

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра технологии металлов

Л. М. Акулович, А. В. Миранович, Е. В. Сенчуров

**СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО
ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ
МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ**

*Рекомендовано Учебно-методическим объединением
по аграрному техническому образованию
в качестве учебно-методического комплекса
для студентов учреждений высшего образования
по специальности 1-74 06 03*

Ремонтно-обслуживающее производство в сельском хозяйстве

Минск
БГАТУ
2014

УДК 621:658.512(07)
ББК 34.44я7
А44

Рецензенты:

заместитель академика-секретаря отделения физико-
технических наук НАН Беларуси, доктор технических наук,
профессор *М. Л. Хейфец*;
заведующий кафедрой «Технология машиностроения» БНТУ,
доктор технических наук, профессор *В. К. Шелег*

Акулович, Л. М.
А44

Системы автоматизированного проектирования технологий
механической обработки деталей : учебно-методический комплекс
/ Л. М. Акулович, А. В. Миранович, Е. В. Сенчуров. – Минск :
БГАТУ, 2014. – 320 с.
ISBN 978-985-519-738-7.

Содержит материал о теоретических основах автоматизированного проектирования
технологических процессов механической обработки деталей сельскохозяйственной
техники, методику их разработки.

Для студентов учреждений высшего образования по специальности 1-74 06 03
Ремонтно-обслуживающее производство в сельском хозяйстве.

УДК 621:658.512(07)
ББК 34.44я7

ISBN 978-985-519-738-7

© БГАТУ, 2014

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	6
МОДУЛЬ 1. Компьютерное проектирование в машиностроении, методы формализации процедур и этапы проектирования технологических процессов	9
ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ МОДУЛЯ 1	12
1.1. Компьютерная интеграция производственных процессов. Классификация систем автоматизированного проектирования. Функции системы автоматизированного проектирования технологических процессов	12
1.1.1. Общие положения об автоматизации проектирования в машиностроении	12
1.1.2. Компьютерная интеграция производственных процессов	14
1.1.3. Классификация систем автоматизированного проектирования	21
1.1.4. Функции систем автоматизированного проектирования технологических процессов	27
1.2. Этапы компьютерного проектирования технологических процессов механической обработки	36
1.2.1. Исходная информация для проектирования технологических процессов	36
1.2.2. Общая концепция описания изделий в системе автоматизированного проектирования технологических процессов	38
1.2.3. Схема алгоритма компьютерного проектирования технологических процессов	40
1.3. Уровни автоматизации проектирования технологических процессов. Формализация процедур проектирования технологических процессов	61
1.3.1. Уровни автоматизации проектирования технологических процессов	61
1.3.2. Формализация задач технологического проектирования	64
МАТЕРИАЛ К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ	92
Лабораторная работа. Кодирование чертежей деталей типа «тела вращения» в ПМК САПР ТП	92

МАТЕРИАЛ К УПРАВЛЯЕМОЙ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЕ СТУДЕНТОВ	136
Тема: «Адаптация к условиям предприятия базы данных САПР ТП по разделу “Оснастка”»	136
РАЗНОУРОВНЕВЫЕ ЗАДАНИЯ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ ПО МОДУЛЮ 1	138
МОДУЛЬ 2. Структура системы автоматизированного проектирования технологических процессов механической обработки и управляющих программ для станков с ЧПУ в условиях мелкосерийного производства	145
ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ МОДУЛЯ 2	148
2.1. Математическое моделирование в системе автоматического проектирования технологических процессов. Расчет режимов резания	148
2.1.1. Математическое моделирование в системе автоматизированного проектирования технологических процессов	148
2.1.2. Этапы решения задач методом математического моделирования	156
2.1.3. Основные положения теории линейного программирования	164
2.1.4. Расчет режимов резания методом линейного программирования	169
2.2. Структура и виды обеспечения системы автоматизированного проектирования технологических процессов	182
2.2.1. Структура системы автоматизированного проектирования технологических процессов	182
2.2.2. Методы автоматизированного проектирования	184
2.2.3. Виды обеспечения системы автоматизированного проектирования технологических процессов	194
2.3. Система автоматизированного проектирования технологических процессов и управляющих программ для станков с ЧПУ в условиях мелкосерийного производства	213
2.3.1. Структура управляющей программы для станков с ЧПУ	213

2.3.2. Классификация систем автоматизированного проектирования управляющих программ.....	218
2.3.3. Структура и состав систем автоматизированного проектирования управляющих программ.....	220
2.3.4. Функции модулей систем автоматизированного проектирования управляющих программ.....	221
2.3.5. Характеристики систем автоматизированного проектирования управляющих программ.....	224
2.3.6. Задание геометрической информации в системах автоматизированного проектирования управляющих программ.....	227
2.4. Интеграция системы автоматизированного проектирования в условиях гибких производственных систем.....	230
2.4.1. Особенности технологии механической обработки в условиях гибких производственных систем.....	230
2.4.2. Основные положения методологии проектирования технологии для гибких производственных систем.....	240
МАТЕРИАЛ К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ.....	247
Лабораторная работа № 1. Кодирование чертежей плоских деталей в ПМК САПР ТП PRAMEN.....	247
Лабораторная работа № 2. Разработка управляющей программы обработки поверхностей детали на станке мод. 16A20Ф3.....	279
МАТЕРИАЛ К УПРАВЛЯЕМОЙ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЕ СТУДЕНТОВ.....	310
Тема: «Ввод в базу данных программно-методического комплекса САПР ТП PRAMEN новой модели оборудования и значений ее технических характеристик».....	310
Тема: «Редактирование операционных технологических карт механической обработки».....	311
РАЗНОУРОВНЕВЫЕ ЗАДАНИЯ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ ПО МОДУЛЮ 2.....	312
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	318

ВВЕДЕНИЕ

Дисциплина «Системы автоматизированного проектирования» (САПР) относится к циклу общепрофессиональных дисциплин и входит в учебные планы, подготовленные в соответствии с общеобразовательными стандартами Республики Беларусь для группы специальностей 74 06 Агроинженерия и состоит из двух взаимосвязанных модулей:

1. Компьютерное проектирование в машиностроении, методы формализации процедур и этапы проектирования технологических процессов.

2. Структура САПР технологических процессов (ТП) механической обработки и управляющих программ для станков с числовым программным управлением (ЧПУ) в условиях мелкосерийного производства.

Цель дисциплины – формирование системы знаний, умений и профессиональных компетенций по использованию современных систем автоматизированного проектирования технологических процессов при организации и деятельности ремонтно-обслуживающего производства в сельском хозяйстве.

Задачи дисциплины:

– изучение методов компьютерного проектирования технологических процессов и формализации технологических решений, структуры САПР технологических процессов, видов обеспечения и языков САПР ТП, режимов работы САПР ТП, порядка автоматизированного проектирования технологических процессов;

– освоение на конкретных примерах методики проектирования технологических процессов механической обработки деталей сельскохозяйственных машин и механизмов с использованием программно-методического комплекса (ПМК) САПР ТП PRAMEN и использование ее в дальнейшем при выполнении курсовых и дипломных проектов.

В результате изучения дисциплины студент *должен знать*:

- особенности задач технологической подготовки производства;
- методологию автоматизированного проектирования технологических процессов;
- правила выбора и комплексирования технических средств, программного обеспечения САПР ТП;

**Тематический план изучения дисциплины
«Системы автоматизированного проектирования»**

Номер и наименование модуля	Общее количество аудиторных часов на модуль	В том числе (ч)		
		Лекции	Лабораторные занятия	Правляемая самостоятельная работа студентов (УСРС)
М-1. Компьютерное проектирование в машиностроении, методы формализации процедур и этапы проектирования технологических процессов	24	6	14	4
М-2. Структура САПР технологических процессов механической обработки и управляющих программ для станков с ЧПУ в условиях мелкосерийного производства	26	6	14	6
Итого	50	12	28	10

- методы формализации технологических знаний;
- перспективы и основные направления развития САПР ТП;
- правила адаптации САПР ТП к условиям их применения на предприятии;

уметь:

- использовать возможности САПР ТП для проектирования конкретных технологических процессов;
- осуществлять выбор типовых конструкторско-технологических решений;
- разрабатывать технологическую документацию с использованием ПМК САПР ТП.

Для усвоения дисциплины «Системы автоматизированного проектирования» потребуются знания, полученные студентами при изучении дисциплин «Инженерная графика», «Метрология, стандартизация, сертификация», «Технология сельскохозяйственного машиностроения», «Материаловедение и технология конструкционных материалов».

Знания, умения и навыки, приобретенные при изучении дисциплины, необходимы для инженерной деятельности в современных условиях широкого применения компьютеров и информационных технологий.

**Модуль 1. КОМПЬЮТЕРНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ
В МАШИНОСТРОЕНИИ, МЕТОДЫ ФОРМАЛИЗАЦИИ
ПРОЦЕДУР И ЭТАПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ**

В результате изучения модуля студент *должен знать*:

- роль и место компьютерного проектирования в машиностроении;
 - классификацию САПР в машиностроении;
 - состав и комплектность технологической документации;
 - методы формализации процедур технологического проектирования;
 - структуру алгоритма автоматизированного проектирования технологических процессов;
 - содержание информационных массивов ПМК САПР ТП PRAMEN;
 - правила кодирования в ПМК САПР ТП PRAMEN чертежей деталей типа «тела вращения»;
- уметь*:
- легко и быстро читать чертежи машиностроительных деталей;
 - представлять сведения о детали в формализованном виде с использованием буквенно-цифровых кодов входного языка ПМК САПР ТП PRAMEN;
 - уметь редактировать исходные данные после их ввода;
 - читать тексты файлов DET 00 кодирования чертежей машиностроительных деталей.

Тематический план модуля 1

Наименование занятия, перечень основных вопросов	Количество аудиторных часов			
	Всего	Лекции	Лабораторные занятия	УРС
<i>1</i>	2	3	4	5
Введение в дисциплину. Общие положения об автоматизации проектирования в машиностроении. Цель и задачи. Компьютерная интеграция производственных процессов. Классификация САПР. Функции САПР ТП	2	2		
Кодирование чертежей деталей типа «тела вращения» в ПМК САПР ТП. Анализ исходных данных, проработка на технологичность и формирование электронных чертежей	2		2	
Кодирование чертежей деталей типа «тела вращения». Структура и режимы проектирования в САПР ТП PRAMEN	2		2	
Кодирование чертежей деталей типа «тела вращения» в ПМК САПР ТП. Задание общих сведений о детали	2		2	
Этапы компьютерного проектирования технологических процессов механической обработки. Исходная информация для проектирования технологических процессов. Общая концепция описания изделий в САПР ТП. Схема алгоритма компьютерного проектирования технологических процессов	2	2		
Кодирование чертежей деталей типа «тела вращения» в ПМК САПР ТП. Задание информации об основных поверхностях	2		2	
Кодирование чертежей деталей типа «тела вращения» в ПМК САПР ТП. Кодирование дополнительных элементов и их технологических параметров	2		2	

<i>1</i>	2	3	4	5
Уровни автоматизации проектирования ТП. Формализация процедур проектирования технологических процессов	2	2		
Кодирование чертежей деталей типа «тела вращения» в ПМК САПР ТП. Формирование файла DET 00, его анализ и редактирование	2		2	
Адаптация к условиям предприятия базы данных САПР ТП по разделам «Оснастка» (управляемая самостоятельная работа студентов)	2			2
Кодирование чертежей деталей типа «тела вращения» в ПМК САПР ТП. Формирование комплекта технологической документации	2		2	
Контроль по модулю	2			2
Итого по модулю 1	24	6	14	4

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ МОДУЛЯ 1

1.1. КОМПЬЮТЕРНАЯ ИНТЕГРАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ. КЛАССИФИКАЦИЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ. ФУНКЦИИ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

1.1.1. Общие положения об автоматизации проектирования в машиностроении

Под процессом проектирования понимают выбор некоторого способа действий для составления описания, необходимого для создания в заданных условиях еще не существующего объекта или алгоритма его функционирования с возможной их оптимизацией.

Система автоматизированного проектирования (САПР) – комплекс средств автоматизации проектирования, взаимосвязанных с необходимыми подразделениями проектной организации или коллективом специалистов (пользователей системы), выполняющих автоматизированное проектирование. Основная функция систем автоматизированного проектирования (САПР) состоит в выполнении автоматизированного проектирования на всех или отдельных стадиях проектирования объектов и их составных частей.

По мере совершенствования конструкций машин и ужесточения технических требований, предъявляемых к ним, усложняются технологические задачи и повышаются требования к квалификации инженеров-технологов. В то же время сроки, отводимые для технологической подготовки производства, зачастую бывают весьма ограничены, что обусловлено рыночной конкуренцией.

Вследствие этого возрастает степень влияния технологической подготовки производства на эффективность деятельности машиностроительного предприятия и его конкурентоспособность.

В этих условиях нет альтернативы использованию систем автоматизированного проектирования технологических процессов (САПР ТП) изготовления изделий. Использование вычислительной

техники при ТПП обусловлено необходимостью сокращения сроков технологической подготовки производства, снижения трудоемкости поиска оптимального проектного решения.

САПР ТП используют в проектных, конструкторских, технологических организациях и на предприятиях с целью:

- повышения качества проектируемой и выпускаемой продукции;
- повышения технико-экономического уровня объектов проектирования;
- уменьшения сроков и трудоемкости проектирования.

Основными задачами, которые необходимо решать при автоматизированном проектировании технологического процесса, являются:

– формализация сведений о деталях, которые при традиционном ручном проектировании задаются в виде чертежа со множеством специальных обозначений и перечня технических требований, изложенных в виде описания (текста). Эту информацию при автоматизированном проектировании необходимо представить в буквенно-цифровых кодах. К такому виду необходимо привести всю информацию о детали, включая описание ее конфигурации, размерных связей, технических требований;

– создание информационных массивов, содержащих сведения о наличном парке металлорежущего оборудования и его технических характеристиках, режущем, вспомогательном и мерительном инструментах, станочных приспособлениях, заготовительном производстве, ГОСТах, руководящих и нормативных материалах. Для организации проектирования необходимо создать информационно-справочную службу, которая могла бы обеспечить процесс проектирования необходимой справочной документацией. При этом нужно не только обеспечить формализованное описание и ввод этой информации в ЭВМ, но и разработать методы поиска необходимой информации в памяти машин, а также ее вывод в нужном виде;

– разработка множества типовых решений, на которые базируется процесс автоматизированного проектирования, и алгоритмов их выбора. Их также нужно описать формальным образом, организовать ввод, размещение в памяти ЭВМ и предусмотреть возможность оперативной работы с ними;

– организация вывода результатов работы ЭВМ в виде распечаток (или в другом виде) технологических карт или другой документации. Поэтому нужны программы для вывода результатов проектирования в виде, удобном для технологов и рабочих-станочников.

Таким образом, смысл процесса проектирования в любой САПР, независимо от объекта проектирования, один и тот же: получить в соответствии с замыслом такую информационную систему (модель), которая позволяет создать систему (оригинал), полностью соответствующую замыслу.

1.1.2. Компьютерная интеграция производственных процессов

Для обеспечения конкурентоспособности производства машиностроительные предприятия должны располагать гибким оборудованием, основу которого составляют станки с числовым программным управлением (ЧПУ). Современные системы с ЧПУ оборудованием позволяют обеспечивать информационную связь с жизненным циклом изделия.

Жизненный цикл (ЖЦ) изделия – это период времени от замысла создания изделия до прекращения его производства, включающий следующие фазы (бизнес-процессы): маркетинговые исследования; разработка технического задания на проектирование; проектирование; технологическая подготовка производства; изготовление; поставка; эксплуатация; утилизация.

Идеология ЖЦ, или CALS-технологий (Continuous Acquisition and Life Cycle Support), состоит в отображении реальных бизнес-процессов в виртуальную информационную среду. В дословном переводе аббревиатура CALS означает «непрерывность поставок продукции и поддержки ее жизненного цикла». Таким образом, русскоязычным термином, адекватно отражающим суть концепции CALS, будет «компьютерное сопровождение процессов жизненного цикла изделий» (КСПИ).

Системы CALS-технологии являются технологиями комплексной компьютеризации сфер промышленного производства на основе унификации и стандартизации спецификаций промышленной продукции на всех этапах ее жизненного цикла. Стержневые спе-

цификации представляются в проектной, технологической, производственной, маркетинговой, эксплуатационной документации. В системах CALS предусмотрены хранение, обработка и передача информации в компьютерных средах, оперативный доступ к данным в нужное время и в нужном месте. CALS-технология позволяет обеспечить единое информационное пространство, в котором смогут решать свои задачи все специалисты, имеющие отношение к данным об изделии на всех этапах его жизненного цикла.

CALS рассматривается как системная стратегия комплексного повышения эффективности осуществления процессов, связанных с промышленной продукцией, непосредственно влияющая на ее конкурентоспособность. Повышение конкурентоспособности достигается за счет сокращения затрат (цены изделия), сокращения сроков вывода новых образцов на рынок, повышения качества продукции за счет сквозной поддержки ее жизненного цикла.

Целью применения CALS как инструмента организации производственного цикла и информационной поддержки всех участников создания, производства и пользования продуктом является повышение эффективности их деятельности за счет ускорения процессов исследования параметров и разработки продукции, придания изделию новых свойств, сокращения издержек в процессах производства и эксплуатации продукции, повышения уровня сервиса в процессах ее эксплуатации и технического обслуживания. Применение стратегии CALS является условием выживания предприятий в условиях растущей конкуренции, в том числе на международных рынках.

Выделяют три основных аспекта концепции КСПИ [1, 2]:

- компьютерная автоматизация, повышающая производительность основных процессов и процедур обработки информации;
- информационная интеграция процессов, т. е. совместное и многократное использование одних и тех же данных. Интеграция достигается минимизацией числа и сложности вспомогательных процессов и операций поиска, преобразования и передачи информации. Один из инструментов интеграции – стандартизация способов и технологий представления данных, благодаря которой результаты предшествующего процесса могут быть использованы в последующих процессах с минимальными преобразованиями;

– переход к безбумажной модели организации бизнес-процессов, многократно ускоряющей доставку документов, обеспечивающей параллелизм обсуждения, контроля и утверждения результатов работы, сокращающей длительность бизнес-процессов.

В рамках жизненного цикла происходит информационное взаимодействие. Существо концепции CALS составляют технологии и методы представления данных о продукте, процессах и среде, разработанные таким образом, что позволяют сделать возможным использование однажды созданной информации на последующих стадиях жизненного цикла (рис. 1.1).



Рис. 1.1. Схема информационных потоков в CALS

Стратегия CALS предполагает создание единого информационного пространства (ЕИП) для всех участников ЖЦ (в том числе, эксплуатирующих организаций), в основе которого лежит исполь-

зование открытых архитектур, международных стандартов, совместных хранилищ данных и апробированных программно-технических средств. ЕИП должно обладать следующими свойствами (вся информация представлена в электронном виде):

- ЕИП охватывает всю информацию об изделии;
- ЕИП является единственным источником данных об изделии (прямой обмен данными между участниками ЖЦ исключен);
- ЕИП строится только на основе международных, государственных и отраслевых информационных стандартов;
- для создания ЕИП используются программно-аппаратные средства, уже имеющиеся у участников ЖЦ;
- ЕИП постоянно развивается.

ЕИП может быть создано для организационных структур разного уровня. Основными преимуществами единого информационного пространства являются:

- обеспечение целостности представления данных;
- возможность организации доступа к данным географически удаленных участников ЖЦ изделия;
- отсутствие потерь данных при переходе между этапами ЖЦ изделия;
- изменения представляемых материалов доступны сразу всем участникам ЖЦ изделия;
- повышение скорости поиска данных и доступа к ним по сравнению с бумажной документацией;
- возможность использования различных компьютерных систем для работы.

В составе КСПИ обычно выделяют два крупных блока – *компьютерно-интегрированное производство (КИП) Computer Integrated Manufacturing (CIM)* и *систему интегрированной логистической поддержки изделия (ИЛП) (Integrated Logistic Support (ILS))*.

К первому блоку КСПИ – блоку CIM относят:

- системы автоматизированного проектирования изделий (САПР И) – Computer Aided Design (CAD), инженерного анализа и расчетов (АСНИ) – Computer Aided Engineering (CAE), технологической подготовки производства (АСТПП) – Computer Aided Process Planning (CAPP), Computer Aided Manufacturing (CAM).

Уровни интегрированной и распределенной АСУ. Эффективность работы предприятия (производительность труда, каче-

ство и конкурентоспособность выпускаемой продукции и т. п.) предполагает возможность оперативного доступа и воздействия к информации разнородного происхождения (технологической, бизнес-процессов) из любой точки промышленной системы, т. е. из любого уровня иерархии объекта управления (аппарат, линия, цех, предприятие). С учетом этого данная задача решается на основе многоуровневой автоматизированной системы управления производством (АСУП) (рис. 1.2).

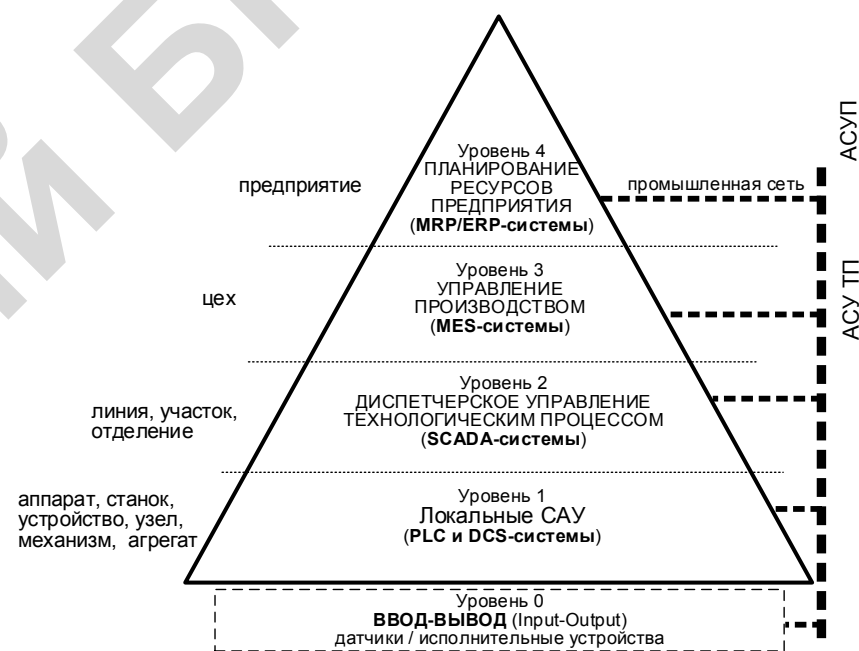


Рис. 1.2. Уровни интегрированной и распределенной АСУП

Нулевой уровень (уровень I-O – input-output – ввода-вывода). Включает набор первичных преобразователей (датчиков) исполнительных механизмов и регулирующих органов, встраиваемых в конструктивные узлы технологического оборудования и предназначенных для ввода первичной (технологической) информации и вывода (реализации) управляющих воздействий.

Первый уровень (control, непосредственное управление). Служит для непосредственного автоматического управления локальными технологическими процессами: DCS (Distributed Control System, распределенная система управления (PCY)) – для управления непрерывными процессами и PLC-системы – для программного управления дискретными процессами с помощью промышленных контроллеров PLC.

Необходимость обмена информацией между нулевым и вторым уровнями в темпе реального процесса накладывает жесткие ограничения на этот режим. Характеризуется следующими показателями:

- предельно высокой реактивностью режимов реального времени;
- возможностью функционирования в цеховых условиях, т. е. предельной надежностью;
- возможностью автономной работы при отказах комплексов управления верхних уровней.

В PLC загружаются программы и данные из компьютеров второго уровня (SCADA-уровень), например: задания (уставки), обеспечивающие координацию и управление агрегатом по критериям оптимальности управления в целом, а на второй выводится оперативная, диагностическая и служебная информация, т. е. данные о состоянии агрегатов, технологического процесса.

Второй уровень (SCADA – Supervisory Control and Data Acquisition, сбор данных и диспетчерское управление). Предназначен для отображения (визуализации) данных о производственном процессе и оперативного комплексного управления различными агрегатами при участии диспетчерского персонала.

Третий уровень (MES – Manufacturing Execution System, производственная исполнительная система). Выполняет упорядоченную обработку информации о ходе изготовления продукции в цехе, а также является источником необходимой информации в реальном времени для верхнего уровня управления предприятием – планирования ресурсов предприятия (MRP и ERP-уровни) и оптимизации управления ресурсами цеха как единого организационно-технологического объекта по заданиям, поступающим с верхнего уровня).

Четвертый уровень (MRP – Manufacturing Resource Planning; ERP – Enterprise Resource Planning, планирование ресурсов предприятия). Предназначены для автоматизации планирования производства и финансовой деятельности, снабжения и продаж, анализа и прогнозирования и т. д. Задачи на этом уровне отличаются главным образом повышенными требованиями к ресурсам (например, для ведения единой базы данных, планирования и управления на уровне предприятия в целом, автоматизации обработки информации в основных и вспомогательных административно-хозяйственных подразделениях предприятия: бухгалтерский учет, материально-техническое снабжение и т. п.). Обычно для решения задач данного уровня выбирают универсальные компьютеры и многопроцессорные системы повышенной производительности.

Информационный обмен между различными уровнями АСУП осуществляется посредством *локальных вычислительных сетей (ЛПС).*

Сети охватывают относительно небольшие территории (до 5 – 10 км) внутри отдельных предприятий и объединяют с помощью общего канала связи сотни абонентских устройств (компьютеры, PLC, операторские панели визуализации, серверы и т. д.). Такие сети могут подключаться к другим локальным сетям, а также региональным и глобальным сетям.

Основными требованиями к локальным промышленным сетям (ЛПС), эксплуатирующимся в промышленных условиях, являются:

- высокая надежность;
- высокая скорость передачи данных (что отличает их, например, от глобальных сетей, которые могут вносить в передачу данных значительные задержки);
- простота монтажа и эксплуатации.

В настоящее время существует большое разнообразие локальных промышленных сетей, которые условно разделены на два класса:

- локальные промышленные сети нижнего уровня – полевые шины (Field Buses). Обеспечивают физическую и логическую связь между промышленными контроллерами, измерительными преобразователями (датчиками) и исполнительными механизмами и их интеграцию в единую систему управления технологическим процессом;

- локальные промышленные сети верхнего (операторского) уровня (Terminal Buses).

Основой работы ЛПС служит стандарт, разработанный Международной организацией по стандартизации (International Organization of Standardization – ISO), описывающий правила соединения аппаратных и программных средств в единую систему. Стандарт носит название модели *взаимодействия открытых систем* (Open System Interconnection – OSI).

1.1.3. Классификация систем автоматизированного проектирования

Деятельность современного инженера-технолога немислима без применения ЭВМ. С помощью компьютерного проектирования при технологической подготовке производства решаются задачи разработки технологического маршрута изготовления изделий, операционных технологических карт, расчета режимов резания, определения норм времени, формирования комплекта технологической документации, разработки управляющих программ для технологического оборудования и др.

Различают автоматизированное и автоматическое проектирование [3]. *Автоматизированным* называют проектирование, при котором все преобразования описаний объекта и алгоритма его функционирования, а также представление описаний на различных языках осуществляются взаимодействием человека и ЭВМ.

Автоматическим является проектирование, при котором все преобразования описаний объекта и алгоритма его функционирования, а также представление описания на различных языках осуществляются без участия человека.

Специфика задач, решаемых на различных этапах жизненного цикла продукции машиностроения, обусловила разнообразие видов применяемых автоматизированных систем проектирования. В публикациях часто используется сложившаяся за рубежом терминология в области автоматизированного проектирования (рис. 1.3).

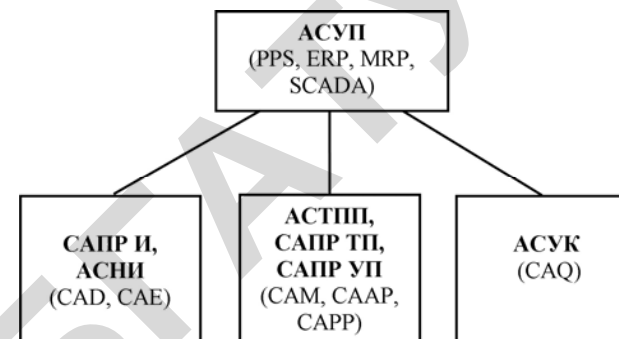


Рис. 1.3. Виды систем компьютерного проектирования в машиностроении:

АСУП – автоматизированная система управления производством; **PPS** – Produktionsplaungs system (производственное планирование и управление); **ERP** – Enterprise Resource Planning (планирование и управление предприятием); **MRP** – Manufacturing (Material) Requirement Planning (планирование производства); **SCADA** – Supervisory Control And Data Acquisition (диспетчерское управление производственными процессами) и др.; **САПР И** – САПР изделий; **АСНИ** – автоматизированная система научных исследований; **CAD** – Computer-Aided Design (решение конструкторских задач и автоматизация оформления проектно-конструкторской документации); **CAE** – Computer Aided Engineering (автоматизированная система инжиниринга, инженерные расчеты и анализ); **АСТПП** – автоматизированная система технологической подготовки производства. **САПР ТП** – САПР технологических процессов; **САПР УП** – САПР управляющих программ; **ЧПУ** – числовое программное управление; **CNC** – Computer Numerical Control (компьютерное числовое управление); **CAM** – Computer Aided Manufacturing (автоматизированная технологическая подготовка производства); **CAPP** – Computer Aided Process Planning (автоматизированное проектирование технологических процессов); **CAAP** – Computer Aided Assembly Planning (автоматизированное проектирование процессов сборки); **АСУК** – автоматизированная система управления качеством; **CAQ** – Computer Aided Quality Control (управление качеством с помощью компьютера)

Типичный жизненный цикл машиностроительной продукции включает ряд этапов, начиная от зарождения идеи создания до утилизации по окончании срока ее использования. Среди них основными являются:

- проектирование (включая маркетинговые исследования);
- подготовка производства (в том числе монтаж и наладка технологического оборудования);
- производство;
- эксплуатация (сопровождение);
- утилизация.

Схема привязки основных автоматизированных систем, осуществляющих их интеграцию на всех этапах жизненного цикла машиностроительной продукции, приведена на рис. 1.4. CALS-технология компьютерно-интегрированного производства связана на входе с заказами, а на выходе – с готовой продукцией и с последующими этапами ее жизненного цикла.

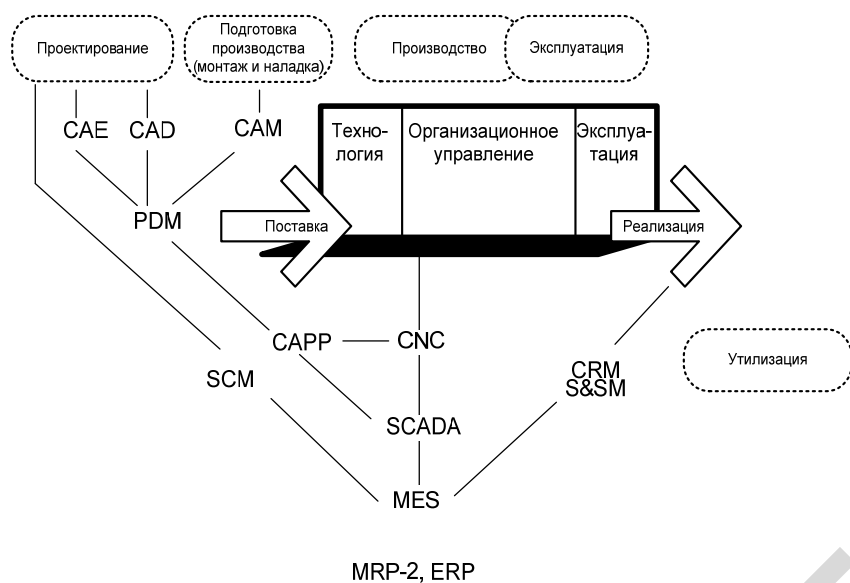


Рис. 1.4. Этапы жизненного цикла промышленных систем и используемые автоматизированные системы CALS-технологии

Программно и информационно CALS-технологии могут поддерживаться указанными выше автоматизированными системами и следующими программными модулями:

- PDM – управление проектными данными;
- MES – исполнительную систему производства;
- SCM – управление цепочками поставок;
- CRM – управление взаимоотношениями с заказчиками;
- S&SM – управление продажами и обслуживанием.

Функции координации работы систем CAD/CAE/CAM, управления проектными данными и проектированием возложены на систему управления проектными данными PDM (Product Data

Management). CAPP-системы (Computer-Aided Process Planning) – компьютерная поддержка планирования технологических процессов (процессов сборки) предназначены для проектирования технологических процессов, трудового и материального нормирования и разработки технологической документации.

В машиностроении получили наибольшее развитие и использование два основных вида систем автоматизированного проектирования:

- САПР конструкторского назначения (САПР И);
- САПР технологического назначения (САПР ТП).

Анализ тенденций развития САПР ТП показывает, что автоматизация проектирования технологических процессов механической обработки идет в направлениях:

- развития идей типовой и групповой технологии, особенно для деталей типа валов и втулок;
- совершенствования диалоговых систем проектирования;
- использования типовых математических моделей;
- поддержания и развития организационного и методического обеспечения САПР.

С помощью конструкторских САПР выполняют объемное и плоское геометрическое моделирование, инженерные расчеты и анализ, оценку проектных решений, изготовление чертежей. В этих системах научно-исследовательский этап иногда выделяют в самостоятельную систему АСНИ (САЕ), которая поддерживает процесс принятия человеком новых нестандартных решений, иногда и на уровне изобретений.

С помощью технологических САПР разрабатывают технологические процессы и оформляют их в виде маршрутных, операционных, маршрутно-операционных карт, проектируют технологическую оснастку.

С помощью автоматизированных систем управления производственным процессом (АСУПП) осуществляют конкретное описание технологии в виде управляющих программ обработки на оборудовании с ЧПУ. Основу АСУПП составляют системы САПР УП. Техническими средствами, реализующими данную систему, могут быть системы ЧПУ станков, компьютеры, управляющие автоматизированными технологическими модулями и робототехническими комплексами.

Конструирование является частью процесса проектирования и сводится к определению свойств изделия. Работы, связанные с автоматизацией процессов конструирования и технологической подготовки производства, характеризуются на начальных этапах разработкой отдельных пакетов прикладных программ (ППП), а на заключительных – созданием систем автоматизированного проектирования.

Этапы проектирования и изготовления изделий могут выполняться последовательно, либо перекрываться во времени, т. е. выполняться полностью, параллельно или частично.

С целью систематизации, а также сопоставления САПР различных направлений и предметных областей разработана единая классификация систем.

Согласно ГОСТ 23501.108–85 установлены следующие восемь признаков классификации САПР:

- 1) тип объекта проектирования;
- 2) разновидность объекта;
- 3) сложность объекта проектирования;
- 4) уровень автоматизации проектирования;
- 5) комплексность автоматизации проектирования;
- 6) характер выпускаемых проектных документов;
- 7) число выпускаемых проектных документов;
- 8) число уровней в структуре технического обеспечения.

Каждый из указанных признаков дополнительно классифицируется на следующие группы.

1. По типу объекта проектирования предусматривается разделение САПР на 8 классификационных группировок. Например, САПР изделий машиностроения и приборостроения; САПР технологических процессов машиностроения и приборостроения; САПР объектов строительства; САПР организационных систем.

2. По признаку «Разновидность объекта» стандарт не устанавливает специальных обозначений, а требует их указания и кодирования в соответствии с действующими в каждой отрасли системами обозначения документов.

3. По признаку «Сложность объекта проектирования» стандарт предусматривает следующие группировки САПР:

- простых объектов с числом составных систем до 10^2 ;
- объектов средней сложности с числом частей от 10^2 до 10^3 ;

- сложных объектов с числом частей от 10^3 до 10^4 ;
- очень сложных объектов с числом частей от 10^4 до 10^6 .

4. По признаку «Уровень автоматизации» стандарт предусматривает следующие группировки САПР:

- низко автоматизированного проектирования (автоматизируется до 25 % проектных процедур, выполняемых при проектировании объектов данного типа);
- средне автоматизированного проектирования (автоматизируется от 25 до 50 %);
- высоко автоматизированного проектирования (автоматизируется свыше 50 %).

5. По признаку «Комплексность автоматизации проектирования»:

- одноэтапные;
- многоэтапные;
- комплексные.

6. По признаку «Характер выпускаемых проектных документов»:

- САПР текстовых документов на бумаге;
- САПР текстовых и графических документов на бумаге;
- САПР документов на машинных носителях;
- САПР документов на фотоносителях;
- САПР на двух носителях;
- САПР на всех носителях.

7. По признаку «Число выпускаемых проектных документов» определены три классификационные группировки:

- малой производительности (до 10^5 документов в год в пересчете на формат А4);
- средней производительности (от 10^5 до 10^6);
- высокой производительности (свыше 10^6).

8. По числу уровней в структуре технического обеспечения:

- одноуровневые (универсальная ЭВМ + прибор периферийного устройства);
- двухуровневые (ЭВМ + автоматизированное рабочее место (АРМ));
- трехуровневые (ЭВМ + АРМ + программно управляемое оборудование, в том числе чертежные автоматы, комплексы для контроля управляющих программ для станков с ЧПУ и т. п.).

1.1.4. Функции систем автоматизированного проектирования технологических процессов

В настоящее время основной тенденцией достижения высокой конкурентоспособности предприятий является переход от отдельных замкнутых САПР и их частичного объединения к полной интеграции технической и организационной сфер производства [4–6].

Современная САПР при ее полном развитии должна предусматривать автоматизированное решение всех задач, встречающихся в технологическом проектировании. С этой целью в настоящее время разработаны и создаются новые системы автоматизации технологической подготовки производства, обеспечивающие автоматизированное выполнение работ по ТПП на машиностроительных предприятиях [9, 10].

Подсистемы автоматизации технологического проектирования охватывают разработку технологических процессов следующих видов производств (рис. 1.5):

1) литейное производство (литье в земляные формы, литье под давлением, кокильное литье, центробежное литье, прецизионное литье);

2) сварка и резка металлов (дуговая и контактная электросварка, газовая сварка и резка с разработкой управляющих программ для сварочных автоматов и резательных машин);

3) кузнечно-штамповочное производство (свободная ковка, штамповка на молотах и прессах, ковка на горизонтально-ковочных машинах, прессование на гидравлических прессах, поперечная прокатка, разработка управляющих программ для прессов с ЧПУ);

4) механическая обработка (типовые, групповые и единичные технологические процессы, автоматные операции, техническое нормирование, разработка управляющих программ для станков с ЧПУ);

5) сборка (операционные технологические процессы сборки, разработка управляющих программ для промышленных роботов);

6) химико-термические, термомеханические, электроэрозионные, нанесение металлопокрытий, окраски и др.

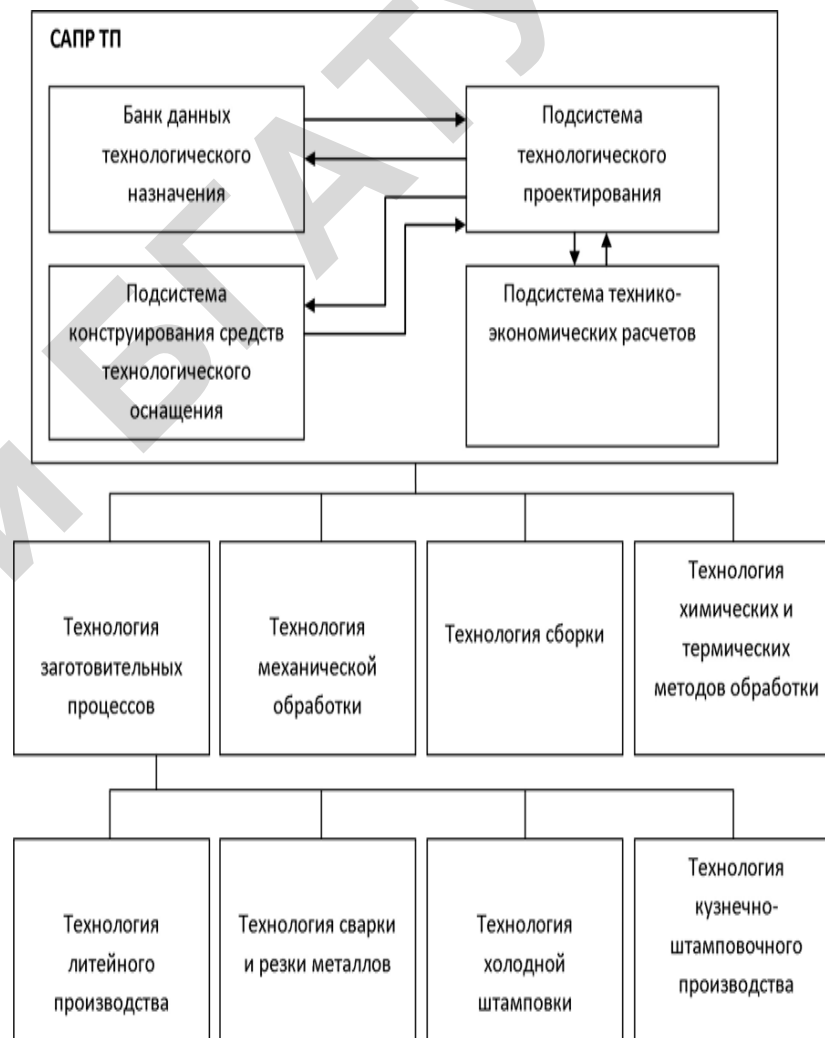


Рис. 1.5. Функциональная структура комплексной САПР ТПП машиностроительного предприятия

Подсистемы конструирования средств технологического оснащения должны решать задачи проектирования специального оборудования, специальной оснастки, специальных режущих и мери-

тельных инструментов. Для осуществления функций связи между отдельными подсистемами САПР ТП должна быть разработана специальная подсистема стыковки, которая осуществляет выборку, переработку и систематизацию данных, выдаваемых предыдущими подсистемами, а также подготовку данных для работы последующих подсистем технологического проектирования.

Для хранения, поиска и первичной переработки данных, необходимых при проектировании, в САПР ТП служит банк данных технологического назначения.

Несмотря на многообразие задач, возникающих при создании комплексных САПР ТП машиностроительного предприятия, имеется возможность их построения на единой методологической основе с максимальным использованием стандартных методов, программ и технических средств.

Интегрированные САПР. Самостоятельное использование систем CAD, CAM дает экономический эффект. Но он может быть существенно увеличен их интеграцией в системы типа CAD/CAM/CAPP [1–3]. Такая интегрированная система на информационном уровне поддерживается единой базой данных. В ней хранится информация о структуре и геометрии изделия (как результат проектирования в системе CAD), о технологии изготовления (как результат работы системы CAPP) и управляющие программы для оборудования с ЧПУ (как исходная информация для обработки в системе CAM на оборудовании с ЧПУ).

Перспективным направлением развития современного машиностроения является создание гибких производственных систем (ГПС). В основу функционирования таких систем положены принципы централизованной переработки с помощью ЭВМ конструкторской и технологической информации, а также обеспечения управления станками с ЧПУ, промышленными роботами, системами транспортирования заготовок и инструмента.

В условиях производства все виды систем автоматизации должны взаимодействовать друг с другом (рис. 1.6). Взаимодействие различных систем осуществляется путем обмена информацией. Обмен может осуществляться как в виде обычных документов, так и в машинных кодах с помощью машинных носителей информации.

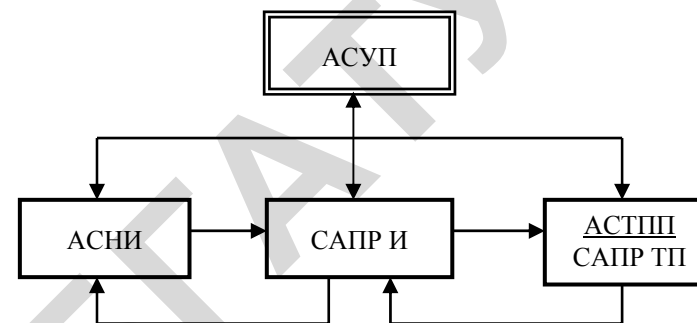


Рис. 1.6. Схема взаимодействия систем автоматизации производства

От автоматизированной системы управления производством все системы получают информацию планового характера, а также информацию о фактическом наличии ресурсов. В свою очередь, все системы направляют в АСУП данные о выполнении плановых заданий, о потребности в различных ресурсах, в том числе материалах, комплектующих изделиях, инструментах и др.

Из автоматизированной системы научных исследований в САПР изделий направляется информация о технических требованиях на проектируемые изделия, об отдельных технических и конструкторских решениях, выработанных в результате исследования математической модели объекта.

В ходе проектирования могут появляться решения, которые целесообразно снова проверить на исходной модели и подтвердить дополнительными расчетами. В этом случае решения, полученные в САПР И, передаются обратно в АСНИ в виде задания.

Автоматизированная система технологической подготовки производства включает в себя САПР ТП и является одновременно подсистемой комплексной системы автоматизированного проектирования изделия и технологии его изготовления. Из САПР И передается в САПР ТП законченный проект изделия, занесенный в базу данных (БД).

САПР ТП, проектируя технологический процесс, использует БД и в то же время влияет на принятые решения САПР И для обеспечения их максимальной технологичности.



Рис. 1.7. Схема структуры интегрированной системы подготовки производства механической обработки

Централизация переработки всех видов информации приводит к необходимости интеграции (объединения) систем проектирования, использующих и передающих эту информацию, т. е. к созданию интегрированных САПР. В качестве примера (рис. 1.7) приведена общая схема интегрированной системы подготовки производства меха-

нической обработки деталей машин с использованием станков с ЧПУ. Исходные данные для решения задач конструирования, разработки технологической документации и управляющих программ в таких системах вводятся один раз на первом этапе, а дополнительные данные задаются проектировщиком при работе в режиме диалога.

Преимущество такого подхода состоит в том, что трудоемкое описание детали производится один раз, а используется многократно. Это позволяет сократить трудоемкость подготовки исходных данных и уменьшить вероятность появления ошибок субъективного характера. Использование интегрированных систем CAD/CAM/CAPP особенно эффективно при подготовке производства и программировании обработки геометрически сложных деталей.

Созданию систем CAD/CAM/CAPP должны предшествовать работы по унификации конструктивных решений и упорядочению процессов конструирования и технологической подготовки. Целесообразно применение специализированных (объектно-ориентированных) интегрированных подсистем:

- для конструирования изделий определенного вида;
- разработки технологии и управляющих программ изготовления деталей однородных технологических групп.

В масштабах предприятия широко используют системы проектирования CAD/CAM/CAE, позволяющие обеспечить автоматизированную поддержку работ инженеров и специалистов на всех стадиях цикла проектирования и изготовления новой продукции.

В основу интегрированных систем автоматизированного проектирования и изготовления деталей на станках с ЧПУ положены алгоритмы, моделирующие мышление высококвалифицированных конструкторов и технологов-программистов.

Основой интеграции систем является объединение иерархически сгруппированных, самостоятельных, связанных и взаимодополняющих друг друга систем проектирования. Использование таких систем открывает возможности создания «безлюдной» технологии. Главной особенностью таких технологий является переработка и передача информации с помощью вычислительных систем от проектирования (конструктора или технолога) непосредственно к исполнительному элементу производственной системы – станку или роботу – без бумажной документации и рабочего-станочника.

Интегрированные системы проектирования охватывают:

а) информационную интеграцию (единая классификация, единая система документации);

б) организационную интеграцию (единая система сбора, поиска и передачи информации);

в) математическую интеграцию (унифицированные математические методы анализа решаемых задач);

г) программную интеграцию (унификация программного обеспечения);

д) техническую интеграцию (унификация используемой вычислительной техники, периферийного оборудования и средств связи).

Особое значение при интегрировании систем имеет общность языка проектирования для всех подсистем.

Требования к интегрированным САПР. Целью комплексной автоматизации проектных процедур является исключение ошибок субъективного характера, повышение производительности труда проектировщиков, улучшение качества проектной документации, сокращение сроков создания новых изделий. Основным направлением комплексной автоматизации в области проектирования является интеграция САПР различного назначения.

Интегрированной считается система обработки информации, в которой между конструкторской, технологической подготовкой производства и самим производством существует единая взаимосвязь в области интеграции автоматизированных систем проектирования и управления.

Для объединения подсистем в комплексы автоматизированного проектирования используют методы их аппаратного, программного, информационного и лингвистического согласования. При выполнении такого согласования используют интерфейс. Одним из основных элементов интерфейса является совокупность правил обмена информацией, которые необходимо соблюдать для взаимодействия двух и более объектов, процессов.

Необходимость соблюдения определенных правил согласования возникает и при последовательной работе прикладных программ. Состав и формы представления результатов работы каждой предыдущей программы должны соответствовать требованиям к составу и формату представления исходных данных для последующей программы. Если такого соответствия нет, то необходимо его обеспе-

чить с помощью специальной программы, которая называется интерфейсом. Если между какими-либо подсистемами САПР отсутствует программная связь, то функцию интерфейса между этими подсистемами выполняет человек.

Это, например, имеет место при кодировании чертежей деталей с целью последующего автоматизированного проектирования процессов их изготовления. В этом случае говорят, что интерфейсную связь конструкторского и технологического этапов выполняет человек.

В настоящее время за рубежом и в нашей стране наиболее часто используются следующие виды интегрированных систем в области САПР:

- CAD/CAM/CAPP (CAD/CAM и (или) CAD/CAPP) – интегрированные системы автоматизированного конструирования изделий, разработки технологических процессов их изготовления и описания технологий в виде управляющих программ обработки на оборудовании с ЧПУ;

- CAE/CAD/CAM – интегрированные системы автоматизации научных исследований (инжиниринга), конструирования изделий, разработки технологических процессов и управляющих программ для станков с ЧПУ. К их числу относятся Pro/Engineer (компания PTC), Unigraphics (фирма EDS), CATIA (IBM). Это сложные многофункциональные системы, в состав которых входят модули различного функционального назначения:

- для создания геометрических моделей отдельных деталей, узлов и изделия в целом (графическое ядро);

- создания и оперирования процессами сборки;

- инженерного анализа;

- моделирования кинематики и динамики механизмов;

- конструирования систем управления (гидравлических, пневматических, электрических и др.) и систем жизнеобеспечения (вентиляция, кондиционирование, теплоснабжение, электропитание и т. п.);

- технологической подготовки производства;

- обмена данными в различных графических форматах (IGES, STEP, DXF, VDA-FS и др.);

- управления данными выполняемых проектов;

– подготовки и выпуска проектной и конструкторской документации (разработки чертежей по геометрическим моделям, подготовки спецификаций).

Таким образом, тенденцией современного этапа автоматизации проектирования является создание комплексных систем, включающих конструирование изделий, технологическое проектирование и изготовление изделий. Спроектированный технологический процесс должен оперативно реагировать на изменение производственных ситуаций процесса изготовления изделий.

Основной составляющей в трудоемкости подготовки производства являются затраты инженерного труда на проектирование технологических процессов.

Технологическая подготовка производства (ТПП) направлена на подготовку к изготовлению новых изделий. При этом главной задачей ТПП является обеспечение освоения выпуска нового изделия в короткие сроки и с наименьшими затратами.

ТПП включает:

- обеспечение технологичности конструкций изделий;
- проектирование технологических процессов;
- конструирование и изготовление средств технологического оснащения;
- разработку управляющих программ работы оборудования.

Содержание, объем и организация технологической подготовки производства во многом зависят от типа производства.

Исходными данными для ТПП являются:

- комплект чертежей на новое изделие;
- программа выпуска изделия;
- срок запуска изделий в производство;
- организационно-технические условия, учитывающие возможности приобретения комплектующих изделий, а также оборудования и оснастки на других предприятиях.

В комплексе работ по ТПП можно выделить следующие основные этапы:

- организация и управление ТПП;
- конструкторско-технологический анализ изделия;
- обеспечение технологичности конструкции изделия;
- организационно-технический анализ производства;
- проектирование технологических процессов;

- разработка технологических нормативов;
- проектирование средств технологического оснащения;
- изготовление технологической оснастки;
- отладка технологического оборудования.

С функциональной точки зрения значение этапа «Проектирование технологических процессов» наиболее велико. Разработанные технологические процессы определяют методы обеспечения точности при сборке и при изготовлении деталей, форму организации производства и, следовательно, трудоемкость процессов. Виды заготовок и припуски на обработку характеризуют коэффициент использования материала при механической обработке. Разработка унифицированных операций и технологических процессов в значительной степени определяет объем работ практически по всем этапам ТПП. От принятого уровня оснащенности, видов применяемой технологической оснастки и специального инструмента зависит объем работ в конструкторских подразделениях отдела главного технолога и в инструментальном цехе. Обоснованное нормирование всех элементов технологических процессов направлено на определение себестоимости изделия.

1.2. ЭТАПЫ КОМПЬЮТЕРНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

1.2.1. Исходная информация для проектирования технологических процессов

Для решения задач технологического проектирования необходима исходная информация – конструкторская документация на изделие, включающая рабочий чертеж детали, технические требования, параметры качества обработанных поверхностей и детали в целом [3, 10].

К параметрам качества относят макрогеометрию, микрогеометрию и состояние поверхностного слоя. Особое значение имеет точность изготовления детали, которая характеризует близость размеров к номинальному (предписанному) значению. Количественной мерой точности служит погрешность. Повышение точ-

ности заготовки уменьшает величины припусков на обработку и приводит к экономии материала.

Погрешности обработки подразделяются:

- на погрешности размеров;
- погрешности расположения поверхностей;
- отклонение формы;
- волнистость поверхности;
- шероховатость поверхности.

К параметрам качества могут быть отнесены также декоративные свойства поверхностей деталей, особые свойства, связанные с требованиями в эксплуатации (например, требования гарантированной величины дисбаланса, условий утилизации, требования к состоянию необрабатываемых поверхностей и др.).

Исходная информация для автоматизированного проектирования технологических процессов делится на базовую, руководящую, справочную.

Базовая информация для проектирования технологических процессов включает:

- данные, содержащиеся в конструкторской документации на изделие;
- программу выпуска, определяющую тип производства;
- сведения о наличных средствах технологического оснащения, производственных площадях и т. п. (при проектировании технологических процессов для действующих заводов и цехов).

Руководящая информация включает данные, содержащиеся в следующих видах источников:

- стандарты ЕСТПП, соответствующие отраслевые стандарты и стандарты предприятия на технологические процессы, методы управления ими, средства технологического оснащения (оборудование, приспособления и др.);
- документация на действующие единичные, типовые, групповые и перспективные технологические процессы;
- руководящие материалы по выбору технологических нормативов (режимы обработки, припуски, нормы расхода материалов и др.);
- документация по технике безопасности и промышленной санитарии и производственные инструкции.

Справочная информация включает данные, содержащиеся в следующих документах:

- описания прогрессивных методов изготовления и ремонта изделий;
- каталоги, паспорта, номенклатурные справочники, альбомы прогрессивных средств технологического оснащения;
- справочники технологических нормативов (режимы обработки, припусков, норм расхода материалов и др.);
- прогнозы научно-технического прогресса и планы повышения технического уровня производства;
- методические материалы по расчетам точности и управлению технологическими процессами;
- методические материалы результатов научных исследований;
- материалы и трудовые нормативы (в том числе общемашиностроительные и отраслевые нормативы времени для нормирования технологической трудоемкости, тарифно-квалификационные справочники и т. п.).

1.2.2. Общая концепция описания изделий в системе автоматизированного проектирования технологических процессов

Проектирование технологии в САПР ТП представляет собой сложный процесс переработки конструкторской информации, заданной в чертеже детали, в технологическую информацию, которая затем фиксируется в технологической документации.

Процесс проектирования технологического процесса – это, с одной стороны, просто перечень отдельных его этапов (выбор заготовки, определение маршрута обработки детали и т.д.), а с другой стороны, совокупность взаимосвязанных и взаимообусловленных этапов. Проектирование технологического процесса – сложная задача, общепринятый подход к решению которой – разбиение ее на простые задачи и их решение во взаимосвязи друг с другом. «Простые» задачи при проектировании технологического процесса: выбор типа заготовки, расчет режимов резания и т.д.

Технологический процесс, как объект проектирования, можно представить в виде иерархической структуры [3], состоящей из нескольких взаимосвязанных уровней (рис. 1.8).

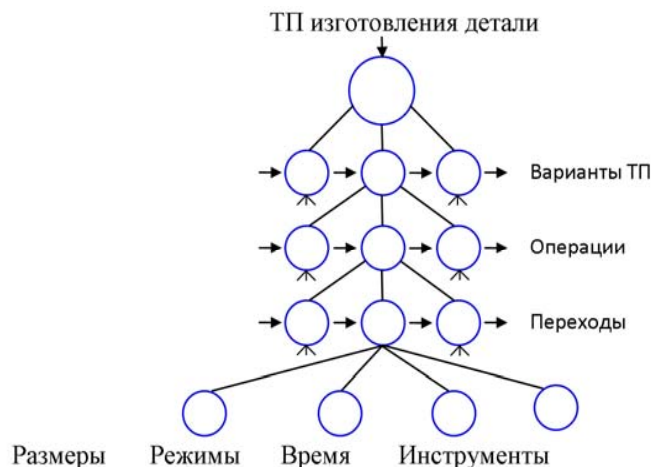


Рис. 1.8. Структура технологического процесса как объекта проектирования

В результате такой декомпозиции процесс проектирования технологического процесса сводится к решению задач различной степени детализации на взаимосвязанных уровнях: от формирования состава и структуры маршрута обработки до разработки управляющих программ и расчета режимов резания для обработки отдельных поверхностей.

В конструкторских САПР модели изделий являются геометрическими, в то время как для автоматизации проектирования технологических процессов необходимы модели концептуальные, соответствующие принятой разработчиком концепции построения САПР.

Геометрическая модель позволяет рассчитывать траектории движения инструментов при обработке деталей на станках с ЧПУ и поэтому способна обеспечить основу для построения систем класса CAD/CAM. Траектория движения инструмента составляет только часть маршрутного технологического процесса.

Концептуальная модель детали может основываться на понятии конструктивно-технологического элемента (КТЭ). Такой элемент является конструктивным в том плане, что он выполняет опреде-

ленную функцию в конструкции детали, а технологическим – что он имеет вполне определенный маршрут обработки.

Каждый КТЭ представляет собой объект со своим набором свойств и обладает иерархической структурой. Например, иерархия наследования шероховатости поверхности от старшего объекта к младшему. Набор КТЭ состоит из комплексных, основных и дополнительных элементов и определяется основными видами операций. Дополнительные элементы располагаются на основных.

КТЭ имеет один или несколько технологических маршрутов его изготовления, сформированных из набора переходов.

1.2.3. Схема алгоритма компьютерного проектирования технологических процессов

Проектирование технологического процесса сопряжено с неоднозначностью информации и многовариантностью технологических решений. Автоматизация решения такой многокритериальной инженерной задачи требует определенных численных исследований, обеспечивающих принятие решения на основе опыта и интуиции инженера-технолога. Для этого необходим обоснованный алгоритм формирования полной информации с использованием определенного минимального количества знаний на всех этапах проектирования.

Рассмотрим подробнее последовательность этапов проектирования технологических процессов.

Каждый из рассматриваемых ниже шагов проектирования представляет собой проектную процедуру, которая участвует в процессе проектирования. Приведенные ниже этапы проектирования технологических процессов отражают общую последовательность без указания методов их автоматизации.

Этап 1. Анализ исходных данных для разработки технологического процесса

Основные документы, необходимые для решения задачи на этом этапе:

- сведения о программе выпуска изделия;
- конструкторская документация на изделие;
- архив производственно-технической документации.

На рис. 1.9 представлена схема, поясняющая последовательность выполнения анализа исходных данных (АИД) при разработке ТП.

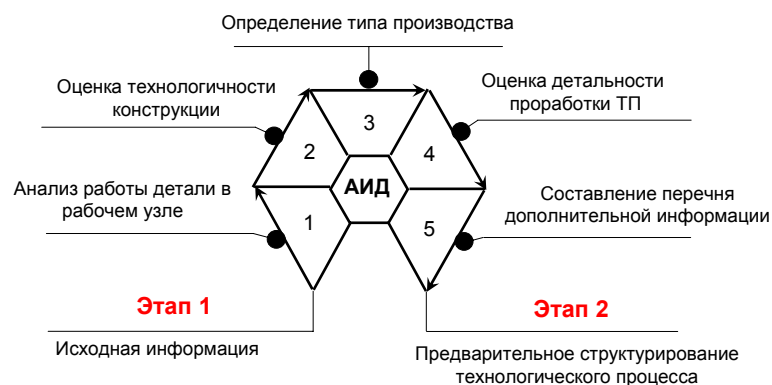


Рис. 1.9. Схема последовательности анализа исходных данных при разработке ТП

Шаг 1. Анализ условий работы детали в сборочном узле, выявление конструкторских баз, оценка требований к рабочим поверхностям.

Шаг 2. Технологическая отработка чертежа детали (оценка технологичности конструкции):

2.1. Сравнение с аналогичными деталями, принятыми в качестве базовых по трудоемкости, материалоемкости, унификации конструктивных элементов, требованиям к точности изготовления.

2.2. Выявление возможных затруднений при обеспечении параметров шероховатости поверхности, размеров, форм и расположения поверхностей.

2.3. Увязка с возможностями методов окончательной обработки, возможностями оборудования и метрологических средств.

2.4. Анализ конфигурации и размерных соотношений детали.

2.5. Установление обоснованности требований точности.

2.6. Выявление тех или иных возможных изменений, не влияющих на параметры качества детали, но облегчающих изготовление и открывающих возможности применения высокопроизводительных технологических методов и режимов обработки.

2.7. Проверка соблюдения требований к созданию конструкции детали, повышающих ее технологичность: размеры элементарных поверхностей деталей (ширина канавок и пазов, резьбы, фасок и т. п.) должны быть унифицированы, за исключением особых случаев, например, при слишком близком расположении осей отверстий детали, невозможности сквозного прохода инструмента.

2.8. Анализ специальных технических требований (балансировка, подгонка по массе, термическая обработка, нанесение покрытий и т. п.), а также условий их выполнения в технологическом процессе и методов контроля.

2.9. Утверждение изменений в рабочие чертежи и технические требования на изготовление.

Шаг 3. Определение типа производства (массовое, серийное, единичное) и его организационной формы: для поточного производства – расчет такта выпуска, для непоточного производства – определение ритмичности выпуска изделий и объема партии запуска в производство.

Шаг 4. Определение степени детальности проработки ТП:

– уровень синтеза допустимых вариантов принципиальной схемы ТП;

– уровень маршрутной технологии;

– уровень операционной технологии;

– уровень синтеза состава переходов (может, в принципе, не выделяться в отдельный уровень, а проводиться в составе операционного уровня);

– уровень синтеза траектории инструмента и команд управления станками.

Шаг 5. Составление перечня дополнительной информации, необходимой для более подробной разработки технологического процесса.

Примечание. Все расчеты на этом этапе в связи с неглубокой детальностью проработки ТП производятся по приближенным зависимостям из-за недостаточности информации для точных расчетов.

Этап 2. Проектирование принципиальной схемы обработки детали

Цель настоящего этапа – произвести первое структурирование ТП по уровням точности обработки, выделить этапы однородных видов обработки и определить соответствующие им маршруты деталей.

Основные документы, необходимые для решения задачи на этом этапе:

- конструкторская документация на изделие;
- технологический классификатор изделий;
- документация на типовые, групповые и единичные технологические процессы для данной группы изделий.

Постановка задачи – спроектировать и (или) выбрать один или ограниченное число наиболее рациональных вариантов принципиальной схемы обработки детали, удовлетворяющих требованиям рабочего чертежа и заданным техническим ограничениям.

На данном этапе:

- производится поиск действующего на предприятии типового, группового или аналогичного единичного ТП;
- в случае принятия решения о необходимости разработки нового ТП формулируются основные принципы его построения.

На рис. 1.10 представлена схема, поясняющая последовательность действий при выполнении этапа 2.

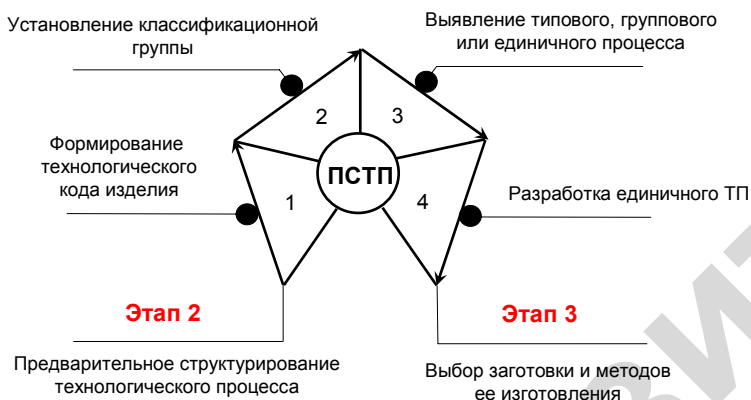


Рис. 1.10. Схема последовательности действий при предварительном структурировании технологического процесса

Исходными данными при выполнении этого этапа проектирования служат информация о форме, размерах и точности обрабатываемой детали, программа выпуска.

Техническими ограничениями, определяющими возможные варианты принципиальной схемы технологического процесса, будут

набор применяемых на заводе прогрессивных методов обработки поверхностей различных видов и их характеристика.

Шаг 1. Формирование технологического кода изделия по технологическому классификатору.

Шаг 2. Отнесение изготавливаемого изделия к соответствующей классификационной группе на основе технологического кода.

Шаг 3. Отнесение изготавливаемого изделия по его технологическому коду к действующему типовому, групповому или единичному процессу.

Шаг 4. При отсутствии соответствующей классификационной группы – разработка технологического процесса как единичного:

4.1. Выбор возможных способов получения заготовки без детальной разработки технологии.

4.2. Выбор принципиальных методов обработки поверхностей детали (точение, фрезерование, нанесение покрытий и т.д.), исходя из экономической целесообразности и необходимости получения заданных параметров детали. При этом, по существу, происходит синтез переходов обработки (но не операций). Здесь не следует привязываться к определенным моделям оборудования и детально анализировать процесс обработки.

4.3. Дифференцирование технологических переходов по видам обработки (черновая, получистовая, чистовая, термическая, гальваническая и т. д.) технологического процесса.

Примечание. По сути, на данном этапе выполняется подробный анализ базового (если он имеется) ТП с точки зрения его прогрессивности, повышения производительности труда и качества изделия, сокращения трудовых и материальных затрат на его реализацию, уменьшения вредных воздействий на окружающую среду.

Этап 3. Выбор исходной заготовки и метода ее изготовления

Основные документы, необходимые для решения задач на этом этапе:

- документация на типовой или групповой технологический процесс;
- классификатор заготовок;
- методика расчета и технико-экономической оценки выбора заготовок;
- стандарты и технические условия на заготовки и основной материал.

На рис. 1.11 представлена схема последовательности действий при выборе исходной заготовки.

Шаг 1. Определение (или уточнение) вида исходной заготовки.

Шаг 2. Выбор метода изготовления исходной заготовки.

Шаг 3. Техничко-экономическое обоснование выбора заготовки.

Выбор заготовки на данном этапе основывается:

- на эвристических критериях выбора вида заготовки;
- на экономических расчетах себестоимости получения заготовки. Однако при этом необходимо помнить, что часто малая себестоимость заготовки влечет за собой большую себестоимость механической обработки;
- на использовании методов группового получения заготовок.

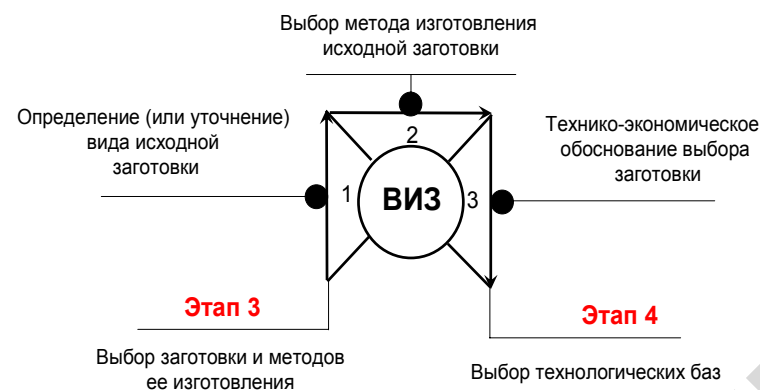


Рис. 1.11. Схема последовательности действий при выборе исходной заготовки

Этап 4. Выбор технологических баз

Основные документы, необходимые для решения задач этого этапа:

- классификатор способов базирования;
- методика выбора технологических баз.

Последовательность действий при выборе технологических баз представлена на рис. 1.12.



Рис. 1.12. Схема последовательности действий при выборе технологических баз

Шаг 1. Выбор поверхностей базирования.

Шаг 2. Выбор черновых баз для обработки поверхностей, используемых далее в качестве основной технологической базы.

Шаг 3. Определение количества баз.

Шаг 4. Выбор систем координат.

Шаг 5. Построение схем базирования (определение числа связей заготовки и выбранной системы координат).

Шаг 6. Оценка возможности выполнения принципа совмещения баз.

В сложных деталях часто встречаются поверхности одинакового ранга. Это приводит к невозможности установления последовательности операций обработки из-за равнозначности поверхностей. В таком случае установление наиболее рациональной последовательности укрупненных операций производят на основе анализа размерных цепей, руководствуясь принципом совмещения технологических баз с конструкторскими.

Принцип совмещения баз требует, чтобы в роли технологической базы (установочной, исходной, измерительной) по от-

ношению к каждой поверхности детали использовался тот же элемент детали, который в рабочем чертеже служит по отношению к ней конструкторской базой. Согласно этому принципу последовательность обработки поверхностей должна быть увязана с их взаимной координацией, заданной размерными цепями и техническими требованиями.

Соблюдение принципа совмещения баз при установлении последовательности операций дает возможность исключить ошибки, связанные с несовместимостью баз, а это, в свою очередь, создает предпосылки для обработки деталей с наименьшими затратами.

Шаг 7. Оценка возможности сохранения постоянства баз.

Шаг 8. Оценка точности и надежности базирования.

Этап 5. Составление технологического маршрута обработки

Основные документы и сведения, необходимые для решения задач на этом этапе:

- документация типового, группового или единичного технологического процесса;
- чертеж детали, созданный в системе конструкторско-технологической параметризации;
- полученные на предыдущих этапах несколько наиболее рациональных вариантов принципиальных схем ТП, сведения о форме, размерах и точности детали и заготовки, программе выпуска.

Постановка задачи – спроектировать и (или) выбрать наиболее рациональный вариант технологического маршрута, включающего определение состава и последовательности операций, выбор технологических баз, оборудования и зажимных приспособлений для каждой операции.

Формирование структуры технологического процесса начинается с чистовых операций, а заканчивается черновыми и заготовительными.

Основанием для формирования структуры является рабочий чертеж детали с окончательными размерами.

В качестве технических ограничений выступают наборы применяемых на заводе основных материалов, оснастки, оборудования и его технические характеристики.

На рис. 1.13 представлена схема последовательности действий при составлении технологического маршрута обработки.

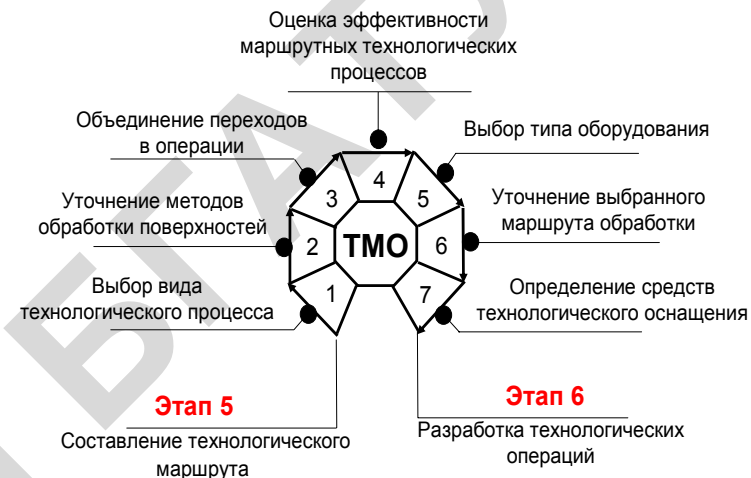


Рис. 1.13. Схема последовательности действий при составлении технологического маршрута обработки

Шаг 1. Выбор вида проектируемого процесса (единичный, типовой, групповой) и степени его детализации.

Шаг 2. Уточнение методов обработки поверхностей.

Шаг 3. Объединение переходов в операции.

Шаг 4. Оценка эффективности маршрутных технологических процессов. Составление вариантов маршрута обработки и их эффективности по себестоимости, трудоемкости, энергопотреблению, материалоемкости обрабатываемой детали и технологического оборудования.

Шаг 5. Выбор типов оборудования.

Шаг 6. Определение (уточнение) последовательности технологических операций (по типовому или групповому технологическому процессу).

При формировании алгоритмов последовательности операций необходимо учитывать следующее:

- ранг поверхности. Вначале должны обрабатываться основные поверхности, затем поверхности первого, второго и т. д. рангов (данная рекомендация относится только к чистовым и получистовым операциям);

- принцип совмещения конструкторских баз с технологическими;
- удобство установки детали.

В ряде случаев размерные цепи рабочего чертежа не обеспечивают создания достаточно удобных в конструктивном и эксплуатационном отношении установочно-зажимных элементов приспособлений. Тогда приходится отступать от принципа совмещения баз и идти на уменьшение допуска на некоторые размеры в расчете на то, что простота приспособления и удобство работы компенсируют затраты на обеспечение более жестких допусков на эти размеры.

Если обрабатываемые поверхности не связаны жесткими допусками и техническими требованиями или их величина настолько велика, что не оказывает влияния на последовательность обработки, последняя должна учитывать имеющуюся в производстве расстановку оборудования и прогрессивные технологические традиции проектирования технологии на конкретном предприятии. Учет расстановки оборудования в цехах обеспечивает максимально возможную поточность технологического процесса, при которой сводятся к минимуму встречные потоки деталей. Например, при отсутствии в цехе станков для точной обработки зубчатых, шлицевых или резьбовых поверхностей их обработку необходимо вынести в конец этапа, чтобы, выполнив эти операции на другом участке, деталь не возвращали обратно, а направляли в склад или на сборку.

Использование в алгоритмах опыта проектирования технологии на конкретном предприятии дает возможность учесть влияние организационных и других факторов на последовательность операций, которое на сегодняшний день не поддается расчету. Например, на ряде станкостроительных заводов обработка наружных резьбовых поверхностей выносится в конец этапа, а при отсутствии термообработки – в конец технологического процесса. Это делается для того, чтобы при установке детали на других операциях и транспортировке не повредить резьбу. На других предприятиях этот фактор не принимают во внимание, но учитывается ряд других особенностей.

Примечание. На данном этапе принимается окончательное решение о способе получения заготовки, а при установлении общей последовательности обработки рекомендуется учитывать следующие положения:

- каждая последующая операция должна уменьшать погрешности предыдущей обработки и улучшать качество поверхности;

- в первую очередь следует обрабатывать поверхности, которые будут служить технологическими базами для последующих операций;

– затем необходимо обрабатывать поверхности, с которых снимается наибольший слой металла, что позволит своевременно обнаружить возможные внутренние дефекты заготовки;

– операции, при которых возможно появление брака из-за внутренних дефектов в заготовке, нужно производить на ранних стадиях ее обработки;

– обработка остальных поверхностей ведется в последовательности, обратной степени их точности, т. е. чем точнее должна быть поверхность, тем позже ее должны обрабатывать. Обработку менее точных поверхностей можно выполнять в виде перехода при обработке высокоточных поверхностей. При этом операция изначально komponуется с целью получения высокоточной поверхности, а затем в нее по возможности добавляют переходы для обработки менее точных поверхностей (если это не повлияет на качество основной поверхности);

– заканчивается процесс изготовления детали обработкой той поверхности, которая должна быть наиболее точной и имеет наибольшее значение для эксплуатации детали. Если она была обработана ранее, до выполнения других смежных операций, может возникнуть необходимость в ее повторной обработке;

– отверстия нужно сверлить в конце технологического процесса, за исключением тех случаев, когда они служат базами;

– не рекомендуется совмещение черновой и чистовой обработок немерным инструментом на одном и том же станке (за исключением станков с ЧПУ, для которых это предпочтительно), но чтобы избежать трудоемких переустановок крупногабаритных и тяжелых заготовок черновую и чистовую обработку таких заготовок иногда выполняют за одну операцию. Такое построение маршрутной технологии характерно для мелкосерийного производства. Во всех случаях выполнения черновой и чистовой обработки за одну операцию рекомендуется сначала провести черновую обработку всех поверхностей, а затем выполнить чистовую обработку тех поверхностей, для которых она необходима;

– если деталь подвергается термической обработке по ходу технологического процесса, механическая обработка расчленяется на две части: до термической обработки и после нее;

– технический контроль намечают после тех этапов обработки, где вероятно повышенная доля брака перед сложными и дорогостоящими операциями, после законченного цикла обработок, а также в конце обработки детали;

– в массовом производстве необходимое качество обработки обеспечивается статистическим анализом и выполнением условий регулирования технологического процесса.

Шаг 7. Определение средств технологического оснащения.

Приведенные рекомендации по последовательности разработки технологического маршрута не являются обязательными и требуют творческого подхода в каждом конкретном случае. Работа по составлению маршрутов обработки существенно облегчается при использовании типовых технологических процессов на данную группу деталей.

Этап 6. Разработка технологических операций

Основные документы, необходимые для решения задач этапа:

- документация на типовые, групповые или единичные технологические операции;
- классификатор технологических операций;
- каталоги (альбомы) по выбору средств технологического оснащения;
- материалы по выбору технологических нормативов (режимов обработки, припусков и пр.).

Постановка задачи.

Задача заключается в том, чтобы из заданных техническими ограничениями наборов отдельных элементов технологической системы спроектировать и рассчитать наиболее рациональные параметры операций, при которых требуемые размеры детали и их точность обеспечивались бы с минимальной себестоимостью.

Исходными данными для проектирования технологической операции служат набор переходов, выполняемых в операции, требуемая форма, межоперационные размеры и их точность. Эти сведения получены на основе информации, разработанной на предыдущих этапах проектирования, а также в результате проектирования предыдущей операции.

Техническими ограничениями, определяющими допустимые варианты систем обработки детали, структуру и характеристики операции, являются:

- набор типоразмеров оборудования, применяемого в цехах завода для выполнения указанной операции;
- набор универсальных, групповых и специализированных установочно-зажимных приспособлений, используемых на каждом типе станков;
- технологические нормативы на припуски и напуски, время выполнения отдельных элементов операции, поправочные коэффициенты для расчета режимов резания и другие техникоэкономические данные.

На рис. 1.14 представлена схема последовательности действий при разработке технологических операций.

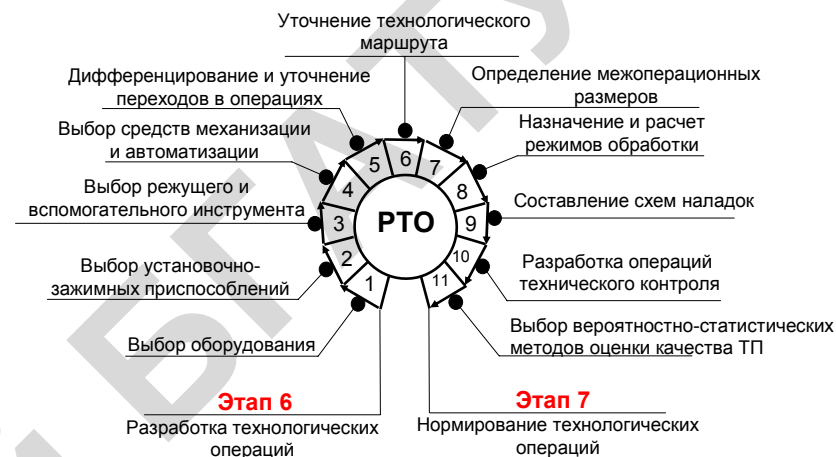


Рис. 1.14. Схема последовательности действий при разработке технологических операций

Шаг 1. Выбор (или уточнение) моделей оборудования.

Выбор модели станка определяется, прежде всего, возможностью обработки на нем поверхностей требуемых размеров, формы и качества. Если эти требования могут обеспечить несколько моделей, то одну из них выбирают из следующих соображений:

- соответствия его основных размеров габаритам изготавливаемых деталей, устанавливаемых по принятой схеме обработки;
- соответствия производительности заданному типу производства;
- возможности работы с оптимальными режимами резания;
- соответствия станка требуемой мощности;
- возможности механизации и автоматизации выполняемой обработки;
- обеспечения наименьшей себестоимости обработки;
- необходимости использования имеющихся станков;
- возможности приобретения станка;
- в условиях массового производства нужно стремиться к тому, чтобы количество станков на одной операции не превышало двух. Если это условие не выполняется, следует выбрать более производительную модель станка (например, многошпиндельного, многопозиционного или агрегатного).

Шаг 2. Назначение (или уточнение) типоразмера установочно-зажимного приспособления.

2.1. Выбор (или уточнение) схемы базирования и установки детали.

2.2. Поиск информации о существующих на предприятии приспособлениях происходит в следующей последовательности:

- поиск технической документации на разработку существующих приспособлений;
- поиск информации об имеющихся на складе приспособлениях или приспособлениях, задействованных в производстве;
- формирование заказа на производство и (или) поставку со склада (закупку у производителя) приспособления существующего типоразмера.

2.3. При отсутствии готовых приспособлений и (или) технической документации на них выполняют:

- поиск информации об аналогичных приспособлениях;
- при отсутствии приспособлений-аналогов – разработку принципиальных схем оригинальных приспособлений;
- разработку технического задания на создание оригинального приспособления или заказ универсального приспособления, удовлетворяющего требованиям.

Шаг 3. Выбор режущего и вспомогательного инструмента.

Шаг 4. Выбор средств механизации и автоматизации технологического процесса и внутрицеховых транспортных средств:

4.1. Выбор:

- устройств механизированной или автоматизированной загрузки заготовок на станки и разгрузки их;
- межоперационных транспортных средств;
- бункерных и магазинных устройств и накопителей;
- средств автоматического контроля и др.

4.2. Определение целесообразности использования средств механизации и автоматизации на основе расчета технико-экономических показателей.

4.2. Заказ новых средств технологического обеспечения, в том числе средств контроля и испытаний, учитывая метрологические и требования стандартов при проведении испытаний.

Шаг 5. Дифференцирование и уточнение переходов в операции.

5.1. Проектирование технологических переходов.

Структура перехода для одной и той же поверхности может быть различной. Например, точение торца может производиться с помощью продольной, поперечной подач или комбинированным способом на предварительно настроенном станке или методом пробных проходов. В зависимости от выбранного способа выполнения перехода будут различными тип режущего инструмента, характер основных и вспомогательных приемов и их последовательность, т. е. структура перехода. В связи с этим при обработке каждой поверхности возникает задача проектирования и выбора наиболее рационального варианта структуры и параметров перехода.

Исходные данные:

- схема установки детали, сведения о жесткости основных узлов технологической системы, ряды частот вращения шпинделя и величин подач станка, мощность главного привода, допустимое усилие подачи, размеры посадочных мест для режущих инструментов;
- таблица промежуточных состояний детали, описывающая форму, размеры, точность и механические свойства обрабатываемых поверхностей к моменту выполнения перехода;
- требуемая форма, размеры, точность и шероховатость поверхности после выполнения перехода.

Техническими ограничениями, определяющими возможные варианты структуры и содержание перехода, являются применяемые на заводе способы выполнения перехода каждого вида, ограничительные перечни режущего, вспомогательного и мерительного инструментов. Общая задача проектирования перехода разбивается на три части. В первой, исходя из технических ограничений, определяются допустимые способы обработки поверхности и типоразмеры режущего, вспомогательного, мерительного инструмента, а во второй – соответствующий им граф допустимых вариантов структуры перехода. В третьей части на основе анализа графа производится выбор наиболее рационального варианта элементов технологической системы, структуры и параметров перехода. В соответствии с этим для различных переходов установлена следующая типовая последовательность:

- выбор допустимых способов выполнения перехода;
- определение типоразмеров режущего инструмента;
- выбор вспомогательного инструмента;
- выбор измерительного инструмента;

- определение допустимых вариантов структуры перехода;
- расчет режимов резания и определение основного времени для каждого варианта перехода;
- определение времени выполнения вспомогательных приемов для каждого варианта структуры перехода;
- выбор наиболее рациональной структуры перехода и элементов технологической системы;
- формирование описаний перехода для записи в технологическую карту.

5.2. Формирование допустимых вариантов структуры операции: окончательный выбор состава переходов, определение последовательности установок и переходов в операции, детальное уточнение последовательности переходов в операции.

Шаг 6. Уточнение технологического маршрута.

Шаг 7. Определение формы и межоперационных размеров заготовки, поступающей на операцию.

7.1. Назначение припусков расчетно-аналитическим или опытно-статистическим методами.

7.2. Расчет межоперационных размеров и допусков на них.

7.3. Проверка возможности получения детали из ранее спроектированной заготовки. При неудовлетворительном результате – корректировка размеров заготовки.

7.4. Назначение напусков на заготовку (в случае, если заготовка проектируется технологом механического цеха из-за невозможности использовать стандартизированную заготовку).

Шаг 8. Назначение и расчет режимов обработки.

Алгоритм определения режимов резания (методом расчета по эмпирическим формулам или путем выбора по нормативам) включает:

- определение нормативной подачи и значений подач, допустимых ограничивающими условиями;
- корректировка значения подачи в соответствии с паспортом конкретной модели станка;
- определение нормативного периода стойкости инструмента;
- вычисление нормативной скорости резания, определяемой выбранным периодом стойкости, а также значений скоростей по ограничивающим условиям (мощности и крутящему моменту);

- корректировка расчетных значений величины скорости, определение частоты вращения шпинделя станка;
- определение основного технологического времени.

Примечание. Как правило, режимы резания рассчитываются при проектировании переходов, однако на уровне операций имеются сведения, относящиеся к операции в целом, что часто приводит к необходимости их пересчета. Например, проектирование многоинструментальной обработки и связанных с ней режимов обработки возможно лишь на уровне проектирования операции.

Шаг 9. Составление схем наладок инструментов.

Шаг 10. Разработка операций технического контроля:

- определение номенклатуры контролируемых параметров качества детали и этапа ТП, после или перед которым необходим контроль этих параметров;
- определение средств контроля;
- определение доли деталей, подвергаемых окончательному, а в случае необходимости – промежуточному контролю.

Примечание. Наличие отдельного рабочего места контролера не исключает контроль результатов обработки на рабочем месте самим рабочим или средствами автоматического контроля. Контроль на стадии проектирования технологического процесса по обеспечению требуемых чертежом допусков линейных и угловых размеров может осуществляться на основе размерного анализа.

Шаг 11. Выбор вероятностно-статистических методов оценки качества и стабильности ТП.

Все действия, выполняемые на данном этапе, лишь детализируют этап разработки маршрута ТП, так как они с некоторой степенью детальности уже были выполнены на этапе разработки маршрутной технологии.

Этап 7. Нормирование технологических операций

Основные документы, необходимые для решения задач на этом этапе:

- нормативы норм времени и расхода материала;
- методика нормирования технологических операций;
- классификаторы разрядов работ и профессий;
- дифференцированные нормативы времени (для установления расчетных и других уточненных норм).

На рис. 1.15 представлена схема действий при нормировании технологических операций.

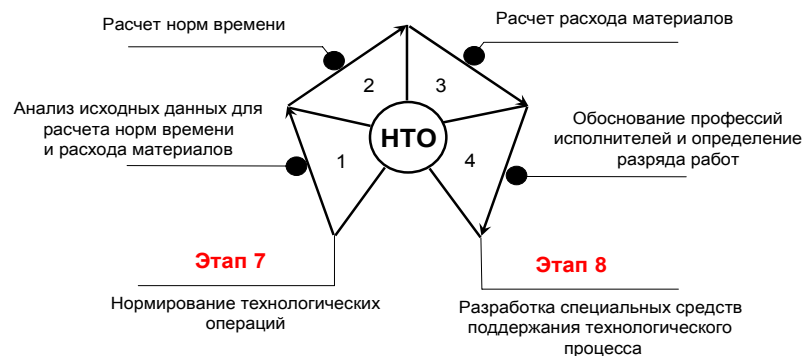


Рис. 1.15. Схема последовательности действий при нормировании технологических операций

Шаг 1. Анализ исходных данных для расчетов норм времени и расхода материалов.

Шаг 2. Расчет и нормирование затрат труда на выполнение процесса: расчет норм времени и сопоставление их с тактом работы (в поточном производстве).

Шаг 3. Расчет норм расхода вспомогательных материалов (здесь масса материала, из которого изготавливается сама деталь, не анализируется) и потребности в энергоресурсах (электроэнергии, воде, сжатом воздухе и др.).

Шаг 4. Определение разряда работ и обоснование профессий исполнителей для выполнения операций в зависимости от их сложности.

Примечание. На данном этапе обычно производится лишь количественная оценка затрат времени (или материальных ресурсов) на производство одной детали. По сути, здесь производится первая часть экономических расчетов, которые уже не относятся к кругу основных задач технолога. Однако цель данного этапа не должна трактоваться узко, поскольку данный этап является последним из этапов построения технологии, на которых технолог является наиболее квалифицированным специалистом в смысле принятия решений, имеет всю информацию в законченном виде и знает ее истоки. Последующие технико-экономические расчеты лучше выполнит экономист, чем технолог. Поэтому основная цель настоящего этапа – использовать полученную информацию о трудовых и материальных затратах для совершенствования технологического процесса, а именно для разработки высокопроизводительных экономически оправданных операций.

Этап 8. Разработка специальных средств поддержки технологического процесса

На рис. 1.16 представлена схема последовательности действий при разработке специальных средств поддержания технологического процесса.

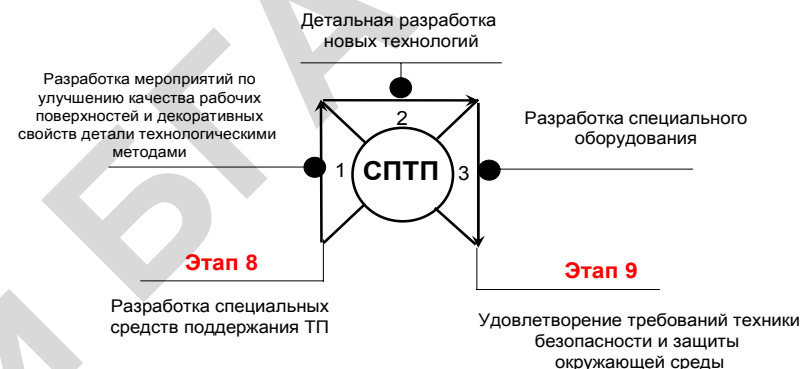


Рис. 1.16. Схема последовательности действий при разработке специальных средств поддержки технологического процесса

Шаг 1. Разработка мероприятий по улучшению качества рабочих поверхностей, долговечности и декоративных свойств детали технологическими методами.

1.1. Выбор методов улучшения.

1.2. Разработка технологических операций упрочнения поверхностей и других операций.

1.3. Проектирование для вышеуказанных операций:

- технологического оборудования и оснастки;
- режимов обработки;
- оборудования и режимов для испытаний или контроля.

1.4. Расчет технико-экономической эффективности внедрения мероприятий.

Шаг 2. Детальная разработка новых технологий.

Здесь необходимо детально и в полном объеме провести все работы, включенные в предыдущие этапы.

Шаг 3. Разработка специального оборудования:

- нестандартных средств автоматизации и механизации ТП;
- нестандартного режущего, вспомогательного и мерительного инструментов;
- нестандартных приспособлений.

Примечание. Разработку конструкции оснастки необходимо сопровождать расчетами усилия зажима, прочности, жесткости, точности базирования и закрепления. Следует разработать также инструкцию по наладке данной оснастки на станке и правилам ее эксплуатации с учетом охраны труда и промышленной санитарии.

Этап 9. Разработка требований охраны труда

Основные документы, необходимые для решения задач этого этапа:

- стандарты ССБТ (система стандартов безопасности труда);
- инструкции по технике безопасности и производственной санитарии.

Разработка требований, выбор методов и средств защиты окружающей среды.

Примечание. Невыполнение требований данного этапа может привести к запрещению производства органами госнадзора.

Этап 10. Расчет экономической эффективности технологического процесса

Основные документы, необходимые для решения задач этого этапа:

- методика расчета экономической эффективности процессов.

Выбор технологического процесса из представленных вариантов.

На данном этапе производится оценка себестоимости и оптимальности вариантов ТП. Но часто в реальных условиях производства может оказаться, что выбранный по указанным критериям оптимальности вариант ТП является неприемлемым. Одна из причин этого – необходимость учета особенностей сложившейся организации производства. Пример ситуации: спроектированный процесс требует использования специального оборудования, не имеющегося на предприятии, покупка его также невозможна, но деталь может быть получена на другом оборудовании с более высокой себестоимостью обработки (не превышающей предельной величины, при которой отсутствует прибыль от производства). В результате будет использован «худший» вариант ТП. Такой вариант технологического процесса обычно называют производственно-оптимальным. Следовательно, в методике выбора оптимального ТП должна быть заложена возможность учета организационных особенностей реального производства. Цель – предоставить «организаторам производства» возможность выбора «наилучшего» варианта процесса производства детали из ограниченного набора наиболее технологически выгодных вариантов.

Примечание. Этот этап обычно приводит к принятию решения о выборе конкретного варианта техпроцесса, поэтому в той или иной степени детализации данный этап может быть задействован на любом этапе проектирования ТП, если необходимо произвести отбор вариантов ТП. Однако количественные соотношения при проведении анализа ТП на различных этапах проектирования могут отличаться по уровню детализации.

Этап 11. Оформление технологических процессов и управляющих программ для станков с ЧПУ

Основные документы и системы, необходимые для решения задач на этом этапе:

- руководства по разработке управляющих программ для каждого из станков с ЧПУ;
- стандарты ЕСТД;
- САПР управляющих программ для станков с ЧПУ.

На рис. 1.17 представлена схема действий при оформлении технологической документации.

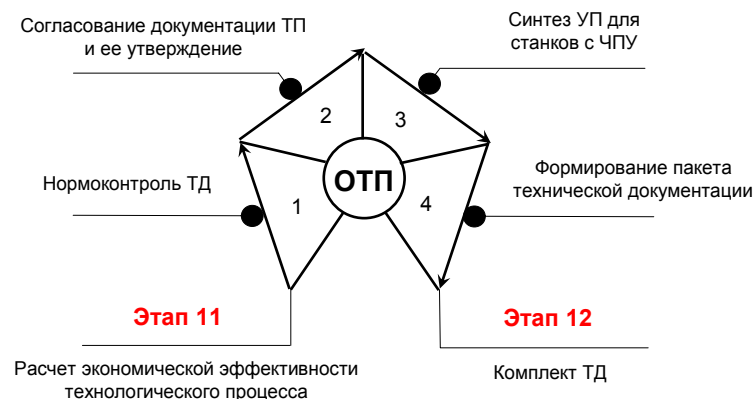


Рис. 1.17. Схема последовательности действий при оформлении технологических процессов и (или) управляющих программ для станков с ЧПУ

Шаг 1. Нормоконтроль технологической документации.

Шаг 2. Согласование документации технологических процессов со всеми заинтересованными службами и ее утверждение.

Шаг 3. Синтез управляющих программ для станков с ЧПУ.

Шаг 4. Формирование пакета технической документации:

- вычерчивание чертежей детали и заготовки;
- вычерчивание карт наладок;
- печать технологических и операционных карт;
- вычерчивание карт операционных эскизов;
- вычерчивание рабочих чертежей нестандартных приспособлений, режущего и вспомогательного инструментов;
- вывод УП на программоноситель;
- печать ведомостей технологического процесса, норм расхода материала, оборудования, оснастки и т. п.

Приведенная последовательность этапов служит основой построения алгоритмов автоматизированного проектирования и является условной, так как при проектировании любого ТП в условиях производства обычно необходимо несколько раз повторять отдельные этапы, то есть процесс проектирования технологических процессов является итерационным процессом. Это вызвано необходимостью получения в процессе проектирования недостающей информации, часть которой может не совпадать с первоначальными предположениями технолога. Алгоритмы автоматизированного проектирования ТП предусматривают использование интерактивно-алгоритмического метода, при котором в автоматическом режиме выполняются один или несколько шагов или этапов, затем на определенном шаге или этапе принимается решение пользователем в интерактивном режиме. Далее чередование режимов повторяется до получения проектного решения.

1.3. УРОВНИ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ. ФОРМАЛИЗАЦИЯ ПРОЦЕДУР ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

1.3.1. Уровни автоматизации проектирования технологических процессов

Задачи ТПП не имеют явно выраженных формальных методов решения. Вместе с тем, решение любой задачи на ЭВМ требует наличия аналитических или других видов зависимостей, отра-

жающих количественную, а не качественную сторону процесса проектирования.

Масштаб формализации при создании САПР ТП соответствует уровню автоматизации проектирования.

В зависимости от степени автоматизации проектных процедур различают три уровня автоматизации проектирования ТП:

Первый уровень автоматизации – автоматизация низкого уровня (до 25 %). Автоматизировано только оформление технологической документации (маршрутные, операционные карты и другие документы). Бланки технологических карт выводятся на экран монитора, а технолог в режиме диалога заполняет этот документ, используя заранее подготовленные формы, формулировки операций и переходов и сведения о технологическом оснащении, представляемые в электронном виде.

Второй уровень автоматизации – автоматизация среднего уровня (от 25 до 50 %). По сравнению с первым уровнем дополнительно создаются и используются базы данных, проектные и расчетные модули. Чем больше заполнена база данных, тем эффективнее начинает работать САПР ТП. Работа проектных модулей базируется на использовании информационно-поисковых систем (ИПС). При этом условия поиска формирует технолог, используя режим диалога на этапе ввода исходной информации и оценки промежуточных и окончательных решений.

Третий уровень автоматизации – автоматизация высокого уровня (свыше 50 %). Достигается при формировании расширенной базы данных. В этом случае становится возможным автоматизированное принятие сложных логических решений, связанных, например, с выбором структуры процесса и операций, назначением технологических баз и другими подобными задачами. Процесс принятия таких решений полностью автоматизировать не удастся, поэтому режим диалога частично остается и на третьем уровне автоматизации.

Расчетные модули (например, модули расчета припусков, расчета режимов резания и норм времени) начинают работать, когда сформированы базы данных с нормативно-справочной информацией (рис. 1.18).

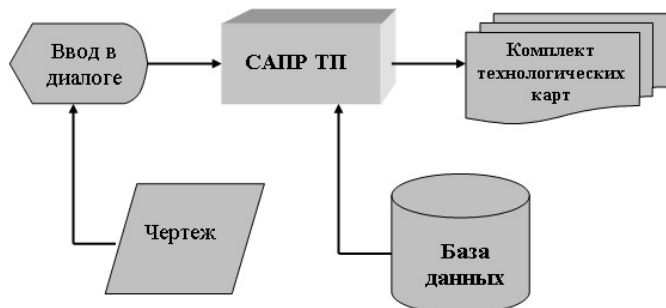


Рис. 1.18. Схема автоматизации проектирования ТП при ручном вводе информации о детали

Наибольший эффект от применения систем третьего уровня достигается при совместном использовании подсистем автоматизации конструирования изделий (САПР И) и технологического проектирования (САПР ТП). Для этого используются специальные программные комплексы конвертора, которые преобразуют графические модели детали, представленные в виде файлов формата передачи данных IGES или STEP (стандарт ИСО 10303) в массив данных о конструкторско-технологической информации о детали, необходимой для решения всего комплекса задач в рамках САПР ТП (рис. 1.19).

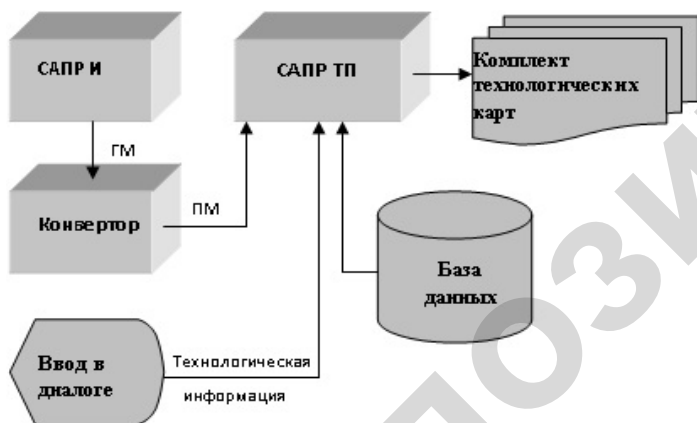


Рис. 1.19. Схема автоматизации проектирования ТП при использовании графических моделей деталей

1.3.2. Формализация задач технологического проектирования

Процесс «ручного» проектирования технологических процессов представляет собой ряд действий, с помощью которых инженер-технолог производит выбор элементов из рассматриваемых массивов различных технологических предметов, устанавливая между ними соответствия, формулируя переходы и технологические операции. Выбор оптимального процесса производится технологом путем сравнения нескольких вариантов процессов при введении оценок на элементы, составляющие его.

Для области технической науки «технология машиностроения» характерно:

- отсутствие строгих аналитических зависимостей;
- сложная логика суждений, сложная взаимосвязь отдельных задач;
- наличие огромных информационных потоков (станки, приспособления, инструменты, режимы обработки и др.).

Для решения задач автоматизации технологического проектирования с помощью ЭВМ необходимо провести формализацию технологии (или ее части).

Формализация – процесс замены (преобразования) содержательных предложений формулами, функциональными зависимостями и логическими соотношениями с целью создания алгоритмов и программ.

При этом форма и содержание технологических процессов может быть выражена с помощью аппарата математической логики, описана с использованием теории графов и теории множеств. Например, качественные отношения могут быть представлены количественными зависимостями с помощью логических функций.

Формализация задач превращает процесс технологического проектирования из процесса рассуждений и построения аналогии в процесс строгого расчета.

Задачи, которые необходимо решать при автоматизированном проектировании технологических процессов [3, 7]:

1. Ввод в ЭВМ формализованных сведений о детали в виде буквенно-цифровых массивов, содержащих описание ее материала, конфигурации, размерных связей, технических требований.
2. Ввод в ЭВМ сведений о наличном парке металлорежущего оборудования, заготовительном производстве, технических харак-

теристиках станков, режущем, вспомогательном и мерительном инструментах, станочных приспособлениях, ГОСТах, нормалях, необходимых руководящих и нормативных материалах. Разработать методы поиска необходимой информации в памяти машин, а также ее вывод в нужном виде, т.е. организовать информационно-справочную службу, которая могла бы обеспечить процесс проектирования необходимой справочной документацией.

3. Ввод в ЭВМ множества типовых решений и алгоритмов их выбора, на которые базируется процесс автоматизированного проектирования. Их также нужно описать формальным образом, организовать ввод, размещение в памяти ЭВМ и предусмотреть возможность оперативной работы с ними.

4. Вывод результатов проектирования в виде, удобном для технологов и рабочих-станочников.

Обобщенная модель системы преобразования входных данных и знаний о предметной области в выходную информацию можно представить в виде «черного ящика» (рис. 1.20).

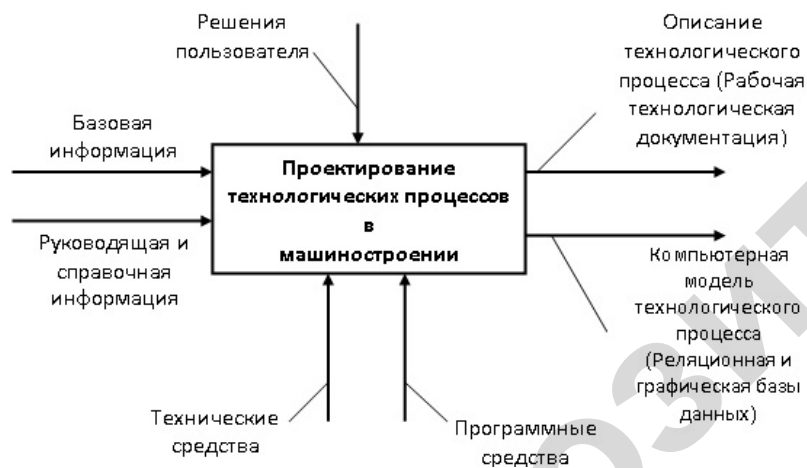


Рис. 1.20. Функциональная модель САПР технологических процессов

Входными данными в рассматриваемых системах являются конструктивное описание изделия на машинных носителях и (или) в форме конструкторской документации и различные виды руково-

дящей и справочной информации. Выходная информация во внутренней форме представляет собой машинную модель технологического процесса, а во внешней – технологическую документацию, оформленную в соответствии со стандартами.

Проведение расчетов или выполнение проектных задач на ЭВМ начинается с математической формулировки задачи и заканчивается решением задачи на ЭВМ и анализом результата.

Для формализации описания конструкторской информации используют два подхода:

- кодирование на базе известных классификаторов;
- использование специального проблемно ориентированного языка.

Пример кодирования на базе конструкторско-технологической классификации. В единую систему конструкторско-технологической классификации входят «Классификатор промышленной и сельскохозяйственной продукции» и «Технологический классификатор деталей машиностроения и приборостроения».

Процесс кодирования заключается в присвоении детали цифрового кода классификационной характеристики ее конструктивных признаков по «Классификатору промышленной и сельскохозяйственной продукции». Затем этот код дополняется кодами основных технологических признаков.

Для группирования необходимы еще такие признаки, как габариты детали, ее материал, вид заготовки.

Размерная характеристика также представляет собой обобщенный признак, кодирование которого зависит от конструкторского кода детали.

Примеры кодирования деталей в соответствии с указанными признаками и по технологическому процессу приведены в табл. 1.1–1.3.

Для разработки маршрутного технологического процесса иногда используется дополнительный технологический код:

- xx – вид исходной заготовки;
- xx – качество точности;
- x – шероховатость;
- x – характеристика элементов зубчатого зацепления;
- x – характеристика термической обработки;
- x – весовая характеристика.

Таблица 1.1

Фрагменты кодов размерной характеристики

Код	Наименьший наружный диаметр или ширина, мм	Код	Длина, мм	Код	Толщина или диаметр, мм
0	до 5	0	до 20	0	до 0,2
1	5–10	1	20–32	1	0,2–0,5
2	10–16	2	32–45	2	0,5–0,8

Таблица 1.2

Фрагменты кодирования группы материала

Код	Наименование материала	
01	Стали углеродистые с содержанием углерода, %	до 0,25
02		0,25–0,60
03		свыше 0,6

Таблица 1.3

Пример кодирования детали по виду технологического процесса

Код	Вид детали по технологическому процессу
1	Литье
2	Ковка, горячая штамповка
3	Холодная штамповка
4	Обработка резанием

Таким образом, на базе классификации формируется конструкторско-технологический шифр детали. Этот шифр может служить ключом для поиска детали аналога и типового технологического процесса на нее.

Однако для разработки операционного ТП необходимы подробные сведения о размерах всех элементов детали, о точности размеров, точности расположения элементарных поверхностей, шероховатости. Эти сведения описываются в таблицах кодированных сведений (ТКС) [11, 12].

Использование некоторых положений дискретной математики для решения задач технологического проектирования

Понятия теории множеств. Понятие множества является фундаментальным неопределяемым понятием, как и понятие точки или линии.

Под *множеством* понимают совокупность определенных вполне различаемых объектов x , рассматриваемых по некоторому признаку как единое целое: $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$.

Отдельные объекты x , из которых состоит множество X , называются *элементами* множества. Множество, не содержащее ни одного элемента, называется *пустым*.

Если любой элемент x , принадлежащий множеству X , принадлежит и множеству Y , то множество X называется *подмножеством* множества Y .

Множества, элементами которых являются числа, называются *числовыми*.

Структура технологического процесса – это множество его элементов и множество связей между ними: $S_{т.п} = \{V, S\}$. Здесь $V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ – множество элементов технологического процесса, $S = \{s_1, s_2, \dots, s_m\}$ – множество связей между элементами.

Понятия теории графов. *Графом* G называется совокупность множества V , элементы которого называются вершинами, и множества A упорядоченных пар вершин, элементы которого называются ребрами. Предполагается, что как множество V , так и множество A содержат конечное число элементов.

Граф обозначается как $G = (V, A)$, где $V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ и $A = \{a_{ij} / i, j \in V\}$, т. е. i, j являются элементами множества V .

Теория графов представляет собой раздел математики, имеющий широкое практическое применение при решении многих проблем в различных областях науки и техники.

Любой граф состоит из двух групп элементов: точек и линий, соединяющих эти точки. Точки будем называть *вершинами*, или *узлами*, графа, а линии – *ребрами*, если они не имеют направления, и *дугами*, если на них задано направление.

При графическом представлении графа вершины обозначаются кружками, ребра – отрезками прямых, дуги – отрезками прямых с направляющими стрелками. Как правило, вершины обозначаются

цифрами или буквами (например, $1, i, j$), ребра – либо парой вида (i, j) , либо a_{ij} , указывающей начальную и конечную вершину ребра.

Ребро с совпадающими начальной и конечной вершинами называется *петлей*.

Граф, в котором направления дуг не задаются, называется *неориентированным*. Граф, в котором направления дуг задаются, называется *ориентированным*. Граф, в котором имеются дуги и ребра, называется *смешанным*.

Подграфом G_A графа $G = (V, A)$ (x, y) называется граф, в который входит лишь часть вершин графа G вместе с соединяющими их дугами. Если любые две вершины графа соединены ребром или дугой, то граф называется *полным*.

На рис. 1.22 приведен пример неориентированного графа с множеством вершин $V = \{1, 2, 3, 4, 5\}$ и множеством ребер $A = \{a_{12}, a_{13}, a_{14}, a_{32}, a_{52}, a_{45}, a_{55}, a_{34}\}$.

Путем, маршрутом или *цепью* из узла i в узел j на графе называется последовательность вершин и ребер, в которой конечный узел каждой дуги является начальным узлом следующей (исключая начальную и конечную вершину последовательности). При этом одно и то же ребро может встречаться в маршруте несколько раз. Если в маршруте графа нет ребер, предшествующих некоторой вершине, то она называется *начальной вершиной* маршрута. Если нет ребер, следующих за некоторой вершиной, то такая вершина называется *конечной (висящей) вершиной* маршрута. Любая вершина графа, принадлежащая двум соседним ребрам, называется *внутренней*, или *промежуточной, вершиной*.

Пример пути из вершины 1 в вершину 4 (рис. 1.21): $1, a_{14}, 4; 1, a_{12}, a_{25}, a_{54}, 4$. Начальная вершина маршрута – 1, конечная вершина – 4. *Циклом* называется конечный путь, начальный и конечный узлы которого совпадают.

Деревом называется граф, не имеющий циклов (рис. 1.22). *Корнем* ориентированного дерева называется вершина, из которой ориентированные дуги могут только исходить.

Примеры представления структуры технологического процесса в виде графа и в виде дерева приведены на рис. 1.23 и 1.24 соответственно.

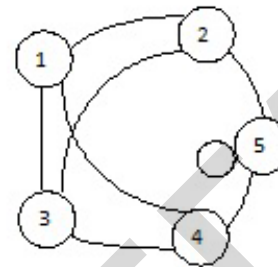


Рис. 1.21. Пример графа

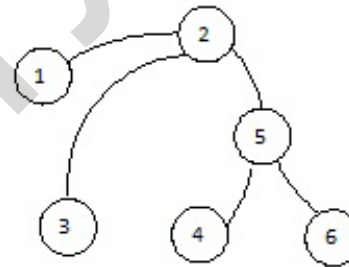


Рис. 1.22. Пример дерева

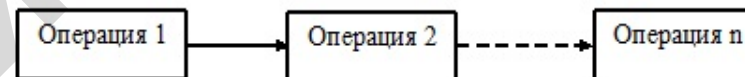


Рис. 1.23. Представление структуры технологического процесса в виде графа

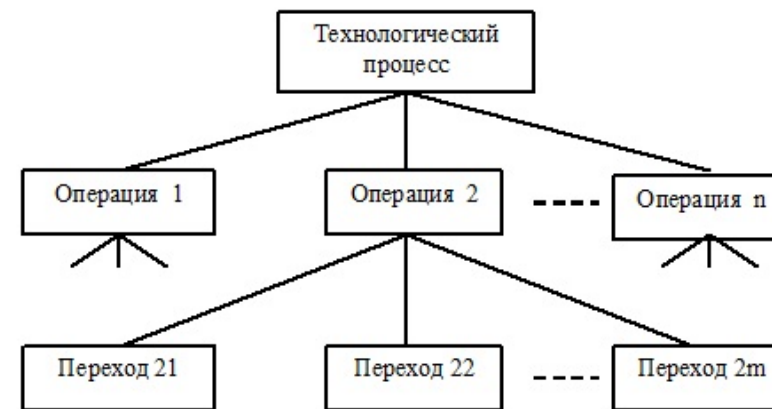


Рис. 1.24. Представление структуры технологического процесса в виде дерева

Массив операций обработки элементарных наружных поверхностей вращения

Стадия обработки	Операция	Код операции	Квалитет точности	Шероховатость Ra , мкм
I	Токарная черновая	1	12–16	12,5–40,0
II	Токарная получистовая	2	10–12	5,0–12,5
III	Токарная чистовая	3	8–11	2,5–5,0
	Шлифовальная черновая	4	8–10	1,6–2,5
IV	Токарная тонкая	5	7–9	0,8–1,6
	Шлифовальная чистовая	6	7–8	0,63–1,25
V	Шлифовальная тонкая	7	6–7	0,25–0,63
VI	Накатная	8	6–7	0,16–0,25
	Суперфинишная	9	5	0,063–0,08
	Полировальная	10	6	0,04–0,063

Чистовая обработка применяется либо как окончательный вид обработки (если точность укладывается в заданную чертежом), либо как промежуточная операция под последующую тонкую или отделочную обработку. Однократной чистовой обработке подвергают заготовки и поверхности, полученные точными методами (кокильное литье, штамповка по первой группе точности и т. п.).

Тонкая обработка резцами применяется для окончательной отделки наружных и внутренних цилиндрических поверхностей и заменяет шлифование. Выполняется при высоких скоростях резания, малых глубинах резания (0,05–0,50 мм) и малых подачах (0,05–0,15 мм/об) на специальных станках. Тонкое точение (расточивание и обтачивание) обеспечивает высокую точность при незначительной шероховатости цилиндрических, конических, сферических, плоских торцевых и фасонных поверхностей вращения. Сущность тонкого растачивания или обтачивания заключается в снятии

Рассмотрим анализ различных вариантов маршрутов обработки элементарных поверхностей на примере формирования *технологического маршрута обработки наружной поверхности вращения*.

Применительно к таким поверхностям удобно использовать понятие «*стадия обработки*», под которым понимается укрупненная группа операций, включающая однородную по характеру, точности и качеству обработку элементарных поверхностей. Это понятие может быть отнесено и к детали в целом.

Проектирование общего маршрута обработки детали начинается обычно с установления методов обработки отдельных ее поверхностей и их последовательности.

При выборе метода обработки необходимо исходить из технологических возможностей типовых методов обработки конкретных видов поверхностей в части:

- обеспечения точности и качества поверхности;
- величины снимаемого припуска;
- затрат времени на обработку.

Для наружной поверхности вращения можно выделить 6 стадий механической обработки:

- I – черновая операция,
- II – получистовая,
- III – чистовая
- IV – тонкая,
- V – отделочная,
- VI – доводочная операция.

Выбор конкретного метода обработки производят с помощью таблиц средней экономической точности различных методов обработки (табл. 1.4).

Черновое точение применяют для обработки поверхностей с припуском свыше 5 мм. При этом величина макроотклонений составляет 160–500 мкм на 1 м длины.

Получистовое точение применяют для повышения точности, уменьшения погрешностей геометрической формы и пространственных отклонений (80–200 мкм на 1 м длины), в качестве окончательной обработки после чернового точения либо как метод промежуточной обработки перед последующей чистовой обработкой.

стружки очень малого сечения при высоких скоростях резания. Скорость резания при тонком точении находится в пределах 100–1000 м/мин в зависимости от обрабатываемого материала. Для чугунных заготовок она составляет 100–150 м/мин, для стальных – 150–250 м/мин, а для заготовок из цветных сплавов до 1000 м/мин и выше. Подача при обработке устанавливается для предварительного прохода 0,15 мм/об, а для окончательного прохода – 0,01 мм/об. Глубину резания принимают 0,2–0,3 и 0,05–0,01 мм соответственно. Тонкое растачивание широко применяется для обработки точных отверстий под подшипники качения и скольжения: отверстий в коробках передач, задних мостах, шатунах, цилиндрах двигателей, компрессорах и т. д. Тонкое обтачивание применяется реже, например, для обработки поршней автотракторных двигателей и т. п. Тонкая обработка резцами часто применяется перед такими операциями, как хонингование, суперфиниширование, полирование.

Для элементарных поверхностей обычно стадии обработки совпадают с операцией или переходом. Причем число операций, обеспечивающих близкие по значению требования качества изготовления детали, в пределах одной стадии может быть различным (см. табл. 1.4).

Анализ приведенных данных показывает, что для достижения определенной точности и шероховатости элементарной поверхности могут быть использованы различные технологические маршруты. Для их описания воспользуемся методами теории графов. В этом случае технологический маршрут обработки элементарной наружной поверхности вращения может быть представлен в виде графа (рис. 1.25), в вершинах которого отражены характеристики точности и шероховатости, а ребра сопоставлены с кодами операций (см. табл. 1.4).

Подобные графы разрабатываются на основе общих правил построения маршрутов обработки типовых элементарных поверхностей, известных из технологии машиностроения. Так, при использовании операции накатывания (код 8) отпадает необходимость в выполнении операции тонкого шлифования (код 7), что позволяет перейти в этом случае сразу от IV стадии к VI.

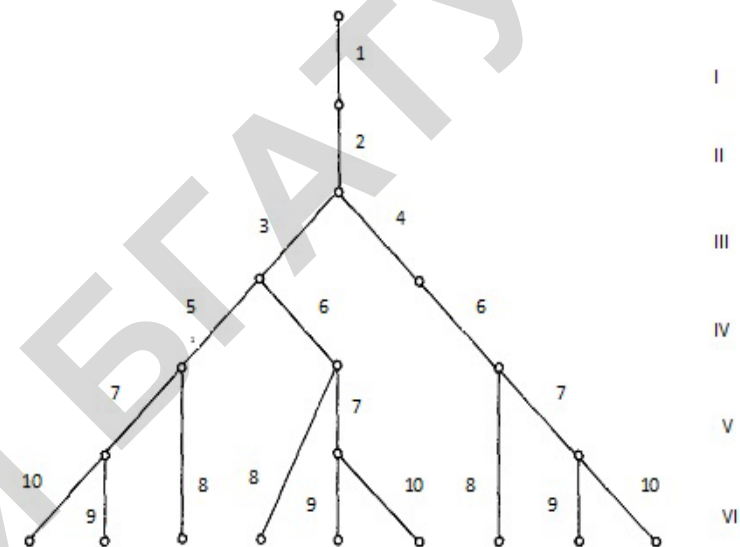


Рис. 1.25. Граф технологического маршрута обработки элементарной наружной поверхности вращения

Общее количество возможных вариантов обработки рассматриваемого типа поверхности, как видно из рис. 1.26, не превышает девяти, и поэтому выбор оптимального варианта может быть получен их перебором.

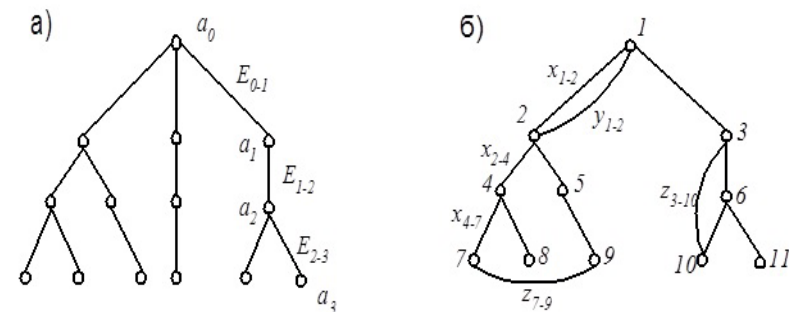


Рис. 1.26. Графы размерных связей типа «дерево» (а) и «мультиграф» (б)

Пример технологического анализа конструкторской документации

Размерные связи машиностроительных деталей можно представить графом, вершины которого обозначают элементарные поверхности, а ребра – размерные связи между ними [7]:

$$G = (A, E),$$

где $A = \{a_i\}$ – множество поверхностей детали;

$E = \{E_{ij}\}$ – множество размеров, связывающих поверхности $E_{ij} = \{a_i, a_j\}$.

Размерная цепь – это расположенная по замкнутому контуру совокупность размеров, влияющих на точность одного из размеров контура. Ввиду того, что замыкающее звено непосредственно при механической обработке не выполняется и представляет собой результат формирования всех остальных звеньев цепи, то граф размерных связей детали в одном координатном направлении является *деревом* (рис. 1.26, а).

Если на чертеже детали имеются размерные связи более чем в одном координатном направлении, то граф, которым они описываются, называется *цепью* или *мультиграфом* (рис. 1.26, б). На этом рисунке ребра x_{1-2} , x_{2-4} , y_{1-2} , z_{3-10} и другие обозначают размерные связи между элементами детали по координатам X , Y , Z . На графе можно выделить несколько ветвей – маршрутов графа.

Чертежи деталей являются исходными документами для проектирования технологических процессов. Рабочий чертеж с технологической точки зрения должен удовлетворять двум условиям, которые касаются правильности построения размерных цепей деталей. Эти условия можно сформулировать следующим образом:

1. Чертеж детали должен давать однозначную и исчерпывающую характеристику детали, точно и четко отображать те требования, которые предъявляются к детали со стороны конструкции узла и требований взаимозаменяемости.

2. Чертеж не должен ограничивать технологических возможностей выбора различных вариантов технологического процесса.

При выполнении анализа конструкторской документации технологом должен быть решен целый комплекс задач, в том числе:

– преобразование конструкторской документации в форму, удобную для принятия технологических решений;

– проверка правильности простановки размеров и технических требований на чертежах.

В процессе выполнения первой задачи необходимо произвести формализацию описания деталей и их поверхностей, для чего:

1) отнести данную деталь к соответствующему классу, подклассу и группе;

2) выделить на чертежах деталей комплексы поверхностей, образующих основные и вспомогательные базы, исполнительные поверхности и наметить размерные связи между ними;

3) разделить все поверхности на две группы: обрабатываемые резанием, и поверхности, формообразование которых завершилось на стадии заготовительных операций (литье, обработка давлением и т. д.);

4) произвести классификацию всех поверхностей согласно классификатору;

5) оценить необходимую точность и шероховатость поверхностей каждой классификационной группы;

6) выделить поверхности, для которых заданы дополнительные требования к точности относительного расположения.

Такое преобразование конструкторской документации позволяет принимать решения не по каждой отдельной поверхности, а по группам однородных поверхностей.

На рабочих чертежах деталей из литых и получаемых обработкой давлением заготовок, часть поверхностей которых подвергается обработке резанием, проставляют две группы размеров.

1. Размеры, связывающие поверхности, которые полученные в окончательном виде на заготовительных операциях. Такие размеры и поверхности называют исходными.

2. Размеры, связывающие поверхности, окончательное формообразование которых завершается на стадии обработки резанием.

Эти две группы поверхностей должны быть связаны между собой только одним размером в каждой из координатных осей.

Для выполнения второй задачи – проверки правильности простановки размеров на чертежах – можно воспользоваться графами размерных связей и соответствующими матрицами. Граф на плоскости изображается множеством соответствующих поверхностям вершин, соединенных ребрами, каждое из которых обозначает размер, связывающий две поверхности.

Граф размерных связей строится для каждой из координатных осей. На рис. 1.27 приведен пример проверки правильности простановки размеров по оси Z с помощью графа размерных связей [3 – 6].

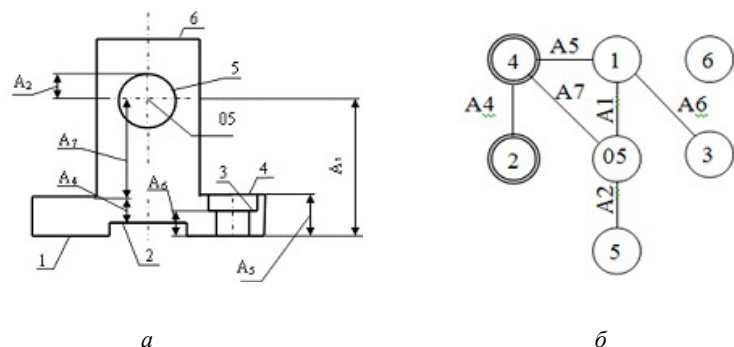


Рис. 1.27. Исходные эскиз детали (а) и граф размерных связей (б)

Необрабатываемые, исходные, поверхности на эскизе обозначены цифрами 2 и 4, а обрабатываемые – 1, 3, 5 и 6. Штриховка на эскизе не показана, чтобы не затемнять изображение. На графе размерных связей исходные поверхности отмечены двойной окружностью. Номер внутри окружности соответствует номеру поверхности. Есть определенные особенности в обозначении на графах симметричных поверхностей, например, тел вращения. Такие поверхности на графах обозначаются двумя вершинами, одна из которых представляет собой ось симметрии, а другая – условную поверхность, номер которой состоит из символов O и N , где N – номер поверхности.

При правильной простановке размеров граф должен соответствовать следующим требованиям:

1. На графе нет оторванных групп вершин (если они есть, то это значит, что не хватает размеров или технических требований).
2. На графе нет замкнутых контуров (циклов). Если такие контуры присутствуют, то это значит, что проставлены лишние размеры.
3. Группы исходных и обработанных поверхностей имеют только одно общее ребро.

Анализируя граф (рис. 1.27, б), отображающий способ простановки размеров детали по оси Z, можно прийти к выводу, что при простановке размеров допущены 3 ошибки:

1. Имеются обособленные (оторванные) вершины (вершина б оторвана от общего графа).

2. Между исходными и обработанными поверхностями существует несколько связей (ребра A_5 и A_7).

3. На графе имеется замкнутый контур (цикл) 1 – 4 – 05, чего быть не должно.

Если, как в данном случае, в простановке размеров обнаружены ошибки, необходимо их устранить, разработав новую схему простановки размеров и соответствующий ей граф (рис. 1.28) с сохранением всех обозначений размеров и поверхностей.

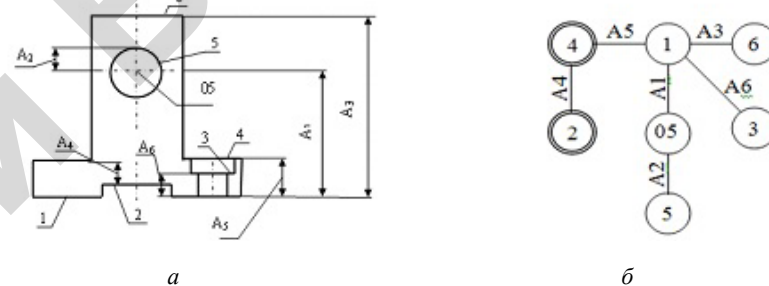


Рис. 1.28. Исправленные эскиз детали (а) и граф размерных связей (б)

На рис. 1.29 представлен только один из возможных вариантов исправления схемы простановки размеров на рабочих чертежах деталей и соответствующего графа размерных связей. Обрабатываемые поверхности на чертежах обозначают знаком шероховатости. На графе исходные (необрабатываемые) поверхности показаны двойной окружностью, а обрабатываемые – одной. Симметрично расположенные поверхности, в данном случае поверхности вращения, обозначаются двумя вершинами, одна из которых – ось симметрии.

Как видно из исправленного графа, новая простановка размеров позволила избежать ошибок, обнаруженных при анализе, а именно:

- 1) на новом графе в связи с введением размера A_3 , вершина б перестала быть оторванной;
- 2) исчез цикл 1 – 4 – 05, так как был снят излишний размер A_7 ;
- 3) из-за исчезновения ребра A_7 группы обрабатываемых и необрабатываемых поверхностей имеют только одно общее ребро.

Графическое представление размерных связей в виде графа удобно и наглядно для человека. Однако для ЭВМ требуется математическое представление графов. Для этого графическая информация преобразуется в матрицу смежности. Квадратная таблица вида $R_{(x,y,z)}^{cm} = \|v_{i,j}\|_{m \times m}$ называется матрицей смежности размерных связей детали, если ее элементы рассчитываются по формуле

$$v_{i,j} = \left\{ \begin{array}{l} A(T) \\ 0 \end{array} \right\},$$

где $A(T)$ – соответствующий линейный размер и численное значение допуска на него; может в свою очередь иметь метку 1 или 2.

Причем, $A(T)$, если вершина \bar{n}_i соединена с \bar{n}_j ребром, и 0 – в противном случае. Таким образом, в общем виде матрица смежности поверхностей имеет вид:

$$R_{(x,y,z)}^{cm} = \begin{array}{c|cccccc} & \bar{n}_1 & \bar{n}_2 & \dots & \bar{n}_i & \bar{n}_m \\ \hline \bar{n}_1 & 0 & A_{1,2} & \dots & A_{1,i} & A_{1,m} \\ \bar{n}_2 & A_{1,2} & 0 & \dots & 0 & A_{2,m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \bar{n}_i & A_{1,i} & 0 & \dots & 0 & A_{i,m} \\ \bar{n}_m & A_{1,m} & A_{2,m} & \dots & A_{m,j} & 0 \end{array}$$

Строки и столбцы матрицы $R_{(x,y,z)}^{cm}$ соответствуют вершинам графа. На пересечении i -той строки и j -того столбца ставится элемент $r_{i,j}$, соответствующий численному значению допуска на размер, соединяющий вершины \bar{n}_i и \bar{n}_j . Метка 1 присваивается тому элементу матрицы, который соединяет между собой обрабатываемые вершины. Метка 2 присваивается элементу матрицы в случае, когда соединяются между собой необрабатываемые вершины и если ребро соединяет вершины, обозначающие обрабатываемую и необрабатываемую поверхности.

На рис. 1.29 представлены матрицы смежности размеров детали, эскиз которой показан на рис. 1.27 а.

	1	2	3	4	5	05	6		1	2	3	4	5	05	6
1	0	0	A ₆	A ₅	0	A ₁	A ₃	1	0	0	1	2	0	1	1
2	0	0	0	A ₄	0	0	0	2	0	0	0	2	0	0	0
3	A ₆	0	0	0	0	0	0	3	1	0	0	0	0	0	0
4	A ₅	A ₄	0	0	0	0	0	4	2	2	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	A ₂	0	5	0	0	0	0	0	1	0
05	A ₁	0	0	0	A ₂	0	0	05	1	0	0	0	0	1	0
6	A ₃	0	0	0	0	0	0	6	1	0	0	0	0	0	0

Рис. 1.29. Матрицы смежности размерных связей детали (см. рис. 1.27 а): а – в общем виде; б – с присвоением меток 1 и 2

Рассмотрим вариант оценки правильности простановки размеров на чертеже с помощью матриц смежности. Для этого необходимо проверить следующее:

1. Число вершин на графе должно быть на единицу больше числа ребер, т. е. должно выполняться условие $KI/2 = m - 1$, где KI – сумма строк и столбцов, не равных 0.

Если $KI/2 < m - 1$, то на чертеже детали недостаточно линейных размеров. Если $KI/2 > m - 1$, то на чертеже $KI/2 - m + 1$ лишних размеров.

2. На графе не должно быть, как отмечалось ранее, оторванных вершин, т. е. в матрице не должно быть нулевой строки или столбца (рис. 1.30 б, строка и столбец 2).

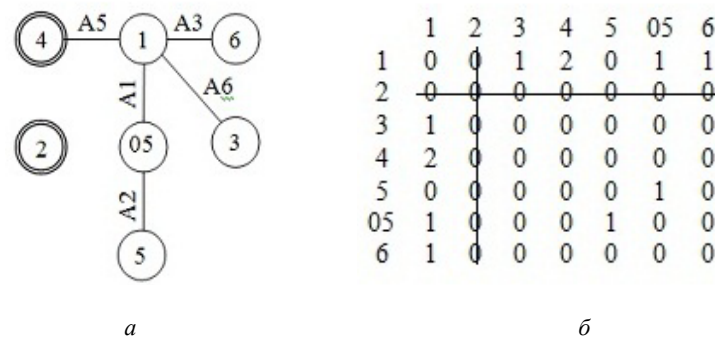


Рис. 1.30. Пример проверки условия на «оторванные» вершины: а – модифицированный граф; б – матрица смежности

3. На графе должна быть единственная связь между комплексами обрабатываемых и необрабатываемых поверхностей. Это значит, что строки или столбцы матрицы, соответствующие номерам обрабатываемых поверхностей, должны иметь единственный элемент с меткой 2, а необрабатываемые – с меткой 1 (рис. 1.31 *a*), строки и столбцы 1 и 05 (рис. 1.31 *б*).

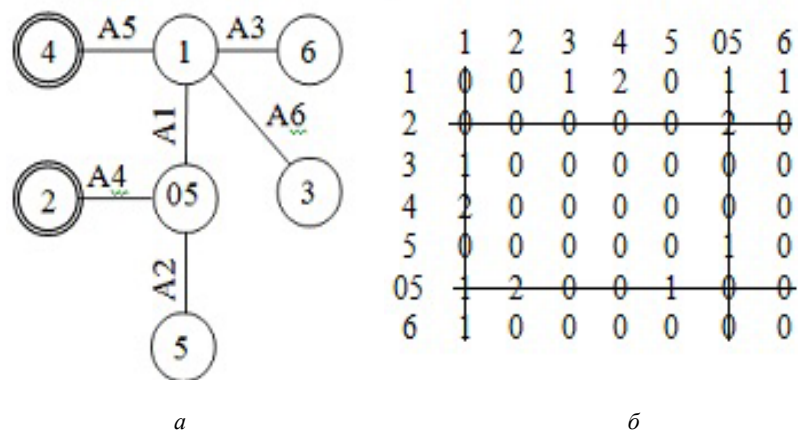


Рис. 1.31. Пример проверки условия на отсутствие лишних связей между комплексами обрабатываемых и необрабатываемых поверхностей: *a* – граф линейных размеров; *б* – строки и столбцы в матрице смежности с меткой 2

4. На графе не должно быть замкнутых контуров. Для проверки этого условия в строке (столбце) матрицы отыскивают единственные ненулевые элементы (рис. 1.32, *a*, *б*). Далее эти строки (столбцы) обнуляются, т. е. в графе отсекаются вершины (рис. 1.32, *в*, *г*). В результате появляется новая матрица, в которой соответствующие элементы строк (столбцов) нулевые.

В новой матрице вновь производится обнуление конечных ветвей и т.д. Поиск прекращается при получении на двух последних шагах двух одинаковых матриц (рис. 1.32, *д*, *е*).

На основании проведенного графического (с использованием графа размерных связей) и математического (с помощью матрицы смежности) анализа делается заключение о правильности назначения размеров.

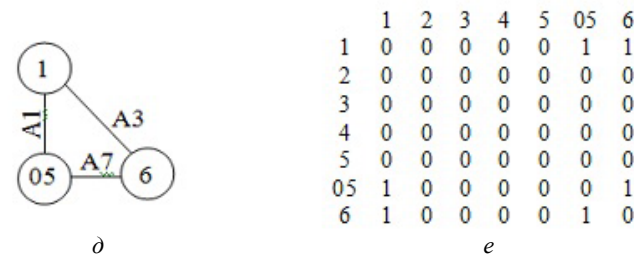
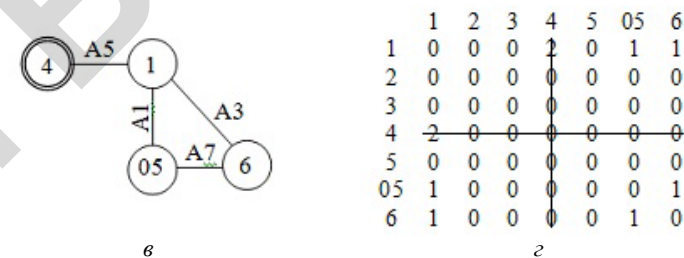
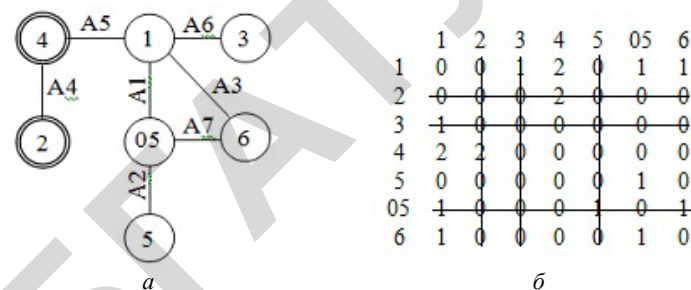


Рис. 1.32. Пример выявления замкнутого контура (цикла) с помощью графа и матрицы смежности:

a – граф линейных размеров с замкнутым контуром; *б* – строки (столбцы) в матрице смежности с единственным ненулевым элементом; *в* – граф с отсеченными вершинами; *г* – матрица смежности с обнуленными единственными ненулевыми элементами; *д* – замкнутый контур на графе; *е* – матрица смежности после обнулений, соответствующая замкнутому контуру на графе

Аналогичный анализ может быть проведен для размеров, поставленных в других координатных направлениях.

Использование теории графов для анализа размерных связей деталей при разработке технологического маршрута

На основе графа может быть сформирована формализованная модель геометрической структуры детали [3]. Для этого необходимо, чтобы исходная геометрическая информация о детали была полностью описана в цифровой форме. Отсюда следует, что задача построения формализованной модели геометрической структуры детали сводится к распознаванию ее размерных связей в таблице кодированных сведений и построению матрицы смежности соответствующего графа.

При неавтоматизированном проектировании для распознавания размерных связей технолог визуально анализирует параметры точности, выявляет необходимые связи между ними, производит анализ размерных цепей и их перерасчет, исходя из конкретных условий, назначает технологический процесс изготовления детали.

В условиях автоматизированного проектирования процесс построения формализованной модели структуры детали производится путем анализа информации, содержащейся в таблице кодированных сведений, заполненной согласно принятой для данной САПР ТП системы кодирования (языка описания детали). Для решения рассматриваемой задачи ТКС должна содержать определенный набор реквизитов (сведений), которые необходимы для построения формализованной модели. К таким реквизитам, описывающим положение отдельной поверхности в общей конструкции детали, относятся:

- номер элемента (НЭ),
- код элемента (КЭ),
- номер базы (НБ),
- размеры (X, Y, Z),
- верхнее отклонение размера (ВО),
- нижнее отклонение размера (НО).

В результате выборки из ТКС формируется таблица, являющаяся исходной для алгоритма формирования графа размерных связей детали. Эта таблица представляет двумерный массив $M(m, n)$, где $m = 6$ – число реквизитов, описывающих положение i -й поверхности; n – количество поверхностей детали.

В качестве примера рассмотрим построение графа размерных связей в координатном направлении Z для детали «вал» (рис. 1.33). По вышеизложенным правилам для этой детали составлена таблица выборки сведений из ТКС (табл. 1.5).

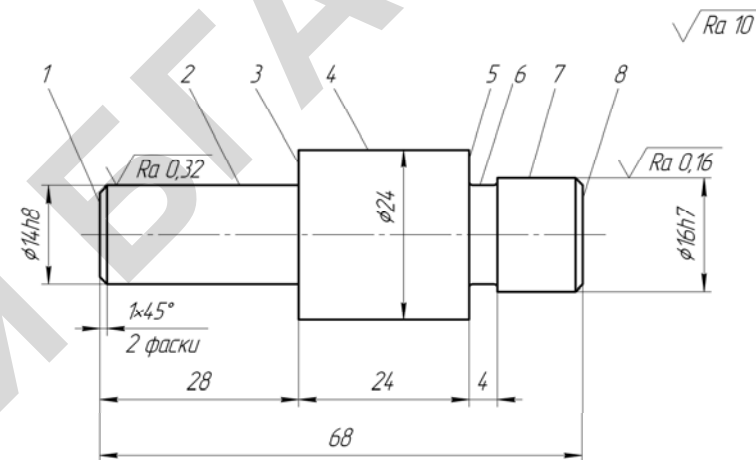


Рис. 1.33. Эскиз детали типа «вал»

Таблица выборки сведений из ТКС по оси Z

Таблица 1.5

НЭ	КЭ	НБ	Z	ВО	НО
1		1			
2		1			
3		1	-28		
4		3			
5		3	-24		
6		5			
7		5			
8		1	-68		

Чтобы построить граф размерных связей детали в автоматизированном режиме, необходимо сформировать матрицу смежности. Для ее построения следует из множества поверхностей детали выделить базовую поверхность, которую принимает пользователь

в качестве начальной вершины графа. Данная задача является достаточно важной, так как от нее зависит структура формализованной модели. При этом необходимо учитывать правила построения технологических процессов. Одно из таких правил определяет необходимость подготовки в первую очередь технологических установочных баз. Поэтому в качестве начальной вершины графа размерных связей используются поверхности, служащие технологическими установочными базами и обрабатываемые на первой операции. Это условие при автоматизированном проектировании должно быть обязательно проверено.

Алгоритм формирования графа размерных связей строится следующим образом. Для принятой базовой поверхности (начальной вершины графа) определяются висящие вершины первого дерева графа. С этой целью из сформированной табл. 1.5 (по третьему столбцу) выбираются номера элементов НЭ, связанные с базовой поверхностью, и заносятся в матрицу смежности графа (рис. 1.34).

	1	2	3	4	5	6	7	8
1			1					1
2								
3	1				1			
4								
5			1					
6								
7								
8	1							

Рис. 1.34. Матрица смежности графа размерных связей по оси Z

В таблице (рис. 1.34) по вертикали и горизонтали матрицы обозначены номера поверхностей. Если две какие-либо поверхности имеют размерную связь или связаны конструктивно, то в клетку, расположенную на пересечении соответствующей строки и столбца, ставится 1. При отсутствии размерной связи в клетку ставится нуль, который для упрощения таблицы может быть опущен.

В рассматриваемом примере в качестве базовой принята поверхность с номером 1. С этой поверхности начинается формирование матрицы смежности.

Граф размерных связей детали можно рассматривать, как состоящим из отдельных *деревьев (кустов)*, каждый из которых имеет одну начальную (базовую) вершину и несколько (в крайнем случае, одну) висящих вершин. При формировании матрицы смежности происходит выделение деревьев графа.

После построения первого дерева графа производится формирование его последующих деревьев. Для этого необходимо проверить, не является ли поверхность, соответствующая выбранной висящей вершине, базовой для других поверхностей. Если да, то повторяется последовательность выбора элементов с висящими вершинами по отношению к этой базовой поверхности.

После заполнения матрицы смежности графа может быть сформирован граф размерных связей по оси Z (рис. 1.35).

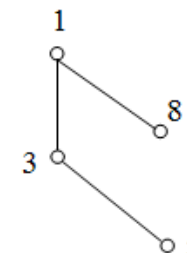


Рис. 1.35. Граф размерных (по оси Z) связей детали типа «вал»

В памяти ЭВМ граф размерных связей детали описывается массивом (назовем его, например, ГРАФ), который используется в дальнейшем как математическая модель при выборе технологических баз и проектировании технологических маршрутов.

Граф размерных связей детали можно рассматривать как формализованную модель структуры детали, определяющую последовательность обработки технологических баз. В формализованной модели размерных связей детали одна из двух вершин, принадлежащих какому-либо ребру, всегда служит базой для другой. При этом под термином *база* подразумевается совокупность поверхностей, линий или точек детали, относительно которых ориентируются другие поверхности детали.

Известно, что для обработки ответственных поверхностей детали необходимо предварительно обработать соответствующую ей (по размерным связям) базовую поверхность до требуемой степени точности и шероховатости. При этом часто встречаются варианты, когда конструкторские базы не могут быть использованы в качестве технологических, поэтому приходится определять *дополнительные базы* или вводить *искусственные*. Например, для деталей типа «тел вращения», у которых длина превышает диаметр, в качестве искусственных опорных баз используются центровые отверстия. В этой связи для указанных деталей формируется граф размерных связей с искусственными опорными базами. Для рассмотренной детали «вал» (см. рис. 1.33) такой граф представлен на рис. 1.36. В граф размерных связей детали введены две искусственные опорные базы (80 и 10) как третий и четвертый элементы массива, получившего название МГОб (массив графа размерных связей с опорными базами).

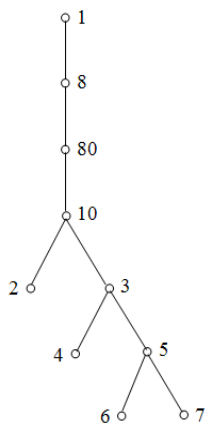


Рис. 1.36. Граф размерных связей с опорными базами детали типа «вал» (массив МГОб)

При проектировании технологических процессов в САПР ТП широко используются наработанные типовые решения различных подзадач для типовых элементов технологических процессов, например, типовые планы обработки. Такой подход позволяет наиболее рационально сочетать объективные факторы проектирования технологических процессов (размерные характеристики

деталей) с типовыми решениями, характеризующими специфику конкретного предприятия. Поэтому синтез технологического маршрута изготовления детали производится на основе *планов обработки элементарных и типовых поверхностей*. Планы обработки на отдельные поверхности, обеспечивающие получение требуемой точности и качества, разрабатываются расчетным либо статистическим методом. На первом этапе происходит формирование плана обработки. Выбор плана обработки производится на основе анализа так называемых *таблиц соответствий*, представляющих собой одну из форм записи соответствия множества типовых решений множеству условий их существования.

В качестве условий, определяющих выбор того или иного плана обработки W_i , принимаются вид (код) обрабатываемого элемента поверхности КЭ, вид термообработки ТО, шероховатость поверхности, качество точности КТ, отклонения взаимного расположения Δ , диаметр обработки D , расположение отверстий ОТ, вид отверстия ВО и др. В зависимости от этих условий из таблицы типовых планов обработки поверхностей ПЛОб (табл. 1.6) выбираются планы W_i на каждую обрабатываемую поверхность и формируется таблица планов обработки поверхностей детали.

Таблица 1.6

Планы обработки поверхностей (массив ПЛОб)

Планы обработки W_i	Коды методов обработки (КМО)	Методы обработки	Условия применения планов
01	101 102	Точение черновое Точение чистовое	Квалитет 9–10 $R_z = 40$ мкм Без термообработки
02	102	Точение чистовое	Канавки
03	101 102 301	Точение черновое Точение чистовое Шлифование	Квалитет 7–8 $R_a = 0,32 - 0,64$ мкм Без термообработки
04	101 102 301 310	Точение черновое Точение чистовое Шлифование Полирование	Квалитет 6–7 $R_a = 0,04 - 0,16$ мкм Без термообработки
05	201	Сверление центрального отверстия	Центровые отверстия

Для рассмотренной детали «вал» (см. рис. 1.33) сформирована таблица планов обработки поверхностей (табл. 1.7).

Таблица 1.7
Планы обработки поверхностей детали «вал» (массив МПО W)

Номер элемента обрабатываемой поверхности (НЭ)	1	10	2	3	4	5	6	7	8	80
План обработки элемента поверхности W_i	01	05	03	01	01	01	02	04	01	05

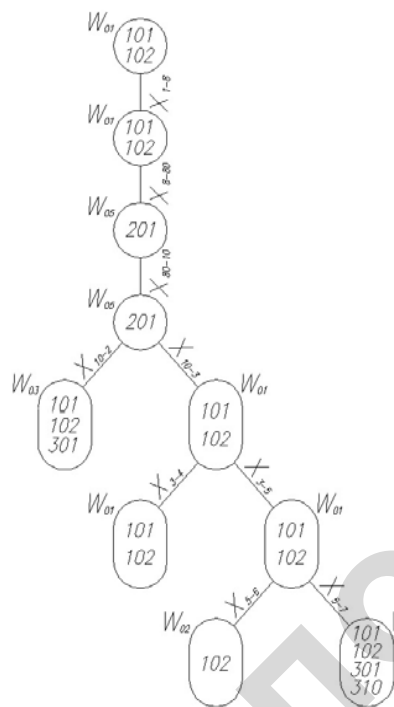


Рис. 1.37. Вторичный граф размерных связей детали типа «вал» (массив ВТГ)

Следующим этапом синтеза технологического маршрута является объединение одноименных технологических методов обработки, имеющие общий код методов обработки (КМО), принадлежащих разным вершинам вторичного графа (рис. 1.37). Для этого массив вторичного графа (ВТГ) с учетом массива планов обработки (ПЛОБ) поверхностей разбивается на операционные подграфы, вершины которых содержат одноименные методы обработки и соединены между собой ребрами, принадлежащими вторичному графу. На заключительном этапе синтеза технологического маршрута назначается последовательность выполнения операций, т. е. задача сводится к упорядочиванию операционных подграфов. С этой целью выполняется проверка технологических операций на совместимость, т. е. возможность предшествования операций друг другу в типовых схемах построения маршрутной технологии.

Для проверки операций на совместимость служит таблица, в которой операции записаны в порядке их возможного выполнения. Эта таблица строится разработчиками САПР ТП на основе положений технологии машиностроения, согласно которым вначале подготавливают технологические базы, затем выполняются черновые, чистовые и отделочные операции.

В результате проектирования сформирован технологический маршрут механической обработки заготовки детали «вал» (табл. 1.8).

Таблица 1.8
Технологический маршрут изготовления детали «вал»

Номер операции	Код операции	Операции технологического маршрута	Поверхности, обрабатываемые в операции (нумерация согласно ТКС)
1	201	Центровальная	80, 10
2	101	Токарная черновая	1, 8, 2, 3, 4, 5, 7
3	102	Токарная чистовая	1, 8, 2, 3, 4, 5, 6, 7
4	301	Круглошлифовальная	2, 7
5	310	Полировальная	7

Полученный в результате синтеза технологический маршрут может уточняться в дальнейшем на стадии проектирования операционной технологии с учетом технических ограничений, обуслов-

ленных наборами типоразмеров оборудования, применяемого в цехах завода для выполнения указанной операции, универсальных, групповых и специализированных установочно-зажимных приспособлений, используемых на каждом типе станков.

Вопросы для самоконтроля:

1. Какие основные задачи технологической подготовки производства на современном этапе?
2. Какова роль технологической подготовки производства в машиностроении?
3. Какие принципы классификации систем компьютерного проектирования в машиностроении?
4. Какие требования к технологической подготовке производства предъявляются на современном этапе?
5. Что положено в основу классификации САПР технологической подготовки производства?
6. В чем особенность компьютерно-интегрированного производства?
7. Какие требования предъявляются к интегрированным САПР?
8. Какие уровни автоматизации проектирования технологических процессов предусмотрены в классификации?
9. Как представляется иерархическая структура технологического процесса как объекта автоматизированного проектирования?
10. Какая необходима исходная информация для автоматизированного проектирования технологических процессов?
11. В чем проявляется понятие множества в технологическом проектировании?
12. Какие виды графов используются при решении задач технологического проектирования?
13. Что определяют понятия: граф, ребро, дуга, путь?
14. Какие можно привести примеры использования теории графов при технологическом проектировании?
15. В чем состоит сущность формализации этапов проектирования технологических процессов?

МАТЕРИАЛ К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ

Лабораторная работа. КОДИРОВАНИЕ ЧЕРТЕЖЕЙ ДЕТАЛЕЙ ТИПА «ТЕЛА ВРАЩЕНИЯ» В ПМК САПР ТП

Цель работы: закрепить теоретические знания о методах компьютерного проектирования технологических процессов механической обработки. Освоить методику кодирования чертежей деталей типа «тела вращения» и автоматизированное проектирование технологических процессов их механической обработки с использованием программно-методического комплекса (ПМК) САПР ТП PRAMEN.

Задание для самоподготовки. Изучить следующие вопросы теоретического материала:

1. Правила оформления чертежей деталей сельскохозяйственных машин и механизмов.
2. Структура алгоритма автоматизированного проектирования ТП.
3. Последовательность проектирования технологических процессов.
4. Состав и комплектность технологической документации.
5. Правила кодирования в ПМК САПР ТП PRAMEN чертежей деталей типа «тела вращения».
6. Правила задания в ПМК САПР ТП PRAMEN общих сведений о деталях типа «тела вращения» и их поверхностях.
7. Методы определения вида заготовки, выбора схемы базирования, определения межоперационных припусков и допусков.
8. Сведения о металлорежущих станках (модели основных групп и их технологические возможности, достигаемая точность обработки).
9. Диапазоны значений режимов резания для различных видов обработки и материалов режущего инструмента.
10. Типы и виды средств технологического оснащения.
11. Правила оформления технологических процессов механической обработки заготовок, маршрутных и операционных карт.

12. Структуру алгоритма автоматизированного проектирования технологических процессов.

13. Режимы разработки технологических процессов в ПМК САПР ТП PRAMEN.

14. Порядок проектирования технологических процессов в режиме «Автоматическое проектирование».

15. Порядок проектирования технологических процессов в режиме «Диалоговое проектирование».

Средства обучения:

1. Персональный компьютер.
2. ПМК САПР ТП PRAMEN
3. Таблицы квалитетов точности и шероховатости поверхностей.
4. Схемы условных обозначений отклонений формы и расположения поверхностей.
5. Схемы условных обозначений схем базирования.

Порядок выполнения лабораторной работы:

1. Проанализировать чертеж детали, полученной согласно индивидуальному заданию, на предмет выявления конструкторских баз и технических требований.

2. Разработать чертеж детали с использованием графических пакетов КОМПАС или AutoCAD, уточнить правильность задания размерных цепей, допусков, шероховатости поверхностей, внося необходимые изменения и соблюдая требования ГОСТ к оформлению чертежей. Выполнить распечатку чертежа.

3. На чертеже нанести карандашом цифровое обозначение поверхностей в соответствии с требованиями «Руководства по подготовке исходных данных» ОРГС 466454.01 7И2.

4. В режиме «Архив изделий» с использованием контекстного меню «Внести деталь в рабочий список» занести сведения о детали в «Рабочий список».

5. В режиме «Проектирование» занести в электронную таблицу общие сведения о детали.

6. В обозначенной согласно п. 2 и п. 3 последовательности заполнить электронную таблицу описания поверхностей детали.


7. Выполнить с использованием экранного меню графический контроль правильности описания геометрии детали.

8. Записать в архив и сделать распечатку текста файла DET 00.000 кодирования чертежа детали.


9. Сравнить содержание текста полученного файла DET 00.000 с данными чертежа детали согласно индивидуальному заданию и при необходимости отредактировать файл.

10. Разработать технологический маршрут механической обработки детали.

11. В режиме проектирование выбрать один из вариантов:

– проектирование в автоматическом режиме 

или

– проектирование в диалоговом режиме 

12. С помощью программного комплекса генерации технологических форм – ПК «Генератор» – сформировать комплект технологических документов.

13. Сравнить полученный маршрут механической обработки с технологическим маршрутом, разработанным в п. 10.

14. Вывести на печать сформированный комплект технологических документов.

15. Сделать выводы о выполненной работе.

16. Оформить отчет.

Содержание отчета:

1. Наименование работы.
2. Цель работы.
3. Описание сущности и особенностей разработки исходных данных для автоматизированного проектирования технологических процессов в САПР ТП, режимов «Автоматическое проектирование» или «Диалоговое проектирование».
4. Исходные данные для выполнения работы.
5. Методика выполнения работы.
6. Чертеж детали согласно индивидуальному заданию.
7. Распечатка и описание текста файла DET 00.000 кодирования чертежа детали.

8. Результаты сравнения соответствия текста файла DET 00.000 чертежу детали согласно индивидуальному заданию.

9. Распечатка технологического процесса в режимах «Автоматическое проектирование» или «Диалоговое проектирование».

10. Результаты сравнения вариантов технологических процессов.

11. Выводы.

Вопросы для текущего контроля:

1. Дать определения понятиям «автоматическое проектирование» и «автоматизированное проектирование».

2. Перечислить группы деталей по геометрическим признакам, для которых предусматривается кодирование в ПМК САПР ТП PRAMEN.

3. Дать определения понятиям «основные и дополнительные поверхности в ПМК САПР ТП PRAMEN».

4. Перечислить виды поверхностей, которыми описываются детали типа «тела вращения».

5. Назначение режима «Графический контроль».

6. Перечислить режимы проектирования технологических процессов в ПМК САПР ТП PRAMEN.

7. Отличительные особенности режимов «Автоматическое проектирование» и «Диалоговое проектирование».

8. Перечислить возможности, предоставляемые пользователю при использовании режимов «Автоматическое проектирование» и «Диалоговое проектирование».

Пример выполнения работы

Цель работы – разработать исходные данные для проектирования технологического процесса механической обработки детали «Стопор». Выполнить кодирование чертежа детали и проектирование технологического процесса ее механической обработки в ПМК САПР ТП PRAMEN.

Исходные данные:

- чертеж детали на бумаге;
- производственная партия $n = 5$.

Разработать чертеж детали с использованием графического пакета КОМПАС, внося при этом необходимые изменения и соблюдая требования ГОСТ к оформлению чертежей. Выполнить распечатку чертежа (рисунок 1.38).

На чертеже нанести карандашом цифровое обозначение поверхностей в соответствии с требованиями «Руководства по подготовке исходных данных» ОРГС 466454.017И2 (рис. 1.39).

В режиме «Архив изделий» с использованием контекстного меню «Внести деталь в рабочий список» занести сведения о детали в «Рабочий список».

В режиме «Проектирование» занести в электронную таблицу общие сведения о детали.

В установленной последовательности заполнить электронную таблицу описания поверхностей детали.

Произвести графический контроль правильности описания геометрии детали.

Записать в архив и распечатать текст файла DET 00.000 кодирования чертежа детали (рис. 1.40).

Сравнить содержание текста файла DET 00.000 кодирования с данными чертежа детали и при необходимости редактировать файл.

Выбрать режим «Проектирование в автоматическом режиме»

кнопкой .

При этом автоматически осуществляется:

- ввод и преобразование исходных данных;
- формирование модели детали;
- расчет и выбор заготовки;
- проектирование маршрута обработки и формирование текстов переходов;
- расчет припусков и межоперационных размеров;
- выбор оснастки;
- нормирование переходов и операций, формирование режимов резания;
- формирование данных для выходного документа.

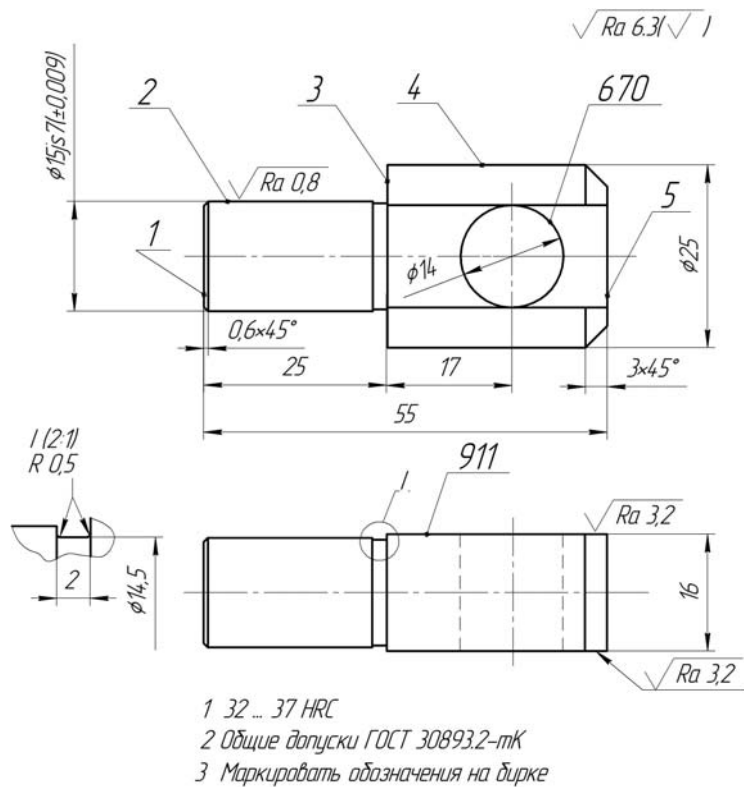


Рис. 1.39. Чертеж детали с цифровым обозначением основных и дополнительных поверхностей

S, .000, ,
 T, 1101, Стопор, ИвановИ.И., 57.26.01.01.001, 0.14, 5, 1, 1, 0,
 R, A19, Ш4, КН14, Е30, Т32/37, У30, Д28, Л58, Х1, Ж25, З55,
 F, A1, &GRI.GRI&, O1,
 F, A2, Д15js7(+0.009), Ш7, Ф0.6, КШ2, &GRI012.GRI&, O2,
 F, A3, Л25, П1, &GRI011.GRI&, O3,
 F, A4, Д25, ФФ3, &GRI012.GRI&, O4,
 F, A5, Л55, П1, &GRI011.GRI&, O5,
 F, A670, В911, В911, Д14, М16, Р17, П3, &GRI057_1.GRI&,
 F, A911, В4, Д16, Ш5, &GRI096_1.GRI&,
 #

Рис. 1.40. Распечатка файла DET 00.000

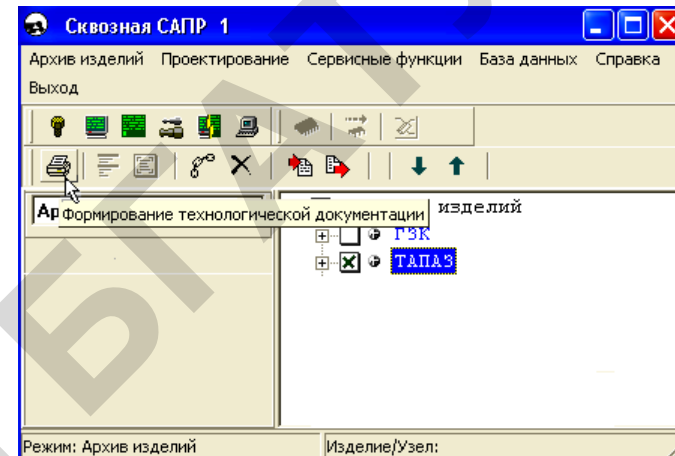


Рис. 1.41. Окно формирования комплекта технологической документации в режиме «Архив изделий» ПМК САПР ТП PRAMEN

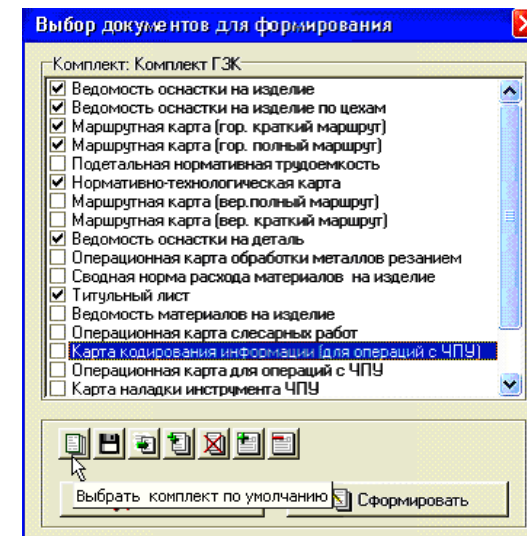


Рис. 1.42. Окно выбора документов комплекта технологической документации в режиме «Архив изделий» ПМК САПР ТП PRAMEN

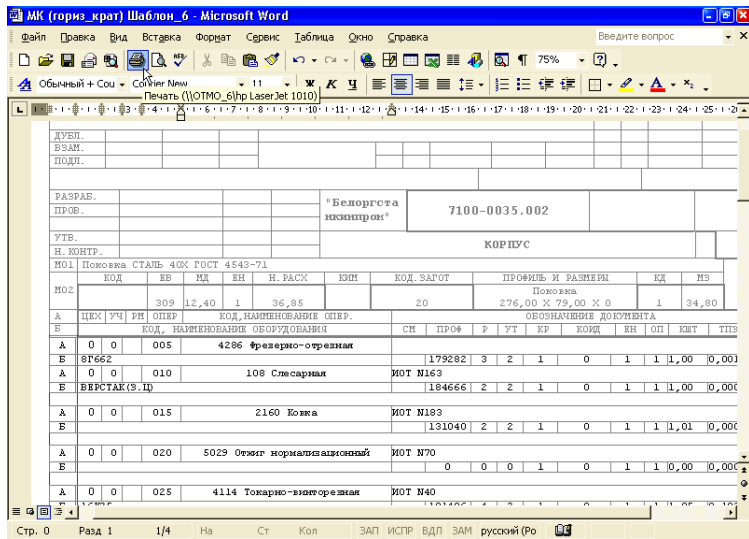
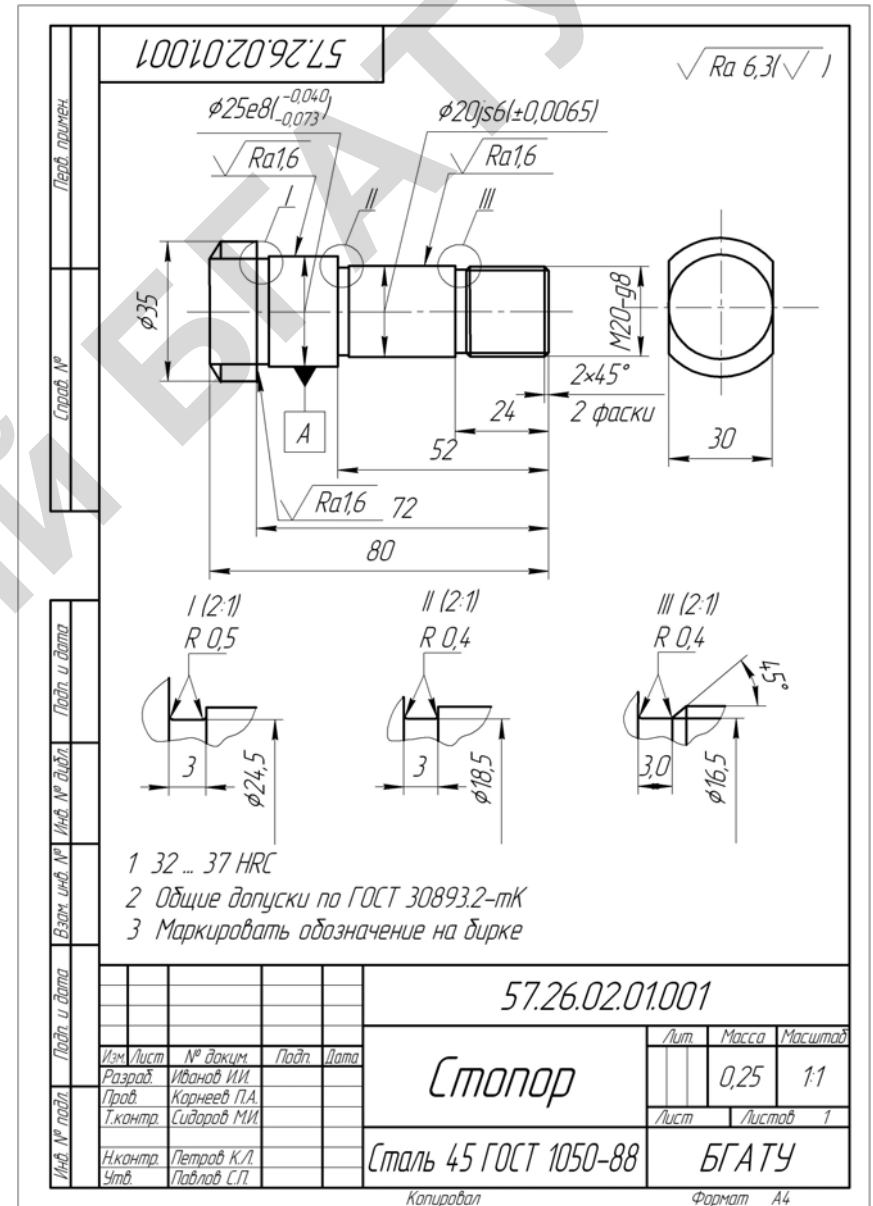
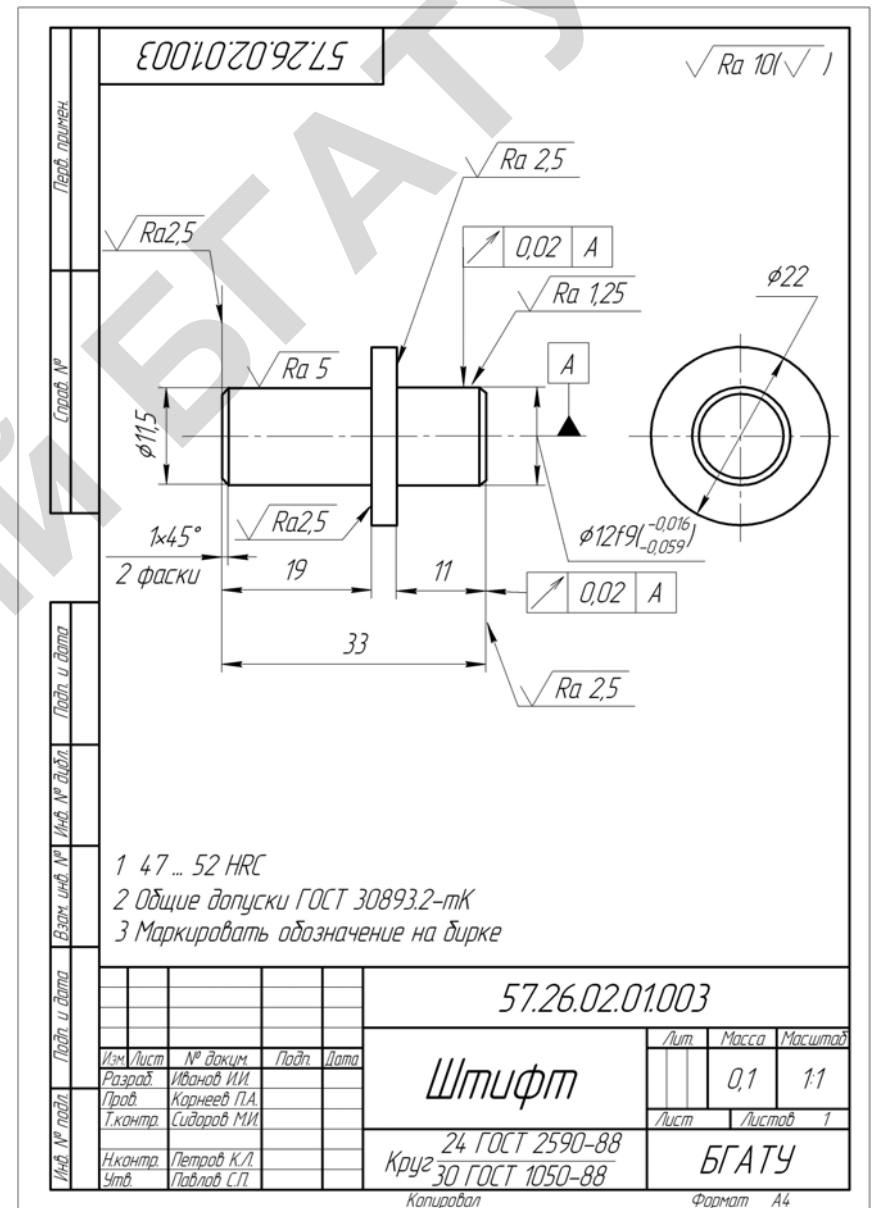
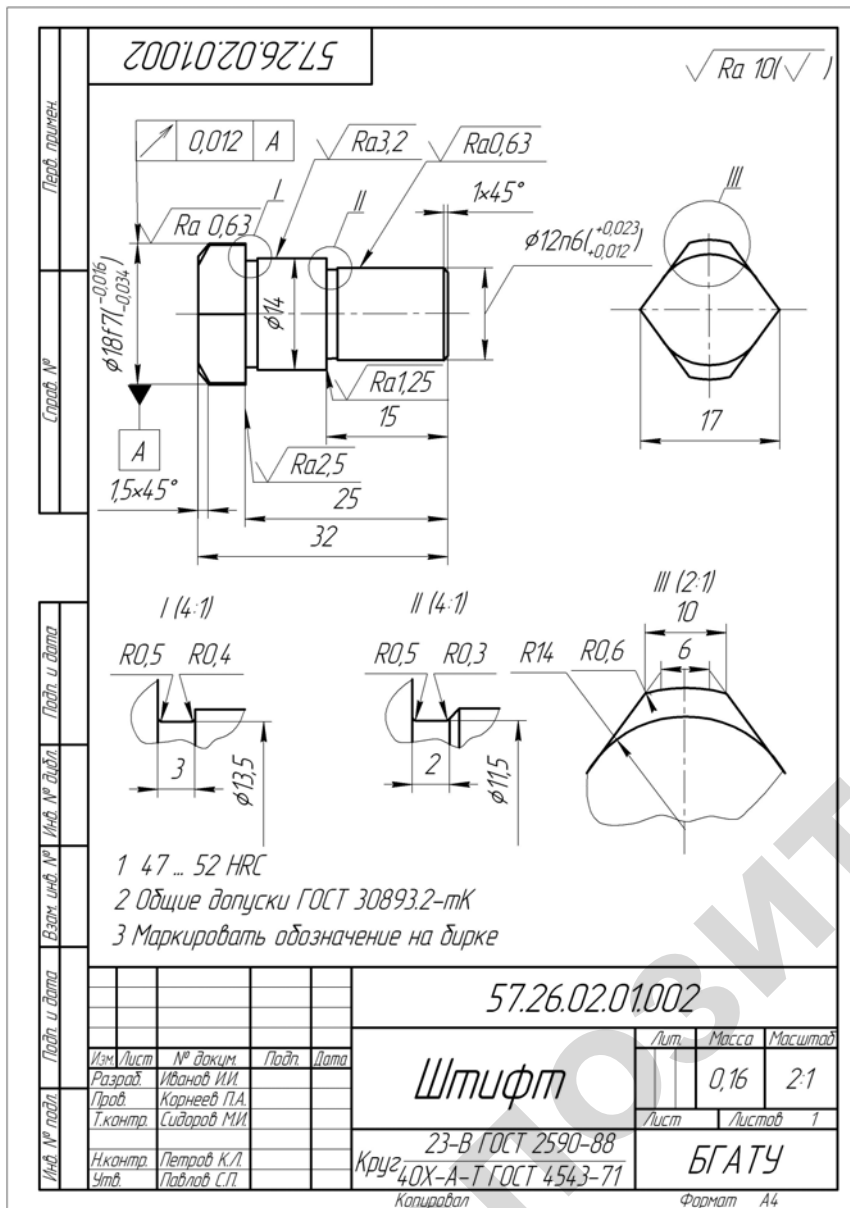


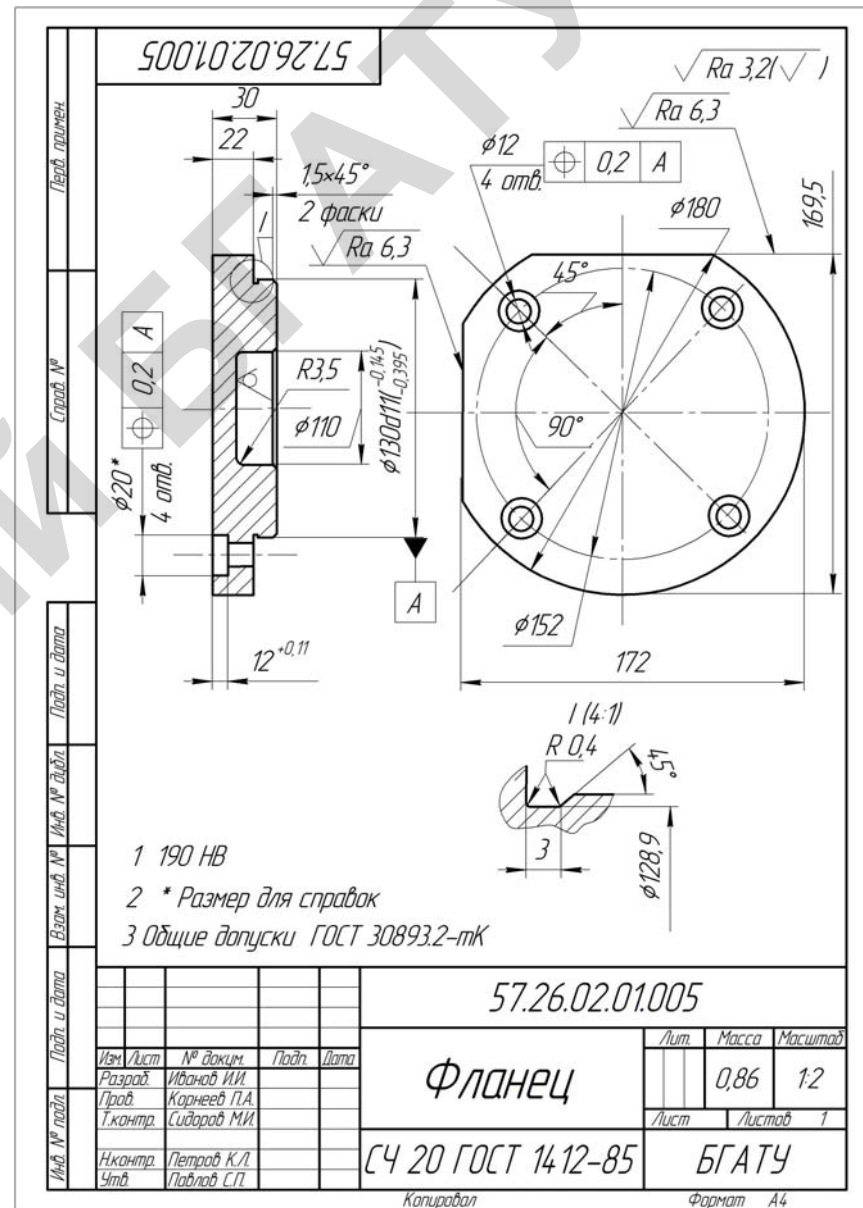
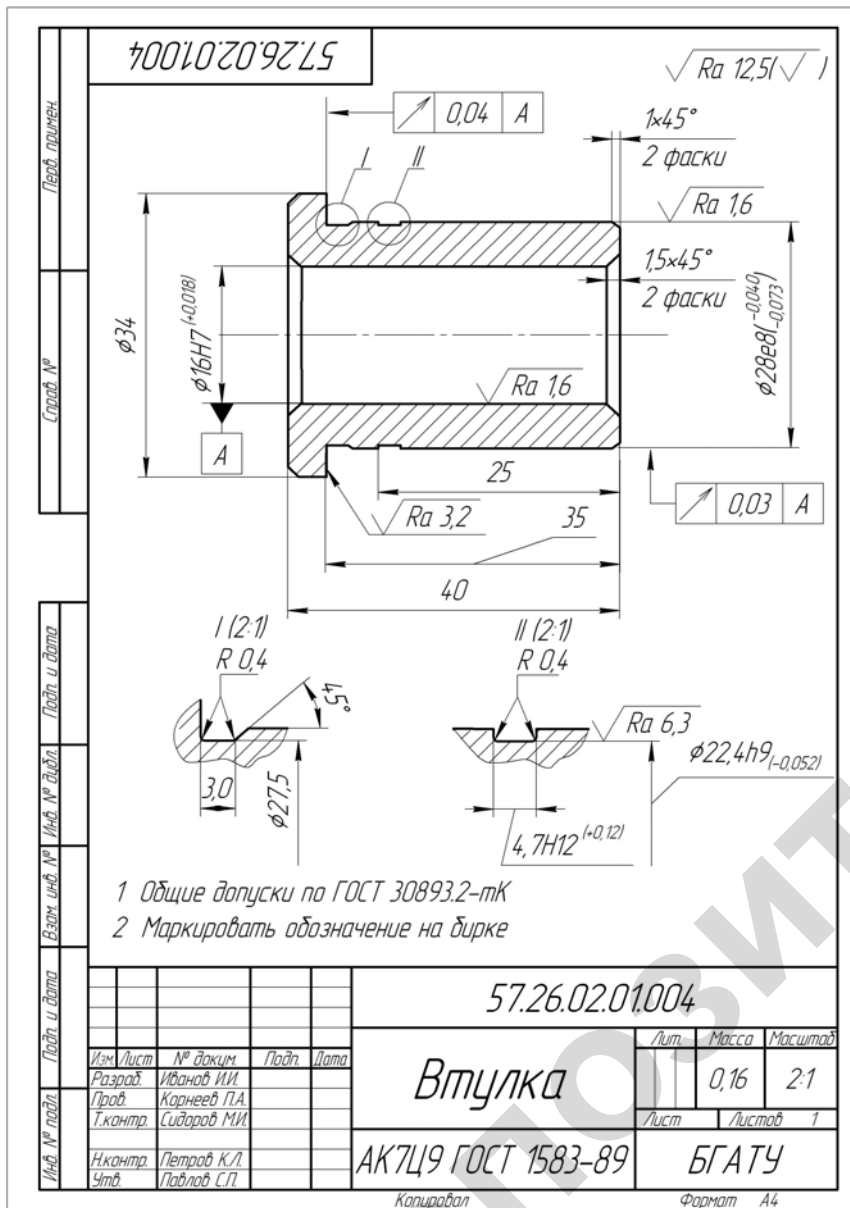
Рис. 1.43. Окно текстового редактора Microsoft Word с маршрутной картой разработанного технологического процесса

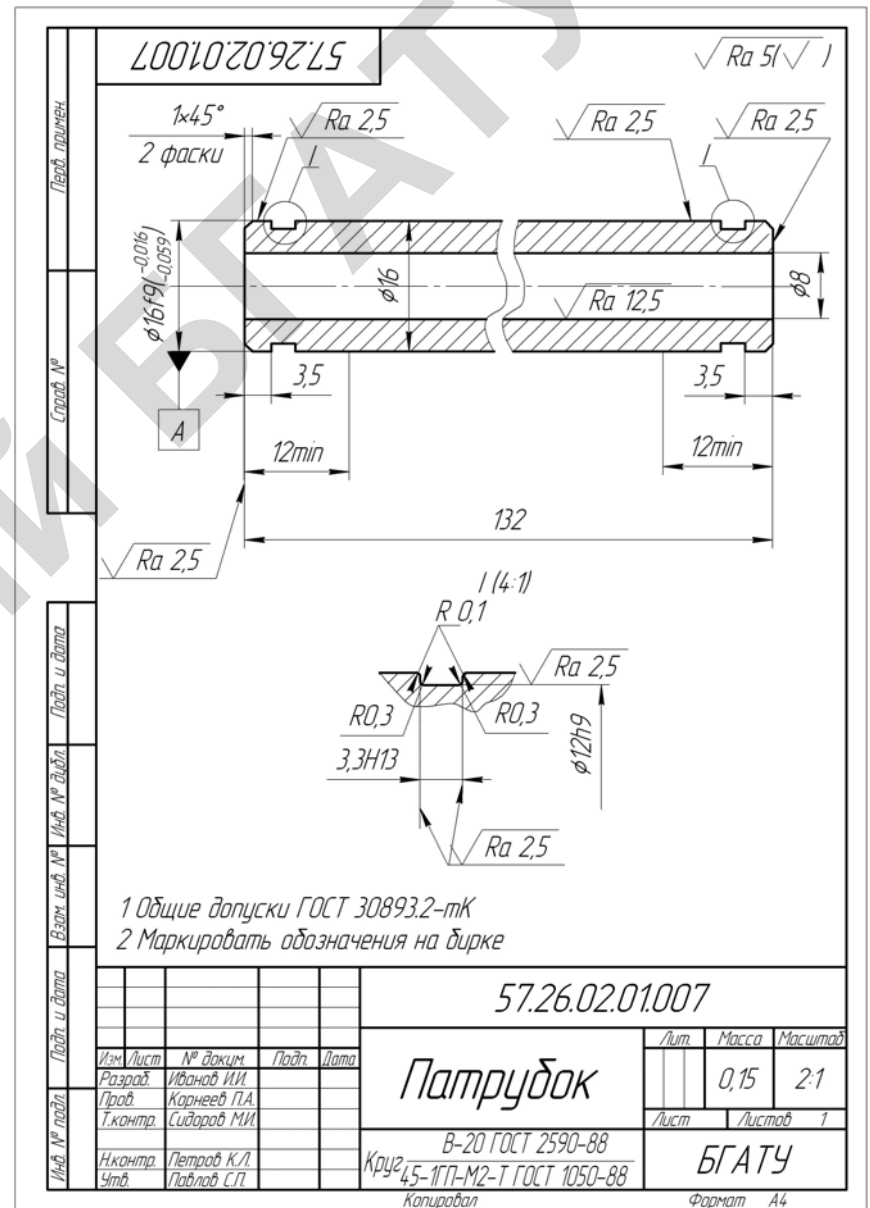
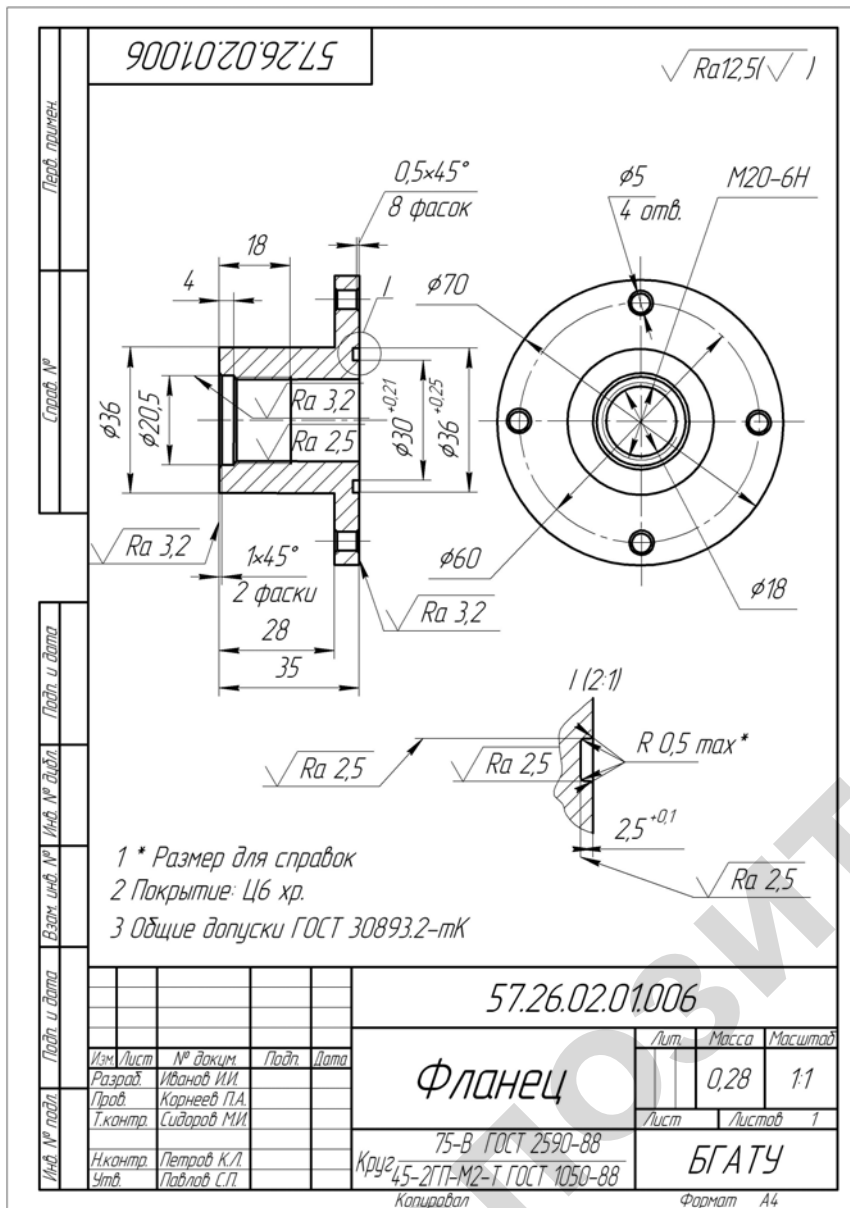
Исходные данные для выполнения работы

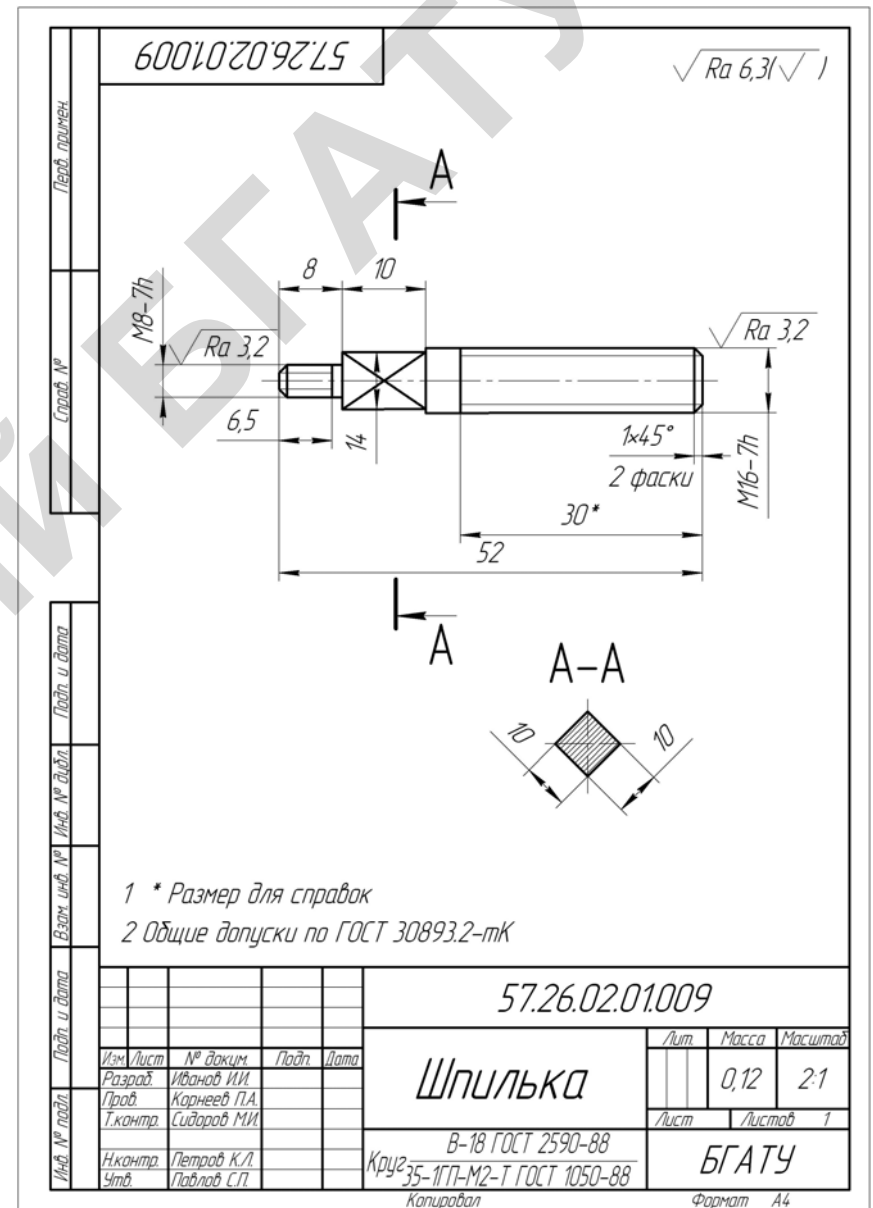
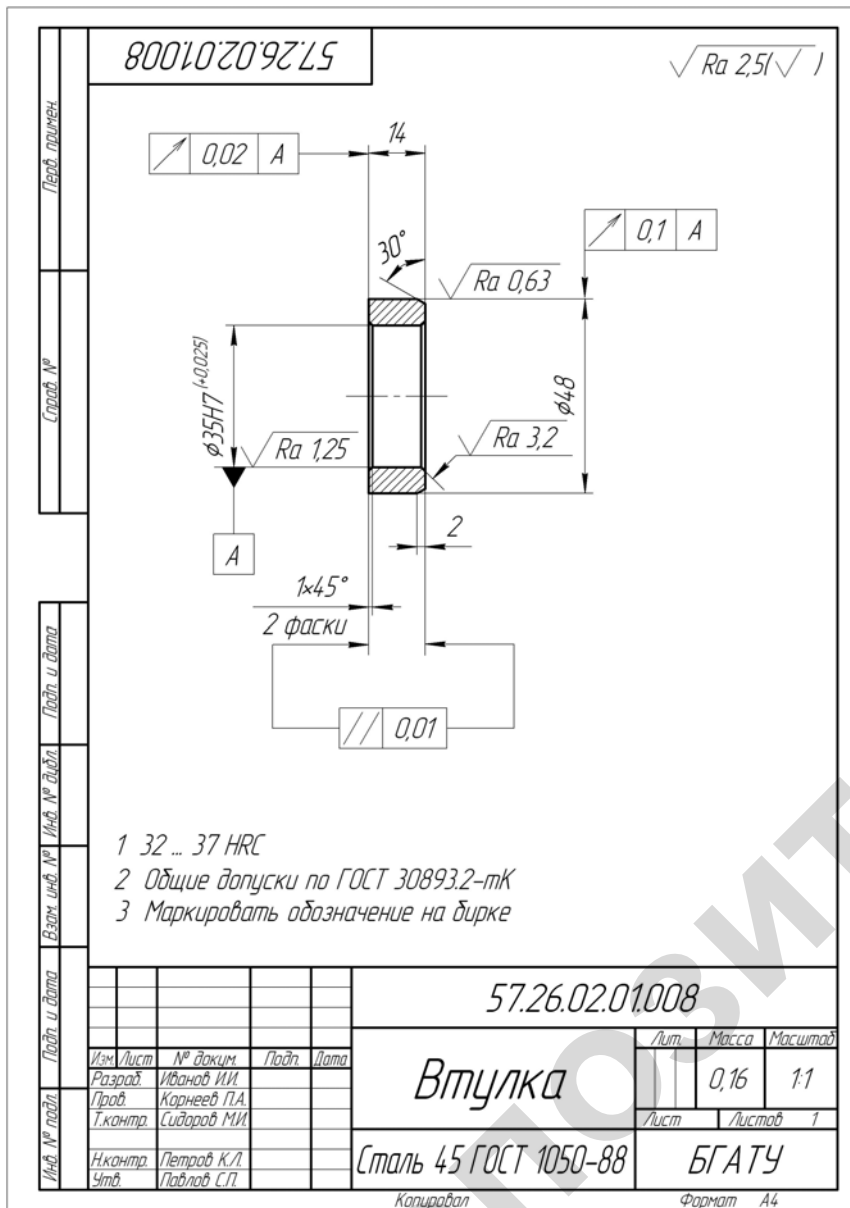
Преподаватель выдает студентам учебной группы индивидуальные задания, включающие рабочий чертеж детали (с имеющимися неточностями) и производственную программу.

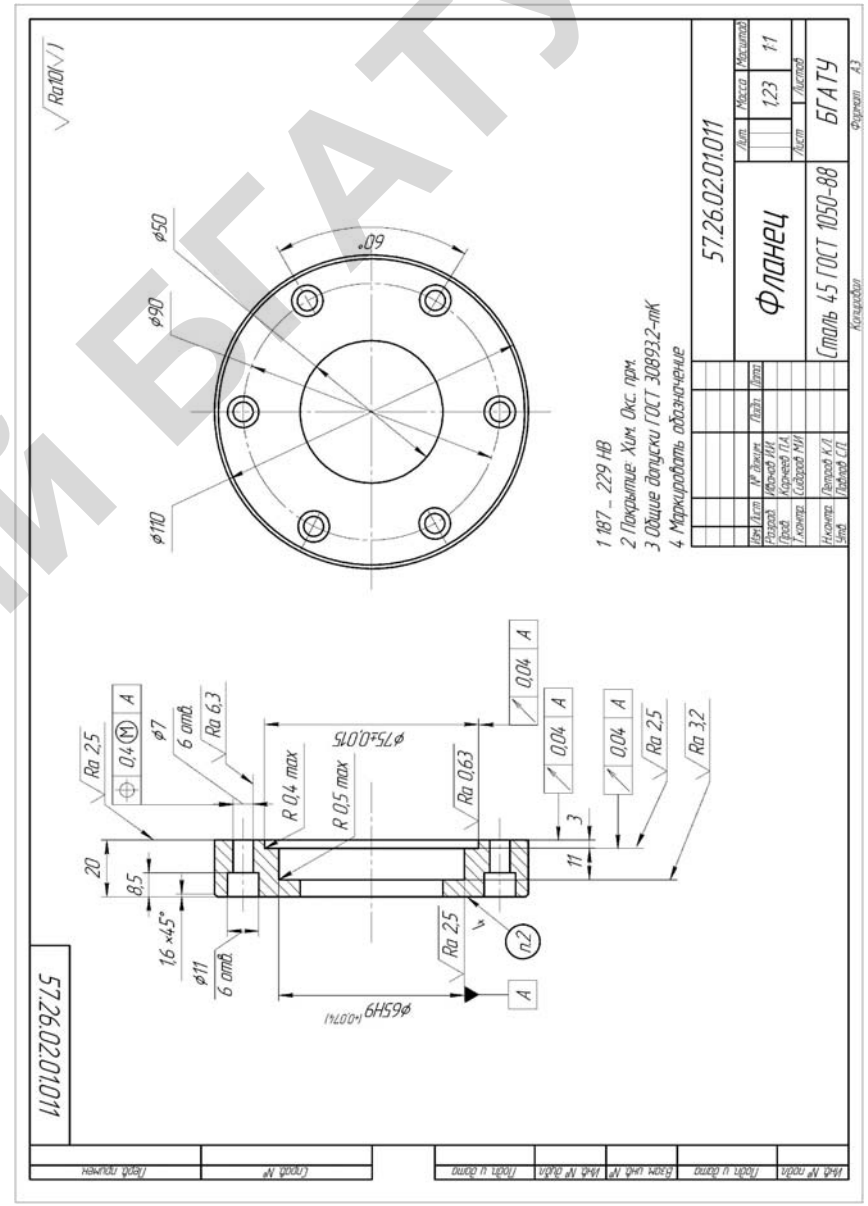
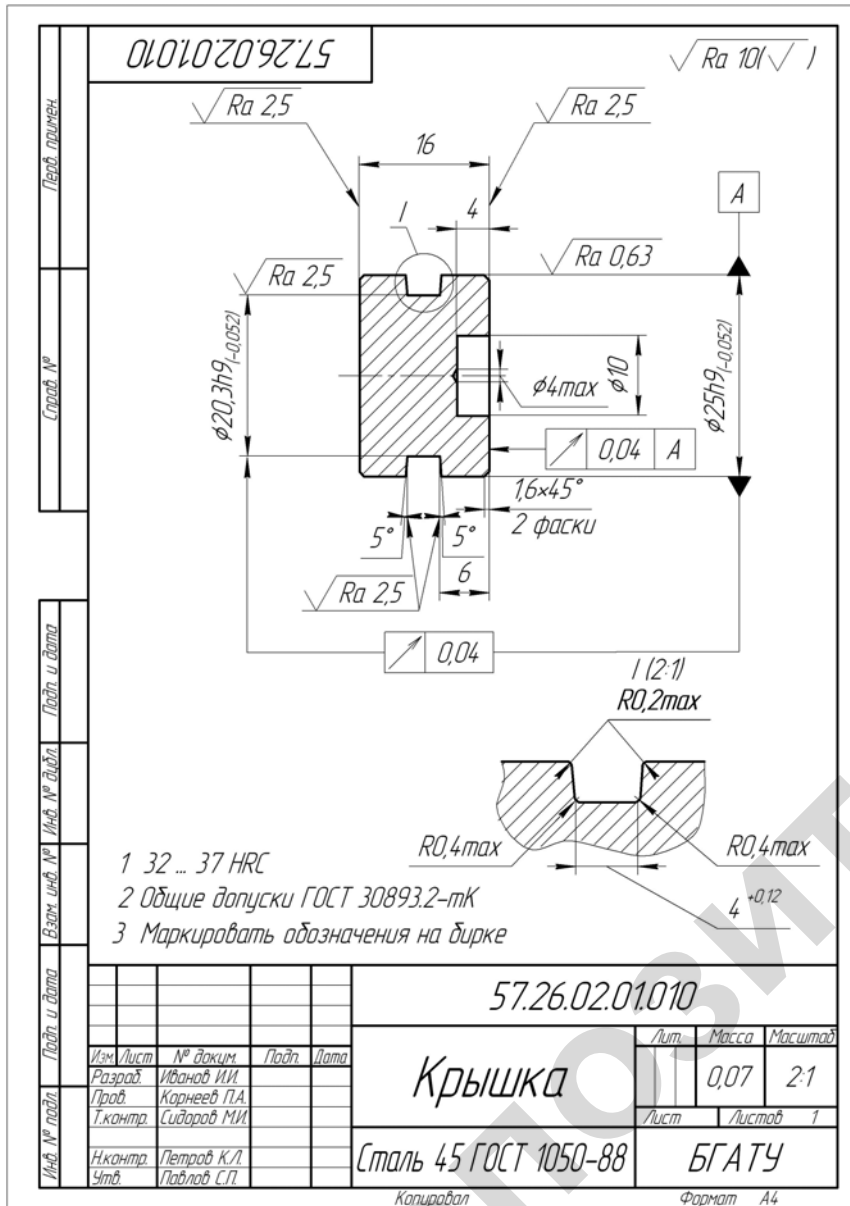


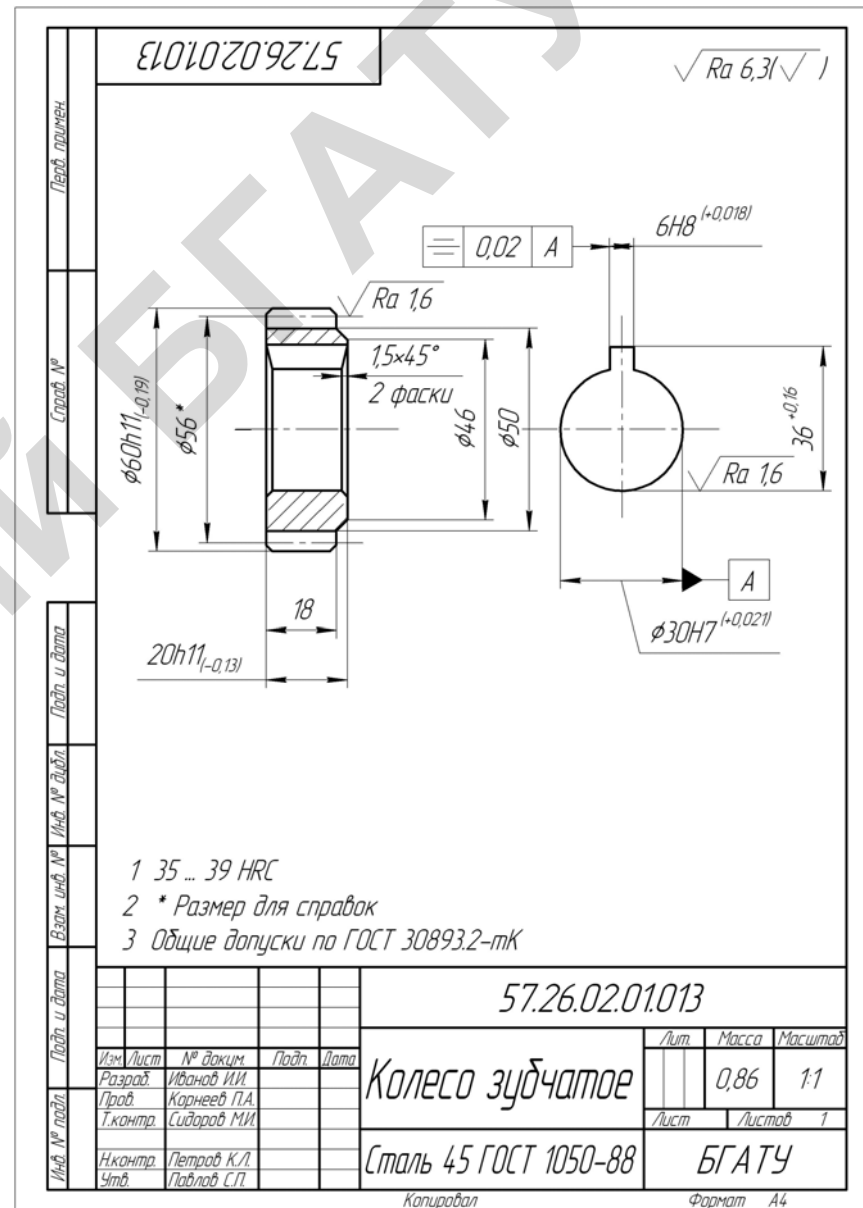
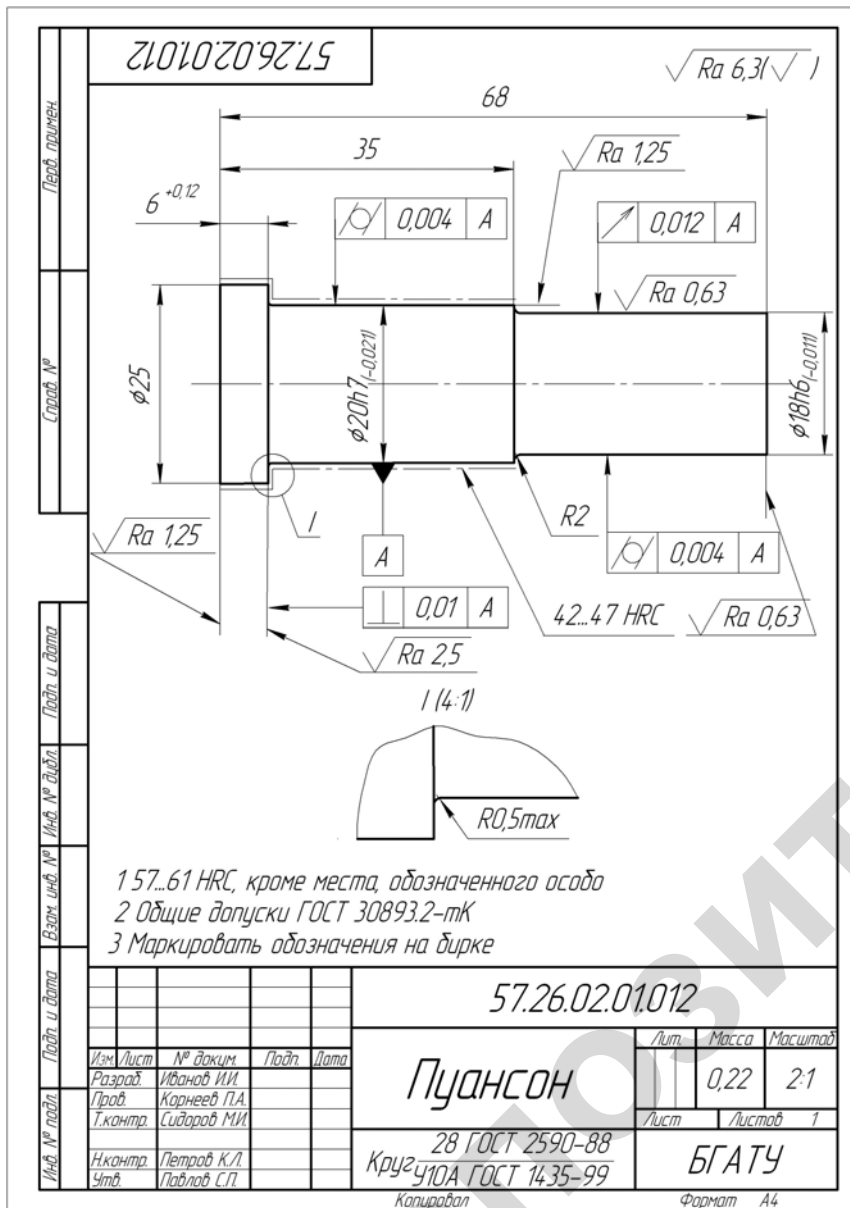


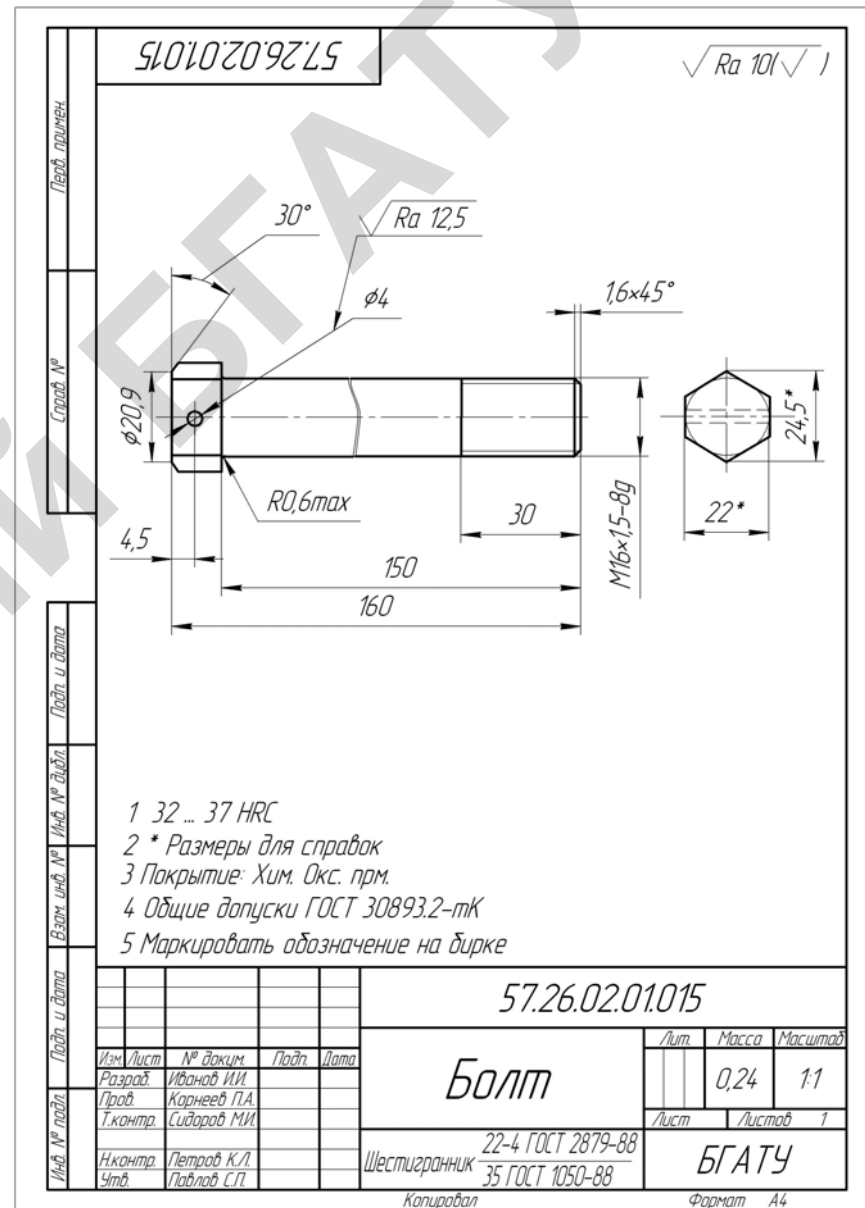
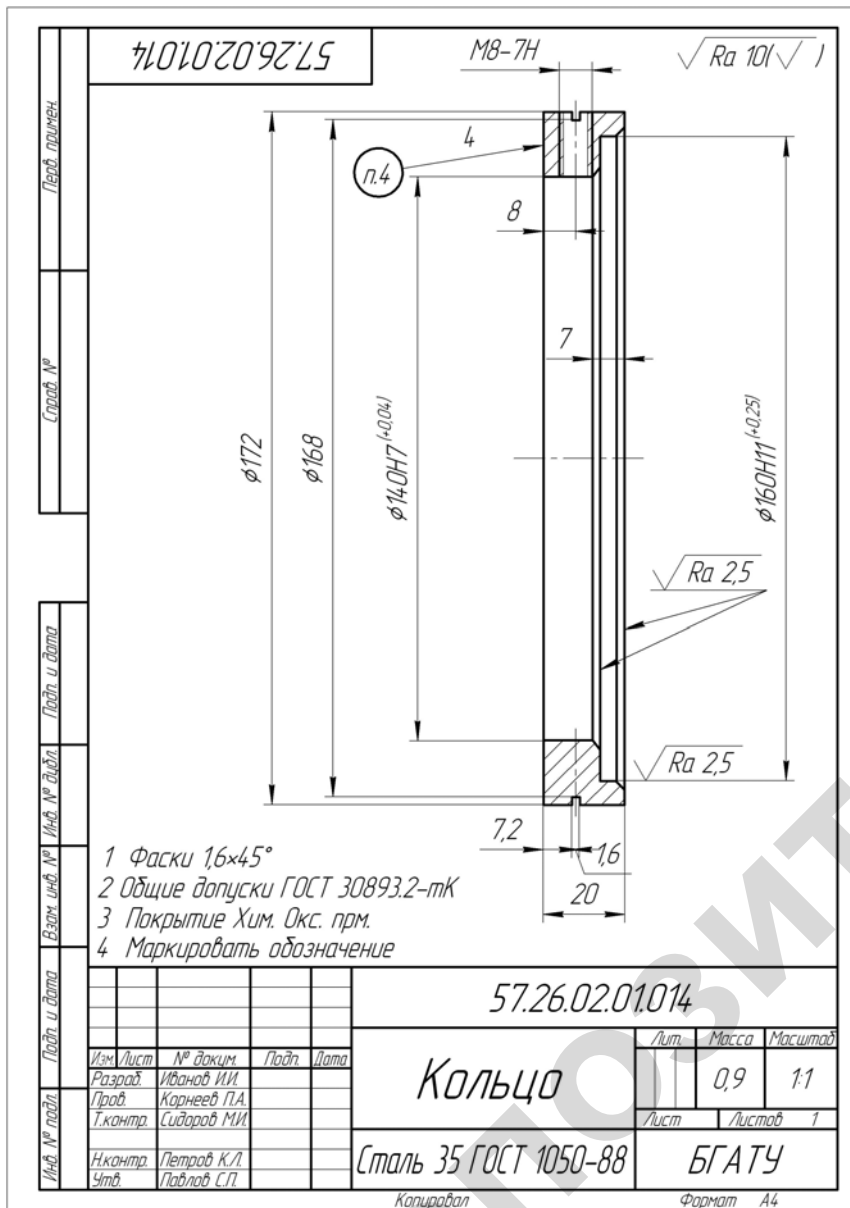


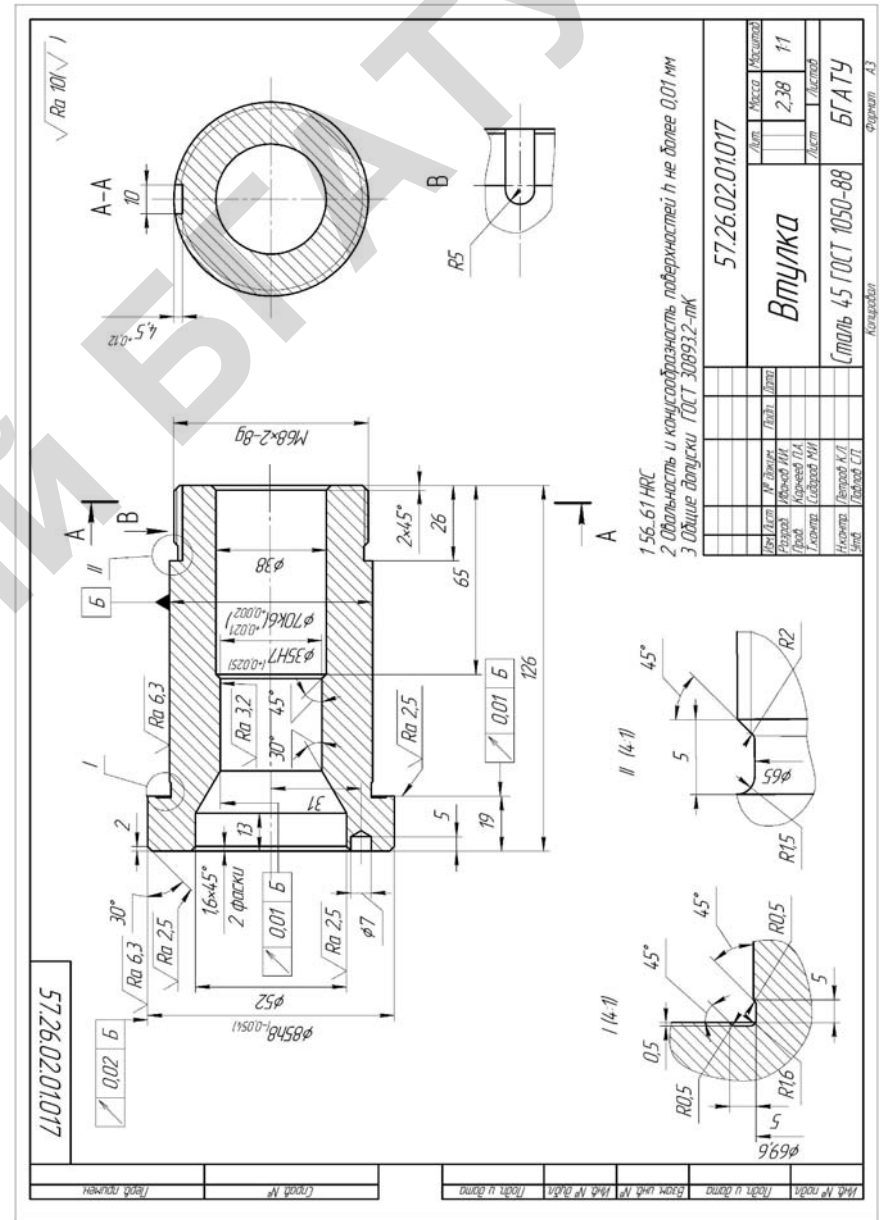
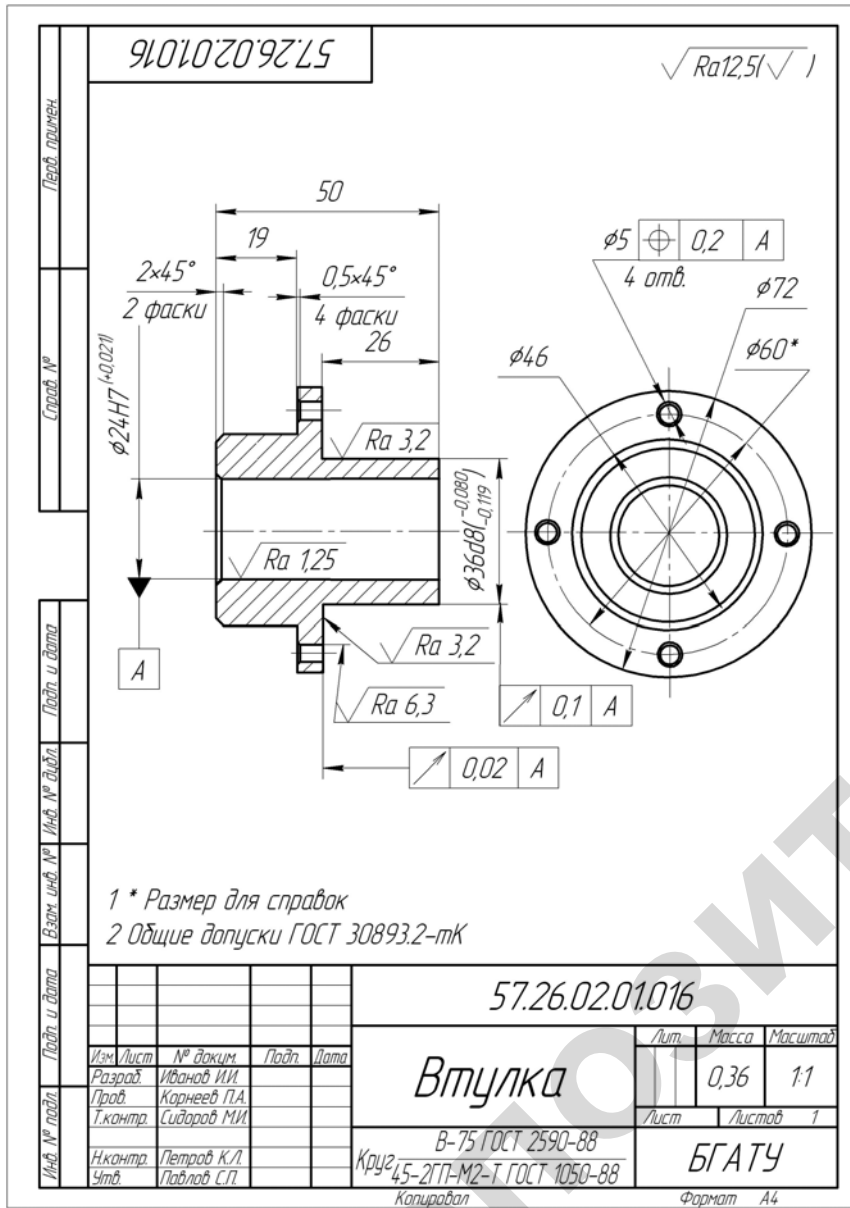


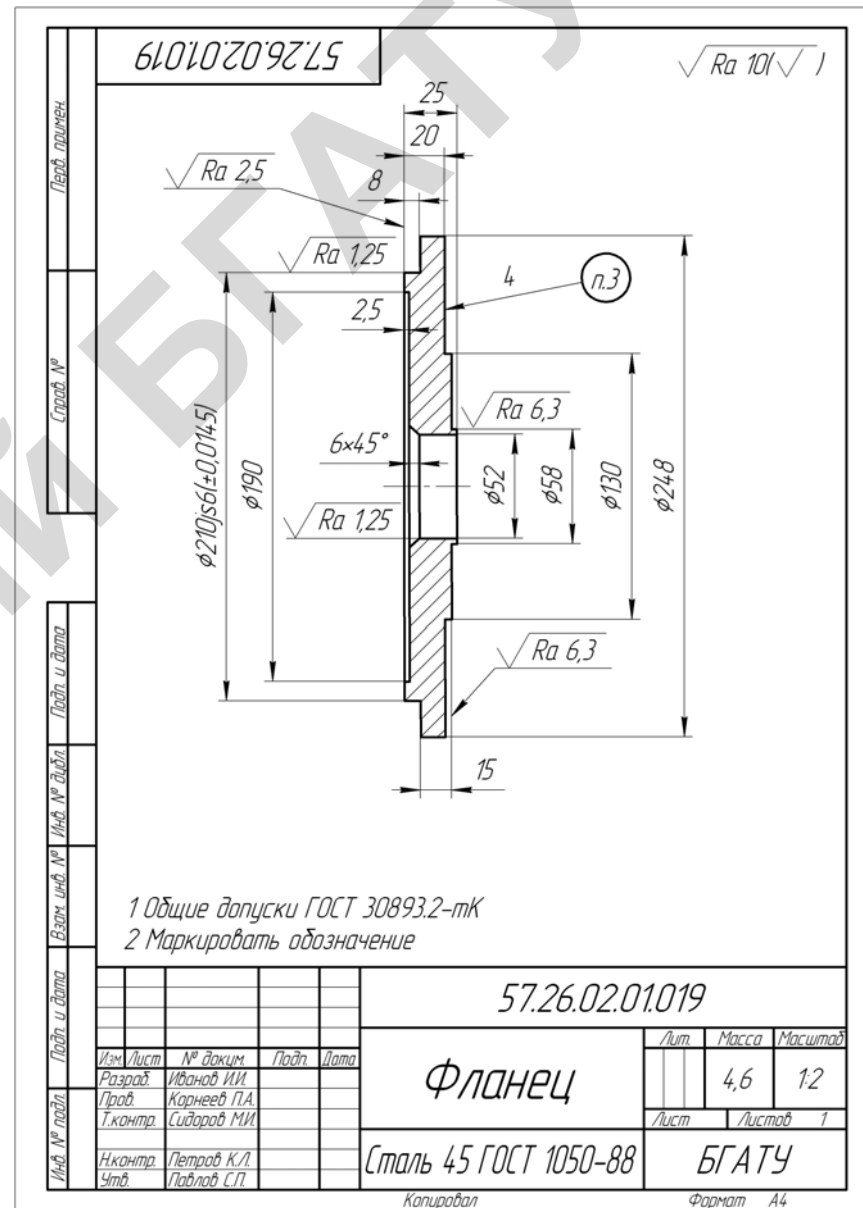
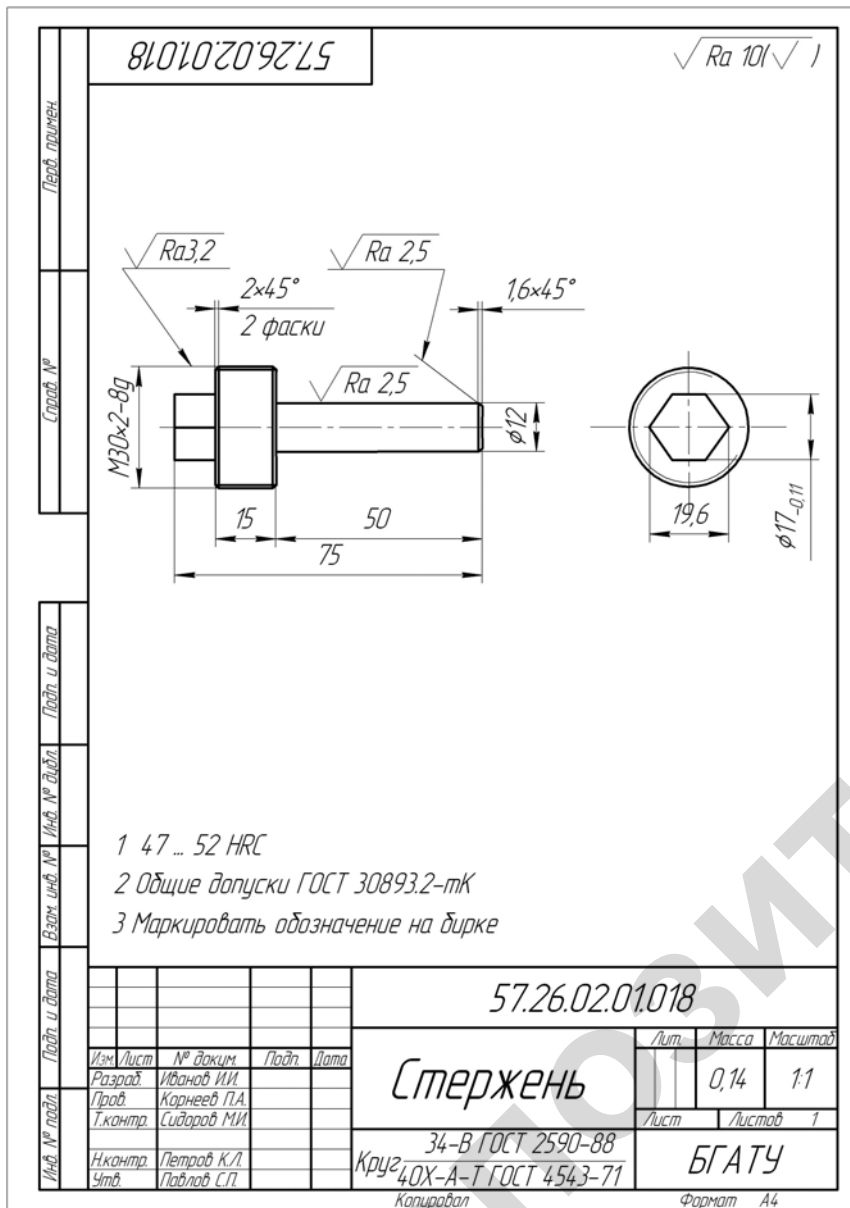


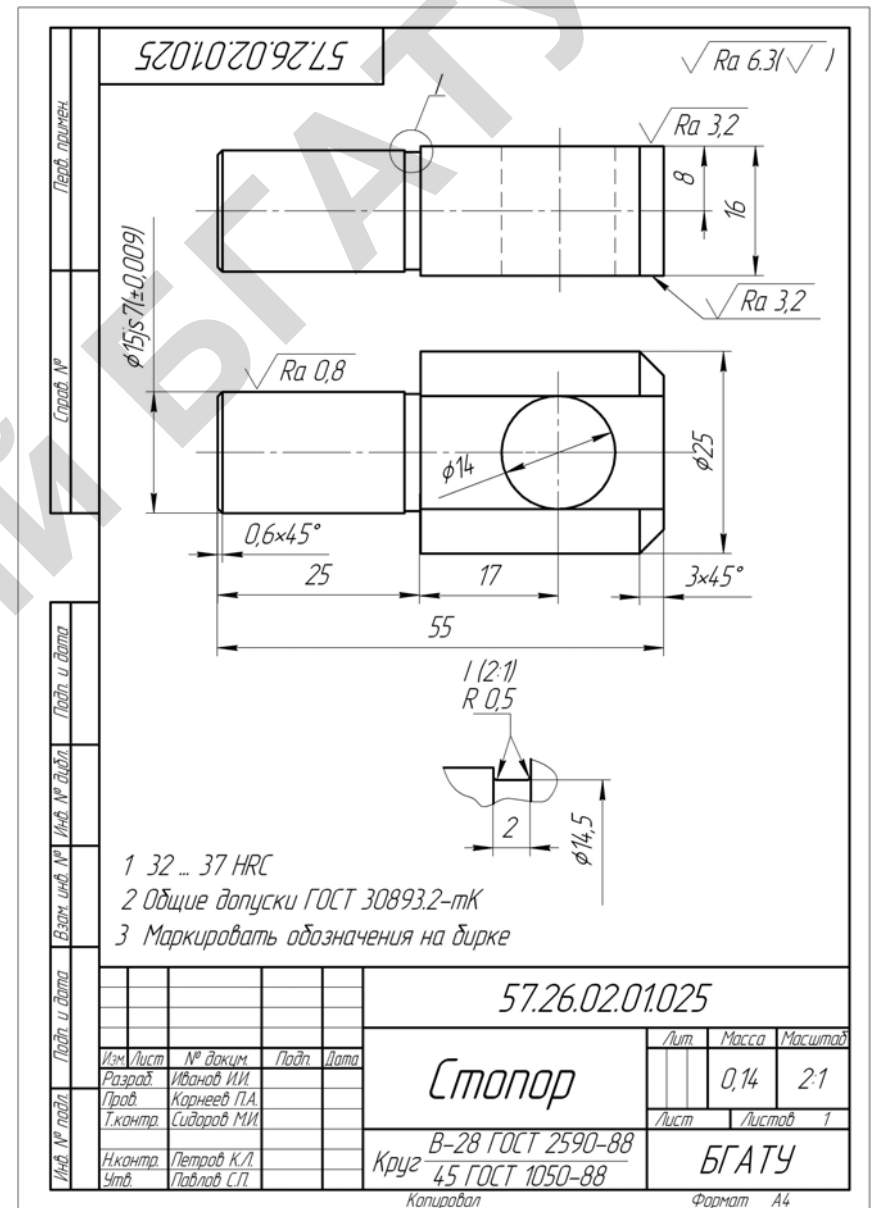
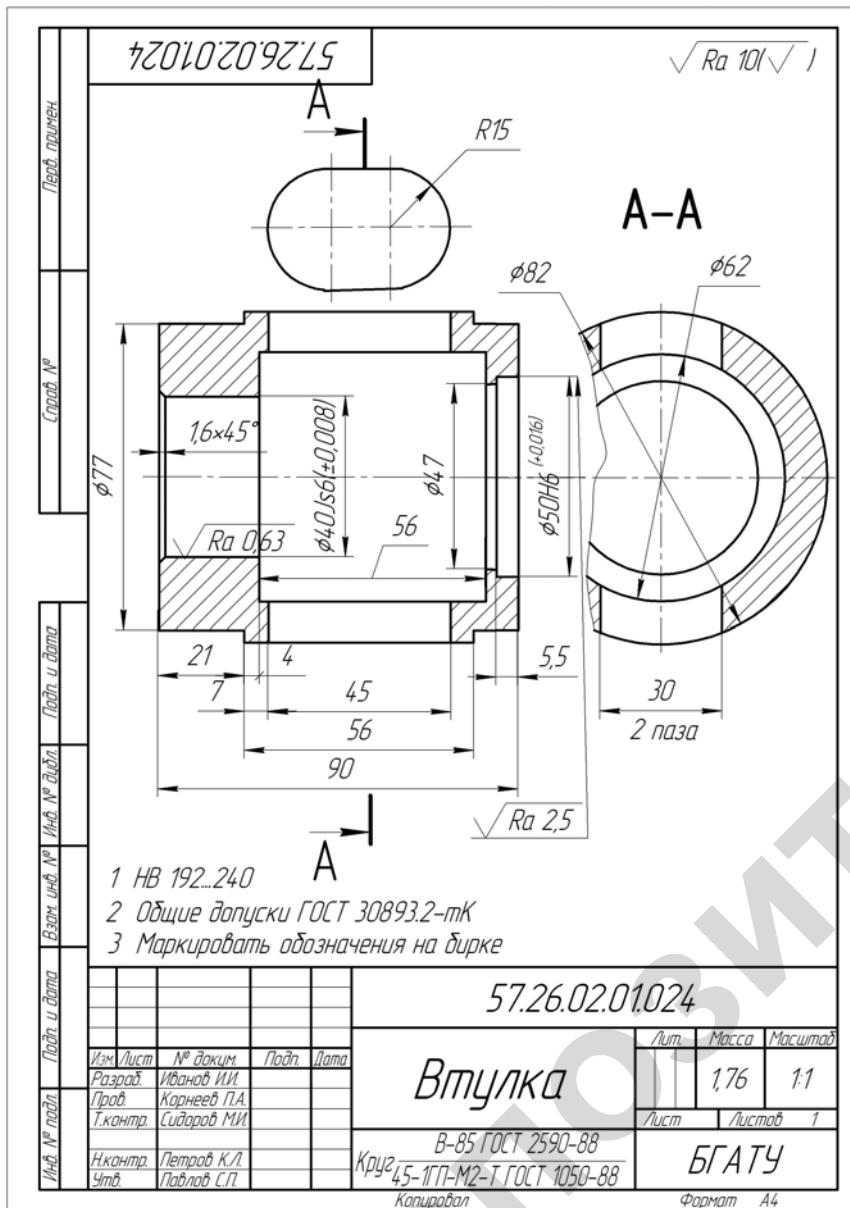


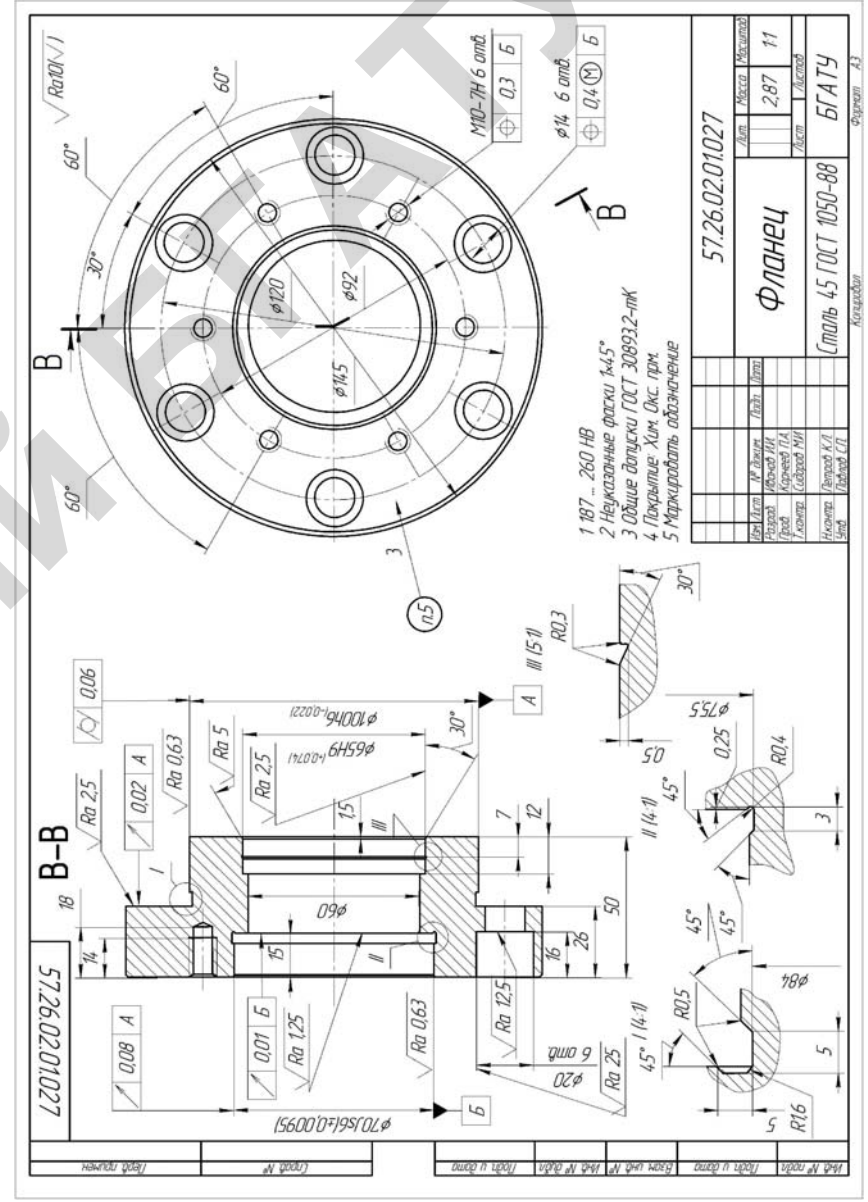
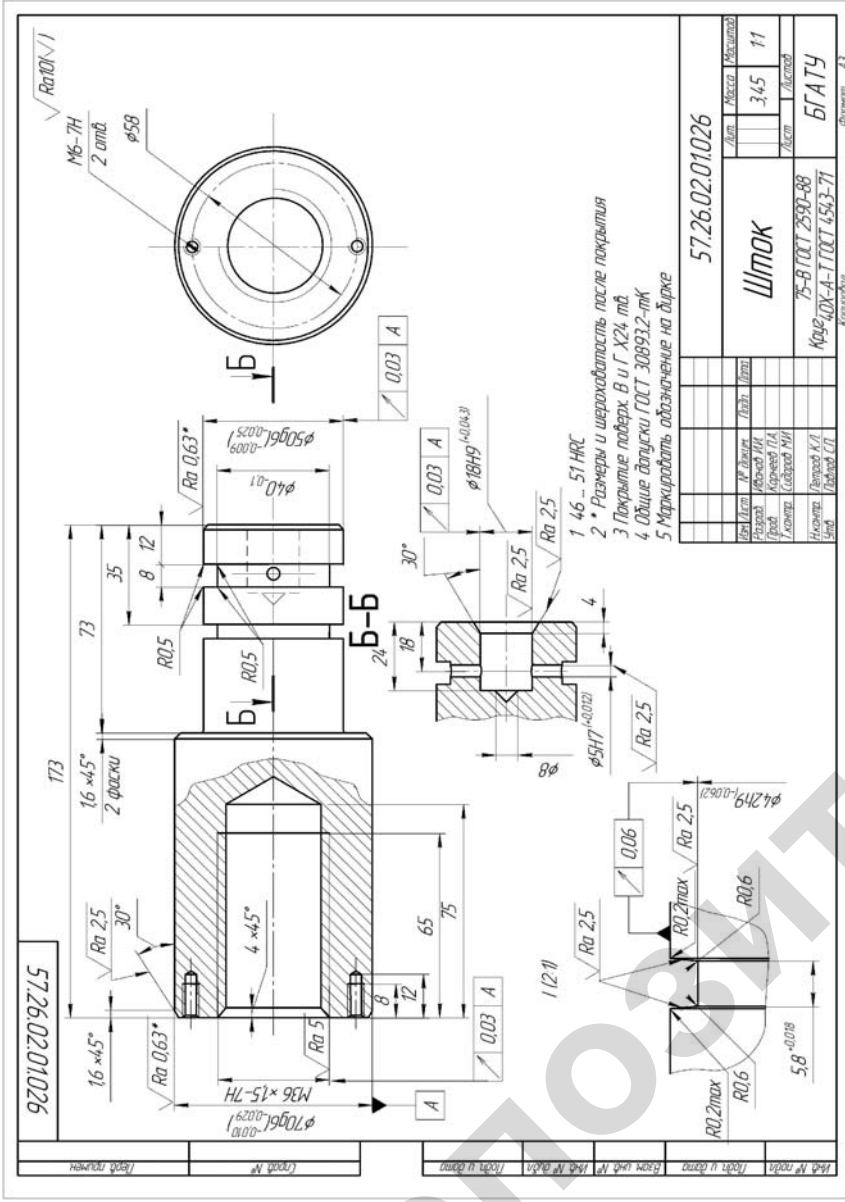


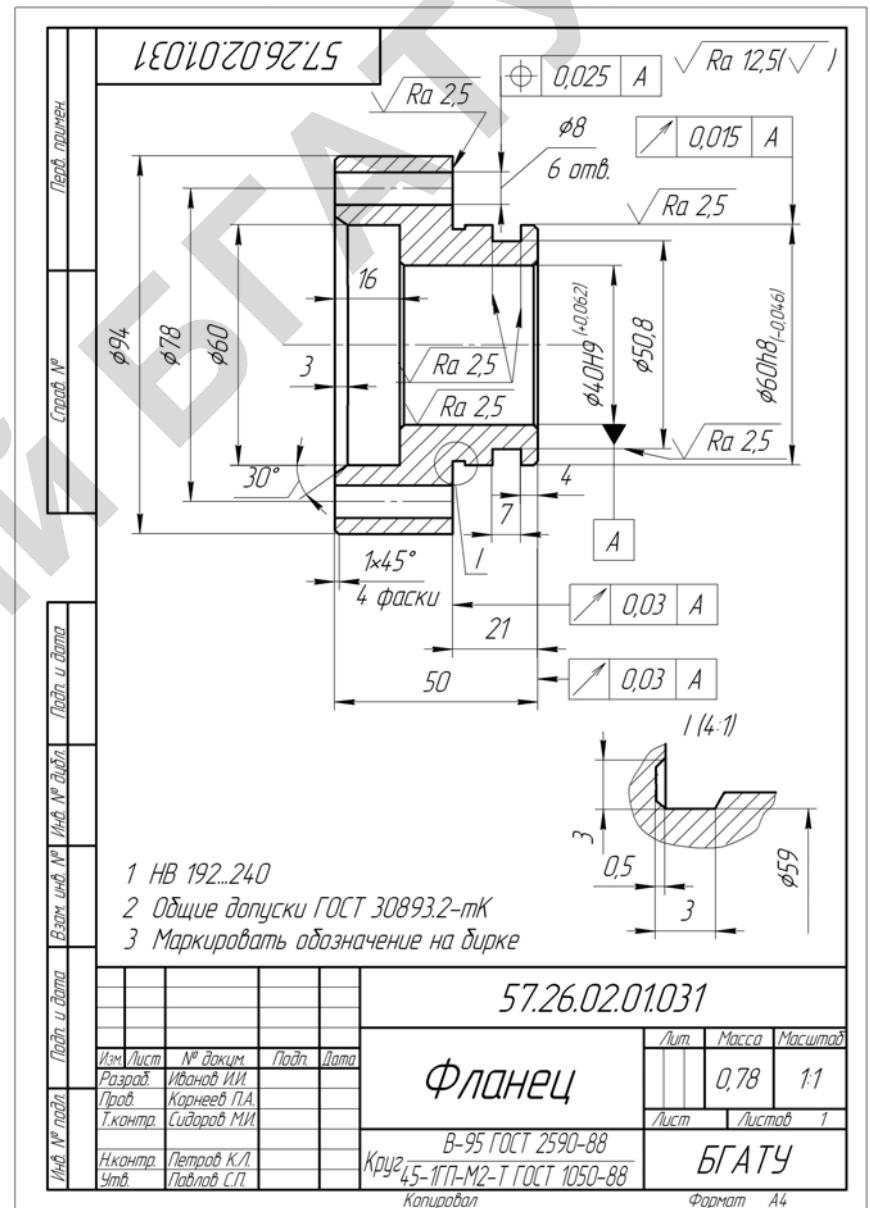
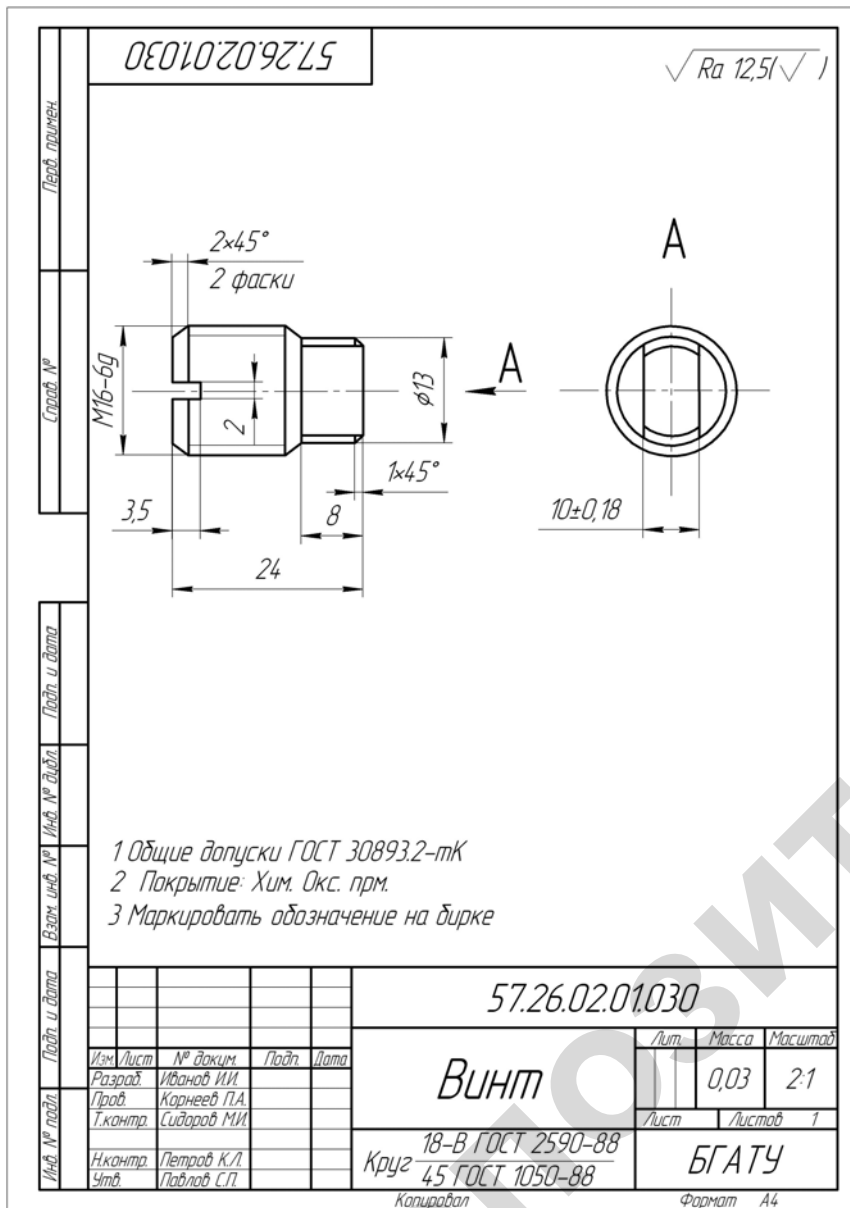


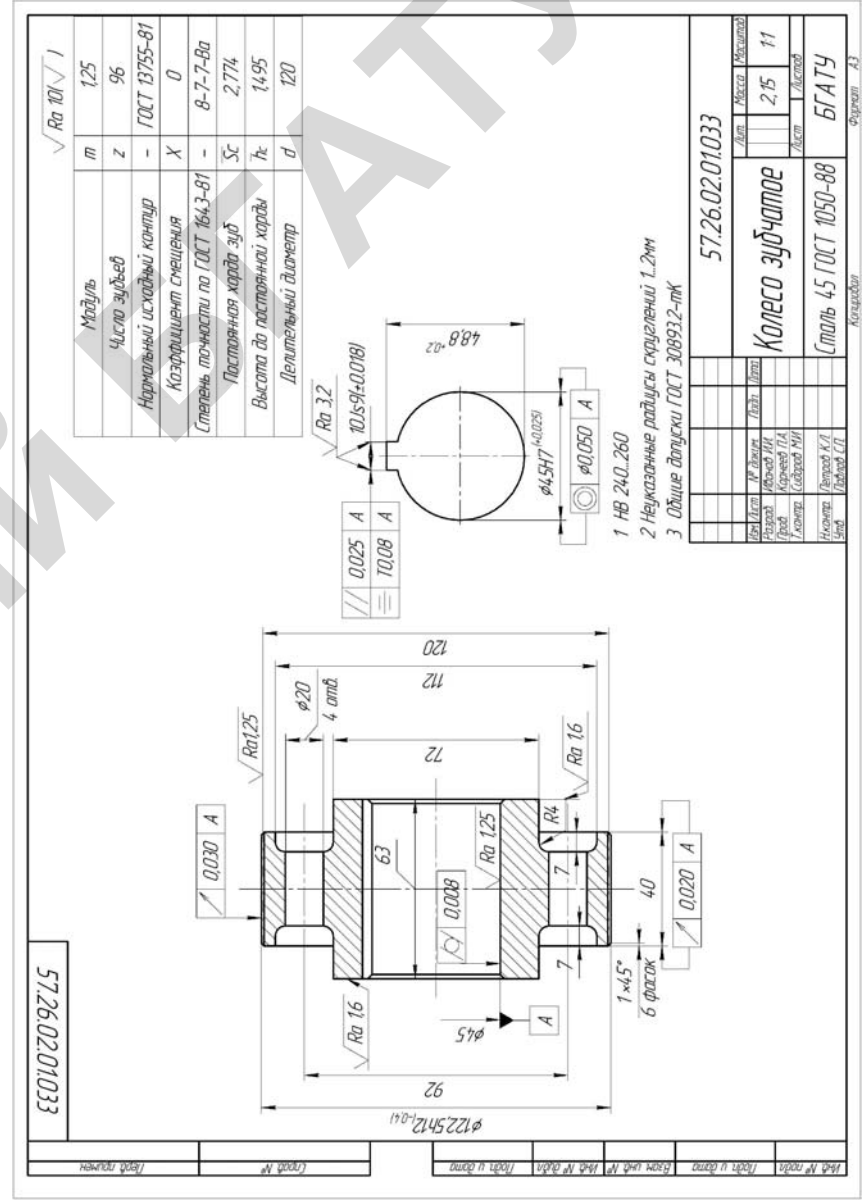
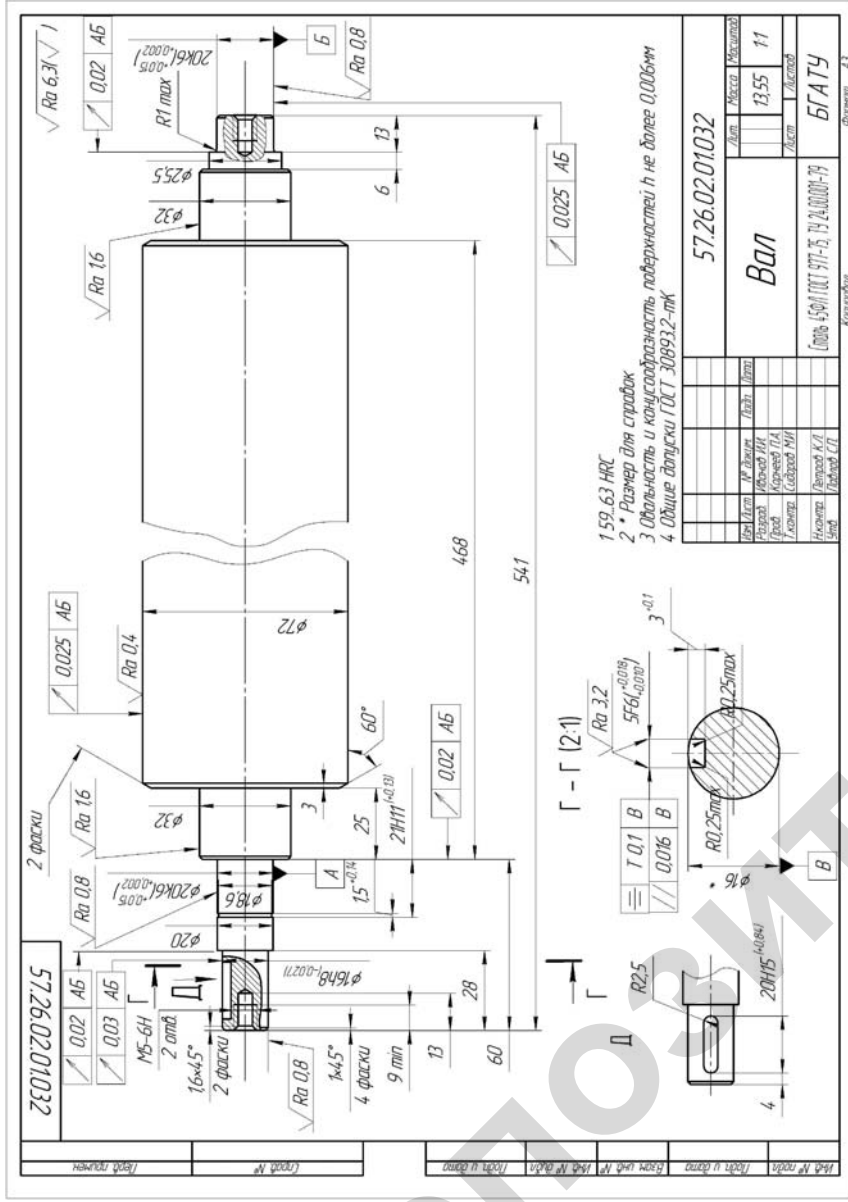


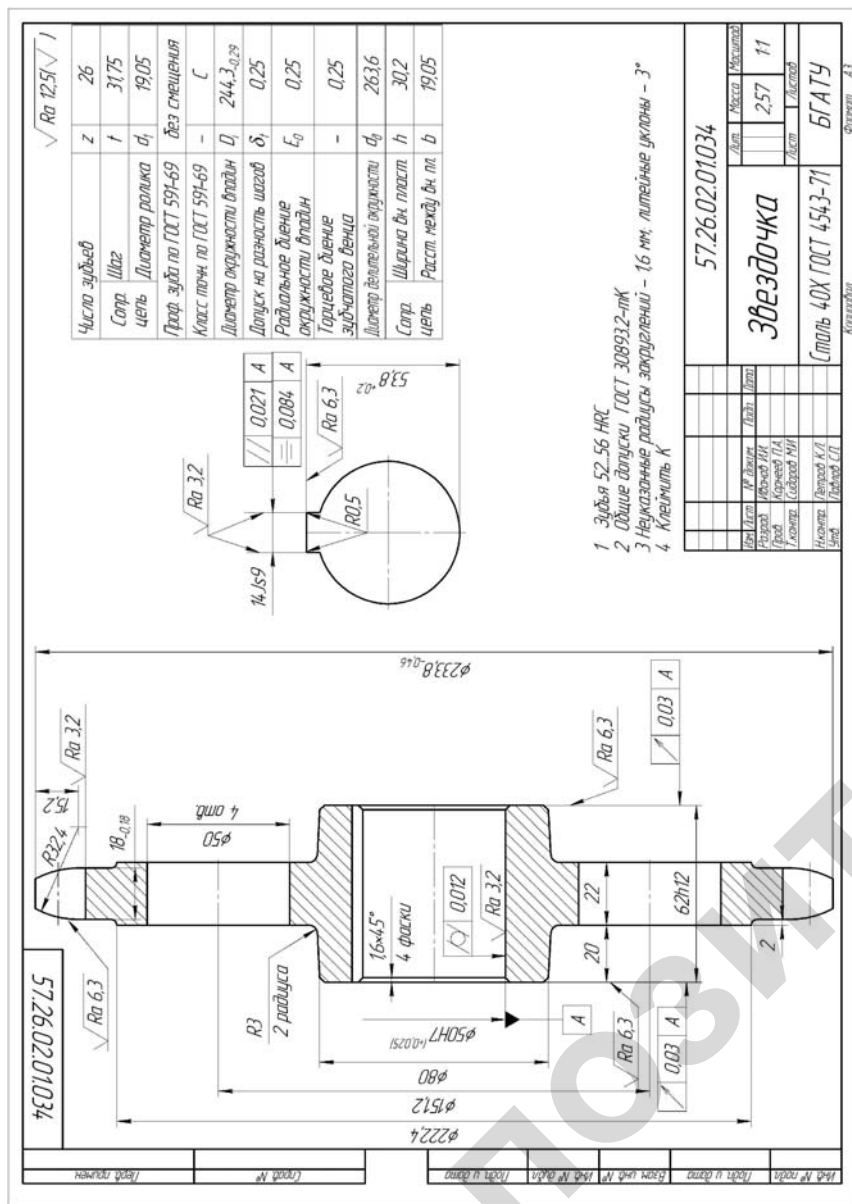












МАТЕРИАЛ К УПРАВЛЯЕМОЙ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЕ СТУДЕНТОВ

Тема: «АДАПТАЦИЯ К УСЛОВИЯМ ПРЕДПРИЯТИЯ БАЗЫ ДАННЫХ САПР ТП ПО РАЗДЕЛУ “ОСНАСТКА”»

В соответствии с индивидуальным заданием (табл. 1.9) студенты вносят в существующую базу необходимую при проектировании техпроцессов оснастки с характеристиками (значениями), используемыми пользователем при выборе того или иного типоразмера.

Таблица 1.9

Варианты индивидуальных заданий по УСРС № 1

№ задания	Наименование группы объектов адаптации в базе данных ПМК САПР ТП PRAMEN	Наименование объекта адаптации		
		Удлинитель	Патроны	Цанги
1	Цанговые патроны фирмы Sandvik Coromant	C3-391.01-32 060	C3-391.14-20 045	393.14-20 080
2		C4-391.01-40 060	C4-391.14-20 052	393.14-20 090
3		C4-391.14-25 052	C4-391.14-25 050	393.14-25 050
4		C4-391.14-32 054	C4-391.14-32 100	393.14-32 100
5		C5-391.01-50 100	C5-391.14-20 055	393.14-20 100
6		C5-391.14-25 055	C5-391.14-25 060	393.14-25 060
7		C5-391.14-32 057	C5-391.14-32 110	393.14-32 110
8		C6-391.01-63 100	C6-391.14-20 060	393.14-20 110
9		C6-391.14-25 060	C6-391.14-25 070	393.14-25 070
10		C6-391.14-32 060	C6-391.14-32 120	393.14-32 120
11		C6-391.14-40 065	C6-391.14-40 160	393.14-40 160
12		C8-391.01-80 125	C8-391.14-20 065	393.14-20 120
13		C8-391.14-25 070	C8-391.14-25 080	393.14-25 080
14		C8-391.14-32 070	C8-391.14-32 130	393.14-32 130
15		C8-391.14-40 070	C8-391.14-40 200	393.14-40 200
16		C8-391.14-50 080	C8-391.14-50 240	393.14-50 240
17		C4-391.01-40 080	C4-391.15-16 055	393.01-OZ 3465-040
18		C4-391.15-25 085	C4-391.15-25 085	393.01-OZ 3466-080

При выполнении самостоятельной работы и оформлении реферата студенты используют в качестве учебно-методического материала электронную версию руководства пользователя ОРГС 4664.013.ИЗ. «Система автоматизированного проектирования технологических процессов механической обработки деталей PRAMEN», разделы 4 и 7. Результатом выполнения УСРС является подготовленный и защищенный у преподавателя реферат.

РАЗНОУРОВНЕВЫЕ ЗАДАНИЯ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ ПО МОДУЛЮ 1

Билет для разноуровневого контроля знаний по модулю имеет следующую структуру:

1) уровень I (репродуктивный): компьютерное тестирование (6 тестовых заданий). Правильный ответ оценивается в 0,5 балла.

2) уровень II (продуктивный): 2 вопроса. В зависимости от полноты и качества ответа студента за каждый вопрос выставляется оценка 0; 0,5; 1,0; 1,5; 2,0 балла.

3) уровень III (творческий): 1 вопрос повышенной трудности. Максимальная оценка – 3 балла.

Уровень I (репродуктивный)

- | | |
|---|--|
| 1. Использование САПР на предприятии обеспечивает: | технической документации относятся: |
| а) экономию материалов; | а) маршрутные ведомости; |
| б) соблюдение стандартов качества; | б) операционные карты обработки; |
| в) ускорение подготовки производства. | в) нормы времени на выполнение операций. |
| 2. Задачи ТПП включают: | 5. Для серийного производства при подготовке производства к числу обязательной технической документации относятся: |
| а) ускорение освоения новых изделий; | а) нормы времени на выполнение операций; |
| б) улучшение маркетинга; | б) подробные технологические процессы; |
| в) нормирование расхода материалов. | в) маршрутно-операционные карты обработки. |
| 3. Единичный технологический процесс относится к изделиям: | 6. Проектирование – это процесс: |
| а) одного наименования, типоразмера и исполнения; | а) создания описания объекта; |
| б) одного предприятия; | б) вычерчивания формы изделия; |
| в) одного сборочного узла. | в) обработки данных. |
| 4. Для единичного производства при подготовке производства к числу обязательной | |

7. Программа – это алгоритм:
а) вычисления в коде ЭВМ;
б) вычерчивания геометрии детали;
в) расчета режимов резания.

8. Особенность современного машиностроительного производства:
а) увеличение численности работников;
б) рост объемов по ТПП;
в) увеличение программы выпуска изделий.

9. Главная задача автоматизации – это:
а) выполнение операции обработки заготовки детали;
б) обеспечение производительности и гибкости;
в) обеспечение гибкости.

10. Технологическая информация – это данные:
а) о размерах обрабатываемой заготовки детали;
б) о положении инструмента относительно выбранного начала координат;
в) о технологии обработки.

11. Геометрическая информация – это данные:
а) о размерах отдельных элементов детали и инструмента;
б) о положении инструмента относительно выбранного начала координат;
в) о технологии обработки.

12. Основная задача, которую необходимо решать при про-

ектировании технологического процесса:
а) формализация сведений о детали;
б) правильно выбрать заготовку детали;
в) обеспечить вывод результатов работы ЭВМ на печать.

13. Автоматизированным называют проектирование, которое выполняется в результате:
а) взаимодействия человека и ЭВМ;
б) работы проектировщика;
в) работы ЭВМ.

14. Автоматическим называют проектирование, которое выполняется в результате:
а) взаимодействия человека и ЭВМ;
б) работы проектировщика;
в) работы ЭВМ без участия человека.

15. Системы САД выполняют:
а) проектирование геометрических объектов;
б) проектирование технологических объектов;
в) оценку проектных решений.

16. С помощью систем САПР осуществляют:
а) объемное и плоское геометрическое моделирование;
б) проектирование технологических процессов;
в) проектирование технологических процессов и управ-

ляющих программ для станков с ЧПУ.

17. Системы САМ выполняют:
а) объемное и плоское геометрическое моделирование;
б) проектирование технологических объектов;
в) изготовление чертежей.

18. Типовые технологические процессы создают на основе:
а) подобия конструктивно-технологических признаков;
б) подобия конструктивных признаков;
в) подобия технологических признаков.

19. Групповые технологические процессы создают на основе:
а) подобия конструктивно-технологических признаков;
б) унификации конструктивных признаков;
в) подобия способов обработки.

20. Системы САМ выполняют:
а) объемное и плоское геометрическое моделирование;
б) проектирование технологических объектов;
в) изготовление чертежей.

21. Базовая информация для проектирования технологических процессов включает:
а) данные, содержащиеся в конструкторской документации на изделие;

б) стандарты ЕСТПП на проектирование технологических объектов;
в) документацию на действующие технологические процессы.

22. Руководящая информация для проектирования технологических процессов включает:
а) справочники технологических нормативов;
б) программу выпуска изделий;
в) документацию на действующие технологические процессы.

23. Справочная информация для проектирования технологических процессов включает:
а) каталоги средств технологического оснащения;
б) программу выпуска изделий;
в) документацию на действующие технологические процессы.

24. Принцип типизации как метод технологической унификации заключается в ориентации:
а) на создание и использование типовых и унифицированных элементов;
б) совместное функционирование составных частей САПР;
в) использование стандартных интерфейсов.

25. Задача анализа технических объектов предполагает:

- а) изучение свойств технических объектов;
- б) создание новых вариантов;
- в) создание типовых технических решений.

26. Задача синтеза технических объектов предполагает:

- а) изучение свойств технических объектов;
- б) создание новых вариантов;
- в) изучение структуры технических объектов.

27. Типовой технологический процесс ориентирован:

- а) на деталь-представитель;
- б) комплексную деталь;
- в) единичную деталь.

28. Групповой технологический процесс ориентирован:

- а) на деталь-представитель;
- б) комплексную деталь;
- в) единичную деталь.

29. К какому уровню автоматизации проектирования относится САПР, если она обеспечивает выполнение в автоматическом режиме 20 % всех проектных процедур:

- а) низко автоматизированному;
- б) средне автоматизированному;
- в) высоко автоматизированному.

30. К какому уровню автоматизации проектирования относится САПР, если она обеспечивает выполнение в автоматическом режиме 40 % всех проектных процедур:

- а) низко автоматизированному;
- б) средне автоматизированному;
- в) высоко автоматизированному.

31. К какому уровню автоматизации проектирования относится САПР, если она обеспечивает выполнение в автоматическом режиме 60 % всех проектных процедур:

- а) низко автоматизированному;
- б) средне автоматизированному;
- в) высоко автоматизированному.

32. Каждый набор условий в табличной модели соответствует количеству вариантов структуры технологического процесса:

- а) 5;
- б) 10;
- в) 1.

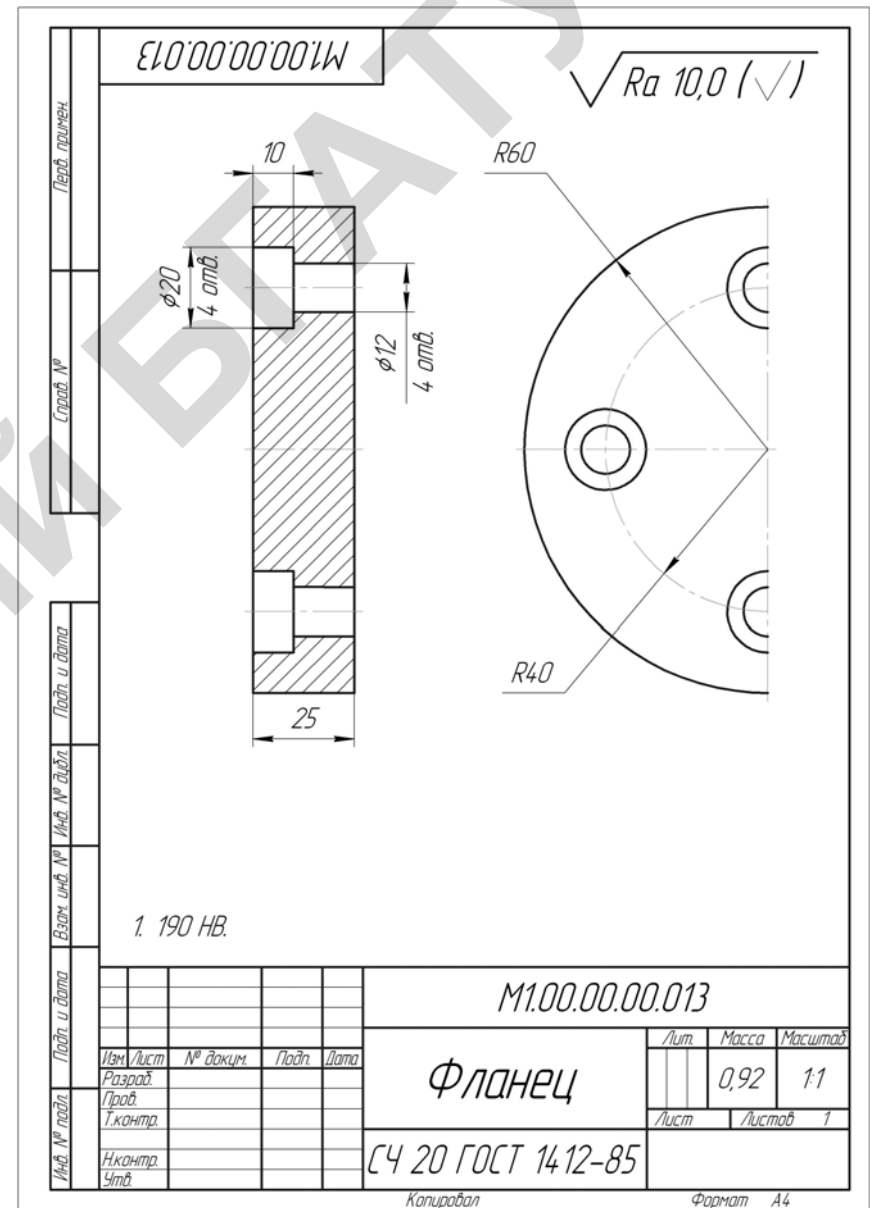
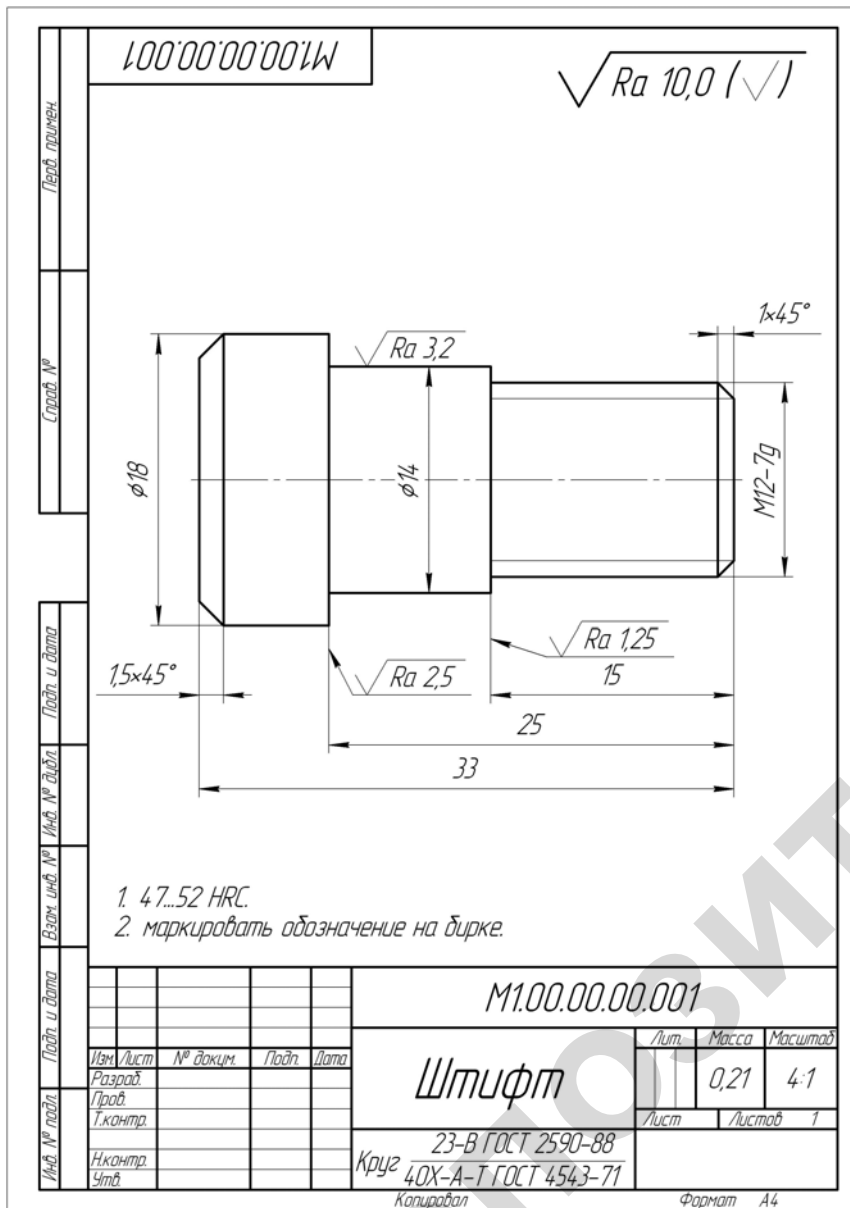
Уровень II (продуктивный)

1. Основные задачи технологической подготовки производства.
2. Роль технологической подготовки производства в машиностроении.
3. Классификация систем компьютерного проектирования в машиностроении.
4. Требования к технологической подготовке производства на современном этапе.
5. Классификация САПР технологической подготовки производства.
6. Характеристика геометрической и технологической информации.
7. Интегрированные САПР в машиностроении. Требования к интегрированным САПР.
8. Иерархическая структура технологического процесса как объекта автоматизированного проектирования.
9. Классификация исходной информации для автоматизированного проектирования технологических процессов
10. Сущность принципа системного подхода при компьютерном проектировании.
11. Технические ограничения при проектировании структуры технологических операций.
12. Методы технологической унификации, используемые в САПР ТП.
13. Понятие множества в технологическом проектировании.
14. Виды графов и их использование при решении задач технологического проектирования.
15. Определение графа, ребра, дуги. Их использование при формализации проектных процедур.

Уровень III (творческий)

Разработать с использованием программно-методического комплекса PRAMEN в режиме «Автоматическое проектирование» маршрутный технологический процесс обработки детали типа «тела вращения» (15 вариантов).

Примеры вариантов деталей:



**Модуль 2. СТРУКТУРА СИСТЕМЫ
АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ МЕХАНИЧЕСКОЙ
ОБРАБОТКИ И УПРАВЛЯЮЩИХ ПРОГРАММ
ДЛЯ СТАНКОВ С ЧПУ В УСЛОВИЯХ
МЕЛКОСЕРИЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА**

Тематический план модуля 2

- В результате изучения модуля студент *должен знать*:
- методологию автоматизированного проектирования технологических процессов;
 - структуру САПР технологических процессов и САПР управляющих программ для станков с ЧПУ;
 - виды обеспечения и языки САПР ТП;
 - режимы работы САПР ТП;
 - порядок автоматизированного проектирования технологических процессов;
 - методы разработки управляющих программ для станков с ЧПУ.
- студент *уметь*:
- правила адаптации САПР ТП к условиям их применения на предприятии.
- уметь*:
- использовать возможности САПР ТП для проектирования конкретных технологических процессов;
 - осуществлять выбор типовых конструкторско-технологических решений;
 - разрабатывать технологическую документацию с использованием ПМК САПР ТП PRAMEN.

Наименование занятия, перечень основных вопросов	Количество аудиторных часов			
	Всего	Лекции	Лабораторные занятия	УРС
<i>1</i>	2	3	4	5
Математическое моделирование в САПР ТП. Расчет режимов резания. Математическое моделирование в САПР технологических процессов. Этапы решения задач методом математического моделирования. Основные положения теории линейного программирования	2	2		
Кодирование чертежей плоских деталей в ПМК САПР ТП. Анализ, проработка на технологичность и формирование электронных чертежей	2		2	
Кодирование чертежей плоских деталей в ПМК САПР ТП. Задание общих сведений о детали и ее поверхностях	2		2	
Структура и виды обеспечения САПР ТП. Структура САПР ТП. Методы автоматизированного проектирования. Виды обеспечения САПР ТП	2	2		
Кодирование чертежей плоских деталей в ПМК САПР ТП. Кодирование дополнительных элементов и их технологических параметров	2		2	
Кодирование чертежей плоских деталей в ПМК САПР ТП. Формирование файла DET 00, его анализ и редактирование	2		2	
Ввод в базу данных программно-методического комплекса САПР ТП PRAMEN новой модели оборудования и значений ее технических характеристик» (управляемая самостоятельная работа студентов)	2			2
Кодирование чертежей деталей типа «тела вращения» в ПМК САПР ТП. Формирование комплекта технологической документации	2		2	

1	2	3	4	5
Редактирование операционных технологических карт обработки конкретной детали в режиме «Проектирование с редактированием» или «Диалоговое проектирование» (управляемая самостоятельная работа студентов)	2			2
САПР ТП и управляющих программ для станков с ЧПУ в условиях мелкосерийного производства. Заключение. Структура управляющей программы для станков с ЧПУ. Методы разработки управляющих программ. Классификация САПР УП. Структура и состав САПР УП. Функции модулей САПР УП. Характеристики САПР УП. Задание геометрической информации в САПР УП	2	2		
Разработка управляющей программы обработки поверхностей детали на станке мод. 16A20Ф3. Описание геометрии	2		2	
Разработка управляющей программы обработки поверхностей детали на станке мод. 16A20Ф3. Декодирование информации	2		2	
Контроль по модулю	2			2
Итого по модулю 1	26	6	14	6

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ МОДУЛЯ 2

2.1. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В СИСТЕМЕ АВТОМАТИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ. РАСЧЕТ РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ

2.1.1. Математическое моделирование в системе автоматизированного проектирования технологических процессов

Математика представляет собой средство или инструмент для решения различных задач, возникающих в других отраслях науки и в практической деятельности человека. Этим инструментом, как и любым другим, надо уметь пользоваться, т. е. уметь использовать ее широкие возможности для решения других задач.

Математическое моделирование – это методы математической формализации и решения задач, возникающих в различных областях деятельности человека, т. е. это искусство применять математику.

Общепринятого определения этого термина не существует. На эмоциональном уровне можно сказать, что в философском контексте математическое моделирование является одним из наиболее общих методов научного познания закономерностей создания и функционирования реальных объектов различной природы.

Математическая модель (ММ) описывает зависимость между исходными и искомыми величинами или данными. Математические соотношения могут представлять собой функциональные зависимости или логические соотношения. В результате реальный объект заменяется математической моделью.

В настоящее время основные этапы перехода от объекта оригинала к его математической модели выполняются на основе опыта, интуиции и анализа аналогичных исследований.

Таким образом, для перехода от словесного описания задачи к математической формулировке используют математические методы. Первым этапом решения задачи автоматизации проектирования технологических процессов является *математическая формули-*

ровка задачи, включающая математическое описание условий задачи, а также определение аналитических выражений, которые подлежат решению на ЭВМ [1–3].

В процессе проектирования с помощью САПР в качестве промежуточных и окончательных решений используют математические модели следующих видов:

– иконические, отображающие оригинал в двух- или трехмерном измерении, по необходимости в уменьшенном или увеличенном масштабе: это плоские и объемные изображения объектов проектирования, выполненные в соответствии с правилами ЕСКД, ЕСТД, ЕСТПП (чертежи, схемы, карты эскизов, фотографии);

– аналоговые, воссоздающие, например, статические и динамические свойства оригинала (графы, диаграммы, циклограммы, сетевые графики, физические модели, в которых используется подобие явлений и процессов, и имитационные (статистические) модели, отображающие с помощью ЭВМ поведение оригинала в разнообразных реальных ситуациях, в которых может оказаться будущий объект проектирования). Для технологического процесса – это его структура, представленная в виде маршрутной, операционной карты. Для процесса проектирования – это его структура, представленная в виде графа;

– символические, отображающие свойства и отношения оригинала с помощью слов или математических символов (описания с помощью естественного или специализированного языка, логические модели, которые переводят реальную систему и отношения в ней на язык алгебры логики);

– модели состояний и значений свойств объекта – это формальное (упрощенное) описание объекта (процесса) в виде отдельных формул, систем уравнений и т. д. Они предназначены для расчетов параметров объекта проектирования. Для технологического проектирования – это математические модели для расчета припусков и межоперационных размеров, режимов резания и т. д.

То есть математическая модель

ММ $\left\{ \begin{array}{l} \text{ЦФ (целевая функция)} \\ \text{ОГР (ограничения)} \\ \text{ГРУ (граничные условия)} \end{array} \right.$

Математические модели, используемые в САПР ТП, имеют общую структуру [2, 4]. Все переменные в математических моделях делятся на три группы: управляемые, неуправляемые и производные.

Под *управляемыми переменными* понимаются такие, выбор конкретных значений которых определяет выбор того или иного проектного решения.

Неуправляемые переменные характеризуют ситуацию, в которой должно быть принято решение. Они описывают внешние факторы, не зависящие от оптимизируемых проектных решений, но влияющие на последствия принятия решения.

Производные переменные, зависящие от управляемых и неуправляемых переменных, являются результатами принятия решения. К таким переменным относятся в проектных задачах технико-экономические характеристики проектируемого объекта.

При выполнении проектных задач возникает необходимость учитывать возможность достижения нескольких количественных целей по принятому критерию.

Зависимость между этим критерием и параметрами оптимизации называется *целевой функцией*.

Для различных математических задач, используемых в САПР ТП, разработаны численные методы их решения. Численные методы позволяют свести решение самых разнообразных и сложных операций (интегрирование, дифференцирование, логарифмические и другие функции) к последовательному выполнению четырех арифметических действий.

В САПР технологических процессов находят применение структурно-логические и функциональные математические модели.

Структурно-логические математические модели подразделяются на табличные, сетевые и перестановочные.

Табличная модель описывает одну конкретную структуру технологического процесса. В табличной модели каждому набору условий соответствует единственный вариант проектируемого технологического процесса. Поэтому табличные модели используют для поиска типовых проектных решений.

Для примера рассмотрим обработку группы деталей d_1, d_2, d_3 на прутковом токарном автомате. Последовательность обработки их поверхностей устанавливается с помощью табличных моделей.

Каждая деталь (рис. 2.1) имеет поверхности с определенными свойствами F'_1, F'_2, F'_3 :

$$F(d_1) = \{F_1, F_2, F_3, F_4, F_5, F_6, F_7, F_8\} = F'_1;$$

$$F(d_2) = \{F_1, F_2, F_3, F_4, F_5, F_8\} = F'_2;$$

$$F(d_3) = \{F_1, F_2, F_5, F_8\} = F'_3.$$

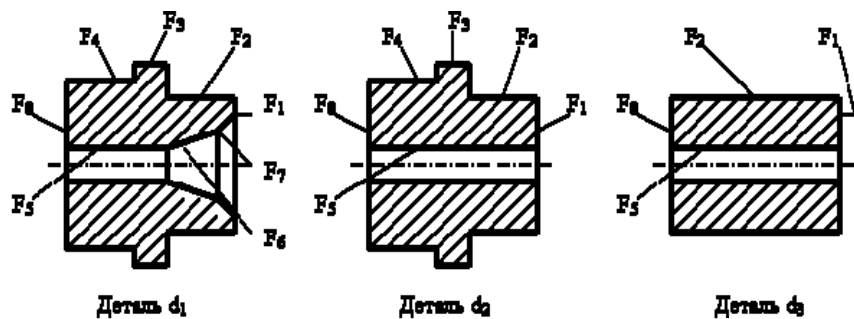


Рис. 2.1. Эскизы заготовок при их токарной обработке

На рис. 2.2 представлены табличные модели в виде графов взаимосвязей переходов при обработке деталей d_1, d_2, d_3 на данной операции.

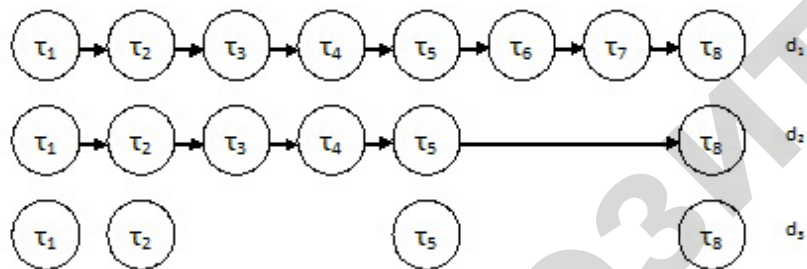


Рис. 2.2. Графы взаимосвязей переходов при обработке деталей d_1, d_2, d_3 : $\tau_1 \dots \tau_8$ – операторы (технологические переходы): τ_1 – подрезка торца; τ_2, τ_3, τ_4 – точение наружной цилиндрической поверхности; τ_5 – сверление; τ_6 – зенкерование; τ_7 – зенкование; τ_8 – отрезка

Для представления данных на языке, удобном для программирования, информация об обработке деталей на указанной операции может быть описана в виде табл. 2.1 и 2.2, которые затем можно превратить в массивы.

Таблица 2.1

Связи между свойствами поверхностей деталей и операторами (технологическими переходами)

τ_i	F_j							
	F_1	F_2	F_3	F_4	F_5	F_6	F_7	F_8
τ_1	1	0	0	0	0	0	0	0
τ_2	0	1	0	0	0	0	0	0
τ_3	0	0	1	0	0	0	0	0
τ_4	0	0	0	1	0	0	0	0
τ_5	0	0	0	0	1	0	0	0
τ_6	0	0	0	0	0	1	0	0
τ_7	0	0	0	0	0	0	1	0
τ_8	0	0	0	0	0	0	0	1

Таблица 2.2

Связи между совокупностями свойств деталей и операторами (технологическими переходами)

τ_i	F'_j		
	F'_1	F'_2	F'_3
τ_1	1	1	1
τ_2	1	1	1
τ_3	1	1	0
τ_4	1	1	0
τ_5	1	1	1
τ_6	1	0	0
τ_7	1	0	0
τ_8	1	1	1

Сетевые модели описывают множество структур технологического процесса, отличающихся количеством и (или) составом элементов структуры при неизменном отношении порядка. Структура элементов сетевой модели описывается ориентированным графом, не имеющим ориентированных циклов. В модели может содержаться несколько вариантов проектируемого технологического процесса, однако во всех вариантах порядок элементов одинаков.

В таблицах логическая единица обозначает наличие связи, а ноль – отсутствие таковой.

Рассмотрим сетевую модель технологического проектирования маршрута обработки детали «Зубчатое колесо» (рис. 2.3).

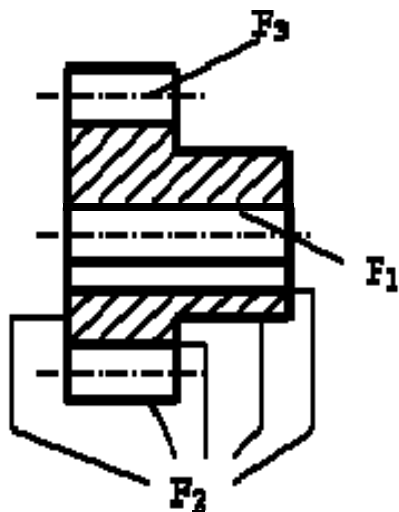


Рис. 2.3. Эскиз детали «Зубчатое колесо»

На рис. 2.4 показан граф взаимосвязи операторов (технологических операций) по возможной последовательности их выполнения.

Этот граф можно представить в виде матрицы (здесь не приводится), которая в свою очередь может быть без труда описана в виде массива информации. Массивы, как известно, являются неизменными атрибутами любого языка программирования.

Сетевая модель включает в себя таблицу связей свойств поверхностей детали и операторов технологического процесса (технологических операций) (табл. 2.3).

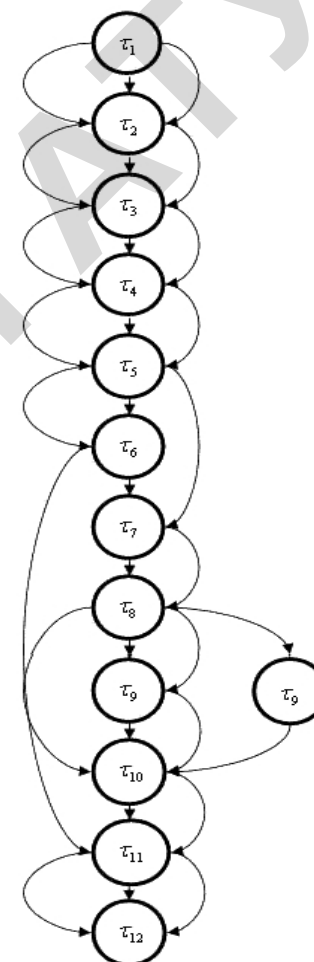


Рис. 2.4. Граф взаимосвязи операторов (технологических операций) по возможной последовательности их выполнения:

τ_1 – заготовительная; τ_2 – протяжная (протягивание базового отверстия); τ_3 – черновая токарная (черновое точение зубчатогоколеса); τ_4 – чистовая токарная (чистовое точение контура зубчатогоколеса); τ_5 – зубофрезерная черновая (черновая нарезка зубьев); τ_6 – зубофрезерная чистовая (чистовая нарезка зубьев); τ_7 – термическая (объемная закалка); τ_8 – внутришлифовальная (шлифование базового отверстия); τ_9 – зубошлифовальная (шлифование зубьев); τ_{10} – притирочная (притирка зубьев); τ_{11} – моечная (мойка бетали); τ_{12} – контрольная (контроль технических требований к детали)

Таблица 2.3

Связи между свойствами поверхностей детали и операторами технологического процесса

T_i	F_j		
	F_1	F_2	F_3
T_1	1	1	С
T_2	1	0	С
T_3	0	1	С
T_4	0	1	С
T_5	0	0	1
T_6	0	0	1
T_7	1	1	1
T_8	1	0	С
T_9	0	0	1
T_{10}	0	0	1
T_{11}	1	1	1
T_{12}	1	1	1

Перестановочные модели описывают множество структур технологического процесса, отличающихся количеством и (или) составом элементов структуры при изменении отношения порядка. Отношения порядка в этих моделях задаются с помощью графа, содержащего ориентированные циклы.

На рис. 2.5 показан граф, отображающий расцеховку при изготовлении изделия.

Сетевые и перестановочные модели используют для получения типовых, групповых и индивидуальных технологических процессов. Наличие в них вариантов позволяет производить оптимизацию технологических процессов.

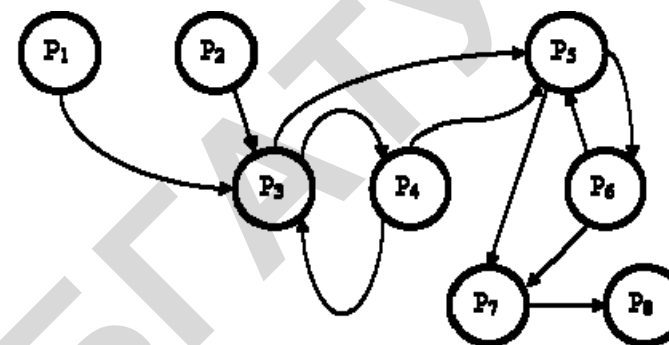


Рис. 2.5. Граф, отображающий расцеховку при изготовлении изделия:
 P_1, P_2, \dots, P_8 — цехи: P_1 — литейный; P_2 — кузнечный; P_3 — механический; P_4 — термический; P_5 — механосборочный; P_6 — узловой сборки; P_7 — испытательный; P_8 — упаковочный

Примером функциональных моделей могут быть математические модели, используемые при расчете и оптимизации режимов резания.

2.1.2. Этапы решения задач методом математического моделирования

Исследование реальных объектов методом математического моделирования в общем случае представляет собой последовательное выполнение следующих этапов [4–6]:

1. Формулировка цели исследования, которая должна быть достигнута при моделировании. Важность этого этапа состоит в том, что цель исследования в значительной степени обуславливает сложность математической модели и саму возможность решения задачи.

2. Анализ моделируемого объекта. На этом этапе устанавливается, какие из признаков объекта оригинала являются существенными с точки зрения решаемой задачи. Определяются исходные данные, характеризующие эти признаки, возможна разработка конструктивной или функциональной схемы объекта и т. п.

3. Разработка физической модели и обоснование ее соответствия по существенным признакам моделируемому объекту. На этом этапе формулируются ограничения и предположения, которые упрощают описание объекта-оригинала, не нанося при этом существенного ущерба достоверности получаемых результатов исследования. Этот этап особенно важен, поскольку большинство реальных технических объектов являются крайне сложными, поэтому без упрощения их математическое моделирование зачастую просто невозможно.

4. Разработка математической модели.

5. Разработка алгоритма или алгоритмов компьютерной модели. Здесь следует отметить, что на основании одной и той же модели могут быть построены различные алгоритмы. Это зависит от того, какие из параметров в рамках предпринимаемого исследования будут известными, а какие искомыми. Например, параметры, которые считаются известными при решении задач анализа, будут неизвестными (искомыми) при решении задач синтеза и наоборот.

6. Разработка компьютерной программы или пакета программ. Обычно для этих целей используют языки программирования высокого уровня, такие как Си++, Delphi и др.

7. Отладка и тестирование программ. Этот этап часто является самым трудоемким. Здесь выявляются ошибки не только в программе, но и в алгоритме, и в самой математической модели. Нередко на этапе отладки программ выявляется некорректность или невозможность допущений и ограничений, принятых на этапе разработки физической модели. Это, в свою очередь, может привести к необходимости отказа от разработанной математической модели и разработке новой.

8. Численные исследования, анализ и интерпретация результатов численных исследований в терминологии объекта-оригинала.

9. Определение погрешности получаемых результатов.

Маршрут изготовления типовых компонентов детали может формироваться с помощью:

- стандартных типовых маршрутов;
- синтеза различных вариантов.

Стандартные типовые маршруты применяются при типовом проектировании технологии для детали-аналога или конструктивного элемента. Алгоритмы формирования плана обработки компо-

нентов деталей строятся на основе классификатора типовых переходов и их кодирования.

Для реализации алгоритма формируется n -значный код перехода, отражающий его класс и вид, а также особенности его выполнения и требования к качеству обработки. Типовое и групповое проектирование основано на принципах технологической унификации и на разработке классификаторов типовых деталей и техпроцессов-аналогов. Для проектирования технологического процесса с помощью типовой и групповой технологии (как при ручном, так и при автоматизированном проектировании) на основании классификации деталей для каждого класса заранее проектируется типовой технологический процесс, имеющий принципиально общий маршрут и содержание операций, типовые схемы базирования и конструкцию оснастки. На базе этого технологического процесса его пользователь составляет технологические процессы на конкретные детали данного класса, пользуясь типовым технологическим процессом как прототипом. Проектирование типовых и групповых технологических процессов способствует сокращению сроков и стоимости технологической подготовки производства.

Задача синтеза маршрута обработки поверхностей решается с помощью поиска кратчайшего пути на сети состояний поверхности. Сеть состояний представляется в виде матрицы процесса обработки поверхности.

Строки матрицы представляют собой состояние поверхности перед началом обработки, столбцы – различные состояния во время обработки. На пересечении соответствующих строк и столбцов записывают рассчитанные величины стоимостей технологических переходов. Поэтому на основании совокупности исходных матриц можно формировать две сводные матрицы: матрицу методов обработки и матрицу стоимостей обработки.

Виды алгоритмов. *Алгоритм* – это правило действий, указывающее, как и в какой последовательности это правило необходимо применять к исходным данным задачи, чтобы получить ее решение.

Наиболее распространены следующие формы представления (описания) алгоритма:

1. *Словесное описание.* Представляет собой общее описание процедур на естественном языке. Степень детализации вычислительного процесса является весьма низкой, формализация процесса

практически отсутствует. Положительным моментом является емкое и компактное описание задачи целиком.

2. *Операторное описание.* Заключается в подробном описании процесса, расчлененного на отдельные формулы или даже отдельные арифметические операции со словесным или символьным указанием последовательности действий. Такое представление алгоритма сопровождается почти полной формализацией. Поэтому программирование его значительно упрощается. Такую форму представления алгоритма целесообразно применять для несложных и малых по объему расчетных задач.

3. *Описание в виде таблицы принятия решений.* Таблицы принятия решений следует рассматривать как специальную форму алгоритмов, которые особенно хорошо подходят для постановок технологических задач.

Преимущества формы представления алгоритма в виде таблиц принятия решений следующие:

- возможность любого развития по строкам и столбцам;
- хорошие возможности для применения типовых решений (маршрутов обработки, станков, инструментов и др.);
- приспособляемость к специфическим условиям предприятия посредством замены, развития или изменения;
- легкое представление таблиц принятия решений как подпрограмм общей системы алгоритмов.

4. *Описание в виде математических зависимостей.* Это достаточно краткая и рациональная форма представления алгоритмов. Функциональные зависимости, записанные в виде формул, обеспечивают минимизацию объема памяти ЭВМ.

5. *Описание в виде граф-схем.*

Принятие решений при технологическом проектировании. Решение задачи технологического проектирования с помощью ЭВМ представляет собой моделирование деятельности технолога, проектирующего технологический процесс. Множество частных технологических задач, которые решает технолог в процессе проектирования, можно свести в две группы.

Первую группу составляют задачи, которые легко поддаются формализации. К таким задачам следует отнести расчет режимов резания, расчет припусков на механическую обработку, расчет норм времени и т. д. Решение этих задач сводится к выполнению

расчетов по формулам. Для них легко составить формальный алгоритм, позволяющий для решения использовать ЭВМ. Однако таких задач при технологическом проектировании немного.

Вторую группу составляют задачи, которые условно называют неформализуемыми. К таким задачам относятся: выбор метода обработки, выбор оборудования, инструмента, назначение схемы базирования, выбор вида заготовки, определение последовательности операций и т. д. Эти задачи объединяет то, что для них в технологии машиностроения нет формальных методов решения, т. е. не установлены функциональные соотношения, позволяющие формально получать решения с учетом исходных данных.

Например, при выборе метода обработки отверстия заданных размеров и точности технологу не нужно изобретать новые методы обработки отверстий, а следует выбрать уже известный, апробированный способ.

Рассмотрим задачу выбора шлифовального круга на операцию круглого наружного шлифования методом врезания. Для решения этой задачи необходимо:

- сформировать множество типовых решений;
- сформировать комплекс условий применимости;
- сформировать массив параметров применимости;
- разработать алгоритм логической проверки соответствия исходных данных и условий применимости.

Допустим, на некотором предприятии имеются шлифовальные станки трех моделей – они и составляют *множество типовых решений (МТР)*:

$MTP = \{ЗУ12В, ЗУ131М, ЗМ163В\}$.

Сформируем комплекс условий применимости выявленных типовых решений. *Комплекс условий применимости* – это множество параметров, проверка которых с достаточной достоверностью позволит выбрать то или иное решение. Условиями применимости в данном случае являются:

- возможность размещения обрабатываемой заготовки в рабочей зоне станка;
- возможность обработки заготовки на данном типе оборудования.

Первая группа условий регламентирует габаритные размеры детали: диаметр вала D и его длина L (рис. 2.6) должны находиться в пределах, допустимых рабочей зоной станка.

Вторую группу условий составляют следующие требования: длина шлифуемой шейки l не должна превышать высоту H шлифовального круга l ; высота бурта h у шлифуемой шейки детали 3 не должна быть больше, чем разность радиусов шлифовального круга l и закрепляющей его планшайбы 2 .

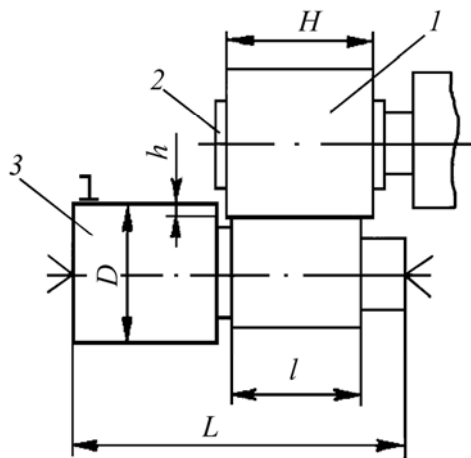


Рис. 2.6. Схема установки заготовки детали на шлифовальном станке

Условия применимости типового решения являются ограничениями на параметры, характеризующие исходные данные рассматриваемой задачи. Это позволяет описать комплекс условий применимости (КУП) математическими средствами:

$$\text{КУП} = \left\{ \begin{array}{l} D_{\min} \leq D \leq D_{\max} \\ L_{\min} \leq L \leq L_{\max} \\ l_{\min} \leq l \leq l_{\max} \\ h_{\min} \leq h \leq h_{\max} \end{array} \right\}.$$

Совокупность параметров, регламентированных комплексом условий применимости, называют *комплексом параметров применимости*. В данном случае $\text{КПП} = \{D, L, l, h\}$.

В соответствии с КПП формируются исходные данные задачи и характеристики типовых решений.

Для решения задачи нужно выявить допустимые для каждого типового решения диапазоны параметров применимости. Характеристики шлифовальных станков и обрабатываемых деталей приведены в табл. 2.4.

Таблица 2.4

Условия применимости шлифовальных станков

Модель станка	Параметры станков, мм			
	D	L	l	h
3У12В	≤ 200	≤ 500	≤ 40	≤ 50
3У131М	≤ 280	≤ 700	≤ 50	≤ 75
3М163В	≤ 280	≤ 1400	≤ 200	≤ 75

Затем формируется массив условий применимости (МУП):

$$\text{МУП} = \begin{matrix} 3У12В \\ 3У131М \\ 3М163М \end{matrix} \begin{pmatrix} D & L & l & h \\ 200 & 500 & 40 & 50 \\ 280 & 700 & 50 & 75 \\ 280 & 1400 & 200 & 75 \end{pmatrix}.$$

В соответствии с комплексом условий применимости для заданного набора исходных данных (параметров деталей) $U_d = \{D_d, L_d, l_d, h_d\}$ из трех имеющихся принимается то решение, которое удовлетворяет неравенствам КУП.

Процедуру проверки этих условий можно описать при помощи *формального алгоритма* (рис. 2.7).

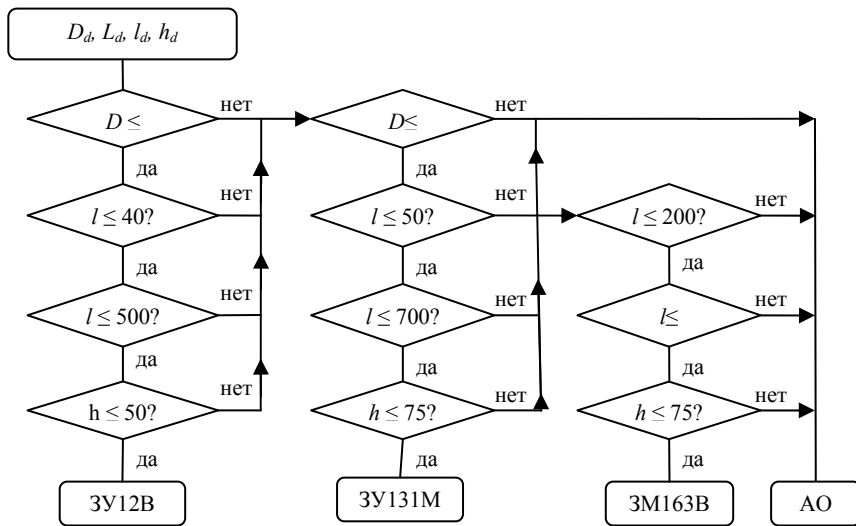


Рис. 2.7. Схема алгоритма выбора шлифовального станка:
 АО – отсутствует модель по условиям применяемости

На основе этого алгоритма может быть составлена программа, позволяющая для любого набора U_d выбрать модель шлифовального станка.

Важнейшим этапом в разработке алгоритма решения задачи логического типа является формирование комплекса условий применяемости. В рассмотренном примере выделены лишь условия, определяющие принципиальную возможность обработки. В производственных условиях этот комплекс может быть расширен.

Таким образом, при решении частных технологических задач с применением ЭВМ необходимо в каждом случае сформировать множество типовых решений, комплекс условий применяемости каждого типового решения, массив условий применяемости, а также разработать правила проверки этих условий – алгоритм решения.

На основании полученных решений, которые являются составными элементами ТП, формируется полный технологический процесс.

2.1.3. Основные положения теории линейного программирования

Общей задачей линейного программирования называется задача поиска экстремума (максимума или минимума) линейной функции n переменных x_1, x_2, \dots, x_n :

$$z = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n \rightarrow \min(\max),$$

удовлетворяющих m линейным ограничениям:

$$a_{i1}x_1 + a_{i2}x_2 + \dots + a_{in}x_n \leq b_i, i = \overline{1, m_1},$$

$$a_{i1}x_1 + a_{i2}x_2 + \dots + a_{in}x_n = b_i, i = \overline{m_1 + 1, m_2},$$

$$a_{i1}x_1 + a_{i2}x_2 + \dots + a_{in}x_n \geq b_i, i = \overline{m_2 + 1, m}$$

и, возможно, условию неотрицательности для некоторых переменных [12, 13].

Пусть задана, например, система m линейных алгебраических уравнений с n неизвестными x_1, x_2, \dots, x_n :

$$\begin{cases} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n = b_1, \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n = b_2, \\ \dots \\ a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n = b_m \end{cases} \quad (2.1)$$

и линейная функция $Z = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n$ относительно этих неизвестных.

Требуется найти такое неотрицательное решение $x_1 \geq 0, x_2 \geq 0, \dots, x_n \geq 0$ заданной системы (2.1), при котором функция Z принимает минимальное значение.

Система (2.1) – это система ограничений данной задачи.

В математической постановке основной задачи линейного программирования выделяются три составные части: целевая функция, система ограничений и условия неотрицательности переменных.

Во многих задачах технологического проектирования ограничения, которые наложены на переменные x_1, x_2, \dots, x_n , задаются в виде системы неравенств:

$$\begin{cases} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n \leq b_1, \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n \leq b_2, \\ \dots \\ a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n \leq b_m. \end{cases} \quad (2.2)$$

Любую систему уравнений с ограничениями вида (2.2) при линейном программировании можно привести к системе уравнений вида (2.1).

Для этого добавим к левой части первого неравенства системы (2.2) некоторую неотрицательную величину x_{n+1} , к левой части второго неравенства – неотрицательную переменную x_{n+2} и т. д., к левой части m -го неравенства – неотрицательную переменную x_{n+m} . В итоге приходим к системе уравнений (2.3), учитывающей ограничения (2.2):

$$\begin{cases} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n + x_{n+1} = b_1, \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n + x_{n+2} = b_2, \\ \dots \\ a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n + x_{n+m} = b_m. \end{cases} \quad (2.3)$$

Каждое решение системы неравенств (2.2) удовлетворяет системе уравнений (2.3) и наоборот.

Рассмотрим *геометрическую интерпретацию* линейных неравенств системы

$$\begin{cases} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n + b_1 \geq 0, \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n + b_2 \geq 0, \\ \dots \\ a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n + b_m \geq 0. \end{cases} \quad (2.4)$$

Каждое из неравенств системы (2.4) определяет некоторое полупространство, а пересечение (общая часть) m полупространств определяет некоторую область M в n -мерном пространстве.

Область M является выпуклой, так как выпукло любое из образующих ее полупространств. Эта область, являющаяся пересечени-

ем конечного числа полупространств, может быть ограниченной и неограниченной.

Ограниченную область называют выпуклым многогранником, а неограниченную – многогранной областью.

Пример системы неравенств с двумя неизвестными:

$$\begin{cases} a_1x_1 + b_1x_2 + c_1 \geq 0, \\ a_2x_1 + b_2x_2 + c_2 \geq 0, \\ \dots \\ a_mx_1 + b_mx_2 + c_m \geq 0. \end{cases} \quad (2.5)$$

Первое неравенство определяет некоторую полуплоскость P_1 , второе – полуплоскость P_2 , т. е. – полуплоскость P_m .

Истолковывая x_1 и x_2 как координаты точки на плоскости, определим область на плоскости, описываемую первым неравенством системы (2.5). В этом случае рассматривается прямая линия, задаваемая уравнением

$$a_1x_1 + b_1x_2 + c_1 = 0. \quad (2.6)$$

В прямоугольной системе координат строим прямую линию (рис. 2.8). Эта прямая разбивает всю плоскость на две полуплоскости, в одной из которых выполняется неравенство $a_1x_1 + b_1x_2 + c_1 \geq 0$, а в другой – неравенство $a_1x_1 + b_1x_2 + c_1 \leq 0$. Сама прямая считается принадлежащей каждой из двух указанных полуплоскостей.

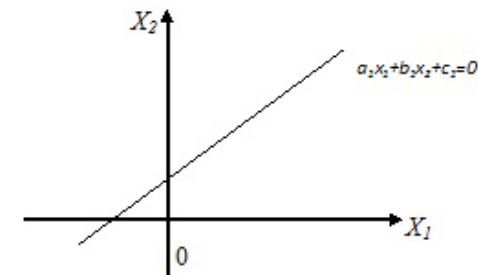


Рис. 2.8. Уравнение прямой линии

Область решений каждого неравенства определим подстановкой начала координат. Если какая-либо пара чисел (x_1, x_2) удовлетворяет всем неравенствам системы (2.5), то соответствующая точка $A(x_1, x_2)$ принадлежит пересечению (общей части) полуплоскостей P_1, P_2, \dots, P_m . Пересечение конечного числа полуплоскостей есть многоугольная область M , которая в прямоугольной системе координат может располагаться по-разному (рис. 2.9).

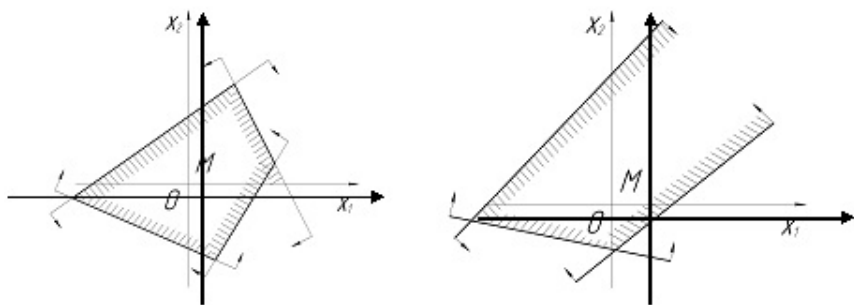


Рис. 2.9. Области систем неравенств

Возможен случай, когда нет ни одной точки, принадлежащей одновременно всем рассматриваемым полуплоскостям, т. е. область «пуста». Это означает, что система (2.5) несовместима (рис. 2.10).

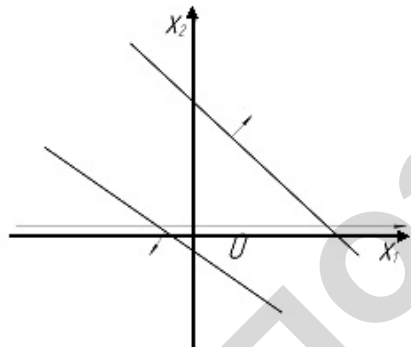


Рис. 2.10. Пример несовместимости уравнений

Рассмотрим пример нахождения области решений системы неравенств

$$\begin{cases} 3x_1 + 2x_2 \geq 9, \\ 2x_1 - 3x_2 \leq 8, \\ -x_1 + x_2 \leq 2, \\ x_2 \leq 5. \end{cases} \quad (2.7)$$

Заменяя знаки неравенств на знаки равенств, получим систему уравнений четырех прямых:

$$\begin{cases} 3x_1 + 2x_2 = 9, & \text{(I)} \\ 2x_1 - 3x_2 = 8, & \text{(II)} \\ -x_1 + x_2 = 2, & \text{(III)} \\ x_2 = 5. & \text{(IV)} \end{cases}$$

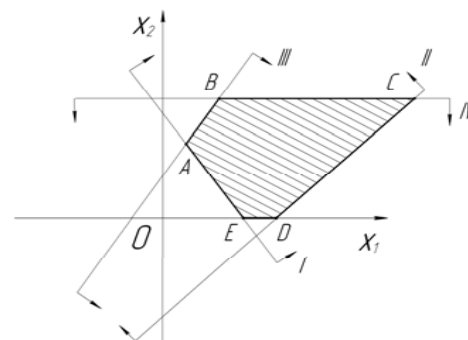


Рис. 2.11. Область решения системы неравенств

Строим прямые линии I–IV в прямоугольной системе координат. Областью решений системы неравенств (2.7) является многоугольник ABCDE (рис. 2.11).

2.1.4. Расчет режимов резания методом линейного программирования

Постановка задачи. Задача определения оптимальных режимов резания является одной из наиболее массовых и встречается при разработке различных видов ТП механической обработки заготовок.

При описании процесса обработки выделяют входные и выходные параметры, которые между собой связаны сложными функциональными зависимостями. Совокупность этих зависимостей принято рассматривать как математическую модель процесса обработки. В общем случае процесс обработки носит вероятностный характер. Однако из-за сложности построения зависимостей, учитывающих случайный характер изменения целого ряда параметров, в настоящее время преимущественно используются детерминированные модели, построенные на основе усредненных характеристик процесса.

В задачах расчета режимов резания входные параметры разделяют на искомые (управляемые) и заданные (неуправляемые). Задача расчета оптимальных режимов заключается в определении таких значений, которые являются наилучшими (по некоторым показателям) по совокупности выходных параметров при заданных значениях неуправляемых параметров.

В качестве искомых параметров при расчете оптимальных режимов обычно принимают скорость резания v и подачу s , иногда используют глубину резания t . Целесообразно также в разряд искомых параметров включать стойкость и геометрические параметры режущего инструмента, которыми можно управлять непосредственно в процессе обработки.

Степень влияния отдельных управляемых параметров на основные показатели оптимизируемого процесса различна, поэтому при выборе и построении критериев оптимальности необходимо учитывать наиболее существенные параметры обработки. В частности, из теории резания известно, что при наружном точении большее влияние на повышение производительности обработки при постоянной площади срезаемого слоя ($ts = \text{const}$) оказывает увеличение глубины резания, чем подачи. С другой стороны, при одинаковом периоде стойкости инструмента на повышение производительности

сильнее влияет увеличение подачи s , чем увеличение скорости резания v . Подобный предварительный анализ позволяет в отдельных случаях упростить построение алгоритмов выбора оптимальных режимов обработки.

В общем случае постановка задачи оптимизации режимов обработки включает:

- выбор искомых параметров;
- определение множества их возможных значений;
- выбор анализируемого набора выходных параметров процесса;
- установление функциональных зависимостей между искомыми и выходными параметрами при фиксированных значениях неуправляемых параметров;
- выделение целевой функции;
- назначение диапазонов возможных значений выходных параметров.

Набор искомых параметров может быть представлен в виде некоторого множества $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$. Тогда задача расчета оптимальных режимов резания сводится к следующей задаче математического программирования:

$$\begin{aligned} F(x) &\rightarrow \min (\max), \\ R_i(x) &\leq R_i, \quad i = 1, 2, \dots, m, \\ x &\in \{X\}, \end{aligned} \quad (2.8)$$

где $F(x)$ – зависимость для принятого критерия оптимальности;

$R_i(x)$ – значение i -й характеристики процесса резания в зависимости от значений искомых параметров x из некоторого заданного множества X ;

R_i – заданное предельное значение i -й характеристики процесса резания.

В основе оптимизации режимов резания методом линейного программирования лежит построение математической модели, которая включает совокупность технических ограничений, приведенных к линейному виду логарифмированием. Для решения этой задачи на ЭВМ могут быть использованы различные численные методы (метод перебора, симплекс-метод и др.), а также графиче-

ский метод, наглядно представляющий математическую модель процесса резания.

Следует отметить, что качество математической модели процесса резания металлов, и в первую очередь ее достоверность, зависит от выбора технических ограничений, которые в наибольшей степени определяют описываемый процесс. Наиболее важными ограничениями являются следующие: режущие возможности инструмента; мощность электродвигателя привода главного движения; заданная производительность станка; наименьшая и наибольшая скорости резания и подача, допускаемые кинематикой станка; прочность и жесткость режущего инструмента; точность обработки; шероховатость обработанной поверхности.

Рассмотрим особенности построения технических ограничений для наиболее распространенных методов обработки – продольного наружного точения и фрезерования торцовыми и цилиндрическими фрезами.

Ограничение 1. Режущие возможности инструмента. Это ограничение устанавливает связь между скоростью резания, принятой стойкостью инструмента, его геометрией, глубиной резания, подачей и механическими свойствами обрабатываемого материала, с одной стороны, и скоростью резания, определяемой кинематикой станка, с другой.

Скорость резания для различных видов обработки определяется по формуле

$$v = \frac{C_v D^{z_v} k_v}{T^m t^{x_v} s^{y_v} z^{u_v} B_\phi^{r_v}}, \quad (2.9)$$

где C_v – постоянный коэффициент, характеризующий нормативные условия обработки;

D – диаметр обрабатываемой детали (или инструмента), мм;

k_v – поправочный коэффициент, учитывающий качество обрабатываемого материала, состояние поверхности заготовки, характеристику режущего инструмента;

T – принятая стойкость инструмента, мин;

m – показатель относительной стойкости;

t – глубина резания, мм;

s – подача, мм/об, мм/мин;

z – число зубьев режущего инструмента;

B_ϕ – ширина фрезерования, мм;

x_v, y_v, u_v, z_v, r_v – показатели степеней или переменных в формуле скорости резания.

С другой стороны, скорость резания определяется кинематикой станка согласно зависимости

$$v = \pi D n \cdot 10^{-3}. \quad (2.10)$$

Приравнявая правые части формул (1.9) и (1.10) и сделав преобразование, получают выражение первого технического ограничения в виде неравенства

$$n s^{y_v} \leq \frac{318 C_v k_v D^{z_v-1}}{T^m t^{x_v} z^{u_v} B_\phi^{r_v}}. \quad (2.11)$$

Это техническое ограничение достаточно просто приводится к виду, описывающему конкретный вид обработки. Так, для продольного наружного точения при значениях коэффициентов $z_v = 0$, $u_v = 0$, $r_v = 0$ можно получить следующее неравенство:

$$n s^{y_v} \leq \frac{318 C_v k_v}{T^m D t^{x_v}}. \quad (2.12)$$

Ограничение 2. Мощность электродвигателя главного движения станка. Этим ограничением устанавливается взаимосвязь между эффективной мощностью, затрачиваемой на процесс резания, и мощностью электропривода главного движения станка. Эффективная мощность, затрачиваемая на процесс резания при различных видах обработки, определяется по формуле

$$N_{эф} = \frac{C_z t^{x_z} D^{z_z} n^{n_z} s^{y_z} \pi^{n_z} B_\phi^{r_z} z^{u_z} k_z}{k_{Cz}}, \quad (2.13)$$

где C_z – постоянный коэффициент, характеризующий условия обработки;

k_z – общий поправочный коэффициент на мощность, учитывающий изменение условий обработки против нормативных;

k_{Cz} – поправочный коэффициент, учитывающий отдельный вид обработки;

$x_z, z_z, n_z, y_z, u_z, r_z$ – показатели степени при t, D, n, s, z и B_ϕ .

Учитывая необходимое условие протекания процесса резания, можно получить следующее неравенство:

$$N_{\text{эф}} \leq N_n \eta, \quad (2.14)$$

где N_n – мощность электродвигателя главного привода станка, кВт;

η – КПД механизма передачи от электродвигателя к инструменту.

Приравняв правые части выражений (2.13) и (2.14), получаем второе техническое ограничение в виде неравенства

$$n^{n_z} s^{y_z} \leq \frac{N_n \eta k_{Cz}}{C_z t^{x_z} D^{z_z} \pi^{n_z} B_\phi^{r_z} k_z}. \quad (2.15)$$

Ограничение 3. Заданная производительность станка. Этим ограничением устанавливается связь расчетных скоростей резания и подачи с заданной производительностью станка. Исходя из соотношения продолжительности цикла работы станка $T_{\text{ц}}$, основного технологического t_0 и вспомогательного непрерывного $t_{\text{в.н}}$ времени, можно получить выражение для третьего технического ограничения:

$$ns \geq \frac{LR}{60K_3 r_R - t_{\text{в.н}} R}, \quad (2.16)$$

где R – заданная производительность станка, шт/мин;

K_3 – коэффициент загрузки станка;

r_R – число деталей, обрабатываемых одновременно на одной позиции;

L – длина рабочего хода инструмента, мм.

Ограничения 4 и 5. Наименьшая и наибольшая допустимые скорости резания. Эти ограничения устанавливают взаимосвязь рас-

четной скорости резания с кинематикой станка по минимуму и максимуму. Они записываются в следующем виде:

$$n \geq n_{\text{ст.мин}}; \quad (2.17)$$

$$n \leq n_{\text{ст.макс}}. \quad (2.18)$$

Ограничения 6 и 7. Наименьшая и наибольшая допустимые подачи. Эти ограничения аналогично двум предыдущим устанавливают взаимосвязь расчетной подачи с подачей, допустимой кинематикой станка по минимуму:

$$s \geq s_{\text{ст.мин}} \quad (2.19)$$

и максимуму:

$$s \leq s_{\text{ст.макс}}. \quad (2.20)$$

Ограничение 8. Прочность режущего инструмента. Это ограничение устанавливает взаимосвязь между значениями скорости резания и подачи: расчетными и допустимыми по прочности режущего инструмента. В основу построения этого ограничения закладывают условия нагружения режущего инструмента, например, резца, как консольной балки с приложением на ее конце усилия, равного величине составляющей P_z силы резания. В этом случае предел прочности материала державки резца при изгибе определяется зависимостью

$$\sigma_{\text{и}} \geq \frac{M_{\text{изг}} k_{3.п}}{W},$$

где $M_{\text{изг}} = P_z l_{\text{в.п}}$ – изгибающий момент в месте закрепления державки резца на расстоянии $l_{\text{в.п}}$ вылета резца от точки приложения окружной силы;

$k_{3.п}$ – коэффициент запаса прочности;

W – момент сопротивления сечения державки резца, мм² (для прямоугольного сечения шириной B и высотой H момент сопротивления равен $W = \frac{BH^2}{E}$, E – модуль упругости, для конструкционной стали равен 2,0–2,5 кг/мм²).

Выражая окружную силу резания в зависимости от элементов режимов резания, учитывая форму державки и значение предела прочности для незакаленной углеродистой конструктивной стали $\sigma = 2,0\text{--}2,4$ МПа, можно получить после некоторых преобразований следующее ограничение:

$$n^{n_z} s^{y_z} \leq \frac{4BH^2(10^3)^{n_z}}{C_z t^{x_z} D^{n_z} \pi^{n_z} l_{в.р}^3 k_{з.п} k_z}. \quad (2.21)$$

Ограничение 9. Жесткость режущего инструмента. Это ограничение устанавливает взаимосвязь между расчетными значениями скорости резания и подачи и допустимыми по жесткости режущего инструмента. Известно, что максимальная нагрузка, допускаемая жесткостью резца $P_{ж.доп}$, определяется по формуле

$$P_{ж.доп} = \frac{3fEI}{l_{в.р}^3},$$

где f – допустимая стрела прогиба резца, мм;

E – модуль упругости материала резца;

I – момент инерции державки резца, мм⁴.

Величина допустимого прогиба резца f зависит от требуемой точности обработки и может быть принята для чернового и получистового точения равной 0,1 мм, а для чистового – 0,05 мм. Момент инерции державки резца зависит от ее формы. Для прямоугольного сечения с шириной B и высотой H он определяется по формуле $I = BH^3 / 12$. Из условия соотношений окружной составляющей P_z и максимальной нагрузки, допускаемой жесткостью резца, и после соответствующего представления P_z через элементы режима резания получают девятое ограничение в виде неравенства $P_z \leq P_{ж.доп}$, после подстановки значений

$$n^{n_z} s^{y_z} \leq \frac{(10^3)^{n_z+1} BH^3}{2C_z t^{x_z} D^{n_z} \pi^{n_z} l_{в.р}^3 k_z}. \quad (2.22)$$

Ограничение 10. Жесткость заготовки. Это ограничение устанавливает взаимосвязь расчетных значений скорости резания и подачи с допустимыми их значениями. Из-за многообразия форм за-

готовок невозможно получить общие зависимости для описания рассматриваемого вида технического ограничения. Поэтому остановимся на его построении для операции точения цилиндрической гладкой заготовки при закреплении ее в центрах. В основу этого ограничения положено условие, при котором величина прогиба y_c заготовки (рис. 2.12) под действием радиальной составляющей силы резания P_y должна быть меньше или равна допустимому прогибу $y_{доп}$, т. е. $y_c \leq y_{доп}$.

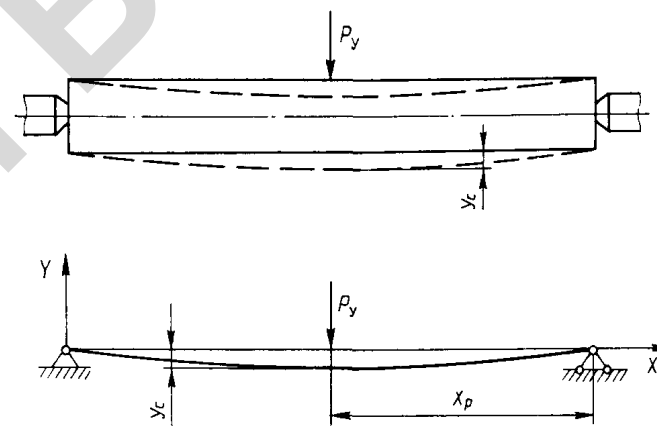


Рис. 2.12. Схема деформации заготовки при точении под действием радиальной составляющей силы резания

Из рис. 2.12 видно, что допустимый прогиб должен быть меньше величины половины допуска на размер: $y_{доп} \leq 0,5\delta$, где δ – допуск на размер, мм. Величина прогиба заготовки

$$y_c = \frac{P_y x_p^2 (L_3 - x_p)^2}{3EI L_3},$$

где L_3 – длина заготовки, мм;

x_p – расстояние от правого торца до места приложения силы (до резца), мм;

$I = \frac{\pi D_{\text{пр}}^4}{64}$ – момент инерции сечения заготовки в месте искомого прогиба, мм⁴;

$D_{\text{пр}}$ – приведенный диаметр ступенчатого вала, мм.

После преобразования рассмотренных формул и подстановки в них значения

$$P_y = \frac{C_y t^{x_y} s^{y_y} D^{n_y} n^{n_y}}{\pi^{n_y} k_z (10^3)^{n_y}}$$

получим техническое ограничение по жесткости заготовки:

$$n^{n_y} s^{y_y} \leq \frac{1,5 \delta E \pi^{1-n_y} D_{\text{пр}}^4 (10^3)^{n_y} L_3}{64 C_y t^{x_y} k_y D^{n_y} x_p^2 (L_3 - x_p)^2}. \quad (2.23)$$

Ограничение 11. Прочность механизма подач станка. Это ограничение устанавливает взаимосвязь расчетных скоростей резания и подачи с допустимыми по прочности механизма подач станка. Имеет место обобщенная зависимость определения силы для различных видов обработки:

$$P_s = C_s t^{x_s} s^{y_s} n^{n_s} D^{n_s+z_s} \pi^{n_s} z^{u_s} B^{r_s} k_s (10^{-3})^{n_s}.$$

При продольном наружном точении коэффициенты z_c , u_s , r_s равны нулю, а при фрезеровании коэффициент $n_s = 0$. В общем виде ограничение имеет вид $P_s \leq P_{s \text{ доп}}$. Значение $P_{s \text{ доп}}$ находят в паспортных данных металлорежущего станка. Подставив в это неравенство выражение для P_s , получим техническое ограничение по прочности механизма подач станка:

$$n^{n_s} s^{y_s} \leq \frac{(10^3)^{n_s} P_{s \text{ доп}}}{C_s t^{x_s} D^{n_s+z_s} \pi^{n_s} z^{u_s} B^{r_s} k_s}. \quad (2.24)$$

Ограничение 12. Требуемая шероховатость поверхности. Это ограничение устанавливает взаимосвязь расчетных скоростей реза-

ния и подачи с допустимыми по требуемой высоте или форме шероховатости.

Известно, что выбор скорости резания и особенно подачи при получистовой и чистовой обработке часто определяется требуемой шероховатостью поверхности. В основу этого ограничения могут быть положены многочисленные экспериментальные зависимости для различных характеристик шероховатости поверхности R (R_a , R_z , R_{max}), шага микронеровности S_m , величины опорной поверхности t_p , которые представляются в виде следующих выражений мультипликативного типа:

$$R = k_1 n^{k_2} s^{k_3} t^{k_4} \varphi_1^{k_5} \varphi^{k_6} r^{k_7},$$

где φ_1 , φ , r – параметры геометрии режущей части инструмента; k_1 , k_2 , k_3 , ..., k_7 – экспериментально установленные коэффициенты.

После преобразования с учетом обеспечения требуемого значения шероховатости получают техническое ограничение также в виде неравенства:

$$n^{k_2} s^{k_3} \leq \frac{R}{k_1 t^{k_4} \varphi_1^{k_5} \varphi^{k_6} r^{k_7}}. \quad (2.25)$$

Знак неравенства (2.25) определяется видом характеристики шероховатости. В тех случаях, когда требуется одновременно обеспечить несколько характеристик шероховатости, рассматриваемое техническое ограничение представляется в виде нескольких неравенств. Так, для обеспечения при наружном продольном точении заготовки из стали 45 шероховатости R_a и шага микронеровностей S_m могут быть использованы для построения технических ограничений следующие зависимости:

$$R_a = 0,16 \frac{s^{0,59} (\pi/2 + \gamma)^{0,66}}{r^{0,29} v^{0,19}};$$

$$S_m = 0,81 \frac{s^{1,34} (\pi/2 + \gamma)^{0,1}}{r^{-0,19}},$$

где γ – передний угол реза.

Выбранные и описанные выше технические ограничения, отражающие с определенной степенью точности физический процесс резания в совокупности с критерием оптимальности, образуют математическую модель процесса резания.

При определении режимов резания широкое применение для двух элементов (n и s) имеет метод линейного программирования, общая задача которого состоит в определении неотрицательных значений переменных, удовлетворяющих системе ограничений в виде линейных равенств и неравенств и обеспечивающих наибольшее или наименьшее значение некоторой линейной функции – критерия оптимальности.

Таким образом, первая задача, которая должна быть решена, – это приведение всех технических ограничений и оценочной функции к линейному виду. Для примера рассмотрим приведение к линейному виду первого технического ограничения (2.9) методом логарифмирования:

$$\ln n + y_v \ln s \leq \ln \left(\frac{318 C_v D^{z_v-1} k_v}{T^m t^{x_v} z^{u_v} B^{r_v}} \right). \quad (2.26)$$

Введя обозначения $\ln n = x_1$, $\ln(100s) = x_2$,

$$\ln \left(\frac{318 C_v D^{z_v-1} k_v}{T^m t^{x_v} z^{u_v} B^{r_v}} \right) = b_1$$

и подставив их в неравенство (2.26), получим

$$x_1 + y_v x_2 \leq b_1. \quad (2.27)$$

Аналогично могут быть получены в линейном виде зависимости для других технических ограничений.

Анализ различных критериев оптимальности показывает, что при оптимизации по двум элементам режимов резания n и s без изменения глубины резания, стойкости инструмента и других технических параметров эти оценочные функции при введении ряда упрощений выражаются через n и s достаточно просто. Так, для минимальной себестоимости операции можно записать:

$$C_{\text{оп}} = c_1 / (ns),$$

где c_1 – постоянная величина, не зависящая от режимов резания n и s .

Из этого выражения видно, что значение оценочной функции является наименьшим, когда произведение ns максимальное. В этом случае при приведении оценочной функции к линейному виду можно получить:

$$f_0 = (x_1 + x_2) \rightarrow \max. \quad (2.28)$$

Преобразование технических ограничений к линейному виду и представление их в виде системы неравенств в совокупности с оценочной функцией дает математическую модель процесса резания металлов (2.29).

$$\left\{ \begin{array}{l} x_1 + y_v x_2 \leq b_1 \\ n_z x_1 + y_z x_2 \leq b_2 \\ x_1 + x_2 \geq b_3 \\ x_1 \geq b_4 \\ x_1 \leq b_5 \\ x_2 \geq b_6 \\ x_2 \leq b_7 \\ n_z x_1 + y_z x_2 \leq b_8 \\ n_z x_1 + y_z x_2 \leq b_9 \\ n_y x_1 + y_y x_2 \leq b_{10} \\ n_s x_1 + y_s x_2 \leq b_{11} \\ k_2 x_1 + k_3 x_2 \leq b_{12} \end{array} \right. \quad (2.29)$$

Применительно к математической модели (2.28)–(2.29) задача определения оптимального режима резания сводится к отысканию среди всевозможных неотрицательных значений x_1 и x_2 системы таких значений $x_{1\text{опт}}$ и $x_{2\text{опт}}$, при которых линейная функция принимает максимальное значение $f_{0\text{макс}}$.

Математическая модель процесса резания может быть изображена в графическом виде (рис. 2.13). В этом случае каждое техническое ограничение представляется граничной прямой, которая определяет полуплоскость, где возможно существование решений системы неравенств. Граничные прямые, пересекаясь, образуют многоугольник ABCDEF, внутри которого любая точка удовлетворяет всем без исключения неравенствам. Поэтому такой многоугольник принято называть *многоугольником решений*.

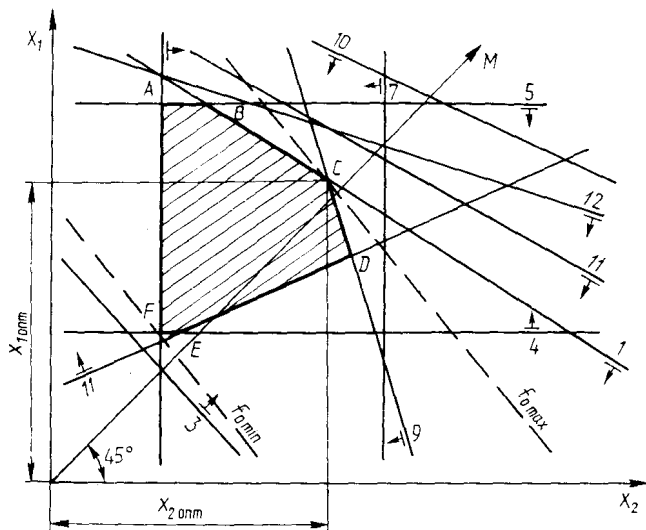


Рис. 2.13. Графическое изображение математической модели процесса резания

Теория линейного программирования показывает, что экстремальное значение оценочной функции (при выпуклом многоугольнике решений) обеспечивается для x_1 и x_2 , находящихся в точке, лежащей на одной из граничных прямых или их пересечении. Поэтому задача отыскания оптимальных значений x_{1opt} и x_{2opt} сводится к последовательному вычислению координат всех возможных точек пересечения граничных прямых и затем определению для них наибольшей суммы $f = (x_1 + x_2)_{max}$.

2.2. СТРУКТУРА И ВИДЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

2.2.1. Структура системы автоматизированного проектирования технологических процессов

Любая САПР ТП построена по принципу модульности, что дает возможность из модулей системы собирать ее модификации различного назначения. Работа модулей организуется головной программой. Комплекс программных средств системы состоит из базы данных (БД) и программных приложений и обеспечивает автономную работу отдельных его компонентов.

Основные функции модулей САПР ТП:

- формирование информационной модели детали;
- выбор заготовки;
- расчет припусков и межоперационных размеров;
- формирование маршрута обработки и технологических операций;
- выбор режущего, измерительного, вспомогательного инструмента;
- расчет режимов резания и нормирование технологических операций;
- создание карт эскизов (КЭ);
- формирование и печать технологической документации.

Материальной основой любой САПР является программно-технический комплекс (ПТК), состоящий из комплекса технических средств (КТС) и программно-методического комплекса (ПМК). Под ПМК понимают программные средства САПР, базы данных и документацию по эксплуатации системы.

Основными структурными и функциональными составляющими САПР ТП являются подсистемы. Подсистема – это самостоятельный программный комплекс, решающий некоторую определенную задачу и функционирующий самостоятельно. В каждой подсистеме решается функционально законченная последовательность задач.

Различают два вида подсистем [6, 7]:

- общего назначения (обслуживающие);
- специального назначения (проектирующие).

Типовой состав САПР ТП представлен на рис. 2.14.

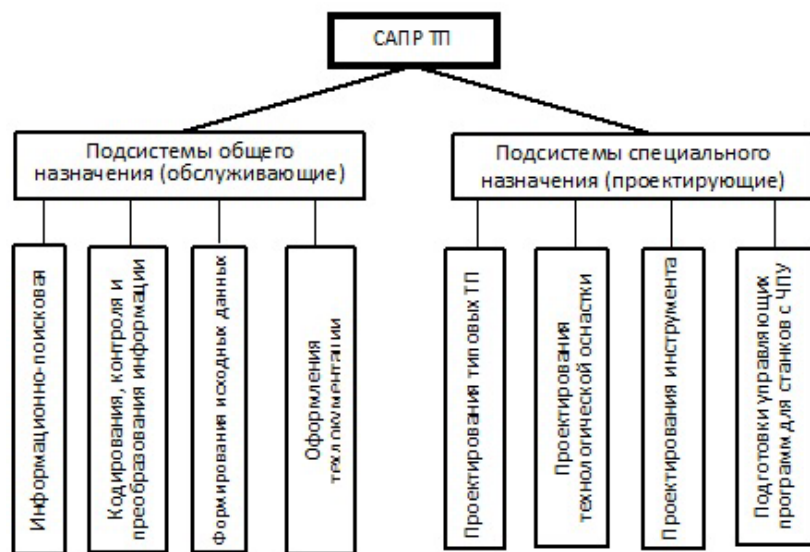


Рис. 2.14. Типовой состав САПР ТП

Подсистемы специального назначения осуществляют функции технологического проектирования. К ним относят подсистемы, выполняющие процедуры и операции проектирования отдельных частей объекта (приспособление, инструмент, технологический процесс), а также подсистемы, осуществляющие выполнение определенной стадии проектирования объекта (например, подсистемы выполнения эскизного проекта, комплекса расчетных работ и т. п.). Проектирующие подсистемы чаще всего являются объектно-ориентированными, т. е. содержание и порядок выполнения проектных процедур характерны только для данного вида проектируемых объектов.

Состав подсистем специального назначения определяется спецификой предприятия и, как правило, включает:

- подсистему проектирования типовых технологических процессов;

- подсистему проектирования технологической оснастки;
- подсистему проектирования инструмента;
- подсистему подготовки управляющих программ для станков с ЧПУ.

Под обслуживающими понимают подсистемы, обеспечивающие функционирование проектирующих подсистем (например, подсистема формирования текстовых документов, информационно-поисковая система и т. д.). Обслуживающие подсистемы в большинстве случаев являются инвариантными ко многим видам объектов проектирования, так как предназначены для выполнения унифицированных процедур и операций (например, хранение и поиск информации, обработка графической информации, формирование проектной документации).

Подсистемы общего назначения осуществляют специфические функции машинного решения задач.

К ним относятся:

- информационно-поисковая система (ИПС), предназначенная для хранения и поиска условно-постоянной информации САПР;
- подсистема кодирования, контроля и преобразования информации;
- подсистема формирования исходных данных;
- подсистема оформления и тиражирования технической документации.

Таким образом, подсистемы общего назначения обеспечивают совместное функционирование подсистем специального назначения.

2.2.2. Методы автоматизированного проектирования

Процессу проектирования на различных уровнях характерен определенный состав и последовательность решаемых задач, основными из которых являются задачи анализа и синтеза.

Анализ технических объектов предполагает изучение их свойств. При анализе не создаются новые объекты, а исследуются заданные.

Синтез технических объектов направлен на создание новых вариантов. Поскольку анализ используется для оценки этих вариан-

тов, то синтез и анализ выступают в процессе проектирования в диалектическом единстве.

Понятие «синтез» технического объекта в широком смысле слова близко по содержанию к понятию «проектирование». Разница заключается в том, что проектирование означает весь процесс разработки объекта, а синтез характеризует часть этого процесса, когда создается какой-то вариант, не обязательно окончательный, т. е. синтез как задача может выполняться при проектировании много раз, чередуясь с решением задач анализа.

Теоретические и практические наработки в области технологии машиностроения [8–10] касаются в основном задач анализа технологических процессов, с помощью которого устанавливается влияние различных технологических факторов на производительность, геометрическую точность и качество поверхности при обработке деталей. В то же время методы синтеза технологических процессов на основе информации об обрабатываемой детали и о производственных условиях мало изучены, их использование в инженерной практике при разработке технологических процессов было ограничено.

Процесс формирования технологического процесса в общем случае – это совокупность процедур структурного и параметрического синтеза с последующим анализом проектных решений.

Структурный синтез реализуется на уровнях формирования операций и переходов, выбора баз, а параметрический – на уровне определения межоперационных размеров, расчета режимов резания и т. д. (см. рис. 2.14).

В зависимости от степени полноты реализации синтеза (главным образом, структурного) и анализа при автоматизированном проектировании технологических процессов можно выделить три основных метода:

- прямое проектирование (документированное);
- анализ (адресация, аналог);
- синтез.

В реальной САПР технологических процессов может быть реализован один метод или любая комбинация данных методов.

Метод прямого проектирования (метод случайных аналогий). Данный метод предполагает, что подготовка проектных документов (технологических карт) возлагается на самого пользо-

вателя, выбирающего из базы данных в диалоговом режиме типовые решения различного уровня, т. е. этот метод основан на использовании готовых решений на всех уровнях проектирования за счет их заимствования из существующих единичных технологических процессов. Заранее создается и заполняется технологическая база данных, включающая в себя информацию об имеющихся на предприятии заготовках, станках, приспособлениях, инструментах и т. д. База данных имеет структурированный характер, т. е. четко разделена на разделы, подразделы, страницы, отдельные поля (фразы). В базе данных этой системы должны находиться поисковые образцы деталей и их технологические процессы. Для реализации этого метода необходимо иметь развитую информационно-поисковую систему (ИПС). С помощью ИПС технологического назначения находят детали-аналоги. Далее на основе номеров чертежей находят в базе данных технологические процессы на выбранные детали-аналоги. Технологический процесс на деталь-аналог используется как исходный вариант для проектирования. Откорректировав технологический процесс детали-аналога применительно к параметрам детали, можно получить необходимый рабочий технологический процесс. Корректировке подлежат структура технологического процесса, параметры режущего и мерительного инструментов, режимы резания и т. п. Качество разработанного технологического процесса зависит от результатов поиска детали-аналога, т. е. от эффективности работы ИПС технологического назначения.

Пользователю представляются меню на разных уровнях проектирования для выбора заготовок, операций, станков, приспособлений, переходов, инструментов и т. д. Выбранная пользователем из базы данных информация автоматически заносится в графы и строки шаблона технологической карты. После этого в режиме редактирования информация при необходимости может редактироваться, а затем распечатываться в форме, предусмотренной соответствующим ГОСТом. Указанный метод проектирования целесообразно

использовать в случаях, если для обработки заготовок отсутствуют унифицированные технологические процессы (УТП).

Метод анализа. Этот метод базируется на использовании унифицированных технологических процессов. Данный метод исходит из того, что структура индивидуального технологического процесса не создается заново, а базируется на использовании типовых и групповых технологических процессов. Она определяется соответственно составом и структурой одного из унифицированных технологических процессов, т. е. соответствующего типового или группового технологического процесса. Это осуществляется путем анализа необходимости наличия каждой операции и перехода с последующим уточнением всех решений на уровнях декомпозиции «сверху–вниз».

При проектировании структуры единичных технологических процессов механической обработки деталей машин традиционно используют типовые и групповые ТП.

Типовые процессы применяются для деталей, обладающих подобием в конструктивном и технологическом плане. С системной точки зрения к числу типовых относятся детали, имеющие одинаковую структуру, то есть набор и связи КТЭ, при различных значениях свойств этих элементов (размеров, свойств материала и т. п.).

Групповые процессы используются для деталей, различных в конструктивном отношении, но подобных в технологическом плане. Такие детали обладают различной структурой КТЭ. На основе выбранного множества деталей, входящих в группу, обычно разрабатывают комплексную деталь, включающую все типы элементов, встречающихся у деталей группы. Для такой детали разрабатывается комплексный технологический процесс и формируется общая инструментальная наладка. Рабочий ТП для каждой детали из группы определяется составом ее КТЭ и представляет собой подмножество комплексного ТП.

Метод анализа в общем случае реализует следующую схему проектирования: ввод описания чертежа детали–определение конструктивно-технологического кода детали–поиск по коду в базе данных приемлемого унифицированного (типового или группового) технологического процесса–анализ его структуры–доработка в соответствии с описанием чертежа детали–оформление индивидуального технологического процесса.

На первом этапе производится адресация (привязка) детали к УТП. Алгоритм адресации основан на сравнении двух объектов (адресуемого и эталона) по общим свойствам, составу и структуре. В качестве эталона используется комплексная деталь, на которую уже имеется УТП. На основании такого сравнения делается вывод о сходстве объектов и возможности использования УТП.

После того как УТП выбран, производится его анализ и доработка применительно к детали, для обработки которой он был выбран.

При доработке исключаются отдельные (ненужные для детали) операции и производится анализ на возможность использования оставшихся унифицированных операций (УО). При необходимости УО дорабатываются.

Доработка заключается в следующем:

- а) проверяется возможность использования приспособления при заданной схеме базирования;
- б) производится удаление отдельных переходов в заданной структуре УО;
- в) выполняется расчет режимов резания;
- г) уточняются типоразмеры режущего и мерительного инструментов.

Недостатком этого метода является необходимость постоянного наращивания в базе данных типовой технологии.

Использование данного метода на конкретном предприятии предполагает необходимую подготовительную работу. Из множества деталей заводской номенклатуры формируются группы, имеющие общие конструктивно-технологические признаки, способы обработки.

Далее возможны два подхода:

1. В каждой группе выбирается деталь-представитель и для нее разрабатывается *типовой технологический процесс*. Все типовые технологические процессы для всех групп деталей заносятся в ЭВМ. При разработке индивидуального технологического процесса из типового технологического процесса, как правило, исключаются лишние операции и переходы. Иногда, что гораздо реже, недостающие операции и переходы могут добавляться в режиме ручного редактирования технологического процесса. Далее уточняется оборудование, технологическая оснастка, выбираются или рассчитываются режимы резания, рассчитываются нормы времени.

2. Для каждой группы формируется обобщенная модель всех деталей – комплексная деталь. Она включает все многообразие поверхностей рассматриваемой группы. Для комплексной детали разрабатывается *унифицированный (групповой) технологический процесс*. Он заведомо является избыточным, т. е. содержит операции и переходы по обработке всех деталей группы. Разработка индивидуального технологического процесса заключается в анализе необходимости включения в него операций и переходов из соответствующего группового технологического процесса. Или, другими словами, из группового технологического процесса исключаются лишние операции и переходы. Затем выполняется, как и в первом случае, так называемая параметрическая настройка: уточнение оборудования, технологической оснастки, выбор или расчет режимов резания и т. д.

После создания общего (типового или группового) технологического процесса можно приступить к автоматическому проектированию индивидуальных технологических процессов. Для этого достаточно создать описание конструкции детали, для которой необходимо спроектировать технологический процесс ее обработки. Описание конструкции детали можно составить на входном языке САПР ТП или использовать электронную версию параметрического чертежа детали, созданного посредством системы геометрического моделирования. Описание чертежа детали заключается в заполнении общих сведений о детали (данные из штампа и технические требования чертежа) и параметров элементов конструкции (поверхностей), имеющих на чертеже детали. После описания детали ей назначается общий технологический процесс соответствующей группы деталей.

Метод анализа является основным методом проектирования технологических процессов при эксплуатации гибких производственных систем. Его применение дает наибольший эффект при использовании на производстве групповых и типовых технологических процессов. Это объясняется тем, что этот метод не нарушает существующей специализации и традиций производственных подразделений, упрощает процесс проектирования, не требует трудно формализуемых процедур синтеза новых технологических процессов.

Метод синтеза основан на синтезе маршрутов и операций, т. е. на принципе их генерации для проектирования единичных технологических процессов.

Существует несколько разновидностей этого метода:

- метод, основанный на анализе размерных связей детали;
- метод ступенчатого синтеза.

Технологический маршрут на основе анализа размерных связей проектируют путем определения размерных связей между элементарными поверхностями детали, выбора технологических баз и синтеза схем базирования.

Метод ступенчатого синтеза предполагает разделение технологического маршрута на такое количество этапов, при котором на каждом из них структура и параметры процесса выражаются через исходные данные в виде многих переменных.

В основе метода синтеза лежат локальные типовые решения. Алгоритмы построения САПР на основе метода синтеза существенно отличаются друг от друга по следующим причинам:

- процедуры разработки (синтеза) технологических процессов относятся к разряду трудно формализуемых;
- ряд САПР ТП, построенных по методу синтеза, ориентированы на проектирование технологических процессов изготовления деталей определенного класса (например, «тел вращения»);
- с целью исключения циклов при разработке технологии и обеспечения линейной стратегии проектирования некоторые разработки САПР ТП отошли от классической схемы проектирования технологических процессов «маршрут–операция–переход» и т. д.

Проектирование ТП на уровнях формирования последовательности этапов, операций и переходов складывается из двух фаз: структурного и параметрического синтеза. Задача структурного синтеза заключается в формировании последовательности технологического процесса на соответствующем уровне. Задача параметрического синтеза заключается в формировании свойств элементов каждого уровня, включенных в технологический процесс. Основными операциями параметрического синтеза являются выбор средств технологического оснащения (станков, приспособлений, инструмента) и нормирование, включающее расчет режимов обработки.

Источник информации и степень инвариантности знаний структурного синтеза определяются иерархическим уровнем решаемой

проблемы: проектирование маршрута изготовления детали (набора этапов и операций), проектирование операционной технологии (набора переходов обработки КТЭ). Необходимо отметить, что знания для структурного синтеза существенно зависят от организационно-технической структуры предприятия и его традиций. Эти знания индивидуальны для каждого предприятия. Знания же для параметрического синтеза заимствуются из справочников, методических пособий и нормативных материалов. Знания этого уровня относительно инвариантны и могут с минимальными изменениями использоваться на различных предприятиях. Одним из важнейших показателей уровня САПР ТП является простота и удобство представления знаний для структурного и параметрического синтеза.

На рис. 2.15 изображены схемы моделей различных видов представления знаний для структурного синтеза технологических процессов. Типовая модель имеет фиксированную структуру. Структура рабочего процесса в групповой модели формируется путем удаления лишних технологических действий (операций или переходов). Наиболее общей является метамодель, представляющая собой И/ИЛИ-граф. В местах разветвлений на этом графе проставляются условия C_1 , C_2 , C_3 , определяющие выбор одного из возможных решений.

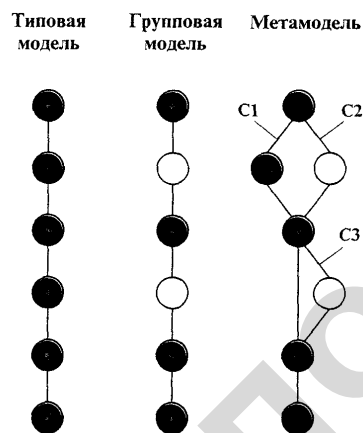


Рис. 2.15. Схемы моделей представления знаний для структурного синтеза технологических процессов

Если групповая модель строится на базе комплексной детали, то метамодель основывается на виртуальной детали. В отличие от комплексной, виртуальная деталь может не иметь физической реализации. Это происходит в тех случаях, когда виртуальная деталь содержит на одной и той же поверхности взаимоисключающие элементы, например, дополнительные элементы, связанные со шпоночным или шлицевым соединением на одном и том же основном элементе (цилиндрической ступени вала).

Метамодель является наиболее общей, интегрируя в себе типовую и групповую. В отличие от групповой модели, для формирования структуры ТП она использует операции не только удаления, но и замены.

Простейший способ ввода таких знаний заключается в изображении на экране И/ИЛИ-графа с постановкой в соответствующих местах на его ребрах условий выбора решений. Сам такой граф в целом также имеет условия своего применения. На основе такой информации автоматически генерируются программные средства базы знаний, которые затем используются при проектировании ТП. Для принятого набора КТЭ с использованием общемашиностроительных нормативных материалов разрабатывают базу знаний для структурного синтеза технологических процессов механической обработки.

Самым простым способом представления знаний для параметрического и структурного синтеза является использование продукционных систем искусственного интеллекта. В таких системах знания представляются в виде правил-продукций, являющихся аналогами условного предложения естественного языка:

ЕСЛИ <условие>, ТО <действие>.

Такие правила строятся на базе словаря, содержащего термины технического языка и их условные обозначения (идентификаторы). Выполняемые при этом действия используют расчеты по формулам, выбор данных из многоходовых таблиц, которые могут содержать как константы, так и формулы, выбор информации из баз данных, генерацию графических изображений и т. д. Например, при расчете режимов резания производится два действия: первое – расчет по формуле, второе – выбор коэффициентов, необходимых для расчета по этой формуле.

Условием применения обоих действий (правил) является значение «Сверлить» переменной «Вид перехода».

Проектирование нового технологического процесса с использованием САПР ТП занимает считанные минуты. Технологию с помощью простейшего интерфейса необходимо описать деталь, а затем наблюдать за генерацией структуры технологического процесса, отвечая на редкие запросы компьютера по выбору из допустимого набора тех решений, которые невозможно формализовать. В заключение производится автоматическая генерация технологической документации с использованием форм документов, принятых на предприятии. При этом качество спроектированного ТП практически не зависит от квалификации технолога и определяется содержанием баз знаний.

Таким образом, метод синтеза в САПР технологических процессов реализует следующие основные этапы последовательности проектирования:

- 1) ввод описания чертежа детали;
- 2) синтез маршрутов (планов) обработки для всех поверхностей детали;
- 3) синтез принципиальной схемы технологического процесса;
- 4) синтез маршрута обработки детали;
- 5) синтез состава и структуры операций технологического процесса;
- 6) доработка технологического процесса (расчет режимов резания, нормирование);
- 7) оформление документации.

Оптимальная структура технологического процесса определяется дифференцированным поиском на каждом этапе как простая функция небольшого числа переменных. Проектирование в данном случае является многошаговым и развивается от этапа к этапу.

Разработка операционной технологии при синтезе технологических процессов основана на анализе структуры связей в заготовке и готовой детали и синтезе структуры операции.

Преимущество метода синтеза – его универсальность, которая позволяет разрабатывать технологические процессы для различных классов деталей. Однако сложность синтеза маршрута и операций вызывает большие трудности при разработке соответствующих алгоритмов и программ.

2.2.3. Виды обеспечения системы автоматизированного проектирования технологических процессов

Системы автоматизированного проектирования технологических процессов реализуются в виде программно-аппаратного комплекса, т. е. совокупности программных и аппаратных средств.

Комплекс средств автоматизации проектирования современных САПР включает семь видов обеспечения:

- техническое;
- математическое;
- лингвистическое;
- информационное;
- программное;
- методическое;
- организационное.

Техническое обеспечение – это совокупность взаимосвязанных и взаимодействующих технических средств, предназначенных для выполнения автоматизированного проектирования.

К компонентам технического обеспечения относят устройства вычислительной и организационной техники, средства передачи данных, измерительные и другие устройства и их сочетания, обеспечивающие функционирование ПМК и САПР ТП. Компоненты технического обеспечения должны предоставлять возможность:

- кодирования и ввода информации с ее визуальным контролем и редактированием;
- передачи информации по различным каналам связи;
- хранения, контроля и выдачи информации по запросу.

Общий принцип действия и функциональные возможности КТС определяются его структурой, которую принято называть конфигурацией, и функциональным назначением входящих в него элементов.

Основу КТС составляет ЭВМ, которая выполняет арифметические и логические операции, а также другие функции обработки данных (извлечение из памяти, помещение в память и т. п.)

В настоящее время широко применяются локальные вычислительные сети (ЛВС). Это принадлежащая одной организации коммуникационная система, связывающая различные аппаратные средства: компьютеры, принтеры, плоттеры. Слово «локальная»

указывает на близость расположения компьютеров. Диапазон действия ЛВС колеблется от нескольких метров до 8 – 10 км.

ЛВС предоставляет пользователям следующие возможности:

- обмен информацией (файлами текстовых документов, чертежей и программ, а также сообщениями по электронной почте);
- разделение ресурсов компьютеров, т. е. совместное использование баз данных и программ, хранящихся на любом из компьютеров сети (либо на удаленном мощном компьютере – сервере с жестким диском большой емкости);
- вывод информации, например, на лазерный принтер или плоттер, подключенный только к одному из компьютеров сети.

Математическое обеспечение (МО) – это совокупность математических методов, математических моделей и алгоритмов проектирования, необходимых для выполнения автоматизированного проектирования ТП. Сюда входят математические модели конкретных объектов (технологических процессов, инструментов, приспособлений и др.), методы их проектирования, а также методы и алгоритмы выполнения различных инвариантных проектных операций и процедур, связанных с оптимизацией, поиском информации, автоматизированной графикой и др.

Первым этапом выполнения проектных задач на ЭВМ является математическая формулировка задачи, которая включает математическое описание условий решаемой задачи (целевая функция), определение аналитических выражений (математических моделей) и граничных условий. Фактически математическая модель описывает зависимость между исходными данными и искомыми величинами.

Требования к математическому обеспечению САПР ТП:

- универсальность, т. е. применимость его к широкому классу проектируемых объектов и возможность оперативного перехода на различные режимы функционирования (адаптация к внешним условиям производства);
- алгоритмическая надежность, т. е. свойство МО давать при его применении правильные результаты. Количественной оценкой алгоритмической надежности служит вероятность получения правильных результатов при соблюдении оговоренных ограничений;
- точность, т. е. определение степени совпадения расчетных и истинных результатов;

- экономичность, т. е. затраты машинного времени, определяемые сложностью проектируемых объектов и размерностью решаемых задач (длина программы и объем массивов данных);
- иерархичность построения, т. е. несколько независимых подсистем, позволяющих осуществлять их поэтапный ввод в работу при проектировании, эксплуатацию и стыковке в различных сочетаниях;
- единый методологический принцип математического и информационного обеспечения для различных групп деталей;
- автоматизация всех видов деятельности технологов при сопровождении системы;
- возможность развития и гибкость системы;
- возможность получения выходных документов и их тиражирования без переработки алгоритмов и программ;
- ведение диалога на различных стадиях формирования технологического процесса.

Математическое обеспечение состоит из двух частей: специального МО и общего (инвариантного) МО.

Специальное МО отражает специфику объекта проектирования и особенности его функционирования. Эта часть математического обеспечения охватывает математические методы, модели и алгоритмы их получения, а также алгоритмы анализа и синтеза.

Общее (инвариантное) МО включает методы и алгоритмы, не связанные с особенностями математических моделей объектов проектирования и используемые при решении многих различных задач проектирования.

На основе математической формулировки задачи и выбранного численного метода ее решения осуществляют разработку алгоритма последовательности решения задачи.

Лингвистическое обеспечение – совокупность языков проектирования, включающая также термины и определения, правила формализации естественного языка, методы сжатия и развертывания текстов, необходимых для автоматизированного проектирования и представления в заданной форме. В этот вид обеспечения входят общеизвестные *алгоритмические языки*, используемые для написания программ при создании САПР ТП, и *входные языки*, которые служат для описания объектов проектирования и заданий на выполнение проектных процедур.

К компонентам лингвистического обеспечения относят языки проектирования (ЯП), информационно-поисковые языки (ИПЯ) и вспомогательные языки, используемые в обслуживающих подсистемах для связи с ними проектирующих подсистем.

Компоненты лингвистического обеспечения должны быть согласованными с компонентами обеспечения других видов, быть относительно инвариантными к конкретному содержанию баз данных, а также предоставлять в компактной форме средства для описания всех объектов и процессов с необходимой степенью детализации и без существенных ограничений на объект описания.

В состав лингвистического обеспечения САПР входят языки программирования и проектирования. Их классификация представлена на рис. 2.16.



Рис. 2.16. Классификация языков САПР ТП

Языки программирования предназначены для написания программного обеспечения и являются средством разработки САПР ТП.

К языкам программирования предъявляют требования удобства использования, универсальности и эффективности использования объектных программ (т. е. программ, полученных после трансляции на машинный язык).

Удобство использования выражается в затратах времени программиста на освоение языка и, главным образом, на написание программ на этом языке.

Универсальность определяется возможностями языка для описания разнообразных алгоритмов, характерных для программного обеспечения САПР.

Эффективность объектных программ определяется свойствами используемого транслятора, которые, в свою очередь, зависят от свойств языка. Эффективность оценивается затратами машинного времени и памяти на исполнение программ.

С позиций универсальности и эффективности объектных программ наилучшими свойствами обладают машинноориентированные языки. Близость к машинным языкам (языкам машинных команд) обуславливает простоту и эффективность трансляторов на машинный язык, называемых *ассемблерами*. Машиноориентированные языки называют «языками ассемблера» или «Автокадами». Однако языки ассемблера не удобны для человека, их использование снижает производительность труда программистов, поэтому их применяют для разработки лишь тех модулей программного обеспечения САПР ТП, которые требуют для своего использования больших вычислительных ресурсов.

Среди алгоритмических языков высокого уровня, созданных на различных этапах развития вычислительной техники, наибольшее распространение в САПР ТП получили языки C++, Delphi и др.

Языки проектирования (ЯП) предназначены для описания информации об объектах и задачах проектирования. Они ориентированы на пользователей-проектировщиков и предназначены для эксплуатации САПР технологических процессов.

Среди языков проектирования выделяют языки входные, выходные, сопровождения, управления, промежуточные и внутренние.

Место входного, выходного и внутреннего языков проектирования на различных этапах переработки информации в САПР ТП (один из вариантов) показано на рис. 2.17.

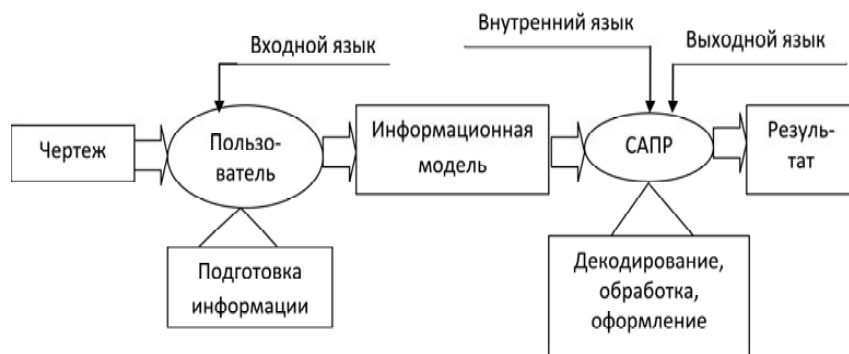


Рис. 2.17. Использование языков проектирования на различных этапах преобразования информации в САПР ТП

Входные языки служат для задания исходной информации (подготовка и ввод исходных данных об объектах).

Выходные языки обеспечивают оформление результатов проектирования в текстовом или графическом виде.

Промежуточные и внутренние языки предназначены для представления информации на определенных стадиях ее переработки в ЭВМ.

Пользователь составляет описание на входном языке. Это описание с помощью специальной транслирующей программы, называемой конвертором, переводится на промежуточный язык. Далее работает основной транслятор, переводящий описание задачи с промежуточного языка в рабочую программу.

Преимущества такого двухуровневого лингвистического обеспечения заключается в том, что программная система сравнительно легко настраивается на новые подклассы объектов. Для включения в систему нового входного языка достаточно разработать только конвертор с этого языка на промежуточный язык. Наиболее сложная часть системы – основной языковой процессор – при этом остается без изменений.

Диалоговые языки. Важное значение для САПР ТП имеют диалоговые режимы пользователя с ЭВМ. Лингвистическое обеспече-

ние диалоговых режимов представляется диалоговым языком. Фактически диалоговый язык объединяет в себе средства языков входного, выходного и сопровождения и служит для оперативного обмена информацией между человеком и ЭВМ. Различают пассивный и активный диалоговые режимы и соответственно пассивные диалоговые языки и активные диалоговые языки.

В пассивном диалоговом режиме инициатива диалога принадлежит ЭВМ. Прерывание вычислительного процесса в нужных местах при реализации маршрута проектирования и обращение к пользователю осуществляется с помощью диалоговых программных средств. Обращения ЭВМ к пользователю могут быть следующих типов: запрос, информационное сообщение, подсказка.

Запросы предусматриваются в тех случаях, когда от человека требуется либо задание исходных данных, либо выбор между ограниченным множеством возможных предложений проектирования. При запросе исходных данных ЭВМ высвечивает на экране дисплея шаблон, состоящий из вопроса и пустых позиций, в которые нужно поместить ответ. Пользователь должен с помощью клавиатуры дисплея ввести в шаблон требуемые данные в виде чисел или отдельных фраз. При запросе варианта дальнейшего проектирования на экране высвечивается меню – вопросы и несколько наименованных вариантов ответа. Пользователю достаточно указать имя выбранного из меню ответа.

Информационные сообщения используются для передачи пользователю промежуточных и окончательных результатов решения, а также сведений о состоянии его задания. На эти сообщения не требуется реакция пользователя.

Подсказки применяются в тех случаях, когда действия пользователя ошибочны, например, нарушаются формальные правила языка.

В активном диалоговом режиме инициатива начала диалога может быть двухсторонней – возможности прерываний вычислительного процесса имеются и у ЭВМ, и у пользователя. Активные диалоговые языки могут быть близкими к естественному языку человека, но с ограниченным набором возможных слов и фраз. Для организации активного диалогового режима требуется более сложное программное обеспечение, чем для пассивного.

Информационное обеспечение – совокупность сведений, необходимых для выполнения автоматизированного проектирования

и представления его результатов в заданной форме. Основную часть информационного обеспечения составляет *база данных* (БД) – информационные массивы, используемые более, чем в одной программе проектирования. В общем виде БД представляет совокупность информационных массивов.

В процессе функционирования САПР база данных пополняется, корректируется и, кроме того, производится ее защита от неправильных изменений. Все эти функции выполняет *система управления базой данных* (СУБД). База данных совместно с СУБД образует *банк данных*.

Требования к компонентам информационного обеспечения:

– основной формой реализации компонентов информационного обеспечения являются базы данных в распределенной или централизованной форме. Организация базы данных обеспечивает их оптимальное использование в конкретных вариантах применения;

– совокупность БД САПР должна удовлетворять принципу информационного единства, т. е. использовать термины, символы, классификаторы, условные обозначения, способы представления данных, принятые в САПР объектов конкретных видов;

– информационную совместимость проектирующих и обслуживающих подсистем САПР;

– независимость данных на логическом и физическом уровнях, в том числе инвариантность к программному обеспечению;

– возможность одновременного использования данных из различных БД и различными пользователями;

– возможность интеграции неоднородных БД для совместного их использования различными подсистемами САПР;

– возможность наращивания БД;

– контролируемую избыточность данных.

В соответствии с ГОСТ 23501.101-87 создание, поддержка и использование БД, а также взаимосвязь между информацией в БД и обрабатывающими ее программными модулями осуществляется СУБД.

Информацию, используемую в САПР, условно можно разделить на исходную и производную.

Исходная информация, существующая в начале машинного проектирования, делится на переменную и условно-постоянную.

К переменной относится геометрическая и технологическая информация о конкретной детали. Эта информация вводится в оперативное запоминающее устройство каждый раз при проектировании нового технологического процесса на конкретную деталь.

Условно-постоянная информация состоит из справочной и методической информации. Она включает сведения об имеющихся на заводе нормативах, типовых деталях (узлах), оборудовании, оснастке, режущем и мерительном инструменте и т. п. Эта информация является достаточно стабильной и постоянно хранится во внешней памяти ЭВМ. Вся условно-постоянная информация, необходимая для функционирования САПР, представляется в виде *базы данных*.

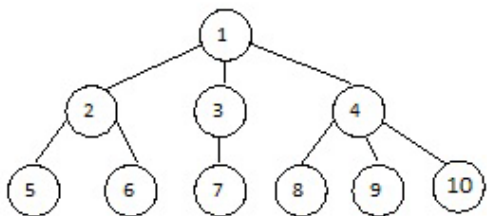
Производная информация формируется на различных этапах процесса проектирования. Применительно к САПР ТП она содержит сведения о маршруте обработки заготовки, технологических операциях, режимах резания, графических изображений операционных эскизов и инструментальных наладок.

Виды представления базы данных. При построении базы данных САПР ТП используют логическое и реляционное ее представление.

Логическое представление БД отражает состав сведений без указаний о размещении информации в конкретных запоминающих устройствах. Это представление используется в прикладных программах, в которых используется уже заданная БД. С позиции логического представления БД в сведениях можно выделить простейшие части, которые называются элементами данных. При описании свойств объекта обычно фигурируют некоторые группы взаимосвязанных элементов, называемыми «записи». Однотипные записи, содержащие близкую информацию, можно объединить под общим заголовком. Например, в записи «Наименование инструмента» можно объединить сведения: номер инструмента, его наименование, принадлежность к той или иной нормали или ГОСТу.

Записи одного типа могут иметь связь с записями других типов. Изображая каждую группу однотипных записей в очередной вершине, а связи между записями в виде ветвей, можно представить структуру БД в виде графа. При этом различают сетевые и древовидные структуры. Последний вид структуры проще для реализации в БД (рис. 2.18).

а



б

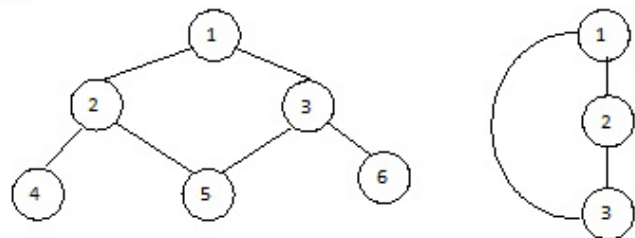


Рис. 2.18. Структуры БД в виде графов:
а – древовидный граф; б – сетевой (замкнутый) граф

Из каждого узла может исходить несколько дуг, но входить – только одна. Для иерархических структур характерны отношения 1:М (один ко многим), т. е. одному экземпляру записи одного типа соответствует несколько экземпляров записи другого типа (рис. 2.19).

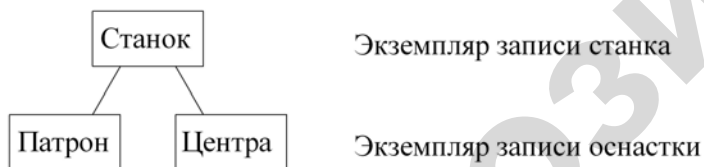


Рис. 2.19. Иерархическая структура БД

Простейшим случаем отношения является 1:1 (один к одному), т. е. одному экземпляру записи одного типа точно соответствует

один экземпляр записи другого типа. Файлы такой структуры называются плоскими или прямоугольными.

Реляционная модель представляется в виде списков или таблиц. Табличный вид – реляционная структура является наиболее приемлемой структурой представления информации в БД.

В структуре отношения (связь между элементами данных) выражают двухмерными таблицами. Каждая строка такой таблицы соответствует записи соответствующего отношения. Каждый столбец таблицы содержит домен, т. е. набор значений элементов данных, участвующих в отношениях (рис. 2.20).

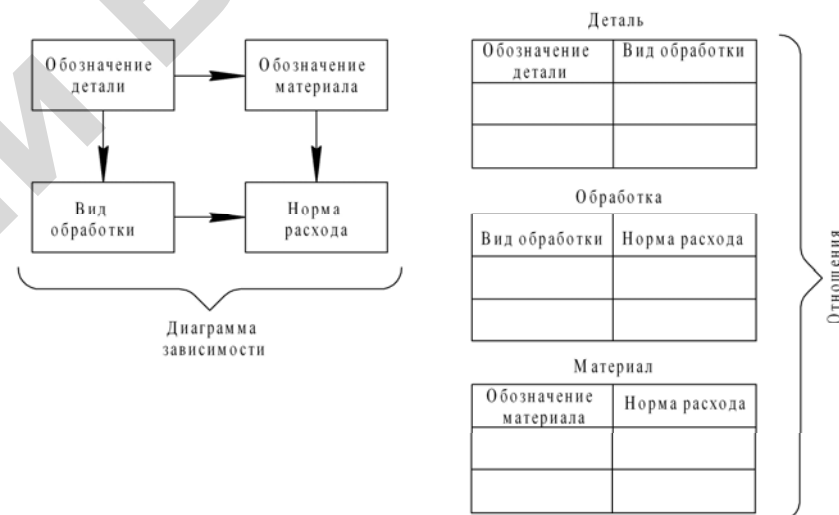


Рис. 2.20. Структуры БД в виде таблиц

Простейшими являются плоские таблицы, состоящие из двух столбцов (включающие 2 домена). Для описания таких отношений и операций над ними используют специальные языки, основанные на алгебре отношений. Основными операциями являются объединение столбцов (соединение) и извлечение подмножества столбцов (проецирование).

Реляционные модели обладают следующими преимуществами:

- более унифицированная структура;
- большая степень независимости данных и результатов;

– относительная простота запроса для поиска и модификации данных;

– возможность одновременного манипулирования набором записей, а не одной записью.

Поиск и выборка информации в БД производится с помощью запросов. Для описания структуры запросов используются ключи записи. Ключом записи является элемент данных, принятых за идентификатор данной записи.

Поиск записей в БД может производиться следующими способами:

1. *Просмотр всей БД.* Это наиболее простой способ, основанный на сравнении значения ключа со всеми записями. При совпадении значений запись выдается пользователю. Способ крайне не экономичен, поэтому для повышения эффективности поиска каждому ключу присваивается код, а все записи упорядочиваются по возрастанию кода ключа.

2. *Блочный поиск.* При этом способе экземпляры записи упорядочиваются по ключу, и весь диапазон значения ключа разделен по подразделам. Тогда вместо полного просмотра всей БД можно ограничиться просмотром значений ключа для начальных записей в подразделе. Это позволяет выделить нужный подраздел с последующим его просмотром.

3. *Способ половинного деления.* В этом случае весь диапазон значений ключа делится на два, затем определяется та половина диапазона, в которой находится заданное значение. В свою очередь, эта половина делится пополам и т. д., пока в результате деления не получится часть БД, состоящая из единственной записи.

4. *Поиск в специальном (вспомогательном) файле, называемом индексом.* Он представляет собой таблицу соответствия значений ключа и адреса в записи. Индекс менее объемный, чем основной файл, и поэтому использование таких файлов ускоряет процесс поиска.

Программное обеспечение (ПО) САПР ТП – это совокупность машинных программ, необходимых для выполнения автоматизированного проектирования и представленных в заданной форме.

Программой называют законченную совокупность команд, необходимых для выполнения определенной задачи. Процесс составления программы называют программированием.

Состав и структура ПО САПР определяются составом и структурой как подсистем, так и САПР в целом.

По функциональному назначению ПО САПР можно разделить на ряд программных комплексов (ПК), представляющих собой совокупность программных, информационных, методических, математических и лингвистических компонент, предназначенных для выполнения заданных функций. Среди них можно выделить следующие программные комплексы:

1. *Проектирующие ПК* предназначены для получения законченного проектного решения и, в свою очередь, делятся на проблемно-ориентированные и объектно-ориентированные. Проблемно-ориентированные ПК выполняют унифицированные проектные процедуры, не зависящие от объекта проектирования. Объектно-ориентированные ПК используются для проектирования объектов определенного класса. Проектирующие ПК входят в состав специализированного ПО.

2. *Обслуживающие ПК* предназначены для поддержания работоспособности проектирующих ПК и входят в состав общесистемного ПО.

3. *Инструментальные ПК* представляют собой технологические средства, предназначенные для разработки, развития и модернизации ПО САПР.

ПО САПР создают с соблюдением следующих принципов:

1. *Системное единство.* При создании, функционировании и развитии ПО САПР связи между компонентами должны обеспечивать ее целостность.

2. *Развитие.* ПО САПР должно создаваться и функционировать с учетом пополнения, совершенствования и обновления ее компонент.

3. *Совместимость.* Языки, символы, коды, информация и связи между компонентами должны обеспечивать их совместное функционирование и сохранять открытую структуру системы в целом.

4. *Стандартизация.* При проектировании ПО САПР необходимо унифицировать, типизировать и стандартизовать ПО, инвариантное к проектируемым объектам.

Программное обеспечение подразделяют:

- на базовое ПО не является предметом разработки при создании ПО САПР.

- общесистемное ПО является инвариантным к объектам проектирования.

- специальное ПО функционирует в операционной среде, которая состоит из базового и общесистемного ПО. Основной функцией специального ПО САПР ТП является получение проектных решений. Специальное ПО представляется в виде текстов прикладных программ, ориентированных на решение специальных задач (расчет точности, проектирование маршрутных и операционных технологических процессов, техническое нормирование и др.).

Общесистемное программное обеспечение предназначено для управления вычислительным процессом в САПР ТП и подготовки программ из пакета прикладных программ (ППП) к их исполнению на ЭВМ. Эти функции обычно выполняют программы, входящие в состав операционных систем ЭВМ. Общесистемное ПО служит для организации функционирования технических средств (планирование и организация процесса обработки информации, ввод-вывод данных, управление данными, распределение ресурсов ЭВМ, отладка программ и другие вспомогательные операции). Основу этого вида программного обеспечения называют операционной системой (ОС).

Специальное программное обеспечение реализует алгоритмы для выполнения проектных операций и процедур. Программы специального ПО в САПР группируют в пакеты прикладных программ.

Обычно каждый пакет ориентирован на обслуживание задач отдельной подсистемы САПР и характеризуется определенной специализацией. Поэтому функции ППП конкретной подсистемы тесно связаны с перечнем задач, реализуемых на соответствующем уровне проектирования.

ППП состоит из отдельных частей (модулей), каждый из которых способен выполнять одну из рабочих (проектных) или обслуживающих (вспомогательных) функций. Модули могут соединяться друг с другом по заданию пользователя, образуя требуемые программы.

Процедуру сборки прикладной программы из имеющихся в ППП модулей производит специальная программа – монитор.

В специальное ПО наряду с ППП, разрабатываемым человеком при создании САПР, входят и рабочие программы, составляемые автоматически на ЭВМ для каждого нового объекта и маршрута его

проектирования. Рабочие программы состояются из библиотечных и генерируемых модулей.

Библиотечные модули – это математические модели, типовые методы и алгоритмы, применяемые при решении задач проектирования многих объектов.

Генерируемые модули реализуют математическую модель объекта проектирования и являются результатом трансляции с входного языка. Получение рабочих программ возможно методом компиляции и методом интерпретации.

Метод компиляции означает, что для каждой арифметической операции вычислительного процесса в рабочей программе формируется своя отдельная команда, занимающая ячейку памяти. Полученная рабочая программа состоит из команд перерабатывающих информацию, без каких либо служебных команд типа передач управления, организации циклов и т. д. Скомпилированные программы наиболее экономичны по затратам времени (не имеют никаких дополнительных служебных операций), но наименее экономичны по затратам машинной памяти (каждой операции соответствует своя отдельная команда, занимающая ячейку памяти).

Метод интерпретации подразумевает, что рабочая программа не издается в окончательном виде до начала этапа счета: она будет генерироваться по частям при переходе от исполнения предыдущей директивы входящего языка к последующей. При этом затраты машинного времени увеличиваются, но сокращаются затраты машинной памяти (не нужно хранить всю скопированную рабочую программу).

В практике чаще всего используют элементы обоих методов генерации рабочих программ. Чем выше частота использования программ, тем более обоснованным будет применение метода компиляции. Метод интерпретации преобладает при генерировании программ более высоких уровней, он является основным при реализации диалогового режима САПР ТП.

Методы программирования ПО САПР. Способ управления сложными системами был известен еще в древности: *divide et impera* (разделяй и властвуй). При проектировании сложной программной системы необходимо составлять ее из небольших подсистем, каждую из которых можно отладить независимо от других.

В этом случае учитываются возможности человека, отпущенных ему природой: при разработке любого уровня системы нам нужно будет одновременно держать в уме информацию лишь о немногих ее частях, а не о всех.

К основным методам программирования, ориентированным на получение надежных, пригодных для отладки, испытаний и сопровождения программ, можно отнести:

- метод структурного программирования «сверху-вниз»;
- метод организации потоков данных;
- объектно-ориентированное программирование.

Большинство существующих программ написано в соответствии с одним из этих методов.

Основное требование к ПО – выбор такой структуры программ и способов их реализации, которые способствовали бы уменьшению затрат времени и средств на разработку программ и их сопровождение.

Наибольшее распространение получило структурное программирование, так как оно способствует организации эффективной разработки ПО САПР. При использовании метода структурного программирования «сверху-вниз» (комбинированный метод) программа в целом принимает форму дерева, в котором одни подпрограммы в процессе работы вызывают другие подпрограммы. При структурном программировании используется подход алгоритмической декомпозиции, в котором большие задачи разбивают на маленькие, так как основной базовой единицей является подпрограмма.

К основным принципам структурного программирования относятся:

- модульность структуры;
- иерархия модулей;
- нисходящее и восходящее проектирование.

Модульный принцип построения ППП. Современная концепция модульного проектирования включает в себя следующие положения:

– программа разбивается на модули. Под модулем понимается генерируемая или библиотечная программа (или ее часть), способная входить в ПО в сочетании с другими модулями в качестве самостоятельного элемента. Модулем может быть крупная программа,

например, программа проектирования операций механической обработки. Модули могут определять доступные для использования данные, операции обработки данных (подпрограммы и т. д.);

- в САПР ТП модули могут быть расширены, заменены, изъяты;
- изменение одного модуля не должно требовать перетрансляции других модулей, использующих данный модуль;
- каждый модуль содержит, как правило, одну точку входа и одну точку выхода.

Состав модулей определяется рядом факторов: методикой разработки САПР ТП; выбранным методом решения разработанных алгоритмов; видом используемого периферийного оборудования; возможностями операционной системы; базовым алгоритмическим языком.

Обеспечивается возможность организации совместной работы больших коллективов разработчиков, так как относительно малый размер модулей и небольшая сложность их позволяют провести более полную проверку программы.

Построение ППП по модульному принципу имеет ряд преимуществ:

- относительная самостоятельность модулей позволяет параллельно разрабатывать несколько модулей;
- упрощается отладка программ. Это дает возможность присоединять модули к ранее отлаженным. После каждого такого присоединения неверная работа программы сигнализирует о присутствии ошибки в новом модуле, а не в уже отлаженном;
- при более детальном расчленении можно сэкономить время трансляции (меньшие модули требуют меньше времени на трансляцию), легче обнаружить ошибки;
- в расчлененном виде сложные логические связи более наглядны;
- изменения и совершенствования отдельных модулей не влияют на работоспособность ППП.

Виды программных документов. Единая система программной документации устанавливает следующие виды эксплуатационных документов:

- ведомость эксплуатационных документов – перечень эксплуатационных документов на программу;
- формуляр – определяет основные характеристики программы, комплектность и сведения об эксплуатации;

- описание применения – содержит сведения о назначении, области применения программы, методах и классе решаемых задач;
- руководство программиста – содержит сведения, необходимые при эксплуатации программ;
- руководство системного программиста – содержит сведения для проверки, обеспечения функционирования и настройки программы на условия конкретного применения;
- описание языка – определяет синтаксис и семантику языка взаимодействия пользователя с программой;
- руководство пользователя – содержит сведения, необходимые для обеспечения процедуры общения оператора ЭВМ в процессе выполнения программы;
- руководство по техническому обслуживанию – содержит описание применения текстовых и диагностических программ при обслуживании технических средств.

Методическое обеспечение – это совокупность документов, устанавливающих состав, а также правила отбора и эксплуатации средств обеспечения автоматизированного проектирования, необходимых для решения проектных задач.

К компонентам методического обеспечения относятся:

- утвержденная документация инструктивно-методического характера, устанавливающая порядок работы по автоматизированному проектированию технологической документации;
- правила эксплуатации программно-методического комплекса;
- нормативы, стандарты и другие руководящие документы, регламентирующие процесс и объект проектирования.

Компоненты методического обеспечения должны размещаться на машинных носителях информации, позволяющих осуществлять как долговременное хранение документов, так и их оперативный вывод в форматах, установленных соответствующими стандартами.

Организационное обеспечение – это совокупность документов, устанавливающих состав проектной организации и ее подразделений, связи между ними, их функции, а также форму представления результата проектирования и порядок рассмотрения проектных документов.

Компоненты организационного обеспечения должны устанавливать:

- организационную структуру системы и подсистем, включая взаимосвязи ее элементов;
 - задачи и функции службы САПР и связанных с ней подразделений проектной организации;
 - права и ответственность должностных лиц по обеспечению создания и функционирования САПР;
 - порядок подготовки и переподготовки пользователей САПР.
- Среди пользователей САПР можно выделить три квалификационные категории:

1) разработчики – это специалисты в области использования ЭВМ для решения прикладных задач, способные разрабатывать базовые методы автоматизации проектирования, общесистемное ПО, инструментальные и технологические средства проектирования, осуществлять генерацию и настройку САПР на условия конкретного применения;

2) прикладные программисты – это высококвалифицированные специалисты, знают методологию проектирования, алгоритмы прикладной области и могут разрабатывать специализированное ПО;

3) проектировщики – это специалисты в области проектирования, хорошо освоившие возможности САПР для выполнения автоматизированного проектирования. Проектировщики не являются профессионалами в области вычислительной техники, но имеют прямой доступ к ресурсам ЭВМ.

2.3. СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И УПРАВЛЯЮЩИХ ПРОГРАММ ДЛЯ СТАНКОВ С ЧПУ В УСЛОВИЯХ МЕЛКОСЕРИЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА

2.3.1. Структура управляющей программы для станков с ЧПУ

На универсальных станках с ручным управлением рабочий, пользуясь чертежом детали или эскизом обработки, преобразует прочитанную им информацию в определенную последовательность движений рук и воздействует на органы управления станком. В этом случае человек задает и выполняет программу управления станком, т. е. управляет циклом работы станка и величиной перемещений его исполнительных органов. Главным достоинством такой системы управления является ее универсальность и гибкость. Однако, участие человека в качестве основного элемента системы управления станком сдерживает рост производительности оборудования.

В последние годы универсальные станки с ручным управлением стали оснащать системами ручного ввода данных и цифровой индикации (в обозначении модели станков отмечаются индексом Ф1). Рабочий на специальной панели задает численное значение координат, на которые должны выйти исполнительные органы станка после включения подачи. На подвижных органах таких станков устанавливаются датчики положения, которые подают сигналы в систему цифровой индикации. Численные значения координат детали или инструмента непрерывно индицируются на световом табло (визуализаторе), что позволяет контролировать получаемые размеры в процессе обработки.

Системы ручного ввода данных и цифровой индикации обеспечивают повышение точности обработки и, снижая утомляемость рабочего, способствуют росту производительности. Используются эти системы чаще всего в станках токарной и сверлильно-расточной групп. Однако они не позволяют автоматизировать рабочий цикл станка и не высвобождают рабочего.

Под УП металлорежущим станком понимается последовательность команд, обеспечивающих функционирование рабочих органов станка по выполнению операции обработки заготовки детали.

Программа управления станком содержит технологическую и геометрическую информацию.

Технологическая информация – это данные о технологии обработки, содержащие сведения о смене заготовок и инструмента, последовательности ввода их в работу, выборе и изменении режимов обработки, включении в работу в определенной последовательности различных исполнительных органов станка, автоматическом измерении размеров обрабатываемой заготовки детали или инструмента и т. п.

Геометрическая информация - это данные, содержащие сведения о размерах отдельных элементов детали и инструмента, их положении относительно выбранного начала координат.

Управляющая программа имеет жесткую структуру. Все команды управления объединяются в кадры (предложения), состоящие из одной или более команд. Кадр завершается символом перевода строки (ПС/LF) и имеет номер, за исключением первого кадра программы и комментариев. Первый кадр содержит только один символ «%». Завершается программа командой M02 или M30. Комментарии к программе размещаются в круглых скобках, занимая отдельный кадр.

Каждый кадр состоит из слов. Каждое слово состоит из адресной и числовой частей (G02, M02, Z100 и т. п.). Порядок слов в кадре строго не оговаривается, но традиционно предполагается, что первыми указываются подготовительные команды (например, выбор рабочей плоскости), затем команды перемещения, выбора режимов обработки и технологические команды. Нельзя задавать в одном кадре два и более слов под одним и тем же адресом, кроме адресов G и M.

Подпрограммы должны быть описаны после команды M02, но до M30. Начинается подпрограмма с кадра вида Lxx, где xx – номер подпрограммы; заканчивается командой M17.

Методы разработки управляющих программ

Существуют следующие методы разработки УП:
– ручной;

– автоматизированный с помощью устройства ЧПУ станка со встроенной микроЭВМ – цеховое программирование;

– автоматизированный вне станка с использованием персонального компьютера и соответствующих систем программирования.

Ручное программирование основано на использовании технологической информации, взятой из операционных карт обработки, и геометрической информации, взятой из чертежа детали (рис. 2.21). Затем, пользуясь справочниками, инструкциями по программированию и выполняя необходимые расчеты, технолог-программист кодирует каждую команду на выполнение вспомогательных действий, технологических проходов и переходов. Результаты кодирования записываются в карту кодирования информации. Содержимое карты переносится на программноноситель для возможности передачи его устройству ЧПУ.



Рис. 2.21. Схема разработки управляющих программ ручным способом

Этим методом разрабатывают управляющие программы обработки заготовок деталей простой геометрической формы. Для разработки управляющих программ обработки сложно-профильных деталей ручной метод нерационален, так как трудоемкость вы-

полнения расчетов и программирования возрастает настолько, что использование станков с ЧПУ для обработки этих деталей становится неэффективным. По этим же причинам для деталей, имеющих пространственно заданные поверхности, ручное программирование практически вообще неосуществимо.

Значительная трудоемкость разработки управляющих программ ручным методом явилась предпосылкой автоматизации программирования с помощью ЭВМ.

В индивидуальном и мелкосерийном производствах при повторяющихся партиях деталей с относительно простой геометрической формой часто ограничиваются разработкой только УП. При этом управляющие программы разрабатывают непосредственно у станка (цеховое программирование), используя при этом клавиатуру пульта оператора и возможности систем ЧПУ в части построений и преобразований контуров поверхностей деталей, постоянных циклов, подпрограмм и т. п.

За последние годы в связи с развитием микропроцессорных систем ЧПУ для управления металлорежущим оборудованием и оснащением их устройствами (символьно-цифровой клавиатурой, дисплеями, мощными микроЭВМ) для работы в режиме диалога наблюдается устойчивая тенденция разработки управляющих программ автоматизированным способом непосредственно у станка с ЧПУ. При этом станок с ЧПУ на период разработки УП выполняет функции компьютера. Устройства ЧПУ имеют узкоспециализированное программное обеспечение. Для ускорения работ по программированию технологических операций современные устройства ЧПУ (типа Heidenhain, Sinumerik, Fanuc, Mitsubishi, CNC фирмы Балт-систем, ИРИС М64, 2С42 и др.) имеют наборы постоянных и технологических циклов обработки, а также подпрограмм.

К постоянным циклам относятся: сверление, зенкерование, нарезание резьбы, растачивание, глубокое сверление, сверление двух рабочих глубин, зенкерование на обратном ходу и др.

К технологическим циклам относятся: однопроходный продольный цикл, однопроходный поперечный цикл, многопроходный черновой продольный цикл, многопроходный черновой поперечный цикл, многопроходный цикл нарезания торцовых или цилиндрических канавок, многопроходный цикл резьбонарезания.

Кроме того, устройства ЧПУ позволяют выполнять функции преобразования геометрических элементов: зеркальную обработку, последовательность точек на прямой или окружности, последовательность точек в форме матриц и др.

При помощи функции по определению геометрических элементов контура детали устройством ЧПУ могут быть вычислены точки, прямые и окружности, которые требуются для составления программы, но отсутствуют непосредственно на чертеже детали.

Этот метод разработки УП предполагает оснащение станков оперативными устройствами ЧПУ и используется при изготовлении деталей простой и средней по сложности геометрических форм.

Метод программирования непосредственно у станка имеет следующие достоинства:

- не требуются услуги технолога-программиста, т. е. нужны меньшие организационные затраты при внедрении станков с ЧПУ;
- лучше используются технологические знания и опыт производственников;
- уменьшаются затраты на корректировку программ, так как при их разработке можно учесть текущее (на момент начала обработки заготовки детали) состояние станка с ЧПУ, фактическую номенклатуру применяемых инструментов и приспособлений;
- увеличивается гибкость производства.

Однако при использовании метода «цехового программирования» имеют место простои станков с ЧПУ, связанные с разработкой и вводом УП, так как станок с ЧПУ используется при этом не по назначению, а в качестве программирующего устройства. Для устранения этого недостатка устройства ЧПУ станков стали оснащать двумя и более процессорами, что позволяет разрабатывать УП во время обработки заготовки.

Вторым недостатком метода «цехового программирования» является то, что для его реализации требуются операторы станков с ЧПУ более высокой квалификации.

При автоматизированном программировании вне станка с ЧПУ используются персональный компьютер и соответствующая система разработки управляющих программ (САПР УП). Схема разработки управляющих программ при автоматизированном способе программирования приведена на рис. 2.22.

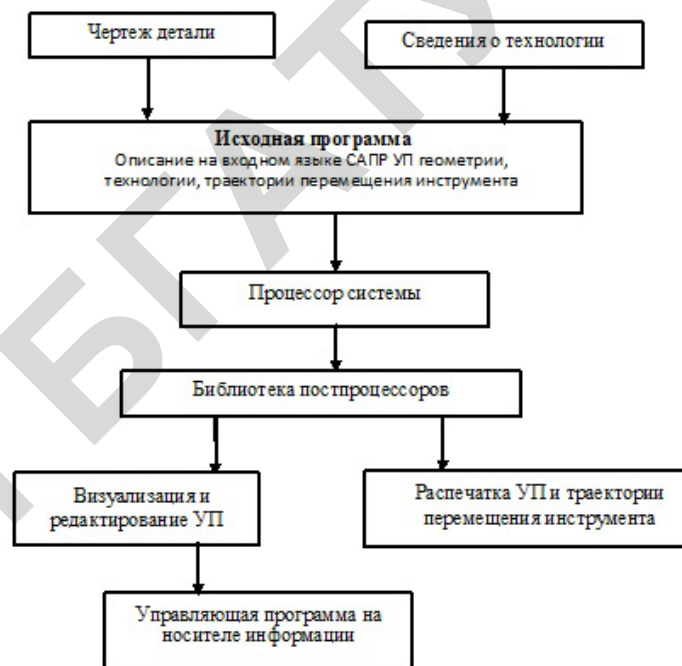


Рис. 2.22. Схема разработки управляющих программ при автоматизированном способе

По назначению САПР УП подразделяются на специализированные, универсальные и комплексные.

2.3.2. Классификация систем автоматизированного проектирования управляющих программ

Специализированные САПР УП разрабатываются для деталей отдельных классов и уникального оборудования с ЧПУ. Например, с помощью таких систем осуществляется программирование обработки деталей по контуру (форма спирали Архимеда, заданный набор точек), а также программирование обработки колодцев на сложных поверхностях.

Универсальные САПР УП предназначены для различных деталей, изготавливаемых на станках с ЧПУ отдельных технологиче-

ских групп. Такие системы позволяют выполнять сложные геометрические и технологические задачи, поэтому они получили широкое распространение, как в нашей стране, так и за рубежом.

Комплексные САПР УП объединяют ряд функций (подсистем) специализированных и универсальных САПР и могут быть использованы для станков с ЧПУ различных технологических групп. Объединение систем возможно на базе единого входного языка и общих блоков, используемых для решения идентичных задач.

Область применения САПР УП определяется конструктивно-технологическими признаками деталей и технологическими возможностями станков с ЧПУ. Различают четыре типа САПР УП, областями применения которых являются:

- обработка отверстий на сверлильных станках с позиционным управлением и обработка поверхностей, параллельных координатным плоскостям, на фрезерных станках с 2,5-координатным управлением;

- комплексная (многоцелевая) обработка корпусных деталей на сверлильно-расточных станках и обрабатывающих центрах;

- обработка поверхностей деталей сложной формы (штампы, пресс-формы, турбинные лопатки и т. п.) на многокоординатных фрезерных станках;

- обработка тел вращения со ступенчатым и криволинейным профилями на токарных станках.

По степени автоматизации существующие САПР УП делятся на два вида: с автоматизацией проектирования технологии и без автоматизации.

Современные САПР УП ориентированы на персональные ЭВМ с большим быстродействием и способностью обработки большого объема информации. Мобильные персональные ЭВМ позволяют использовать САПР УП для подготовки управляющих программ непосредственно на участках станков с ЧПУ.

По способу задания входной информации САПР УП бывают трех видов: с графической, табличной и языковой формой записи. Графическая форма входной информации используется для задания контуров заготовки и обработки деталей. Табличная запись данных отличается большой наглядностью и простотой, она применяется главным образом в специальных САПР УП. Языковая запись данных представляет собой текстовую информацию, построенную по

определенным правилам. Она обладает большой гибкостью, легче, чем табличная, поддается модернизации и поэтому широко используется в наиболее развитых отечественных и зарубежных САПР УП.

В зависимости от системного программного обеспечения и состава внешних устройств, а также возможностей конкретной САПР УП различают два основных режима автоматизированной разработки УП: пакетный и диалоговый.

2.3.3. Структура и состав систем автоматизированного проектирования управляющих программ

Большинство современных САПР УП построено по принципу «процессор–постпроцессор» (рис. 2.23)

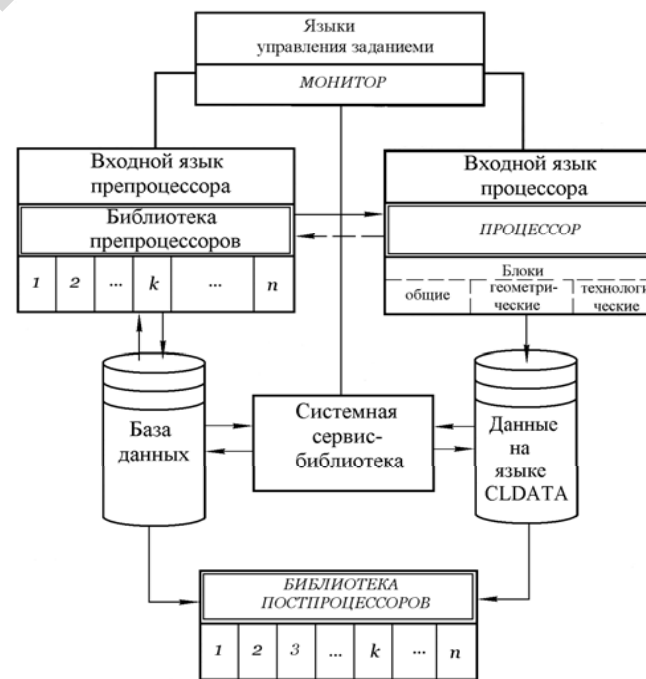


Рис. 2.23. Типовая структура САПР УП

и в общем виде включает:

- процессор;
- библиотеку препроцессоров;
- библиотеку постпроцессоров;
- входной язык препроцессоров и процессора (входной язык САПР УП);
- промежуточный язык «процессор–постпроцессор» (CL DATA);
- язык управления заданиями;
- монитор (диспетчер системы);
- системную сервис-библиотеку;
- базу данных.

2.3.4. Функции модулей систем автоматизированного проектирования управляющих программ

Процессор САПР УП – программное изделие, предназначенное для решения общих геометрических и технологических задач, а также задач управления процессом обработки данных на ЭВМ. Результатом его работы является полностью рассчитанная траектория движения инструмента, представленная в промежуточном унифицированном виде. Для наиболее развитых САПР УП [9, 10] процессор состоит из четырех последовательно работающих блоков:

- трансляции;
- технологического;
- геометрического;
- формирования промежуточной программы.

Блок трансляции предназначен для ввода исходной информации с внешнего носителя или с экрана дисплея, синтаксического анализа операторов входного языка и выдачи сообщений об ошибках, преобразования исходной информации из символьной формы в машинные коды ISO 7bit.

Технологический блок решает задачи по выбору последовательности обработки, расчету оптимальных режимов резания, подбору режущего инструмента, нормированию операций, подготовке технологических документов, формированию технологических команд.

Геометрический блок ориентирован на решение задач, связанных с расчетом и построением траектории движения инструмента: определяет точки и линии пересечения различных геометрических элементов, проводит аппроксимацию кривых и таблично-заданных функций, обеспечивает построение эквидистантного контура с учетом размеров инструмента и заданного направления его движения, выполняет диагностирование геометрических ошибок.

Блок формирования промежуточной программы приводит информацию, полученную в предшествующих блоках, к стандартному виду и формирует данные для работы постпроцессора на языке CL DATA.

Препроцессор САПР УП – программное изделие, решающее определенные целевые задачи и формирующее исходные данные для процессора. Характерными задачами для препроцессора являются:

- перевод исходных данных из одной системы координат в другую (например, полярных в декартовы);
- проектирование операционных технологических процессов;
- разработка УП для группы деталей, различающихся только значениями отдельных параметров;
- решение специальных задач и т. д.

В современных САПР УП совместно с одним процессором могут работать несколько препроцессоров.

Постпроцессор САПР УП – программное изделие, предназначенное для адаптации УП к конкретному оборудованию с ЧПУ. В основные функции постпроцессора входит:

- считывание сформированных процессором данных на языке CL DATA и их обработка;
- формирование команд, обеспечивающих цикл смены инструмента;
- вывод информации УП для ее распечатки;
- диагностика ошибок;
- выполнение ряда сервисных функций (расчет машинно-оперативного времени УП, управление графопостроителем, вывод информации для контроля геометрии обрабатываемого контура и т. д.);
- принятие специальных решений, связанных с особенностями программирования для конкретной комбинации «станок–УЧПУ».

Для разработки управляющих программ к конкретным станкам с ЧПУ в состав САПР УП должна быть включена *библиотека соот-*

ветствующих постпроцессоров. По мере увеличения числа моделей станков с ЧПУ система пополняется новыми постпроцессорами. В некоторых САПР УП вместо библиотеки постпроцессоров применяют универсальные (обобщенные) постпроцессоры. Каждый из них предназначен для целой группы однотипных станков и устройств ЧПУ. Особенности моделей станков учтены в обобщенном постпроцессоре, разрабатываемом в соответствии со специальной анкетой, заполняемой технологом-программистом.

Языки САПР УП по назначению подразделяются следующим образом:

- входной;
- промежуточный;
- управления.

Входной язык САПР УП – проблемно-ориентированный язык, предназначенный для описания исходных данных о детали и технологическом процессе ее обработки на оборудовании с ЧПУ.

Промежуточный язык «процессор–постпроцессор» (CL DATA) – внутренний проблемно-ориентированный язык САПР УП, служащий для представления данных, передаваемых от процессора к постпроцессору.

Язык управления заданиями – язык оперативного управления работой системы (обеспечивает обработку заданий в пакетном и диалоговом режимах).

Монитор (диспетчер) системы – головной блок системы в оперативной памяти ЭВМ, основными функциями которого являются:

- обработка управляющей информации;
- автоматическая загрузка блоков из системных библиотек;
- передача промежуточных данных между блоками;
- обработка сбойных ситуаций, возникающих из-за неправильной организации пакета заданий и преждевременного прекращения работы некоторых блоков системы.

Системная сервис-библиотека – совокупность программ, решающих определенные задачи проектирования, например, редактирование исходных данных и управляющих программ, графический контроль геометрической информации УП на графопостроителях или графических дисплеях и др.

База данных – информационные массивы, используемые более чем в одной программе проектирования. Сюда входят сведения о

станках, устройствах ЧПУ, инструментах, приспособлениях, обрабатываемых материалах и т. д. В процессе функционирования САПР УП база данных пополняется и корректируется. Используется база данных для автоматизации технологических решений.

Объединение систем автоматизированного конструирования, технологического проектирования с системами автоматизированного проектирования управляющих программ (системы САД/CAM) позволяет в значительной степени ускорить процесс подготовки УП, повысить эффективность технологии изготовления деталей и практически полностью избежать ошибок в подготовке исходных данных.

2.3.5. Характеристики систем автоматизированного проектирования управляющих программ

Для характеристики САПР УП используют следующие основные показатели:

- уровень автоматизации,
- адаптируемость,
- надежность
- оперативность.

Уровень автоматизации определяется по характеру и объему решаемых технологических задач. Различают три уровня автоматизации САПР УП: низкий, средний и высокий. На низком уровне автоматически решаются только геометрические задачи. На среднем уровне автоматизации, кроме геометрических задач, решаются некоторые технологические (назначение режимов обработки, выбор режущего инструмента, выбор черновых проходов и т. д.). На высоком уровне все геометрические и технологические задачи решаются автоматически. Количественно уровень автоматизации системы определяют отношением трудоемкости ручной подготовки УП к трудоемкости подготовки УП на ЭВМ.

Адаптируемость характеризуется ее способностью настраиваться на условия пользователя, т. е. набором «потребительских» свойств системы. Определяющими признаками здесь являются:

- конфигурация ЭВМ,
- тип операционной системы,

- состав библиотеки препроцессоров и постпроцессоров,
- организация базы данных.

Надежность определяется вероятностью получения качественной УП и зависит от ряда факторов. Основными из них являются надежность программного обеспечения и надежность контроля исходных данных. Последний фактор обеспечивается созданием простых и удобных конструкций входного языка САПР УП, а также разработкой специальных программ автоматического определения ошибок с помощью ЭВМ.

Оперативность характеризуется минимальными затратами времени на разработку УП за счет непосредственного доступа технолога-программиста к ЭВМ.

САПР УП в процессе проектирования обеспечивает:

- расчет траектории движения центра режущего инструмента;
- определение подачи и частоты вращения шпинделя;
- формирование технологических команд управления станком;
- расчет и формирование технологических циклов выборки металла по различным схемам («петля», «зигзаг» и т. п.);
- расчет эквидистанты;
- расчет и формирование технологических циклов (нарезания резьбы резцом, обработки отверстий осевым инструментом, точение и растачивание, нарезания резьбы метчиком и т. п.);
- расчет и обработку аналитически и таблично заданных кривых;
- смену плоскости обработки;
- повторение участков обработки.

В составе систем предусмотрено использование аппарата макроопределений. Под макроопределением понимают программу обработки по типовой схеме (сверление групп отверстий, выборка колодцев и др.) или типового элемента детали, описанного конкретным геометрическим контуром (параболой, гиперболой, спиралью Архимеда и др.).

Технолог-программист на основе чертежа детали и данных технологии разрабатывает исходную программу (ИП). Исходная программа, являясь математической моделью для программирования обработки, задается в диалоговом режиме последовательно с декомпозицией сложных поверхностей деталей на геометрические элементы. При этом диалог состоит в последовательности запросов

и указаний, содержащихся в меню и позволяющих описывать геометрию обрабатываемых поверхностей деталей, последовательность движений режущих инструментов, технологические режимы обработки, параметры инструмента и другую информацию.

Для разработки исходной программы в интерактивном режиме с использованием меню и экранных форм САПР УП, как правило, включает следующие основные модули:

- базу данных геометрической информации и управляющих программ;
- геометрический редактор для построения плоских и объемных поверхностей;
- средства формирования траектории инструмента для различных видов обработки;
- средства объединения траекторий инструмента в инвариантную программу на языке системы;
- редактор текста инвариантной программы, обеспечивающий ее визуализацию;
- средства визуализации инвариантной программы;
- набор постпроцессоров, транслирующих инвариантную программу в управляющую программу станка с ЧПУ;
- генератор постпроцессоров.

База данных САПР УП обеспечивает хранение, обновление, удаление и другие функции обработки информации, создаваемой в процессе моделирования и подготовки управляющих программ.

Геометрический редактор предназначен для формирования в интерактивном режиме плоских и объемных геометрических примитивов: точек, отрезков прямых, многоугольников, дуг окружностей, плоских и пространственных кривых. С использованием этих примитивов описываются поверхности обрабатываемых заготовок деталей.

Для описания поверхностей детали меню геометрического редактора может содержать следующие основные разделы: утилиты редактора, маркер, отрезок, дуга, кривая, контур, измерить, преобразовать, пересечения, модифицировать, текст, примитивы, ввод/вывод и т. п.

2.3.6. Задание геометрической информации в системах автоматизированного проектирования управляющих программ

Исходные данные для САПР УП представляют собой описание детали и технологических переходов на специальном входном языке [9, 10].

Описание детали и заготовки производится непосредственно по соответствующим чертежам, без каких-либо расчетов. Для задания порядка обработки детали технолог описывает в необходимой последовательности каждый технологический переход.

Процесс подготовки исходных данных можно условно разбить на следующие этапы:

- задание общей информации;
- задание геометрической информации;
- задание технологической информации.

Геометрическая информация представляет собой описание элементов (точек, прямых, окружностей), составляющих формообразующие контуры детали.

Обработка исходных данных осуществляется процессором системы, который решает следующие задачи:

- синтаксический, логический и геометрический контроль исходных данных с выдачей диагностических сообщений в случае обнаружении ошибок;
- построение контуров детали и заготовки;
- обработка данных информационной базы;
- построение траекторий движения инструментов;
- построение эквидистанты (при необходимости);
- расчет частоты вращения шпинделя;
- формирование технологических команд;
- формирование циклов (подпрограмм) для станков с устройствами ЧПУ типа CNC;
- нормирование операции.

Результатом работы процессора является УП на унифицированном промежуточном языке «процессор–постпроцессор» (массив данных CL DATA).

Преобразование массива данных CL DATA в УП для конкретной модели станка и устройства ЧПУ осуществляет соответствующий постпроцессор.

В результате проектирования УП получают:

- изображение контура детали и траекторий движения инструментов;
- карту кодирования информации с текстом управляющей программы;
- операционную карту;
- карту наладки инструментов;
- карту эскизов, содержащую эскиз обрабатываемой детали и схематическое изображение режущих инструментов.

Типовая последовательность разработки управляющих программ с использованием САПР УП содержит следующие операции:

- в архиве данных создается файл, в котором будет размещаться информация об обрабатываемой детали;
- описывается геометрия детали с использованием геометрического редактора системы. При этом линии, описывающие поверхности детали, являются составными, образованными отрезками прямых, окружностей, других кривых, предусмотренных в редакторе системы. Линии, описывающие зоны обработки, объединяются в контуры. При необходимости используются преобразования геометрических элементов, включающие копирование, перенос, поворот, зеркальное отражение и др.;
- выполняются вспомогательные построения в геометрическом редакторе, например, построение контуров, ограничивающих зону обработки, проекций кривых на плоскости, контуров прижимов, закрепляющих заготовку детали на столе станка и т. п.;
- к контурам поверхностей деталей строятся эквидистанты, определяющие границу перемещения инструмента с учетом ограничений зоны обработки. Строятся участки траекторий подхода инструмента к обрабатываемому контуру и отхода от него. Для карманов определяются области, обрабатываемые фрезой данного радиуса;
- формируются программы описания траектории перемещения инструмента при обработке заготовки детали;
- к описанной траектории перемещения инструмента добавля-

ются отрезки, соединяющие ее с исходной точкой, а также технологические параметры (подача, частота вращения шпинделя, включение смазочно-охлаждающей жидкости и др.). Управляющие программы записываются в инвариантном коде;

- управляющая программа просматривается в редакторе программ и при необходимости корректируется. Затем на экране дисплея имитируется перемещение инструмента, т. е. осуществляется просмотр программы в динамике;

- производится постпроцессирование программы определенным постпроцессором, в результате чего получается окончательная управляющая программа в кодах устройства ЧПУ конкретного станка;

- редактирование управляющей программы.

В соответствии с этим, главное меню САПР УП должно содержать пункты:

- работа с архивом данных;
- геометрический редактор и обработка;
- кодирование геометрической и технологической информации;
- построение исходной программы;
- редактирование исходной программы;
- визуализация;
- постпроцессоры;
- редактирование управляющей программы.

При описании геометрии детали проставляются все опорные точки, входящие в элементы контуров поверхностей деталей: две крайние точки отрезка прямой, три точки дуги окружности, базовые точки кривой линии – начальная и конечная, промежуточные точки, задающие характеристическую ломаную кривой.

2.4. ИНТЕГРАЦИЯ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ В УСЛОВИЯХ ГИБКИХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ

2.4.1. Особенности технологии механической обработки в условиях гибких производственных систем

Противоречивость требований мобильности и производительности, предъявляемых к машиностроительному производству, находит разрешение в создании гибких производственных систем (ГПС). Под ГПС понимают совокупность в разных сочетаниях оборудования с ЧПУ, роботизированных технологических комплексов, гибких производственных модулей, отдельных единиц технологического оборудования и систем обеспечения их функционирования в автоматическом режиме в течение заданного интервала времени, обладающую свойством автоматизированной переналадки при производстве изделий произвольной номенклатуры в установленных пределах значений их характеристик.

Использование гибких производственных систем и технологических модулей позволяет изготавливать детали в любом порядке и варьировать их выпуск в зависимости от производственной программы, сокращает затраты и время на подготовку производства, повышает коэффициент использования оборудования, изменяет характер работы персонала, повышая удельный вес творческого, высококвалифицированного труда. Высокая эффективность производства достигается рациональным сочетанием оборудования, организацией транспортных операций и управления ГПС.

Отечественный и зарубежный опыт [11] показывает, что наиболее эффективной областью использования ГПС являются мелко- и средне-серийное производства. В крупносерийном и массовом производствах целесообразно использовать гибкие автоматические линии.

Основой ГПС является станочное оборудование – гибкие производственные модули (ГПМ), станки с ЧПУ, робототехнические комплексы (рис. 2.24). Для автоматизации вспомогательных операций и обеспечения бесперебойной работы станочного оборудования используются промышленные роботы, автоматизированные транспортно-складские подсистемы, контрольно-измерительные машины,

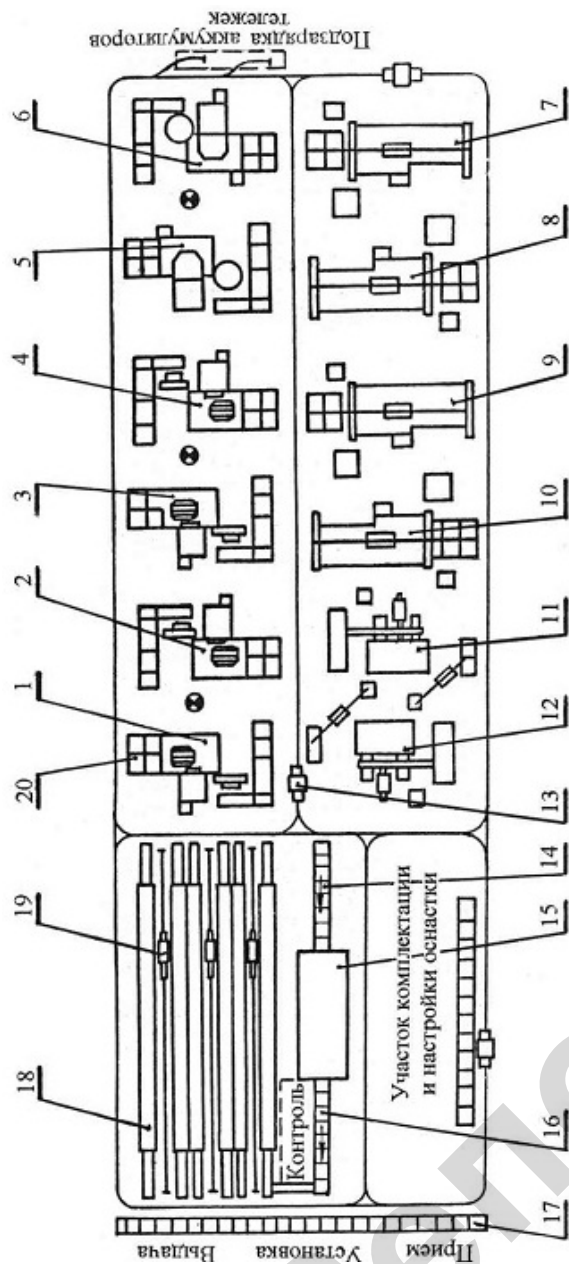


Рис. 2.24. Вариант типовой схемы расположения оборудования ГПС:

1, 2, 3, 4 – горизонтальные многоцелевые станки; 5, 6 – вертикальные многоцелевые станки; 7, 8, 9, 10 – горизонтальные токарные станки с портативными манипуляторами; 11, 12 – вертикальные токарные станки с портативными манипуляторами; 13 – автоматическая роботизированная тележка «робокар»; 14, 16 – приводной роликовый транспортер-накопитель; 15 – машина моечная проходная; 17 – накопитель для приема, установки на паллеты и выдачи обрабатываемых деталей; 18 – склад стеллажный; 19 – автоматический штабелер; 20 – стол приема-выдачи паллет

автоматизированные подсистемы инструментального обеспечения, подсистемы компьютерного управления. Современная концепция построения ГПС предусматривает наличие у станков самостоятельных устройств ЧПУ типа CNC.

Гибкость и надежность такой ГПС обеспечивается тем, что каждый станок имеет возможность управляться как самостоятельный объект, т. е. возможна независимая работа каждого станка. Поэтому в единый комплекс могут объединяться станки различных групп.

Подсистема управления станками с ЧПУ выполняет следующие функции:

- распределение УП по станкам с ЧПУ;
- передача откорректированных УП из систем с ЧПУ в центральную память данных;
 - хранение УП в компьютере;
 - редактирование архива УП;
 - хранение, управление данными об инструментах, величинах их коррекции на размер, о смещении нуля, а также передача этих данных в систему ЧПУ и обратно.

Функции подсистемы инструментального обеспечения:

- измерение инструментов и формирование файла коррекции;
- хранение файлов коррекции на сервере;
- загрузка файлов коррекции одновременно с управляющей программой;
- полная информация об инструменте;
- определение потребности в инструменте.

Таким образом, в ГПС с помощью ЭВМ могут быть реализованы следующие функции:

- разработка управляющих программ для обработки заготовок деталей;
- подготовка, контроль, хранение и передача на станок управляющих программ;
- отработка и корректировка управляющих программ в режиме диалога;
- оперативно-производственное планирование и учет работы оборудования;
- учет ресурса работы режущего инструмента;
- анализ качества деталей и подналадка оборудования;
- диагностика оборудования, входящего в ГПС.

Структура операций, выполняемых ГПС, определяется технологическими возможностями станков, входящих в систему. Например, ГПС для обработки деталей типа «тела вращения» выполняет токарные и фрезерно-сверлильные операции.

Наиболее эффективным технологическим оборудованием для ГПС является гибкий производственный модуль [11].

Гибкий производственный модуль представляет собой единицу технологического оборудования для производства изделий произвольной номенклатуры в установленных пределах значений их характеристик с программным управлением, автономно функционирующую, автоматически осуществляющую все функции, связанные с их изготовлением, имеющую возможность встраивания в гибкую производственную систему.

Гибкие производственные модули создаются на базе многооперационных станков с ЧПУ путем автоматизации всех вспомогательных операций, связанных с изготовлением деталей в пределах партии или технологической группы деталей, с целью обеспечения работы в автоматическом режиме в течение определенного времени, например, в течение одной или нескольких смен. Поэтому ГПМ оснащают следующими системами:

- накопитель заготовок для обеспечения загрузки станка в течение заданного времени;
- система автоматической смены заготовок на станке;
- система автоматического определения состояния режущего инструмента, подналадки или его замены;
- система автоматического контроля и коррекции точностных параметров обрабатываемых поверхностей детали;
- библиотека для хранения и воспроизведения нескольких десятков различных управляющих программ;
- адаптивная система, обеспечивающая автоматическое управление режимами обработки с учетом характера процесса резания и состояния системы «станок – приспособление – инструмент – заготовка».

Определение фактической режущей способности инструмента на ГПМ определяется одним из трех способов:

- расчетом и планированием периода стойкости инструмента;
- измерением величины износа инструмента;
- измерением сил резания или уровня вибраций.

Оснащения ГПМ системами автоматизированного контроля качества обработки и подналадки режимов (или режущего инструмента) позволяет:

- реализовать необходимую точность обработки с учетом состояния системы «станок–приспособление–инструмент–деталь»;
- получить информацию о точности установки заготовки на станке, о точности установки режущего инструмента и его размерном износе;
- осуществить автоматический контроль поверхности заготовки детали непосредственно на станке, и по результатам измерения ввести соответствующую коррекцию величины износа инструмента;
- определить фактические размеры заготовки с целью автоматического расчета соответствующих режимов обработки.

Широкое распространение получили системы автоматического измерения и коррекции, включающие специальные измерительные устройства, смонтированные в инструментальной оправке, которая помещается в магазин инструмента.

В ГПМ, оснащенных промышленными роботами для установки заготовок и снятия деталей, контроль размера обработанной поверхности целесообразно осуществлять измерительным щупом, установленным непосредственно на схвате робота. Если фактический размер выходит за пределы допустимого, деталь отбраковывается и поступает сигнал на подналадку инструмента. При измерении отверстий щуп устройства касается последовательно двух противоположных сторон отверстия. Измеряемый размер отверстия соответствует величине перемещения щупа между двумя точками касания.

Система автоматического измерения сравнивает значение измеренного диаметра обработанного отверстия с программно заданным и выдает команду на продолжение обработки, на повторную обработку с коррекцией или подает сигнал о браке. Аналогичным образом производится измерение других видов поверхностей.

Команда на осуществление контроля включается в управляющую программу обработки. Можно осуществлять контроль как по окончании обработки, так и после предварительной обработки или непосредственно перед выполнением чистовой обработки поверхности. На основе результатов измерения фактической точности предшествующего перехода в размеры настройки инструмента, заданные в программе для последующих переходов, вводится необ-

ходима коррекция. Такой подход к построению систем автоматизации контроля качества гарантирует получение требуемой точности обработанной поверхности.

ГПМ оснащают, как правило, устройствами адаптивного управления. Под адаптивным управлением понимается управление исполнительным устройством ГПМ путем автоматического изменения управляющей программы в функции от контролируемых параметров состояния внешних факторов.

При формообразовании поверхностей деталей на оборудовании с числовым программным управлением описание геометрии заготовки увязывают с координатной системой станка. Получаемые в результате обработки размеры представляют собой замыкающие звенья технологических размерных цепей системы «станок–приспособление–инструмент–деталь». В процессе резания в системе происходят силовые и тепловые явления, влияние которых на точность обработки проявляется через размерные связи. В результате нарушается относительное положение заготовки детали и инструмента, заданное при статической настройке. Для создания возможности компенсации этого отклонения необходимо иметь информацию о его величине и направлении в каждый момент времени обработки. Имея такую информацию, можно осуществлять поднастройку статического положения инструмента программным путем. Например, при обточке нежесткого вала можно в процессе обработки измерять величину деформации в системе «станок–приспособление–инструмент–деталь» путем непрерывного замера диаметра заготовки детали. Если измеряемую информацию преобразовывать в электрические сигналы, затем сравнивать с заданными в программе обработки, то величину деформации заготовки детали в каждом сечении по длине можно компенсировать путем смещения статически настроенного положения резца относительно оси вращения заготовки. Так компенсируется погрешность обработки, вносимая динамической податливостью системы «станок–приспособление–инструмент–деталь».

Адаптивное управление процессом обработки позволяет решать и другие задачи, связанные с воздействием на процесс обработки с учетом влияния случайных факторов. К числу таких задач относится оптимизация обработки путем контроля и поддержания в заданных пределах параметров процесса резания (силы резания, крутя-

щего момента, температуры, скорости резания и др.) и автоматического адекватного изменения режимов. Например, при выполнении операций сверления значительную часть рабочего хода инструмента составляет величина врезания сверла в материал (при сверлении листовых материалов эта величина может составлять 50 % и более). Так как при врезании сверла ширина среза меньше расчетной, возможности инструмента в этом случае полностью не используются. В результате имеет место потеря производительности. С целью оптимизации процесса резания и повышения производительности обработки контролируют величину крутящего момента на шпинделе станка и, при отклонении ее от заданной изменяют осевую подачу сверла. Такое управление позволяет учитывать такие факторы, как затупление инструмента, твердость поверхности заготовки и др.

Информация о величине крутящего момента может быть получена непосредственно со шпинделя станка или с одного из валов коробки скоростей с помощью тензометрических датчиков.

Аналогично может контролироваться мощность привода. Оснащение станка адаптивной системой с получением информации по мощности позволяет получить оптимальное использование мощности привода.

Несмотря на различия в назначении и конструктивном исполнении адаптивных систем управления принцип их работы можно представить в виде функциональной схемы (рис. 2.25).

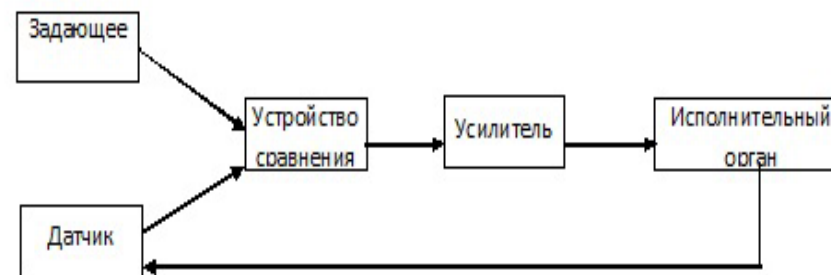


Рис. 2.25. Функциональная схема адаптивной системы управления

Как правило, система адаптивного управления характеризуется наличием трех потоков информации:

- от задающего устройства;
- датчика обратной связи;
- устройства сравнения.

Датчик измеряет действительную текущую величину контролируемого параметра технологического процесса и вырабатывает соответствующий сигнал, поступающий в устройство сравнения. При расхождении этого сигнала с сигналом, поступающим от задающего устройства, на выходе устройства сравнения появляется сигнал рассогласования, который, воздействуя на исполнительный орган, обеспечивает поддержание контролируемого параметра в заданных пределах.

При разработке технологических процессов и управляющих программ для ГПС необходимо учитывать вышеуказанные особенности и обеспечить выполнение основных функций по управлению всем комплексом оборудования.

Разработке технологических процессов должна предшествовать типизация и группирование деталей, которая должна обеспечить возможности использования групповых методов обработки. Для выработки единых технологических решений из каждой группы выбирают деталь-представитель, для нее разрабатывают технологический процесс и управляющую программу. Для остальных деталей группы часто ограничиваются разработкой только управляющих программ. Это снижает затраты на технологическую оснастку и наладку оборудования.

Типизация и группирование деталей, как правило, выполняются в три этапа:

- 1) классификация деталей по конструктивно-технологическим характеристикам;
- 2) классификация поверхностей, подлежащих обработке;
- 3) группирование деталей и выбор типовых представителей групп.

Обработка деталей по групповым технологиям в условиях гибких производственных систем имеет ряд преимуществ:

- использование групповых наладок, т. е. одних и тех же приспособлений и инструментов для деталей каждой отдельной группы;
- использование одного нулевого положения инструмента (или детали) и величин коррекции инструмента для обработки всех деталей группы;

– значительное сокращение времени на переналадку: при удачном подборе деталей в группу переналадка на обработку следующей партии деталей заключается в вызове другой управляющей программы из библиотеки программ;

– возможность распространения режимов резания, отработанных для одной операции, на все детали операции группы.

В связи с тем, что детали, объединенные в группы, близки по технологическим признакам, изготавливаются из одинакового материала, достаточно разработать управляющую программу для одной детали – представителя группы – и отразить в исходной информации для ЭВМ специальными пометками элементы, по которым детали группы отличаются друг от друга (обычно – геометрические элементы). В дальнейшем при разработке управляющей программы для любой детали из группы необходимо в исходной информации заменить размеры помеченных элементов действительными размерами конкретной детали. Управляющую программу после использования можно либо сохранить в библиотеке программ ЭВМ, либо аннулировать, так как ее легко восстановить по управляющей программе на деталь-представитель [12].

Такие автоматизированные системы разработки технологии и управляющих программ позволяют эффективно и оперативно проводить все подготовительные работы для запуска последующей партии деталей за время обработки предыдущей партии.

Применение групповых методов обработки позволяет использовать в составе ГПС эффективные автоматизированные устройства загрузки и контроля качества обрабатываемых деталей, что обычно затруднено в мелкосерийном производстве в связи с их широкой номенклатурой.

В средне- и крупносерийном производствах с устоявшейся номенклатурой обрабатываемых деталей объем работ по подготовке и отладке управляющих программ, а также по переналадке станков с ЧПУ с обработки одной заготовки детали на другую, на порядок меньше, чем в мелкосерийном. При создании ГПС в этих производствах первоочередной задачей является автоматизация транспортно-складских операций, а также установка заготовок на станок и снятие готовых деталей. Поэтому при группировании деталей серийного производства определяющим является не только сходство выполняемых операций и подобие геометрической формы, но и

близость размеров поверхностей, являющихся базовыми при транспортировании, установке и снятии деталей.

Таким образом, для мелко- и среднесерийного производств основной внедрения ГПС является применение принципа групповой технологии.

Эффективность использования ГПС достигается за счет:

- увеличения объема продукции, снимаемого со станков;
- сокращения численности рабочих-станочников;
- уменьшения количества применяемого оборудования;
- сокращения продолжительности производственного цикла;
- повышения гибкости производства;
- улучшения качества изделий;
- улучшения условий труда работников и повышения культуры производства.

Одной из главных особенностей построения технологических процессов обработки деталей является максимальная концентрация технологических переходов при одной установке детали. При этом достигается высокая точность относительного расположения поверхностей, обрабатываемых с одной установки детали. Это объясняется тем, что при обработке нескольких поверхностей с одной установки погрешность переустановки не влияет на точность их относительного расположения.

Разработку технологических процессов обработки деталей осуществляют в следующей последовательности:

- определение технологического состояния заготовки;
- выбор способа обработки поверхности детали;
- составление технологического маршрута обработки заготовки детали;
- выбор оборудования;
- выбор структуры операции;
- установление рациональной последовательности переходов в операции;
- расчет припусков на обработку;
- расчет режимов резания и норм времени;
- выбор оснастки;
- расчет загрузки оборудования.

При разработке технологических процессов обработки деталей учитывают возможности оборудования, входящего в ГПС, в части:

- максимальной автоматизации всего процесса обработки;
- максимальной концентрации обработки поверхностей за одну установку заготовки детали;
- выполнения на одном станке получистовой и чистовой обработки;
- использования нескольких режущих инструментов, причем с осуществлением обработки каждым инструментом последовательно без совмещения переходов;
- внесения изменений в последовательность обработки заготовки детали путем изменения управляющей программы;
- обработки заготовки детали без использования специальных приспособлений и инструментов;
- ограничения по размерам и массе используемых инструментов.

2.4.2. Основные положения методологии проектирования технологии для гибких производственных систем

Потенциальные возможности ГПС и их эффективность обусловлены уровнем технологических проработок, предшествующих проектированию ГПС. Рассмотрим основные положения методических подходов, которые необходимо соблюдать при проектировании технологии для ГПС.

1. *Принцип завершенности* заключается в том, что следует стремиться к выполнению всех операций в пределах одной ГПС без промежуточной передачи полуфабрикатов в другие подразделения или вспомогательные отделения. Для реализации принципа необходимо:

- обеспечить требования по технологичности изделий;
- разработать новые унифицированные методы обработки и контроля;
- обосновать использование оборудования ГПС с расширенными технологическими возможностями.

2. *Принцип концентрации обработки* заключается в формировании ТП с максимально возможным укрупнением операций, с минимальным числом операций и установок в операциях. Для реализации принципа необходимо использовать методы оптимизации технологических маршрутов и операционной технологии.

3. Принцип «малолюдной» технологии заключается в обеспечении автоматической работы ГПС в пределах всего производственного цикла.

Для реализации принципа необходимо обеспечить:

- стабилизацию отклонений входных технологических параметров ГПС (заготовок, инструментов, станков, оснастки);
- расширение и повышение надежности методов операционного информационного обеспечения;
- переход к гибким адаптивным системам коррекции УП.

4. Принцип «безотладочной» технологии заключается в разработке ТП, не требующих отладки на рабочих позициях. Принцип особенно актуален для ГПС с широкой номенклатурой обрабатываемых заготовок.

Для реализации принципа необходимо обеспечить:

- возможность использования унифицированных приспособлений и инструментальных наладок станка;
- использование режущего инструмента широкой номенклатуры и автоматизацию его смены при износе;
- минимальные затраты времени на смену инструмента, холостые перемещения исполнительных органов станка;
- предварительную наладку технологической оснастки вне станка, отработку всех технологических решений, включая обеспечение требуемой точности, испытание предельных режимов резания и стойкости инструмента, формирование и отвод стружки и др.

5. Принцип адаптивности заключается в организации управления ТП и коррекции проектных решений на основе рабочей информации о ходе ТП. Корректировать можно как технологические параметры, формируемые на этапе управления, так и исходные параметры технологической подготовки производства.

Для реализации принципа необходимо:

- разработать методы и алгоритмы адаптивного управления ТП;
- разработать методы статистической коррекции базы данных.

6. Принцип оптимальности заключается в использовании единого критерия оптимизации при принятии решения на каждом этапе ТПП и управлении ТП на основе этого критерия.

Для реализации принципа необходимо разработать:

- теоретические основы оптимизации ТП;

– алгоритмы оптимизации ТП применительно к условиям работы ГПС;

- программные средства реализации указанных алгоритмов.

Принцип оптимальности создает единую методическую основу решения технологических задач на всех уровнях и этапах, позволяет выработать наиболее эффективное, однозначное и взаимосвязанное решение указанных задач.

7. Принцип групповой технологии заключается в комплектовании обрабатываемых деталей в группы по сходству выполняемых операций с целью организации их групповой обработки. Группирование деталей осуществляется по конструктивно-технологическим признакам.

Рассмотренные принципы построения технологических процессов механической обработки для условий гибких производственных систем объединяются в единую систему ТПП и управления (компьютерные технологии, информационное обеспечение, безбумажная документация и т. п.). В этом случае требуется принципиально новый подход к разработке технологии для ГПС, реализующий эффективные технические решения и максимально раскрывающий потенциальные технические и технологические возможности оборудования. Однако принцип групповой технологии является основополагающим для всех ГПС, так как именно он обеспечивает «гибкость» производства.

Таким образом, тенденцией современного этапа автоматизации проектирования является создание комплексных систем, включающих конструирование изделий, технологическое проектирование и изготовление изделий в ГПС. Спроектированный технологический процесс должен оперативно реагировать на изменение производственных ситуаций процесса изготовления изделий. Повышение требования конкурентоспособности продукции машиностроения требует новых производительных систем. Для этого создают виртуальные производственные системы (информация о структуре системы хранится только в памяти ЭВМ) на основе распределенных производственных систем (отдельные производственные системы, организационно не связанные между собой и имеющие технологическое оборудование). При этом решаются задачи организации и управления. Организация виртуальной производственной системы напрямую связана с технологическим содержанием

реализуемых проектов. Процессы организации виртуальной производственной системы и технологического проектирования взаимосвязаны. Имеют место прямые и обратные связи информационных потоков. Создаваемая система управления функционирует, как правило, без участия человека.

Основным методом проектирования технологических процессов при эксплуатации гибких производственных систем является метод анализа. Его применение дает наибольший эффект при использовании на производстве групповых и типовых технологических процессов. Это объясняется тем, что этот метод не нарушает существующей специализации и традиций производственных подразделений, упрощает процесс проектирования, не требует трудно формализуемых процедур синтеза новых технологических процессов.

Использование данного метода на конкретном предприятии предполагает необходимую подготовительную работу. Из множества деталей заводской номенклатуры формируют группы, имеющие общие конструктивно-технологические признаки, способы обработки.

Далее возможны два подхода:

1. В каждой группе выбирается деталь-представитель и для нее разрабатывается *типовой технологический процесс*. Все типовые технологические процессы для всех групп деталей заносятся в ЭВМ. При разработке индивидуального технологического процесса из типового технологического процесса, как правило, исключаются лишние операции и переходы. Иногда, что гораздо реже, недостающие операции и переходы могут добавляться в режиме ручного редактирования технологического процесса. Далее уточняется оборудование, технологическая оснастка, выбираются или рассчитываются режимы резания, рассчитываются нормы времени.

2. Для каждой группы формируется обобщенная модель всех деталей – комплексная деталь. Она включает все многообразие поверхностей рассматриваемой группы. Для комплексной детали разрабатывается *унифицированный (групповой) технологический процесс*. Он заведомо является избыточным, т. е. содержит операции и переходы по обработке всех деталей группы. Разработка индивидуального технологического процесса заключается в анализе необходимости включения в него операций и переходов из соответ-

ствующего группового технологического процесса. Или, другими словами, из группового технологического процесса исключаются лишние операции и переходы. Затем выполняется, как и в первом случае, так называемая параметрическая настройка: уточнение оборудования, технологической оснастки, выбор или расчет режимов резания и т. д.

Типизация деталей, сходных по конфигурации и технологическим особенностям, предусматривает их изготовление по одинаковым технологическим процессам, основанным на применении наиболее совершенных методов обработки и обеспечивающим достижение наивысшей производительности, экономичности и качества. Для разработки технологии в ГПС характерна детальная проработка не только основных, но и вспомогательных операций и переходов, включая транспортировку изделий, их контроль, складирование, испытания, упаковку. Например, при выборе типа приспособления необходимо предусмотреть его надежность, точность установки, унификацию элементов базирования и закрепления, удобство автоматической установки изделий. Необходимо обеспечивать принцип концентрации обработки и возможность применения автооператоров при установке и снятии деталей. Для эффективного использования технологических возможностей всего оборудования ГПС станочные приспособления, помимо точности и жесткости, должны удовлетворять требованиям по обеспечению базирования и закрепления широкой номенклатуры изделий с помощью простейших наладочных элементов, точной ориентации в координатной системе станка, свободного доступа инструмента ко всем обрабатываемым поверхностям. Для установки деталей в приспособления применяют автоматизированные стационарные приспособления и приспособления-спутники. Последние служат для установки заготовок не только для их последующей обработки, но и транспортирования в соответствии с требованиями ТП.

Установленная на спутнике деталь или группа деталей закрепляется и переходит от операции к операции, разгружаясь в конце технологического процесса и возвращаясь в его начало для новой загрузки. Характерной особенностью технологической оснастки ГПС является возможность их быстрой переналадки на основе унифицированных элементов базирования, фиксации и закрепления. Приводы механизмов зажима должны обеспечивать возможность регули-

рования усилия зажима в определенных пределах. Эффективным способом повышения надежности является применение оригинальных решений: нового принципа действия, новых компоновок, новых структурных схем построения, расчета и оптимизации параметров и т. п.

Вопросы для самоконтроля:

1. Какие можно привести примеры использования основных положений теории линейного программирования при решении задач технологического проектирования?
2. Как и зачем используют математическое моделирование в САПР технологических процессов?
3. Какие существуют этапы решения задач методом математического моделирования?
4. В чем состоит сущность метода прямого проектирования, используемого в САПР ТП?
5. В чем состоит сущность метода анализа и метода синтеза, используемых в САПР ТП?
6. В чем состоит сущность принципов совместимости, типизации и развития в современных САПР ТП?
7. Каковы функции проектирующих, обслуживающих и инвариантных подсистем САПР ТП?
8. В чем состоит сущность структурной и параметрической оптимизации?
9. Как графически изображается математическая модель при оптимизации режимов резания?
10. Чем ограничиваются режущие возможности инструмента, и как они учитываются при оптимизации режимов резания?
11. Какие виды обеспечения необходимы для САПР технологических процессов, их функции?
12. Каковы функциональное назначение элементов комплекса технических средств САПР ТП и их примерная конфигурация?
13. Как представлено математическое обеспечение в САПР ТП?
14. Каковы функции специального и инвариантного математического обеспечения САПР ТП?

15. Что входит в состав компонентов лингвистического обеспечения САПР ТП?

16. Какие основные требования к языкам программирования САПР ТП?

17. В чем состоит отличие активного диалогового режима пользователя с ЭВМ от пассивного режима?

18. В чем заключается принцип информационного единства и информационной совместимости в базе данных САПР ТП?

19. Какие способы поиска информации используются в системе управления базой данных?

20. Что входит в состав программной документации САПР ТП?

21. Для чего предназначено методическое обеспечение САПР ТП?

22. Для чего предназначено организационное обеспечение САПР ТП?

23. Какие методы разработки управляющих программ для станков с числовым программным управлением используют?

24. В чем заключаются достоинства и недостатки метода цехового программирования при разработке управляющих программ?

25. Для чего предназначены постоянные циклы и подпрограммы при разработке управляющих программ для станков с числовым программным управлением?

26. Какие функции выполняют процессор и постпроцессор в САПР управляющих программ?

27. Какова структура управляющей программы для станков с ЧПУ?

28. Что понимается под гибкой производственной системой и гибким производственным модулем?

29. В чем состоят особенности функционирования САПР ТП в составе гибких производственных систем?

30. В чем состоят особенности разработки управляющих программ для оборудования гибких производственных систем?

МАТЕРИАЛ К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ

Лабораторная работа № 1. КОДИРОВАНИЕ ЧЕРТЕЖЕЙ ПЛОСКИХ ДЕТАЛЕЙ В ПМК САПР ТП PRAMEN

Цель работы: закрепить теоретические знания о методах компьютерного проектирования технологических процессов механической обработки. Освоить методику кодирования чертежей плоских деталей и автоматизированное проектирование технологических процессов их механической обработки с использованием ПМК САПР ТП PRAMEN.

Задание для самоподготовки. Изучить следующие вопросы теоретического материала:

- 1) правила оформления чертежей деталей сельскохозяйственных машин и механизмов;
- 2) структура алгоритма автоматизированного проектирования ТП;
- 3) последовательность проектирования технологических процессов;
- 4) состав и комплектность технологической документации;
- 5) правила кодирования в ПМК САПР ТП PRAMEN чертежей плоских деталей;
- 6) правила задания в ПМК САПР ТП PRAMEN общих сведений о плоских деталях и их поверхностях;
- 7) методы определения вида заготовки, выбора схемы базирования, определения межоперационных припусков и допусков;
- 8) сведения о металлорежущих станках (модели основных групп и их технологические возможности, достигаемая точность обработки);
- 9) диапазоны значений режимов резания для различных видов обработки и материалов режущего инструмента;
- 10) типы и виды средств технологического оснащения;
- 11) правила оформления технологических процессов механической обработки заготовок, маршрутных и операционных карт;
- 12) структуру алгоритма автоматизированного проектирования технологических процессов;
- 13) режимы разработки технологических процессов в ПМК САПР ТП PRAMEN;

14) порядок проектирования технологических процессов в режиме «Автоматическое проектирование»;

15) порядок проектирования технологических процессов в режиме «Диалоговое проектирование».

Средства обучения:

- персональный компьютер;
- программно-методический комплекс автоматизированного проектирования технологических процессов механической обработки деталей и управляющих программ для станков с ЧПУ PRAMEN;
- таблицы квалитетов точности и шероховатости поверхностей;
- схемы условных обозначений отклонений формы и расположения поверхностей;
- схемы условных обозначений схем базирования.


Порядок выполнения лабораторной работы:

1. Проанализировать чертеж детали, полученной согласно индивидуальному заданию, на предмет выявления конструкторских баз и технических требований.
2. Разработать чертеж детали с использованием графических пакетов КОМПАС или AutoCAD, уточнить правильность задания размерных цепей, допусков, шероховатости поверхностей, внести необходимые изменения и соблюдая требования ГОСТ к оформлению чертежей. Выполнить распечатку чертежа.
3. На чертеж нанести карандашом цифровое обозначение основных поверхностей.
4. В режиме «Архив изделий» с использованием контекстного меню «Внести деталь в рабочий список» занести сведения о детали в «Рабочий список».
5. В режиме «Проектирование» занести в электронную таблицу общие сведения о детали.
6. В обозначенной согласно п. 2 последовательности заполнить электронную таблицу описания поверхностей детали.
7. Записать в архив и сделать распечатку текста файла DET 00.000 кодирования чертежа детали.

8. Сравнить содержание текста полученного файла DET 00.000 с данными чертежа детали согласно заданию и при необходимости отредактировать файл.

9. Разработать технологический маршрут механической обработки детали.

10. В режиме проектирование выбрать один из вариантов:

– проектирование в автоматическом режиме 
или

– проектирование в диалоговом режиме .

11. С помощью программного комплекса генерации технологических форм – ПК «Генератор» сформировать комплект технологических документов.

12. Сравнить полученный маршрут механической обработки с технологическим маршрутом, разработанным в п. 9.

13. Вывести на печать сформированный комплект технологических документов.

14. Сделать выводы о выполненной работе.

15. Оформить отчет.

Содержание отчета:

1. Наименование работы.
2. Цель работы.
3. Описание сущности и особенностей разработки исходных данных для проектирования технологических процессов в САПР ТП.
4. Исходные данные для выполнения работы.
5. Методика выполнения работы.
6. Чертеж детали согласно индивидуальному заданию.
7. Распечатка и описание текста файла DET 00.000 кодирования чертежа детали.
8. Результаты сравнения соответствия текста файла DET 00.000 чертежу детали согласно индивидуальному заданию.
9. Распечатка технологического процесса в режимах «Автоматическое проектирование» или «Диалоговое проектирование».
10. Результаты сравнения вариантов технологических процессов.
11. Выводы.

Вопросы для текущего контроля:

1. Дать определения понятиям автоматическое и автоматизированное проектирование.
2. Перечислить группы деталей по геометрическим признакам, для которых предусматривается кодирование в ПМК САПР ТП PRAMEN.
3. Дать определения понятиям основные и дополнительные поверхности в ПМК САПР ТП PRAMEN.
4. Перечислить виды поверхностей, которыми описываются плоские детали.
5. Перечислить правила кодирования чертежей деталей в ПМК САПР ТП PRAMEN.
6. Перечислить режимы проектирования технологических процессов в ПМК САПР ТП PRAMEN.
7. Перечислить отличительные особенности режимов «Автоматическое проектирование» и «Диалоговое проектирование».
8. Перечислить возможности, предоставляемые пользователю при использовании режимов «Автоматическое проектирование» и «Диалоговое проектирование».

Пример выполнения работы

Цель работы – разработать исходные данные для проектирования технологического процесса механической обработки детали «Крышка». Выполнить кодирование чертежа детали в ПМК САПР ТП PRAMEN и проектирование технологического процесса ее механической обработки в ПМК САПР ТП PRAMEN.

Исходные данные:

- чертеж детали на бумаге;
- производственная партия $n = 5$.

На основе анализа чертежа детали выявляем, что основной технологической базой является наибольшая плоскость крышки.

Разрабатываем чертеж детали с использованием графического пакета КОМПАС, внося при этом необходимые изменения и соблюдая требования ГОСТ к оформлению чертежей. Выполняем распечатку чертежа (рис. 2.26).

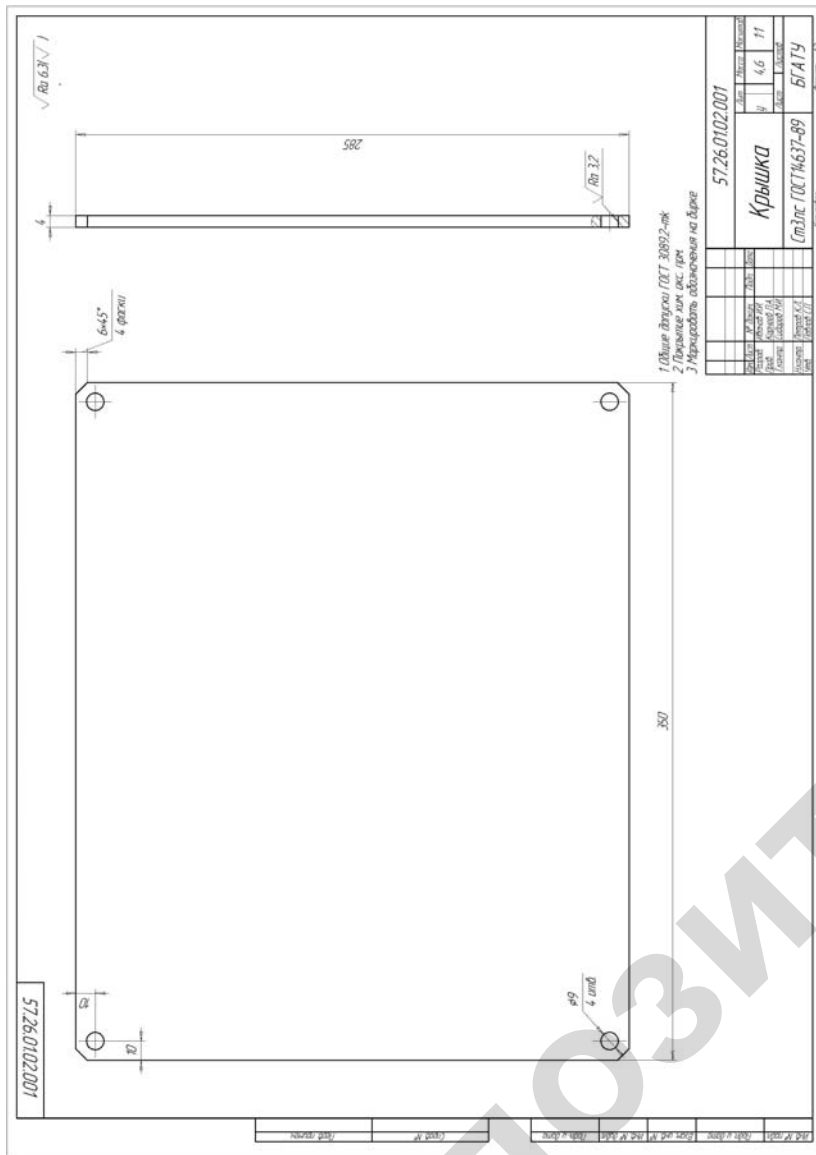


Рис. 2.26. Рабочий чертеж детали

На чертеже наносим карандашом цифровое обозначение поверхностей (рис. 2.27).

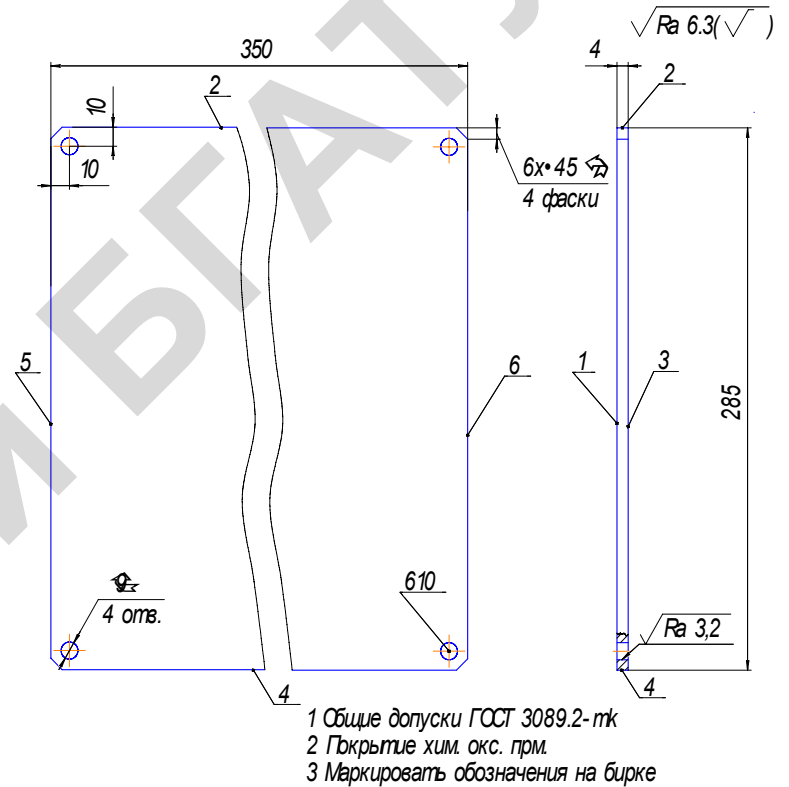


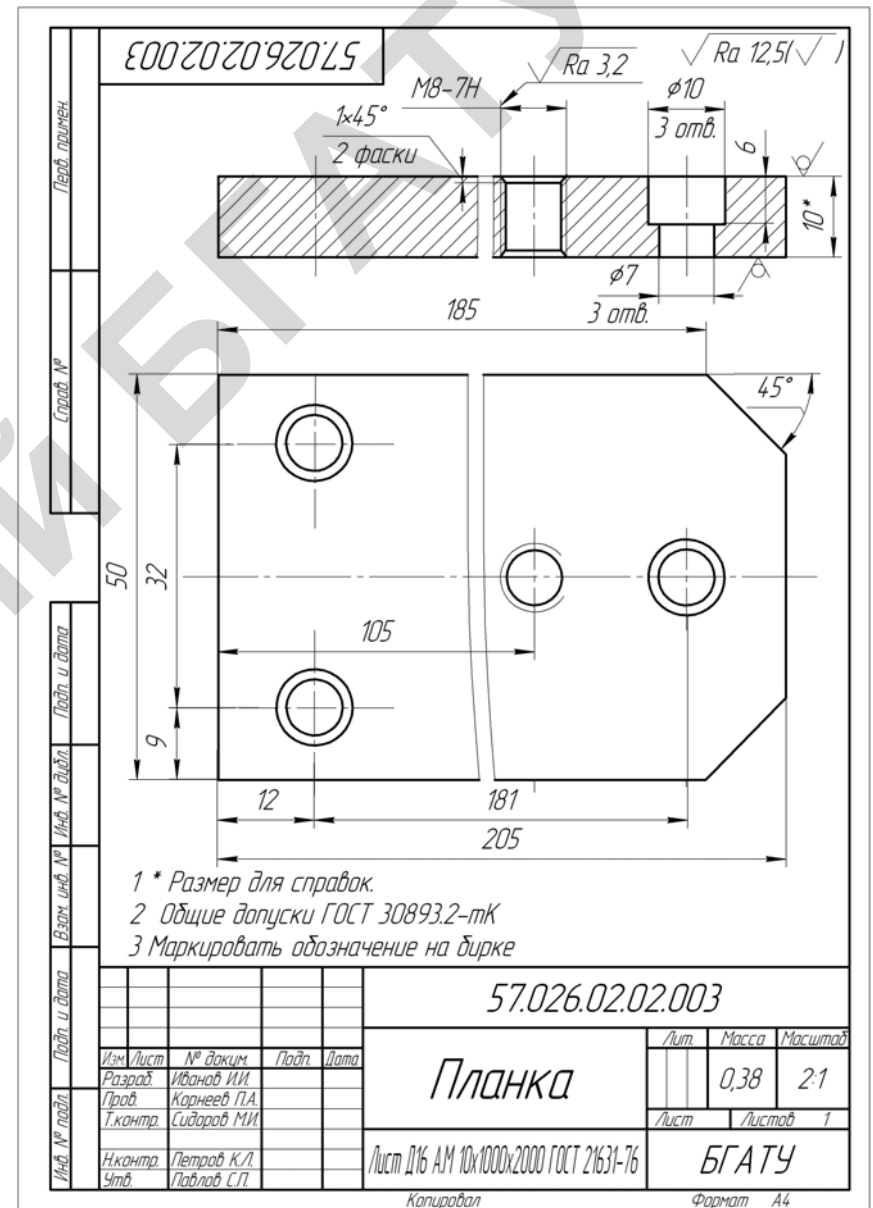
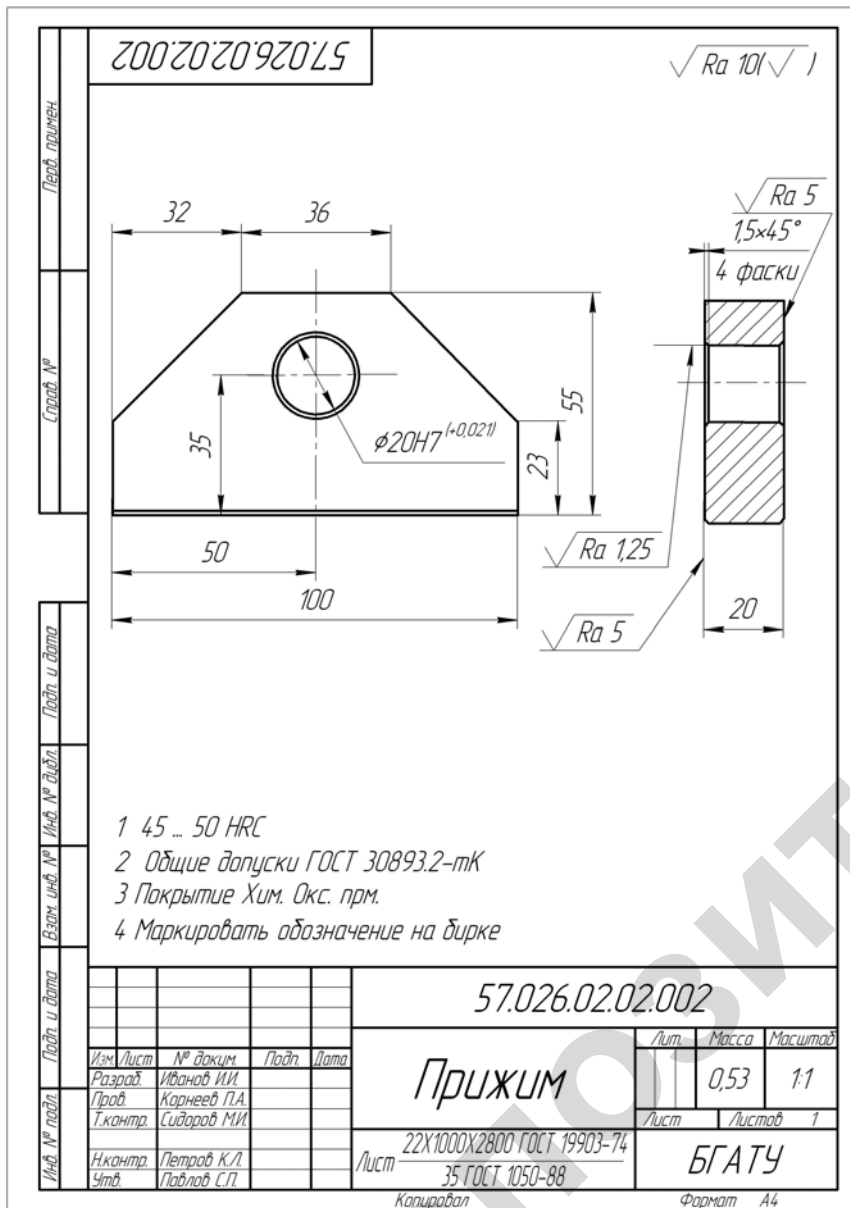
Рис. 2.27. Чертеж детали с цифровым обозначением основных и дополнительных поверхностей

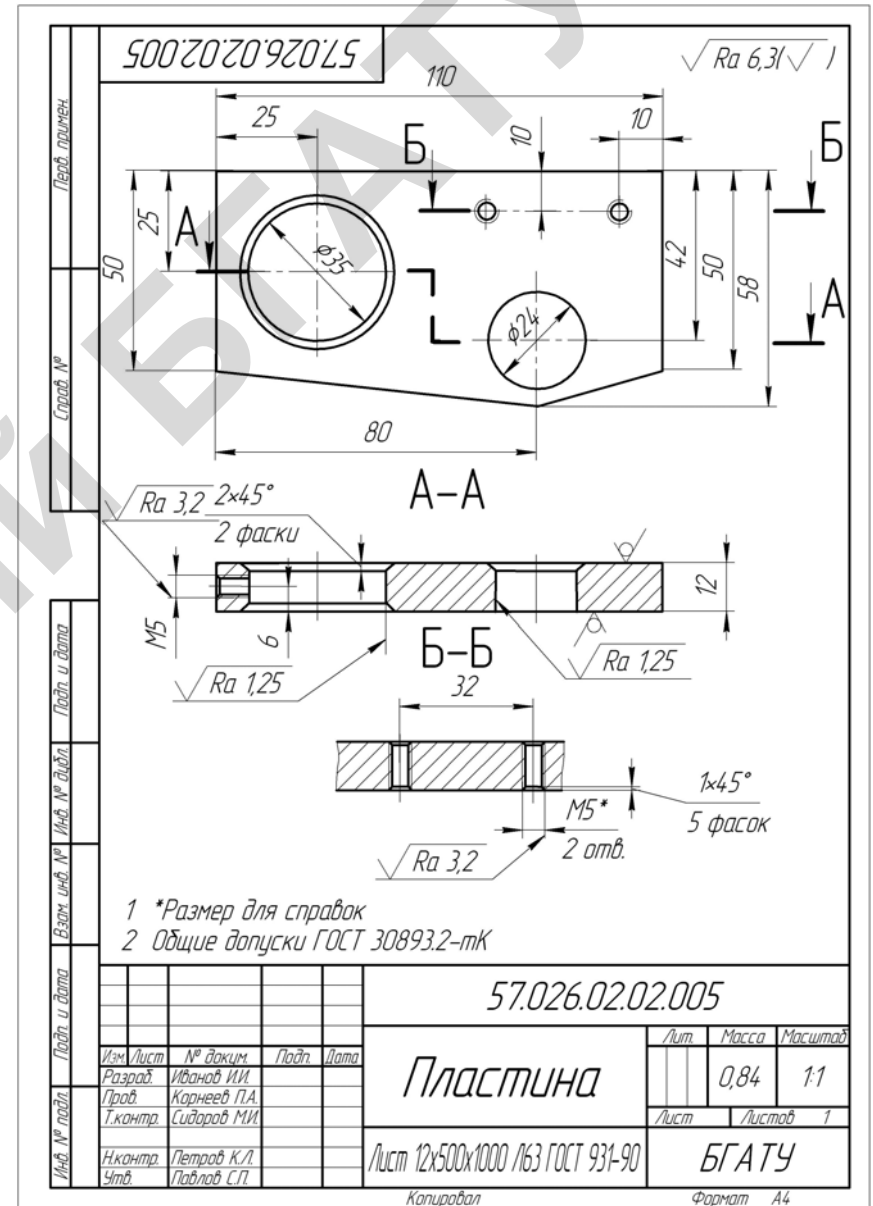
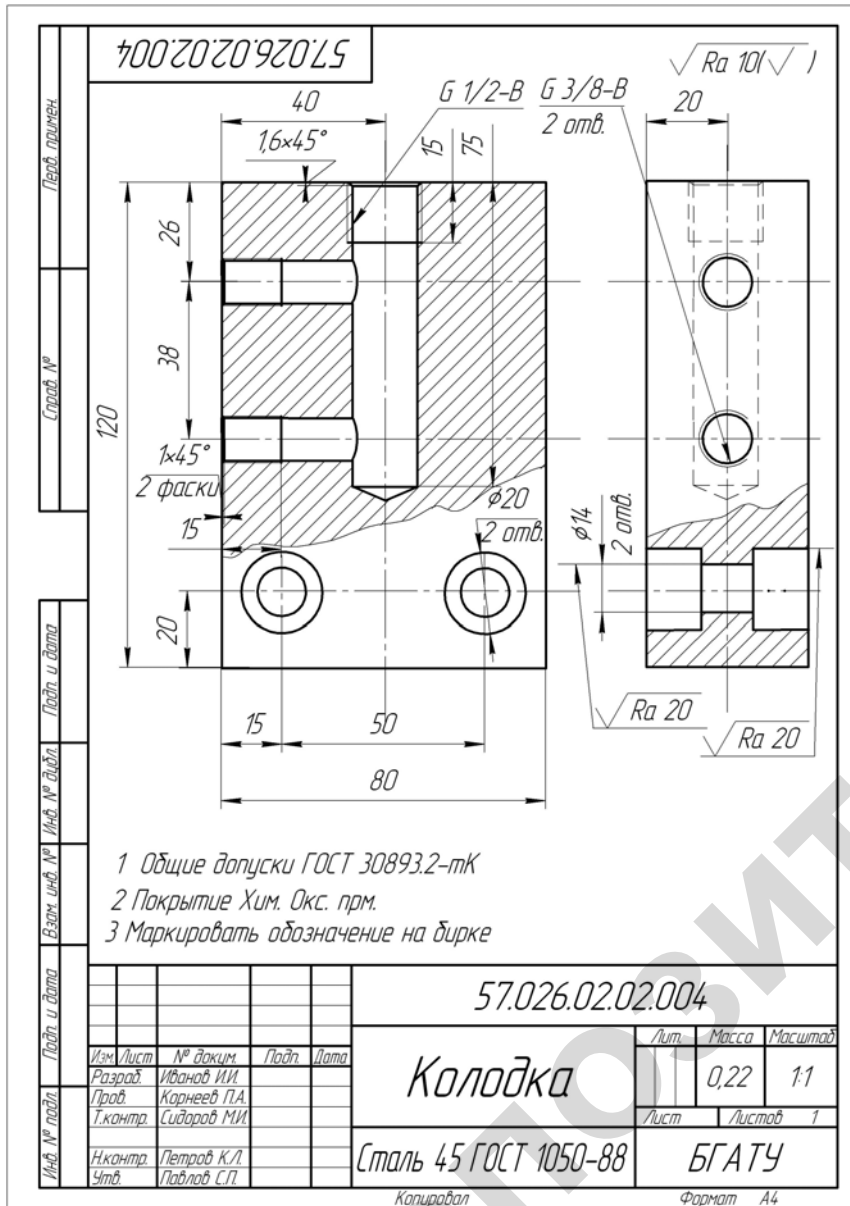
В режиме «Архив изделий» с использованием контекстного меню «Внести деталь в рабочий список» заносим сведения о детали в «Рабочий список».

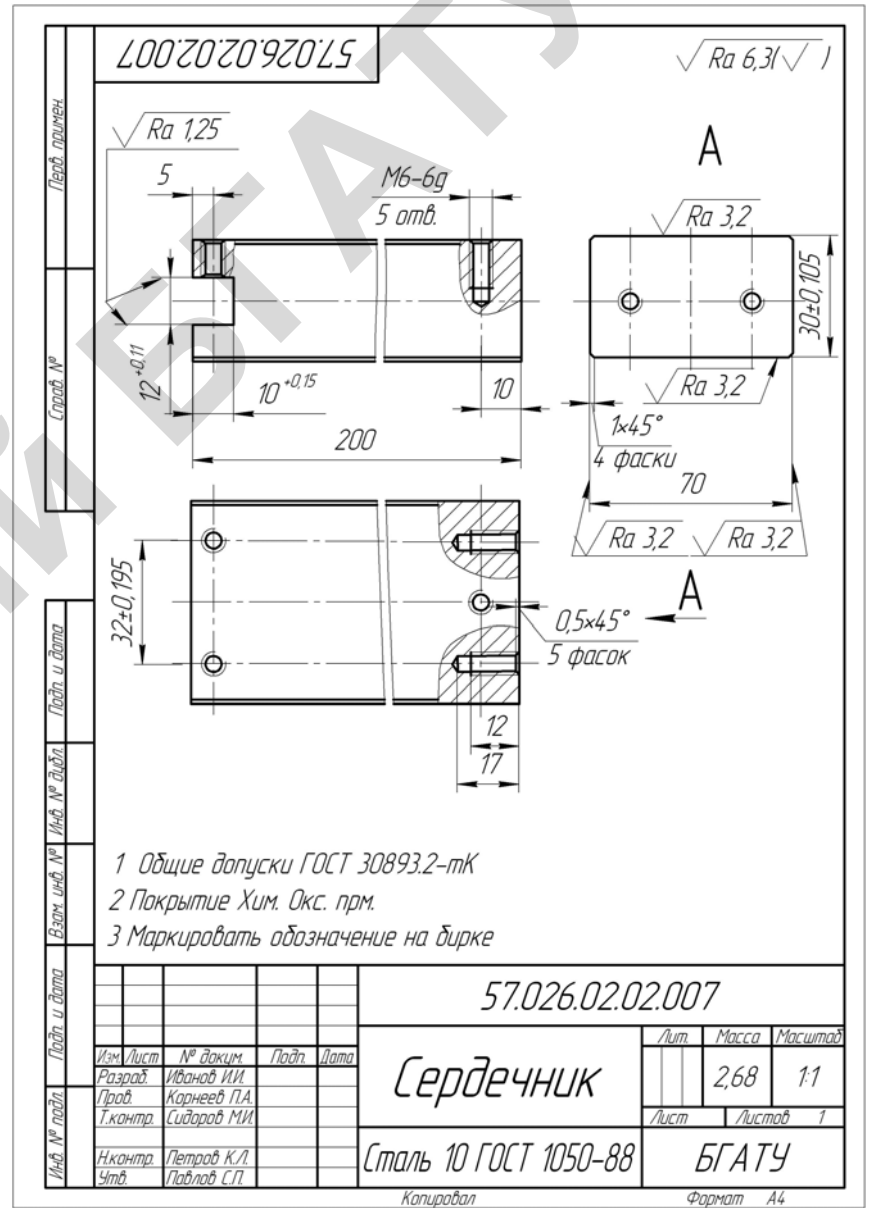
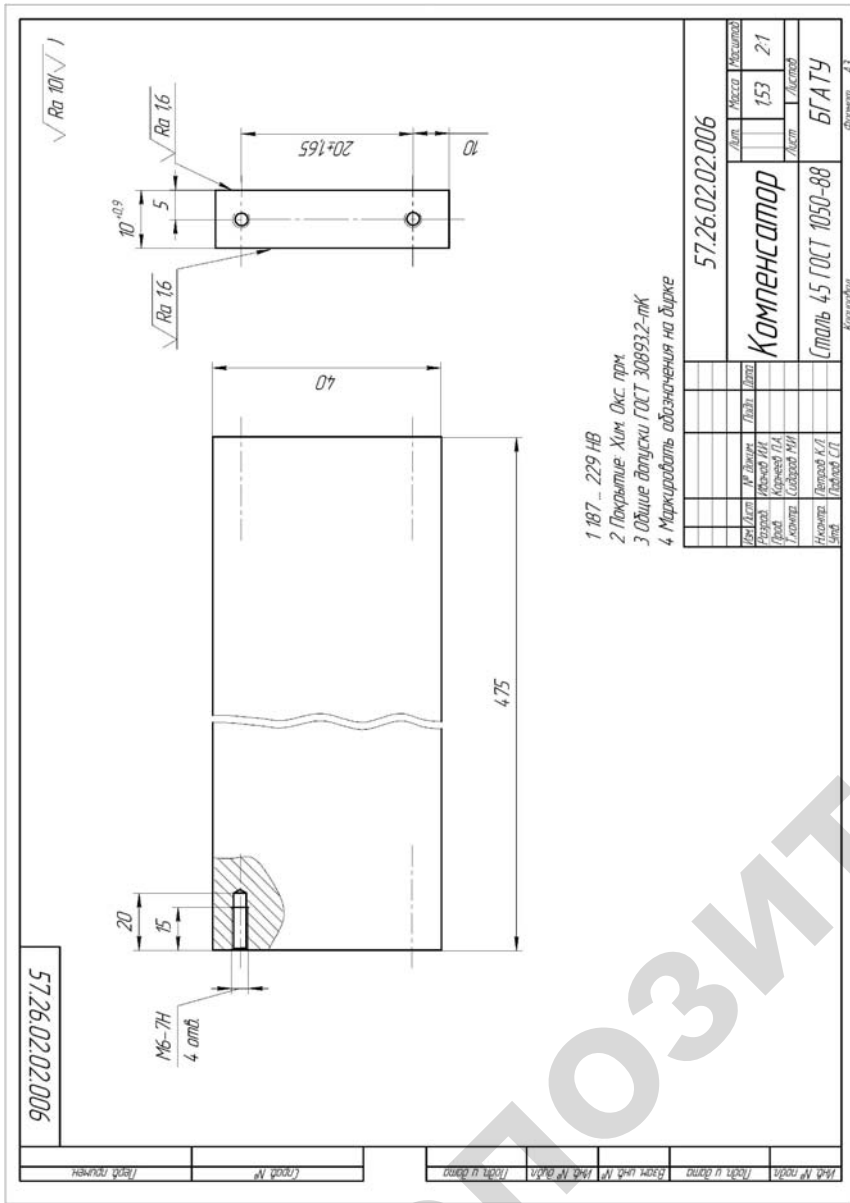
В режиме «Проектирование» заносим в электронную таблицу общие сведения о детали.

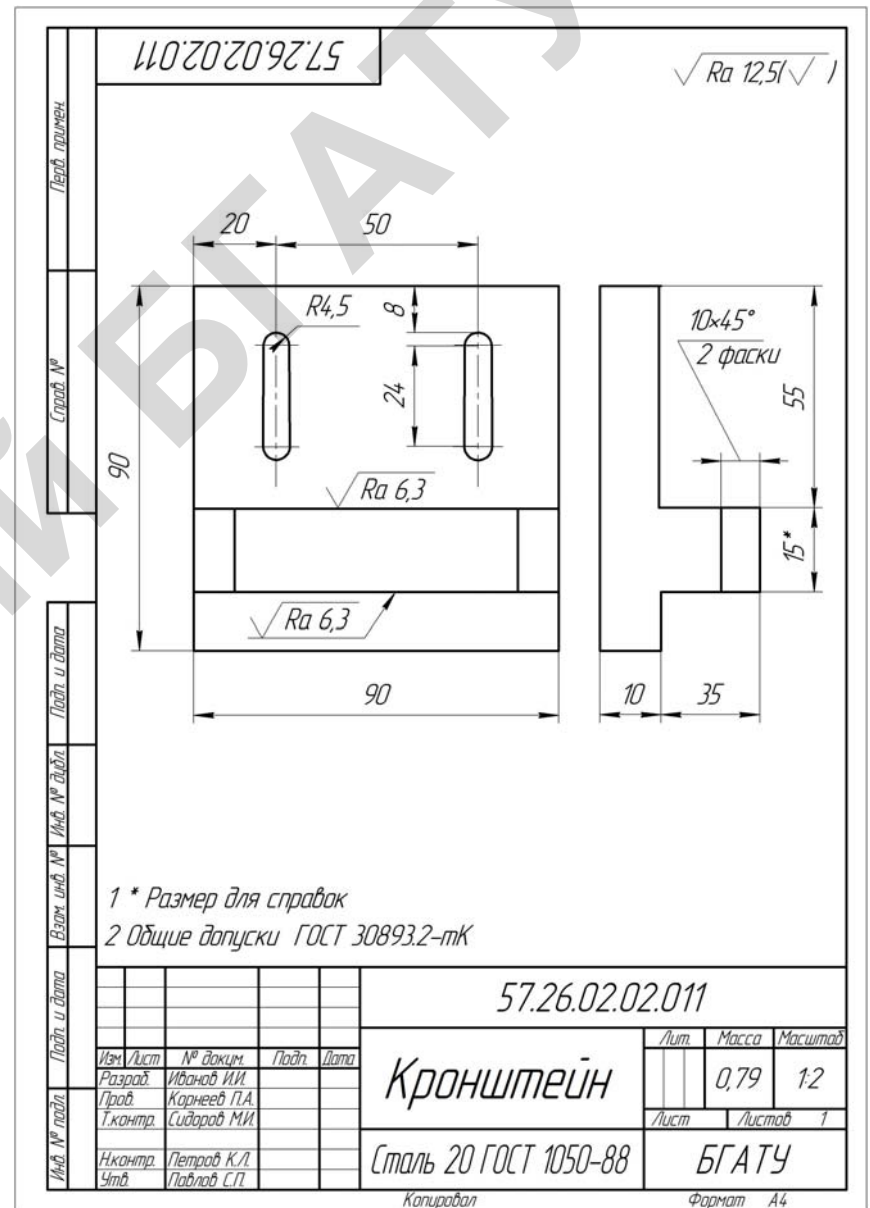
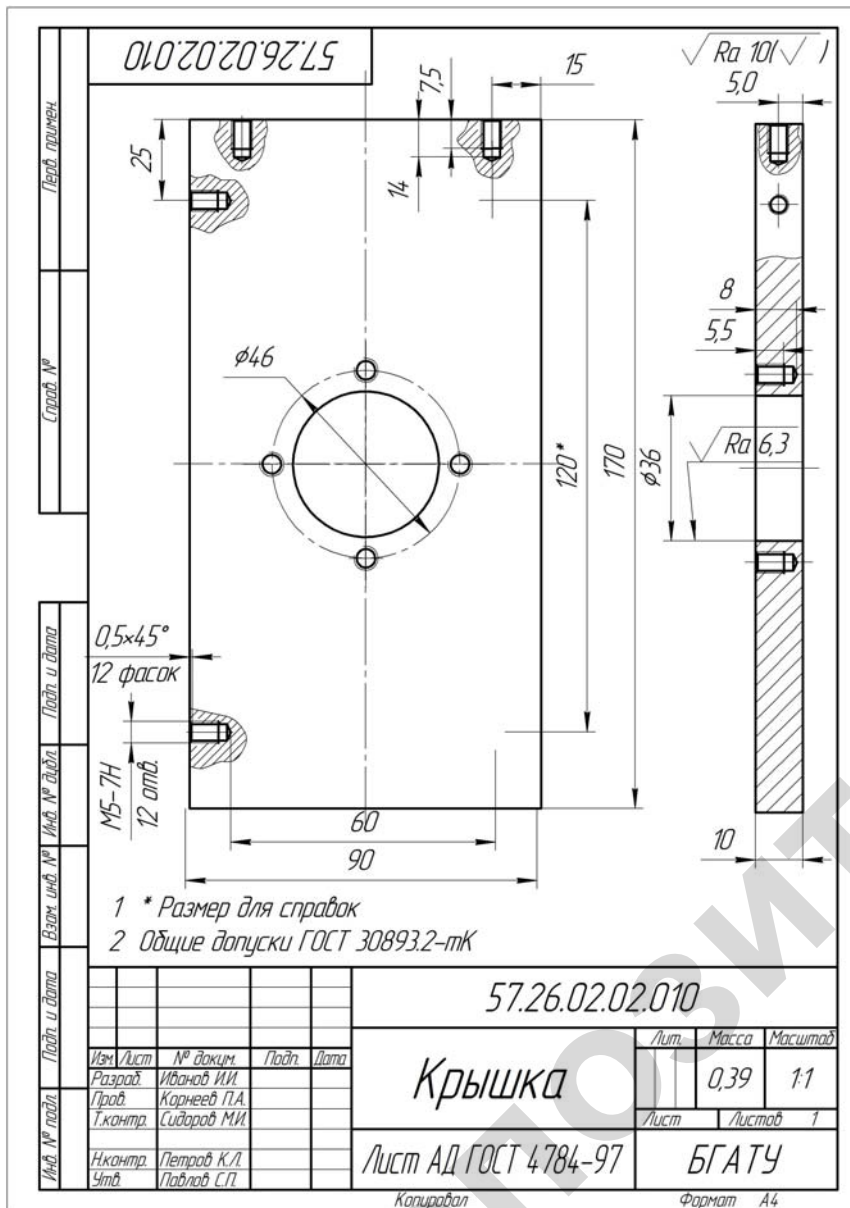
В установленной последовательности заполняем электронную таблицу описания поверхностей детали.

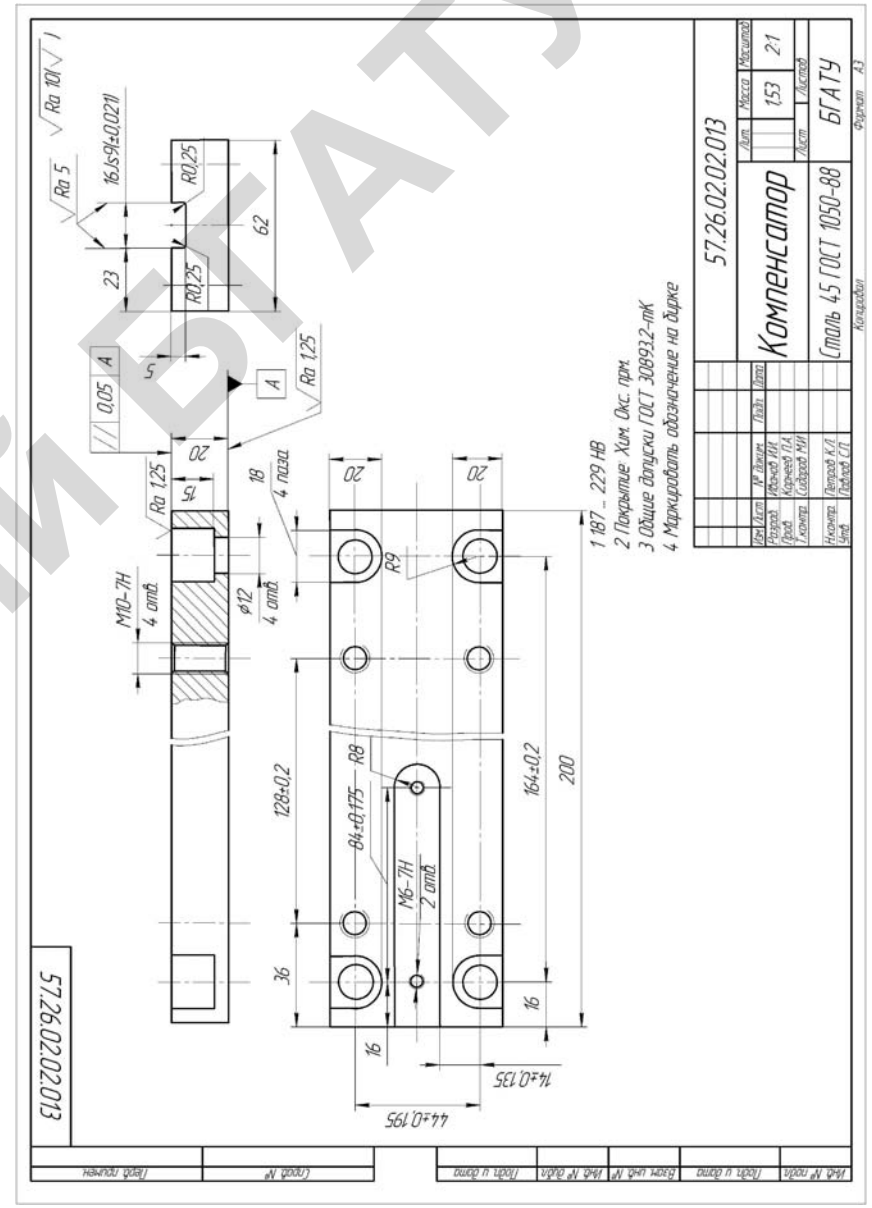
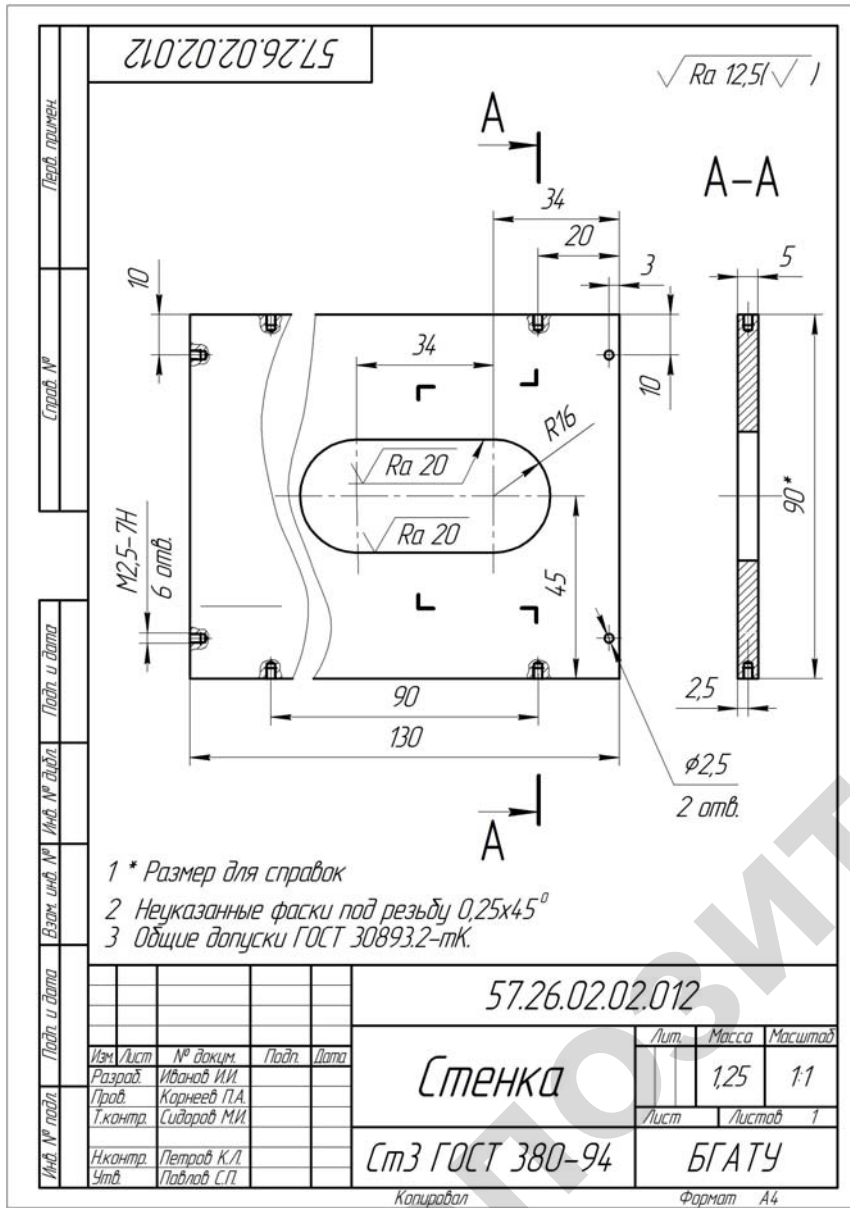
Записываем в архив и распечатываем текст файла DET 00.000 кодирования чертежа детали (рис. 2.28).

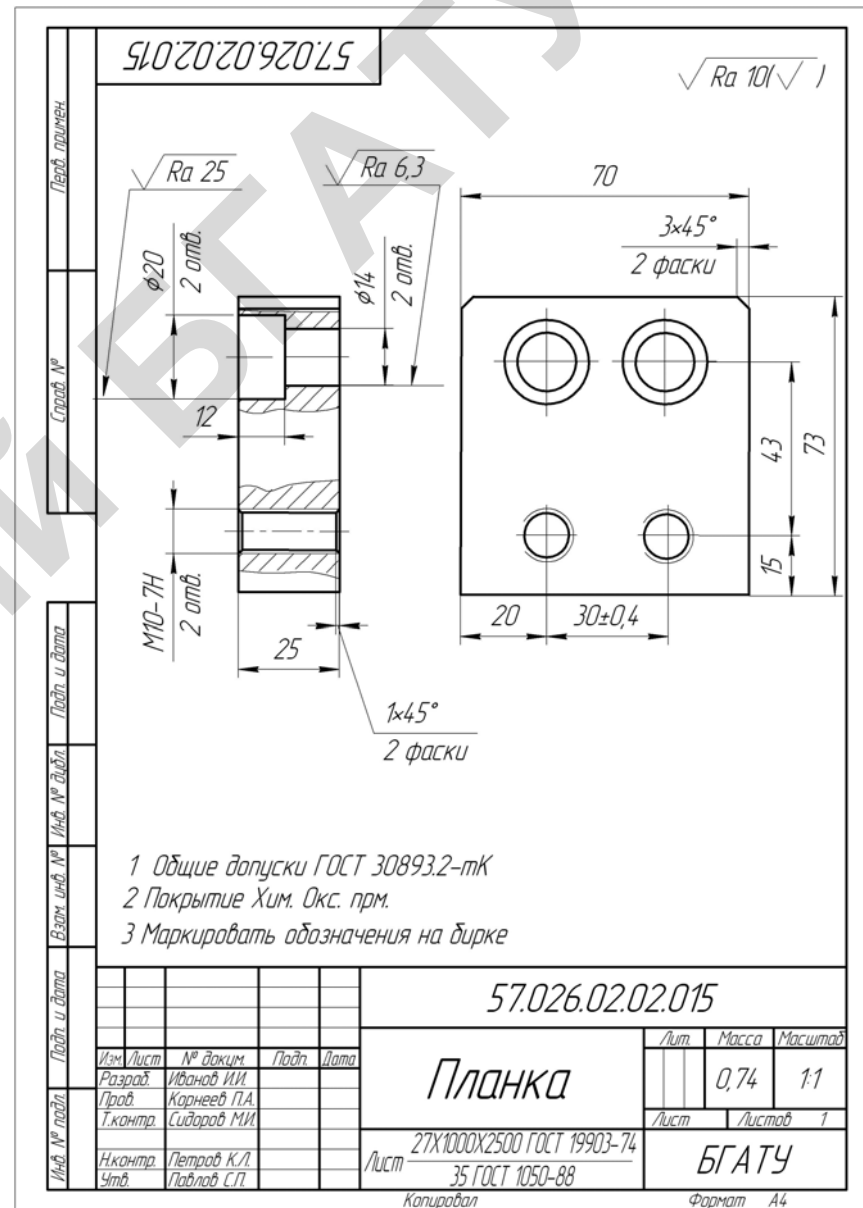
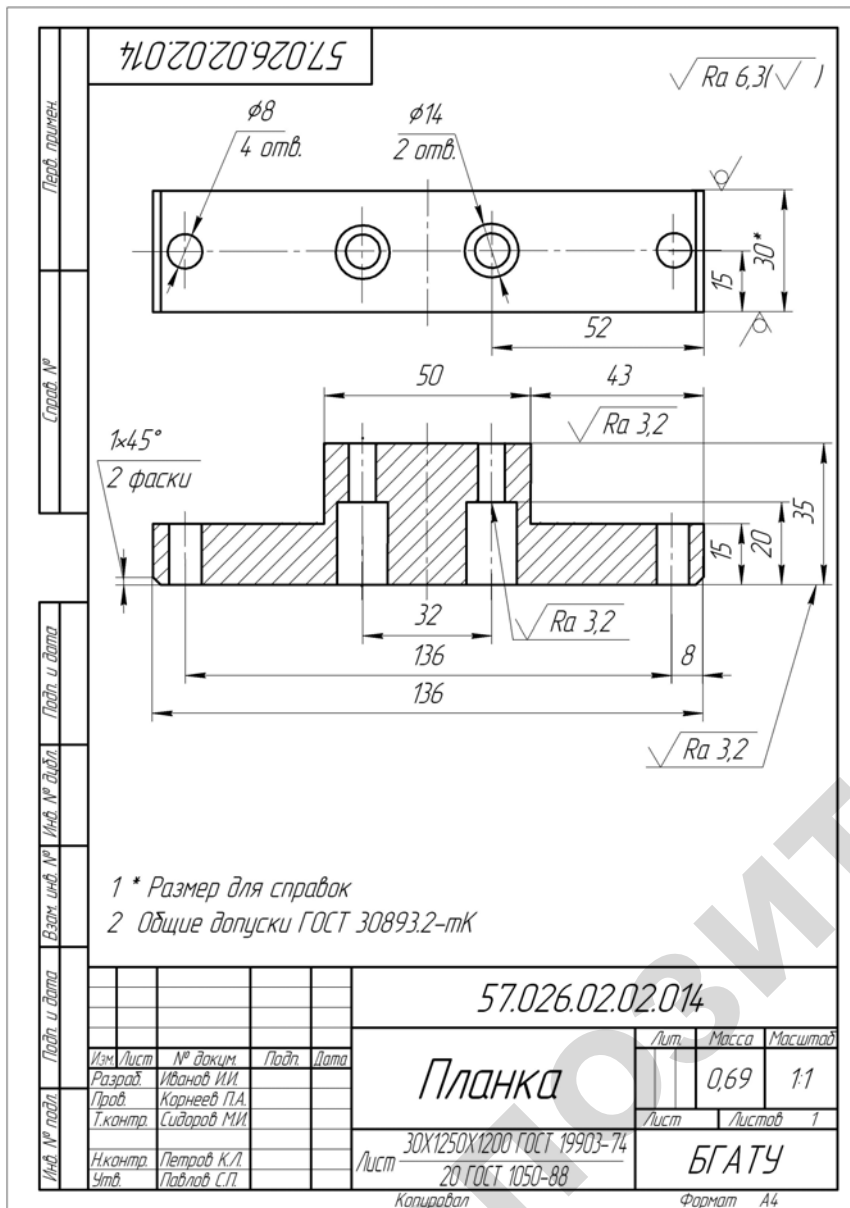


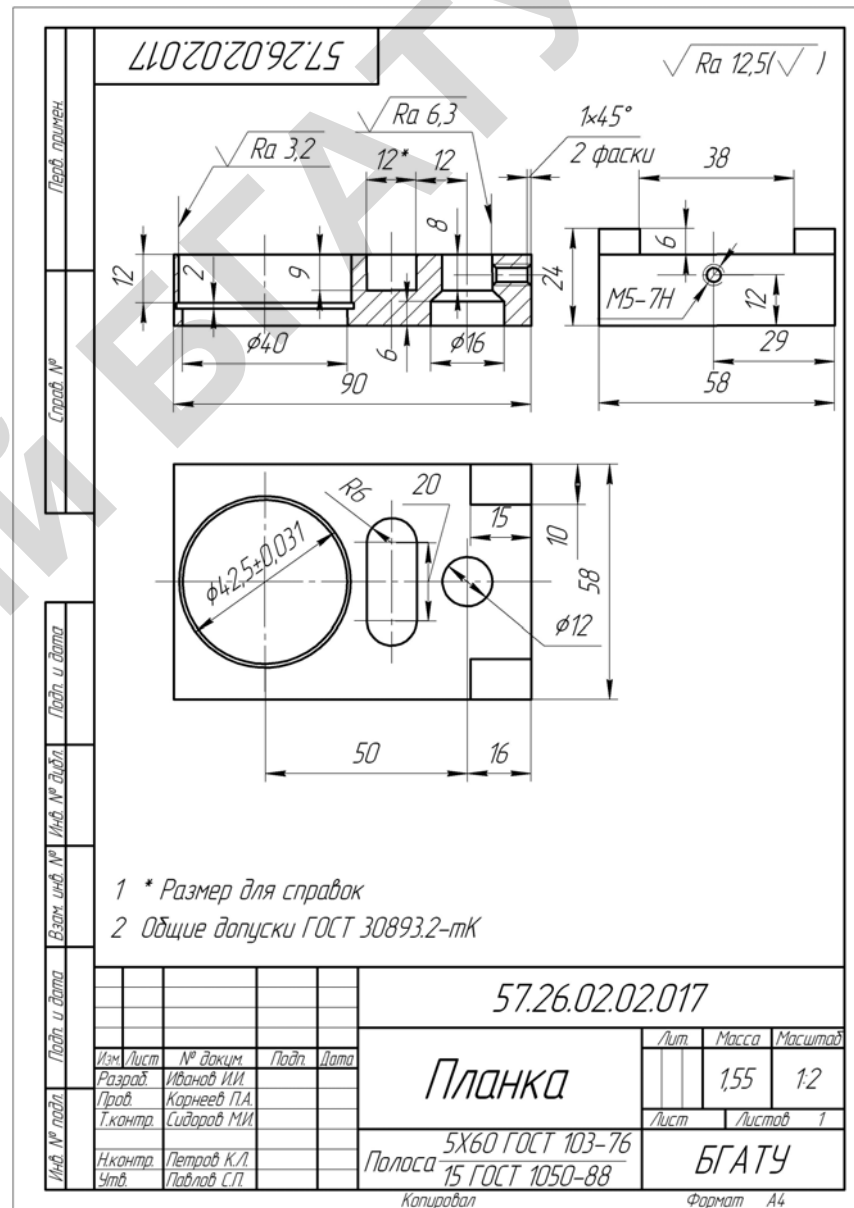
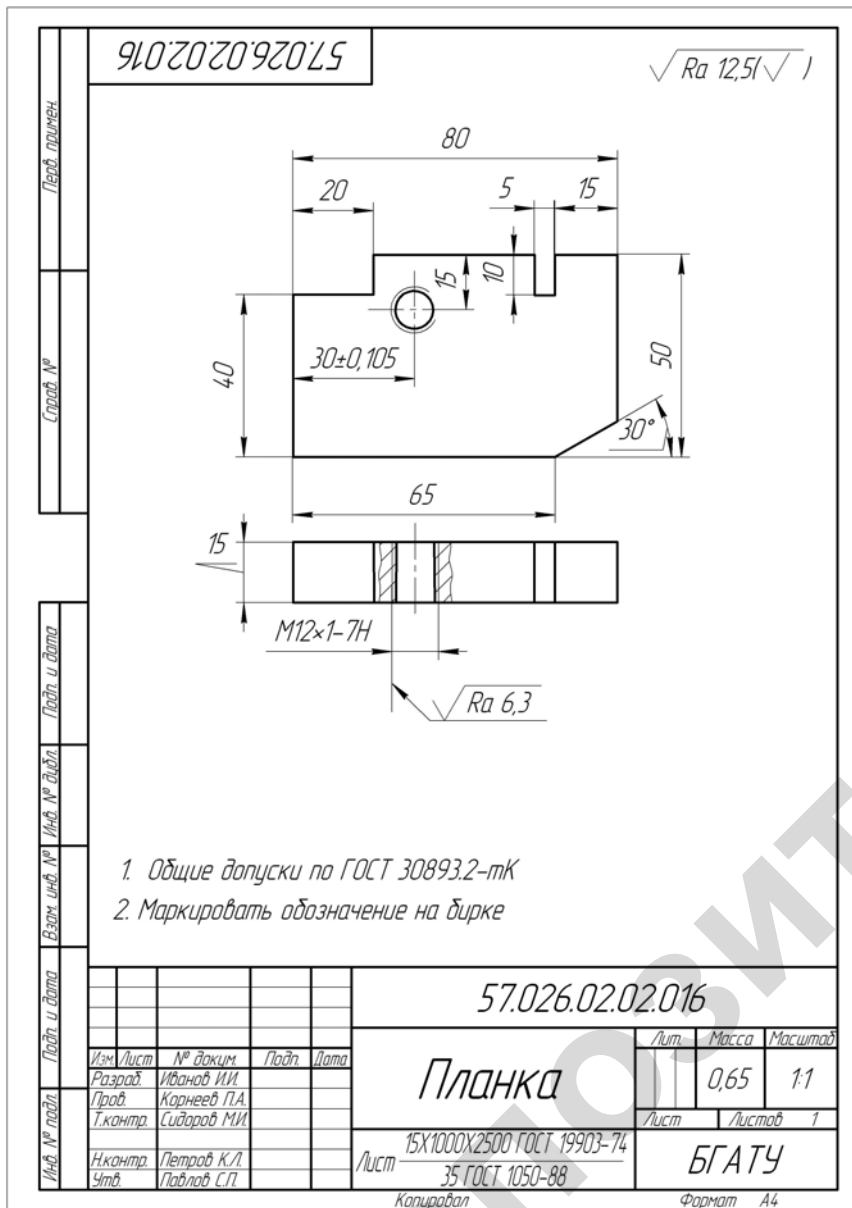


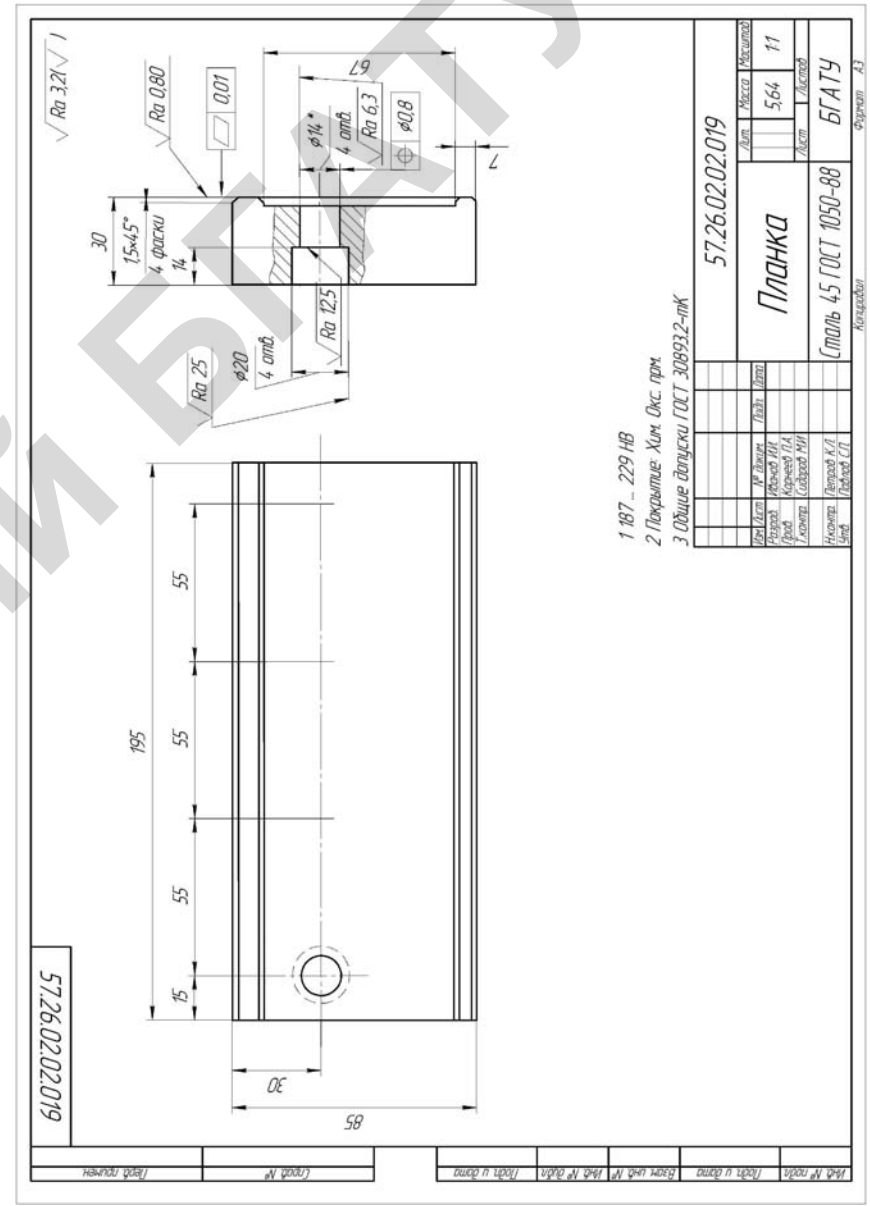
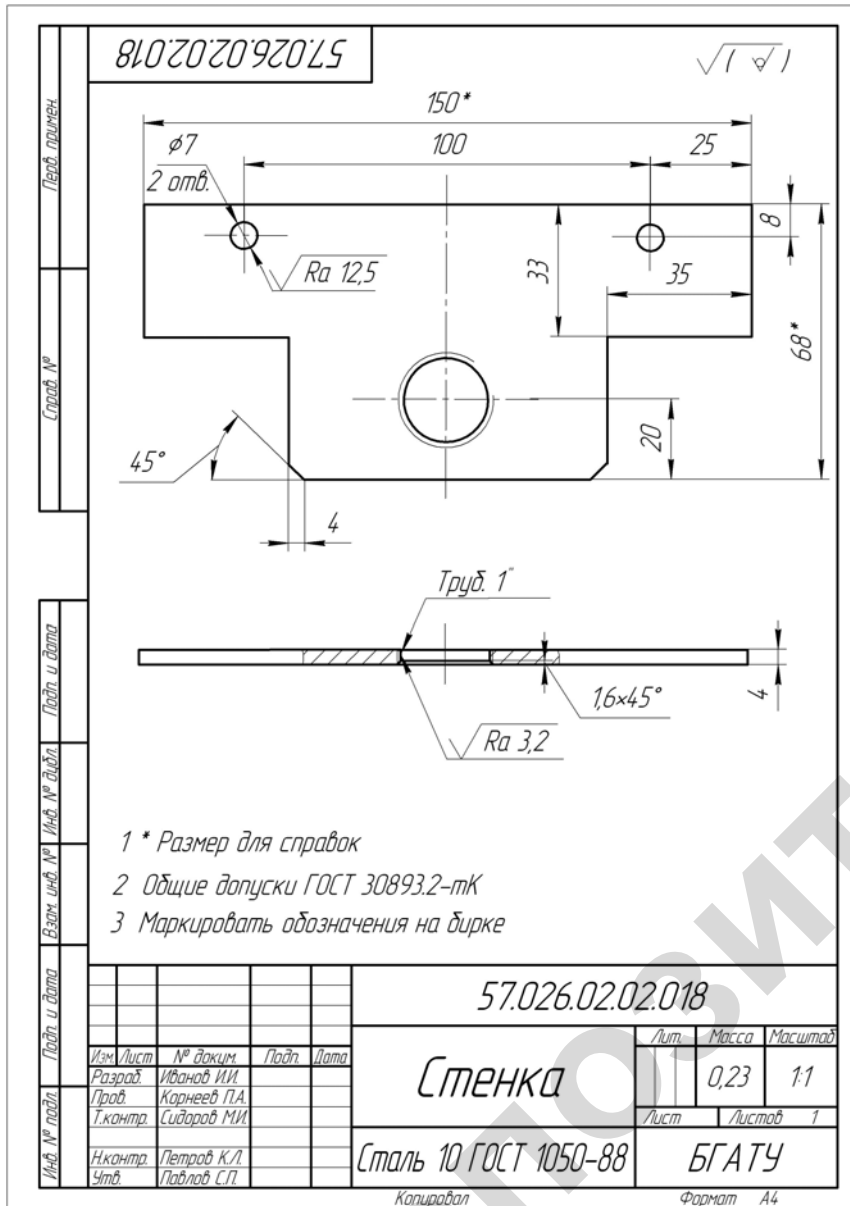


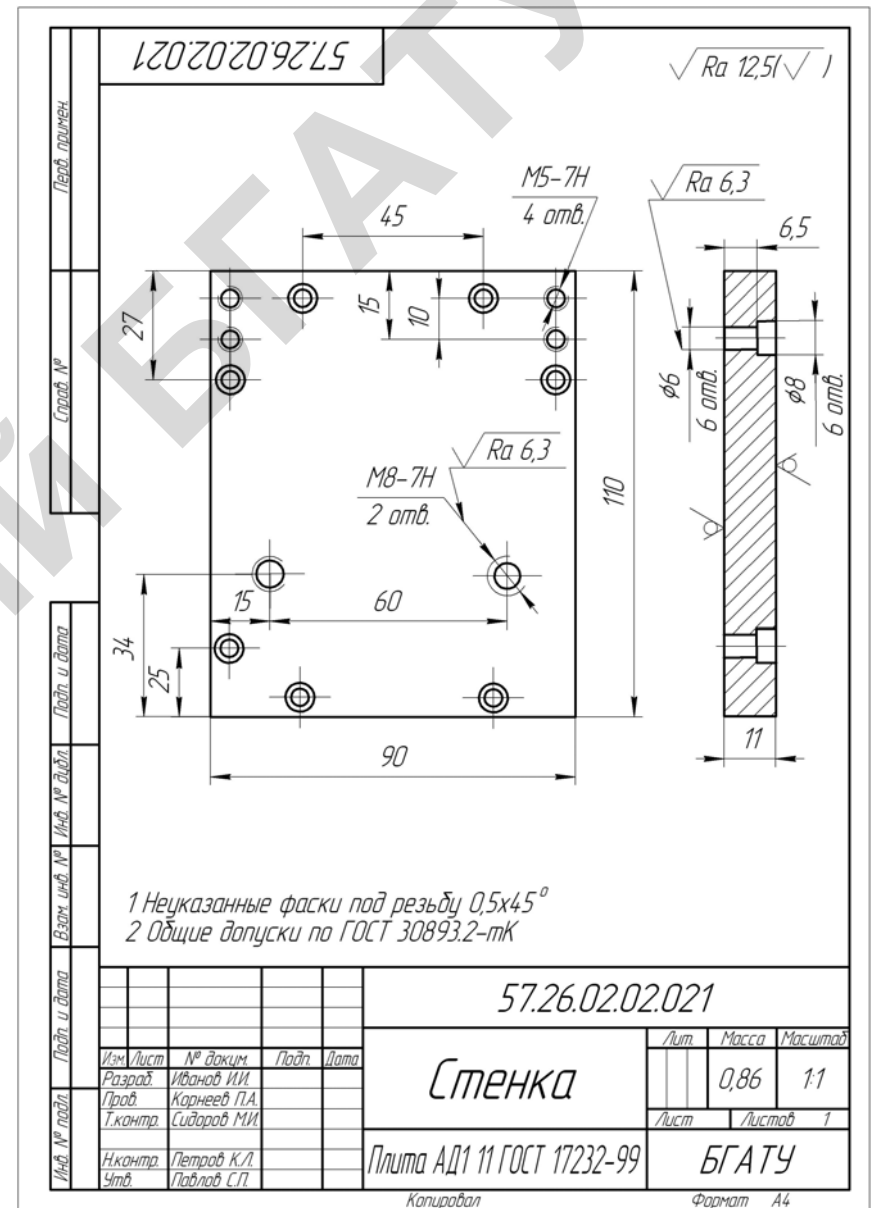
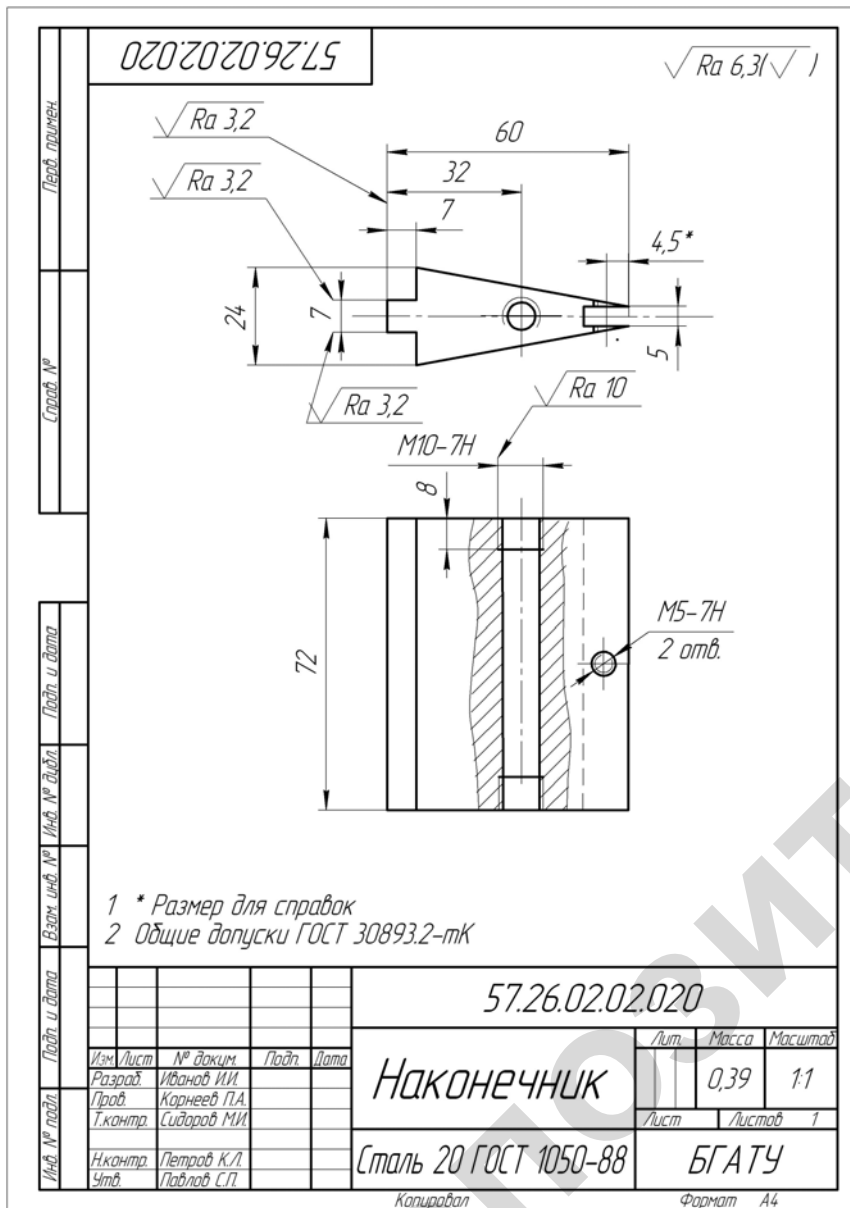


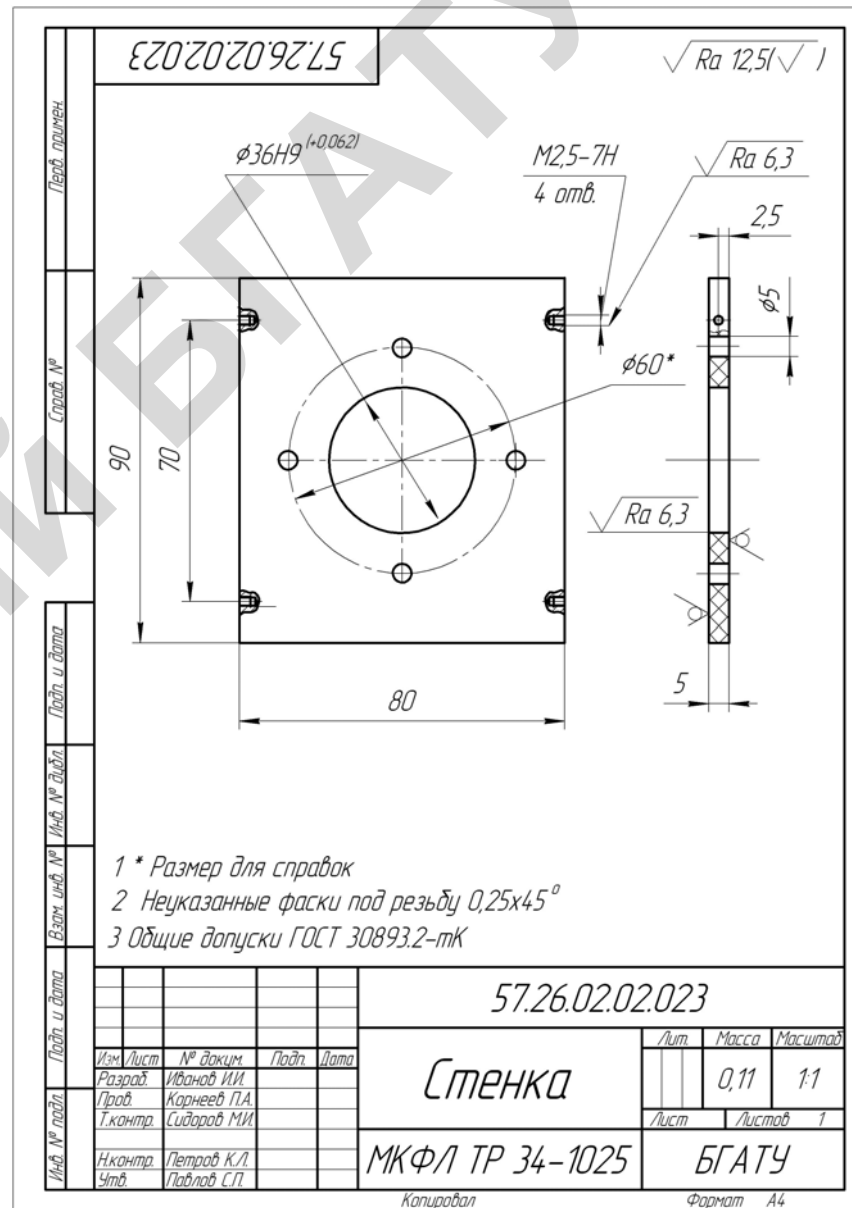
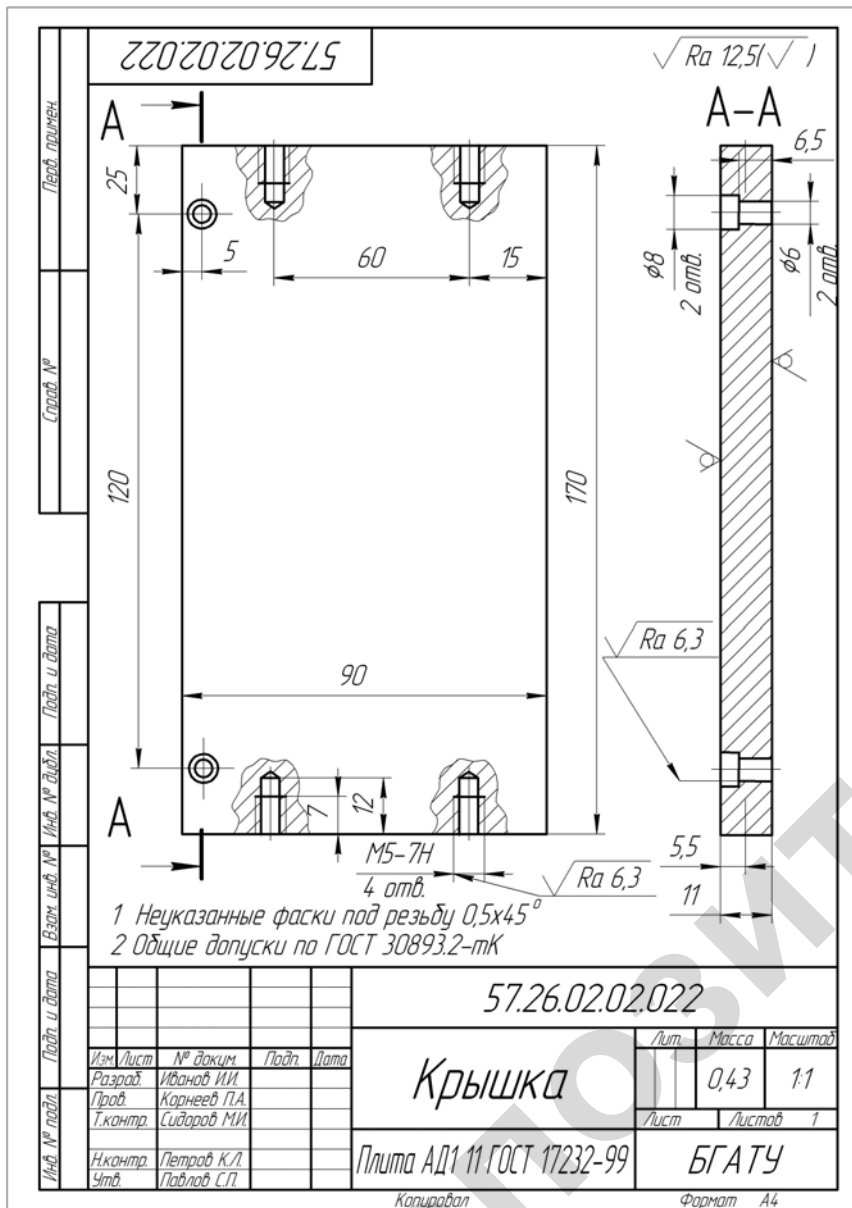


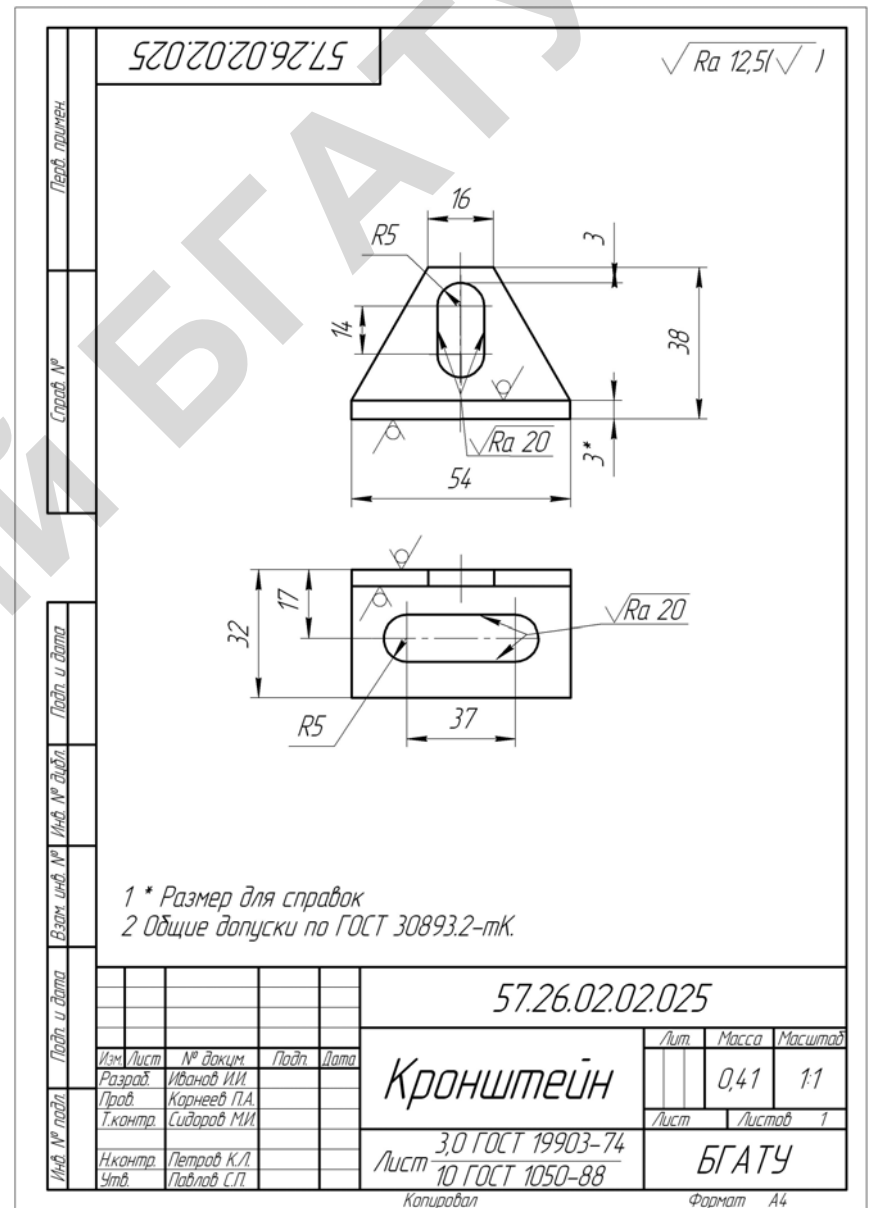
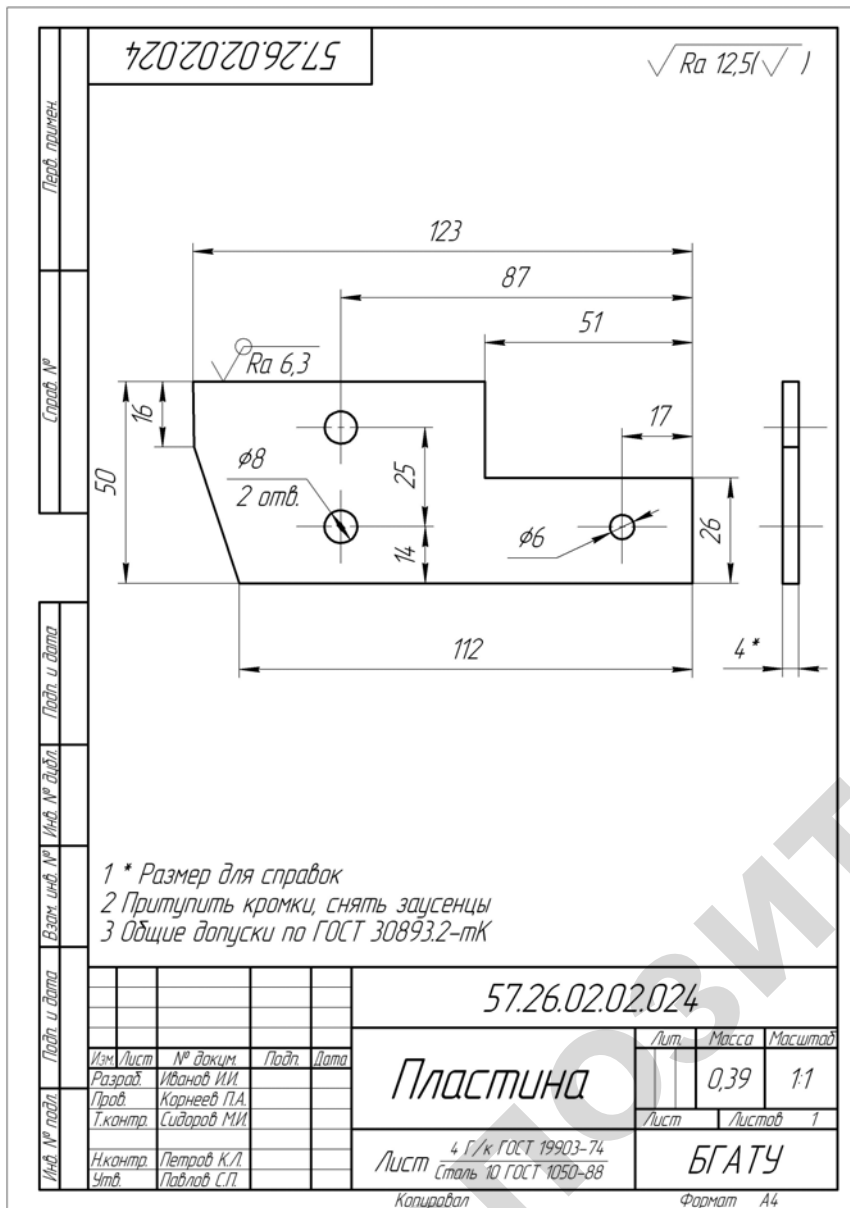












Лабораторная работа № 2. РАЗРАБОТКА УПРАВЛЯЮЩЕЙ ПРОГРАММЫ ОБРАБОТКИ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛИ НА СТАНКЕ МОД. 16А20ФЗ

Цель работы: закрепить теоретические знания о методах автоматизированной разработки управляющих программ (УП) обработки поверхностей деталей типа «тела вращения» на токарных станках с ЧПУ. Освоить на практике основные методы проектирования операций с ЧПУ и управляющих программ для токарной обработки.

Задание для самоподготовки. Изучить следующие вопросы теоретического материала:

1) правила разработки и оформления технологических процессов обработки поверхностей деталей типа «тела вращения» на токарных станках с ЧПУ;

2) основные функциональные возможности, компоненты и методику проектирования управляющих программ;

3) правила задания геометрической информации о заготовке и обрабатываемой детали.

Средства обучения:

– персональный компьютер;

– ПМК система автоматизированного проектирования управляющих программ для обработки деталей типа «тела вращения» (САПР УП ТВ).

Порядок выполнения лабораторной работы:

1. Проанализировать эскиз детали (заготовки), полученной согласно индивидуальному заданию.

Разработать эскизы детали и заготовки с использованием графических пакетов КОМПАС или AutoCAD, уточнить правильность задания размерных цепей и простановки геометрических размеров, внося необходимые изменения. Выполнить распечатку эскизов детали и заготовки.

2. Описать контуры детали и заготовки посредством нанесения карандашом цифровых обозначений поверхностей на эскизах в порядке последовательности их обработки.

3. Декодировать геометрическую и технологическую информацию управляющей программы, спроектированной с использованием САПР УП ТВ, согласно индивидуальному заданию.

4. Распечатать описание текста управляющей программы и результаты сравнения соответствия текста управляющей программы эскизам детали и заготовки.

5. Сделать выводы о выполненной работе.

6. Оформить отчет.

Содержание отчета:

1. Наименование работы.

2. Цель работы.

3. Описание сущности основных методов проектирования операций с ЧПУ и особенностей разработки управляющих программ для токарной обработки деталей типа «тела вращения» с использованием САПР УП ТВ.

4. Исходные данные для выполнения работы.

5. Методика выполнения работы.

6. Эскизы детали (заготовки) и текст управляющей программы согласно индивидуальному заданию.

7. Распечатка и описание текста управляющей программы, спроектированной с использованием САПР УП ТВ, согласно индивидуальному заданию.

8. Результаты сравнения соответствия текста управляющей программы эскизам детали и заготовки.

9. Выводы.

Вопросы для текущего контроля:

1. Перечислить правила разработки и оформления операционных карт обработки поверхностей деталей типа «тела вращения» на токарных станках с ЧПУ.

2. Перечислить основные функциональные возможности и компоненты САПР УП ТВ.

3. Дать определение координаты нулевой точки в токарных станках с ЧПУ, порядок назначения исходной точки программы.

4. Перечислить правила назначения опорных точек контура детали.

5. Дать описание назначения и состава управляющей программы, структуры кадра.

6. Перечислить правила задания информации в кодах ISO 7 bit.

7. Перечислить элементы программирования и порядок разработки управляющих программ.

Исходные данные для выполнения работ

Преподаватель выдает студентам учебной группы индивидуальные задания, включающие эскизы детали и заготовки, текст управляющих программ, спроектированный с использованием САПР УП ТВ (табл. 2.5).

Варианты заданий

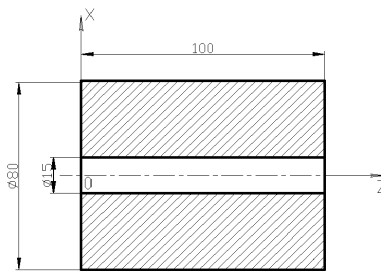
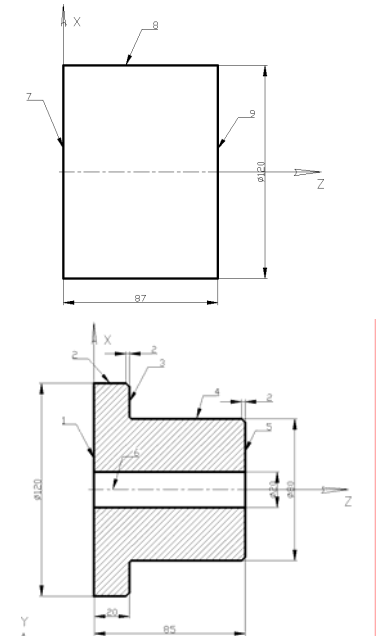
№ п/п	Эскизы заготовки, детали	Текст управляющей программы
1		<p>O001 N10 G54G90; N20 T0101; N30 M6; N40 S150M3; N50 G0X300Z210; N60 M8; N70 Z0; N80 X198.568; N90 G1X98F0.4; N100 G0X100; N110 S290M3; N120 G1X-2; N130 M9M5; N140 G0Z210; N150 X300; N160 T0202; N170 M6; N180 G54G90; N190 S150M3; N200 G0X300Z210; N210 M8; N220 X196.568Z2; N230 G96S46; N240 G71U3.087R1H1; N250 G71P260Q300U0W0F0.4; N260 G1X36F0.4; N270 X68.284Z-14.142; N280 Z-99.142; N290 X168.284; N300 X196.568Z-113.284; N310 M9M5; N320 G0Z210; N330 X300; N350 M2;</p>

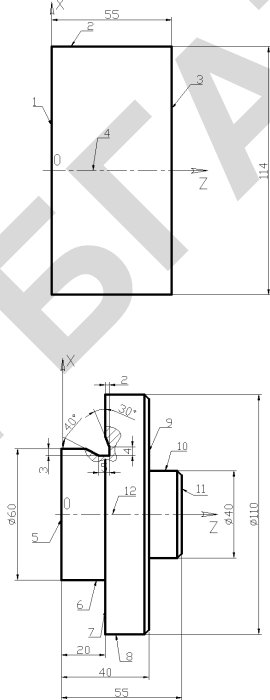
№ п/п	Эскизы заготовки, детали	Текст управляющей программы
		%
2		<p>O002</p> <p>N10 G54G90; N20 T0101; N30 M6; N40 S170M3; N50 G0X280Z210; N60 M8; N70 X170Z0; N80 G96S45; N90 G72R1W3.071H1; N100 G72P110Q150U2W2F0.4; N110 G1X4Z2F0.4; N120 X30; N130 Z-16.852; N140 G2X86.148Z-43R32.942; N150 G1X170; N160 M9M5; N170 G0Z210; N180 X280; N200 M2; %</p>
3		<p>O003</p> <p>N10 G54G90; N20 T0101; N30 M6; N40 S210M3; N50 G0X240Z210; N60 M8; N70 X140Z2; N80 G96S37; N90 G71U3.062R1H1; N100 G71P110Q210U1W0F0.4; N110 G1X38F0.4; N120 Z-50; N130 X82; N140 G3X88Z-53R3.162;</p>

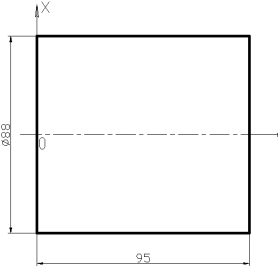
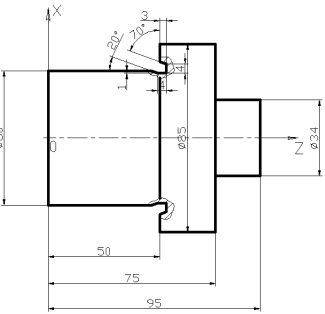
№ п/п	Эскизы заготовки, детали	Текст управляющей программы
		<p>N150 G1Z-95; N160 X140; N170 M9M5; N180 G0Z210; N190 X240; N210 M2; %</p>
4		<p>O004</p> <p>N10 G54G90; N20 T0101; N30 M6; N40 S230M3; N50 G0X220Z210; N60 M8; N70 Z0; N80 X122; N90 G1X-2F0.4; N100 M9M5; N110 G0Z210; N120 X220; N130 T0202; N140 M6; N150 G54G90; N160 S330M3; N170 G0X220Z210; N180 M8; N190 X120Z0; N200 G96S62; N210 G71U2R1H1; N220 G71P230Q270U0W0F0.2; N230 G1X40F0.2; N240 Z-25; N250 G3X90Z-50R25; N260 G1Z-110; N270 X120;</p>

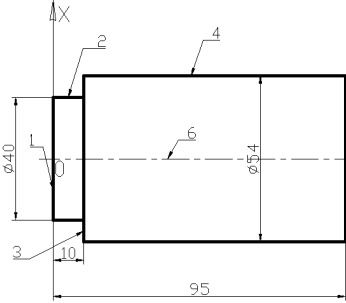
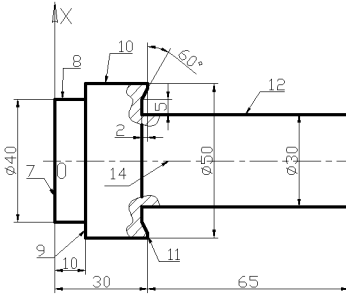
№ п/п	Эскизы заготовки, детали	Текст управляющей программы
		N280 M9M5; N290 G0Z210; N300 X220; N320 M2; %
5		O005 №10 G54G90G0X150Z200S400M3; №20 T0101M6; №30 M8; №40 G0X42Z-2; №50 G1X-2F0.3; №60 G0X40; №70 G96S100; №80 G71U1.5R1H1; №90 G71P100Q130U0.5W1F0.2; №100 G1X20F0.2; №110 Z-52; №120 X36; №130 X40Z-54; №140 G0X42Z-2; №150 X20; №160 G70P100Q130; №170 G0X150Z200M9M5; №180G97 №190M2 %
6		O006 N10 G54G90; N20 T0101; N30 M6; N40 S230M3; N50 G0X220Z210; N60 M8; N70 Z0; N80 X122; N90 G1X-2F0.4;

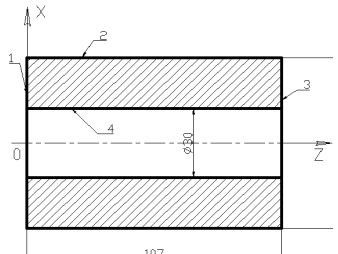
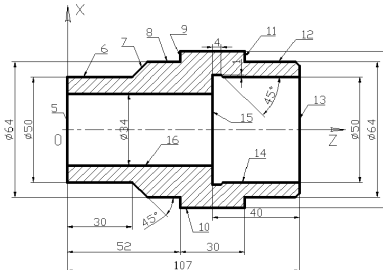
№ п/п	Эскизы заготовки, детали	Текст управляющей программы
		N100 G96X120S43; N110 G71U2R1H1; N120 G71P130Q150U0W0F0.2; N130 G1X80F0.2; N140 Z-65; N150 X120; N160 M9M5; N170 G0Z210; N180 X220; N190 G97; N200 T0202; N210 M6; N220 G54G90; N230 S320M3; N240 G0X220Z210; N250 M8; N260 G83G99X0Z-67R3Q36F0.3; N270 G80; N280 M9M5; N290 G0Z210; N300 X220; N320 M2; %
7		O007 N10 G54G90; N20 T0101; N30 M6; N40 S350M3; N50 G0X180Z210; N60 M8; N70 Z0; N80 X82; N90 G1X-2F0.4; N100 M9M5; N110 G0Z210; N120 X180; N130 T0202; N140 M6; N150 G54G90;

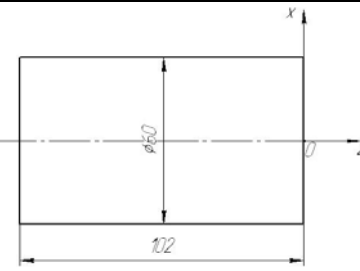
№ п/п	Эскизы заготовки, детали	Текст управляющей программы
		N160 S420M3; N170 G0X180Z210; N180 M8; N190 G83G99X0Z-109.33R3Q29F0.3; N200 G80; N210 M9M5; N220 G0Z210; N230 X180; N250 M2; %
8		O008 N10 G54G90; N20 T0101; N30 M6; N40 S230M3; N50 G0X220Z210; N60 M8; N70 Z0; N80 X122; N90 G1X-2F0.4; N100 G96X120S43; N110 G71U2R1H1; N120 G71P130Q150U0W0F0.2; N130 G1X80F0.2; N140 Z-65; N150 X120; N160 S320M3; N170 G83G99X0Z-106.773R3Q57F0.3; N180 G80; N190 M9M5; N200 G0Z210; N210 X220; N230 M2; %

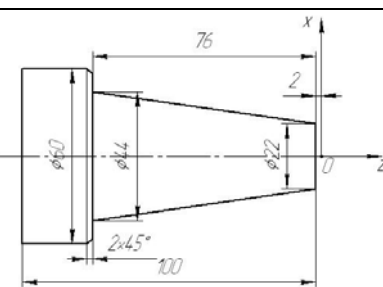
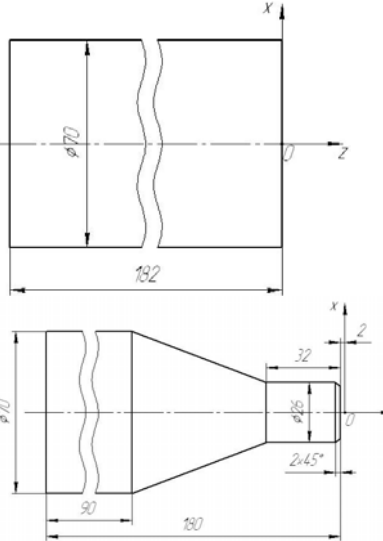
№ п/п	Эскизы заготовки, детали	Текст управляющей программы
		O009 N10 G54G90; N20 T0101; N30 M6; N40 S350M3; N50 G0X220Z200; N60 M8; N70 Z1; N80 X110; N90 G1Z-56F0.2; N100 M9M5; N110 G0X112Z-55; N120 Z200; N130 X220; N140 T0202; N150 M6; N160 G54G90; N170 S340M3; N180 G0X220Z200; N190 M8; N200 X110Z-55; N210 G96S58; N220 G72R1W2H1; N230 G72P240Q260U0W0F0.2; N240 G1X60.176F0.2; N250 Z-35; N260 X110; N270 M9M5; N280 G0Z-36; N290 X220Z200; N300 G97; N310 T0303; N320 M6; N330 G54G90; N340 S340M3; N350 G0X220Z200; N360 M8; N370 Z-41; N380 X62.176;
9		

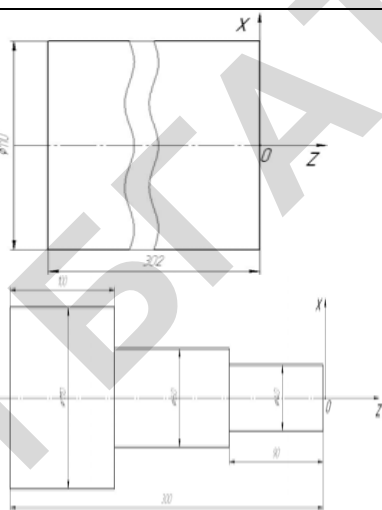
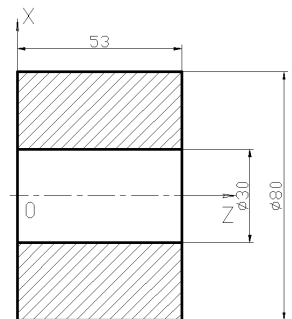
№ п/п	Эскизы заготовки, детали	Текст управляющей программы
		N390 G1X54.176Z-37F0.2; N400 Z-33; N410 X60.176; N420 M9M5; N430 G0X66.176Z-36; N440 X220; N450 Z200; N470 M2; %
10	 	O010 N10 G54G90; N20 T0101; N30 M6; N40 S340M3; N50 G0X200Z200; N60 M8; N70 Z1; N80 X84; N90 G1Z-96F0.4; N100 M9M5; N110 G0X86Z-95; N120 Z200; N130 X200; N140 T0202; N150 M6; N160 G54G90; N170 S440M3; N180 G0X200Z200; N190 M8; N200 X84Z-95; N210 G96S58; N220 G72R1W2H1; N230 G72P240Q260U0W0F0.2; N240 G1X60F0.2; N250 Z-45; N260 X84; N270 M9M5; N280 G0Z-48; N290 X200Z200;

№ п/п	Эскизы заготовки, детали	Текст управляющей программы
		N300 G97; N310 T0303; N320 M6; N330 G54G90; N340 S300M3; N350 G0X200Z200; N360 Z-46; N370 X70; N380 G1X62Z-42F0.2; N390 X58; N400 Z-44; N410 M9M5; N420 G0X62Z-46; N430 X200; N440 Z200; N460 M2; %
11	 	O011 N10 G54G90; N20 T0101; N30 M6; N40 S760M3; N50 G0X160Z200; N60 M8; N70 Z1; N80 X50; N90 G1Z-86F0.2; N100 G0Z0; N110 G96S59; N120 G71U2R1H1; N130 G71P140Q160U0W0F0.2; N140 G1X30; N150 Z-65; N160 X50; N170 M9M5; N180 G0Z200; N190 X160; N200 G97; N210 T0202;

№ п/п	Эскизы заготовки, детали	Текст управляющей программы
		N220 M6; N230 G54G90; N240 S500M3; N250 G0X160Z200; N260 M8; N270 Z-64; N280 X42; N290 G1X36Z-67F0.2; N300 X30; N310 M9M5; N320 G0X36Z-64; N330 Z200; N340 X160; N360 M2; %
12	 	O012 N10 G54G90; N20 T0101; N30 M6; N40 S180M3; N50 G0X180Z200; N60 M8; N70 G83G99X0Z-122.324R3Q65F0.3; N80 G80; N90 M9M5; N100 G0Z200; N110 X180; N120 T0202; N130 M6; N140 G54G90; N150 S730M3; N160 G0X180Z200; N170 M8; N180 X34Z0; N190 G96S38; N200 G71U2.666R1H1; N210 G71P220Q240U0W0F0.4;

№ п/п	Эскизы заготовки, детали	Текст управляющей программы
		N220 G1X50F0.4; N230 Z-40; N240 X34; N250 M9M5; N260 G0Z200; N270 X180; N280 G97; N290 T0303; N300 M6; N310 G54G90; N320 S360M3; N330 G0X180Z200; N340 M8; N350 Z20; N360 X48; N370 Z-37; N380 G1X52Z-39F0.2; N390 Z-40; N400 M9M5; N410 G0X48Z-38; N420 Z200; N430 X180; N450 M2; %
13		O013 N10 G54G90G0X150Z200S500M3; N20 T0101M6; N30 M8; N40 G0X62Z-2; N50 G1X-2F0.3; N60 G0X150Z200M9M5; N70 T0202M6; N80 G54G90G0X60Z-2S600M3; N90 M8; N100 G96S100; N110 G71U1.5R1H1; N120 G71P120Q150U0.5W1F0.4; N130 G1X22F0.4;

№ п/п	Эскизы заготовки, детали	Текст управляющей программы
		N140 X44Z-78; N150 X56; N160 X60Z-80; N170 G0X150Z200M9M5; N180 G97 N190 T0303M6; N200 G54G90G0X24Z-2S600M3; N210 M8; N220 G96S120; N230 G70P120Q150F0.3; N240 G0X150Z200M9M5; N250 G97; N260 M2; %
14		O014 N10 G54G90G0X150Z200S500M3; N20 T0101M6; N30 M8; N40 G0X72Z-2; N50 G1X-2F0.3; N60 G0X26; N70 G96S100; N80 G71U1R1H1; N90 G71P100Q110U0W0F0.3; N100 G1Z-34F0.3; N110 X70Z-92; N120 G97; N130 G0X150Z200M9M5; N140 M2; %

№ п/п	Эскизы заготовки, детали	Текст управляющей программы
15		O015 N10 G54G90G0X150Z200S500M3; N20 T0101M6; N30 M8; N40 G0X112Z-2; N50 G1X-2F0.4; N60 G0X110; N70 G96S100; N80 G71U1R1H1; N90 G71P100Q140U0W0F0.3; N100 G1X40Z-2F0.3; N110 Z-92; N120 X60; N130 Z-202; N140 X110; N150 G97; N160 G0X150Z200M9M5; N170 M2; %
16		O016 N10 G54G90; N20 T0101; N30 M6; N40 S470M3; N50 G0X180Z210; N60 M8; N70 X80Z3; N80 G96S95; N90 G72R1W1.5H1; N100 G72P110Q120U0W0F0.2; N110 G1X30Z0F0.2; N120 X80; N130 M9M5; N140 G0Z210; N150 X180; N160 G97; N170 T0202; N180 M6;

№ п/п	Эскизы заготовки, детали	Текст управляющей программы
		<p>N190 G54G90; N200 S820M3; N210 G0X180Z210; N220 M8; N230 X30Z0; N240 G96S45; N250 G71U2.5R1H1; N260 G71P270Q280U0W0F0.4; N270 G1X40F0.4; N280 Z-50; N290 M9M5; N300 G0Z210; N310 X180; N320 G97; N330 T0303; N340 M6; N350 G54G90; N360 S420M3; N370 G0X180Z210; N380 M8; N390 G76R20P0; N400 G76X40Z-55R-95.993P0Q0.500F3; N410 G80; N420 M9M5; N430 G0X180; N440 Z210; N460 M2; %</p>
17		<p>O017 N10 G54G90G0X150Z200S400M3; N20 T0101M6; N30 M8; N40 G0X922Z-2; N50 G1X-2F0.3; N60 G0X90; N70 G96S100; N80 G71U1.5R1H1;</p>

№ п/п	Эскизы заготовки, детали	Текст управляющей программы
		<p>N90 G71P100Q130U0W0F0.2; N100 G1X22Z-2F0.2; N110 x44Z-28; N120 Z-84; N130 X90; N140 G97; N150 G0X150Z200M9M5; N160 M2; %</p>
18		<p>O018 N10 G54G90; N20 T0101; N30 M6; N40 S350M3; N50 G0X180Z210; N60 M8; N70 Z0; N80 X82; N90 G1X-2F0.4; N100 M9M5; N110 G0Z210; N120 X180; N130 T0202; N140 M6; N150 G54G90; N160 S500M3; N170 G0X180Z210; N180 M8; N190 X80Z1; N200 G96S47; N210 G71U2R1H1; N220 G71P230Q280U2W1F0.2; N230 G1X20F0.2; N240 Z-23.172; N250 X40Z-33.172; N260 Z-49.172; N270 X41.656Z-50; N280 X80;</p>

№ п/п	Эскизы заготовки, детали	Текст управляющей программы
		N290 M9M5; N300 G0Z210; N310 X180; N320 G97; N330 T0101; N340 M6; N350 G54G90; N360 S350M3; N370 G0X180Z210; N380 M8; N390 Z1; N400 X14; N410 G1X20Z-2F0.24; N420 G1Z-22F0.4; N430 X40Z-32; 50F0.24; N440 Z-48; N450 G1X44Z- N460 G1X76F0.4; N470 G1X81.414Z-52.707F0.24; N480 M9M5; N490 G0Z210; N500 X180; N520 M2; %
19		O019 N10 G54G90; N20 T0101; N30 M6; N40 S410M3; N50 G0X240Z210; N60 M8; N70 Z0; N80 X69.642; N90 G1X-2F0.4; N100 G0X130Z-40; N110 G96S83; N120 G72R1W3.151H1; N130 G72P140Q180U0W0F0.4;

№ п/п	Эскизы заготовки, детали	Текст управляющей программы
		N140 G1X67.642; N150 Z-45.704; N160 G2X71.514Z- 48.757R40.851; N170 G1Z-55.757; N180 X130; N190 M9M5; N200 G0Z210; N210 X240; N220 G97; N230 T0303; N240 M6; N250 G54G90; N260 S610M3; N270 G0X240Z210; N280 M8; N290 X67.642Z0; N300 G96S64; N310 G71U2.364R1H1; N320 G71P330Q370U0W0F0.2; N330 G1X44F0.2; N340 Z-25; N350 X54; N360 X56.828Z-26.414; N370 X67.642Z-45.704; N380 M9M5; N390 G0Z210; N400 X240; N420 M2; %
20		O020 №10 G54G90G0X150Z200S400M3; №20 T0101M6; №30 G0X47Z-2; №40 G1X-2F0.3; №50 G0X150Z200M5; №60 T0202M6; №70 S400M3; №80 G96S90;

№ п/п	Эскизы заготовки, детали	Текст управляющей программы
		№90 G0G54G90X150Z200; №100 Z-1; №110 X45; №120 G71U2.3R1H1; №130 G71P140Q200U1W0.5F0.3; №140 G1X20Z-2F0.3; №150 Z-17; №160 X26; №170 X30Z-22; №180 G2X41Z-42R42; №190 G1Z-47; №200 X45; №210 G97; №220 G0X150Z200M5; №230 T0303M6; №240 S500M3; №250 G96S100; №260 G0G54G90X150Z200; №270 Z-1; №280 X20; №290 G1Z-17F0.4; №300 X26; №310 X30Z-22; №320 G2X41Z-42R42; №330 G1Z-47; №340 X45; №350 G97; №360 G0X150Z200M9M5; №370 T0404M6; №380 G90G54S500M3; №390 G99G83X0Z-7R3Q5F0.1; №400 G80; №410 G0X150Z200M9M5; №420 T0505M6; №430 G90G54S500M3; №440 M8; №450 G99G83X0Z-17R3Q5F0.1; №460 G80; №470 G0X150Z200M5;

№ п/п	Эскизы заготовки, детали	Текст управляющей программы
		№480M2 %
21		O021 N10 G54G90; N20 T0101; N30 M6; N40 S460M3; N50 G0X160Z210; N60 M8; N70 Z0; N80 X62; N90 G1X-2F0.4; N100 M9M5; N110 G0Z210; N120 X160; N130 T0202; N140 M6; N150 G54G90; N160 S530M3; N170 G0X160Z210; N180 M8; N190 X60Z0; N200 G96S49; N210 G71U3R1H1; N220 G71P230Q270U0W0F0.4; N230 G1X30F0.4; N240 Z-5; N250 X40; N260 Z-55; N270 X60; N280 M9M5; N290 G0Z210; N300 X160; N310 G97; N320 T0303; N330 M6; N340 G54G90; N350 S500M3; N360 G0X160Z210;

№ п/п	Эскизы заготовки, детали	Текст управляющей программы
		N380 X30Z0; N390 G96S61; N400 G71U3.333R1H1; N410 G71P420Q440U0W0F0.4; N420 G1X50F0.4; N430 Z-8; N440 X30; N450 G0X150Z0; N460 G71U3.077R1H1; N470 G71P480Q500U0W0F0.4; N480 G1X70; N490 Z-15; N500 X150; N510 S380M3; N520 G0X82Z-14; N530 X76Z-17; N540 X66; N550 Z-12; N560 M9M5; N570 G0X72Z-9; N580 Z210; N590 X260; N610 M2; %
23		O023 N10 G54G90; N20 T0101; N30 M6; N40 S270M3; N50 G0X220Z210; N60 M8; N70 Z3; N80 X106; N90 G1Z-101F0.4; N100 G0X108; N110 Z0; N120 G1X0; N130 M9M5; N140 G0Z210;

№ п/п	Эскизы заготовки, детали	Текст управляющей программы
		N150 X220; N160 T0202; N170 M6; N180 G54G90; N190 S145M3; N200 G0X220Z210; N210 M8; N220 G83G99X0Z-48R3Q56F0.3; N230 G80; N240 M9M5; N250 G0Z210; N260 X220; N270 T0303; N280 M6; N290 G54G90; N300 S4620M3; N310 G0X220Z210; N320 M8; N330 X0Z0; N340 G96S239; N350 G71U3.071R1H1; N360 G71P370Q410U0W0F0.4; N370 G1X86F0.4; N380 Z-15; N390 X66; N400 Z-50; N410 X0; N420 M9M5; N430 G0Z210; N440 X220; N450 G97; N460 T0404; N470 M6; N480 G54G90; N490 S300M3; N500 G0X220Z210; N510 Z22; N520 X64; N530 Z-44;

№ п/п	Эскизы заготовки, детали	Текст управляющей программы
		N540 G1X70Z-47F0.2; N550 Z-52; N560 X68; N570 M9M5; N580 G0X62Z-49; N590 Z210; N600 X220; N620 M2; %
24		O024 N10 G54G90; N20 T0101; N30 M6; N40 S460M3; N50 G0X160Z210; N60 M8; N70 Z0; N80 X62; N90 G1X-2F0.4; N100 M9M5; N110 G0Z210; N120 X160; N130 T0202; N140 M6; N150 G54G90; N160 S690M3; N170 G0X160Z210; N180 M8; N190 X60Z0; N200 G96S65; N210 G71U2.142R1H1; N220 G71P230Q270U0W0F0.2; N230 G1X30F0.2; N240 Z-5; N250 X40; N260 Z-55; N270 X60; N280 M9M5;

№ п/п	Эскизы заготовки, детали	Текст управляющей программы
		N290 G0Z210; N300 X160; N310 G97; N320 T0303; N330 M6; N340 G54G90; N350 S500M3; N360 G0X160Z210; N370 M8; N380 Z-50.5; N390 X42; N400 G1X28F0.2; N410 G0X42; N420 Z-52; N430 G1X28; N440 G0X29Z-51.5; N450 X42; N460 Z-53.5; N470 G1X28; N480 G0X29Z-53; N490 X62; N500 Z-55; N510 G1X28; N520 G0X29Z-54.5; N530 X42; N540 Z-49; N550 G1X28; N560 M9M5; N570 G0X29Z-49.5; N580 X42; N590 Z210; N600 X160; N620 M2; %

№ п/п	Эскизы заготовки, детали	Текст управляющей программы
25		<p>O025 N10 G54G90; N20 T0101; N30 M6; N40 S460M3; N50 G0X160Z210; N60 M8; N70 Z0; N80 X62; N90 G1X-2F0.4; N100 M9M5; N110 G0Z210; N120 X160; N130 T0202; N140 M6; N150 G54G90; N160 S530M3; N170 G0X160Z210; N180 M8; N190 X60Z0; N200 G96S49; N210 G71U3R1H1; N220 G71P230Q270U0W0F0.4; N230 G1X30F0.4; N240 Z-5; N250 X40; N260 Z-55; N270 X60; N280 M9M5; N290 G0Z210; N300 X160; N310 G97; N320 T0303; N330 M6; N340 G54G90; N350 S500M3; N360 G0X160Z210; N370 M8; N380 Z-20.3;</p>

№ п/п	Эскизы заготовки, детали	Текст управляющей программы
		<p>N390 X42; N400 G1X20F0.2; N410 G0X42; N420 Z-21.6; N430 G1X20; N440 G0X21Z-21.1; N450 X42; N460 Z-23; N470 G1X20; N480 G0X21Z-22.5; N490 X42; N500 Z-24.3; N510 G1X20; N520 G0X21Z-23.8; N530 X42; N540 Z-25.7; N550 G1X20; N560 G0X21Z-25.2; N570 X42; N580 Z-27.8; N590 X37.8Z-25.7; N600 G0X42; N610 Z-27.9; N620 G1X40; N630 G12X38.2Z-27; N640 G0X42; N650 Z-30; N660 G1X40; N670 Z-29; N680 G12X36Z-27; N690 G1X20; N700 G0X21Z-26.5; N710 X42; N720 Z-17.135; N730 X36.536Z-21.867; N740 G0X42; N750 Z-15.701; N760 X36.536Z-20.433; N770 G0X42;</p>

№ п/п	Эскизы заготовки, детали	Текст управляющей программы
		N780 Z-14.268; N790 X36.536Z-19; N800 X20; N810 M9M5; N820 G0X21Z-19.5; N830 X42; N840 Z210; N850 X160; N870 M2; %

МАТЕРИАЛ К УПРАВЛЯЕМОЙ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЕ СТУДЕНТОВ

Тема: «ВВОД В БАЗУ ДАННЫХ ПРОГРАММНО- МЕТОДИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА САПР ТП PRAMEN НОВОЙ МОДЕЛИ ОБОРУДОВАНИЯ И ЗНАЧЕНИЙ ЕЕ ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК»

В соответствии с индивидуальным заданием (табл. 2.6) студенты вводят модели и технических характеристик оборудования в базу данных ПМК САПР ТП PRAMEN.

Таблица 2.6

Варианты индивидуальных заданий по УСРС № 3

№ задания	Наименование группы металлорежущих станков	Модель оборудования	Примечание
1	2	3	4
1	Токарные	1M63PФ3	
2		16K20Ф3	
3		1341	
4		16K20T1	
5	Токарные	1A512MФ3	
6		1A516MФ3	
7		16K20	
8		163	
9		165	
10		КТ-141	
11		16K30Ф305	
12	Сверлильные и расточные	2A125	
13		2H135	
14		2A150	
15		2P135Ф2	
16		2E450AФ1-1	
17	Шлифовальные	3M151	
18		3A164	

Задание для данной УСРС выдает преподаватель из числа станков следующих моделей: токарные – 16К20, 16К20Ф3, 16К20Т1, 1М63РФ3, 1341, 1А512МФ3; сверлильно-расточные – 2А125, 2Н135, 2Е450; шлифовальные – 3М151, 3К229В, 3Б722; фрезерные – 6Р13, FSS 400 CNC, ГФ2171С5.

УСРС выполняется в компьютерном классе с использованием ПМК САПР ТП PRAMEN. При выполнении УСРС и оформлении отчета студенты используют в качестве учебно-методического материала электронную версию руководства пользователя ОРГС 4664.013.ИЗ. «Система автоматизированного проектирования технологических процессов механической обработки деталей PRAMEN» (разделы 4 и 7). Результатом выполнения УСРС является подготовленный и защищенный у преподавателя отчет.

Тема: «РЕДАКТИРОВАНИЕ ОПЕРАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КАРТ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ»

При выполнении УСРС студент использует индивидуальное задание, выданное ему преподавателем для выполнения лабораторной работы № 1 или № 2 (по выбору студента). Разработанный технологический процесс в режиме «Автоматическое проектирование» студент анализирует на предмет усовершенствования с учетом последних достижений в области автоматизации процессов механической обработки, представляет описание предлагаемых им изменений технологического процесса. Затем вносит эти изменения, используя ПМК САПР ТП в режиме: «Проектирование с редактированием» или в режиме: «Диалоговое проектирование».

РАЗНОУРОВНЕВЫЕ ЗАДАНИЯ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ ПО МОДУЛЮ 2

Билет для разноуровневого контроля знаний по модулю имеет следующую структуру:

1) уровень I (репродуктивный): компьютерное тестирование (6 тестовых заданий). Правильный ответ оценивается в 0,5 балла.

2) уровень II (продуктивный): 1 вопрос. В зависимости от полноты и качества ответа студента за каждый вопрос выставляется оценка 0; 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0 балла.

3) уровень III (творческий): решение задачи повышенной трудности. Максимальная оценка – 4 балла.

Уровень I (репродуктивный)

- | | |
|---|--|
| 1. Структурная оптимизация – это выбор наилучшего варианта: | а) специфику объекта проектирования; |
| а) структуры технологического процесса; | б) особенности математических моделей объектов проектирования; |
| б) значений режимов резания; | в) специфику программно-аппаратного комплекса. |
| в) себестоимости изготовления. | 5. Инвариантное математическое обеспечение отражает: |
| 2. Параметрическая оптимизация – это выбор наилучшего варианта: | а) специфику программно-аппаратного комплекса; |
| а) структуры технологического процесса; | б) специфику объекта проектирования; |
| б) значений режимов резания; | в) общие методы и алгоритмы для многих задач. |
| в) структуры технологической операции. | 6. Языки программирования предназначены: |
| 3. Критерий «минимальная себестоимость» охватывает затраты: | а) для написания программного обеспечения; |
| а) на заработную плату рабочих; | б) написания алгоритмов; |
| б) общественного труда; | в) выполнения расчетов на ЭВМ. |
| в) цеховой себестоимости технологической операции. | 7. Входные языки служат: |
| 4. Специальное математическое обеспечение отражает: | |

- а) для написания программного обеспечения;
- б) написания алгоритмов;
- в) задания исходной информации.
8. Диалоговые языки служат
- а) для: входа в САПР;
- б) оперативного обмена информацией между человеком и ЭВМ;
- в) вывода с ЭВМ результатов проектирования.
9. В пассивном диалоговом режиме инициатива диалога принадлежит:
- а) пользователю;
- б) ЭВМ;
- в) ЭВМ и пользователю.
10. В активном диалоговом режиме инициатива диалога принадлежит:
- а) пользователю;
- б) ЭВМ;
- в) ЭВМ и пользователю.
11. Логическое представление базы данных отражает:
- а) состав сведений без информации о ее размещении;
- б) состав сведений с указанием о месте ее размещения;
- в) возможности САПР.
12. Реляционная модель представляется в виде:
- а) графиков;
- б) математических зависимостей;
- в) таблиц.
13. Проектирующие программные комплексы предназначены:

- а) для получения законченного проектного решения;
- б) поддержания работоспособности программных комплексов;
- в) разработки, развития и модернизации программного обеспечения САПР.
14. Обслуживающие программные комплексы предназначены:
- а) для получения законченного проектного решения;
- б) поддержания работоспособности проектирующих программных комплексов;
- в) разработки, развития и модернизации программного обеспечения САПР.
15. Инструментальные программные комплексы предназначены:
- а) для получения законченного проектного решения;
- б) поддержания работоспособности проектирующих программных комплексов;
- в) разработки, развития и модернизации программного обеспечения САПР.
16. Методическое обеспечение – это совокупность документов, устанавливающих:
- а) состав проектной организации и связи между ее подразделениями;
- б) порядок формирования алгоритмов;

- в) состав и правила эксплуатации средств обеспечения автоматизированного проектирования.
17. Организационное обеспечение – это совокупность документов, устанавливающих:
- а) состав проектной организации и связи между ее подразделениями;
- б) порядок формирования алгоритмов;
- в) состав и правила эксплуатации средств обеспечения автоматизированного проектирования.
18. Какой из методов разработки управляющих программ для станков с ЧПУ наиболее производителен:
- а) ручной;
- б) автоматизированный с помощью устройства ЧПУ станка со встроенной микроЭВМ;
- в) автоматизированный вне станка с использованием персонального компьютера.
19. Какой из методов разработки управляющих программ для станков с ЧПУ обеспечивает наибольшее качество программы:
- а) ручной;
- б) автоматизированный с помощью устройства ЧПУ станка со встроенной микроЭВМ;
- в) автоматизированный вне станка с использованием персонального компьютера.

20. Какой из методов разработки управляющих программ для станков с ЧПУ обеспечивает наибольшее качество программы:
- а) ручной;
- б) автоматизированный с помощью устройства ЧПУ станка со встроенной микроЭВМ;
- в) автоматизированный вне станка с использованием персонального компьютера.
21. Процессор САПР управляющих программ для станков с ЧПУ предназначен для:
- а) ввода исходной информации с внешнего носителя;
- б) решения общих геометрических и технологических задач;
- в) адаптации управляющих программ к конкретному оборудованию с ЧПУ.
22. Постпроцессор САПР управляющих программ для станков с ЧПУ предназначен:
- а) для ввода исходной информации с внешнего носителя;
- б) решения общих геометрических и технологических задач;
- в) адаптации управляющих программ к конкретному оборудованию с ЧПУ.
23. Задание контуров деталей «тела вращения» производится сочетанием:
- а) плоскостей и цилиндров;
- б) плоскостей и окружностей;

в) плоскостей и множества точек.

24. Назовите количество режимов проектирования в САПР ТП PRAMEN:

а) 2; б) 4; в) 1.

25. Назовите количество методов проектирования в САПР ТП PRAMEN:

а) 2; б) 3; в) 4.

Уровень II (продуктивный)

1. Примеры использования основных положений теории линейного программирования при решении задач технологического проектирования.

2. Цель и сущность формализации этапов проектирования технологических процессов.

3. Математическое моделирование в САПР технологических процессов.

4. Этапы решения задач методом математического моделирования.

5. Сущность метода прямого проектирования в САПР ТП.

6. Сущность метода анализа, используемого в САПР ТП.

7. Сущность метода синтеза, используемого в САПР ТП.

8. Сущность принципов совместности, типизации и развития в современных САПР ТП.

9. Уровни автоматизации проектирования технологических процессов.

10. Перечислите основные этапы компьютерного проектирования технологических процессов.

11. Виды представления знаний для структурного синтеза технологических процессов.

12. Состав программно-технического и программно-методического комплекса САПР ТП.

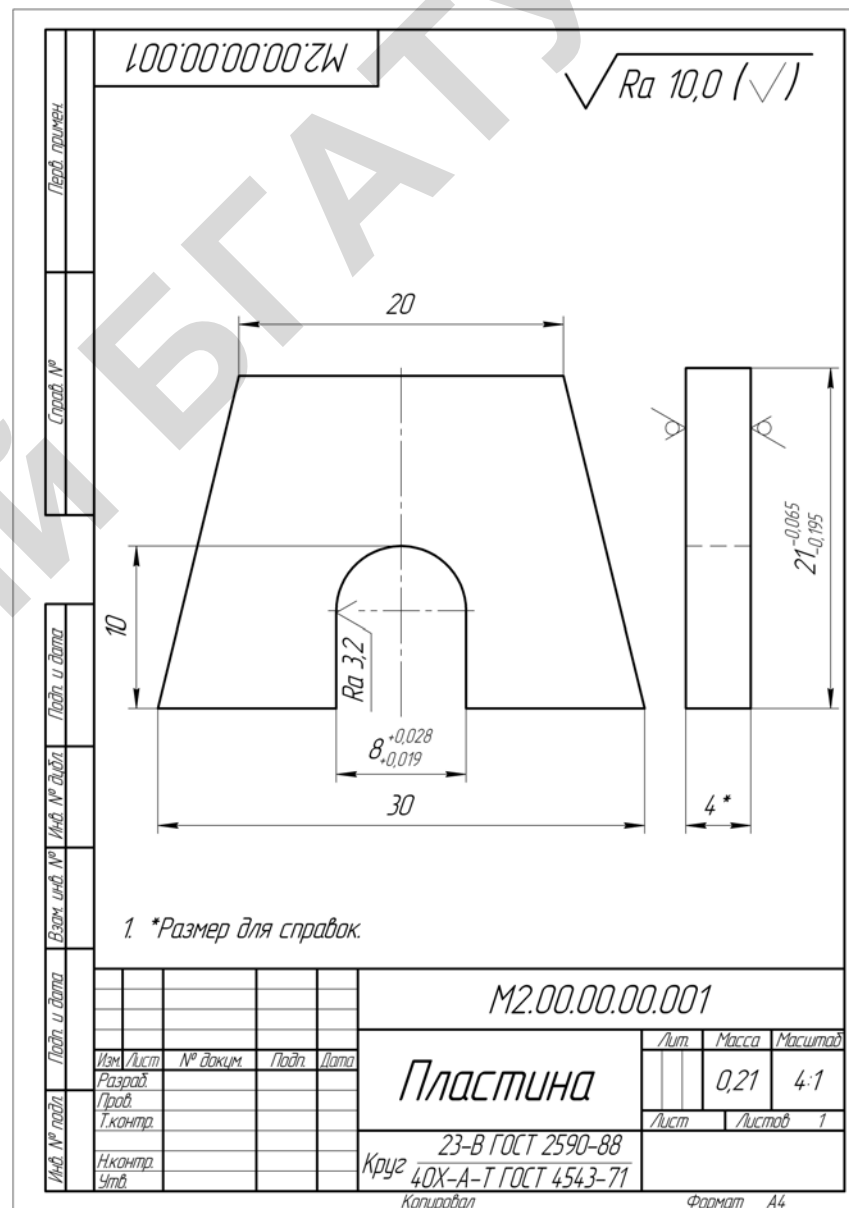
13. Классификация и назначение подсистем программного обеспечения САПР ТП.

14. Проектирующие, обслуживающие и инвариантные подсистемы САПР ТП.

Уровень III (творческий)

Используя программно-методического комплекса PRAMEN в режиме «Автоматическое проектирование», разработать маршрутный технологический процесс обработки плоской детали (15 вариантов).

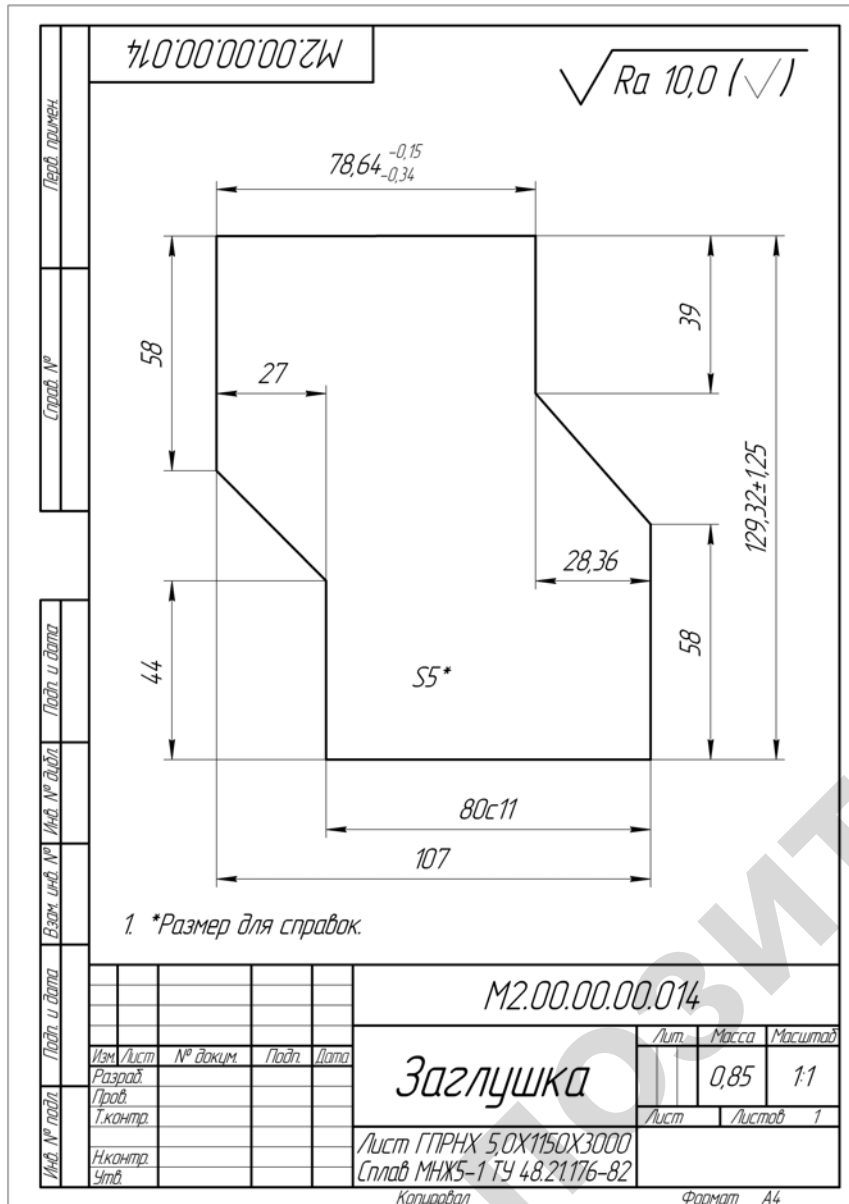
Примеры вариантов деталей:



СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

1. Акулович, Л. М. Основы автоматизированного проектирования технологических процессов в машиностроении : учеб. пособие для вузов / Л. М. Акулович, В. К. Шелег. – Минск : Новое знание; М. : ИНФРА-М, 2012. – 488 с.
2. Капустин, Н. М. Автоматизация производственных процессов в машиностроении / Н. М. Капустин [и др.] ; под ред. Н. М. Капустина. – М. : Высшая школа, 2004. – 415 с.
3. Филонов, И. П. Проектирование технологических процессов в машиностроении / И. П. Филонов [и др.] ; под ред. И. П. Филонова. – Минск : Технопринт, 2003. – 910 с.
4. Система автоматизированного проектирования технологических процессов механической обработки деталей PRAMEN. Руководство пользователя. ОРГС 4664.013.ИЗ. – Минск : ПРУП «Институт Белоргстанкинпром», 2005. – 135 с.
5. Система автоматизированного проектирования управляющих программ для обработки деталей типа тел вращения – САПР УП ТВ (модуль управляющих программ). Руководство по кодированию геометрических и технологических данных. ОРГС 466454.003.И2. – Минск : ПРУП «Институт Белоргстанкинпром», 2007. – 92 с.
6. ТехноПро [Электронный ресурс] : САПР ТП ТехноПро / Сайт производителя – Электрон, текстовые дан. – URL : <http://www.tehno.pro/default.aspx?page=7>. – Дата обращения : 14.10.2013.
7. ADEM CAD/CAM/CAPP [Электронный ресурс] : Продукт / Сайт производителя – Электрон, текстовые дан. – URL : <http://www.adem.ru/home.php?id=2764077>. – Дата обращения : 14.10.2013.
8. АСКОН [Электронный ресурс] : Программные продукты в машиностроении / Сайт производителя – Электрон, текстовые дан. – URL : <http://machinery.ascon.ru/software/tasks/?prcid=8#e8>. – Дата обращения : 14.10.2013.
9. Системы автоматизированного проектирования технологических процессов, приспособлений и режущих инструментов : учебник для вузов по спец. «Технология машиностроения, металлоре-



жущие станки и инструменты» / С. Н. Корчак [и др.] ; под общ. ред. С. Н. Корчака. – М. : Машиностроение, 1988. – 352 с.

10.Климович, Ф. Ф. Математическое моделирование технологических задач в машиностроении : учеб.-метод. пособие по лабораторным работам для студентов машиностроительных специальностей высших учебных заведений / Ф. Ф. Климович, А. Ф. Присевок. – Минск : БГПА, 2000. – 88 с.

11.Аверченков, В. И. Автоматизация проектирования технологических процессов : учеб. пособие для вузов / В. И. Аверченков, Ю. М. Казаков. – 2-е изд., стереотип.– М. : Флинта, 2011. – 229 с.

Дополнительная

12.Тимковский, В. Г. Дискретная математика в мире станков и деталей / В. Г. Тимковский. – М. : Наука, 1992. – 145 с.

13.Майника, Э. Алгоритмы оптимизации на сетях и графах / Э. Майника. – М. : Наука, 1981. – 323 с.

14.Автоматизация проектирования технологических процессов и средств оснащения / под ред. А. Г. Раковича. – Минск : Институт технической кибернетики НАН Беларуси, 1997. – 276 с.

Учебное издание

Акулович Леонид Михайлович,
Миранович Алексей Валерьевич,
Сенчуров Евгений Витальевич

СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ
ТЕХНОЛОГИЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ

Учебно-методический комплекс

Ответственный за выпуск *В. М. Катцевич*
Редактор *Т. В. Каркоцкая*
Компьютерная верстка *Т. В. Каркоцкой*

Подписано в печать 26.11.2014 г. Формат 60×84¹/₁₆.
Бумага офсетная. Ризография.
Усл. печ. л. 18,6. Уч.-изд. л. 14,54. Тираж 98 экз. Заказ 741.

Издатель и полиграфическое исполнение:
Учреждение образования
«Белорусский государственный аграрный технический университет».
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий
№ 1/359 от 09.06.2014.
№ 2/151 от 11.06.2014.
Пр-т Независимости, 99–2, 220023, Минск.

**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

**Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Кафедра технологии металлов

Л. М. Акулович, А. В. Миранович, Е. В. Сенчуров

**СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО
ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ
МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ**

*Рекомендовано Учебно-методическим объединением
по аграрному техническому образованию
в качестве учебно-методического комплекса
для студентов учреждений высшего образования
по специальности 1-74 06 03*

Ремонтно-обслуживающее производство в сельском хозяйстве

**Минск
БГАТУ
2014**