

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ЯРОСЛАВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра технологии машиностроения

# САПР технологических процессов

Методические указания  
по изучению дисциплины, выполнению лабораторного практикума  
и контрольных работ

Ярославль  
2000

УДК 681.31.00

**САПР технологических процессов:** Методические указания по изучению дисциплины, выполнению лабораторного практикума и контрольных работ / Сост. О.Н. Калачев; Яросл. гос. техн. ун-т. – Ярославль, 1999. - 32 с.

Рассматривается тематика лекционного курса и лабораторных занятий по математическому моделированию размерных изменений заготовки в ходе обработки, по проектированию управляющих программ для оборудования с ЧПУ, а также методика выполнения контрольных работ. Приводятся варианты заданий на контрольные работы.

Предназначены для студентов-заочников специальности 120100.

Ил. 9. Табл.2. Библиогр. 19.

Рецензенты: кафедра технологии машиностроения Ярославского государственного технического университета; канд. техн. наук, доцент А.М.Трофимов, гл. технолог ОАО "ИФО".

Редактор М.А. Канакотина

План 1999

Изд. лиц. ЛР N 020311 от 15.12.96. Подписано в печать 7.09.2000

Формат 60x84 1/16. Бумага белая. Офсетная печать.

Усл. печ. л. 2,00. Уч.-изд. л. 2,00. Тираж 50. Заказ .....

Ярославский государственный технический университет

150023, Ярославль, Московский пр., 88

Типография Ярославского государственного технического университета

150028, Ярославль, ул. Советская, 14а

© Ярославский государственный технический университет, 2000

## Введение

Дисциплина «Системы автоматизированного проектирования технологических процессов» (САПР ТП) следует в учебном процессе за дисциплиной «Основы САПР». Целью дисциплины САПР ТП является освоение различных видов обеспечений и архитектуры САПР, а также приобретение знаний и навыков проектирования в характерных системах непосредственно за компьютером.

Дисциплина САПР ТП опирается на ранее изученные дисциплины математического, конструкторского и технологического профиля, в частности, базу алгоритмического и программного обеспечения формируют дисциплины: «Информатика», «Инженерная графика», которые развивают представления о путях формализации расчетных и логических задач, дают общие навыки работы с персональным компьютером (ПК) и практического программирования, необходимые инженеру.

Полученные знания, умения и навыки используются при выполнении отдельных проектных задач в курсовом и дипломном проектировании по специальности 120100.

Прослушав курс лекций в объеме 12 часов, студенты заочной формы обучения выполняют две контрольные и три лабораторных работы, а затем сдают экзамен. Общий объем дисциплины – 100 часов.

### 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

Одной из основных функций инженера является проектирование изделий или технологических процессов их изготовления. Традиционно эти функции разделены как при подготовке специалистов, так и в сфере их деятельности на производстве. Отражая сложившуюся практику последовательной реализации процессов конструирования и разработки технологии, САПР принято делить на два основных вида:

- САПР конструирования изделий;
- САПР технологии их изготовления.

*САПР конструирования изделий*, которые на Западе называют САД (Computer Aided Design), выполняют объемное и плоское геометрическое моделирование, инженерный анализ, оценку проектных решений, получение чертежей. Исследовательский этап САПР изделий иногда выделяется в самостоятельную автоматизированную систему научных исследований (АСНИ) или, используя западную терминологию, инжиниринга - САЕ (Computer Aided Engineering).

*САПР технологии изготовления*, которые в России принято называть

автоматизированной системой технологической подготовки производства (АСТПП), а на Западе - CAPP (Computer Automated Process Planning), выполняют разработку технологических процессов, управляющих программ (УП) для оборудования с ЧПУ, технологической оснастки. *Задача САПР ТП сводится к разработке технологической документации (маршрутной, операционной), доводимой до рабочих мест и с разной степенью подробности регламентирующей будущий процесс изготовления детали.* Спроектированная информация вводится в систему автоматизированной подготовки управляющих программ для оборудования с числовым управлением, которую на Западе принято называть САМ (Computer Aided Manufacturing).

Широкое применение отечественных и зарубежных САПР ТП в технологии машиностроения приводит к тому, что современный технолог-машиностроитель обязан знать методологию и особенности функционирования САПР ТП, профессионально владеть несколькими системами, иметь представление о «ведении» CAD/CAM-систем в условиях машиностроительного предприятия.

Цель изучения дисциплины – на основе отобранных теоретических знаний в области построения и функционирования САПР ТП научить студентов специальности 120100 практической работе с ними в качестве пользователя.

В результате изучения дисциплины студент должен знать:

- ◇ различные конфигурации технического обеспечения (ТО) САПР ТП;
- ◇ архитектуру программного обеспечения (ПО) САПР ТП;
- ◇ основы создания и применение математических моделей в автоматизированном проектировании ТП;
- ◇ методы автоматизированного проектирования ТП: анализа, синтеза и прямого документирования;
- ◇ языки описания контура обработки для САПР ЧПУ и чертежа детали для САПР ТП;
- ◇ содержание и последовательность проектирования в CAD/CAM-системах.

Студент должен уметь:

- ◇ создавать и анализировать математическую модель (графовое представление) размерных изменений детали в ходе ТП;
- ◇ описывать геометрию обрабатываемого контура и задавать тех-

- нологические условия для системы автоматизированной подготовки управляющих программ оборудования ЧПУ;
- ◇ для проектирования ТП составлять описание чертежа детали на языке одной из САПР ТП.

Студент должен приобрести навыки:

- ◇ подготовки файлов исходной информации и оценки результатов проектирования технологических размерных цепей на персональном компьютере (ПК);
- ◇ диалогового проектирования управляющих программ ЧПУ на ПК с использованием САПР ЧПУ.

## 2. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 2.1. Тематический план

Содержание разделов курса представлено в табл.1.

**Таблица 1**

Шифр темы	Наименование разделов и тем	Распределение ауд. часов			
		Всего	Лекц.	Лабор.	Практ.
1.	Введение	0,5	0,5		
2.	Техническое обеспечение САПР ТП	0,5	0,5		
3.	Программное обеспечение САПР ТП	1,5	1,5		
4.	Математическое обеспечение САПР ТП	9	3	6	
5.	Лингвистическое обеспечение САПР ТП	8	2	6	
6.	Методическое обеспечение САПР ТП	3,5	3,5		
7.	Направления развития САПР ТП	0,5	0,5		
Итого за семестр		24	12	12	

### 2.2. Содержание лекционного курса

#### **Введение** [7, с.29 – 44] \*

Особенности технологической подготовки машиностроительного производства в современных условиях (увеличение сложности решаемых задач, необходимость сокращения сроков подготовки производства, влияние качества подготовки на эффективность работы предприятия

---

\* Список литературы приведен в конце настоящих методических указаний

и пр.). Интегрирование систем CAD, CAM и сквозное проектирование.

Цель изучения дисциплины САПР ТП. Структура курса; содержание лабораторного практикума; необходимость использования изучаемых систем в курсовом и дипломном проектировании. Возможность разработки или адаптации программных модулей и подсистем САПР в ходе дипломного проектирования.

Вопросы для самопроверки

- 1) Раскройте понятие «интегрированная система производства».
- 2) Укажите основные цели и преимущества сквозного проектирования.
- 3) Как перевести на русский язык аббревиатуры CAD и CAM?
- 4) В чем сущность понятия «адаптация САПР»?

### ***Техническое обеспечение САПР ТП***

[7, с.6 – 28, 214 – 216]

Классификация и основные характеристики ЭВМ. Многовариантность платформ, разнообразие микропроцессоров Intel. Технические характеристики компьютеров PC. Серверы и рабочие станции. Конфигурирование технических средств для монопольного и распределенного использования. Технические средства создания одноранговых сетей и сетей «клиент-сервер». Подключение к сети через модем.

Вопросы для самопроверки

- 1) Назовите основные комплектующие системного блока.
- 2) Охарактеризуйте современный компьютер на платформе Intel.
- 3) Опишите компоненты, необходимые для объединения компьютеров в сеть.
- 4) Определите сущность технологии «клиент-сервер».
- 5) Дайте характеристику рабочей станции и сервера.
- 6) Что дает объединение компьютеров в ЛВС?
- 7) Сервер – это компьютер, имеющий...
- 8) Рабочая станция – это обозначение обычного компьютера, работающего...

### ***Программное обеспечение САПР ТП***

[7, с.66 – 84, 96 – 104, 109 – 111, 84 – 86],

[5, с.4 – 10]

Системное, базовое и прикладное программное обеспечение (ПО).

Понятие о функциях операционной системы ЭВМ. Отличие между MS-DOS и Windows 9X. Особенности Windows NT.

Пакетный и диалоговый режим работы ПО. Понятие о системе программирования; проектирующие и обслуживающие подсистемы; машинная графика в качестве проектирующей и/или обслуживающей подсистемы на примере проектирования режущего инструмента.

Архитектура прикладного ПО: модульная структура подсистем, понятие о мониторе, диалоговой подсистеме и различных формах диалога.

Пример архитектуры САПР-ЧПУ (связь между AutoCAD, препроцессором, процессором и постпроцессором).

#### Вопросы для самопроверки

- 1) Какая операционная система функционирует в нашем дисплейном классе?
- 2) Что означает “иерархическая файловая система”?
- 3) Какая файловая система поддерживается в ОС Windows 9X?
- 4) Каталог и папка – это одно и то же?
- 5) Какой аналог понятию «файл» есть в ОС Windows 9X?
- 6) Сравните сетевые возможности MS-DOS, Windows 9X и Windows NT.
- 7) Назначение процессора и постпроцессора в САПР ЧПУ.
- 8) Целесообразно ли использовать диалоговый режим в САПР ТП?
- 9) Укажите характерные особенности проектирования в пакетном режиме.

### ***Математическое обеспечение САПР ТП***

*[5, с.4 – 10]*

Понятие о математической модели как основе автоматизированного проектирования. Функциональные и структурные математические модели.

Понятие о параметрической оптимизации. Целевая функция и критерий оптимизации. Решение задачи по определению оптимального режима резания методом линейного программирования. Постановка задачи оптимизации режима резания методом нелинейного программирования (скользящего допуска).

Графовые структуры при размерном анализе ТП: построение размерной схемы, дерева технологических размеров. Алгоритм поиска состава технологических цепей, автоматизация их совместного решения, расчет припусков и выбор допусков. Моделирование на базе графовой

модели размерной точности ТП.

Табличные модели. Примеры формализации поиска технологических решений с помощью таблиц соответствий и СУБД.

Вопросы для самопроверки

- 1) Сформулируйте критерий оптимальности при расчете режима резания.
- 2) Назовите независимые параметры, определяющие поведение целевой функции в ходе анализа модели оптимального режима резания.
- 3) В чем заключаются сущность линеаризации?
- 4) Какие параметры используются в качестве вершин и ребер графа при размерном анализе?
- 5) Предложите пути корректировки ТП на основе анализа нескольких вариантов графа.
- 6) Укажите области применения двусторонних таблиц и таблиц соответствий.
- 7) Какова роль булевой матрицы в таблицах соответствий?
- 8) Сформулируйте условия поиска технологического решения в реляционной базе данных.

### *Лингвистическое обеспечение САПР ТП*

*[5, с.22 – 47], [7, с.122 – 145]*

Два подхода к формализованному представлению информации о детали: на базе классификаторов и с помощью проблемно-ориентированного технологического языка. Конструкторско-технологический код детали в различных системах классификации.

Таблицы кодированных сведений (ТКС). Пример кодирования чертежа детали типа «вал» на языке САПР ТП, разработанной в ИТК АН БССР.

Проблемно-ориентированные языки описания геометрии детали в САПР ЧПУ (Пермь). Примеры языкового описания детали, других видов технологической информации.

Диалоговая подготовка описания детали в АРМ Конструктора-технолога (ЯрПИ).

Вопросы для самопроверки

- 1) Сопоставьте степень подробности описания чертежа детали на языках САПР ТП ВАЛ и САПР ЧПУ.
- 2) Каким образом описывается форма детали средствами этих языков?



- 3) Какая информация включается в конструкторско-технологический код детали?
- 4) Укажите набор сведений о детали для создания БД в АРМ Конструктора-технолога.
- 5) Приведите примеры кодирования точек, прямых и окружностей в САПР ЧПУ.

### *Методическое обеспечение САПР ТП* *[5, с.122 – 143]*

Основы автоматизации проектирования технологических процессов. Алгоритмизация проектирования ТП на базе типовых решений. Примеры типовых решений на уровне отдельной поверхности и детали в целом. Два основных методических подхода к проектированию ТП: синтез единичного процесса и анализ типового процесса. Области их применения.

Прямое документирование ТП на примере АРМ Технолога (Новосибирск).

Трехэтапная схема проектирования на базе типовых ТП: адресация, анализ, доработка на примере САПР ТЕМП (Станкин). Принципиальная блок-схема проектирования. Достоинства и недостатки, рациональная область применения метода проектирования на базе типовых ТП.

САПР для станков с ЧПУ. Работа технолога с САПР ЧПУ: содержание диалога с системой, анализ экранного отображения обработки на примере САПР ЧПУ (Пермь).

Автоматизированная система оценки технологичности конструкции изделия на стадии проектирования. Представление изделия в виде иерархической структуры. Формализация описания структурных единиц в виде записей с фиксированным числом полей. Интерактивное кодирование конструкторской и технологической информации. Алгоритм поиска состава изделия или анализируемой сборочной единицы в БД. Расчет показателей технологичности. Подготовка информации для прогнозирования трудоемкости изготовления изделия. Структура диалога и меню различных уровней. Понятие об адаптации БД.

#### Вопросы для самопроверки

- 1) В чем заключается понятие «прямое документирование» в одноименном методе автоматизированного проектирования?
- 2) Что подвергается «анализу» при проектировании ТП методом анализа?

- 3) Поясните понятие «маршрут обработки поверхности», используемое в методе синтеза.
- 4) Объясните назначение «принципиальной схемы обработки» (по Цветкову) в методе синтеза.
- 5) Опишите в виде дерева структуру машиностроительного изделия.
- 6) Какая качественная и количественная информация формируется при создании БД в АРМ Конструктора-технолога?
- 7) Укажите структуру записи БД АРМ Конструктора-технолога.

### ***Направления развития САПР ТП*** *[5, с.11 – 2]*

Понятие о компьютерно-интегрированном производстве (СІМ) как объединении САД и САМ. Развитие моделей технологических процессов. Компьютерные методы 3D моделирования. Инструментальные средства создания САПР (СПРУТ). Передовые зарубежные системы PRO/Engineer, Cimatron, AutoCAD 2000, MDT и др.

#### Вопросы для самопроверки

- 1) Опишите процесс проектирования в системах типа САД/САМ.
- 2) В чем состоит сущность твердотельного моделирования?
- 3) Что собой представляет параллельное проектирование?
- 4) Каким образом связана с САД/САМ-системами стереолитография?
- 5) Что означает аббревиатура «3D»?
- 6) В чем отличие между программными продуктами фирмы Autodesk: AutoCAD 2000 и MDT?
- 7) Какие возможности предоставляет отечественная система СПРУТ?

### 2.3. Содержание лабораторных занятий

Лабораторные занятия (табл.2) закрепляют полученные на младших курсах навыки использования персонального компьютера при работе с инструментальными программными системами, а также расширяют представление о практической автоматизации проектирования в различных сферах деятельности технолога-машиностроителя.

При этом основное внимание уделяется не изучению возможностей инструментальных систем, а решению конкретных проектных задач.

**Таблица 2**

Шифр раздела	Номер и название лабораторной работы	Кол. час.	Конт- роль
4	Размерный анализ технологического процесса на основе системы автоматизированного построения и решения технологических размерных цепей KON7.	6	ЗЛ
5	Проектирование управляющей программы для станка с ЧПУ посредством системы автоматизированного программирования САПР ЧПУ.	6	ЗЛ
Итого за семестр		12	

Материал лабораторных занятий в упрощенном виде раскрывает содержание более сложных заданий контрольных работ.

#### 2.4. Содержание контрольных работ

Целью выполнения контрольных работ (КР) является проверка уровня усвоения студентом содержания дисциплины, расширение, закрепление теоретических знаний и применение этих знаний для решения практических задач.

В **КР1** выполняется *размерный анализ* ТП по осевым, т.е. расположенным в осевом координатном направлении, размерам. Для заданной детали (из набора в Приложении А) составляется несколько вариантов маршрута обработки и для каждого варианта разрабатывается структурная математическая модель размерных изменений в ходе обработки

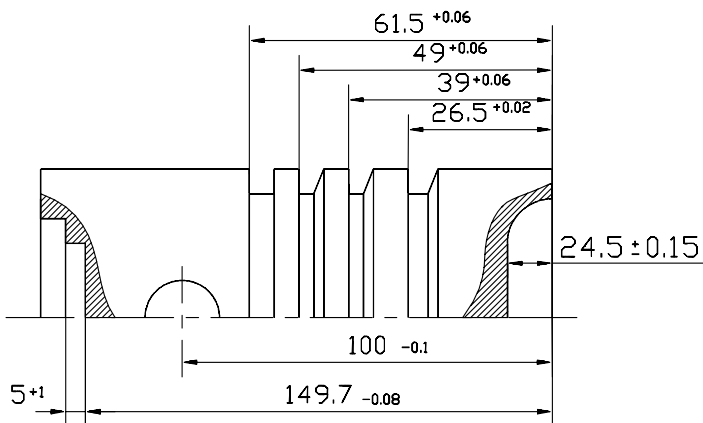


Рис. 1. Чертеж детали с осевыми размерами

(операционные эскизы > размерная схема > граф). На основе анализа выявленных на графе технологических размерных цепей выбирается оптимальный вариант, обеспечивающий точность чертежа детали с минимальными затратами. Исходные данные обоснованного варианта ТП оформляется для расчета по программе KON7 на ПК с целью вычисления всех промежуточных размеров обработки, исходя их заданных чертежных размеров детали.

Рассмотрим выполнение **КР1** на примере упрощенной детали «поршень 238НБ-1004015». Работа начинается с отбора осевых размеров чертежа детали (рис. 1). На схеме эти размеры обозначаются буквой **P** с

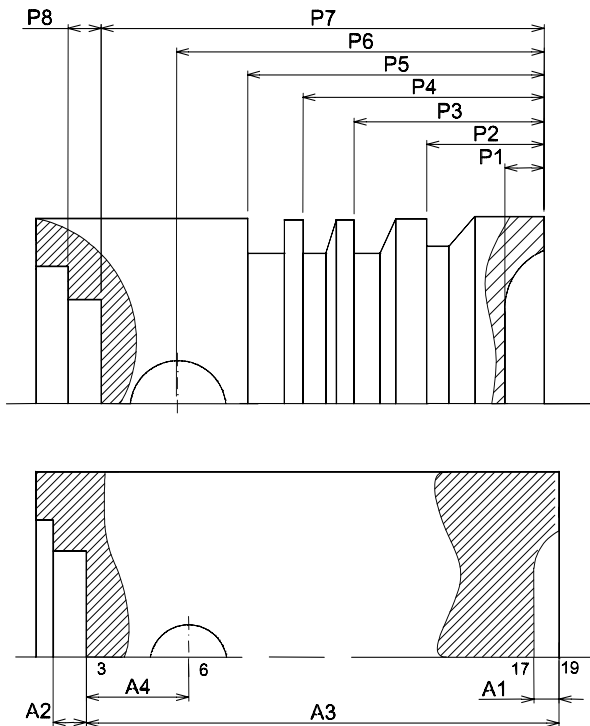


Рис. 2. Эскизы детали и заготовки с условными обозначениями размеров

индексом (рис. 2). Затем указываются размеры заготовки. Далее строятся традиционные операционные эскизы (рис. 3), где отмечается технологическая база, от которой выдерживается размер в ходе обработки,

полученная поверхность и удаляемый припуск. Заметим, что размеры заготовки обозначаются двухсторонними стрелками, а размеры механообработки – односторонними стрелками. Теперь с операционных эскизов размеры и припуски переносятся на один эскиз – размерную схему (рис. 4), где все задействованные поверхности нумеруются слева направо. Номера определяют границы размеров, необходимые для построения

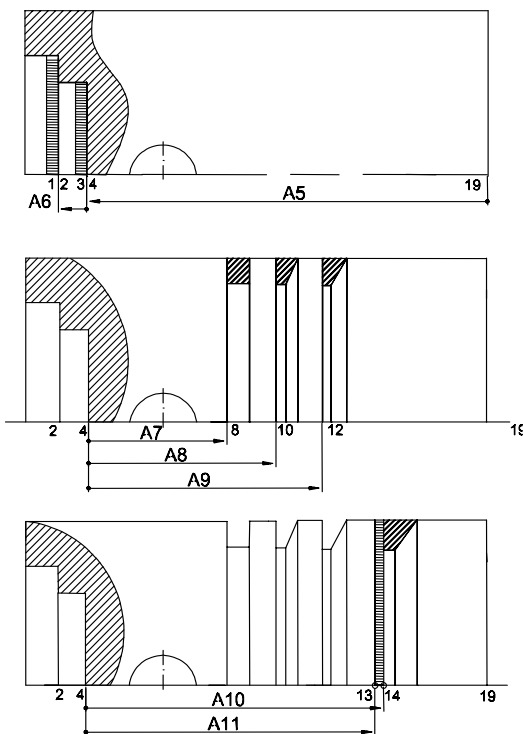


Рис. 3. Операционные эскизы (начало)

ния графа (рис. 5) и для оформления исходных данных при компьютерном расчете. По размерной схеме строится граф – структурная математическая модель ТП. В качестве вершин графа принимаем номера поверхностей, а ребрами графа служат размеры: конструкторские  $P$ , припуски на обработку  $Z$ , размеры заготовки и технологические размеры механообработки  $A$ . Замыкающими звеньями размерных цепей являются

ся размеры  $P$  и  $Z$ , а составляющими – неизвестные размеры  $A$ .

На графе (см. рис. 5) можно визуальнo выявить контуры технологических размерных цепей, а по их составу сделать некоторые предварительные выводы о допустимости варианта обработки. Так, если в уравнение цепи, где замыкающим звеном является конструкторский (чертежный) размер  $P$ , входят более двух составляющих, т.е. технологиче-

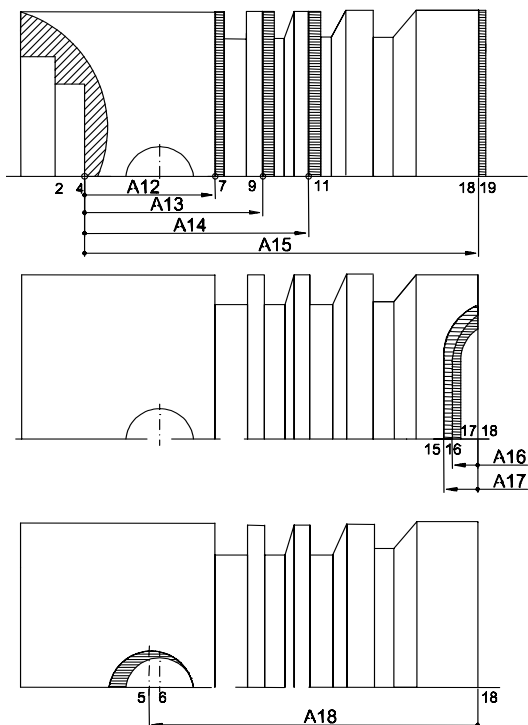


Рис. 3. Операционные эскизы (окончание)

ских размеров  $A$ , то очевидно, что достижение точности этого размера проблематично. (Напомним, что допуск замыкающего звена равен арифметической сумме допусков составляющих размерную цепь звеньев. Поэтому чем больше составляющих звеньев, тем шире должен быть допуск замыкающего звена.)

И напротив, если цепи для замыкающих звеньев  $P$  получились «ко-

роткими», двухзвенными, а для **Z** – трехзвенными, то это свидетельствует о выполнении принципа единства баз, наиболее оптимального варианта, как известно из курса технологии машиностроения, построения ТП для достижения требуемой точности обработки.

Выбрав в ходе такого качественного анализа – из нескольких вариантов – наиболее предпочтительный вариант ТП, можно перейти к ко-

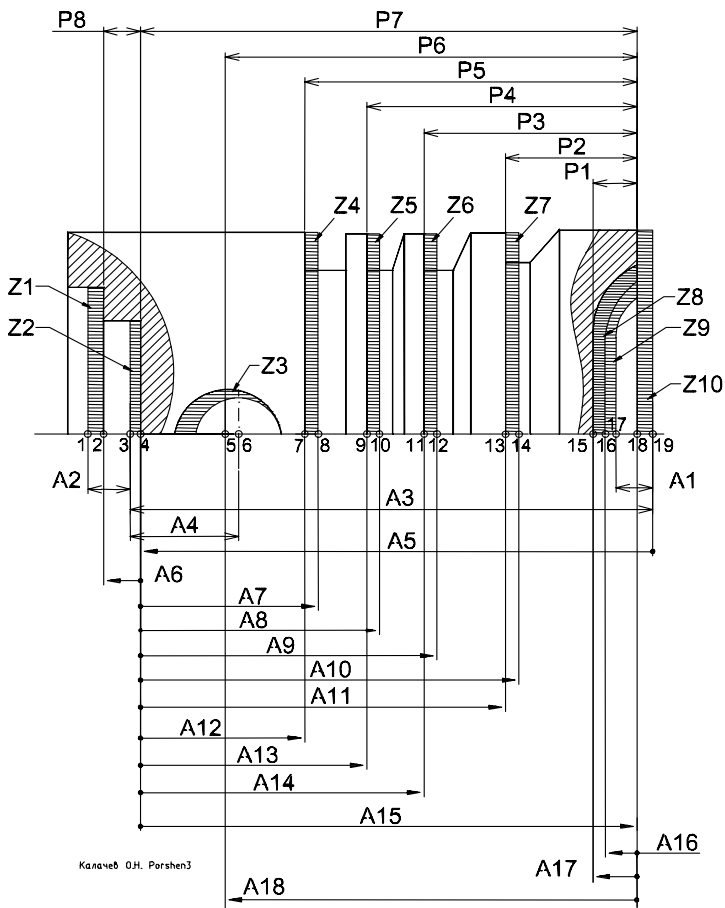


Рис. 4. Размерная схема технологического процесса

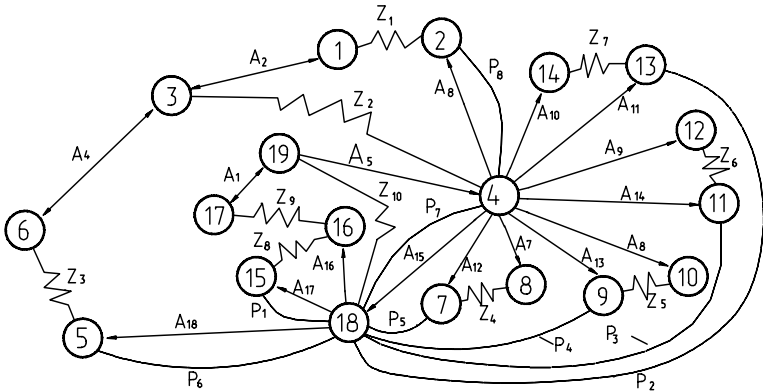


Рис. 5. Граф технологических размерных цепей

личественному анализу на ПК с помощью программы KON7, обеспечивающей выявление и расчет технологических цепей. Рассмотренная нами подготовка исходных данных для ввода в программу входит в содержание КР1, сам расчет выполняется позже, во время проведения лабораторных работ. Сформированные исходные данные после запуска программы вводятся в диалоговом режиме (рис.6) путем указания:

- границ размеров и значений конструкторских размеров  $P$ ,
- только границ припусков  $Z$  (их значения рассчитываются программой),
- границ и методов получения технологических размеров  $A$ .

KON7: РАСЧЕТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РАЗМЕРНЫХ ЦЕПЕЙ, ЯГУ, С Капачев О.Н., 2000											
Esc-выход, Enter-ввод											
kop7											
N	Замыкающ. звенья: чертежн. размеры, потом - припуски				Составляющие звенья - заносить по индексу						
					правая граница		обрабатываемая поверхность				
	Границы звена		Предельн. значения для припусков не заполн. или Zmin		Границы звена o→		Код метода получения	Сист. допуск. отв-0 вал-1 ось-2	Поперечн. габ. обраб. пов.	Допуск пользователя: отклонения-	
лев	прав	MAX	MIN	лев	прав	верхнее				нижнее	
1	15	18	24.650	24.350	17	19	46	1	132.	.000	.000
2	13	18	26.560	26.500	3	1	46	1	132.	.000	.000

Рис. 6. Ввод подготовленных исходных данных

Ниже приведен фрагмент результатов расчета по программе KON7 для примера на рис.1, а именно: выявленные программно уравнения, рассчитанные значения номиналов и отклонений технологических размеров  $A_i$ , обеспечивающих в ходе обработки заданную чертежом точность размеров детали.



## Результаты расчета для детали «поршень» (фрагмент)

Кафедра ТМС, С Калачев О.Н. 2000 \*\*\*\* KON7 \*\*\*\*  
 Заказчик Porshen

.....  
 Таблица 2. Результаты расчета : уравнения размерных цепей

Номер решения	Неизв. звено	Уравнения в символьной форме
1	A17	$P_1 = +A17$
2	A18	$P_6 = +A18$
3	A15	$P_7 = +A15$
4	A 6	$P_8 = +A 6$
5	A11	$P_2 = -A11 + A15$
6	A14	$P_3 = -A14 + A15$
7	A13	$P_4 = -A13 + A15$
8	A12	$P_5 = -A12 + A15$
9	A16	$Z_8 = -A16 + A17$
10	A 5	$Z10 = -A15 + A 5$
11	A 3	$Z_2 = -A 5 + A 3$
12	A 7	$Z_4 = -A12 + A 7$
13	A 8	$Z_5 = -A13 + A 8$
14	A 9	$Z_6 = -A14 + A 9$
15	A10	$Z_7 = -A11 + A10$
16	A 1	$Z_9 = -A 1 - A15 + A 5 + A16$
17	A 2	$Z_1 = -A 5 - A 6 + A 2 + A 3$
18	A 4	$Z_3 = -A 3 - A15 + A 4 + A 5 + A18$

-----kon7-----

-----kon7-----  
 Таблица 3. Результаты расчета технологических размеров и припусков

Замыкающие звенья				Составляющие звенья			
P-черт.размер, Z-припуск							
Ин- декс звена	Гра- низы звена	Предел.значения MAX MIN	Ин- декс звена	Гра- низы звена	Метод обработки	Номинал	Отклонения Верхнее Нижнее
P 1	1518	24.650   24.350	A 1	1719	литье в кокиль с   песчан. стерж-ми	23.243	.900   -.900
P 2	1318	26.560   26.500	A 2	3 1	литье в кокиль с   песчан. стерж-ми	6.900	.900   -.900
P 3	1118	39.060   39.000	A 3	319	литье в кокиль с   песчан. стерж-ми	151.727	.900   -.900
P 4	918	49.060   49.000	A 4	6 3	литье в кокиль с   песчан. стерж-ми	53.727	.900   -.900
P 5	718	61.565   61.500	A 5	19 4	точение тонкое	150.147	.080   .000
P 6	518	100.000   99.900	A 6	2 4	точение тонкое	6.000	.000   -.045

P 7	418	149.700	149.620	A 7	8 4	точение	чистов.	88.255	.140	.000
P 8	2 4	6.000	5.000	A 8	10 4	точение	чистов.	100.760	.140	.000
Z 1	1 2	4.325	.600	A 9	12 4	точение	чистов.	110.760	.140	.000
Z 2	3 4	2.480	.600	A10	14 4	точение	чистов.	123.264	.160	.000
Z 3	5 6	4.330	.600	A11	413	шлифов-е	тонкое	123.087	.027	.000
Z 4	7 8	.313	.150	A12	4 7	шлифов-е	тонкое	88.082	.023	.000
Z 5	910	.313	.150	A13	4 9	шлифов-е	тонкое	100.587	.023	.000
Z 6	1112	.313	.150	A14	411	шлифов-е	тонкое	110.587	.023	.000
Z 7	1314	.337	.150	A15	418	шлифов-е	тонкое	149.620	.027	.000
Z 8	1516	.279	.150	A16	1816	точение	чистов.	24.244	.084	.000
Z 9	1617	2.591	.600	A17	1815	точение	тонкое	24.500	.023	-.023
Z10	1819	.607	.500	A18	18 5	шлифов-е	тонкое	99.900	.023	.000

Дополнительные примеры размерного анализа приводятся в [5, 7].

В **KP2** проектируется контурная обработка на вертикально-фрезерном станке с ЧПУ. Для заданной детали (варианты представлены в методических указаниях по дисциплине ОСАПР[18]) средствами языка САПР ЧПУ [6, 7] составляется текстовое описание геометрии обрабатываемого контура и технологические указания по обработке в точках контура. Подготовленное с помощью текстового редактора описание вводится в виде файла в САПР ЧПУ (во время лабораторного практикума) с целью проектирования УП для станка. Обосновывается наиболее рациональный вариант описания контура средствами языка подготовки данных САПР ЧПУ.

На рис. 7 показан эскиз одного из вариантов задания. Преобразуем этот эскиз для описания на языке САПР ЧПУ. Обозначим исходную точку **TK8** (рис. 8) положения инструмента-фрезы, узловые точки контура (**TK1**, **TK2** и т.д.) и, используя выбранную систему координат, опишем эти точки средствами САПР ЧПУ [21]. Затем создадим процедуру, т.е. путем перечисления элементов контура укажем траекторию перемещения фрезы вертикально-фрезерного станка, начиная от исходной точки и заканчивая ею. При этом в зависимости от направления обхода следует выбирать знак у оператора формирования эквидистанты **ФР**. Дополним геометрическое описание технологическими командами под-

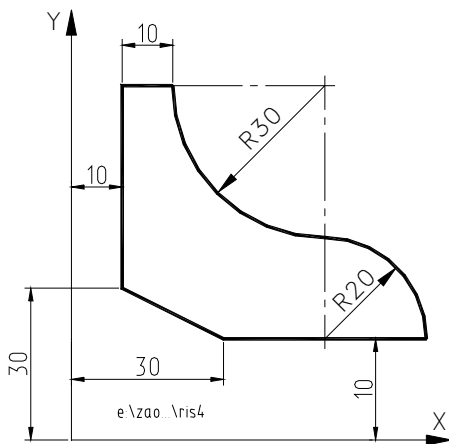


Рис. 7. Исходный эскиз для описания контура

нения - опускания инструмента **ZA/5**, включения шпинделя станка **N/300**, задания подачи инструмента **S/7000**, начала **НПО** и конца **КПО** процедуры движения по эквидистанте. В результате получится следующий набор информации, необходимый для автоматического (теперь уже

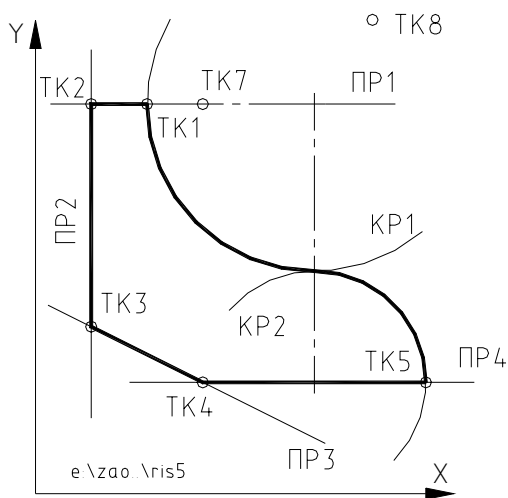


Рис. 8. Обозначения элементов контура

без участия человека) расчета УП контурной обработки на станке с ЧПУ:

```
ПРОГРАММА=SAP;  
СТАНОК=205;  
*ИВАНОВ И.И.ЗТМ-62 деталь люка АПЛ =КУРСК=;  
ТК1=X/20, Y/60;  
ТК2=X/10, Y/60;  
ТК3=X/10, Y/30;  
ТК4=X/30, Y/10;  
ТК5=X/70, Y/10;  
ПР1=ТК1, ТК2;  
ПР2=ТК2, ТК3;  
ПР3=ТК3, ТК4;  
ПР4=ТК4, ТК5;  
КР1=X/50, Y/10, R/20;  
КР2=X/50, Y/60, R/30;  
ТК7=X/30, Y/60;  
ТК8=X/60, Y/90;  
!  
НПО; N/300; S/70000; ZA/5; SN/0.01; ТК8; ФР+; Р/10; ТК7; ПР1;  
ПР2; ПР3; ПР4; БХТК; +КР1; -КР2;  
БУТК; ДОТК1; ФР0; S/70000; ZA/50; ТК8; КПО;  
!
```

Важно различать *пересечения* прямой и окружности, либо двух окружностей, образующих контур, и их *касание*. В первом случае между обозначениями линий должен присутствовать оператор, призванный выделить одну из нескольких альтернативных точек пересечения: **БХТК**, или **МХТК**, или **БУТК**, или **МУТК**. Прописные русские буквы **Б** или **М** указывают, больше или меньше будет значение координаты X или Y выбранной точки пересечения, например, ПР4 и КР1. Заметим, что ошибкой будет приписать какой-либо номер точке в этом операторе.

Во втором случае, т.е. при касании прямой и окружности или двух окружностей, дополнительных элементов в тексте указывать не требуется, но знак (+ против часовой стрелки) перед окружностью обязателен.

Подготовленное таким образом в **КР2** описание в дисплейном классе вводится в текстовом редакторе и записывается в файл, например, **ivanov.i**. Расширение имени «.i» обязательно для правильной работы системы. Далее, для запуска системы САПР ЧПУ с файлом **ivanov.i** в командной строке набирается (*расширение i при этом не указывается!*):

```
d:\sap\sappc e:\tms\ztml\ivanov
```

Так, с помощью «путей» мы явно указываем компьютеру, где искать файлы самой системы САПР ЧПУ и загружаемый в нее файл исходных

данных.

В процессе обработки введенного описания система выполняет его проверку и выводит диагностические сообщения (Приложение Б).

В заключение диалога на экране появляются (рис.9) контуры заготовки, режущего инструмента и эквидистанта, по которой движется центр фрезы. С помощью такой визуализации обработки можно убедиться в правильности перемещения инструмента, а следовательно, и в

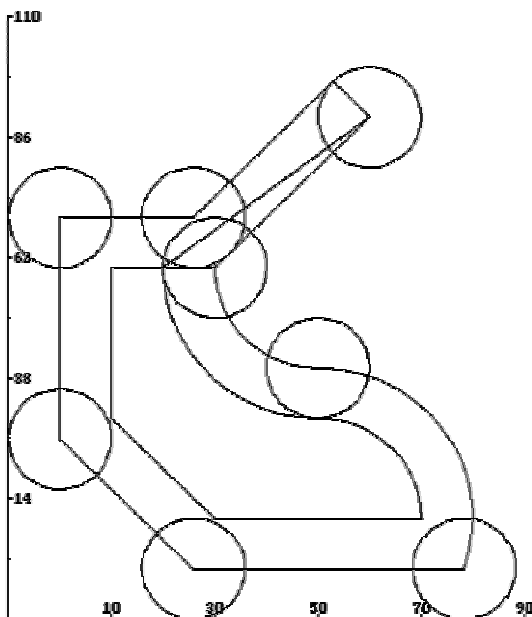


Рис. 9. Отображение обработки на экране монитора

правильности подготовленного описания. После этого в ответ на запрос системы можно согласиться на расчет УП, которая будет записана в файл с расширением **.up**. Дополнительные примеры даны в [5,7].

Контрольные работы оформляются в виде отчета с приложением необходимых схем, таблиц, распечаток экрана и т.п. Каждый рисунок или таблица должны иметь обозначение согласно принятым в вузе СТП. В тексте должна быть ссылка на номер рисунка или таблицы.

Студенты, представившие полный конспект изученных материалов курса и отчет по выполненным лабораторным работам, а также получившие положительную оценку за выполненные контрольные работы, допускаются к сдаче экзамена.

### 3. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА СТУДЕНТА

В полном объеме теоретический раздел дисциплины осваивается студентом самостоятельно с использованием рекомендованной литературы. Для лучшего усвоения материала рекомендуется составлять по каждой теме конспект, включая в него необходимые формулы, схемы и пояснения к ним. Изучив материал темы, можно проконтролировать себя при помощи приведенных в конце каждой темы вопросов.

Поскольку объем аудиторных занятий ограничен 12 часами лекций и 12 часами лабораторных работ, необходимо перед каждой лекцией или лабораторной работой заранее проработать разделы рекомендованной литературы и те части составленного студентом конспекта, которые требуются во время аудиторных занятий.

### 4. РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

#### *Основная*

1. Системы автоматизированного проектирования: Учеб. пособие для техн. вузов: В 9 кн. Кн.7. Лабораторный практикум /Т.И. Булдакова, Д.М. Жук, С.С. Комалов и др.; Под ред. И.П.Норенкова.- Мн.: Выш. шк., 1988. -143 с.
2. Корчак С.Н. Системы автоматизированного проектирования технологических процессов, приспособлений и режущих инструментов. - М.: Машиностроение, 1988.- 352 с.
3. Разработка САПР: В 10 кн./ Под ред. А.В.Петрова. - М.: Высшая школа, 1990.
4. Калачев О.Н. Основы автоматизации проектирования технологических процессов: Конспект лекций. - Ярославль: ЯПИ, 1984. -55 с. **[656]\***
5. Калачев О.Н. САПР технологических процессов: Лабораторный практикум на IBM PC: Учебное пособие для вузов по спец." Технология машиностроения". Яросл. политехн. ин-т.- Ярославль, 1991.- 147 с. **[2511]**
6. Калачев О.Н. Основы САПР в технологии машиностроения: Учебное пособие [УМО АМ]. – Ярославль: Яросл. политехн. ин-т, 1993. - 180 с. **[1644]**
7. Митрофанов В.Г., Калачев О.Н., Схиртладзе А.Г. и др. САПР в технологии машиностроения: Учебное пособие [УМО АМ]. -

---

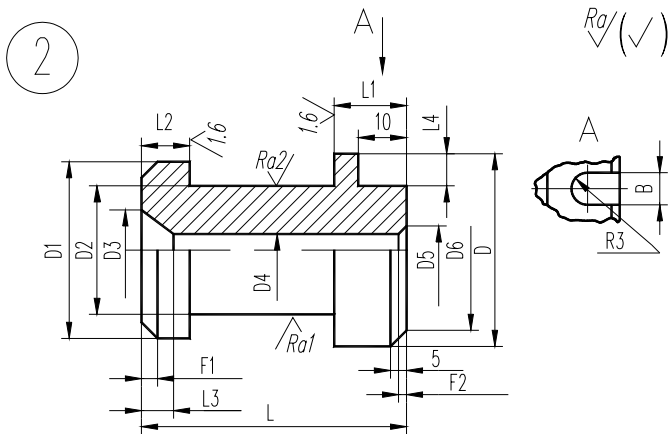
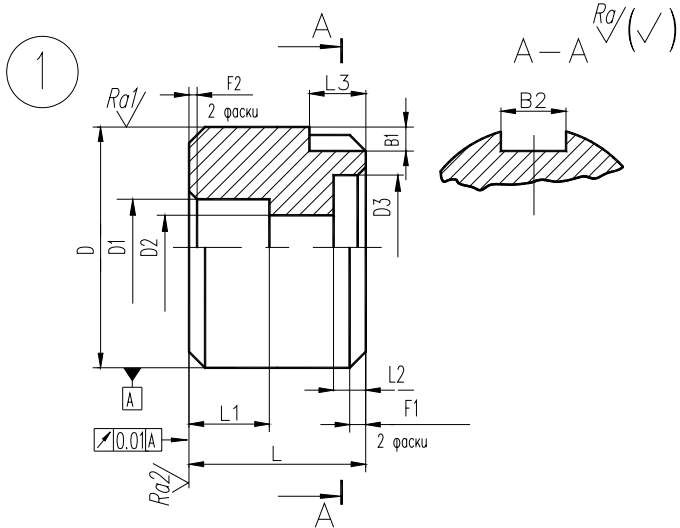
\* Указан шифр для библиотеки ЯГТУ

Ярославль: Яросл. гос. техн. ун-т, 1995.-298 с. [2021]

*Дополнительная*

8. Автоматизированные системы технологической подготовки производства в машиностроении/ Под ред. Г.К.Горанского.- М.: Машиностроение, 1976. - 240 с.
9. Митрофанов С.П., Гульнов Ю.А., Куликов Д.Д., Падун Б.С. Применение ЭВМ в технологической подготовке серийного производства/ Под ред. С.П.Митрофанова. - М.: Машиностроение, 1981.- 287 с.
10. Горанский Г.К., Бендерова Э.И. Технологическое проектирование в комплексных автоматизированных системах подготовки производства. - М.: Машиностроение, 1981.- 455 с.
11. Цветков В.Д. Системно-структурное моделирование и автоматизация проектирования технологических процессов. - Мн.: Наука и техника, 1979.- 261 с.
12. Капустин Н.М., Павлов В.В. и др. Диалоговое проектирование технологических процессов. - М.: Машиностроение, 1983.-255 с.
13. Гибкое автоматическое производство /В.О.Азбель и др. Под общ. ред. С.А.Майорова и Г.В.Орловского. - Л.: Машиностроение, Ленинград. отд., 1983.- 376 с.
14. Калачев О.Н. Введение в САПР технологических процессов: Учеб. пособие/ Яросл. политехн. ин-т. - Ярославль, 1987. - 91 с. [1176]
15. Калачев О.Н., Сеницын В.Т. Применение вычислительной техники в курсовом и дипломном проектировании по технологии машиностроения: Учеб. пособие.- 2-е изд., перераб. и доп./ Яросл. политехн. ин-т. - Ярославль,1989. - 87 с. [1265]
16. Автоматизация размерного анализа технологических процессов с помощью ЕС ЭВМ: Методические указания к практическим занятиям/ Сост.: О.Н.Калачев, В.Т.Сеницын, А.М.Шапошников/ Яросл. политехн. ин-т, 1987. - 36 с. [1110]
17. Калачев О.Н Компьютерно-интегрированное машиностроение и CAD/CAM Cimatron// Информационные технологии.-1998.-№10.- С. 43-47, 49.
18. Основы САПР: Методические указания по изучению дисциплины, выполнению лабораторного практикума и контрольной работы / Сост. О.Н.Калачев, Яросл. гос. техн. ун-т. Ярославль, 1999. – 20 с. [2280]
19. Применение CAD/CAM Cimatron для создания моделей деталей: Учебное пособие. - Яросл. гос. техн. ун-т. Ярославль, 2000. - 48 с.

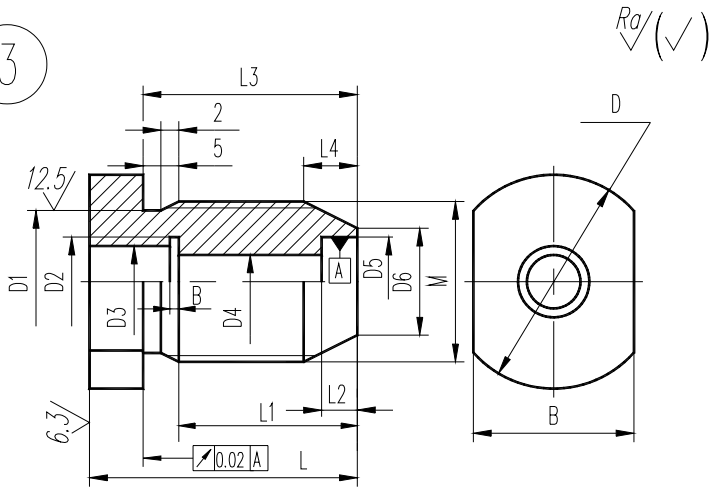
ПРИЛОЖЕНИЕ А  
Варианты заданий



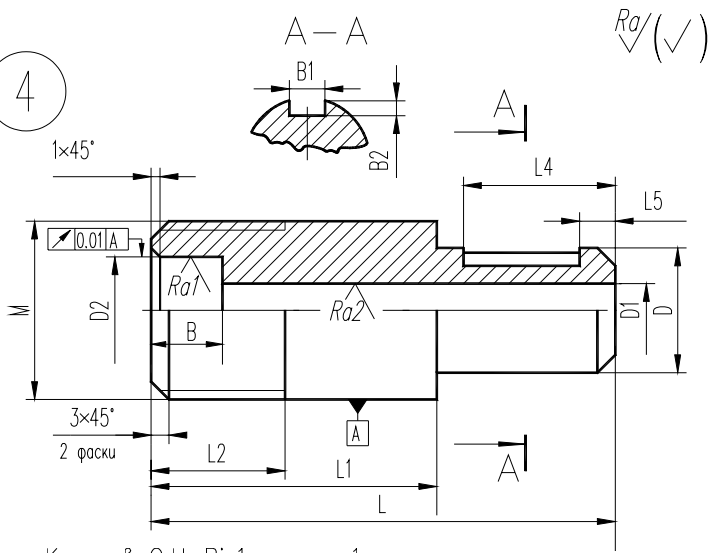
Калачев О.Н. Ris1\_zao\_my1



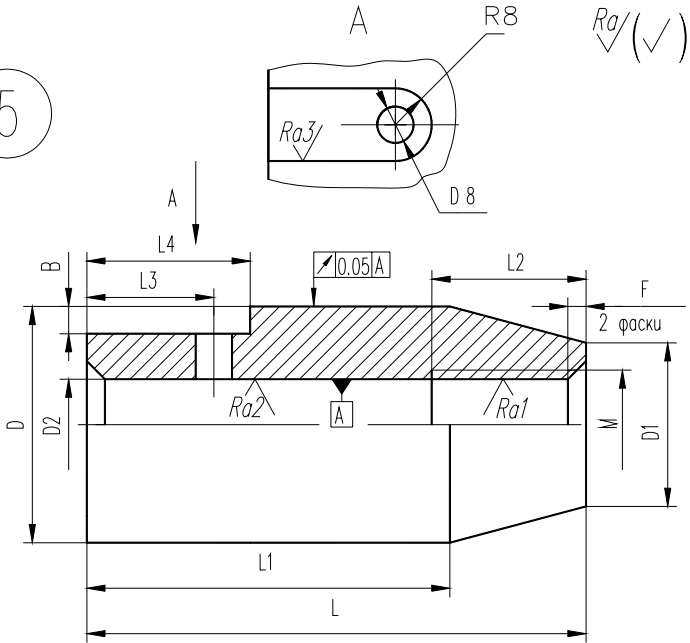
3



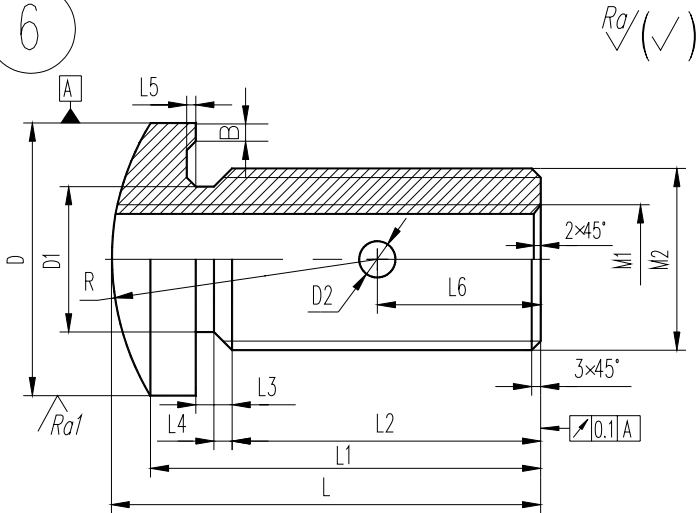
4

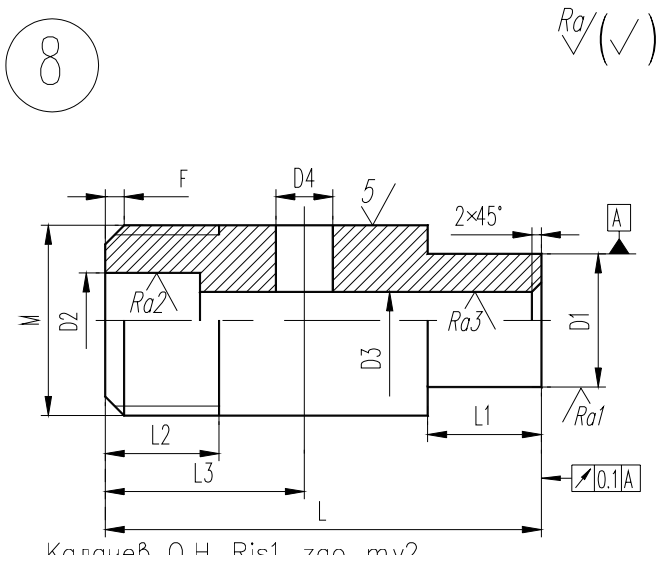
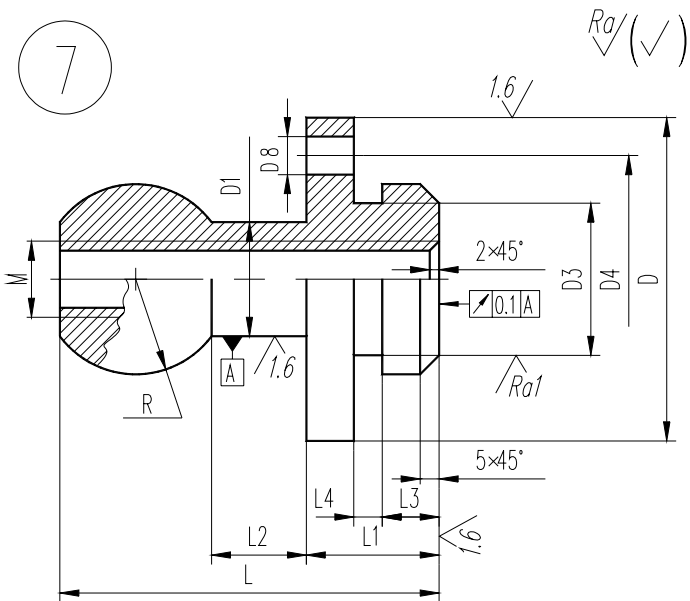


5

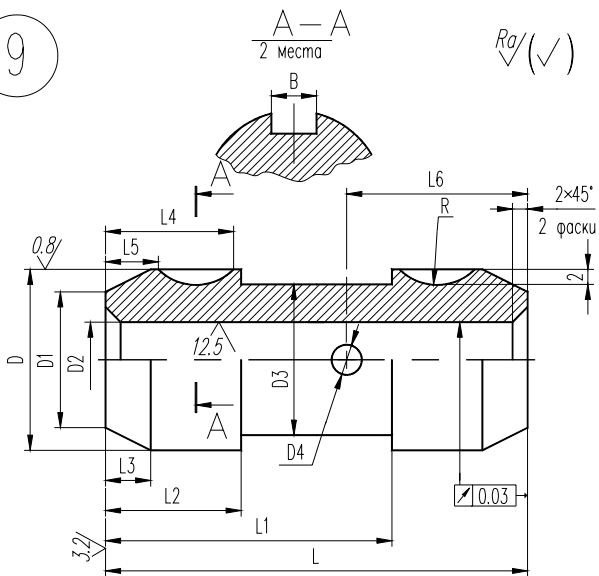


6

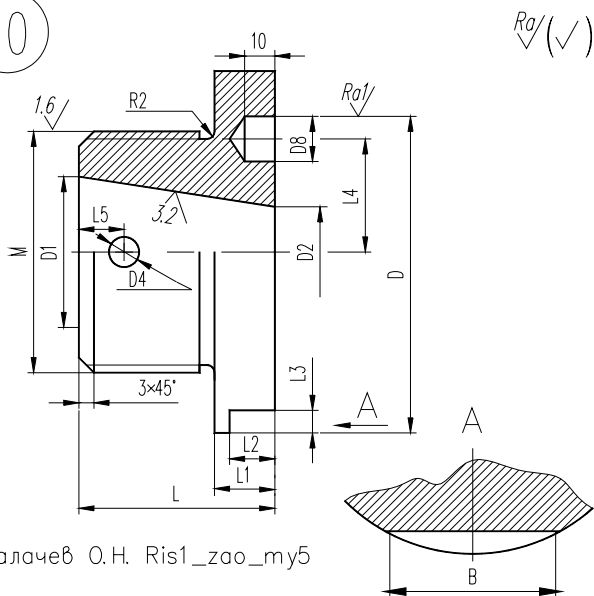




9

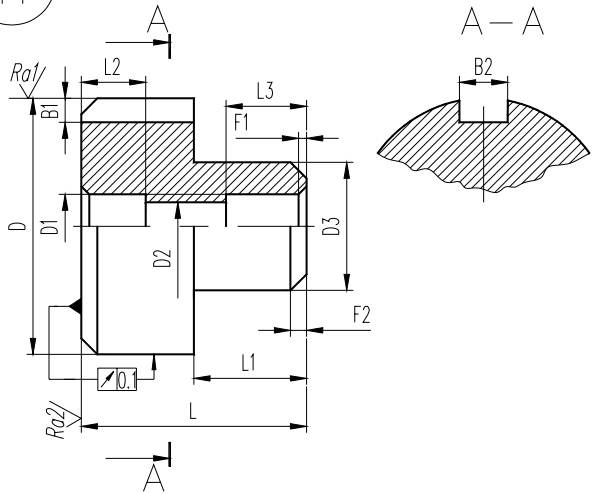


10

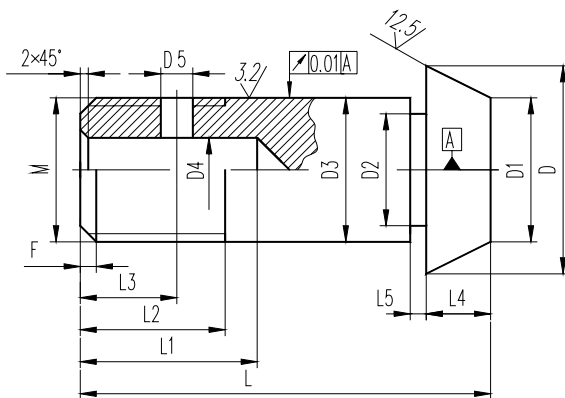


Калачев О.Н. Ris1\_zao\_my5

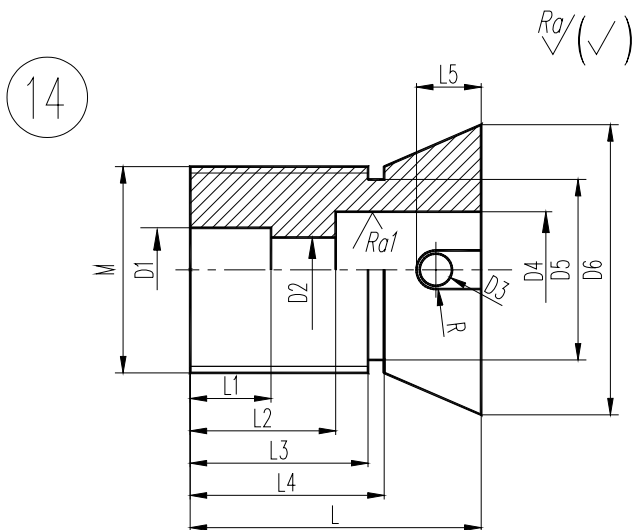
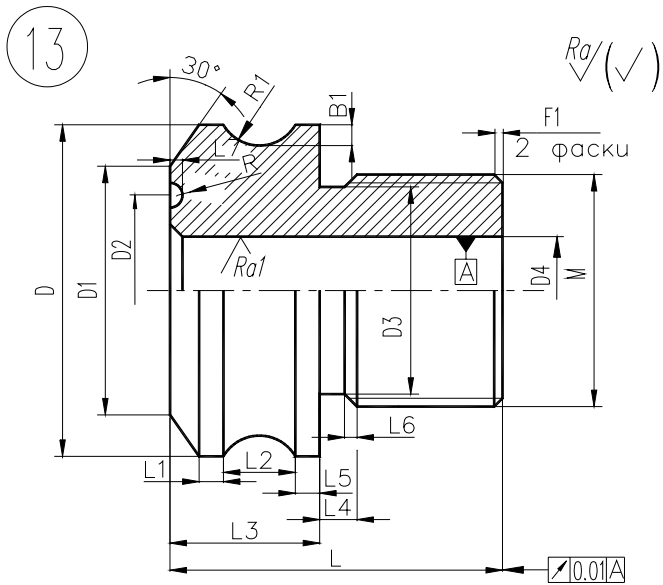
11



12



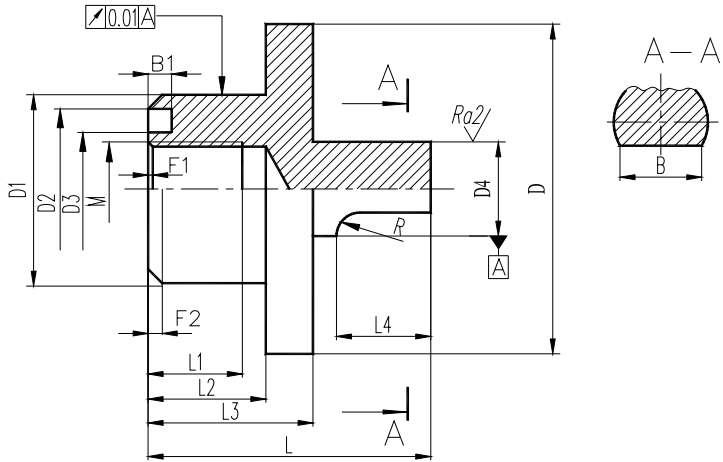
Калачев О.Н. Ris1\_zao\_my5



Калачев О.Н. Ris1\_zoo\_мy6

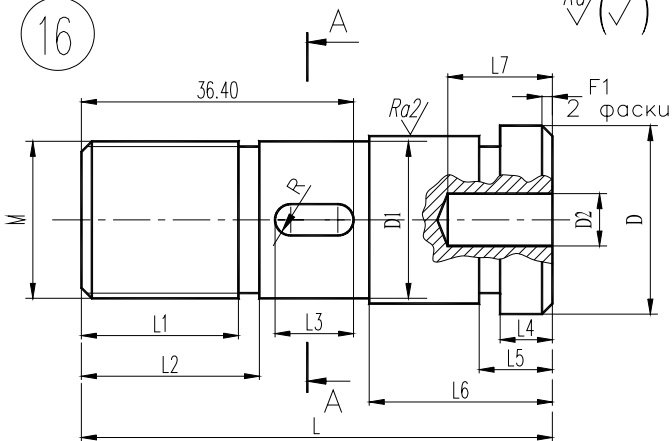
15

$Ra/(\checkmark)$



16

$Ra/(\checkmark)$



Калачев О.Н. Ris1\_zao\_тыб

ПРИЛОЖЕНИЕ Б  
Характерные ошибки при работе с САПР ЧПУ

Пропущен символ ‘;’

---

---

Например, если в строке 5 приведенного ранее примера отсутствует этот символ:

```
ПРОГРАММА=SAP;  
СТАНОК=205;  
*ИВАНОВ И.И.ЗТМ-62 деталь люка АПЛ =КУРСК=;  
ТК1=X/20, Y/60;  
ТК2=X/10, Y/60
```

.....

то система выдаст диагностическое сообщение вида:

```
5 ТК2=X/10, Y/60ТК3=X/10, Y/30;  
      ?  
      не определено значение  
8 ПР1=ТК1, ТК2;  
      ?  
      не определено значение  
9 ПР2=ТК2, ТК3;  
      ?
```

Пропущен знак “+” или “-” в процедуре у окружности

---

---

Например, если перед 15-м элементом контура (элементы отделяются друг от друга символом «;») в описании процедуры отсутствует знак:

.....

```
ТК8=X/60, Y/90;  
!  
НПО;N/300;S/70000;ZA/5;SN/0.01;ТК8;ФР+;Р/10;ТК7;ПР1;  
ПР2;ПР3;ПР4;ВХТК; КР1;-КР2;  
БУТК;ДОТК1;ФР0;S/70000;ZA/50;ТК8;КПО;  
!
```

то система выдаст следующее сообщение:

```
15 КР1;  
      неверно слово  
13 ПР4;  
16 -КР2;  
      нет пересечения  
18 ДОТК1;  
      неверна последовательность операторов
```

Необходимо иметь в виду, что определяющим является первое сообщение. Все последующие диагностические сообщения в списке могут являться следствием первой ошибки.