

Министерство высшего и среднего специального
образования РСФСР

Ярославский политехнический институт

О. Н. КАЛАЧЕВ

Рекомендовано
научно-методическим
советом института

**О С Н О В Ы
А В Т О М А Т И З А Ц И И П Р О Е К Т И Р О В А Н И Я
Т Е Х Н О Л О Г И Ч Е С К И Х П Р О Ц Е С С О В**

Конспект лекций



ЯРОСЛАВЛЬ
1984

УДК 621.9.014.001.24:681.3

Калачев О.Н. Основы автоматизации проектирования технологических процессов: Конспект лекций. - Ярославль: ЯПИ, 1984. - 55 с.

Дается представление об автоматизированной системе проектирования технологических процессов (САПР ТП), ее структуре и принципах построения. Рассматриваются задачи, решаемые при разработке САПР, методы построения САПР: унификация технологических процессов и синтеза.

Ил.24. Табл. 29. Библиогр.17.

Рецензенты: кафедра технологии машиностроения
Гомельского политехнического института;
Н.Д.Голдобин, замдиректора ИПК Минавтопрома, канд.техн.наук

В В Е Д Е Н И Е

Характерной приметой нашего времени является интенсивное внедрение ЭВМ в самые разнообразные области человеческой деятельности. Проникновение ЭВМ в сферу проектирования было стимулировано, с одной стороны, все более уложившимися конструкциями изделий и связанными с ними инженерными расчетами, с другой, необходимостью существенного сокращения сроков от начала проектирования до изготовления изделий. Первоначально ЭВМ использовали для решения отдельных хорошо формализованных расчетных задач, требующих больших затрат времени при ручном счете. К таким задачам в области технологической подготовки производства можно отнести, например, расчеты режимов резания. Однако вскоре стало ясно, что такой путь использования ЭВМ качественно не меняет самой технологии проектирования и не обеспечивает существенного сокращения его сроков. Начиная с конца 60-х годов в США, Швеции и других странах начали интенсивно разрабатывать и использовать автоматизированные рабочие места (АРМ), укомплектованные чертежными автоматами. Появилась возможность освободить проектировщика от рутинной, нетворческой работы по графическому оформлению документации. Усовершенствование технологии проектирования на основе применения АРМ повысило общую культуру проектирования, но ожидаемого эффекта не дало [1].

Качественное изменение технологии проектирования стали связывать с созданием систем автоматизированного проектирования (САПР). По мнению чл.-корр. АН СССР Н.Н.Мойсеева [1], САПР в области проектирования должны быть центрами коллективного пользования базисов данных и программ. Они должны давать возможность анализировать и синтезировать конструкции в режиме диалога. Сердцем и мозгом этих систем должны стать имитационные системы, позволяющие видеть еще на этапе проектирования функционирование изделия.

Создание САПР, использующих методы имитации и диалоговые процедуры, сделалось одним из важнейших направлений технической мысли во всех развитых странах. По данным прогнозов высшим уровнем САПР будут системы, объединяющие процесс проектирования изделия с проектированием технологии его изготовления.

Развитие ЭВМ и технических средств диалогового взаимодействия идет настолько быстрыми темпами, что разработка программного

обеспечения и обучения специалистов для его эксплуатации отвечает от потребностей практики. Одним из путей преодоления отмеченного [2] несоответствия подготовки инженеров требованиям 1990 - 2000 гг. является свободное овладение выпускниками вузов вычислительной техникой от микро-ЭВМ до больших ЭВМ и САПР на их основе.

В настоящей работе кратко освещаются необходимые для инженера-пользователя общие вопросы построения и функционирования САПР, а также теоретические и практические вопросы автоматизации технологического проектирования.

1. ПОНЯТИЕ О САПР

1.1. Структура, особенности построения и режимы работы САПР

Под автоматизированным проектированием понимают систематическое использование ЭВМ в процессе проектирования при обоснованном распределении функций между человеком и ЭВМ [3]. Наилучшая форма организации процесса проектирования достигается при применении САПР. Основными частями САПР являются: комплекс технических средств (ТС), программное (математическое) обеспечение (ПО) и инженер-пользователь.

САПР - не автоматическая, а автоматизированная система. Это означает, что в ней предполагается использование эвристического мышления человека для принятия принципиальных решений творческого характера, не поддающихся формализации и алгоритмизации. На ЭВМ возлагается решение умственно формализованных и рутинных задач.

САПР - иерархическая система, что, помимо прочего, находит своё выражение в построении ТС, разделяемых на центральный вычислительный комплекс и периферийные автоматизированные рабочие места.

САПР - совокупность информационно согласованных подсистем, обеспечивающих решение не только отдельных задач, но и большинства имеющих смысл последовательностей задач, возникающих при проектировании. При этом переход к последующей задаче не требует вмешательства человека для подготовки и переконфигурации исходных данных.

САПР - открытая и развивающаяся система, предусматривающая а) включение новых подсистем (по мере их создания), расширяющих её возможности; б) замену старых более эффективными подсистемами без изменения других, взаимодействующих с данной.

Различают два режима работы САПР: пакетный и диалоговый. Пакетный режим не предусматривает вмешательства человека в ход решения на ЭВМ после ввода программы и исходных данных. Используется, когда заранее можно предвидеть все возможные ситуации при решении относительно несложных задач. Диалоговый режим используется для решения сложных, трудноформализуемых задач, например, выбор технологических баз и порядка их смены. Оперативная связь пользователя с ЭВМ в ходе проектирования поддерживается через диалей. Разновидностью диалога является так называемый интерактивный режим, под которым в САПР понимают режим проектирования в реальном времени [4].

1.2. Технические средства САПР

1.2.1. Средства обработки информации

Технические средства САПР делятся на 1) средства обработки информации и 2) средства отображения информации и связь с ЭВМ.

К средствам обработки информации относятся цифровые ЭВМ. Наибольший интерес для создания САПР представляют ЭВМ единой серии (ЕС ЭВМ), которые располагают развитым программным обеспечением и периферийными устройствами, позволяющими создавать разнообразные конфигурации вычислительных комплексов (ВК). Особенностью ЕС ЭВМ является их программная совместимость снизу вверх (от маломощных к более мощным моделям). Имеющийся опыт разработки САПР показывает, что для проектирования сложных технических объектов необходимо ориентироваться на ЕС ЭВМ моделей ЕС-1040 и выше.

Помимо ЕС ЭВМ широкое распространение получили мини-ЭВМ - машины относительно меньшей производительности, стоимости и габаритов. К их числу относятся СМ ЭВМ, а также ЭВМ "Напри-4", УВК М-400, миникомпьютерные системы типа МЕРА-САМАС. Мини-ЭВМ перечисленных моделей используются как самостоятельно, так и в комплексе отечественных АРМ.

Рассмотрим структуру и периферийные устройства минимального комплекта ЕС ЭВМ.

Вычислительный комплекс ЕС ЭВМ (рис.1) состоит из центрального вычислителя (процессора), оперативного запоминающего устройства (ОЗУ), селекторного и мультиплексного каналов, а также связанных с этими каналами устройств ввода - вывода (УВВ) и набора внешних запоминающих устройств (ВЗУ). К УВВ относятся: УВВ на перфокарты (Пк), УВВ на алфавитно-цифровое печатающее устройство (АЦПУ), УВВ на пишущую машинку (Пм) и др. К ВЗУ относятся накопитель на магнитной ленте (НМЛ), накопитель на магнитном диске (НМД).

Главной частью ЭВМ является процессор, который управляет вычислительным процессом в соответствии с введенной программой и производит операции над числами и кодами.

ОЗУ предназначено для хранения в ячейках памяти на ферритовых сердечниках исходных данных, промежуточных результатов и программ, непосредственно обрабатываемых процессором. Важной характеристикой ЭВМ является емкость ОЗУ. Для ЭВМ ЕС-1020 она составляет 256 кбайт (1 кбайт = 1024 байт; 1 байт = 8 бит; 1 бит = двоичная цифра). В ходе расчета по программе происходит последовательная выборка из ОЗУ в процессор машинных команд, их выполнение и отсылка результатов операции в ОЗУ.

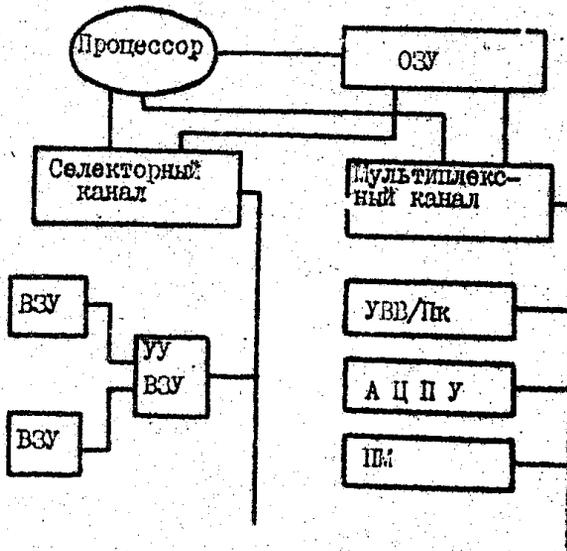


Рис.1. Структура ЭВМ

Программа и исходные данные, подготовленные, как правило, на перфокартах, вводятся в ЭВМ через УВВ/Пк.

Программы, организующие работу ЭВМ, и каталогизированные программы решения прикладных задач хранятся на ВЗУ: записываются на МЛ или МД. ВЗУ обладает большей емкостью, но меньшим быстродействием по сравнению с ОЗУ. НМД представляет вариант обычного магнитофона с МЛ шириной 12,7 мм и длиной до 750 м, на которой записывается информация с плотностью 8 или 32 бит на мм. Емкость бобины ленты - 24 Мбайта (1 Мбайт - 1024 кбайта).

НМД напоминает проигрыватель грампластинок, он работает с пакетом из шести МД, вращающихся с частотой 2400 об/мин. Между дисками перемещаются считывающие магнитные головки. На каждой из десяти рабочих поверхностей дисков пакета размещается 200 концентрических магнитных дорожек ("цилиндров"), на которых записывается информация. Общая емкость пакета МД, поставляемого с ЕС-1020, 7,25 Мбайта.

Результаты решения задачи на ЭВМ выводятся, как правило, на АЦПУ: печатаются построчно на бумажной ленте шириной до 420 мм. Скорость печати - до 900 строк/мин. Для обмена информацией между оператором и ЭВМ используется Пм, которая печатает знаки последовательно со скоростью 10 знаков/с.

1.2.2. Средства отображения информации и связи с ЭВМ

К этому виду технических средств, помимо отмеченных выше АЦПУ и Пм, относится дисплеи, графопостроители, устройства кодирования графической информации (УКГИ).

Дисплей предназначен для ввода-вывода информации на экран электроннолучевой трубки (ЭЛТ). В зависимости от вида отображаемой информации дисплеи делятся на алфавитно-цифровые и графические. Для ввода букв и цифр алфавитно-цифрового дисплея имеет клавиатуру. Набираемый текст высвечивается на экране ЭЛТ.

На рис. 2 показана упрощенная схема дисплея. Дисплей может работать в 4-х режимах: 1) в автономном режиме (*off-line*) клавиатура дисплея (Кл) соединена с буферной памятью (БП); 2) в режиме прямой связи с ЭВМ (*on-line*) БП подключена к каналу ЭВМ; 3,4) в режимах вывода информации из БП соответственно в ЭВМ или на АЦПУ.

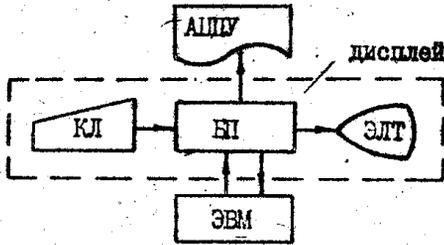


Рис.2. Схема дисплея

Графическим дисплеем обычно называют дисплейный терминал — устройство преобразования графической информации (УПИ). Это устройство помимо графического дисплея (ЭЛТ и пульта управления) включает дисплейный процессор с памятью и блок связи с процессором мини-ЭВМ. Ввод и преобразование графической информации может выполняться с помощью функциональных клавиш пульта управления и светового пера. Перио представляет собой стержень с фотоэлементом и оптической системой, фокусирующей на фотоэлементе свет, падающий при открытом затворе с экрана ЭЛТ. Если пером указать на какую-нибудь светящуюся точку экрана, то программным путем формируются координаты этой точки. Нажатие одной из клавиш пульта с одновременным указанием световым пером на элемент изображения экрана обеспечивает выполнение чертёжной операции. Например, нажатие клавиши "отирание" удаляет указанный элемент. Графический дисплей используется также для контроля геометрической информации, вводимой с УКП.

Графостроитель (иначе координатограф, плоттер) предназначен для вывода графической информации. В САПР наиболее широко используются электрохимические графостроители, которые являются устройствами числового программного управления. Графостроители бывают планшетного и рулонного типов. В планшетном пишущий узел с помощью каретки и траверсы может перемещаться в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Движение обеспечивается шаговыми двигателями. Плотное прижатие бумаги к плоскости планшета достигается с помощью магнитных линеек, вакуумных присосок и электростатического поля. В рулонном варианте пишущий узел перемещается вдоль неподвижной планки, закрепленной над поверхностью вращающегося барабана, перемещающего за крайнюю перфорацию бумажную ленту.

Множество способов подключения графостроителя условно сводится к двум вариантам: 1.) режим непосредственной связи с ЭВМ —

для оперативного получения результатов в графическом виде. Недостаток: подключение медленно работающего графопроектиратора к ЭВМ приводит к снижению её производительности из-за задержек на вывод информации; 2) автономный режим, при котором результаты выводятся на ЭВМ сначала на ПЧ или МД, а затем с этих носителей выводятся в графопроектиратель.

УКТИ (иначе оцифрователь, дигитайзер, цифровой планшет, скобка) является устройством ввода графической информации, преобразующим её в цифровую форму, доступную для обработки на ЭВМ. УКТИ представляет собой планшет, на который помещается чертёж. Под поверхностью планшета вдоль осей X и Y размещаются по IC24 параллельных изолированных друг от друга проводников. К каждому подводится свой децимальный сигнал, соответствующий координате от края планшета. Специальное визирное оптическое устройство (лупа) воспринимает коды ближайших проводников, соответствующие координате перекрестия лупы. Примером подобного планшета является полуавтомат кодирования графической информации (ПКТИ), входящий в комплект отечественного АРМ (см. раздел I.5). ПКТИ позволяет кодировать элементы чертежа, символы, кривые. Разрешающая способность 0,1 мм. Закодированная информация помещается в буферную память, содержание которой можно ввести в ЭВМ или вывести на графический дисплей.

I.3. Программное обеспечение САПР

I.3.1. Общее программное обеспечение

Входящее в состав САПР программное обеспечение (ПО) можно разбить на две группы: общее и специальное.

Общее ПО включает в себя программные средства, поставляемые вместе с ЭВМ и обеспечивающие функционирование ЭВМ, а также управление вычислительным процессом. Общее ПО имеет одинаковую структуру для ЭВМ различных типов одной серии, например, ЕС ЭВМ, и не зависит от специфики решаемых задач.

Общее ПО состоит из следующих компонентов: операционной системы (ОС), систем программирования, программ диагностики и технического обслуживания, сервисных программ.

ОС – совокупность программ и методов управления ЭВМ и взаимодействия пользователей. ОС включает программы двух основных групп:

управляющие (ПЕРВОНАЧАЛЬНАЯ ЗАГРУЗКА, УПРАВЛЕНИЕ ЗАДАНИЯМИ, СУПЕРВИЗОР) и обрабатывающие (ТРАНСЛЯТОР с алгоритмическими языками, РЕДАКТОР, БИБЛИОТЕКАРЬ и др.).

В ЕС ЭВМ может функционировать одна из двух ОС, различающихся по сложности и возможностям: дисковая ОС (ДОС ЕС) и основная ОС (ОС ЕС). ДОС ЕС обеспечивает режим пакетной обработки, при котором имеется пакет (набор) заданий, последовательно пропускаемых через ЭВМ, и в каждый момент времени обрабатывается только одно задание. ДОС ЕС позволяет также более эффективно использовать ресурсы ЭВМ в режиме пакетной обработки с мультипрограммированием. В этом режиме ЭВМ одновременно обрабатывает до трех программ (например, в одно и то же время первая программа может находиться в процессоре, по второй - выполняется запись на МД, а по третьей выводятся данные на АЦПУ).

Более совершенная, но требующая большого объема ОЗУ ОС ЕС управляет в пакетном режиме с мультипрограммированием 24-мя программами. Кроме того, она обеспечивает работу ЭВМ в режиме разделения времени. Преимуществом этого режима является организация диалога между ЭВМ и пользователем посредством дисплея.

Система программирования - часть общего ПО, обеспечивающая составление и отладку программ. Система программирования включает язык программирования, транслятор, библиотеку стандартных программ (БСП) и отладочные средства.

Язык программирования предназначен для написания программ, входящих в специальное ПО. Этот язык, главным образом, инструмент разработчика САПР, в гораздо меньшей степени к нему обращается инженер-пользователь. На рис.3 дана классификация языков программирования.

В машинных языках каждой команде соответствует определенная операция, выполняемая ЭВМ. Мнемокод отличается от машинного языка заменой цифровых кодов более удобными для программиста буквенными. Макроязыки наряду с элементарными командами, характерными для мнемокодов, допускают использование макрокманд, представляющих собой сокращенную запись некоторых часто встречающихся последовательностей машинных команд. Мнемокоды и макроязыки называют автокодами (в ЕС ЭВМ - язык Ассемблера). Машинно-ориентированные языки отражают структуру ЭВМ и особенности её системы команд.

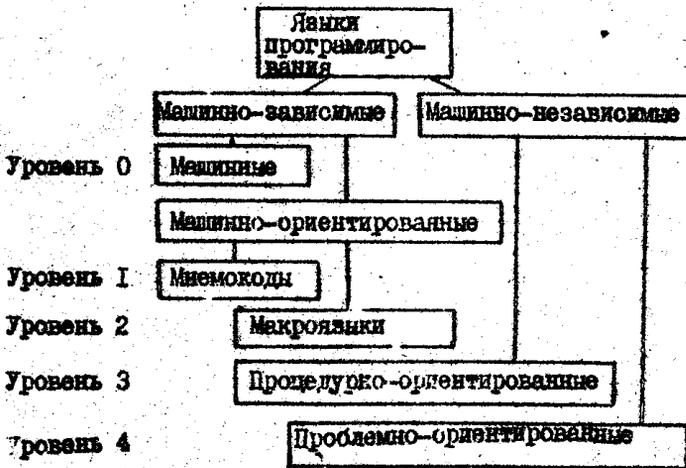


Рис. 3

Классификация языков программирования

Процедурно-ориентированные языки предназначены для описания процедур (алгоритмов) решения задач. Их часто называют алгоритмическими. К процедурно-ориентированным языкам, направленным на решение научных и инженерных задач, связанных с применением методов вычислительной математики, относятся языки ФОРТРАН и ПЛ/1.

Процедурно- и проблемно-ориентированные языки (последние отражают специфику предметной области проектирования и относятся к специальному ПО), называют языками высокого уровня.

Транслятор представляет собой программу, обеспечивающую перевод записанной на одном из языков программы на машинный язык. Обычно имеется несколько трансляторов с одного и того же языка, отличающихся скоростью трансляции, качеством получаемой программы (число машинных команд, реализуемых один оператор исходного языка).

БСП — оформленные по определенным правилам и хранящиеся на БЗУ наиболее часто употребляемые пользователем программы численных методов решения вычислительных задач, например, решения систем уравнений.

Отладочные средства обеспечивают выдачу диагностических сообщений об ошибках, выявляемых при трансляции программы, при её исполнении, например, при делении на нуль, выдачу промежуточных результатов для сопоставления с результатами ручного счета.

1.3.2. Специальное программное обеспечение

К специальному ПО относятся: пакеты программ (ПП), отражающие специфику проектируемых объектов, система управления ПП (СУПП), программные средства организации диалога пользователя с ПП - диалоговая система (ДС). Частью специального ПО считается информационное обеспечение - банк данных.

ПП - комплекс программ, содержащий набор отдельных процедур или операций, предназначенных для решения некоторого однородного класса задач. ПП бывает простой и сложной структуры.

ПП простой структуры состоит из нескольких разделов (рис.4). Каждый раздел представляет собой библиотеку программных модулей (процедур). ПП сложной структуры (рис.4) отличается наличием управляющей программы ПП, организующей взаимодействие между модулями, транслятора с входного, проблемно-ориентированного языка, обеспечивающего расшифровку инструкций, сформулированных на входном языке, набором обслуживающих (сервисных) программ, создающих для пользователя определенные удобства при работе, например, диагностику ошибок [5].

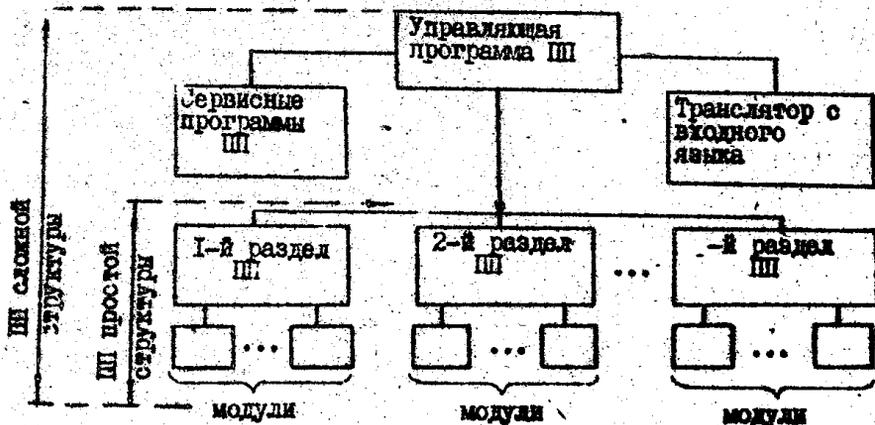


Рис.4. Структура ПП

Модули являются функционально завершенными частями, своеобразными "кирпичиками", из которых формируется рабочая программа решения задачи. По своей структуре модули могут быть простыми, состоящими из одной подпрограммы, например, типа **SUBROUTINE** в языке **FORTRAN**, или составными. Составной модуль - совокупность

программ, из которых одна является вызывающей, а остальные — вызываемыми по отношению к ней, не предназначенными для автономного использования. На рис.5 показано иерархическое построение составных модулей

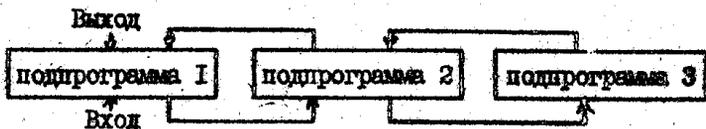


Рис.5. Структура составного модуля

Достоинством модульных ПИ является гибкость — возможность формирования из них различных последовательностей, отвечающих требованиям конкретной задачи. Однако для эффективного использования модульных ПИ необходимо иметь достаточно сложную систему управления ПИ.

СУИП, называемая также монитором, является программным средством, организующим взаимодействие между пользователем САПР, общим ПО и ПИ. Монитор выполняет следующие функции: 1) организует вызов в нужной последовательности необходимых модулей из библиотеки ПИ; 2) обеспечивает обмен информацией между модулями; 3) вводит исходные данные и выводит результаты расчета.

В общем случае монитор организует не только ввод информации, поступающей от пользователя, но и нормативных и других справочных данных из информационного обеспечения (базы данных) САПР.

Рассмотрим функционирование одной из разновидностей мониторов — гибкого монитора (рис.6). Задача 1 на формирование вычислительной схемы, сформулированное на проблемно-ориентированном языке, поступает через дисплей на монитор. Последний извлекает необходимые модуль А, Б, С, Д из библиотеки ПИ и генерирует из них вычислительную процедуру. Пользователю поступает запрос 2 о вводе исходных данных. Результаты 4 вычислений на ЭЕМ поступают на экран дисплея.

ДС выполняет следующие функции: воспринимает сообщения пользователя, выявляет смысл этих сообщений и доводит его до соответствующих ПИ, передает пользователю директивы, исходящие от системы. Возможна организация следующих основных видов диалога: 1) диалог идет от системы — при вводе качественной информации на экран дисплея выводится меню допустимых ответов, а при вводе

числовых данных указывается их допустимые значения; 2) диалог заканчивается пользователем, который, как правило, применяет ограниченный набор директив.

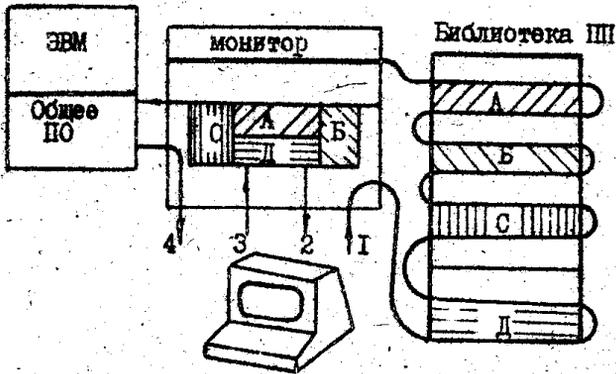


Рис. 6. Функционирование гибкого монитора

Банк данных — подсистема САПР, включающая, во-первых, информационные массивы, которые принято называть базой данных и, во-вторых, систему управления базой данных (СУБД), обеспечивающую запись данных в банк, доступ к базе данных со стороны ИИ, уничтожение ненужных данных, "сборку мусора", т.е. копирование носителей данных без свободных областей памяти, появившихся в результате уничтожения ненужных данных.

1.4. Взаимодействие пользователей и технических средств в САПР

На рис. 7 приведена схема взаимодействия пользователей и технических средств (ТС) с помощью различных видов ПО. Выбор тех или иных ТС зависит от объема и специфики проектных задач. Наиболее широко в САПР используются ЕС ЭВМ. При функционировании САПР в пакетном режиме достаточно иметь рассмотренные выше периферийные устройства минимального комплекта ЕС ЭВМ (без дисплеев, графопроекторов), общее ПО и специальное ПО (ИИ, СУИИ).

Для организации оперативной связи пользователи при эксплуатации САПР на базе ЕС ЭВМ в режиме диалога должны быть использованы периферийные устройства дополнительного комплекта. К ним относятся, например, устройство группового управления дисплеями ЕС-7906, которое подключается к каналам ЕС ЭВМ и управляет одно-

временно работой 4-х дисплеев ЕС-7066, удаленных на расстояние до 300 м. Для организации диалога ПО САПР должно быть дополнено диалоговой смотемой, обеспечивающей взаимодействие пользователя с ПП (рис.7).

Считается, однако, что наиболее эффективное функционирование САПР обеспечивается при иерархической организации ТС, когда имеется центральный вычислительный комплекс (ВК) на базе мощной ЕС ЭЕМ и связанное с ней терминальное оборудование (Т) на рис.7) - АРМ, оснащенное собственной мини-ЭЕМ. Такая структура характерна для САПР коллективного пользования. Мини-ЭЕМ в АРМ предназначены для управления работой дисплеев, графопостроителей, сканера,

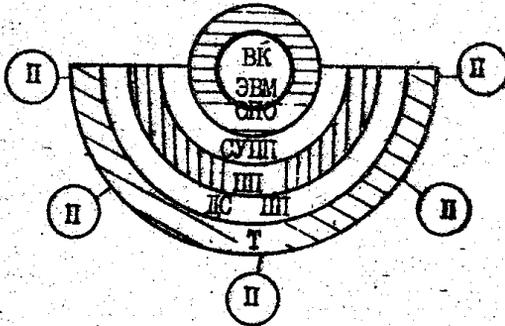


Рис.7. Взаимодействие пользователей (П) и ТС в САПР

а также для решения относительно простых вычислительных задач, для которых нецелесообразно загружать ЭЕМ центрального ВК. В составе САПР могут быть использованы АРМ разных типов ориентированные на инженеров-пользователей разного профиля [3].

1.5. Автоматизированное рабочее место (АРМ)

1.5.1. Технические средства и возможности АРМ

АРМ - комплекс технических средств и программного обеспечения, предназначенный для кодирования, формирования, преобразования, редактирования, идентификации, документирования графической и символической информации. Состав технических средств АРМ на базе ЭЕМ М-400 приведен в табл.1.

С помощью АРМ можно выполнять следующие операции: получение

Таблица I

Состав комплекса технических средств АРМ

Наименование	Обозначение	Основные параметры
ЭВМ	М-400	Емкость ОЗУ 24 К слов.
Устройство ввода-вывода ленточное	УВВМ	Скорость считывания 1500 строк/с, скорость перфорации 150 строк/с
Пишущая машинка	КОНСУЛ-260	Скорость печати 10 симв/с
Алфавитно-цифровой дисплей	ЭПА ВИДВОТОН-340	Количество строк 16, символов в строке 80
Накопитель на магнитном диске	ИМД-ИЗОТ-1370	Объем хранения записи, хранения, воспроизведения информации $50 \cdot 10^6$ бит информации
Устройство ввода с перфокарт	АН-6100	Скорость считывания 150 колонок/с
Накопитель на магнитной ленте	ИММ АН-5080	Плотность записи 8 мм/мм
Графический дисплей (устройство преобразования графической информации)	УШУИ	Емкость памяти 4096 18 - разрядных слов. Рабочее поле экрана 210x297 мм
Графопостроитель (планшетного типа)	АН-725I	Рабочее поле: ось X - $1189 \pm 0,2$ мм; ось Y - $841 \pm 0,2$ мм. Скорость вычерчивания: - прямых 100 мм/с; - кривых 35 мм/с; - наклонных 35 мм/с. Толщина линий: $0,8 \pm 0,2$ мм; $0,6 \pm 0,5$ мм; $0,3 \pm 0,1$ мм Рабочее поле: 850x618 мм. Максимальная скорость обводки 100 мм/с
Полуавтомат кодирования графической информации оптический (сколка)	ПКТИО	Скорость печати 180 смм/с
Устройство печати мозаичное последовательное	УТМП (D2M-180)	Количество символов в строке 150

математическое кодирование графической информации при использовании ПКЦИО и автоматическое при формировании чертежа на УПИ, построение эскизов с помощью светового пера и функциональной клавиатуры или чертежей по размерам, введенным с функциональной клавиатуры, преобразование графической информации - сдвиги, повороты, деление отрезков в заданном отношении, обработку текстовой информации - стирание, добавление символов и строк символов, разбивку текста, формирование форматов вывода на пишущую машинку; идентификацию - присоединение меток графическим элементам и массивам; документирование - вычерчивание чертежей на графопроекторе с выполнением требований ЕСКД, печать текстовой информации на пишущей машинке, вывод графической и символьной информации на перфоленду.

АРМ может функционировать в двух режимах: автономном и в режиме связи с центральным ВК.

В автономном режиме АРМ обеспечивает кодирование чертежей, редактирование текстовых документов, подготовку информации для ввода в ЭМ. В этом режиме обеспечивается повышение производительности труда технолога в 5-10 раз.

Режим связи с ВК центральной ЭМ используется для организации проектирования в режиме диалога.

1.5.2. Математическое (программное) обеспечение АРМ

Указанные выше возможности АРМ обеспечиваются средствами математического обеспечения (МО) АРМ, структура которого показана на рис.8.

В состав МО АРМ входят:

- 1) базовое программное обеспечение (БПО);
- 2) графический язык конструктора;
- 3) пакеты прикладных программ (ППП).

БПО АРМ включает дисковую операционную систему ДОС-400, дисковую операционную систему ДОС АРМ, программы обмена и перекодировки, тестовую систему ТЕСАРМ, массив графической информации (МГИ). Рассмотрим кратко составляющие элементы БПО АРМ.

ДОС-400, разработанная для ЭМ М-400, предназначена для программиста-пользователя, ведущего разработку задач на базе АРМ. Система обеспечивает однопрограммный режим работы и является средством разработки и отладки программ. Монитор ДОС-400

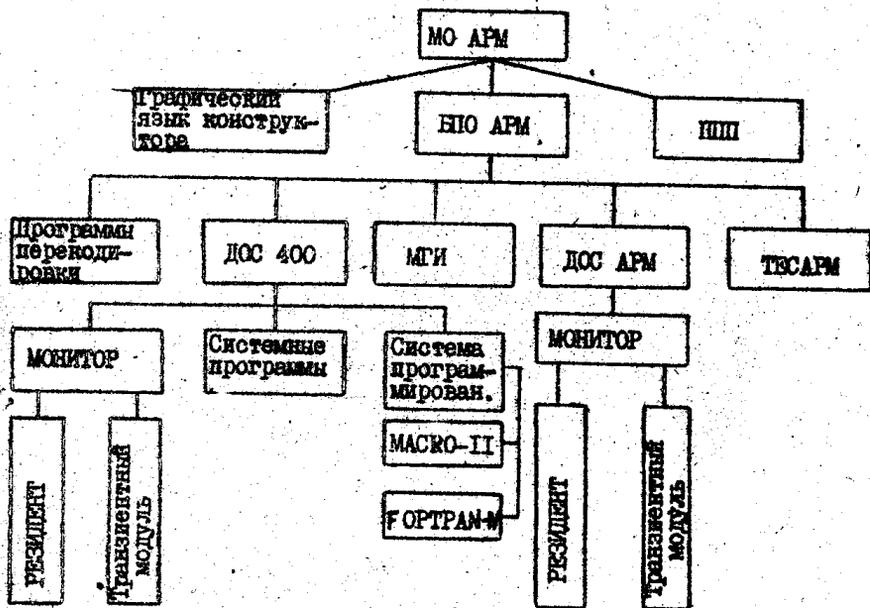


Рис.8. Структура МО АРМ

представляет основную управляющую часть системы. Состоит из постоянно находящегося в рабочем состоянии в оперативной памяти М-400 резидента, обеспечивающего диспетчеризацию всех ключей под управлением ДОС-400 работ и транзентных модулей, вызываемых в ОП М-400 по требованию проблемных программ. Под управлением ДОС-400 работают системные программы, представленные на рис.8. В ДОС-400 предусмотрены две системы программирования: 1) программирование на языке макроассемблера MACRO-II; 2) программирование на языке ФОРТРАН-IV.

ДОС АРМ предназначена для мультипрограммного выполнения в режиме реального времени до 4-х задач. Система не обладает собственными средствами создания и отладки программ и используется как средство эксплуатации проблемных программ.

МГИ представляет собой промежуточную форму хранения информации при обмене между устройствами ввода и отображения графической

информации (сколка, графопостроитель, графический дисплей), на согласованных между собой по структуре данных. Может храниться на МД или МЛ.

Программы перекодировки и обмена служат для перекодировки информации: из формата сколки в формат МП, из формата графического дисплея в формат МП, из формата МП в формат дисплея или графопостроителя. Информация, поступающая со сколки, может содержать коды графических стандартных элементов (ГСЭ). При выводе этой информации на графопостроитель каждый такой код должен быть преобразован в специальную программу построения соответствующего знака ГСЭ с помощью отрезков линий. Программы построения ГСЭ составляют библиотеку ГСЭ, которая используется программами перекодировки.

Система ТЕСА-М является тестовой системой для полуавтоматической проверки работоспособности всех технических средств, входящих в АРМ.

Графический язык конструктора содержит операторы: формирования (отрезок прямой, окружность, дуга, кривая, текст), структурной организации (элемент чертежа, узел, графический массив, выделение световым пером), преобразования (сдвиг, поворот, масштабирование, симметрия, инверсия, отправка), ввода (с пишущей машинки, ПЛКМО, световым пером), вывода (на ПЛ, ПМ), редактирования (вставить символ слова или сл. аза, вычеркнуть, распечатать текст в указанной последовательности). Графический язык реализован в дисплее типа УИИ с помощью микропрограммного процессора.

ИИИ содержат программы ускоренной подготовки управляющих программ (ИИ) для станков с ЧПУ, графического обеспечения подготовки управляющих программ для станков с ЧПУ.

2. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

2.1. Содержание технологической подготовки производства

Автоматизация решения проектных задач в машиностроении достигается с помощью САПР, получившей название автоматизированной системы технологической подготовки производства (АС ТПП). ТПП — совокупность взаимосвязанных мероприятий, осуществляемых на основе ЕС ТПП и обеспечивающих технологическую готовность предприятия к производству изделий в соответствии с заданными технико-экономиче-

кими показателями. АС ТПП – система ТПП, основу организации которой составляет взаимодействие людей, машинных программ и технических средств. Структура АС ТПП на уровне программной реализации принципиально не отличается от рассмотренной выше универсальной структуры САПР.

АС ТПП включает ряд подсистем, функциональные связи которых показаны на рис.9. Основными подсистемами АС ТПП, реализуемыми специальным ПО и отражающими соответствующие направления работ по ТПП, являются следующие.



Рис. 9. Общие функциональные связи между подсистемами АС ТПП

1. Подсистема управления для организации согласованного функционирования всех подсистем АС ТПП.
2. Банк технологических данных (информационно-поисковая система) для занесения, корректировки и поиска информации различными подсистемами АС ТПП.
3. Подсистема отработки изделий на технологичность для контроля конструкции изделий на технологичность, заимствования сборочных единиц, деталей и их элементов, заимствования технологической оснастки, унификации и стандартизации объектов производства. Через данную систему осуществляется связь АС ТПП с САПР новых изделий.
4. Подсистема анализа производства решает задачи определения его рациональной организации. Например, при ориентации на гибкое автоматизированное производство (ГАП) решаются задачи выбора структуры ГАП, оптимального размещения обрабатывающих центров, транспортной системы, станций контроля размеров и автоматизированного склада с целью формирования минимальных по времени маршрутов перемещения тележек с заготовками, подготовки ПО для центральной ЭМ, осуществляющей диспетчеризацию работы ГАП и др.
5. Подсистема проектирования технологических процессов (ТП) – в литературе её часто рассматривают как самостоятельную и называют САПР ТП – состоит в свою очередь из ряда взаимосвязанных подсистем, реализуемых в виде ПП: преобразования исходной информации о детали,

подготовленной на входном, проблемно-ориентированном языке, определение конструкторско-технологического кода детали для поиска унифицированного типового или группового ТП, формирование группы деталей для обработки на ЦАПе, выбора и доработки унифицированного ТП, проектирования индивидуальных ТП, включая определение вида заготовки и метода её изготовления, выбор технологических баз, составление маршрута обработки и состава операций, размерный анализ ТП, подготовку информации для системы автоматизации программирования (САП) с целью получения управляющей программы для полной или частичной обработки на станках с ЧПУ, выбора средств технологического оснащения (СТО).

6. Подсистема конструирования СТО для проектирования нестандартного оснащения.

2.2. Типовые решения при технологическом проектировании

Проектирование ТП представляет в значительной мере последовательный выбор типовых решений в зависимости от условий производственной среды и конструктивно-технологических параметров детали. Выделяют два уровня типовых решений:

- 1) при обработке отдельных поверхностей и их сочетаний;
- 2) типизация ТП обработки детали в целом.

Типизация на первом уровне основывается на проверенных многолетней практикой и обобщенных в справочниках решениях. Типовые маршруты (или) обработки отдельных поверхностей приводятся, например, в таблицах среднеэкономической точности обработки цилиндрических поверхностей: точение (черновое, чистовое), шлифование (черновое, чистовое, тонкое). Другим примером может служить типовая последовательность обработки отверстий: сверление, зенкерование, развертывание. Состав и последовательность при этих этапах в маршрутах могут отличаться. Степень отличия определяется рядом факторов, из которых основными являются конечные параметры поверхности детали. Типовые решения на уровне переходов обработки отдельных поверхностей используются как при разработке единичных ТП, так и при составлении типовых или групповых ТП.

Унификация на уровне ТП имеет целью готовить сходные по тем или иным признакам детали по унифицированным ТП, разработанным предварительно с учетом самых совершенных технологических методов.

Идея типизации, высказанная проф. А.А.Соколовским, заключается

в классификации деталей по конструктивно-технологическим признакам: форме, размерам, точности и др. Конечная цель классификации — установление принадлежности детали к определенному типу, т.е. к совокупности деталей, имеющих в данных производственных условиях общий план выполнения операций и переходов. Детали одного типа в определенной степени могут отличаться набором поверхностей и некоторыми параметрами. Поэтому ТП обработки конкретной детали получается из типового путем исключения лишних операций и переходов обработки отсутствующих поверхностей. Доработка типового ТП включает также уточнение технологического оснащения, пересчет технологических размеров, выбор режимов обработки и норм времени.

Групповой метод обработки, предложенный проф. С.П.Митрофановым, представляет собой способ унификации технологии, при котором для обработки группы деталей устанавливается одинаковое оборудование и оснащение при выполнении всех или отдельных операций. В основе метода лежит классификация, заканчивающаяся формированием группы, т.е. совокупности деталей, характеризующейся общностью оборудования и оснащения, необходимых для обработки детали в целом или отдельных её поверхностей. ТП обработки конкретной детали формируется путем уточнения общих поверхностей с комплексной деталью группы и выбора из групповых ТП только тех операций и переходов, которые необходимы для обработки поверхностей заданной детали.

Существование типовых решений и условий их выбора при "ручном" проектировании является предпосылкой автоматизации процессов принятия решений в САПР ТП.

2.3. Классификация деталей в ТП

В рамках традиционной ТП предусмотрены мероприятия по ускорению ТП на основе унификации ТП и оснащения. Эти мероприятия выполняются в два этапа: предварительно формируются унифицированные ТП, а в ходе текущего проектирования устанавливается код конкретной детали по принятой системе классификации, проводится поиск типового (группового) ТП и его доработка.

Согласно Общесоюзному классификатору промышленной и сельскохозяйственной продукции и Технологическому классификатору деталей машиностроения код деталей состоит из 2-х частей. Конструкторская часть характеризует сочетание поверхностей детали. Все множество деталей по основной геометрической форме наружной поверхности разделено на 2 класса: 40 "Детали. — тела вращения" и 50 "Детали...—

кроме тел вращения". Поиск остальных конструкторских признаков ведется по Иллюстрированному определителю деталей общемашиностроительного назначения. Технологическая часть характеризует габаритные размеры поверхностей, точность основных размеров, шероховатость некоторых поверхностей и пр. На рис.10 приведен пример определения кода детали. Как видно из рисунка, полный код содержит обобщенную информацию о детали, которая достаточна для решения некоторых общих задач проектирования.

Наличие кода или его выделение программными средствами из полного описания детали, введенного в ЭВМ, позволяет проводить поиск в БД унифицированных ТП или формировать таковые, объединяя индивидуальные ТП на детали с близкими кодами.

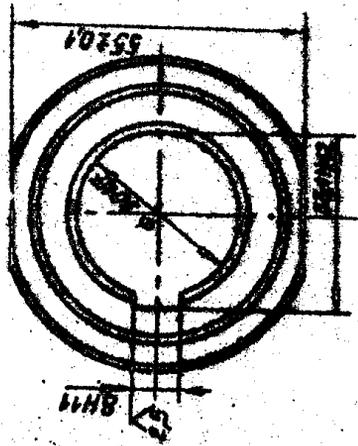
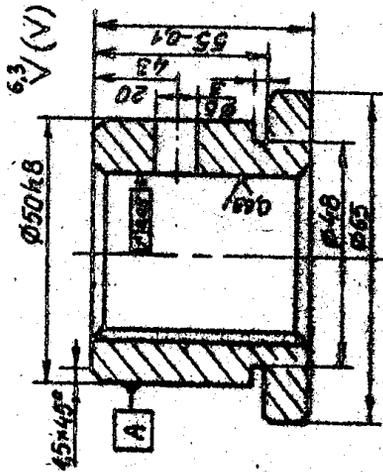
3. ЗАДАЧИ, РЕШАЕМЫЕ ПРИ РАЗРАБОТКЕ САПР ТП

3.1. Выбор метода автоматизации проектирования

Центральной проблемой создания АС ТП является разработка САПР ТП. Традиционным методам проектирования ТП: унифицированных (типовых и групповых) и единичных, - соответствуют два принципиально различных метода автоматизации проектирования: 1) на основе использования унифицированных ТП изготовления детали; 2) синтеза ТП из элементарных маршрутов обработки отдельных поверхностей.

Первый метод реализует рассмотренную в пп.2.2;2.3 схему проектирования: ввод описания чертежа детали → определение конструкторско-технологического кода детали → поиск по коду в БД ранее составленного унифицированного ТП → его доработку в соответствии с описанием чертежа детали → получение индивидуального ТП.

Второй метод автоматизации проектирования позволяет получать единичные ТП, формирующие БД унифицированных ТП. Упрощенная схема этого метода такова: ввод описания чертежа детали → выбор типового маршрута переходов для обработки каждой поверхности → формирование из переходов операций → составление оптимального маршрута обработки детали. В перспективе развитие данного метода, основанного на выделении и формализации общих технологических законов, обеспечит решение задачи технологического проектирования для любого класса деталей [10].



Полный код детали:
403394 834024 31322007

403394

Код организационно-разработчика

Код конструкторской классификационной группировки:
деталь обмеланинотроительного применения - тепло
вращающ. Втулка с центральным сквозным отверстием,
без кольцевых выносок на торцах, с лысками на на-
ружной поверхности и с дополнительным отверстием

Код технической классификации: 834 02 4

Размерная характеристика

- наибольший наружный диаметр ... 65 мм
- длина ... 55 мм
- наибольший диаметр отверстия ... 30 мм

Группа материала - сталь углеродистая

Вид детали по технологическому процессу
изготовления - деталь, обрабатываемая резанием

Вид исходной заготовки - пруток 31

Круглый некалорванный

Класс точности размеров наружных
поверхностей

Класс точности размеров внутренних
поверхностей

Класс чистоты наружных поверхностей

Характеристика элементов зубчатого зацепления

Характеристика тепловой обработки

Характеристика массы 0,47 кг

Рис. 10. Диаметр формирования конструкторско-технологического кода детали

3.2. Кодирование информации о детали

Для осуществления автоматизированного проектирования необходимо ввести в ЭМ информацию о детали, иначе говоря, сформировать информационную модель детали. В настоящее время информация о достаточно сложных деталях не может быть воспринята ЭМ непосредственно в виде чертежа. Представление исходных данных о детали в формализованном виде обеспечивается системой кодирования входного языка описания детал: [6]. Существуют два способа кодирования информации о детали: 1) текстовой - с помощью формализованного технологического языка (ФТЯ); 2) табличный - с помощью таблиц кодированных сведений (ТКС).

Примером ФТЯ может служить язык, предложенный В.Д.Цветковым [7], в котором описание детали включает следующие группы данных:

- А. Данные для идентификации детали.
- Б. Общие сведения о детали.
- В. Сведения об элементарных поверхностях.
- Д. Данные о форме детали.
- Е. Сведения о различных связях и технических требованиях.

Группа А содержит наименование и индекс детали. Б: Габаритные размеры, обозначение материала, массу детали, вид термообработки, гальванопокрытие, шероховатость остальных поверхностей и др. В: Номер поверхности, тип поверхности по классификационной табл.2 (тип описывается позиционным четырехзначным цифровым кодом или сокращенным названием поверхности, заменяющим первые три цифры кода, например, - ТОРН1 I, -ЦМ2. Знаком "-" кодируются внутренние поверхности), размерный параметр, отклонение от геометрической формы и др. Д: Указываются номера элементарных поверхностей и вид конструктивной операции ("соединение" или "отсечение") или отношения "пересечение", образующих из них более сложные формы детали. Операции "соединение" элементов Q_1 и Q_2 детали обозначается символом U_i и заключается в построении объекта $A = Q_1 U_i Q_2$, где i - характер соединения элементов в пространстве: $i = 1$ - соосное, $i = 2$ - под прямым углом и т.д. Е: Номера элементов, вид размерной связи между ними и ориентация.

Описание детали на рис.11 с помощью ФТЯ выглядит следующим образом:

- А. ИДНДЕТ: ИД, 25356/ИД, вал/ТК, 050;
- Б. ДАНДЕТ: ЛД, 65/ДЦ, 20/МД, сталь 45/стандарт ГОСТ 1050-60/ВТО, КАЛИТЬ, НРС, 42, 45/РА 1.25/НШ, 1.6x45 Г/РП, 100;

Таблица 3

Индекс детали		Наименование детали										Материал детали			Примечания	Номер строки
I		2										3				
Масса детали	Г	Термообработка		ТВЧ	Насыщение	Покр. тие	Остальные поверхности		Техни-ческие требо-вания на кромок	Кол-во деталей в партии	Место мар-кировки	Фаск* размер угла	Ширр групп-пы	Номер партии	Глубина насме-ривания по-верх-ности	Номер строки
		Макс. твер-дость	Макс. твер-дость				Макс. твер-дость	Макс. твер-дость								
I	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16

Таблица 4

Номер детали	Поверхность	Основные параметры поверхности										Примечание	Номер строки		
		Вяз (номер)	Характер напаве	Размер	Верт-каль-осло-нение	Верт-каль-осло-нение	Макс. точность	Шеро-ховатость	Размер	Длина поверхности	Верт-каль-осло-нение			Макс. точность	
I	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13		

Таблица 5

Номер детали	Третий размер	Технические требования										Примечание	Номер строки												
		Макс. твер-дость	Макс. твер-дость	Макс. твер-дость	Макс. твер-дость	Макс. твер-дость	Макс. твер-дость	Макс. твер-дость	Макс. твер-дость	Макс. твер-дость	Макс. твер-дость			Макс. твер-дость											
I	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25

Таблица 6

Номер детали	Третий размер	Технические требования										Примечание	Номер строки												
		Макс. твер-дость	Макс. твер-дость	Макс. твер-дость	Макс. твер-дость	Макс. твер-дость	Макс. твер-дость	Макс. твер-дость	Макс. твер-дость	Макс. твер-дость	Макс. твер-дость			Макс. твер-дость											
I	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25

В. ЭЛЕМЕНТ: 1 = ТОРЕЦ 1/ДВ, 20/ПА, НПП;
 2 = КОНУС 2/ДВ, 20/ДМ, 15/ЛВ, 2,5;
 4 = ЦИЛ 2/ДВ, 15/РА, 0,63;

Д. ФОРМА: 1, 2, У1, ОХ; 2, 4, У1, ОХ

Е. РАЗМЕР: 1, 5, ОХ, 65; 1, 3, ОХ, 30, +0,2;

Описание детали на ФТИ обладает большей наглядностью по сравнению с ТКС.

Описание в виде ТКС ближе к машинной форме хранения информации. ТКС - несколько массивов, объединяющих однородную информацию о различных свойствах детали.

Массив представляет множество Ω кортежей (строк), где Ω - число элементарных поверхностей детали. Каждый кортеж состоит из m столбцов, где m - число параметров, описывающих свойства поверхностей: форму, точность размеров, шероховатость, относительное расположение, термообработку и т.д. В качестве примера использования ТКС рассмотрим кодирование информации о детали, принятое в САПР ТИ деталей "Тала вращения", созданной в СКТБ с ОП ИТК АН БССР. Описание детали формируется с помощью пяти ТКС (см. табл. 3, 4, 5, 6 и табл. П.1 приложения). При подготовке чертежа каждая деталь рассматривается состоящей из отдельных поверхностей, разделенных на три группы: 1) основные поверхности наружного контура; 2) основные поверхности внутреннего контура (центровые отверстия и пр.); 3) остальные поверхности, расположенные на перечисленных выше.

Нумерация поверхностей должна быть сквозной, начиная с 1-й по всем группам поверхностей в указанной выше последовательности. Направление нумерации - от левого крайнего торца к крайнему правому торцу детали. Затем нумеруются все остальные поверхности. Однотипным поверхностям несосновного контура, имеющим одинаковые размеры, следует присваивать одинаковый номер с указанием общего количества таких поверхностей. Переходным поверхностям, расположенным в начале и конце ступени (канавки, фаски и т.п.), номера не присваиваются.

На рис. II показан пример нумерации поверхностей. Под номером 3 указан промежуточный торец. При отсутствии центрального сквозного отверстия того же типа между торцами, например, центральных отверстий, также имеет свой номер 8.

При заполнении с помощью кодировочных таблиц бланка вычислительного центра данные каждой графы отделяются наклонной чертой, нули в числах подчеркиваются. Если информация какой-либо графы

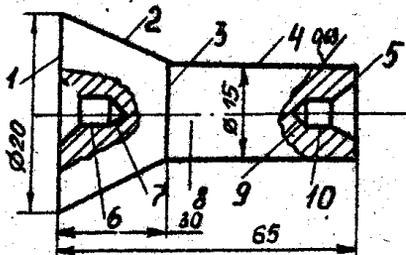


Рис. II. Нумерация поверхностей детали
отсутствует, в нее заносится ноль. Нули в последних графах таблиц записывать необязательно. Последним символом в строке должна быть наклонная линия.

Пояснения к табл. 3. Во все графы информация переносится с чертежа без изменений. В графу I вместо нуля заносится буква 0 (не перечеркивать). Содержание графы I и 2 – не более 28 символов. Содержание графы 3 – не более 20 символов.

Пояснения к табл. 4. В нижней строке каждой графы указаны номера необходимых вспомогательных таблиц из приложения. Ниже поясняется содержание некоторых граф. Графа 3 – max твердость детали после объемной закалки. Графа 7 – точность неуказанных предельных отклонений размеров из технических требований. Графа 8 – значение шероховатости из правого верхнего угла чертежа. Графа II – если деталь маркируется на б/рке, то в графу заносится ноль; гравировка – I. Графы I2, I3 – размеры фасок, упоминаемых в технических требованиях. Графы I4, I5 – заполняются по принятой на предприятии системе кодирования.

Пояснения к табл. 5. В таблицу вносится размерная характеристика для каждой пронумерованной поверхности. Прямые торцы основного внешнего и внутреннего контуров, к которым не предъявляются особые требования по точности и шероховатости, пропускаются. Крайние торцы описывать обязательно. Графа I – заносится I. Графа 3 – внутренние поверхности имеют отрицательный код. Графа 4 – для поверхностей основного контура ориентиром является продольная ось, для остальных поверхностей заносится номер поверхности, на которой они расположены. Графа 5 – если резьба располагается на поверхности основного контура и её ось совпадает с осью детали, то код = 7, для остальных резьб – код I или 2. Графа 6 – для цилиндрических поверхностей диаметр, для конусов – max размер, для пазов, окон и канавок – ширина, для метрических резьб – номинальный диаметр, для уступов и плоскостей – ширина. Графа 10 – если шероховатость не обозначена, заносится ноль, для центровых отверстий код = 6.

Пояснения к табл. 6. Таблица является продолжением предыдущей. Графа 1 - заносится 2. Графа 5 - вносится ноль. Графа 6 - код шероховатости более грубой поверхности. Графа 12 - код ориентира или номер поверхности, от которой задан угол в графе 11. Графа 17 - величина отклонения расположения описываемой поверхности относительно других поверхностей этого же контура (наружного или внутреннего). Поверхности неосновного контура считаются принадлежащими основному контуру. Из нескольких возможных отклонений выбирается минимальное. Графа 18 - код ориентира или номер поверхности детали. Как правило, вносится код оси детали (-I) или номер торца. Графа 19 - угловое расположение отсчитывается от верхней части вертикальной оси по часовой стрелке и принимает целые значения от 0 до 360°. Графа 20 - отклонение расположения поверхности наружного контура относительно внутреннего и наоборот. Графа 25 - резерв.

Пояснения к табл. П. 1. При отсутствии на чертеже длины ступени вносятся размеры её привязки к другим поверхностям. Графа 1 - 3, если привязка поверхности осуществляется вдоль оси детали. В этом случае привязка 1 - привязка левого конца поверхности, а привязка 2 - правого края. Привязки необходимо делать к торцам детали. Графы 2 и 6 - номер поверхности, от которой задан размер привязки. Если размер привязки отсутствует на чертеже, то вносится номер торца, граничащего с описываемой поверхностью, и размер, равный нулю. Нулевые привязки с двух сторон недопустимы. Если привязка осуществляется не вдоль оси детали, то в графу 1 вносится 4.

На рис. 12 показан чертеж вала и дано его описание, подготовленное с помощью рассмотренных ТКС (Технические требования. I. НВ 241...285,2. Обработать по сопрягаемой. 3. Неуказанные пред. откл. размеров: отв. H14, ост. $\pm \frac{IT14}{2}$. 4. Покрытие хим. окс. прм.5. Маркировать обозначение).

3.3. Формализация справочной информации и технологических решений. Разработка алгоритмов их выбора

Описание детали является источником различной информации, привлекаемой в ходе проектирования из БД САПР, в том числе и технологических решений. Для организации процесса преобразования информации о детали в конечный результат - ТП, при разработке специального ЦО САПР ТП необходимо: 1) подготовить справочную информацию и технологические решения в формальном виде, удобном для обработки на

ЗЕМ; 2) составить алгоритмы их выбора [8].

Естественной формой хранения информации о паспортных данных станков, режимах резания, размерах инструмента, типовых маршрутах обработки является табличная форма, которая формально может быть представлена, например, в виде двухсторонней таблицы описания информации (рис. 13). Таблица выражает зависимость элементов прямоугольной матрицы M_{ij} от двух переменных X и Y , принимающих соответственно n и k значений. Переменные входят в таблицу с различными отношениями α, β . При обращении к таблице задаются конкретные значения переменных $X_{\alpha x}, Y_{\beta y}$, и последовательно проверяется выполнение условий: $X_{\alpha x} \alpha X_i$ и $Y_{\beta y} \beta Y_i$. При выполнении условий запоминаются значения: i - номер строки и j - номер столбца, по которым выбирается элемент матрицы M_{ij} . Описанный алгоритм автоматизированной обработки таблицы приведен в виде блок-схемы на рис. 14. В блоке I вводится постоянная информация: одномерные массивы X_i, Y_i ; двумерный массив значений M_{ij} ; значения n и k , резервирующие необходимый объем памяти; признаки вида отношений α, β .

Структура таблицы соответствий, удобной для составления алгоритмов выбора решений показана на рис. 15. В правой части таблицы записывается множество технологических решений P_i (например, коды типовых планов обработки поверхности). В верхней части множество переменных исходных данных (технологических факторов), от которых зависит выбор решения, - и множество отношений $\{\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_q\}$, связывающих заданные значения переменных λ ; с их возможными значениями X_j, δ . В качестве X_1 , например, может быть принят код формы поверхности; X_2 - шероховатости поверхности и т.д. В центральной части таблицы с помощью булевой матрицы фиксируются связи между выполняемыми условиями решения: наличие связи - 1, отсутствие - 0. Часто вместо 1 применяют штриховку.

Алгоритм выбора состоит в следующем. Для каждого значения X_q^{ex} набора исходных данных проверяется выполнение условия $(X_q^{ex} \alpha_j X_q^{ex})$, где $j = 1, 2, \dots, k_\alpha$. При выполнении условия для X_q^{ex} проверяется наличие 1 в j -той строке булевой матрицы. Если 1 имеется, проверяется следующее условие для новых X_q^{ex} . Иначе меняется строка решений, и процедура повторяется с начала. В результате выбирается то решение, в строке которого булева матрица имеет единицы для всех переменных X_q . Описанный алгоритм приведен в виде блок-схемы на рис. 16.

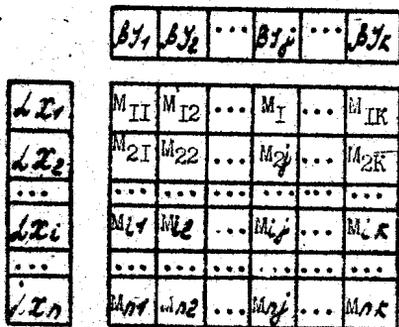


Рис. 13. Структура двухсторонней таблицы описания справочных данных и выбора решений:
 x_{1j}, x_{2j} - входные значения переменных;
 x_i, j_i - множество констант
 $\leq, >$ - вид отношения ($\leq, >$);
 M_{ij} - множество значений решений

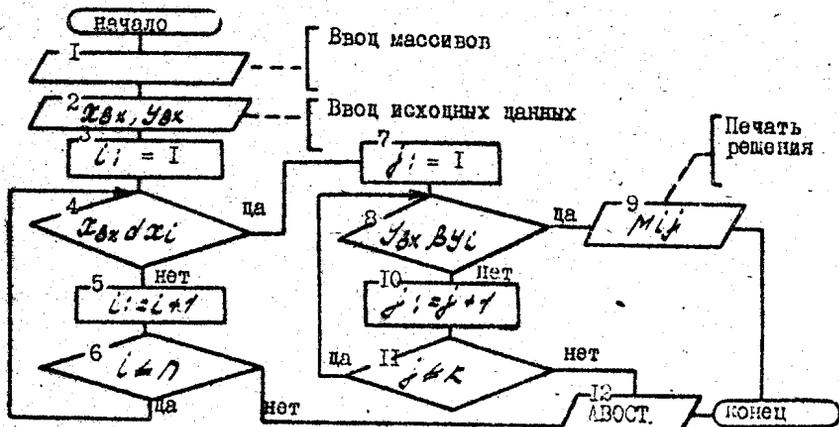
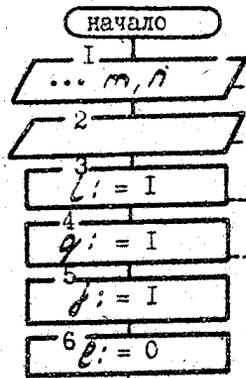


Рис. 14. Алгоритм чтения двухсторонней таблицы

Условия существования решений										Множество возможных решений	
x_{1j_1}	...	$x_{ij_1} \dots x_{ij_2}$...	$x_{mj_1} \dots x_{mj_2}$...	x_{1j_m}	$x_{1j_{m+1}}$	x_{1j_n}			
Значения условий											
x_1^1	x_1^2	x_1^3	...	x_1^j	x_1^k	x_1^l	...	x_1^m	x_1^{m+1}	x_1^n	
I	0	0	...	0	I	0	...	I	I	0	P_1
...
0	I	0	...	0	I	0	...	I	I	0	P_2
...
0	0	I	...	0	I	0	...	I	I	0	P_n

Рис. 15. Общая структура таблицы соответствий



Ввод массивов:
 X_j - значений условий;
 h_q - вида отношений;
 K_q - число значений каждого условия;
 cl_j - булевых переменных

Ввод вектора исходных данных

X_q

i - номер строки матрицы (номер решения);
 q - номер условия

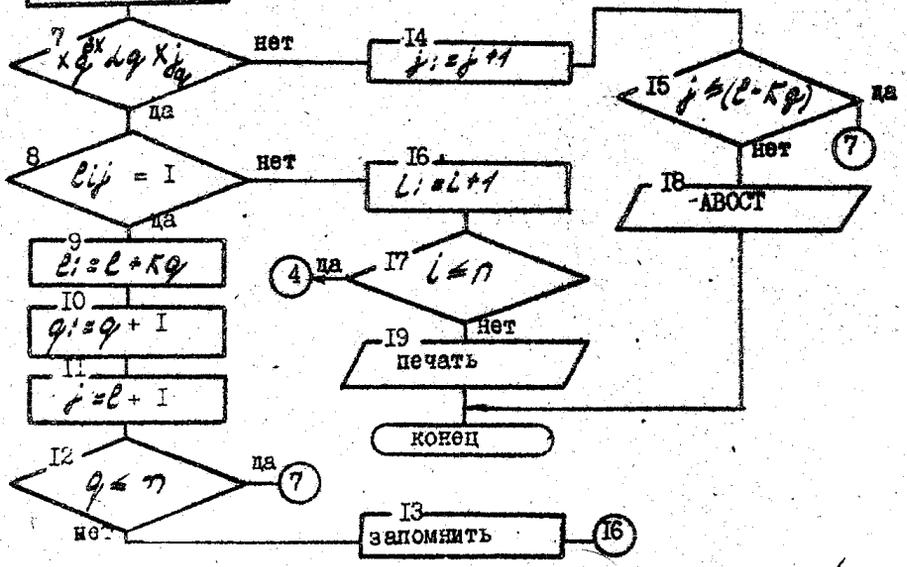


Рис. 16. Алгоритм чтения таблицы соответствий:

h_q - вид отношения для q -того условия ($=, >, \leq$ и т.п.)

Достоинством табличной формы представления информационно-логиче-ских задач является инвариантность ПО относительно технологичес-кой информации. Это означает, что изменение технологической среды (оборудования, инструмента) потребует изменения не алгоритмов и реализующих их программ, а массивов информации. Такая настройка БД на конкретные производственные условия проводится имеющимся в ОУ БД специальными программами создания, обновления и реорганиза-ции массивов информации.

В качестве примера решения информационно-логических задач технологического проектирования табличным методом рассмотрим зада-чу разработки модуля ПО, предназначенного для определения маршрута и размеров инструмента при обработке отверстия. Фрагмент естествен-ной формы технологической информации, взятый из [9], приведен в табл.7. В ходе формализации естественной информации сформулирована справочная табл. 8, позволяющая по цифровому коду, присвоенному инструменту, определять его наименование. Табл.8 является частным случаем таблицы на рис.13 - о одной переменной X_{ik} , которая мо-жет принимать 7 различных значений X_i ($i = 1, 2, \dots, 7$): $X_1 = I01$, $X_2 = I02$ и т.д. Одномерный массив M_1 состоит из семи элементов: $M_1 =$ "сверли первое", $M_2 =$ "сверли второе" и т.д. В качестве вы-да отношения α задано "=" . Табл.8 может быть прочитана алгоритмом на рис.14, если в нем, игнорируя блоки 7...1, соединить выход по "да" из блока 4 с блоком 9.

Следующая сформированная двухсторонняя табл. 9 позволяет опре-делить диаметр инструмента по известному номинальному диаметру от-верстия и коду инструмента. Искомый диаметр - элемент двумерного массива M_{ij} : $M_{11} = 11,7$; $M_{12} = 0$ (ноль заменяет прочерк в табл.7).

Табл.10 содержит исходные данные задачи: обозначения и числа. Первые два значения выражают количественную информацию и заданы в естественном виде, третье - представляет код качественной информа-ции.

Табл.11, сформированная по данным табл.7, является конкретной реализацией универсальной таблицы соответствий на рис.15 при $m = 2$, $n = 2$, $k = 4$. Таблица позволяет выбрать по двум исходным данным технологическое решение - код маршрута обработки. Состав набора инструментов и последовательность обработки описываются справочной табл.12. В моменту чтения этой таблицы известен индекс i строки и задан индекс j столбца. Поэтому код инструмента определяется

Таблица 7

Набор инструмента для обработки отверстий по 7 и 8(9)-му квалитетам точности.

Номинальный диаметр	Н7										Н8 (Н9)										
	В сплошном материале					Литое или штампов.					В сплошном материале					Литое или штампов.					
	Сверло		Развертка		Зенкер	Сверло		Развертка		Зенкер	Сверло		Развертка		Зенкер	Сверло		Развертка		Зенкер	
входное	чист.	чр-но-во-вая	чр-но-во-вая	чр-но-во-вая	чр-но-во-вая	чр-но-во-вая	чр-но-во-вая	чр-но-во-вая	чр-но-во-вая	чр-но-во-вая	чр-но-во-вая	чр-но-во-вая	чр-но-во-вая	чр-но-во-вая	чр-но-во-вая	чр-но-во-вая	чр-но-во-вая	чр-но-во-вая	чр-но-во-вая	чр-но-во-вая	
13	11,7	12,82	12,94	13Н7	12,82	12,94	13Н7	11,7	12,82	13Н8	12,82	12,94	13Н8	12	12,82	13Н8	12,82	12,94	13Н8	12	12,82
14	12,7	13,82	13,94	14Н7	13,82	13,94	14Н7	12,7	13,82	14Н8	13,82	13,94	14Н8	13	13,82	14Н8	13,82	13,94	14Н8	13	13,82
15	13,7	14,82	14,94	15Н7	14,82	14,94	15Н7	13,7	14,82	15Н8	14,82	14,94	15Н8	14	14,82	15Н8	14,82	14,94	15Н8	14	14,82
16	14,25	15,82	15,94	16Н7	15,82	15,94	16Н7	14,25	15,82	16Н8	15,82	15,94	16Н8	15	15,82	16Н8	15,82	15,94	16Н8	15	15,82
28	25,5	27,75	27,93	28Н7	27,75	27,93	28Н7	25,5	27,75	28Н8	27,75	27,93	28Н8	26	27,75	28Н8	27,75	27,93	28Н8	26	27,75
30	20,0	29,75	29,93	30Н7	29,75	29,93	30Н7	20,0	29,75	30Н8	29,75	29,93	30Н8	28	29,75	30Н8	29,75	29,93	30Н8	28	29,75

Таблица 8

Кодирование инструмента

Наименование инструмента	Код
Сверло первое	101
Сверло второе	102
Зенкер черновой	203
Зенкер полу-чистой	204
Развертка черновая	305
Развертка чистовая Н7	306
Развертка чистовая Н8	307

Таблица 9

Двухсторонняя таблица резений

Номинальный диаметр отверстия	Код инструмента					
	101	102	203	204	305	306
	Диаметр инструмента (D _{ин})					
13	11,7	0	12	12,82	12,94	13Н7
14	12,7	0	13	13,82	13,94	14Н7
15	13,7	0	14	14,82	14,94	15Н7
16	14,25	0	15	15,82	15,94	16Н7
28	25,5	0	26	27,75	27,93	28Н7
30	20,0	27,5	28	29,75	29,93	30Н7

Исходные данные

Номинальный диаметр отверстия	Квалитет точности	Код наличия отверстия в заготовке		
<i>Н307У</i>	<i>КУ</i>	<i>2AC</i>		
28	H7	I	нет	I
		2	да	

Таблица II

Таблица соответствия для определения набора инструментов

Условия существования решений				Множество решений (код набора инструментов)	
КУ = ?		2AC = ?			
Значения условий					
H7	H8	I	2		
I	0	I	0		I
I	0	0	I		2
0	I	I	0		3
0	I	0	I		4

Таблица 12

Односторонняя справочная таблица маршрута обработки

Множество входных значений	Последовательность обработки				
	1	2	3	4	5
<i>Li</i>	Код инструмента				
1	101	102	204	305	306
2	203	204	305	306	0
3	101	102	204	307	0
4	203	204	307	0	0

непосредственно как элемент информационного массива. Нуль в строке является признаком конца последовательности инструментов.

Информационная связь подготовленных таблиц при решении задачи показана на рис.17.

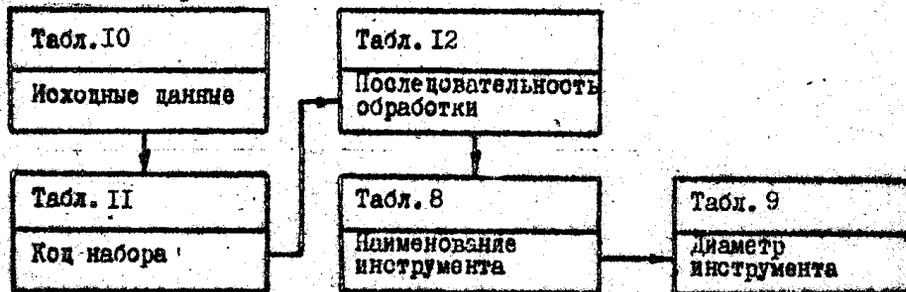


Рис.17. Информационная связь формализованных таблиц

4. АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ НА ОСНОВЕ СИНТЕЗА ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ТП

4.1. Выбор маршрутов обработки отдельных поверхностей

Описанные в литературе [4], [7], [8], [10], [11] алгоритмы построения САПР индивидуальных ТП существенно отличаются друг от друга. Отличия являются следствием 1) ориентации на проектирование деталей определенного класса: тел вращения [8], деталей любой сложности, за исключением, малой жесткости и специального профиля [10]; 2) степени полноты технологических указаний в описании детали [11]; 3) различной степени формализации технологических закономерностей; 4) особенностей типа и условий производственной ореды, для которой создается САПР и др.

Однако во всех направлениях данного метода автоматизированного проектирования разработка индивидуальных ТП ведется программным синтезом из элементарных маршрутов обработки поверхности (МОП). МОП – последовательность методов (видов, переходов одного метода) обработки, необходимых для достижения требуемых чертежом детали параметров поверхности. К таким параметрам, представленным в формализованном виде в описании детали, относятся геометрический тип поверхности, точность размера, шероховатость, точность относительного положения, вид термообработки и др. Между методами обработки и параметрами поверхности существует связь, описываемая функцией

$\mu_i: C_{i-1} \rightarrow C_i$, которая задает технологическое преобразование с помощью метода μ_i поверхности с параметрами низкого качества C_{i-1} в поверхность с более высоким качеством C_i .

Разнообразие существующих методов обработки приводит к тому, что одни и те же параметры поверхности детали могут быть достигнуты разными МОП. Возможные варианты обработки поверхности можно представить в виде графа $G(C, \mu)$ на рис. 18. Множество C — вершин графа характеризует параметры промежуточных состояний данной поверхности, а множество дуг μ — методы (или виды одного метода) обработки, с помощью которых поверхность C_{i-1} преобразуется в поверхность C_i . Любая последовательность ребер в графе, приводящая из вершины C_n , характеризующей заготовку, в C_k , соответствующую детали, представляет вариант МОП.

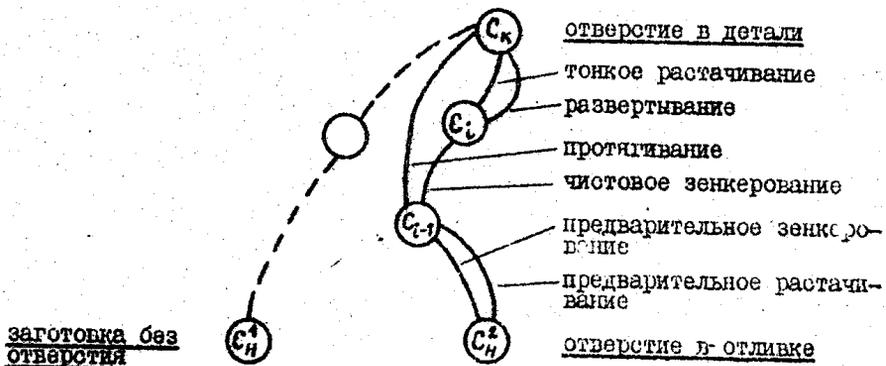


Рис. 18. Граф вариантов МОП отверстия детали

Ограничения, накладываемые рядом эвристических условий, полученных на основе обобщения опыта в отрасли или на конкретном предприятии, позволят резко сократить количество вариантов МОП. Это дает возможность значительно повысить эффективность алгоритмов формирования маршрутов обработки детали в целом, поскольку отпадает необходимость анализа большого числа нерациональных вариантов МП.

Большинство алгоритмов назначения МОП имеет табличную структуру и состоит из конечного множества типовых МОП (табл. 13), а также совокупности условий выбора того или иного МОП. Выбор допустимых вариантов МОП проводится с помощью таблиц соответствий (рис. 19) путем сравнения параметров, обеспечиваемых завершающим методом МОП, с требуемыми параметрами поверхности детали.

Таблица 13

Пример типовых МОН деталей - тел вращения

Код МОН	Код вида обработки	Наименование вида обработки	Параметры поверхности после обработки	
			Квалитет	Ra, мкм
...
I2	I00 I01	Точение: черновое получистовое	I6 I4	25 12,5...6,3
I3	I00 I01 I02	Точение: черновое получистовое чистовое	I6 I4 I3...II	25 12,5...6,3 3,2
I4	I00 I01 I02 I03	Точение: черновое получистовое чистовое тонкое	I6 I4 I3...II II...8	25 12,5...6,3 3,2 1,6
I5	I00 I01 502	Точение: черновое получистовое Шлифование получистовое	I6 I4 II...8	25 12,5...6,3 3,2

Условия выбора МОН														Код МОН	
Код типа поверхн.			Точность - размера					Шероховатость Ra				Термообработка			
цил	тор	I4	I3	II	7	...	I2,5	3,2	I,6	0,4	-	за-кал-тиро-ка	изо-тиро-ка
				II	8	6			6,3			0,2			
...
...

Рис.19. Выбор МОН с помощью таблицы соответствия

На рис. 20 показано сопоставление параметров конечного состояния трех торцевых поверхностей втулки с технологическими возможностями типовых МОП из табл. 14. Параметры поверхности 3 достигаются полуступовым шлифованием, являющимся завершающим видом МОП с код м 15. Выбор данного МОП определяет не только последовательность менее точных видов обработки, но и количество промежуточных состояний поверхности 3. Конечное состояние этой поверхности, соответствующее параметрам чертежа, обозначено номером 30, промежуточное состояние после полуступового точения - 31, состояние заготовки - 32. Результаты выбора МОП для каждой поверхности представлены в виде трех графов на рис. 20.

4.2. Формирование принципиальной схемы ТП

Дальнейшая задача заключается в том, чтобы из отдельных МОП построить допустимые варианты ТП обработки детали. Для решения этой задачи предварительно программными средствами формируется принципиальная схема, разбивающая будущий ТП на последовательность отдельных этапов обработки, начиная от заготовки и кончая конечными размерами детали. Наличие принципиальной схемы позволяет вести проектирование ТП в порядке, обратном изготовлению детали, т.е. от заключительных этапов с известными из чертежа параметрами детали к черновым, кончая выбором размеров и формы заготовки. Принципиальная схема ТП конкретной детали формируется путем корректировки достаточно универсальной схемы (табл. 15), построенной [7] на основе анализа обработки деталей различных классов с учетом возможных комбинаций термической и последующей механической обработки. Универсальная принципиальная схема содержит 13 этапов. Этап - часть ТП обработки детали, включающая однородные по достигаемым параметрам методам обработки различных поверхностей и детали в целом. К одному этапу относятся, например, тонкое фрезерование и тонкое точение, поскольку оба метода обеспечивают одинаковые параметры шероховатости и точности.

Для формирования принципиальной схемы анализируется необходимость при обработке детали каждого этапа из табл. 15, например, вследствие наличия термообработки в описании детали, и выявляются те переходы из выбранных ранее для каждой поверхности МОП, которые должны быть выполнены на данном этапе. Отнесение переходов МОП к самым промежуточным поверхностям к этапам принципиальной схемы ТП

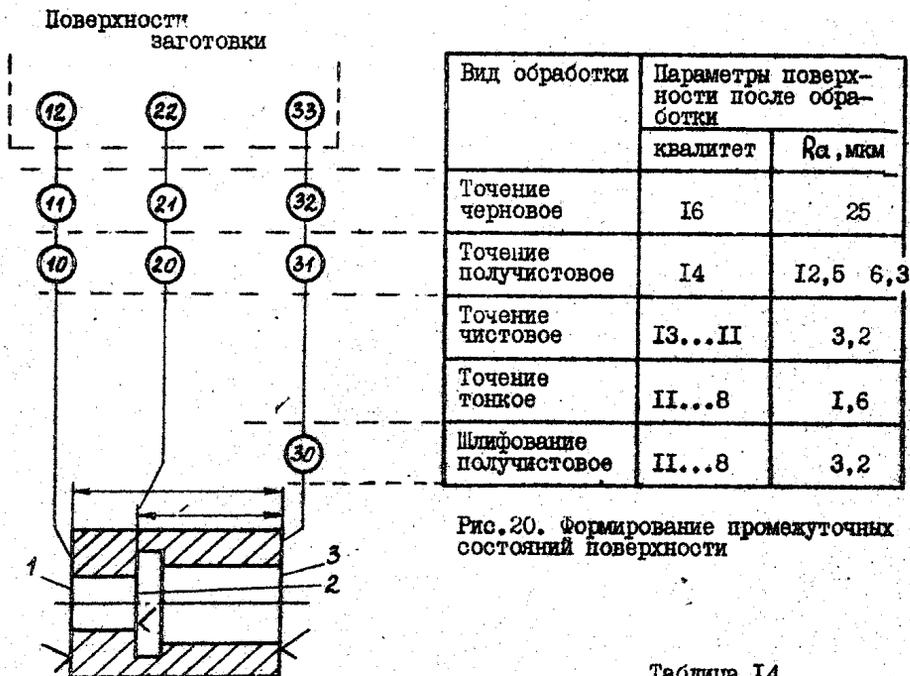


Рис. 20. Формирование промежуточных состояний поверхности

Таблица I4
Последовательность этапов принципиальной схемы ПИ [7]

Номер этапа	Наименование	Назначение и достигаемые параметры
Э 1	Заготовительный	Получение заготовки и её термообработка
Э 2	Черновой	Съем длинных напусков и припусков
Э 3	Термический I	Термообработка - "улучшение", "старение"
Э 4	Получистойой I	Точность II...I3 кв., Ra = 2,5
Э 5	Термический II	Цементация
Э 6	Получистойой II	Съем припуска для предохранения от цементации
Э 7	Термический III	Закалка, "улучшение"
Э 8	Чистойой I	Точность 6,7 кв., Ra = 1,25
Э 9	Термический IV	Азотирование, "старение"
Э 10	Чистойой II	Съем припуска для предохранения от азотирования
Э 11	Чистойой III	Точность 5 кв., Ra = 0,16
Э 12	Гальванический	Хромирование, никелирование и др.
Э 13	Финишный	Ra = 0,04

производится путем сравнения параметров поверхности, обеспечиваемых переходом МОП, с параметрами, характеризующими этап по табл.13.

В результате распределения переходов по этапам каждый этап будет содержать переходы одного или разных методов обработки, характеризующиеся одинаковыми параметрами точности, шероховатости поверхности и др. Для примера на рис.20 распределение переходов

	поверхности		
Э 1	12	22	33
Э 2	11	21	32
Э 4	10	20	31
Э 7	10	20	31
Э 8			30

полученных ранее трех МОП по этапам принципиальной схемы (с учетом закатки и последующего шlifования торца 3) приведет к формированию схемы ТП, показанной на рис.21. В данном примере этапы содержат переходы одного метода обработки, что не характерно для более сложных деталей.

Рис.21. Формирование этапов принципиальной схемы ТП

4.3. Формирование маршрута обработки детали

Исходными данными для проектирования на уровне маршрута обработки детали служит полученная ранее временная структура принципиальной схемы ТП и сформированный набор переходов одного или разных методов обработки поверхностей в каждом этапе. Каждый переход записан в промежуточном массиве в виде многозначного кода, состоящего из номера получаемой поверхности и кода метода обработки из табл.14. Например, код 3101 содержит информацию об обработке 1-го промежуточного состояния 3-й поверхности получистовым (1) точением (10).

Переходы одного метода обработки, коды которых имеют одинаковый признак оборудования, образуют укрупненную операцию этапа. Для такой операции характерна максимальная концентрация переходов, что равносильно одновременной обработке всех поверхностей. В производственных условиях такая операция не может быть выполнена и требует разукрупнения (дифференциации) на несколько простых. Основой формирования простых операций является упорядочение обработки поверхностей путем выбора обоснованной последовательности этапов.

Наличие нескольких укрупненных операций разных методов обработки требует, помимо дифференциации, определения последовательности их выполнения.

Таким образом, при формировании маршрута обработки определяется состав операций, укрупненные операции дифференцируются на простые, формируется последовательность операций в каждом этапе, выбирается тип оборудования для каждой операции.

Расчленение исходного набора переходов этапа на укрупненные операции выполняется программным модулем, представляющим собой процедуру сортировки кодов отобранных в этап переходов по признаку типа оборудования [II].

Дифференциация операций осуществляется путем определения рационального состава и последовательности обработки. Алгоритмы основаны на анализе отношений между поверхностями детали: наложения, когда одна из поверхностей расположена на другой и поэтому не может быть обработана раньше, точности взаимного расположения, когда в первую очередь должна быть обработана базовая поверхность и др.

Формирование последовательности операций выполняется путем выявления признаков технологической совместимости и предшествования. Две операции попарно совместимы, если состояние детали на выходе одной операции может быть исходным для другой. Так, фрезерованию шпоночной канавки должна предшествовать токарная обработка цилиндрической поверхности, сверлению центрального отверстия - фрезерование торца и т.д.

Источником информации для выбора оборудования является технологические признаки кода перехода. Конкретная модель станка определяется по таблицам соответствий с учетом габаритных размеров детали (сопоставляются с рабочей зоной станка), требований точности, величины партии и других факторов.

4.4. Проектирование операций

Задача данного уровня проектирования состоит в том, чтобы определить оптимальную последовательность переходов, рациональную форму, окончательные и промежуточные размеры заготовки, выбрать приспособление, режущий, вспомогательный и измерительный инструменты, рассчитать режимы резания и нормы времени, сформировать и вывести на печать технологическую документацию.

Для построения технологической операции (не говоря о технологическом процессе) характерна многовариантность, которая предполагает существование оптимального решения. Поиск (синтез) оптимальной операции включает в себя создание структуры операции (элементов системы СПИД, порядка выполнения переходов) и расчет ее паре-

метров (припусков и промежуточных размеров, режимов резания). Эти две задачи синтеза называют структурной и параметрической оптимизацией. В основе решения задач структурной оптимизации заложен перебор конечного множества вариантов, состоящий из трех этапов: 1) собственно синтез (создание) очередного варианта; 2) анализ (оценка) варианта; 3) принятие решения о замене ранее выбранного варианта на новый или о прекращении синтеза новых вариантов.

Для оценки уровня создаваемых вариантов вводится целевая функция, выражающая качество варианта, формируется критерий оптимальности, т.е. правило предпочтения одного варианта другому. В качестве критерия оптимальности обычно используется минимум технологической себестоимости. В связи с тем, что рассчитать значение этой целевой функции можно только после того, как будет полностью синтезирован вариант операции и выполнена его параметрическая оптимизация, поиск оптимального варианта методом перебора потребовал бы значительных затрат машинного времени. Поэтому на каждом шаге синтеза вводят косвенные или эвристические, основанные на предыдущем опыте проектирования, критерии. Руководствуясь ими, отбрасывают малоэффективные варианты. В итоге на заключительном шаге проектирования анализируются лишь несколько наиболее рациональных вариантов, по которым и принимается решение.

Содержание отдельных шагов, на которые расчленяется синтез операции, реализуются независимыми программными модулями. Взаимодействие модулей организуется в рамках общего итерационного алгоритма, многократно обращающегося к одним и тем же шагам в ходе улучшения первоначальной структуры. Итерационный алгоритм — алгоритм перебора, в котором каждый очередной вариант структуры операции образуется по определенному, часто эвристическому, правилу и перебор заканчивается, когда следование этому правилу не приводит к улучшению варианта. Количество вариантов структуры при использовании такого алгоритма существенно меньше, чем при полном переборе, но нет гарантии наилучшего решения.

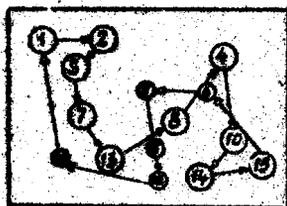
Одним из первых шагов итерационного алгоритма является выбор вариантов технологических баз и схемы базирования. В основу алгоритма закладывается известный принцип единства конструкторских и технологических баз. Перспективные конструкторские базы — поверхности, от которых задано наибольшее количество размеров — выявляются анализом размерной информации из описания детали. Эти базы желательно использовать в качестве технологических на заключительных операциях ТП. Окончательное решение принимается и после анализа

влияния дополнительных факторов: формы, массы детали, размеров поверхностей, точностных требований и др. Формализация выбора технологических баз представляет одну из самых сложных задач автоматизированного проектирования, которая решена для относительно простых деталей, например, частично для тел вращения. Решение данной задачи для деталей сложной конфигурации наиболее эффективно выполнять в диалоговом режиме проектирования [4].

Выбор варианта базирования позволяет перейти к поиску оптимальной последовательности обработки совокупности поверхностей детали. В зависимости от особенностей операции такая задача решается, например, одновременно для нескольких ступенчатых (плоских, цилиндрических) поверхностей или для отверстий на плоскостях корпусных деталей. Для ступеней меньшего диаметра цилиндрических деталей часто характерен напуск, удаление которого ведется в несколько рабочих ходов. Анализ возможных вариантов обработки выполняется с помощью целевой функции, учитывающей затраты основного времени t_0 и вспомогательного t_x , связанного с холостыми перемещениями инструмента $t_{оп} = t_0 + t_x$. Критерием оптимальности является $\min t_{оп}$. Алгоритм поиска оптимальной последовательности ходов предполагает построение направленного графа и решение задачи коммивояжера [12].

Другим характерным примером оптимизации переходов в операции является сверление нескольких отверстий в корпусной детали на многооперационном станке. Задача заключается в определении последовательности обработки с минимальным временем холостых перемещений инструмента. Иначе говоря, отыскивается маршрут наименьшей протяженности между отверстиями. Для решения этой задачи используется алгоритм Литла — метод ветвей и границ для решения уже упомянутой задачи коммивояжера (в задаче коммивояжера [13] определяется замкнутый маршрут наименьшей стоимости между несколькими городами, которые нужно посетить торговому агенту при условии прохождения каждого города по одному разу). Первый вариант обработки отверстий на плоскости — и есть несколько отверстий одного диаметра, расстояния между любыми двумя отверстиями известны. Надо вычислить кратчайший маршрут сверла, проходящего один раз через каждое отверстие. Во втором варианте отыскивается маршрут общий для отверстий разного диаметра. При переходе от отверстия одного диаметра к другому учитывается время смены инструмента. В качестве примера на рис. 22, а показана плоскость корпусной детали с отверстиями I...15. Матрица расстояний между отверстиями дана на рис. 22, б.

Оптимальный маршрут для скорости перемещения инструмента на холостом ходу $V_{\text{ноз}} = 6 \text{ м/мин}$ показан на рис.22, а.



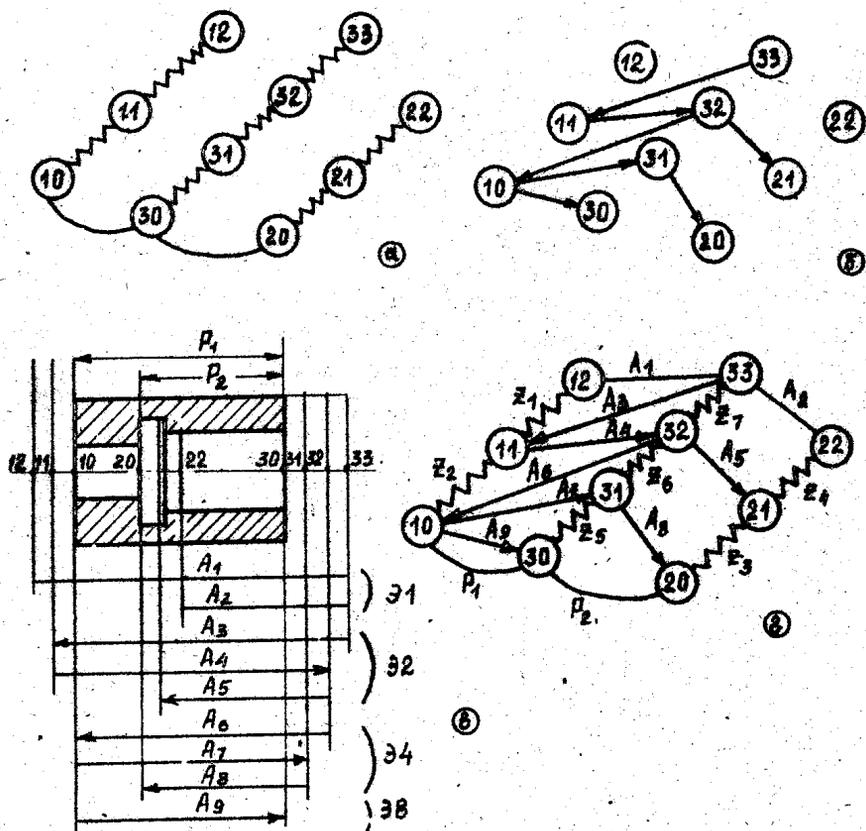
1-2-3-7-12-8-4-10-14-15-
-6-5-9-13-11-1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1		30	45	185	120	182	77	150	183	226	274	168	143	225	274
2	70		36	125	62	186	39	97	111	161	124	159	130	175	115
3	45	36		73	34	136	51	105	109	131	98	129	113	167	130
4	185	125	185		50	39	187	18	118	122	161	123	170	123	119
5				65		34	35	54	107	103	72	94	114	116	
6							119	52	61	55	157	91	130	88	102
7								94	80	107	48	93	85	154	113
8									30	77	108	95	182	29	125
9										10	90	82	18	53	24
10											18	187	138	40	48
11												85	36	195	212
12														57	63
13															110
14															
15															

Рис.22. Определение оптимального маршрута при сверлении отверстий разного диаметра [14]

Задача расчета технологических размеров должна решаться на основе построения графа технологических размерных цепей [15]. Применение теории графов дает возможность выявить допустимые варианты обработки и выбрать из них наиболее рациональные. Граф технологических размерных цепей связан с графами МОН (см. рис.18 и рис.20) и формируется на базе дерева промежуточных состояний заготовки (дерево - граф, у которого между любой парой вершин существует только один путь) и дерева ТП обработки. На рис.23,а показано дерево промежуточных состояний при обработке торцевых поверхностей втулки (см. рис.20). Неориентированным ребрам этого дерева ставится в соответствие конструкторские размеры чертежа детали и (или) значения припусков на обработку. На рис.23,б показано дерево ТП, а на рис.23,в размерная схема ТП. Ребра дерева выражают промежуточные технологические размеры и размеры заготовки. В результате совмещения деревьев образуется граф технологических размерных цепей на рис.23,г. В этом графе конструкторские, технологические размеры и припуски образуют контуры - размерные цепи, замыкающимися звеньями которых являются известные конструкторские размеры и припуски, а составляющими звеньями - технологические размеры. На рис.23,д показаны результаты формирования и определения последовательности решения размерных цепей.

Изменение баз или порядка обработки поверхностей отражается на структуре графа, следовательно, на составе размерных цепей и точности



Состав размерных цепей	Звено	Номер решения
$P_1 = A_9$	$\Rightarrow A_9$	1
$P_2 = A_9 A_7 A_8$	$\Rightarrow A_8$	7
$Z_1 = A_1 A_3$	$\Rightarrow A_1$	6
$Z_2 = A_4 A_6$	$\Rightarrow A_4$	4
$Z_3 = A_6 A_7 A_5 A_8$	$\Rightarrow A_5$	8
$Z_4 = A_2 A_3 A_4 A_5$	$\Rightarrow A_2$	9
$Z_5 = A_7 A_9$	$\Rightarrow A_7$	2
$Z_6 = A_6 A_7$	$\Rightarrow A_6$	3
$Z_8 = A_3 A_4$	$\Rightarrow A_3$	5

Рис. 23. Построение и решение технологических размерных цепей

технологических размеров. Это обстоятельство используется при поиске оптимальной структуры ТП. В качестве критериев для подобных задач принимаются \min переустановок, \min составляющих звеньев в цепях и др. В ходе поиска корректируют последовательность обработки в этапах путем: 1) вынесения обработки поверхности в более точный этап; 2) введения дополнительной обработки; 3) изменения метода обработки.

Алгоритм выбора режущего инструмента состоит из двух частей: выбор конкурирующих типов инструмента, которыми может быть выполнен переход; выбор лучшего типа по некоторым критериям. Выбор инструмента зависит от совокупности признаков, характеризующих переход: от куда перехода, кода оборудования, размеров обрабатываемой поверхности, материала заготовки и др. Необходимая справочная информация вызывается из БД и выбирается с помощью рассмотренных выше таблиц соответствий.

Определение режимов обработки проводится одним из трех вариантов: а) выбором нормативных значений частоты и подачи из БД по известному набору исходных данных (точность, шероховатость, материал заготовки, геометрия инструмента и т.д.); б) решением задачи параметрической оптимизации методом линейного программирования [8] для случая использования степенных стойких зависимостей (в историческом плане — это один из первых примеров использования ЭВМ в технологическом проектировании); в) решением задачи параметрической оптимизации как задачи нелинейного программирования [3] в случае нестепенных зависимостей и соответственно нелинейных целевых и функций-ограничений. Пример последнего варианта рассмотрен в [16].

Заключительным шагом проектирования является [17] сведение всей рассчитанной и хранящейся в разных промежуточных массивах технологической информации о спроектированном ТП в единый документ — маршрутную (операционную) карту, шаблон которой содержится в составе основной информации БД. Сформированная карта выводится на печать через АЦПУ. На рис. 24 показан фрагмент распечатки маршрутной карты, полученной для детали на рис. 12, в САПР ТП, созданной в СКГБ с ОП Института технической кибернетики АН БССР.

ИМЯ, И ФАМИЛИЯ, ИМЯ, ИЛИ ИМЯ, И ФАМИЛИЯ ИЛИ ИМЯ И ФАМИЛИЯ

64

ПАРТИЯ

11300012.40140

КА-Л15.001.025.255

11300012.10140

НОМЕР	НАИМЕНОВАНИЕ И СОДЕРЖАНИЕ ОПЕРАЦИИ	ОБОРУДОВАНИЕ (КОД, НАИМЕНОВАНИЕ, ИЛИ ИНСТРУМЕНТ)	КОДЕС			КОЛ. КЛ: ТАРИФ	ОБЪЕМ	У
			МТ. ВР.	ФАБ. ДЕТ.	СЕТКА			
20	СВЕРЛИТЬ ОТВЕРСТИЕ Ø22 ПОД ПРИПУЛКАТЬ ОСТРИЕ КРОМКИ ТЕХНИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ	ГОРИЗОНТАЛЬНО - ФРЕЗЕРНАЯ	1	1	1	27	1	15
25	УСТАНОВИТЬ ДЕТАЛЬ В ТИСКАХ, СВЕРЛИТЬ И ЗАКРЕПИТЬ ФРЕЗЕРОВАТЬ ПАЗ 22 ВДЕРЖАВ РАЗМЕР 20 ПАЗ 30 В ДЕРЖАВ РАЗМЕР 16 ТЕХНИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ	ГОРИЗОНТАЛЬНО - ФРЕЗЕРНАЯ	455	3	1	3	3	16,679
30	ЗАЧИСТИТЬ ЗАУСЕНЦЫ	СЛЕСАРНАЯ	1	1	1	21	1	
30	БЕРТИНАЛЬНО - ФРЕЗЕРНАЯ УСТАНОВИТЬ ДЕТАЛЬ В ПАТРОНЕ СЕНТЕРЕЛЬНУЮ ГОЛОВКА И ЗАКРЕПИТЬ	ГОРИЗОНТАЛЬНО - ФРЕЗЕРНАЯ	333	2	1	3	3	0,1599
			1	1	1	27	1	15
			454	3	1	3	3	0,483

Рис. 24. Формант расчёта и маршрутной карты

КОД ПРОГРАММЫ	ИМЯ ИЛИ ИМЕНИ	ФАМИЛИЯ	ДАТА	Лист
				3

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Моисеев Н.Н. Математика ставит эксперимент. - М.: Наука, 1979. - 224 с.
2. Образцов И.Р. Подготовка инженеров нового типа, удовлетворяющих требованиям 1990-2000 годов. - В кн.: Автоматизация поисково-го конструирования и подготовка инженерных кадров. - Иваново: ИЗИ, 1983. - 211 с.
3. Норенков И.П. Введение в автоматизированное проектирование технических устройств и систем. - М.: Высшая школа, 1980. - 311 с.
4. Диалоговое проектирование технологических процессов / Н.М.Капустин, В.В.Павлов, Л.А.Козлов и др. - М.: Машиностроение, 1983. - 255 с.
5. Падалко С.Н., Смирнов О.Л., Тименцев Ю.В. Программное и информационное обеспечение систем автоматизированного проектирования. - М.: МАИ, 1979. - 83 с.
6. ГОСТ 14.417-81. Проектирование автоматизированное. Входной язык для технологического проектирования. Язык описания детали. - М.: Издательство стандартов, 1983. - 162 с.
7. Цветков В.Д. Системно-структурное моделирование и автоматизация проектирования технологических процессов. - Минск: Наука и техника, 1979. - 264 с.
8. Горенский Г.К., Бендерова Э.И. Технологическое проектирование в комплексных автоматизированных системах подготовки производства. - М.: Машиностроение, 1981. - 456 с.
9. Косилова А.Г., Мещеряков Р.К., Калинин М.А. Точность обработки, заготовки и припуски в машиностроении: Справочник технолога. - М.: Машиностроение, 1976. - 288 с.
10. Челышев Б.В., Боброва И.В. Автоматизированные системы технологической подготовки производства. - М.: Энергия, 1975. - 136 с.
11. Буторин Г.И., Кошин А.А., Старец А.С. Проектирование технологических процессов с помощью ЭВМ. - Челябинск: ЧПИ, 1980. - 83 с.
12. Автоматизированная система проектирования технологических процессов механосборочного производства / Под редакцией Н.М.Капустина. - М.: Машиностроение, 1979. - 247 с.
13. Гудман С., Хилетниemi С. Введение в разработку и анализ алгоритмов. - М.: Мир, 1981. - 368 с.
14. Диланян Р.З., Кравченко И.И., Киселев В.Л. Автоматизация проектирования технологических процессов / Под редакцией Н.М.Капустина. - М.: МВТУ, 1979. - 27 с.
15. Мордянов Б.С., Яценко Л.Е., Васильев В.Е. Расчет линейных технологических размеров и допусков при проектировании технологических процессов механической обработки. - Иркутск: ИГУ, 1980. - 104 с.
16. Калачев О.Н., Синицын В.Т. Применение ЭВМ при курсовом и дипломном проектировании по технологии машиностроения: Учебное пособие. - Ярославль: ЯПИ, 1984. - 81 с.
17. Применение ЭВМ в технологической подготовке серийного производства / С.П.Митрофанов, Ю.А.Гульнов, Д.Д.Куликов и др. - М.: Машиностроение, 1981. - 287 с.

Таблица П.1

Номер опи-сания	Привязка 1				Привязка 2				Приме-чание	Номер стро-ки
	Поряд-ковый номер поверх-ности	Размер	Верх-нее отк-лоне-ние	Ниж-нее отк-лоне-ние	Поряд-ковый номер поверх-ности	Раз-мер	Верх-нее отк-лоне-ние	Ниж-нее отк-лоне-ние		
		мм	мм	мм		мм	мм	мм		
I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

Таблица П.2

Код точности шлицевого соединения

ГОСТ 1139-58	СТ СЭВ 187-75	Код
S_1C	h8	1
S_1X		
S_2X	d9	2
S_2L		

Таблица П.3

Код степени точности конуса

Степень точности	Код
AT 7	1
AT 8	2

Таблица П.4

Код направления спирали

Направление	Код
Левое	1
Правое	2

Код технического требования

Таблица П.5

Насыщение, покрытие		ТВЧ	
Требование	Код	Требование	Код
Не предохранять	0	Не обрабатывается ТВЧ	0
Предохранять	1	Обрабатывается ТВЧ	1

Код местного технического требования

Таблица П.6

Требование	Код
Без требований	0
Окончательно обрабатывать при сборке	1
Запрессовать заглушку	2
Не допускать разрезание торца	3
Не допускается центровое отверстие	4
.....
Полировать	10

Таблица П.7

Код ориентира

Ориентиры	Код
Ось детали	- 1
Горизонтальная плоскость	- 2
Вертикальная плоскость	- 3

Таблица П.8

Код характера расположения на базе

Характер расположения	Код
По оси (вдоль)	1
Перпендикулярно ориентиру	2
По окружности	3
Параллельно ориентиру	4
Под углом к ориентиру	5
Симметрично относительно ориентира	6
По спирали вдоль оси	7
Эксцентрично	8
Координатно	9
В линию (несколько)	10

Таблица П.9

Код допуска резьбы

Болты			Гайки		
Поле допуска		Код	Поле допуска		Код
ГОСТ 9253-59	ГОСТ 16093-70		ГОСТ 9253-59	ГОСТ 16093-70	
кл. 1	4h	1	кл. 1	4H, 5H	1
кл. 2	6g		кл. 2	6H	
кл. 2a		кл. 2a			
кл. 3		8g	кл. 3		7H
ГОСТ 10191-62	-	3	ГОСТ 10191-62	6G	3
кл. 2aД	6g		кл. 3 X		
кл. 3 Д	6e				

Таблица П.10
Кодирование видов термической обработки заготовок

Вид	Код
Нет указаний	0
Улучшение	1
Объемная закалка до НРС 35	2
Отжиг нормализационный после отрезной операции	3
Отжиг нормализационный после черновой обработки	4

Таблица П.11
Код обработки насыщением

Вид	Код
Науглероживание	5181
Азотирование	5182
Азотонауглероживание	5183
Углеродазотирование	5184

Таблица П.13
Код шероховатости поверхности

По ГОСТ 2789-73, Ra	Код
320	1
160	2
80	3
40	4
20	5
2,5	6
1,25	7
0,63	8
0,32	9
0,16	10
	0

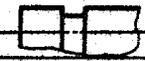
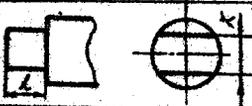
Таблица П.12
Код покрытий

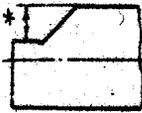
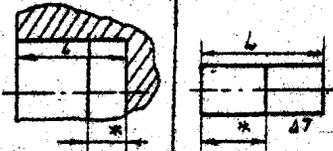
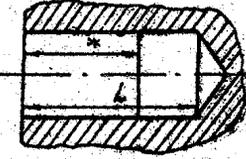
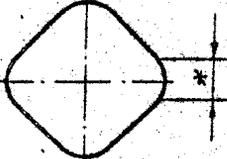
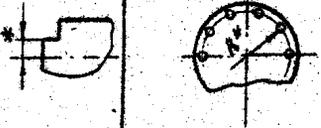
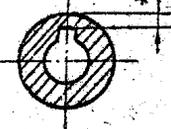
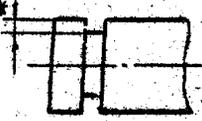
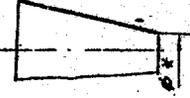
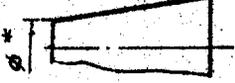
Вид покрытия	Код
Оксидирование	7141
Никелирование	7167
Хромирование	7171
Цинкование	7173

Таблица П.14
Код требований о кромках

Требование	Код
Нет требований	0
Притупить	1
Притупить радиусом	2
Притупить фаской	3

Заполнение размерных характеристик некоторых поверхностей

Эскиз поверхности	Код	Основной размер	Длина	Третий размер
Паз 	13XX	ширина	длина	глубина паза
Канавки 	220X	ширина канавки	длина канавки	диаметр канавки или ее глубина
Крепежные резьбы несосновного контура	351X... 353X 361X... 363X	диаметр резьбы	длина резьбы	общая длина отверстия
Червяк	37X1	делительная толщина по хорде витка	длина червяка	внутренний диаметр
Окно	5411	минимальный размер — ширина окна	длина окна	глубина окна
	1211	—	длина L	размер K
	1317	ширина паза Z	глубина паза L	диаметр фрезы D
Шлицы	45XX	ширина шлицев	длина шлицев	внутренний диаметр
Рейки	412X	ширина зуба	длина зуба	высота зуба

Эскиз		Тип.	Эскиз	Тип
		I		7
		2		8
	3		9	
	4		10	
	5		11	
	6		12	

О Г Л А В Л Е Н И Е

	Стр.
В в е д е н и е	3
1. ПОНЯТИЕ О САПР	4
1.1. Структура, особенности построения и режимы работы САПР	4
1.2. Технические средства САПР	5
1.2.1. Средства обработки информации	5
1.2.2. Средства отображения информации и связи с ЭВМ	7
1.3. Программное обеспечение САПР	9
1.3.1. Общее программное обеспечение	9
1.3.2. Специальное программное обеспечение	12
1.4. Взаимодействие пользователей и технических средств в САПР	14
1.5. Автоматизированное рабочее место (АРМ)	15
1.5.1. Технические средства и возможности АРМ	15
1.5.2. Математическое (программное) обеспечение АРМ	17
2. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ	19
2.1. Содержание технологической подготовки производства	19
2.2. Типовые решения при технологическом проектировании	21
2.3. Классификация деталей при ТПП	22
3. ЗАДАЧИ, РЕШАЕМЫЕ ПРИ РАЗРАБОТКЕ САПР ТП	23
3.1. Выбор метода автоматизации проектирования	23
3.2. Кодирование информации о детали	25
3.3. Формализация справочной информации и технологических решений. Разработка алгоритмов их выбора	28
4. АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ НА ОСНОВЕ СИНТЕЗА ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ТП	36
4.1. Выбор маршрутов обработки отдельных поверхностей	36
4.2. Формирование принципиальной схемы ТП	39
4.3. Формирование маршрута обработки детали	41
4.4. Проектирование операции	42
Л и т е р а т у р а	49
П р и л о ж е н и е	50