

**Ф.Г.ПАТРУНОВ  
М.Т.ЧИРКОВ**



**1968-СЕРИЯ**



**техника**

**автоматическое  
проектирование**

**Ф. Г. Патрунов,**  
инженер

**М. Т. Чирков,**

кандидат технических наук

# **АВТОМАТИЧЕСКОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ**

**Издательство «ЗНАНИЕ»  
Москва 1968**

**6П2-154**

**П20**

**3-1-6**

**111-68**

## **ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ**

В одном из цехов судостроительного завода установлен газорезательный автомат с программным управлением. Из листов высококачественной корабельной стали одновременно вырезаются заготовки деталей для обеих сторон корпуса: на прессах эти заготовки могут быть изогнуты «вдоль» и «поперек» (двойная кривизна). Раскрой ведется автоматически, с высокой точностью (ошибка не превышает полмиллиметра), с учетом необходимых припусков на деформации, возникающие при сварке.

Газорезательный автомат не просто осуществляет заданный технологический процесс. Он выполняет его наиболее выгодным образом: листы дорогостоящей стали раскраиваются так, чтобы получить наименьшие отходы.

Быть может, самая замечательная особенность автомата состоит в том, что он работает... без чертежей. Командные импульсы, записанные на магнитной ленте, включают и отключают двигатели продольной и поперечной подачи. Технологические команды, определяющие режим работы горелок и пневматических кернов, также зашифрованы на ленте. Информация на магнитный носитель записывается в вычислительной машине-интерполяторе, где по координатам опорных точек заготовок рассчитывается траектория движения горелок. Исходные данные об опорных точках вводятся в интерполятор с бумажной перфоленты.

Перфоленту получают в результате сложных расчетов на цифровой электронной вычислительной машине «Днепр».

Почему для решения технологических задач необходимо использовать счетно-решающую технику? Какие проблемы возникают при автоматическом проектировании технологии? На-

сколько эффективно применение дорогостоящих электронных вычислительных машин при подготовке производства? Можно ли с помощью одной машины спроектировать другую? Какие перспективы открываются при этом перед конструкторами и инженерами?

Заглянем в заводоуправление любого машиностроительного предприятия. Помещения, занимаемые отделами главного технолога и главного конструктора, переполнены людьми. Десятки и сотни инженеров и техников работают со справочниками и каталогами, арифмометрами и чертежами.

Технологическая и конструкторская подготовка производства — процесс сложный. Конструируются новые изделия, совершенствуются старые. Разрабатываются технологические процессы. Составляется техническая документация. Проектируется технологическая оснастка. Рассчитываются прогрессивные нормативы.

Все эти работы требуют огромных затрат времени и труда. На заводе автоматических линий в Минске ежегодно выпускается 100 тыс. технологических карт; на Кировском заводе в Ленинграде — 300 тыс. При этом стоимость разработки операционной технологии одной простой детали составляет примерно от 2 до 8 руб., детали сложной формы — до 70 руб.

Еще более трудоемки и сложны конструкторские работы. Например, чтобы спроектировать один металлорежущий станок, по ориентировочным данным, необходимо затратить от 50 до 100 человеко-месяцев.

До последнего времени совершенствование производства велось главным образом на этапе изготовления деталей и машин. Создавались и внедрялись высокопроизводительные станки-автоматы, строились цехи-автоматы и заводы-автоматы. В проектировании прогресс шел значительно более медленными темпами. Инженер-технолог и инженер-конструктор работали с логарифмическими линейками и карандашами почти так же, как и их коллеги несколько десятилетий назад.

Низкая производительность инженерного труда тормозила технологический прогресс. Известно, что в нашей стране и за рубежом были затрачены значительные средства на создание станков с программным управлением. Эти станки выполняют все основные операции по обработке деталей с нужной точностью и высоким качеством. Изменился труд рабочего: его обязанности свелись к общему наблюдению за работой станка и установке деталей. Однако широкого распространения эти станки не получили. Одна из причин — большая трудоемкость проектирования технологии. Чтобы рассчитать процесс обработки одной детали на станке с программным управлением и подготовить нужные исходные данные, инженер-технолог должен затратить не менее 2—4 ч,

При мелкосерийном производстве на станке обрабатывается в день три-четыре партии деталей. Таким образом, чтобы обеспечить станок нужными программами, требуется работа квалифицированного инженера-технолога. Но дело не только в больших затратах труда на проектирование технологических процессов. Часто низким является само качество инженерного труда. При примитивных средствах механизации человек не в состоянии из многих возможных решений выбрать оптимальное. В лучшем случае ему удастся сравнить между собой два-три варианта обработки деталей.

Ликвидация резкого разрыва между уровнем автоматизации производства и автоматизацией инженерно-технического труда стала возможной лишь с появлением электронных вычислительных машин.

Два десятилетия назад на первых электронных вычислительных машинах решались сугубо математические задачи. Сегодня едва ли мы назвали бы их быстродействующими — скорость счета не превышала нескольких десятков операций в секунду.

Прошло двадцать лет. Счетно-решающая техника оказалась нужной всем. В наши дни «электронный мозг» помогает ученым и инженерам, лингвистам и историкам, врачам и экономистам. Нет такой области естествознания, такой отрасли техники, где бы в той или иной степени не использовались электронные вычислительные машины. По мнению академика В. М. Глушкова, суммарная мощность электронных вычислителей, установленных в стране, определяет ее интеллектуальный уровень.

В Советском Союзе большинство вычислительных центров работает круглосуточно, машинное время крайне дефицитно и измеряется секундами. Несмотря на стремительный рост выпуска счетно-решающей техники, число неудовлетворенных заявок в планирующих органах растет еще быстрее. Электронные вычислительные машины стали быстродействующими, скорости счета поднялись до десятков и сотен тысяч операций в секунду. Совершенствуются и другие их характеристики. Малонадежные элементы на электронных лампах ушли в прошлое. Эксплуатируемые ныне машины на полупроводниках, по-видимому, скоро также морально устареют. В лабораториях ученых уже отрабатываются монолитные микросхемы. Электронная вычислительная машина, построенная из таких «кирпичиков», будет весить несколько килограммов, расходовать минимум электроэнергии, работать безотказно в течение длительного времени.

Почему же счетно-решающая техника получила такое широкое распространение? Какие особенности электронных вычислительных машин сделали возможным их применение

для решения различных задач, в том числе задач автоматического проектирования?

Электронная вычислительная машина состоит из следующих устройств: вводного устройства, запоминающего устройства, арифметического узла, устройства управления, пульта управления, блока питания, устройства для вывода данных. Машина работает по программному принципу, с информацией, представленной в виде чисел. Поэтому машины такого типа называют также цифровыми или дискретными.

Цифровые вычислительные машины могут обрабатывать любую числовую информацию без всякого пересоединения внутренних узлов и устройств. Важнейшая их особенность — универсальность.

Производительность современной счетно-решающей техники огромна. Так, например, вычислительная электронная машина «БЭСМ-6» работает со скоростью 1 млн. операций в секунду. В мгновение выполняется такой объем вычислений, с которым квалифицированный специалист не справится в течение всей своей жизни.

Машина может выполнять и логические действия. Для этого в программе предусматриваются специальные команды управления. После выполнения такой команды в зависимости от какого-нибудь признака выбирается тот или иной путь вычислений. Например, рассчитав некоторый параметр, машина поведет расчеты по одной группе формул, при его положительном значении и по другой — при отрицательном. Способность к логическим действиям — свойство только высокоорганизованных счетных машин, в более простых вычислителях (арифмометр, настольные клавишные машины и т. д.) оно отсутствует.

Универсальность, быстродействие, логика делают возможным и целесообразным использование цифровой вычислительной техники для решения различных научных и технических задач.

Прежде чем машина получит задачу, проводится работа по составлению алгоритмов. Алгоритм — это полная последовательность всех математических и логических действий которые должна выполнить машина в процессе вычислений. Программа — алгоритм, написанный на языке машины посредством команд.

Для автоматического проектирования технологии в машину необходимо ввести данные не только об оборудовании, инструменте, заготовке, но и о геометрической конфигурации детали и требованиях к ее обработке. Такие сведения содержатся в настоящее время в машиностроительном чертеже, выполненном по установленным нормам и правилам. Однако вычислительная машина «понимает» информацию, представленную только в цифровом виде, т. е. в виде чисел,

Как же перевести на язык машины сведения, которые содержатся в чертеже?

В настоящее время наибольшее распространение получили так называемые ручные методы. Информация с детали переводится человеком в цифровую форму с помощью одной из специальных систем кодирования.

В идеале система кодирования должна быть универсальной, т. е. пригодной для возможно большего числа деталей, узлов, машин, а процесс перевода данных — простым и удобным. Наиболее полная система кодирования разработана в Институте технической кибернетики Академии наук БССР. Белорусские ученые предложили посредством цифровых кодов обозначать непосредственно пространственные образы: поверхности, детали и узлы машин, их взаимное расположение.

Любая деталь представляется как бы образованной из нескольких элементарных поверхностей, каждой из которых присвоен определенный кодовый номер. Разработаны классификационные таблицы. В них указывается, как и в каком порядке следует переводить данные о каждой поверхности в цифровую форму. Пользуясь классификационными таблицами как справочным материалом, шифровальщик составляет таблицы, в которые в строго определенном порядке заносятся в виде кода исчерпывающие данные о поверхностях, способах их обработки, возможных отклонениях размеров и другие сведения.

Иногда представить детали комбинацией элементарных поверхностей оказывается невозможным. Такие детали, как лопатки турбин, винты самолетов, части корпуса корабля, приходится описывать с помощью системы узловых точек.

В цифровую форму переводятся и многие другие сведения: характер посадок сопряженных поверхностей, класс точности, вес заготовки, вид термической обработки, твердость по Бринеллю (или Роквеллу) и т. д. Эта информация также заносится в таблицы по определенной системе. Сведения о детали, записанные в таблицах, должны быть минимальными, чтобы не загромождать ячейки запоминающего устройства излишними данными. В то же время информация должна быть исчерпывающей — содержать все необходимые для проектирования сведения. Тогда она может быть использована и более широко: для разработки технологической оснастки, при конструировании штампов, создании специальных и агрегатных станков и автоматических линий.

Описанная система Института кибернетики АН БССР не является единственной. В других научных организациях страны разрабатываются способы кодирования более простые, но пригодные для ограниченного числа деталей.

Получив кодировочные таблицы, оператор набирает по



ним перфокарты или перфоленты для ввода в электронную вычислительную машину.

Ввод исходной информации является «узким местом» при автоматическом проектировании.

Составление таблиц с кодированными данными о деталях требует квалифицированного труда, занимает много времени, что при некоторых условиях может свести на нет все преимущества использования быстродействующей счетно-решающей техники. Поэтому ведутся работы по созданию читающих автоматов, которые могли бы вводить информацию в вычислительные машины непосредственно с чертежей.

Французская фирма «Бенсон-франс» продемонстрировала на московской выставке «Интероргтехника-66» аппарат для ввода графической информации. Чертеж укрепляется на стекле, оператор передвигает вдоль его линий ручной шуп с иглой. Шуп с помощью магнитных «присосок» опирается на чертеж. Специальная каретка, также имеющая «присоски», движется по обратной стороне стекла вдоль поперечных и продольных направляющих. Каретка как бы прилипает к шупу, повторяя все движения руки человека. Когда оператор обводит контуры деталей, каретка синхронно следует за шупом и через тяги приводит в действие электрогенераторы. Импульсы от них несут информацию о координатах точек, они направляются на вход вычислительной машины. В ручной шуп встроена небольшая лампочка, в каретку вмонтирован фотоэлемент, который фиксирует разрывы в линиях и просветы между отдельными участками чертежа. Поскольку шуп во время движения вдоль копируемой линии неизбежно отклоняется в ту или иную сторону, предусмотрено специальное сглаживающее электронное устройство.

В литературе появились сообщения о разработке «светового пера» — устройства для ввода графической информации в вычислительную машину через электроннолучевую трубку. В наконечник, который имеет форму карандаша, вмонтирован точечный фотодиод, соединенный с пультом управления машины. Оператор световым пером «рисует» на экране трубки нужные линии. Импульс от фотодиода, определяющий координаты светового пера, возникает при встрече сканирующего луча с фотодиодом наконечника. Оператор имеет возможность увидеть на экране трубки введенный чертеж, если необходимо, стереть его или внести исправления.

Разработаны и другие конструкции читающих автоматов. В некоторых из них используется принцип сканирования. Луч света, обегая поле чертежа, попадает на фотоэлектронные устройства, которые усиливают, преобразуют и передают в вычислительную машину считанную информацию.

Большое внимание в Советском Союзе и за рубежом уделяется вводу цифробуквенной информации. Эта проблема

исключительно важна и выходит за рамки использования счетно-решающей техники для автоматического проектирования. Ее успешное решение приведет к автоматизации труда людей, подготавливающих программы, позволит рядовому специалисту работать с электронными вычислительными машинами, намного повысит эффективность их использования.

За последние 5—6 лет создано много автоматов, читающих текст, некоторые из них воспринимают буквы и цифры в 7 раз быстрее человека — 200 знаков в секунду. Однако человек может прочесть сообщение, написанное любым почерком; большинство же машин пока разбирают тексты, выполненные лишь определенными шрифтами.

Каждый читающий автомат имеет устройства для восприятия знака, его анализа и распознавания: магнитные, оптико-механические и электронные системы. Например, автоматы с магнитными головками реагируют на текст, написанный чернилами с примесью железного порошка. Документ с записями протягивается под записывающей головкой — знаки на листе намагничиваются; затем пропускается под второй головкой — считывающей. В ее обмотке возбуждаются электрические сигналы, форма и амплитуда которых зависят от конфигурации знаков.

При анализе каждой цифры или буквы рассматриваются ее главные признаки. В блоке распознавания выделенные приметы знака сравнивают с приметами, которые хранятся в «памяти». Последние определены методами топологии, математической дисциплины, изучающей самые общие свойства фигур. Процесс распознавания идет весьма быстро; например, в одном из новейших автоматов буква или цифра узнается в течение  $1/2000$  сек.

Принципы топологии применяются и для того, чтобы определить одну и ту же букву, написанную по-разному. Уже имеются автоматы, распознающие до 150 различных почерков, однако их устройство весьма сложно, а надежность невысока.

Проблема ввода графической информации в вычислительные машины еще далека от решения. Пока не представляется возможным использовать читающие автоматы для съема данных с чертежей сложных деталей, узлов и машин.

Естественно ученые задумываются над вопросом: а обязательно ли использовать машиностроительный чертеж как основной источник информации при автоматическом проектировании? Если отказаться от привычных графических способов изображения деталей и полностью перейти на цифровые методы проектирования, то задача эта уже сегодня представляется реальной.

Задачи автоматического проектирования весьма громоздки. Для расчета технологии производства некоторых деталей

требуются программы, состоящие из десятков тысяч команд. А чтобы составить, проверить и отладить программу, состоящую всего из 2 тыс. команд, высококвалифицированный специалист должен трудиться не менее месяца. Решение даже отдельных задач автоматического проектирования при ручных методах требует огромных затрат труда, средств, времени.

В связи с этим разрабатываются способы автоматического программирования. Алгоритмы проектирования записываются в символическом виде, на языке, похожем на обычный, промежуточный между нашим и машинным. Правила записи просты, им легко обучиться. Это открывает доступ к машине всем заводским инженерам.

Сама машина с помощью программы, называемой «транслятором» (от английского слова «переводчик»), преобразует записи на символическом языке в команды, стремясь сэкономить число необходимых ячеек запоминающего устройства.

Алгоритмы технологического проектирования содержат очень много логических действий и сравнительно мало арифметических операций. При решении задач используются многочисленные таблицы. Из-за этих особенностей наиболее распространенные языки автоматического программирования, такие, как «Алгол», «Кобол» и другие, оказались малоприменимыми. Специально для целей технологического проектирования разработаны алгоритмические языки: «Технол», «Геометр-66», «Арт», «САП-I», «САП-II» и др.

Подготовка программы для станка-автомата, обрабатывающего лонжерон крыла, занимает ручную 200 ч. Та же работа была выполнена всего за 5 ч при использовании языка «Арт».

Использование алгоритмического языка упрощает и подготовку исходных данных. Вместо заполнения таблиц с кодированной информацией составляется символическое описание детали. Ниже приводится в качестве примера «строка обхода» на языке САП-II, разработанном в Институте кибернетики АН БССР.

01 Фр — p01 по pr02 МХТК по — Кр01, по пр01, по—Кр02...

Такая запись расшифровывается так: фреза с порядковым номером 01 движется с рабочей подачей 01 по прямой 02 до пересечения с окружностью 01 в той из двух точек пересечения, абсцисса которой меньше; далее она движется по часовой стрелке по окружности 01, затем по прямой 01, далее по часовой стрелке по окружности 02 и т. д.

Однако алгоритмические языки пока разработаны лишь для ограниченного класса деталей.

После выполнения расчетов вычислительная машина выдает результаты через выводные устройства. Если запрограммированная технология предназначена для станков с прог-

рамным управлением, информация используется прямо в цифровом виде. Она просто переносится на какой-либо программноноситель, например на перфоленту.

Но в большинстве случаев необходимо решить задачу, противоположную той, которая возникает при вводе: цифровая информация должна быть представлена в графическом виде. При автоматическом конструировании и при проектировании технологии для станков с ручным управлением машиностроительные чертежи деталей и узлов — конечная цель работы.

Преобразуют информацию из цифровой формы в графическую чертежные автоматы.

В Институте кибернетики АН БССР разработан «автоматический чертежник», с высокой точностью выполняющий на бумаге или кальке графические построения различных деталей (винты самолетов, кораблей и т. д.). Устройство работает по программе, записанной на перфокартах, в которых вычислительная машина пробила конечные результаты своих расчетов по автоматическому проектированию. Контур чертежа образуются при обходе опорных точек. Части окружностей и отрезки прямых воспроизводятся с помощью линейно-кругового интерполятора. Автомат также вычерчивает необходимые цифры и буквы. Чертеж выполняется тушью, цветными чернилами или карандашом. Размеры планшета  $620 \times 840$  (они могут быть изменены), скорость вычерчивания  $3-6$  м/мин. Точность воспроизведения прямой линии не хуже  $0,1$  мм/м. «Автоматический чертежник», по данным института, снижает время на разработку конструкции в  $15-20$  раз.

Фирма «Бенсон-франс» выпускает чертежный автомат, работающий и от программноносителей, и непосредственно по командам, поступающим от электронной вычислительной машины. Пишущее устройство смонтировано в каретке, которая может передвигаться над полем чертежа вдоль направляющих точно так же, как тележка мостового крана. «Мост» и каретку посредством гибких тяг приводят в действие электродвигатели. Сложные кривые вычерчиваются из очень коротких отрезков прямых, проведенных под разными углами. Если нужно сделать пробел, то по команде, поступившей с программноносителя или от машины, магнитный подъемник каретки отрывает перо от листа. Пробел закончен, перо опускается.

Другая модификация автомата этой же фирмы позволяет получить чертежи сколь угодно длины. «Мост», несущий каретку, в этой конструкции неподвижен, а продольное перемещение с помощью тянущего барабана совершает бумага.

Американская система «Ортомат» выполняет чертежи размером  $1,5 \times 3,7$  м со скоростью  $12,7$  м/мин. По данным зару-

бежной технической литературы автоматы-чертежники могут работать в 50—300 раз быстрее человека.

Для воспроизведения сложных чертежей сотрудники Института кибернетики АН БССР предложили использовать печатающие устройства фотонаборного типа. Негативы наиболее распространенных деталей и узлов монтируются в виде кадров микрофильма на сменных дисках. Диск закладывается в фотопроекторное устройство, направленное в нужную точку чертежа. При круговом движении диска негативы сменяют друг друга в кадровом окне проектора.

Поиск нужного кадра осуществляется с помощью счетной схемы. В электронном счетчике устанавливается двоичный код порядкового номера негатива на диске. Около каждого кадра имеется метка-отверстие, в определенный момент проходящая против фотодатчика. При смене негативов возникают синхронимпульсы, и после усиления направляются на электронный счетчик, работающий на вычитание. Когда во всех его разрядах появляются нули, это означает, что отыскиваемый негатив встал против кадрового окна проектора. Именно в этот момент сигнал уходит со счетчика и зажигает импульсный источник света перед кадровым окном. Изображение детали переносится на светочувствительную бумагу. Этот же принцип используется для печатания на чертеже букв, цифр, условных обозначений. Нестандартные детали дочерчиваются вручную.

Для вывода графической информации иногда используют электроннолучевые трубки. Изображение на экране снимается скоростной кинокамерой, затем кинолента подвергается химической обработке. Имеется возможность рассматривать через проектор увеличенное изображение чертежей, а также оперативно получать необходимое число копий. Особенность системы — очень высокая скорость вывода графической информации.

Ведутся экспериментальные работы по созданию чертежных автоматов: с устройствами матричного типа (изображение на электрохимической бумаге); с фототелеграфной аппаратурой; с лучом лазера.

Опыт показывает высокую экономическую эффективность работ по автоматической подготовке производства. Проектирование «вручную» одной шпиндельной коробки для агрегатных станков выполняется за несколько дней и обходится в 58 руб. При использовании электронной вычислительной машины «Минск-22» само автоматическое проектирование длится несколько минут, себестоимость затраченного машинного времени — 6 р. 60 к. Для заполнения кодировочных таблиц, перфорации данных и расшифровки результатов необходимо 48 мин; себестоимость подготовительно-вспомогательных работ — 58,6 коп. Таким образом, автоматическое

проектирование шпиндельной коробки выполняется приблизительно за 1 ч при затратах в 7 р. 19 к. Годовая экономия на 1966 г. составляет 7287 руб.; все расходы на разработку алгоритма, программирование, опытно-промышленную проверку окупаются за 2 года 8 месяцев.

При автоматизации расчетов режимов резания и норм времени на электронной вычислительной машине «Минск-2» затраты времени сократились в 5—6 раз. Новые режимы резания и нормы времени позволили снизить трудоемкость механической обработки изделий на 15—20%. Все предпроектно-производственные затраты окупались за полгода.

---

## **АВТОМАТИЧЕСКОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ В ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

Электронные вычислительные машины широко используются в электротехнической промышленности при проектировании. В частности, накоплен значительный опыт по автоматическому конструированию серии асинхронных двигателей. Двигатели этого типа очень распространены, их используют в строительстве, на заводах и фабриках, на шахтах и рудниках.

Электромашиностроительные заводы выпускают двигатели только определенных мощностей. Например, по государственному стандарту в диапазоне 20—100 квт изготавливаются асинхронные двигатели 22, 30, 40, 55, 75 и 100 кв.

Выпуск сравнительно небольшого количества типов двигателей в массовом производстве позволяет резко удешевить их стоимость, так как сокращается число необходимых для их изготовления штампов, моделей, мерительного инструмента, приспособлений.

Для проектирования электрических машин разработана подробная методика. Любой инженер-электромеханик при достаточном опыте может за один день произвести расчет машины. Но будет ли этот двигатель самым дешевым, самым экономичным? Вряд ли.

Как, затратив такое же количество электротехнической стали, медного провода, изоляционных материалов, чугунного литья, создать двигатель с более высоким коэффициентом полезного действия? Можно ли, не снижая мощности, уменьшить вес машины? Какие двигатели должны составлять серию? Десятки проблем такого рода возникают перед инженерами.

Чтобы всесторонне рассмотреть вопрос, нужно

провести десятки, а то и сотни расчетов для каждого двигателя. А сколько же расчетов надо выполнить, чтобы рационально спроектировать серию?!

В серии асинхронных двигателей в диапазоне 0,6—100 *квт* предусмотрено 18 мощностей; двигатель любой мощности может выполняться на разное число оборотов в минуту (например, 3000, 1500, 1000, 750). Кроме того, многие машины имеют до двух десятков специальных исполнений — тропические, морозостойкие, рудничные, текстильные, малозумные и т. д. Если даже большая группа инженеров займется расчетами серии с учетом экономических факторов, то эта работа может оказаться бесполезной. Ведь за те несколько лет, пока будет вестись проектирование, серия может устареть и потребуются заменить ее новой.

Конструировать двигатели, основываясь, как это делалось раньше, на немногих расчетах и полагаясь на опыт и интуицию расчетчика, слишком невыгодно. Если бы удалось сэкономить на каждой машине хотя бы рубль, то годовой эффект составил бы несколько миллионов рублей.

При переходе к автоматическому проектированию прежде всего необходимо было решить принципиальный вопрос, по какому признаку следует оценивать машину как наилучшую.

Экономический анализ показал: нужно оценивать двигатель по двойному признаку — по стоимости изготовления и по стоимости расхода электроэнергии (за период эксплуатации).

Перед началом расчетов в электронную вычислительную машину вводятся необходимые данные. К ним относятся: требуемая мощность, число оборотов, воздушный зазор между ротором и статором, число зубцов на роторе и статоре и ряд других величин. Всего их десять.

Инженеры-электромеханики знают, что двигатель одной и той же мощности можно выполнить с разным числом проводников в пазу, разным значением магнитной индукции. Можно сконструировать машину с небольшим числом проводников в пазу, но с развитыми стальными частями, чтобы обеспечить сильное магнитное поле. В этом случае о двигателе говорят, что он «богат» сталью и «беден» медью. При изготовлении такой машины будут сэкономлены цветные металлы и перерасходованы черные. Если двигатель «богат» медью, но «беден» сталью, картина обратная.

Однако еще в ходе расчета электронная вычислительная машина может забраковать даже двигатель с наилучшим соотношением меди и стали, если он не удовлетворяет требованиям государственного стандарта. Например, температура статорной обмотки для данного класса изоляции не должна превышать нормы. Перегрев обмотки быстро выводит двигатель из строя, при этом может произойти тяжелая произ-



водственная авария. Потери от аварии иногда оказываются вообще несравнимыми со стоимостью асинхронного двигателя. При вычислениях проверяется также соответствие стандарту пускового тока, пускового и максимального момента машины и т. д.

Проследим ход расчетов на электронной вычислительной машине. Предположим, надо найти, при каком соотношении меди и стали, при каких диаметрах статора можно изготовить наиболее дешевый двигатель.

Три переменных — магнитная индукция, внутренний и внешний диаметры статора — временно принимаются постоянными. Четвертый параметр — число проводников в пазу — меняется. В первом расчете примем его равным 30 (магнитная индукция — 7200 гс). По исходным данным, используя более 150 формул, электронная машина рассчитывает свыше 50 параметров двигателя. Сначала идет проверка на соответствие стандарту. Если стандарт нарушен, вариант расчета бракуется и машина автоматически переходит к расчету следующего варианта, уже с измененным числом проводников в пазу. Затем производится экономический расчет двигателя. Итоговая цифра и все конечные данные расчета фиксируются в «памяти».

Допустим, что в результате первого расчета стоимость изготовления двигателя и потребленной электроэнергии в течение 5 лет эксплуатации равна 75 руб.

Второй вариант электронная вычислительная машина рассчитывает с новым числом проводников в пазу — 34. В результате получается новое итоговое число — 73,2. Оба варианта машина сравнивает между собой, и, так как второй оказался более экономичным, первый вариант «стирается», и в «памяти» остаются только последние данные.

Третий и четвертый варианты рассчитываются соответственно с 38 и 42 проводниками в пазу.

Изменяется значение второго переменного — магнитной индукции. Все расчеты повторяются при 7100 гс. После просчета соответствующих четырех вариантов вновь на 100 гс снижается значение магнитной индукции и т. д. Обойдя по точкам всю область изменения двух переменных и каждый раз сравнивая результаты расчетов между собой, вычислительная машина находит оптимальный вариант. При 38 проводниках в пазу и индукции 7 тыс. гс асинхронный двигатель будет иметь минимальную стоимость — 72 руб.

Аналогично поступают с остальными параметрами.

На печатающее устройство выдаются наилучшие данные — результат обхода многомерного пространства поиска.

Расчет одного варианта двигателя на электронной вычислительной машине занимает 1,5 сек, а по четырем переменным (со сравнением нескольких тысяч вариантов) — 5—7 ч.

Применяются и другие методы. Хорошо освоен метод случайного поиска с автоматическим выбором шага в зависимости от того, насколько успешно происходит продвижение к точке оптимума.

Новые серии асинхронных двигателей, разработанные при помощи вычислительной техники, дают государству экономию не менее 30 млн. руб. Ежегодно в среднем сберегается: 30 тыс. т проката, 65 тыс. т чугуна, 3 тыс. т обмоточной меди.

Несколько лет назад ученые вели на страницах газет и журналов оживленную дискуссию о «мыслящих» машинах. Суть спора сводилась к следующему: могут ли электронные вычислительные машины и другие кибернетические устройства воспроизводить сами себя; что произойдет, если человек утратит контроль над этим процессом; каковы будут возможные социальные последствия? Не вдаваясь в философский аспект вопроса, отметим, что автоматическое проектирование и автоматическое изготовление электронных вычислительных машин с помощью себе подобных уже стало насущной инженерной проблемой.

Современная счетно-решающая техника — одно из самых сложных творений человеческого гения. Чтобы создать электронную вычислительную машину даже среднего класса, нужно разработать, проверить, выпустить горы технической документации: десятки томов с описаниями и инструкциями, сотни альбомов с принципиальными схемами и таблицами, тысячи листов с монтажными схемами, чертежами конструкций, ведомостями покупных изделий, спецификациями! При таком обилии документов даже исправление ошибок в чертежах — проблема.

Интересно отметить, что разработка основных структурных и логических схем, системы команд, определение «идей» будущей машины занимает у инженеров сравнительно мало времени. Однако на техническое и рабочее проектирование, исправление ошибок, доводку документации уходит несколько лет. Но темпы развития счетно-решающей техники таковы, что зачастую уже построенная в «металле и кремнии» новая вычислительная машина оказывается морально устаревшей. Вновь созданная конструкция не может быть запущена в серийное производство, огромные затраты средств, труда, времени не окупаются.

Только автоматизация процесса конструирования (а в недалеком будущем и изготовления) вычислительной машины может радикально изменить положение дел. Весьма перспективные работы в этом направлении ведутся во ВНИИ электромеханики. Электронные вычислительные машины одного «поколения» используются для автоматического проектирова-

ния машин другого «поколения» — значительно более совершенных.

Исходной информацией служит «логический проект» будущей вычислительной машины. Блок-схемы проекта рисуются по определенным правилам на специальных бланках («логических страницах») с координатной сеткой. Логические элементы — прямоугольники стандартной конфигурации, линии связи определены координатами выходов и входов. Оператор в соответствии с разработанными правилами переносит содержание «логических страниц» на программируемый носитель.

Получив исходную информацию, вычислительная машина прежде всего определяет ее достоверность. Затем выполняется серия расчетов. Их конечная цель — получение различной конструкторской документации. В современных счетно-решающих устройствах используются панели, многослойные платы, интегральные схемы; они дают возможность на очень ограниченных площадях и объемах разместить огромное число элементов. Разработка монтажных соединений — работа чрезвычайно кропотливая и трудоемкая. При печатном монтаже проводники не должны пересекаться в одной плоскости, минимальное расстояние между осями двух параллельных соединений — 0,25 мм. Рисунок размещения проводников выбирается с таким расчетом, чтобы уменьшить время прохождения сигналов и устранить помехи. На монтажную поверхность наносится сетка отверстий для перехода с одной стороны платы на другую.

Вычислительная машина проектирует расположение проводников, используя методы эвристического программирования. Соединения ведутся преимущественно в одном направлении, наиболее коротким путем, с учетом уже проложенных проводников.

Только в том случае, если все возможности разместить проводники на монтажной поверхности исчерпаны, допускается применение навесных соединений.

Данные расчета соединений поступают из электронной вычислительной машины на специальный станок для изготовления фотонегативов, печатных плат и панелей.

Основные узлы станка — оптическая светоголовка и программно-управляемый координатный стол с креплениями для фотопластинок. Головка снабжена набором масок, которые изменяют форму светового пятна, проектируемого на фотопластинку. Включение и выключение светового луча, а также перемена масок производится автоматически по сигналам машины.

Командные импульсы поступают также в систему управления шаговыми двигателями подачи стола. От единичного импульса ротор двигателя поворачивается на 3°, что соответ-

ствует перемещению стола на 10 мк в направлении одной из координатных осей. Координатный стол с фотопластинкой перемещается под головкой так, что луч света рисует на негативе запроектированные линии соединений.

Контроль за положением координатного стола по каждой оси выполняется счетной схемой. Вместе со столом передвигается подвижная часть датчика линейного перемещения. Это стеклянная пластинка, на которой через каждые 62,5 мк нанесены параллельные риски. Подвижная пластинка с решеткой движется вдоль аналогичной неподвижной пластинки. Над ними сверху располагается осветитель, снизу — фотодатчик. При перемещении координатного стола через каждые 62,5 мк световой поток резко ослабляется и фотодиод меняет свое сопротивление. Затем усиленные и сформированные сигналы идут на электронный счетчик.

После некоторого усовершенствования на станке можно будет выполнять печатный монтаж, высверливать отверстия, навинчивать и укладывать навесные проводники и т. д.

Описанная система проектирования позволяет также безошибочно вносить изменения в конструкторскую документацию.

Имеются сообщения о работах по автоматическому проектированию электронных цифровых вычислительных машин в других научно-исследовательских институтах страны и в зарубежных фирмах. Ставятся и решаются задачи по минимизации логических блоков, составлению принципиальных и монтажных схем, моделированию отдельных узлов и устройств, размещению элементов и их соединению, расчету надежности и др.

В зарубежной технической литературе указывается, что при автоматическом проектировании работа на некоторых этапах разработки убыстряется примерно в 400 раз.

### **АВТОМАТИЧЕСКОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ В МАШИНОСТРОЕНИИ**

В Советском Союзе и за рубежом ведется большое число научно-исследовательских работ по автоматическому проектированию изделий машиностроительной промышленности.

Стандартизация позволила выполнять многие машины из стандартных и унифицированных деталей и узлов. К таким изделиям относятся редукторы, насосы, многие металлорежущие и агрегатные станки, некоторые сельскохозяйственные машины.

Широкое использование стандартных и унифицированных деталей и узлов облегчает автоматическое проектирование. В качестве примера рассмотрим автоматическое конструирование шпиндельной коробки агрегатного станка.

Этот узел приходится разрабатывать индивидуально для каждого агрегатного станка в зависимости от числа, типа и взаимного расположения режущих инструментов, что, в свою очередь, определяется конфигурацией обрабатываемых изделий и технологией их изготовления. Для конструктора шпиндельная коробка — сложное и трудоемкое изделие: внутри очень ограниченного объема корпуса необходимо наилучшим образом разместить большое число нормализованных деталей. От ведущего вала движение по заданным законам должно быть передано шпинделям, которые располагаются в самых разнообразных сочетаниях.

В Институте кибернетики АН БССР разработаны алгоритмы и программы для автоматического проектирования шпиндельной коробки. Исходная информация при проектировании — координаты осей шпинделей и сведения о режимах резания. Эти данные заносятся в таблицы. При перфорации исходная информация переносится на программноноситель. Заполнение таблицы и ее перфорация может выполняться одновременно, если используется устройство, называемое «автоматическим кодировщиком», в котором совмещены пишущая машинка и перфоратор.

Разработана универсальная программа, которая на основе анализа исходных данных составляет частные подпрограммы проектирования шпиндельной коробки данного типа. Частные подпрограммы образуются из стандартных комбинированием последних. В соответствии с частными подпрограммами последовательно решаются отдельные задачи проектирования. Рассчитывается передача от силовой головки к центральному валу и от этого вала к шпинделям. При этом определяется число и размер паразитных шестерен, вычисляются координаты промежуточных валов. Затем — проверка размещения шестерен и валов в коробке. Также контролируется расположение подшипников. В тех случаях, когда один подшипник шпинделя оказывается частично размещенным на месте другого, вычисления останавливаются и на выводном устройстве появляется соответствующая надпись. Дальнейшее проектирование становится невозможным, так как положение шпинделей в коробке менять нельзя. Инженер, контролирующий расчеты, обязан изменить типоразмеры шпинделя или подшипника, внести соответствующие поправки в исходные данные и вновь пустить задачу.

В ходе дальнейших вычислений определяется модуль, число зубьев и диаметры нормализованных шестерен; уточняется фактическое число оборотов шпинделей; производится расстановка шестерен по рядам коробки. Отдельные подузлы шпиндельной коробки объединяются в один механизм.

После кинематического расчета шестерен — проверочные расчеты на контактную прочность и износоустойчивость, про-

верка прочих силовых элементов коробки. Так, при динамических расчетах валов и шпинделей определяются нагрузки, крутящие и изгибающие моменты, опорные реакции, вычисляется прочность. Для подшипников рассчитывается их фактическая долговечность.

В результате всего цикла проектирования на выводном устройстве вычислительной машины печатаются данные о координатах и размерах всех расточек в корпусе и на крышках, о размещении шестерен по рядам коробки, о размерах всех деталей, спецификация.

Результаты вычислений устройством «автоматический чертежник» могут быть представлены и в графическом виде.

Расчет шпиндельной коробки, содержащей 43 шпинделя и 64 промежуточных вала, был выполнен на электронной вычислительной машине «Минск-2» за 7 мин. Контрольный расчет такой же коробки был произведен вручную техником-расчетчиком за 18 рабочих дней. Время проектирования при использовании вычислительной машины сократилось в 30—50 раз.

Весьма актуальная задача в машиностроительной промышленности — автоматическое проектирование технологии для станков с программным управлением. В некоторых случаях трудоемкость разработки программы для станка соизмерима с трудоемкостью обработки детали на нем, а иногда и превышает ее. Программа для станка содержит информацию, обеспечивающую перемещение режущего инструмента по заданной траектории, а также различные технологические команды (включение подачи, изменение скорости шпинделя, смена инструмента, включение охлаждающей жидкости).

Системы программного управления металлорежущими станками разделяются на функциональные и позиционные. Первая используется, например, в фрезерных станках, предназначенных для обработки деталей с криволинейными контурами и поверхностями. Вторая — в координатно-сверлильных, координатно-расточных, токарно-револьверных, изготавливающих детали, поверхность которых является комбинацией плоскостей и цилиндров.

Рассмотрим, как готовится программа для станка с системой управления функционального типа. Предположим, что на фрезерном станке с программным управлением необходимо обработать детали, контур которых образуют отрезки прямых и дуги окружностей. Источником исходной информации служит чертеж детали. По нему выбирают начало координат, определяют участки обработки, рассчитывают точки сопряжения. По этим данным составляется таблица кодированной информации о траектории движения центра фрезы. Например, дугу окружности задают следующим образом: записыв-

вают данные о координатах конечной точки по сравнению с начальной, о величине радиуса, о направлении обхода.

Данные таблицы перфорируются, информация через программноноситель вводится в ЭВМ.

В нашем случае расчет координат центра фрезы ведется с помощью методов аналитической геометрии. По одной из координатных осей, например  $x$ , выполняется шаг  $\Delta l$ . Новое значение  $x_i = x_{i-1} + \Delta l$  подставляется в уравнение прямой или окружности. Решая уравнение, вычислительная машина рассчитывает координату  $y_i$  и соответствующее приращение  $\Delta y = y_i - y_{i-1}$ . Значения приращений  $\Delta x$  и  $\Delta y$  дискретизируются до цены минимального шага 0,05 мм, преобразуются в код станка и выдаются на перфоленту. Точка с подсчитанными координатами  $x_i y_i$  — начальная для нового отрезка аппроксимации. При каждом подсчете выполняется проверка: не является ли точка предпоследней на данном участке? Если нет, то производится обычный расчет следующей точки, если да — то очередные приращения координат рассчитывают по следующим формулам:  $\Delta x = x_k - x_{i-1}$ ;  $\Delta y = y_k - y_{i-1}$ . Затем машина приступает к расчету точек, расположенных на соседнем участке.

Плавная кривая контура заменяется короткими отрезками прямых, имеющих наклон к оси  $x$  под углом от 0 до 360°. Траектория движения центра фрезы образуется из одновременных перемещений по обоим координатным осям.

Скорость обхода контура не постоянна. Если перемещение совершается только по оси  $x$  или  $y$ , скорость максимальна; если по дуге окружности — снижается (в зависимости от радиуса кривизны).

Имеются также алгоритмы и программы, по которым рассчитываются технологические задачи: ориентация заготовки в системе координат станка, выбор исходной точки обработки, определение режимов резания с учетом величины и распределения припуска, материала детали, а также жесткости инструмента и детали.

На быстродействующих вычислительных машинах рассчитывают и программы для станков с позиционной системой управления. Сотрудники Киевского института автоматики ведут работы по автоматической подготовке программ для токарных станков, обрабатывающих детали типа валиков, втулок, стаканов. Производительность труда при машинном способе изготовления программ увеличилась в 4 раза.

В нашей стране создано несколько специализированных вычислительных машин, на которых рассчитывают программы для станков. Работают они по следующему принципу: обрабатываемый контур детали рассматривается как совокупность некоторых функций, промежуточные точки вычисля-

ют при помощи линейной или параболической интерполяции. Один интерполятор может быть использован для обслуживания нескольких станков с программным управлением.

Важнейшее значение имеет автоматизация расчетов оптимальных режимов резания. Такие расчеты выполняют в заводских технологических бюро в массовом масштабе, их трудоемкость составляет до 75% трудоемкости технологического проектирования.

В Институте технической кибернетики АН БССР разработаны методы расчета наивыгоднейших режимов резания и технических норм времени при помощи электронных вычислительных машин. Учитываются реальные ограничения: жесткость заготовки, необходимая чистота обработки, мощность электропривода, заданная производительность и т. д. Рассчитываемые технологические режимы увязывают с возможностями станка.

В качестве критерия оптимальности выбрана минимальная себестоимость обработки детали. Задача решается методом линейного программирования. Неравенства технологических ограничений, а также уравнение критерия оптимальности преобразуют в линейные формы. Каждому из линейных неравенств соответствует на плоскости прямая линия, которая называется граничной. Если система совместна, то в пересечении граничных кривых образуется выпуклый многоугольник решений. Как следует из теории линейного программирования, оптимальное решение находится в одной из его вершин. Решая попарно уравнения граничных прямых, вычислительная машина определяет ту вершину, сумма координат которой максимальна. Эта точка соответствует оптимальному решению задачи, по ней определяют наивыгоднейшее число оборотов и величину подачи.

В том случае, если координаты хотя бы одной из вершин многоугольника не удовлетворяют всем без исключения неравенствам, то система несовместна и оптимального решения нет. Это означает, что не выполняется одно или несколько ограничений.

В настоящее время для большой группы станков описанные выше программы (в командах электронной вычислительной машины «Минск-2») уже разработаны и отлажены.

Программы и готовые перфоленты направляются институтом в вычислительные центры машиностроительных предприятий. Специфика отдельных заводов может быть легко учтена: необходимо лишь ввести соответствующие данные в алгоритмы и рабочие программы. Результаты расчетов оптимальных режимов резания и технических норм времени выдаются в виде таблицы.

Затраты времени при использовании вычислительной ма-



шины для расчета наивыгоднейших режимов резания при обработке деталей средней сложности распределяются следующим образом: заполнение таблицы кодированной информации 15—19 мин, перфорирование исходных данных и контроль 8—10 мин, решение на машине 1 мин. Использование счетно-решающей техники увеличивает производительность труда при этом виде технологического проектирования не менее чем в 6 раз.

Для выполнения подобных расчетов создана специализированная технологическая электронная вычислительная машина «СТЭМ». Ее авторы — ученые Таллинского технологического института и работники Кировского завода в Ленинграде.

В основу алгоритмов заложены технологические зависимости, сведения из общемашиностроительных нормативов по режимам резания и нормам времени, опытные данные Кировского завода. «СТЭМ» рассчитывает для каждого перехода скорость и мощность резания, число оборотов шпинделя, минутную подачу, основное технологическое время. В конце вычислений для всей операции, состоящей из нескольких технологических переходов, определяется штучное время и расценка.

Вычислительная машина «СТЭМ» проста и удобна в эксплуатации. Исходные данные не нужно перфорировать, ввод и вывод осуществляется усовершенствованной электрической пишущей машинкой. Обслуживает «СТЭМ» один оператор. Производительность — 120 расчетов по технологическим переходам в час. Себестоимость расчета одного перехода составляет всего 4 коп., что позволяет получить большой экономический эффект.

Ведутся работы по автоматическому конструированию таких изделий, как центробежные насосы, зубчатые передачи, установочные зажимные приспособления, металлорежущий инструмент (фрезы, долбяки, протяжки и т. д.), штампы.

Проектно-технологический научно-исследовательский институт (г. Горький) работает над различными проблемами технологического проектирования:

- печатью технологических и маршрутно-операционных карт для индивидуального и мелкосерийного производства деталей валов и втулок;

- расчетами стойкости инструмента для автоматических линий с силовыми головками, а также для токарных, многоинструментальных и других полуавтоматов;

- проектированием оптимальных наладок полуавтоматических станков, станков-автоматов и автоматических линий.

В кузнечно-прессовом цехе Минского завода автоматических линий применяют матричные методы проектирования маршрутной и операционной технологии.

Автоматическому проектированию уделяют много внимания и за рубежом.

Канадская фирма «Браун» разработала автоматизированную систему проектирования трубопроводов. Инженеры-проектировщики задают в вычислительную машину план завода. В результате расчетов машина сама находит оптимальные трассы трубопроводов, вычерчивает монтажные чертежи в изометрии со всеми надписями, размерами и спецификациями.

Фирма «Форд мотор» создала математическую модель геометрического образа автомобиля. В качестве исходных данных используются либо чертежи, либо объемный макет. Чертежи помещаются на координатно-управляемый стол, посредством замкнутой системы телевидения геометрический образ автомобиля переносится на перфокарты.

Если же используется объемный макет, то цифровая модель создается с помощью автоматической дальномерной измерительной системы на лазерах. Геометрические размеры модели во всех необходимых проекциях и сечениях преобразуются в цифровую форму и кодируются на перфокартах.

Затем математическая модель геометрического образа автомобиля вводится в электронную вычислительную машину. Дальнейшую работу выполняет художник, специалист по технической эстетике. Он может изменить любые элементы внешнего вида автомобиля, получить его аксонометрическое изображение.

Не позже чем через 30 мин чертежный автомат вычертит вид автомобиля в любом ракурсе, с любой стороны, под любым углом. Ранее на изготовление таких чертежей уходило до трех месяцев.

Окончательная математическая модель проектируемого автомобиля используется при разработке программ для станков с программным управлением.

С помощью системы ДАС-1 проектируются электрические и радиоэлектронные схемы, приборы и устройства.

### **ЦИФРОВЫЕ СИСТЕМЫ КОМПЛЕКСНОЙ АВТОМАТИЗАЦИИ**

Теперь мы подробнее расскажем о системе «Авангард», с описания которой начали наш очерк.

Корпусообрабатывающий цех — одно из «узких мест» кораблестроительного завода. Работы, выполняемые цехом, занимают одну треть времени постройки судна.

Рассмотрим традиционную технологию проектирования и изготовления деталей корпуса.

Из проектного института на завод передавалась техниче-

ская документация на новый корабль. В специальном помещении на «плазе» — больших плоских столах — а иногда прямо на гладком полу заводские инженеры вычерчивали все три проекции судна в натуральную величину или в масштабе 1:10. Согласование проекций друг с другом производилось методом последовательных приближений. Эта работа весьма трудоемка: она длилась несколько недель или месяцев.

Затем плазовщики — люди редкой и сложной профессии — выполняли развертку деталей на плоскость. Эта операция необходима, так как детали корпуса, изогнутые «вдоль» и «поперек», вырезаются из плоских листов и лишь на прессах получают окончательную форму. Развертка производилась по правилам начертательной геометрии с точностью до 1 мм. Эта операция занимала несколько часов. В очень сложных случаях не удавалось сделать чертеж заготовки с помощью графических приемов. Тогда рабочие из фанеры изготавливали физическую модель части корпуса. После подгонки с модели снимали обшивку и использовали ее как шаблон при составлении карт раскроя.

Эскизы на каждую заготовку с указанием материала, размеров, маркировки, технологии изготовления направлялись в бюро подготовки данных для вырезки деталей.

После сортировки эскизов технологи составляли карты раскроя. Заготовки старались разместить на листах так, чтобы обеспечить высокопроизводительную работу станков и аппаратов резки и сократить отходы материала. Карты раскроя составлялись медленно и не всегда качественно: разработка даже одной карты требует от получаса до нескольких часов, величина же обрезки при ручной раскладке доходила до 20%.

В корпусообрабатывающем цехе рабочие по картам раскроя или шаблонам с помощью кернов выполняли разметку стальных листов. Заготовки с прямоугольными контурами вырезались на станках холодной резки, со сложными криволинейными очертаниями — вручную, с помощью газорезательных аппаратов. Некоторая часть работ выполнялась (и выполняется) автоматически на станках с фотокопировальной головкой. Головка обходит контуры деталей, нанесенных на копир-чертеже; через следящую систему движение повторяется газовым резаком. Предварительная разметка трассы здесь не нужна, однако копир-чертеж должен быть сделан очень тщательно. Его изготавливают на основании карты раскроя в течение 8—12 ч. Копировщицы работают особо точным инструментом, рассматривая линии через увеличительные стекла. Ведь ошибка всего в 1 мм на копир-чертеже искажает контур детали при ее изготовлении на 10 мм. На заготовках, вырезанных станком с фотокопировальной головкой, вручную ставится маркировка и наносятся нужные технологические надписи.

Но вот на заводе появился технологический вычислительный центр, оборудованный электронными цифровыми машинами типа «Урал», «Днепр» и другой счетно-решающей техникой. На вычислительной машине «Урал» выполняется часть работ по проектированию корабля: согласовываются плазовые координаты, разворачиваются детали на плоскость. Последняя задача рассчитывается за 2—3 мин, экономится 10—15 ч квалифицированного труда.

«Днепр» используется для автоматического составления карт раскроя. Исходные данные для этих расчетов — результаты вычислений на машине «Урал». По ним составляются таблицы с закодированными сведениями о технологии изготовления и геометрии каждой детали. Таблицы перфорируются и вводятся в машину «Днепр».

Заготовки корпуса сортируются по маркам стали, толщине, технологии резки; в связи с этим подбирается примерно 50—150 деталей, которые надо наилучшим образом разместить на листах.

Ход автоматической раскладки, выполняемой «Днепром», можно представить себе следующим образом. Предварительно машина упрощает конфигурацию заготовок, детали криволинейной формы заменяет описанными многоугольниками. Если возможно, то в вырезах крупных заготовок укладывает более мелкие. Затем разыскивает самую крупную деталь и размещает ее в углу листа. Вычисляет размеры свободного поля. Проверяет, можно ли разместить какие-либо заготовки сверху и сбоку от уже уложенной. Если это удается сделать, то вновь рассчитывает размеры свободной площади, если нет — в углу листа размещает менее крупную деталь, и весь цикл расчетов повторяется.

Таким образом, раскладка заготовок производится многократно в различных комбинациях и в конце концов выбирается оптимальный вариант, обеспечивающий минимум отходов. Результаты заносятся на перфоленту.

Чтобы составить наивыгоднейшую карту раскроя для 40 деталей, машина «Днепр» должна выполнить 6 млн. операций; такой объем вычислений длится не больше 6 мин.

В технологическом вычислительном центре установлен вариант машины «Днепр», который не имеет устройства связи с объектом. Объем активного запоминающего устройства — 2048 ячеек, пассивного — 3072 ячейки. Такая емкость запоминающих устройств и быстроедействие позволяют машине «Днепр» обслуживать корпусообрабатывающие цеха нескольких заводов. Для ввода исходных данных и вывода результатов используются телеграфные линии связи.

Посредством перфоленты или через телеграфные каналы итоговые данные об автоматической раскладке вводятся в интерполятор. По опорным точкам и информации о линиях,

которые их соединяют, выбирается уравнение интерполирования и рассчитываются недостающие координаты. Затем интерполятор вычисляет траекторию движения газового резака.

Газорезательный автомат с программным управлением приводится в действие двумя мощными шаговыми двигателями продольной и поперечной подачи. При поступлении импульса в цепь ротора двигатель поворачивается на один элементарный угол. Траектория перемещения составляется из большого числа элементарных шагов. Их количество и направление задается импульсным кодом, записанным в интерполяторе на магнитной ленте. Положительный сигнал означает прямой поворот ротора на элементарный угол, отрицательный — обратный поворот, пропуск — отсутствие движения. Если импульсы попадают только на один из двигателей, то газовый резак будет двигаться по прямой. Количество и порядок записи сигналов определяют последующий путь резаков.

На 35-миллиметровой магнитной ленте используется 7 дорожек. На четырех записывают импульсный код перемещения газовых резаков по двум координатам. Три дорожки отведены под технологические команды: ускоренная подача; зажигание, прогрев и прокол металла; включение системы стабилизации резаков по высоте; прекращение резки; включение пневматического керна и др. Запись на эти дорожки производится токами повышенной частоты.

Результаты работы интерполятора могут быть воспроизведены с помощью чертежного автомата. Как правило, чертежи не используют в дальнейшем производственном процессе, они нужны лишь для контроля работы вычислительной машины «Днепр» и интерполятора. Однако автомат может выполнять и копир-чертежи для газорезательных станков с фотоголовкой.

Магнитную ленту с командами и импульсным кодом переносят в цех и устанавливают на пульте управления газорезательным автоматом. Станок имеет две консоли, вдоль них передвигаются суппорты с инструментом. Одновременно обрабатываются два листа, вырезаются детали для обеих сторон корпуса. Вся подвижная часть автомата может передвигаться на тележке по направляющим вдоль листов.

На тележке смонтированы шаговые двигатели, система подвода рабочих газов к головкам, устройства стабилизации положения резаков по высоте, приборы для обнаружения непрореза. Сигналы, считанные с магнитной ленты, усиливаются и формируются, после чего через коммутатор поступают в обмотки управления двигателей продольной и поперечной подачи. Тележка весом в 1500 кг передвигается со скоростью до 4 м/мин.

Система управления газорезательным автоматом — разомкнутая, обратные связи и датчики положения не используются.

На каждой детали пневматические керны автоматически ставят условный номер.

Ученые и инженеры работают над дальнейшим развитием системы. Разрабатываются новые алгоритмы проектирования деталей судов. В перспективе — создание полной математической модели корпуса корабля. Тогда проектирование корпусных деталей будет вестись чисто цифровыми методами, без графических построений, доработок и проверок на плазе.

Опыт эксплуатации системы «Авангард» и других аналогичных систем за рубежом показал их высокую эффективность. Стоимость реза 1 м снизилась в три раза. При автоматической раскладке экономится не менее 3% материала по сравнению с ручной. Составление программы и запись на магнитную ленту обходится много дешевле, чем изготовление копир-чертежей. Вследствие более высокой точности вырезки трудоемкость сборочно-сварочных работ на эллинге уменьшилась на 50%.

Система «Авангард» примечательна тем, что на едином комплексе машин осуществляют как автоматическое проектирование деталей, так и их автоматическое изготовление.

Во всех звеньях используется информация в цифровой форме, чертеж выполняет роль контрольного вспомогательного документа.

«Авангард» вполне оправдывает свое название, это прообраз цифровых систем комплексной автоматизации, которые в ближайшие годы будут широко внедряться в повседневную практику.

\*

Академик В. Глушков в одной из своих статей писал: «Очень важное значение имеют специализированные системы для автоматизации конструкторской работы. Как вспомогательное средство для проведения сложных расчетов электронные вычислительные машины находили широкое применение в конструкторской практике и раньше. Однако теперь идет речь именно о системе, способной автоматизировать весь комплекс работ конструкторов и технологов. Такая система, помимо электронной вычислительной машины, должна включать в себя устройства для автоматического вычерчивания чертежей и подготовки другой конструкторской документации. Математическое обеспечение должно позволять решать не какие-либо отдельные задачи, а вести разработку всего проекта в целом. Разумеется, для этого совершенно необхо-

дим специальный язык, с помощью которого конструкторы могли бы общаться с системой как на уровне выдачи первоначального задания на проектирование, так и на уровне оценки выработанных ею решений, могли бы вносить в них различные изменения и дополнения. Полезно, чтобы в такого рода системе была достаточно мощная справочно-информационная часть с картотекой на ранее разработанную документацию.

Такие системы уже создают наши ученые.

---

## **РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА**

**Вычислительная техника в машиностроении.** Научно-технический сборник. Институт технической кибернетики. АН БССР. Минск, 1965, 1966 январь, май, октябрь 1967.

**Автоматизация технологического проектирования при помощи электронных вычислительных машин.** Сборник статей под редакцией А. М. Гильмана. М., «Машиностроение», 1966.

**Автоматизация проектирования технологии и программное управление.** Сборник статей. Киев, «Техника», 1966.

**Автоматизация проектирования технологии и программное управление.** Сборник статей. Киев, «Техника», 1966.

**Барун В. А., Будинский А. А.** Автоматическое управление металлорежущих станков. М.—Л., «Машиностроение», 1964.

**Малиновский Б. Н.** Цифровые управляющие машины и автоматизация производства. М., Машгиз, 1963.

**Линский В. С.** Алгоритмическое проектирование вычислительных цифровых устройств. М., ВЦ АН СССР, 1963.



## **СОДЕРЖАНИЕ**

<b>ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ . . . . .</b>	<b>3</b>
<b>АВТОМАТИЧЕСКОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ В ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ . .</b>	<b>14</b>
<b>АВТОМАТИЧЕСКОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ В МАШИНОСТРОЕНИИ . . . . .</b>	<b>19</b>
<b>ЦИФРОВЫЕ СИСТЕМЫ КОМПЛЕКСНОЙ АВТОМАТИЗАЦИИ . . . . .</b>	<b>25</b>
<b>РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА . . . . .</b>	<b>31</b>

**Феликс Григорьевич ПАТРУНОВ**

**Михаил Тихонович ЧИРКОВ**

## **АВТОМАТИЧЕСКОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ**

Редактор **Г. И. ФЛИОРЕНТ**

Художественный редактор **Е. Е. СОКОЛОВ**

Технический редактор **Л. А. ДОРОДНОВА**

Корректор **В. В. КАНОЧКИНА**

Обложка **Л. П. РОМАСЕНКО**

**А 03098.** Сдано в набор 29/IV 1968 г. Подписано к печати 19/VII 1968 г.  
Формат бумаги 60×90/16. Бумага типографская № 3. Бум. л. 1,0.  
Печ. л. 2,0. Уч.-изд. л. 1,71. Тираж 52 900 экз. Издательство «Знание».  
Москва, Центр, Новая пл., д. 3/4. Заказ 1327. Типография изд. «Знание».  
Москва, Центр, Новая пл., д. 3/4.  
Цена 6 коп.

ИДЕТ ПОДПИСКА НА 1969 ГОД!

**УВАЖАЕМЫЕ ТОВАРИЩИ!**

ИЗДАТЕЛЬСТВО «ЗНАНИЕ» ПРЕДЛАГАЕТ ВАМ ПОДПИСНУЮ НАУЧНО-ПОПУЛЯРНУЮ СЕРИЮ БРОШЮР «ТЕХНИКА».

ЭТИ БРОШЮРЫ ОСВЕЩАЮТ ПРОБЛЕМЫ, СВЯЗАННЫЕ С ОСНОВНЫМИ НАПРАВЛЕНИЯМИ ТЕХНИЧЕСКОГО ПРОГРЕССА, — АВТОМАТИЗАЦИЕЙ ПРОИЗВОДСТВА, СОЗДАНИЕМ НОВОЙ ТЕХНОЛОГИИ, СРЕДСТВАМИ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ, С ПРИМЕНЕНИЕМ СЧЕТНО-РЕШАЮЩИХ И КИБЕРНЕТИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ, НОВЫХ МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ, ОПТИМАЛЬНЫХ МЕТОДОВ УПРАВЛЕНИЯ, НАУЧНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА.

В 1969 году подписчики получают 12 брошюр, в том числе:

*Гринберг Б. Г., Кнышев Ю. В.* Многослойные металлы в технике.

*Дубинский М. Г.*, д-р. техн. наук. Воздушные и газовые турбохолодильные машины.

*Кантор Ф. М.* Надежность и проектирование.

*Пархоменко П. П.* Техническая диагностика.

*Простаков А. Л.* Звук и море.

*Раевский А. И.*, канд. техн. наук. Инженерная психология и конструктор.

Серия «Техника» в каталоге «Союзпечати» расположена в разделе «Научно-популярные журналы» под рубрикой «Брошюры издательства «Знание». Индекс 70067.

**ВЫПИСЫВАЙТЕ! ЧИТАЙТЕ СЕРИЮ НАУЧНО-ПОПУЛЯРНЫХ БРОШЮР «ТЕХНИКА».**

Подписная цена на год 1 руб. 08 коп.

*Издательство «Знание»*