому кроме задач размещения модулей и трассировки связей в подсистему МАСТЕР-ПП включены также задачи автоматизации внесения изменений и добавлений в машинную трассировку после доработки платы конструктором, расчета на ЭВМ управляющих перфолент для изготовления оригиналов печатных плат на автоматиче-

<sup>\*)</sup> Агрегатированная Система Атомного Приборостроения

ском координатографе ЭМ-703 и сверления отверстий в готовых платах на программном станке ОФ-72.

Подсистема МАСТЕР-ПП предназначена для разработки одной из основных конструктивных разновидностей печатной платы АСАП с размерами 140x160 (155x158) мм, на которой устанавливается в случае цифровых узлов 24(25) ИС в корпусе 30IPL I4 или 30 ИС в корпусе IOIST I4 (с планарными выводами). В автоматическом режиме машиной разводится 60-80% всех заданных соединений, остальные приходится дорабатывать вручную. Результаты доработки заносятся в информационный массив о плате и обрабатываются комплексом программ ОРИОН, а ввод скорректированного чертежа платы осуществляется при помощи разработанного и описанного в третьей главе устройства кодирования координат.

Невозможность провести полное конструктивное разделение цифровых и аналоговых схем ядерно-физической электроники по разным узлам приводит к тому, что около 60% узлов являются смешанными. Экспериментально было показано, что, если число навесных деталей, выраженное через эквивалентное количество корпусов интегральных схем, составляет не более 30% от числа интегральных схем на плате, то можно производить размещение навесных деталей комплексами, площадь которых эквивалентна площади одного корпуса ИС. Для частичной автоматизации конструкторского проектирования подобных смешанных узлов предложена полуавтоматическая подсистема, включающая машинное размещение элементов на плате, трассировку соединений конструктором на специальном чертеже заготовки печатной платы, кодирование трасс при помощи полуавтоматической установки ввода координат в машину и обработку информации, которая заканчивается выдачей перфоленты для координатографа и сверлильного станка.

Программное обеспечение этой подсистемы состоит из программы ПРИМ-Ю, комплекса ОРИОН и специальной программы распаковки информа-

ции о координатах точек чертежа трассировки, вводимой в ЭВМ с перфоленты.

Как показано в приложении к диссертации, подсистема программ МАСТЕР-ПП, несмотря на некоторые ограничения и необходимость применения ручной доработки, позволяет почти в 2,5 раза сократить продолжительность всего цикла технической реализации печатных плат. В работе проведено экспериментальное исследование влияния конструктивных факторов на процент автоматически разведенных связей и показано, что лучшие результаты получаются при использовании микросхем в корпусе 30IPL I4. Установлено, что микросхемы с планарными выводами позволяют добиться большей плотности монтажа, но для автоматической разводки менее удобны, поскольку для осуществления переходов связей с одной стороны платы на другую требуется вводить множество дополнительных отверстий (примерное отношение переходных отверстий к числу выводов ИС - 2:3), наличие которых затрудняет размещение проводников. Таким образом, машинное проектирование соединений проигрывает ручному способу по качеству, но дает заметный выигрыш по времени.

Во второй главе анализируется также подсистема технической реализации гибридных микросхем, изготавливаемых по тонко-пленочной и фото-литографической технологии МАСТЕР-ГС. Автоматизация проектирования топологии ГИС на ЭВМ вызывает значительные трудности по сравнению с проектированием печатного монтажа. Форма и размеры фигур элементов ГИС неодинаковы, они не могут быть заданы, как в случае интегральных элементов, положением одной точки-центра тяжести элемента. После любого изменения взаимного положения фигур (перемещение и поворот) требуется проверка на отсутствие пересечения между ними и соблюдение минимальных технологических зазоров. При анализе задачи было показано, что из-за большого требуемого объема памяти и тру-



доемкости вычислений разработка программ для автоматизации конструирования ГИС на ЭВМ класса "Минск" нецелесообразна. В противоположность этому, технологическая подготовка производства оригиналов гибридных схем может быть автоматизирована без особых трудностей и позволяет получить значительный выигрыш во времени. В работе рассмотрены примеры решения характерных задач, относящихся к автоматизации получения оригиналов при помощи разработанной под руководством автора подсистемы программы МАСТЕР-ГС.

На основании анализа требований к точности изготовления гибридных микросхем показано, что оригиналы для них должны изготавливаться либо в увеличенном масштабе на прецизионном графическом устройстве (координатографе), имеющем погрешность  $\pm 50$  мкм, либо в натуральную величину с погрешностью  $\pm 5$  мкм на фотонаборной установке. Описаны алгоритмы получения управляющих перфолент на ЭВМ "Минск-22" для конкретных типов оборудования. Комплекс программ ПУРГА /6/ предназначен для изготовления оригиналов, послойного изображения масок гибридных микросхем на промышленном координатографе ЭМ-701М, который описывается в главе III и был самостоятельным предметом исследования данной диссертационной работы. Особенностью предложенного алгоритма вычерчивания (вырезания) фигур по отношению к известным, является то, что производится разделение границ фигур на горизонтальные и вертикальные составляющие, которые обрабатываются на ЭВМ и воспроизводятся на координатографе по отдельности. Преимущества предложенного алгоритма состоят в том, что инструмент координатографа (резец) ориентируется только два раза при произвольном количестве фигур любой сложности, экономится время за счет сокращения числа переориентаций, повышается точность изготовления оригинала и уменьшается неровность линий, так как погрешность инструментальной головки (от эксцентриситета вершины резца) должна учитываться всего два раза во время переориентации.

В комплексе программ ПУРГА большое внимание уделено вопросу контроля исходной информации: имеется синтаксический и смысловой контроль при вводе информации, а также предусмотрено воспроизведение контрольного чертежа оригинала средствами алфавитно-цифровой печати. Приведены сравнительные характеристики времени полного цикла изготовления оригиналов при подготовке перфолент с помощью описанного комплекса программ и их воспроизведения на серийных координатографах ЭМ-703 и ЭМ-701М.

Показано, что при различии в скоростях работы самих координатографов примерно в 2,5 раза, цикл изготовления оригинала на ЭМ-701М примерно на 12% больше, чем на ЭМ-703, поскольку основное время в цикле тратится на подготовку информации для ввода в ЭВМ. Таким образом, показано, что разработка программного обеспечения позволила существенно повысить эффективность использования координатографа (примерно в 4 раза). В составе подсистемы МАСТЕР-ГС разработан также комплекс программ ПИРС, предназначенный для получения управляющих перфолент для фотонаборной установки ЭМ-518. Исследован алгоритм программы ПИРС. Показано, что задача покрытия заданной совокупности фигур минимальным набором различных масок при одновременном условии оптимизации длины линии центров масок является задачей комбинаторного типа с большим числом допустимых вариантов.

Так как реальные маски насчитывают несколько сот вершин, невозможно найти точное решение задачи. Поэтому предложен и реализован эвристический алгоритм, состоящий из трех частей: разрезание многоугольных фигур на прямоугольники, заполнение каждого полученного прямоугольника совокупностью масок из имеющегося у фотонаборной установки ЭМ-518 набора, перекодировка информации на язык установки для выдачи на перфоленту. Описаны основные особенности разработан-

ного алгоритма, приведены блок-схемы характерных его частей. Реализованный на основе этого алгоритма комплекс программ ПИРС позволяет сократить цикл изготовления фотошаблона ГИС на установке ЭМ-518 почти в 5 раз, что делает ее применение особенно выгодным для изготовления шаблонов коммутационных слоев, отличающихся повышенной сложностью.

В третьей главе диссертационной работы решены некоторые задачи анализа и разработки аппаратных средств ввода-вывода графической информации для ЭВМ, предназначенных для ввода чертежей в ЭВМ, наблюдения результатов машинного проектирования и технологической реализации оригиналов (прецизионных чертежей) печатных плат и масок ГИС, рассчитанных по предложенным и описанным в предыдущей главе алгоритмам.

При автоматизированном проектировании печатных плат и гибридных микросхем разработчику часто приходится общаться с машиной, причем целесообразные формы представления информации для машины и для человека совершенно различны. В связи с этим необходимы удобные средства перевода информации, подготавливаемой человеком для машины и, наоборот, выдаваемой машиной для дальнейшей работы человека. Опыт показал, что имеющееся у машин второго поколения стандартное внешнее выводное регистрирующее оборудование не обеспечивает при машинном проектировании эффективного общения человек-машина в процессе разработки.

Рассмотрены возможности и методы построения устройств ввода графической информации, которые сравниваются между собой в различных аспектах. Приводятся достигнутые технические характеристики некоторых промышленных устройств, реализующих метод преобразования перемещения визира с помощью дифракционных круговых датчиков поло-

жения в последовательность импульсов, число которых фиксируется в реверсивных счетчиках. Данный метод обеспечивает достаточную для наших целей точность ( $\pm 50$  мкм) и для его реализации требуется сравнительно несложная электроника. Проанализированы различные варианты конечных приборов: ленточный и карточный перфоратор, электрическая пишущая машинка, цифровые индикаторы. Приводятся результаты оценки количества оборудования, необходимого для реализации указанных вариантов. В качестве примера рассмотрено разработанное под руководством автора устройство с клавиатурой, блоком цифровой индикации и ленточным перфоратором.

Экспериментальное исследование разработанного устройства ввода координат показало, что с его помощью можно достигнуть скорости кодирования 2000 однородных точек в час при шаге координатной сетки на чертеже, равном 5 мм, при шаге 2,5 мм скорость должна быть снижена примерно до 600 точек/час во избежание увеличения процента ошибок. Проанализированы затраты времени на получение чертежа, не содержащего ошибок, с применением координатографа для контроля. На основании анализа выведенной формулы предложен способ двукратного кодирования чертежа и сличения полученных перфоленов на ЭВМ. Этот способ позволяет уменьшить процент ошибок примерно в 3 раза и получить правильный чертеж с меньшими почти на 50% затратами времени.

В работе автором предложено также другое устройство ввода чертежей /13/. Устройство состоит из планшета, представляющего собой ортогональную систему равномерно расположенных в двух параллельных плоскостях проводов, высоковольтного источника искрового разряда и регистрирующей части, выполненной на ферритовых сердечниках с прямоугольной петлей гистерезиса. Приводятся некоторые рекомендации по конструктивной реализации этого устройства, обладающего

менее высокой, но достаточной для кодирования чертежей печатных плат, точность. Преимущества этого устройства: высокая помехозащищенность, свойственная принципу фиксации координат, и получение отсчета в абсолютных единицах. В следующем разделе III главы рассмотрены вопросы построения еще не получивших широкого распространения в Союзе наиболее удобных средств общения с ЭВМ, так называемых экранных пультов, или дисплеев.

Проанализированы известные методы построения экранных пультов, основанные на растровом, векторном и точечном принципе генерации изображения. Для оценки качества спроектированной платы на экран ЭЛТ должны выводиться послойные изображения найденных машиной трасс. Поскольку в диссертации задача ограничивалась наблюдением полученного чертежа, рассматривается пример построения простейшего экранного пульта /4/. Автором получено авторское свидетельство на схему построения пульта растрового типа, позволяющую снизить требования к быстродействию встроенного буферного ЗУ, необходимого для регенерации информации на ЭЛТ /14/. Приведено описание блок-схемы экранного пульта и отдельных блоков /4,7,8/. Намечены основные принципы построения программного обеспечения для двухсторонней связи между ЭВМ и экранным пультом.

Для изготовления точных чертежей оригиналов гибридных схем могут применяться графические устройства, основанные на различных технических принципах, рассмотренных в диссертации. Для наших целей по точности наиболее подходят координатографы с плоской поверхностью стола и прямоугольными координатами. При этом только автоматическое программное управление координатографом позволяет реализовать все возможности машинного проектирования. Из наиболее распространенных способов реализации электронно-механического привода перемещения

инструмента был выбран способ с применением шаговых двигателей /16/. Это продиктовано, главным образом, соображениями максимальной простоты блока управления для достижения более высокой надежности. Проблема надежности — наиболее важная задача разработки, для решения которой были предусмотрены следующие меры:

- блок управления реализован на интегральных схемах;
- введено буферное запоминающее устройство, позволяющее сохранять принятую с перфоленты информацию и следить за правильностью ее преобразования в команды координатографа;
- в блоке управления шаговыми двигателями введено тройное резервирование и использован принцип "голосования" так, что разрешение обеспечивается, когда две из трех схем имеют одинаковый выход.

Как показало экспериментальное исследование, разработанный автоматизированный координатограф ЭМ-701М по надежности превосходит серийный координатограф ЭМ-703. Другие его технические характеристики — точность и размеры стола, примерно одинаковы с ЭМ-703, кроме скорости работы, которая почти в 2,5 раза ниже. Однако, ввиду наличия программного обеспечения при одинаковой сложности оригиналов суммарные затраты времени на подготовку исходных данных и вычерчивание оригинала на координатографе ЭМ-701М лишь на 10-12% больше.

Реферируемая работа посвящена теоретическому и экспериментальному исследованию методов и устройств для автоматизации разработки и подготовки производства узлов ядерно-физической аппаратуры. Основные результаты проведенных исследований сводятся к следующему:

I. Проанализировано состояние машинного проектирования радиоэлектронной аппаратуры в целом, даны оценки направлений и перспектив автоматизации разных этапов проектирования.

2. На основании этого анализа с учетом специфики ядерно-физической аппаратуры показана целесообразность решения в первую очередь задач конструкторского проектирования, которые дадут наибольшее сокращение времени проектирования и сформулированы эти задачи.

3. Дан анализ известных алгоритмов решения задач конструкторского проектирования, отобранных для первой очереди автоматизации.

4. Предложены модификации алгоритмов размещения элементов и трассировки соединений, пригодные для реализации на ЭВМ "Минск-22".

5. Разработана методика оценки качества алгоритмов размещения, основанная на сравнении полученного результата с эталонным размещением.

6. Решена задача об оптимальном соотношении между числом корпусов интегральных схем, устанавливаемых на плате, и числом выводов на разъеме для плат заданных размеров с двухсторонним печатным монтажом.

7. Разработана и внедрена подсистема программ для алгоритмического проектирования печатных плат МАСТЕР-ПП, решающая задачи размещения, трассировки, внесения изменений на печатных платах основного размера 140x160 (155x158) мм<sup>2</sup> и выдачи управляющих перфолент для изготовления оригиналов печатных плат и сверления отверстий на программных установках ЭМ-703 и ОФ-72.

8. Проведен анализ технико-экономических характеристик подсистемы МАСТЕР-ПП, показавший, что с ее помощью принципиально возможно сократить полный цикл технической реализации печатных плат примерно в 2,5 раза.

9. Разработана и внедрена подсистема программы для автоматизации изготовления оригиналов гибридно-интегральных схем МАСТЕР-ГС, позволяющая повысить производительность координатографов ЭМ-703 и ЭМ-701М примерно в 4 раза и фотонаборной установки ЭМ-518 примерно в 5 раз.

10. Для повышения эффективности разработанных программных средств предложены графические устройства ввода и вывода информации для ЭВМ:

- для ввода чертежей печатных плат и ГИС;
- экранный пульт для наблюдения результатов автоматического проектирования печатных плат;
- пульт управления координатографом для изготовления оригиналов гибридных схем.

11. Найдены новые технические решения, оригинальность которых подтверждена авторскими свидетельствами /Ю-14/. Примерами могут служить схемы экранного пульта /14/ и планшетное устройство кодирования координат плоских чертежей /13/.

Содержание диссертации изложено в научно-технических отчетах СНИИП. Некоторые результаты, полученные в диссертации, переданы другим организациям. В частности, подсистема программы МАСТЕР-П передана в ЛЯП ОИЯИ (г.Дубна), комплекс программ ПУРГА - в Вильнюсский научно-исследовательский институт радиоизмерительных приборов (ВНИРИП).

По теме диссертации автора опубликованы следующие работы:

1. Белов А.Ф., Горячев А.А., Курков Е.В. Обзор алгоритмов размещения компонентов на печатных платах. В сб. "Ядерное приборостроение" (Труды СНИИП), вып.ХУШ, М., Атомиздат, 1972, 22-31.

2. Белов А.Ф., Курков Е.В., Горячев А.А. Обзор алгоритмов трассировки соединений на печатных платах. Там же, стр.32-39.

3. Белов А.Ф., Курков Е.В., Горячев А.А., Зайцева Н.П. Решение задачи размещения модулей на плате по минимуму суммарной длины связей на ЭВМ "Минск-22". Там же, стр.40-47.

4. Белов А.Ф., Васильев В.М., Курков Е.В. Электронное устройство для отображения двухмерной информации. Там же, стр.48-55.

5. Белов А.Ф., Курков Е.В., Сергань П.В., Толмачев Ю.В. Определение числа интегральных схем и контактов разъема на двухсторонних печатных платах заданных размеров с учетом их машинного проектирования. В сб. "Вопросы атомной науки и техники" сер. "Ядерное приборостроение", вып.23, М., Атомиздат, 1973, 57-65.

6. Белов А.Ф., Васильев В.М., Воробьев А.А., Кулагин М.А., Курков Е.В., Остроумов А.Д. Получение оригиналов гибридно-интегральных микросхем с помощью ЭВМ "Минск-22" и координатографа с программным управлением ЭМ-701М. В сб. "Вопросы атомной науки и техники". сер. "Ядерное приборостроение", вып.23, М., Атомиздат, 1973, 48-56.

7. Курков Е.В., Белов А.Ф., Остроумов А.Д. Использование газоразрядных ламп для индикации показаний счетчиков на интегральных схемах. В сб. "Ядерное приборостроение" (Труды СНИИП), вып.ХУШ, М., Атомиздат, 1972, стр.86-89.

8. Белов А.Ф., Васильев В.М., Курков Е.В., Ситников М.Н. Универсальный блок управления ленточным перфоратором. В сб. "Вопросы атомной науки и техники", сер. "Ядерное приборостроение", вып. 21, М., Атомиздат, 1973, стр.72-78.

9. Белов А.Ф., Курков Е.В. Анализ параметров электронных схем с помощью электронно-вычислительных машин. (Обзор) В сб. "Вопросы атомной науки и техники", сер. "Ядерное приборостроение", вып. 23, М., Атомиздат, 1973, стр.3-20.

10. Белов А.Ф., Курков Е.В. Многоканальный счетчик импульсов. Авт. свид. № 331383, "Бюллетень", № 9, 1972 г.

11. Белов А.Ф., Доценко Ю.Ю., Курков Е.В. Устройство для кодирования временного интервала. Авт.свид. №351319, "Бюллетень", №27, 1972 г.

12. Белов А.Ф., Доценко Ю.Ю., Курков Е.В. Двоично-десятичный счетчик. Авт. свид. № 320061, "Бюллетень" № 33, 1971 г.

13. Белов А.Ф., Курков Е.В. Устройство для кодирования плоских чертежей. Авт.свид. № 434432, Бюлл. № 24, 1974 г.

14. Белов А.Ф., Васильев В.М., Курков Е.В. Электронно-лучевой индикатор. Авт. свид. № 411476, "Бюллетень" № 2, 1974 г.

Рукопись поступила в издательский отдел  
2 августа 1974 года.