

М 410962

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ СССР

МОСКОВСКОЕ

ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового
Красного Знамени высшее техническое училище имени Н.Э. Баумана

На правах рукописи

Теребенков Аркадий Петрович

МЕТОД АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ВЫПУСКА КОНСТРУКТОРСКОЙ
И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ТЕКСТОВОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ И
ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОБЪЕМНОГО МОНТАЖА В ШКАФАХ РЗА

Специальность 05.13.12 - Системы автоматизированного
проектирования и автоматизация технологической
подготовки производства (в промышленности)

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва

1983

Работа выполнена в Московском институте радиотехники,
электроники и автоматики

Научный руководитель -- кандидат технических наук, доцент
Семорнев В.Н.

Официальные оппоненты:

Доктор технических наук, профессор Батищев Д.И.

Кандидат технических наук Сургуладзе М.И.

Ведущее предприятие -- Институт точной механики и вычислительной
техники АН СССР

Защита состоится 6 октября 1983 года в 16.00 на заседании
специализированного ученого совета Д 063.15.03 при Московском
высшем техническом училище им. Н.Э.Баумана по адресу:
117006, г. Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5

С диссертацией мож
но ознакомиться в 2-х

Вашим отменен в 2-х
высшем техническом училище им. Н.Э.Баумана.

Автореферат разос

Учений секретарь
высшего совета

M 410962

Актуальность проблемы. В настоящее время на предприятиях, широко использующих средства автоматизации проектирования, накоплен значительный опыт по эксплуатации различных САПР. Однако, существуют многочисленные нерешенные задачи, обусловленные, в частности, следующими причинами:

1. Постоянное уложение РЭА и ЭВА требует, чтобы автоматизированными методами решался более широкий круг конструкторских и технологических задач, чем это имеет место в настоящее время. Например, в процессе конструирования печатных плат и блоков часто используются автоматизированные методы. Но в процессе конструирования сборочных единиц более высокого конструктивного уровня, как правило, используются неавтоматизированные методы.

2. Значительная часть конструкторских и технологических текстовых документов (КТТД) выпускается все же вручную, хотя в архивах автоматизированных систем может быть достаточно исходных данных для организации их автоматизированного выпуска и проведения корректировок.

Следует отметить, что в материалах доступных отечественных публикаций не было найдено сообщений о решении проблемы создания законченной САПР, выпускающей значительное количество типов КТТД и оперирующей с большими объемами данных (десятки мегабайт). Одна из частных задач этой проблемы связана с соединением алгоритмов трассировки проводных соединений в монтажном пространстве листов. Эта задача может быть сведена к целочисленной задаче оптимизации многопродуктового потока минимальной стоимости в связанной неориентированной сети. Какой-либо методики решения этой последней задачи не было найдено в доступных отечественных и зарубежных публикациях (зарубежные публикации отслеживались через авторитетный реферативный журнал *International Abstracts in Operations Research*).

Цель работы. Целью диссертационной работы является исследование, разработка и внедрение метода автоматизированного выпуска КТТД. Речь идет о документах, имеющих следующие общие характеристики:

данные в этих документах имеют сложную структуру (например несколько уровней упорядочения) и располагаются на большом количестве форматов (более десяти);



296011410

в процессе совершенствования устройств РЗА и ЗВА в каждый из этих документов вносится большое количество изменений. В наибольшей степени эти особенности характерны для различных ведомостей и таблицы соединений, которая является результатом конструирования электромонтажа шкафа.

Методы исследования. При решении поставленных задач основной методологической и теоретической основой является принцип системного подхода и теоретические положения организации систем автоматизированного конструирования и выпуска технической документации. Для решения частных задач использовались теория множеств, теория графов, отдельные методы исследования операций и комбинаторики.

Реализация разработанных алгоритмов проводилась с использованием методов структурного программирования, методов организации баз данных и с учетом требований адаптируемости и возможным изменениям конструктивно-технологических ограничений.

Научная новизна. Научная новизна работы в целом определяется созданием метода, с помощью которого можно осуществлять выпуск значительного количества типов КТД, используя единую систему программного обеспечения. Отдельные результаты, составляющие предмет научной новизны, будут приведены далее.

Предложена формализованная постановка задачи проектирования проводных соединений в монтажном пространстве жгутов. Эта формулировка учитывает наиболее важные конструктивные ограничения.

Обоснована целесообразность решения задачи проектирования жгутового монтажа с помощью имеющихся на сегодняшний день средств целочисленного линейного программирования (ЦЛП) и построен принципиально новый алгоритм, с помощью которого можно получать цел. численный оптимум. Определена его временная сложность.

Построен эффективный алгоритм трассировки проводных соединений в монтажном пространстве жгутов. С помощью этого алгоритма можно получить квазиоптимальные решения, отличающиеся от целочисленных оптимумов всего на 2-3%. Этот алгоритм использует в качестве математической модели представление о многопродуктовом потоке в неориентированной сети.

Создан новый тип документа: "Снять цепь - поставить цепь". Этот документ используется для модернизации уже изготовленных и поставленных заказчику шкафов РЗА.

Задача проектирования монтажных соединений с использованием плоских кабелей и гибких схем сформулирована как задача ЦИП. Построен точный алгоритм, решающий сформулированную задачу, и определена его временная сложность. Разработаны также два квазиоптимальных метода, временная сложность которых не превышает временной сложности модифицированного симплекс-метода.

Разработана иерархическая организация пакетов прикладных программ, обеспечивающая широкие возможности для дальнейшего совершенствования созданного математического обеспечения и для его реализации на современных ЭВМ средней и большой производительности.

Следовательно, можно сделать вывод, что проведение теоретических и экспериментальных исследований дает новые данные в таких сравнительно мало изученных областях автоматизации проектирования, какими являются проектирование жгутового монтажа, проектирование монтажных соединений с использованием плоских кабелей и гибких схем и организация выпуска большого количества типов КИТД.

Практическая ценность. Применение разработанных алгоритмов и методов их программной реализации позволяет организовать в рамках единой системы решение значительного количества разнообразных задач. Такой подход резко повышает отдачу от использования методов автоматизации проектирования.

Структура большинства КИТД, которые выпускаются с помощью разработанной системы, регламентируется общесоюзной нормативной документацией. Следовательно, разработанная система может быть рекомендована к внедрению на многих проектно-конструкторских и научно-исследовательских предприятиях всех отраслей промышленности.

Созданное программное обеспечение функционирует на ЭВМ БЭСМ-6, но оно может получить без каких бы то ни было переделок "вторую жизнь" в уже внедряемой вычислительной системе "Эльбрус".

При разработке всего программного обеспечения и в особенности программных модулей, решающих задачи диспетчеризации и "сервисные" задачи, в качестве главного критерия использовались критерий "удобства" при практической эксплуатации системы. Важность этого критерия обусловлена следующими простыми причинами:

в эксплуатации созданной системы оказались вовлеченными значительная часть разработчиков электрических схем и практиче-

ски все конструкторы и технологи предприятия;

создаваемые системные базы данных должны в течение многих лет активно хранить информацию, обеспечивая тем самым возможность длительного выпуска корректирующей документации.

Следует отметить, что корректирующая документация, выпускаемая с помощью разработанной системы программного обеспечения, позволяет проводить изменения и в ранее выпущенных текстовых технических документах (посредством выпуска листов замены), и в уже изготовленных шпаклях РЗА (посредством выпуска документа "Снять цепь - поставить цепь").

Материалы диссертационной работы используются в учебном процессе при чтении курса "Автоматизация конструирования РЗА" для студентов специальности 0705 Московского института радиотехники, электроники и автоматики.

Реализация работы. Программное обеспечение, разработанное на базе описанных в диссертации алгоритмов и методов, образует систему КИП БЭТ-6 (КИП - конструкторско-технологическая подготовка производства). Эта система внедрена в промышленность. Экономический эффект от внедрения составляет 30 тыс. руб. в год.

Отдельные алгоритмы и программные комплексы внедрены на заводе "САМ" г. Москвы. Особенно важны внедренные на этом заводе программы, выпускающие текстовые документы, которые обеспечивают оперативное внесение изменений в наладочную на объектах РЗА. Внедренные программы включены в состав системы автоматизированного проектирования. Экономический эффект от внедрения этой системы составил к 1978 году 675 тыс. рублей.

Копии актов о внедрении приведены в Приложении I диссертации.

Апробация работы. Результаты диссертационной работы докладывались на следующих конференциях, совещаниях и семинарах:

на семинаре-совещании Московского городского НТО приборостроительной промышленности им. академика С.Н.Вавилова и МИИМа "Повышение эффективности АСУ и разработка систем управления качеством продукции", г. Москва, 1977 г.;

на научно-техническом семинаре "Разработка, внедрение и развитие систем автоматизированного проектирования РЗА" Московского дома научно-технической пропаганды им. А.З.Дзержинского, НТО Приборостроения, НТО РЭС им. Попова, г. Москва, 1978 г.;

на краткосрочном семинаре секции "Электроника и приборо-

строение" Ленинградского Дома научно-технической пропаганды "Перспективные направления в технологии радиоаппаратостроения", г. Ленинград, 1979 г.;

на семинаре Ленинградского Дома научно-технической пропаганды и НПО приборостроительной промышленности, г. Ленинград, 1981 г.;

на втором Всесоюзном совещании "Методы и программы оптимизационных задач на графах и сетях", г. Новосибирск, 1982 г.

В полном объеме диссертационная работа докладывалась на кафедре конструирования и производства радиоаппаратуры Московского института радиотехники, электроники и автоматики.

Публикации. По материалам диссертации автором опубликовано 8 работ.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, шести глав, выводов, списка использованной литературы из 90 наименований и 17 приложений. Общий объем диссертации 149 страницы машинописного текста, иллюстрированного 18 рисунками и 3 таблицами на 19 страницах.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе рассмотрены комплекс вопросов, связанных с организацией автоматизированного выпуска комплекта КТТД на оборочную единицу. Задача автоматизированного составления КТТД кратко заключается в следующем: имеются спецификации всех оборочных единиц, входящих в состав изделия, и имеются технологические характеристики всех комплектующих изделия типовых размеров, эту информацию необходимо ввести в базу данных (БД) для хранения и возможных корректировок. После этого можно выпускать комплект КТТД и вносить всевозможные изменения.

Далее будет описана разработанная диссертантом подсистема автоматизированного выпуска КТТД, она несложна в эксплуатации и предназначена для использования в условиях крупных НИИ и КБ. С помощью подсистемы можно получить следующие виды КТТД:

ведомость материалов на оборочную единицу;

сводную ведомость материалов;

ведомость спецификаций;

ведомость приемки;

ведомость покупных изделий;

конструктивно-технологические показатели состава изделия;

расчет уровня стандартизации и унификации.

Форма и содержание этих документов с точностью до возможности алфавитно-цифрового печатающего устройства соответствует требованиям ГОСТов ЕСКД и ВСТД.

В описываемой подсистеме ввод данных осуществляется в их естественном текстовом виде. Исходные данные набираются на перфокарти со специальных бланков, называемых "Комплексное задание" которые заполняются конструкторами и технологами в процессе разработки конструкций деталей и сборочных единиц.

ГОСТы ЕСКД и ВСТД требуют соблюдения определенного порядка следования записей в КТД. Главную проблему в процессе упорядочения типоразмеров представляет существование огромной и постоянно изменяющейся номенклатуры радиоэлементов, что, в свою очередь, порождает большое количество текстовых строк с совершенно различной структурой. Тщательный анализ всех аспектов задачи упорядочения записей в КТД позволил найти рациональное решение этой проблемы.

Подсистема автоматизированного выпуска КТД наряду с указанными работами выполняет роль обслуживающей подсистемы в процессе конструирования жгутового монтажа. Через эту подсистему осуществляется выпуск результирующей документации.

Программное обеспечение описанной подсистемы образует комплекс, состоящий из трехсот программ. Общее число команд — около ста тысяч. Основное средство программирования — язык Фортран и автокод Мадлен.

Вторая глава посвящена разработке метода автоматизированного проектирования объемного жгутового монтажа в шкафах РЗА.

Главным компонентом созданного метода является подсистема программного обеспечения. В работе этой подсистемы можно выделить следующие основные этапы:

- определение оптимальных конфигураций монтажных цепей;
- оптимизация трассировки всех пар соединяемых контактов.

Наибольшие сложности возникают на этапе оптимизации трассировки, т.к. общее число трасс $\sum$ всех проводов может быть порядка нескольких миллионов (величина $\sum$ зависит от особенностей каждого устройства).

Математической моделью объемного монтажного поля является планарный граф. Вершинами в этом графе будут следующие конструктивные элементы:

разъезы;

точки возможного разветвления жгутов;

отдельные лепестки корпуса.

Ребрами в графе математической модели устройства должны быть представлены отрезки монтажных жгутов.

Задачу оптимизации трассировки проводных соединений можно сформулировать на языке ЦПП. Перенумеруем все ребра графа монтажного поля (всего их M). Пропускную способность ребра i обозначим через d_i , а его длину через l_i . Каждую трассу провода можно представить в виде вектора-столбца α_j размерности M . Сформируем матрицу инцидентий ребра-трассы $\mathcal{A} = \|\alpha_{ij}\|$ следующим образом:

$$\alpha_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если ребро } i \text{ входит в трассу провода } j, \\ 0 & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

Обозначим через d_j диаметр провода j (всего проводов N) и введем переменную x_j , принимающую значение 1, если используется столбец α_j , и 0 в противном случае. Обозначим через d_0 заданную сумму диаметров всех проводов, а через l_j^* общую длину трассы провода j .

Назовем графом несовместимости граф, у которого вершинам соответствуют провода, а каждое ребро указывает на факт недопустимости размещения проводов, соответствующих инцидентным этому ребру вершинам, в одном жгуте. Пусть матрица $Z = \|z_{ji}\|$ задает некоторую раскраску графа несовместимости, так что

$$z_{ji} = \begin{cases} 1, & \text{если провод } j \text{ помещен в ребро } i, \\ 0 & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

Пусть $\mathcal{P} = \|z_{ji}\|$ — матрица смежности графа несовместимости. Тогда задача оптимального проектирования жгутового монтажа эквивалентна следующей задаче ЦПП:

минимизировать

$$\sum_j l_j^* x_j \quad (1)$$

при ограничениях

$$\sum_j d_j x_j = d_0 \quad (2)$$

$$\sum_j d_j \alpha_{ij} x_j \leq d_i \quad (i = 1, 2, \dots, M) \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^M z_{ji} = 1 \quad (j \in J) \quad (4)$$

$$\mathcal{L}(1-z_{ji}) - \sum_{k=1}^N z_{jk} z_{ki} > 0 \quad (j \in J; i = 1, 2, \dots, M) \quad (5)$$

$$x_j = 0 \text{ или } 1 \quad (6)$$

$$z_{ji} = 0 \text{ или } 1 \quad (7)$$

Ограничение (2) обеспечивает то, что сумма диаметров всех уложенных проводов будет в точности равна заданному значению d_0 .

Ограничение (3) обеспечивает недопустимость притяжения пропущенных способностей всех ребер.

Ограничения (4) и (5) обеспечивают допустимость раскладки графа несовместимости.

Следует отметить, что при такой формулировке задачи матрица A , моделирующая устройство реального уровня сложности (около тысячи ребер в графе монтажного поля), может иметь миллионы столбцов, где независимыми трассам каждого из N проводов соответствуют свои столбцы. Это соображение хорошо иллюстрирует сложность задачи (1) + (7). Иско, что сформулированная задача относится к классу труднорешаемых задач ЦПН. Этим обосновывается необходимость разработки алгоритмов оптимизации текущего монтажа, не использующих идеи ЦПН. Два таких алгоритма будут приведены далее.

Работа алгоритма оптимальной трассировки основывается на том, что, если в процессе последовательной укладки проводов в ребра графа монтажного поля произошло переполнение какого-либо ребра, то происходит перераспределение подмножества проводов по ребрам. Каждое подмножество W_j образовано тем минимальным количеством проводов, которые будучи удаленными из графа монтажного поля делают текущую загрузку всех ребер допустимой.

Затем для всех W_j выполняется следующая вычислительная процедура. Для каждого i -того провода из W_j определяется кратчайший путь, заданный списком ребер, и подсчитывается его длина ℓ_i^* .

Для каждого подмножества W_j определяется сумма длин возможных путей (с учетом текущей загрузки ребер).

$$\mathcal{L}^*(W_j) = \sum_i \ell_i^* \quad (8)$$

и сумма длин остальных путей

$$\mathcal{L}(W_j) = \sum_i \ell_i \quad (9)$$

Для каждого подмножества W_j вычисляется величина

$$\Delta_j = \mathcal{L}^*(w_j) - \mathcal{L}(w_j) \quad (10)$$

Затем среди всех Δ_j ищется минимальный элемент

$$\Delta_j' = \min(\Delta_j) \quad (11)$$

и подмножество проводов w_j' , соответствующее найденному элементу Δ_j' , укладывается в новые пути с суммарной длиной $\mathcal{L}^*(w_j)$.

Результатом описанного процесса перераспределения проводов будет оптимальное их распределение.

Следующий алгоритм оптимизации трассировки - более сложный, но он обладает повышенным быстродействием.

Пусть необходимо так распределить N проводов по ребрам графа монтажного поля, чтобы минимизировать суммарную длину всех проводов.

Изменяя граф монтажного поля, добавив N искусственных ребер, т.е. в точности по одному ребру на каждый провод. Это искусственное ребро будет крайним ребром в составе будущей трассы каждого провода. Пропускная способность любого искусственного ребра равна диаметру соответствующего провода.

Далее условно предположим, что каждый провод может дробиться на части и каждая часть провода может иметь самостоятельную трассу длиной l_j^* . Обозначим через x_j диаметр провода (части провода), которым выполняется трасса j , а через d_0 - суммарный диаметр всех проводов. Тогда задача оптимизации трассировки проводных соединений эквивалентна следующей задаче III:

минимизировать

$$\sum_j l_j^* x_j \quad (12)$$

при условиях

$$\sum_j x_j = d_0 \quad (13)$$

$$\sum_j a_{ij} x_j \leq d_i \quad (i = 1, 2, \dots, M+N) \quad (14)$$

$$x_j \geq 0 \quad (15)$$

Для решения задачи (12) + (15) используется модифицированный симплекс-метод. В процессе решения задачи (12) + (15) требуется хранение матрицы B^{-1} (B - базисная матрица ограничений размерностью $M+N+1$). Она хранится в мультипликативном виде. Матрица B - это сильно разреженная матрица, состоящая из нулей и единиц, она хранится в виде связанных списков. На каждом шаге

работы модифицированного симплекс-метода определяются: вектор теневых цен $\bar{\pi} = \bar{c}_j \bar{B}^{-1}$, строка относительных оценок $\Delta_j = \bar{c}_j - \bar{\pi} \bar{a}_j$, вводимый в базис вектор $\bar{a}_i$ и текущее значение $\bar{d} = \bar{b} \bar{a}_i^{-1}$. В процессе вычисления каждого элемента строки относительных оценок необходимо определять кратчайший путь в графе монтажного поля. Причем в качестве длины ребра при решении последней задачи будет использована величина $\bar{c}_i - \bar{\pi}_i$. Ясно, что эффективность работы алгоритма нахождения кратчайших путей будет в значительной степени определять эффективность всего метода оптимизации трассировки. Хотя в теории графов этот вопрос считается решенным, при выполнении данной работы удалось найти эффективный метод программной реализации алгоритма нахождения кратчайших путей ($2n^2 + n \log_2 n$ операций в худшем случае и $n \log_2 n$ в среднем на один найденный кратчайший путь). После того как решение нецелочисленной задачи (12) + (15) получено, на его основе происходит подбор искомого целочисленного решения, которое по результатам практической эксплуатации отличается от нецелочисленного оптимума всего на 2 + 3 %.

Третья глава посвящена планарному методу проектирования монтажных соединений в шкафах РЭА с использованием плоских кабелей и гибких схем.

В этой главе описаны конструктивные особенности разработанного метода и введена терминология. Показано, что задача конструирования монтажного поля может быть сформулирована как задача ЦЛП. Эта формулировка учитывает наиболее важные конструктивные ограничения.

Эта задача содержит "раскрасочный" и "приквачный" аспекты и, следовательно, она обладает не менее чем экспоненциальной временной сложностью. Этим обосновывается практическая ценность разработанного приближенного алгоритма, работоспособность которого подтверждена результатами машинного эксперимента. Более общий подход к решению этой задачи приведен в главе 6.

В четвертой главе рассмотрен и решен комплекс вопросов, связанных с задачей рационального управления системой КТПП БЭСМ-6, которая предназначена для обработки очень больших (десятки мегабайт) объемов информации. Исходные данные для нее готовятся группами конструкторов, технологов и разработчиков электрических схем шкафов РЭА. Результатирующая документация системы

оказывает значительное влияние на организацию работ на заводах-изготовителях РЭА. Поэтому вопрос разработки принципов рационального управления системой КПП БЭМ-6 исключительно важен.

В пятой главе приведено описание результатов практического применения разработанного математического обеспечения. Многочисленные эксплуатационные характеристики даны в виде таблиц. В этой главе отмечены те особенности созданной системы КПП БЭМ-6, которые являются наиболее важными с точки зрения организации практической эксплуатации.

В шестой главе исследуется поставленная задача определения многопродуктового потока в транспортной сети.

Материал шестой главы можно рассматривать как теоретический результат, который был получен в ходе исследования практических задач, связанных с конструированием монтажных соединений в устройствах РЭА более высокого конструктивного уровня, чем печатные платы и блоки.

Ряд задач конструирования монтажных соединений в устройствах РЭА с использованием плоских кабелей и гибких схем может быть сведен к определению многопродуктового потока минимальной стоимости при условии неразрывности потока любого продукта. Причем потоки всех продуктов должны быть плоскими, что не дает возможности потокам, помещенным в одно и то же ребро сети, переходить с более высокого уровня на более низкий уровень.

Сформулируем эту задачу на языке ЦП. Перенумеруем все ребра сети (всего их m). Стоимость перевозки единицы продукта по ребру i обозначим через C_i . Вершины сети являются либо источниками и стоками продуктов, либо точками поворота потоков (ТП).

В каждой ТП; поворачивающийся поток должен иметь какой-то ненулевой радиус поворота, а общая высота ТП не должна превышать H_{max} . Перенумеруем все ТП сети (всего их S). Обозначим через H_j заданную высоту прямоугольника сечения потока продукта j (всего продуктов n). Сделаем допущение о том, что ширина прямоугольника сечения любого продукта одинакова у всех продуктов. Поэтому величина потока любого продукта прямо пропорциональна высоте прямоугольника сечения этого продукта. Цепь любого продукта j можно представить в виде вектора-столбца t_j размерности S . Определим матрицу $S \times n$ элементов ТП - трассы $T = \| t_{ij} \|$ следующим образом:

$$t_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если ТПН входит в трассу продукта } j, \\ 0 & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

Каждый продукт, очевидно, может иметь в сети большое количество трасс. Точное количество трасс определяется структурой сети и не может быть в общем случае задано. Определим, что множество индексов j всех трасс принадлежит множеству $\mathcal{J}$. Введем переменную x_j , принимающую значение 1, если выбирается столбец t_j , и 0 в противном случае. Обозначим через c_j^* стоимость перевозки продукта j . Следует отметить, что каждый продукт, проходя какую-либо ТПН, может давать в ней одну из трех возможных величин приращения высоты:

1. h_j , если продукт j проходит ТПН без поворота;
2. $2h_j + 2z_j$, если продукт j проходит ТПН с поворотом (здесь z_j - радиус поворота j -того продукта);
3. $2h_j$, если продукт j проходит ТПН с поворотом, но при этом рассматриваемый продукт поворачивает как бы "по внешней стороне" других продуктов, поворачивающих в том же самом направлении.

Введем три переменные α_{ij} , β_{ij} и γ_{ij} . Каждая тройка этих переменных ассоциирована с соответствующим значением t_{ij} . Переменная α_{ij} может равняться 1, если имеет место первый вариант приращения высоты ТПН при прохождении j -того продукта через ТПН i , и 0 в противном случае. Аналогичным образом будут принимать значения переменные β_{ij} и γ_{ij} в том случае, если имеют место соответственно варианты 2 и 3. Из сказанного, в частности, следует, что $\alpha_{ij} + \beta_{ij} + \gamma_{ij} = 1$ при $t_{ij} = 1$ и $\alpha_{ij} + \beta_{ij} + \gamma_{ij} = 0$ при $t_{ij} = 0$. Каждому ребру сети можно сопоставить граф возможных пересечений продуктов. Вершины в графе пересечений будут соответствовать продуктам, а ребра будут указывать на факт пересечений продуктов. Пусть $\pi \times \pi$ матрица смежности $\mathcal{K}_i = \|\alpha_{jk}\|$ соответствует графу пересечений в i -том ребре сети, а матрица $\mathcal{Z} = \|\mathcal{Z}_{ij}\|$ будет матрицей соответствия ребра-трассы (всего ребер $\mathcal{L}$).

С учетом сказанного задача оптимального распределения продуктов в сети эквивалентна следующей задаче ЦЛП:

минимизировать

$$\sum_{j \in \mathcal{J}} c_j^* x_j \quad (16)$$

при ограничениях

$$\sum_{j \in J} (h_j \alpha_{ij} + 2(h_j + z_j) \beta_{ij} + 2h_j \delta_{ij}) t_{ij} x_j \leq H_{\max} \quad (i = 1, 2, \dots, m) \quad (17)$$

$$\alpha_{ij} + \beta_{ij} + \delta_{ij} - t_{ij} = 0 \quad (i = 1, 2, \dots, m; j \in J) \quad (18)$$

$$\sum_{j \in J} \left(\sum_{k \neq j \in J} a_{jk} z_{ik} \right) = 0 \quad (l = 1, 2, \dots, d; j \in J) \quad (19)$$

$$\alpha_{ij}, \beta_{ij}, \delta_{ij}, x_j, z_{ik}, a_{jk} - 0 \text{ или } 1 \quad (20)$$

Ясно, что сформулированная задача относится к классу трудно-разрешимых задач ЦП. Для ее решения сформулируем вспомогательную задачу:

минимизировать

$$\sum_j (c_j^* + U_j) h_j \quad (21)$$

при ограничениях

$$\sum_j h_j = H. \quad (22)$$

$$\sum t_{ij} h_j \leq H_i \quad (i = 1, 2, \dots, m+n) \quad (23)$$

$$h_j \geq 0 \quad (24)$$

В задаче (21) + (24) H_0 - заданная сумма высот всех продуктов, а U_j - сумма штрафов, налагаемых на трассу продукта j за самостоятельные повороты во всех ТПП, через которые проходит трасса продукта j . Остальные обозначения те же что и в задаче (16) + (20). Непревышение заданной высоты каждым продуктом учитывается неявно. Проведение столбца трассы j улучшает текущее базисное решение, если относительная оценка $\bar{c}_j = (c_j^* + U_j) - y p_j$ отрицательна. Здесь $y = c_p \bar{B}^T$ - вектор двойственных переменных, ассоциированный с текущим базисом $\bar{B}$, а p_j - вектор-столбец матрицы T .

После того как решение непереносимой задачи (21) + (24) получено, на его основе производится подбор искомого целочисленного решения. Причем будут использованы только те трассы, которые образуют оптимальное решение задачи (21) + (24). Первый этап данной задачи реализован на ЭМ БУМ-6.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

1. Исследована и разработана методика автоматизированного выпуска большого количества конструкторских и технологических текстовых документов.

2. Разработана и внедрена подсистема автоматизированного

выпуска семи типов текстовых конструкторских и технологических документов. Структура этих документов полностью удовлетворяет требованиям ГОСТов ВСКД и ЕСТД.

3. Разработана и внедрена подсистема автоматизированного проектирования обьектного монтажного шкафа РЭА. С помощью этой подсистемы можно выпускать конструкторскую и технологическую документацию, необходимую для изготовления и наладки устройств. Форма и содержание этих документов полностью удовлетворяют требованиям общесоюзной нормативной документации. Выпуск всего комплекта технической документации на один шкаф займет около 12 часов машинного времени, что вполне приемлемо для этой сравнительно редко выполняемой работы.

4. Для перемонтажа уже изготовленных (и, возможно, поставленных заказчику) шкафов РЭА разработана структура и организован выпуск специального текстового документа "Снять цепь - поставить цепь". Внедрение этого документа позволило на 30% сократить количество выходов на обьекты квалифицированных разрабочников электрических схем.

5. Построен алгоритм оптимальной трассировки проводных соединений в монтажном поле жгутов. В его структуре предусмотрена возможность учета основных конструктивно-технологических ограничений. Работа этого алгоритма не основана на идеях ЦДП, но он обладает экспоненциальной временной сложностью, а поэтому может быть использован для оптимизации трассировки только в блоках и субблоках РЭА.

6. Построен алгоритм квазиоптимальной трассировки проводных соединений, который, помимо собственно решения задачи оптимизации трассировки, дает возможность оценить качество решения. Полученные решения отличаются, как правило, от нецелочисленного оптимума всего на 2 + 3 %.

7. Разработаны методы программной реализации алгоритмов нахождения кратчайших путей в графах. Достигнуто ускорение работы алгоритма Дейкстры ($2n^2 + n \log n$ вместо $3n^2$).

8. В процессе создания системы были разработаны многочисленные программные и организационные методы, направленные на повышение эффективности системы и обеспечение высокой степени достоверности основной и корректирующей документации.

9. Проведены исследования и построен алгоритм опти-

мального проектирования монтажных соединений с использованием плоских кабелей и гибких схем. Определена его временная сложность. Указаны методы повышения эффективности этого алгоритма за счет снижения (до 10%) качества решения.

ПО МАТЕРИАЛАМ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ
СЛЕДУЮЩИЕ РАБОТЫ:

1. Пашинов А.П., Семернов В.И., Терещенков А.П. Автоматизированная система получения конструкторской и технологической документации КИП БЭСМ-6. - В сб.: Проектирование вычислительных устройств и систем с помощью ЭВМ, ч.П, изд-во Саратовского университета, 1978, с. 3-7.
2. Семернов В.И., Терещенков А.П., Пашинов А.П., Черкасас И.Ф., Кудрявцев В.С. Об одном алгоритме разработки текстовых конструкторских документов машинным методом. - В сб.: Разработка, эксплуатация и развитие систем автоматизированного проектирования РЭА. - М.: МЭИП, 1978, с. 124-128.
3. Одинокое В.Г., Терещенков А.П. Математическая модель оптимизации игрового монтажа. - В машиностроном об. научных трудов: Конструктивно-технологические аспекты проектирования. - М.: МИРЭА, 1981, с. 64-68.
4. Одинокое В.Г., Терещенков А.П. Метод оптимального конструирования игрового монтажа и выпуска текстовой технической документации. - В сб.: Машинные методы проектирования ЭВА, краткосрочный семинар. - Л.: ДИИП, 1981, с. 73-77.
5. Одинокое В.Г., Терещенков А.П. Метод автоматизированного конструирования монтажного поля с применением плоских кабелей. - В машиностроном об. научных трудов: Автоматизация проектирования электронной аппаратуры. - Таганрог: ТРП, 1982, с. 65-69.
6. Одинокое В.Г., Вулижан В.В., Терещенков А.П. Методические указания по выполнению курсовых работ. - М.: МИРЭА, 1982. - 64 с.
7. Терещенков А.П. Построения и метод решения целочисленной задачи оптимизации многопродуктового потока, состоящего из плоских продуктов. - В кн.: Методы и программы решения оптимизационных задач на графах и сетях: Тезисы докладов II Всесоюзного совещания. - Новосибирск: ВЦ СО АН СССР, 1982, ч.1, с. 204-207.

В. Одионов В.Г., Тербенков А.П. Метод оптимального конструирования монтажных соединений в шкафах РЗА с применением плоских кабелей или гибких схем. - Электронная техника. Сер. 10. Микроэлектронные устройства, 1982, вып. 6(36), с. 24-30.



Типография МВТУ, зак. 977, тираж 100 экз., Л - 87767 от 7.07.83г. Объем I п.л.