ОРЛОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени И.С. Тургенева

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «ОРЛОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ И.С. ТУРГЕНЕВА» ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ИМЕНИ Н.Н. ПОЛИКАРПОВА**

Кафедра машиностроения

С.Н. Злобин

# СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Методические указания
по проведению практических занятий

Дисциплина – «Системы автоматизированного проектирования технологических процессов»
Специальность – 15.05.01 «Проектирование технологических машин и комплексов»

Орёл
ОГУ имени И.С. Тургенева
2020

Автор: канд. техн. наук,
доц. каф. машиностроения С.Н. Злобин

Рецензент: канд. техн. наук,
доц. каф. машиностроения М.Ф. Селеменев

В методических указаниях приведены цели и задачи практических занятий, их организация и проведение. Содержится теоретический материал и список литературы.

Предназначены студентам, обучающимся по специальности 15.05.01 «Проектирование технологических машин и комплексов», изучающим дисциплину «Системы автоматизированного проектирования технологических процессов».

Редактор И.Ю. Куликов
Технический редактор Т.Н. Шаблинская

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева»

Подписано к печати 03.08.2020 г. Формат 60×90 1/16.
Усл. печ. л. 2,3. Тираж 10 экз.
Заказ №___

Отпечатано с готового оригинал-макета
на полиграфической базе ОГУ имени И.С. Тургенева
302026, г. Орел, ул. Комсомольская, 95.

© ОГУ имени И.С. Тургенева, 2020

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение……..... 4
Цели и задачи практических занятий……..... 5
1 Разновидности САПР …… 7
2 Техническое обеспечение САПР……... 9
3 Математическое обеспечение САПР…… 12
4 Информационное обеспечение САПР…….. 16
5 Лингвистическое обеспечение САПР……... 19
6 Программное обеспечение САПР……. 23
7 Организационное обеспечение САПР…….. 27
8 Уровни, аспекты и этапы автоматизированного проектирования 28
9 Проектирование технологических процессов на основе методов типизации…… 31
10 САПР технологического оборудования с ЧПУ…… 35
Список литературы……. 37

# ВВЕДЕНИЕ

Автоматизация проектирования занимает особое место среди информационных технологий. Во-первых, автоматизация проектирования — синтетическая дисциплина, ее составными частями являются многие другие современные информационные технологии. Так, техническое обеспечение систем автоматизированного проектирования (САПР) основано на использовании вычислительных сетей и телекоммуникационных технологий, в САПР используются персональные компьютеры и рабочие станции.

Математическое обеспечение САПР отличается богатством и разнообразием используемых методов вычислительной математики, статистики, математического программирования, дискретной математики, искусственного интеллекта. Программные комплексы САПР относятся к числу наиболее сложных современных программных систем, основанных на операционных системах, языках программирования и других, современных CASE технологиях, реляционных и объектно-ориентированных системах управления базами данных (СУБД), стандартах открытых систем и обмена данными в компьютерных средах.

Во-вторых, знание основ автоматизации проектирования и умение работать со средствами САПР требуется практически любому инженеру разработчику. Компьютерами насыщены проектные подразделения, конструкторские бюро и офисы. Работа конструктора за обычным кульманом, расчеты с помощью логарифмической линейки или оформление отчета на пишущей машинке стали анахронизмом. Предприятия, ведущие разработки без САПР или лишь с малой степенью их использования, оказываются неконкурентоспособными как из-за больших материальных и временных затрат на проектирование, так и из-за невысокого качества проектов.

## ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

Практические занятия проводятся с целью применения теоретических знаний в области автоматизированного проектирования для решения задач автоматизации технологических процессов.

Задачи, решаемые на практических занятиях:

- закрепить знания, полученные на лекционных занятиях;
- познакомить с основными разновидностями САПР;
- познакомить с различными видами обеспечения САПР технологических процессов;
- сформировать мотивацию к самостоятельной познавательной деятельности путем изучения отдельных разделов дисциплины, логически связанных с тематикой лекций.

В результате проведения практических занятий, в соответствии с задачами профессиональной деятельности и целями основной образовательной программы, студент должен подтвердить сформированные общепрофессиональные и профессионально-специализированные компетенции:

- *общепрофессиональные компетенции:*
- владение основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации, навыками работы с компьютером как средством управления информацией (ОПК-2);
- способность решать стандартные задачи профессиональной деятельности на основе информационной и библиографической культуры с применением информационно-коммуникационных технологий и с учетом основных требований информационной безопасности (ОПК-3);
- *профессионально-специализированные компетенции:*
- способность демонстрировать знания принципов и особенностей создания машин и технологических комплексов в машиностроении и их основных технических характеристик (ПСК-23.1);
- способность демонстрировать знания конструктивных особенностей разрабатываемых и используемых в машинах и технологических комплексах в машиностроении технических средств (ПСК-23.2);
- способность выполнять работы по проектированию машин и технологических комплексов в машиностроении (ПСК-23.3);
- способность обеспечивать информационное обслуживание машин и технологических комплексов в машиностроении (ПСК-23.4).

Практические занятия проводятся после самостоятельной подготовки, в ходе которой студенты знакомятся с основными теоретическими положениями по теме занятия, изучая настоящие методические указания и рекомендуемую литературу.

## Практическое занятие № 1
## РАЗНОВИДНОСТИ САПР

### 1.1 Цель работы

Изучение основных видов САПР.

### 1.2 Краткие теоретические сведения

Классификацию САПР делают по приложению, целевому назначению, масштабам (комплексности решаемых задач), характеру базовой подсистемы и т. д.

По *приложениям* наиболее представительными и широко используемыми являются следующие группы САПР:

- САПР для применения в отраслях общего машиностроения. Их часто называют машиностроительными САПР или MCAD (Mechanical CAD) системами;
- САПР для радиоэлектроники. Их названия – ECAD (Electronic CAD) или EDA (Electronic Design Automation) системы.
- САПР в области архитектуры и строительства;

Кроме того, известно большое число более специализированных САПР, или выделяемых в указанных группах, или представляющих самостоятельную ветвь в классификации. Примерами таких систем являются САПР больших интегральных схем; САПР летательных аппаратов; САПР электрических машин и т.п.

По *целевому назначению* различают САПР или подсистемы САПР, обеспечивающие разные аспекты проектирования. Так, в составе MCAD появляются CAE/CAD/CAM системы:

- САПР функционального проектирования, иначе САПР-Ф или CAE (Computer Aided Engineering) системы.
- Конструкторские САПР общего машиностроения – САПР-К, часто называемые просто CAD системами;
- Технологические САПР общего машиностроения – САПР-Т, иначе называемые автоматизированными системами технологической подготовки производства АСТПП или системами CAM (Computer Aided Manufacturing).

По *масштабу* различают отдельные программно-методические комплексы (ПМК) САПР, например, комплекс анализа прочности механических изделий в соответствии с методом конечных элементов (МКЭ) или комплекс анализа электронных схем; системы ПМК; си-

стемы с уникальными архитектурами не только программного (software), но и технического (hardware) обеспечений.

По *характеру базовой подсистемы* различают следующие разновидности САПР:

- САПР на базе машинной графики и математического моделирования. Эти САПР ориентированы на приложения, где основной процедурой проектирования является конструирование, т.е. определение пространственных форм и взаимного расположения объектов. Поэтому к этой группе систем относится большинство графических ядер САПР в области машиностроения.

- САПР на базе СУБД. Они ориентированы на приложения, в которых при сравнительно несложных математических расчетах перерабатывается большой объем данных. Такие САПР преимущественно встречаются в технико-экономических приложениях, например, при проектировании бизнес-планов, но имеют место также при проектировании объектов, подобных щитам управления в системах автоматики.

- САПР на базе конкретного прикладного пакета. Фактически это автономно используемые программно-методические комплексы, например, имитационного моделирования производственных процессов, расчета прочности по методу конечных элементов, синтеза и анализа систем автоматического управления и т.п. Часто такие САПР относятся к системам CAE. Примерами могут служить программы логического проектирования на базе языка VHDL, математические пакеты типа MathCAD.

- Комплексные (интегрированные) САПР, состоящие из совокупности подсистем предыдущих видов. Характерными примерами комплексных САПР являются CAE/CAD/CAM-системы в машиностроении или САПР БИС. Так, САПР БИС включает в себя СУБД и подсистемы проектирования компонентов, принципиальных, логических и функциональных схем, топологии кристаллов, тестов для проверки годности изделий. Для управления столь сложными системами применяют специализированные системные среды.

### 1.3 Порядок выполнения работы

1.3.1. Изучить краткие теоретические сведения. Дать характеристику для конкретной системы автоматизированного проектирования по основным признакам классификации.

1.3.2. Составить отчет о работе.

## Практическое занятие № 2
## ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САПР

### 2.1 Цель работы

Изучение основных аспектов технического обеспечения САПР.

### 2.2 Краткие теоретические сведения

С точки зрения системной модели САПР, техническое обеспечение представляет собой самый нижний уровень, в который “погружается” и реализуется операционно-программное и другие виды обеспечений САПР.

Задача проектирования технического обеспечения, таким образом, может быть сформулирована как задача оптимального выбора состава технических средств САПР. Исходной информацией при этом являются результаты анализа задач внутреннего проектирования и ресурсные требования к техническим средствам в виде критериев и ограничений.

Основные требования к техническим средствам САПР состоят в следующем:

- эффективность;
- универсальность;
- совместимость;
- надежность.

Технические средства в САПР решают задачи:

- ввода исходных данных описания объекта проектирования;
- отображения введенной информации с целью ее контроля и редактирования;
- преобразования информации (изменения формы и структуры представления данных, перекодировки и др.);
- хранения информации;
- отображения итоговых и промежуточных результатов решения;
- оперативного общения проектировщика с системой в процессе решения задач.

Для решения этих задач технические средства должны содержать:

- процессоры,
- оперативную память,

- внешние запоминающие устройства,
- устройства ввода- вывода информации,
- технические средства машинной графики,
- устройства оперативного общения человека с ЭВМ,
- устройства, обеспечивающие связь ЭВМ с удаленными терминалами и другими машинами.

При необходимости создания непосредственной связи САПР с производственным оборудованием в состав технических средств должны быть включены устройства, преобразующие результаты проектирования в сигналы управления станками.

Технические средства САПР могут быть одно- и многоуровневыми.

Технические средства, в состав которых входит одна ЭВМ, оснащенная широким набором периферийного оборудования, носят название одноуровневых. Они широко применяются при проектировании изделий общепромышленного применения с установившейся конструкцией, имеющих узкоспециализированные математические модели и фиксированную последовательность этапов проектно- технологических работ.

Развитие САПР предполагает расширение набора терминальных устройств, представление каждому проектировщику возможности взаимодействия с ЭВМ, обработку технической информации непосредственно на рабочих местах. С этой целью терминальные устройства снабжаются мини - и микроЭВМ, имеющими специальное математическое обеспечение и интеллектуальные терминалы. Они соединяются с ЭВМ высокой производительности с помощью специальных или обычных телефонных каналов.

Для использования информации отдельных ЭВМ распределенных на относительно большой территории особый эффект дает применение вычислительных сетей.

Отличительные признаки вычислительной сети состоят в следующем:

- большое число взаимодействующих друг с другом вычислительных машин, выполняющих функции сбора, хранения, передачи, обработки и выдачи информации;
- чрезвычайно большие вычислительные мощности;
- распределенная обработка информации;
- надежная и гибкая связь пользователя с вычислительными мощностями;

- возможность взаимного обмена информацией между вычислительными машинами;

- расширение до любой мощности и протяженности.

**2.3 Порядок выполнения работы**

2.3.1. Изучить краткие теоретические сведения. Рассмотреть для конкретной системы автоматизированного проектирования возможности ее технического обеспечения.

2.3.2. Составить отчет о работе.

## Практическое занятие № 3
## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САПР

### 3.1 Цель работы

Изучение основных аспектов математического обеспечения САПР.

### 3.2 Краткие теоретические сведения

Математическое обеспечение объединяет в себе математические модели проектируемых объектов, методы и алгоритмы выполнения проектных процедур, используемые при автоматизированном проектировании.

Элементы математического обеспечения чрезвычайно многообразны, среди них имеются инвариантные элементы, широко применяемые в различных САПР.

К ним относятся принципы построения функциональных моделей, методы численного решения алгебраических и дифференциальных уравнений, постановки экстремальных задач, поиска экстремума.

Специфика предметных областей проявляется, прежде всего, в математических моделях проектируемых объектов, она заметна также в способах решения задач структурного синтеза. Формы представления математического обеспечения также разнообразны, но его практическое использование происходит после реализации ПО.

К математическим моделям предъявляются следующие требования:

- универсальность;
- адекватность;
- точность;
- экономичность.

Степень универсальности математической модели характеризует полноту отображения в модели свойств реального объекта.

Точность математической модели оценивается степенью совпадения значений параметров реального объекта и значений тех же параметров, рассчитанных с помощью оцениваемой математической модели.

Например, пусть $Y = (y_1, y_2, ..., y_m)$ – вектор входных параметров, тогда относительная погрешность расчета $j$-го параметра может быть оценена по формуле

$$\varepsilon_j = (y_{jm} - y_{jИ}) / y_{jИ}, \qquad (3.1)$$

где $y_{jm}$, $y_и$ – значения выходного параметра истинное и рассчитанное по математической модели.

Адекватность математической модели – способность отражать заданные свойства объекта с погрешностью не выше заданной. Адекватность математической модели, как правило, имеет место лишь в ограниченной области изменения внешних параметров – в области адекватности (ОА):

$$\text{ОА} = \{ Q \mid_{\varepsilon m} <= \delta \}, \qquad (3.2)$$

где $\delta > 0$ – заданная константа, равная предельно допустимой погрешности математической модели; $Q$ – вектор внешних параметров.

Экономичность модели характеризуется затратами вычислительных ресурсов (времени и памяти) на ее реализацию.

Математические модели классифицируются по следующим признакам:

- характер отображаемых свойств объекта;
- принадлежность к иерархическому уровню;
- степень детализации описания внутри одного уровня;
- способ получения модели.

По характеру отображаемых свойств объекта математические модели делятся на структурные и функциональные.

Различают структурные топологические и геометрические математические модели.

В топологических математических моделях отображают состав и взаимосвязи элементов объекта. Эти математические модели чаще применяют для описания объектов, состоящих из большого числа элементов, например, при решении задач привязки конструктивных элементов к определенным пространственным позициям или относительным моментам времени при разработке технологических процессов.

В геометрических математических моделях отображаются геометрические свойства объектов, в них дополнительно к сведениям о взаимном расположении объектов содержатся сведения о форме деталей. Геометрические модели могут выражаться, например, совокупностью уравнений линий и поверхностей.

Функциональные математические модели предназначены для отображения физических и информационных процессов, протекающих в объекте при его функционировании или изготовлении.

Использование блочно-иерархического подхода к проектированию приводит к появлению иерархии математических моделей проектируемых объектов.

В зависимости от места в иерархии описаний математические модели делятся на математические модели микро-, макро - и метауровня.

Особенностью математических моделей на микроуровне является отражение физических процессов, протекающих в непрерывных пространстве и времени. Типичными математические модели этого уровня являются дифференциальные уравнения в частных производных. В них независимым переменными являются пространственные координаты и время.

Математические модели на макроуровне используют укрупненную дискретизацию пространства по функциональному признаку, что приводит к представлению математических моделей на этом уровне в виде систем обыкновенных дифференциальных уравнений.

На метауровне в качестве элементов принимают достаточно сложные совокупности деталей. Метауровень характеризуется большим разнообразием типов используемых математических моделей. Здесь математические модели также представляются в виде систем обыкновенных дифференциальных уравнений. В этих моделях не описываются внутренние для элементов фазовые переменные, а фигурируют только фазовые переменные, относящиеся к взаимным связям элементов.

По способу представления свойств объектов функциональные модели делятся на аналитические и алгоритмические.

Аналитические математические модели представляют собой явные выражения выходных параметров как функций входных и внутренних, т.е. имеют вид:

$$Y=F(X, Q), \qquad (3.3)$$

где $Y=(y1,y2,...,ym)$ – вектор выходных параметров;

$X=(x1,x2,..., xn)$ – вектор внутренних параметров;

$Q=(q1,q2,..., ql)$ – вектор внешних параметров.

Аналитические модели характеризуются высокой экономичностью, однако их получение возможно лишь в частных случаях и, как правило, при принятии существенных допущений и ограничений, снижающих точность и сужающих адекватность модели.

Алгоритмические модели выражают связи выходных параметров с параметрами внутренними и внешними в форме алгоритма.

Для получения моделей используют неформальные и формальные методы.

Неформальные методы используют на различных иерархических уровнях для получения математических моделей элементов. Формальные методы применяют для получения математических моделей систем при известных математических моделях элементов.

В общем случае методика получения математических моделей включает в себя следующие операции:

1. Выбор свойств объекта, которые подлежат отражению в модели;
2. Сбор исходной информации овыбранных свойствах объекта;
3. Синтез структуры ММ;
4. Расчет числовых значений параметров ММ. Эта задача ставится как задача минимизации погрешности модели заданной структуры, т.е.

$$\min_{X \in ХД} \varepsilon M(X),$$

где X – вектор параметров математические модели; ХД – область варьирования параметров; εM – погрешность математические модели;

5. Оценка точности и адекватности математические модели.

**3.3 Порядок выполнения работы**

3.3.1. Изучить краткие теоретические сведения. Рассмотреть для конкретной системы автоматизированного проектирования возможности ее математического обеспечения. Выполнить задание, выданное преподавателем.

3.3.2. Составить отчет о работе.

## Практическое занятие № 4
## ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САПР

### 4.1 Цель работы

Изучение основных аспектов информационного обеспечения САПР.

### 4.2 Краткие теоретические сведения

Процесс проектирования может быть представлен организованной последовательностью преобразования информации.

Исходная (входная) информация включает большое количество данных: стандарты, нормали, каталоги комплектующих изделий и материалов, методики проектирования, сведения, содержащиеся в ТЗ, результаты предпроектных исследований.

С целью систематизации и облегчения анализа исходная информация группируется по классам, например:

- информация справочного характера (стандарты, каталоги, справочники, книги, отчеты);
- данные прототипов объектов проектирования;
- методики проектирования;
- специфичные условия и требования к конкретному объекту проектирования.

Первые три класса являются неизменными на сравнительно длительном отрезке времени, значительно превышающем длительность процесса проектирования. Информация четвертого класса меняется от объекта к объекту.

Выходная информация охватывает все данные проекта, полученные на промежуточных и конечных этапах проектирования. Она определяет конструкторско-технологическую и монтажную реализацию объекта проектирования; параметры, процессы и режимы его функционирования и т.п. С другой стороны, выходная информация должна содержать критериальные оценки проекта, необходимые для введения коррекций в принятые решения.

Различают информационное обеспечение и информационный фонд САПР.

Информационный фонд (ИФ) – совокупность данных, используемых всеми компонентами САПР.

Назначение информационного обеспечения (ИО) САПР – реализация информационных потребностей всех составных компонентов САПР. Основная функция ИО САПР – ведение информационного фонда, т.е. обеспечение создания, поддержки и организации доступа к данным. Таким ИО САПР есть совокупность информационного фонда и средств его ведения.

В состав информационного фонда САПР входят следующие элементы.

1. Программные модули хранятся в виде символических и объектных текстов их потребителями являются мониторы различных подсистем САПР.

2. Исходные и результирующие данные необходимы при выполнении программных модулей в процессе преобразования.

3. Нормативно- справочная проектная документация, как правило представляет собой хорошо структурированный фактографический материал.

4. Содержание экранов дисплеев - представляет собой связанную совокупноность данных, задающих форму кадра и, следовательно, позволяющих отобразить на экран дисплея информацию с целью организации диалогового взаимодействия в ходе проектирования. Обычно эти данные имеют фиксированный размер, и занимаю промежуточное место между программными модулями и исходными данными; используются диалоговыми системами САПР.

5. Текущая проектная документация отражает состояние и ход выполнения проекта.

Различают следующие способы ведения информационного фонда САПР:

- использование файловой системы;
- построение библиотек;
- использование банков данных;
- создание информационных программных адаптеров.

Первые два способа широко распространены в организации информационного фонда вычислительных систем, поскольку поддерживаются средствами операционных систем. Однако для обеспечения быстрого доступа к справочным данным, хранения меняющихся данных, организации взаимодействия между разноязыковыми модулями эти способы малопригодны.

Третий способ – использование банков данных позволяет:

- централизовать информационный фонд САПР;

- произвести структурирование данных в форме удобной для проектировщика;

- обеспечить поиск информационно- справочной и проектной документации;

- упростить организацию межмодульного интерфейса путем унификации промежуточных данных.

Четвертый способ – предполагает использование специальных систем и программных технологий для организации межмодульного интерфейса и построения крупных программных комплексов из готовых модулей.

### 4.3 Порядок выполнения работы

4.3.1. Изучить краткие теоретические сведения. Рассмотреть для конкретной системы автоматизированного проектирования возможности ее информационного обеспечения. Выполнить задание, выданное преподавателем.

4.3.2. Составить отчет о работе.

## Практическое занятие № 5
## ЛИНГВИСТИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САПР

### 5.1 Цель работы

Изучение основных аспектов лингвистического обеспечения САПР.

### 5.2 Краткие теоретические сведения

Лингвистическое обеспечение САПР представлено совокупностью языков, применяемых для описания процедур автоматизированного проектирования и проектных решений. Основная часть лингвистического обеспечения САПР – языки общения человека с ЭВМ.

В соответствии с принятой классификацией языков САПР различают языки программирования и проектирования.

Языки программирования – языки, предназначенные для написания программного обеспечения. Эти языки – средство разработчика САПР.

К языкам программирования предъявляют требования удобства использования, универсальности и эффективности 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 нем.

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 машинных времени и памяти на исполнение программ.

С позиций универсальности и эффективности объектных программ наилучшими свойствами обладают машинно-ориентированные языки. Близость к машинным кодам (языки машинных команд) обуславливают простоту и эффективность трансляторов на машинный язык называемых ассемблерами. Однако языки ассемблера неудобны для человека, их использование снижает производительность труда программистов. Поэтому их применяют для разработки лишь тех мо-

дулей программного обеспечения САПР, которые работают в реальном масштабе времени или требуют для своего исполнения чрезмерно больших вычислительных ресурсов.

Среди алгоритмических языков высокого уровня, созданных на ранних этапах развития вычислительной техники, наибольшее распространение получил Фортран. Он легок в освоении и весьма эффективен при решении задач численного анализа. Однако Фортран имеет ограниченные возможности для описания сложных алгоритмов логического характера.

Языки проектирования – языки, предназначенные для описания информации об объектах и задачах проектирования. Большинство этих языков относится к средствам пользователя САПР.

Среди языков проектирования выделяют:

- входные;
- выходные;
- сопровождени;
- управления;
- промежуточные;
- внутренние.

Входные языки служат для задания исходной информации об объектах и задачах проектирования и включают в себя языки описания объектов (ЯОО) и языки описания заданий (ЯОЗ). Первые служат для описания свойств проектируемых объектов, а вторые – для описания заданий на выполнение проектных операций и процедур. ЯОО в свою очередь делятся на языки схемные, графические и моделирования.

Схемные языки широко применяют для описания принципиальных электрических и функциональных схем. Графические языки – основа лингвистического обеспечения в подсистемах машинной графики и геометрического моделирования. Языки моделирования развиты в подсистемах имитационного моделирования.

Выходные языки используются для выражения результатов проектных процедур на ЭВМ.

Языки сопровождения применяют для корректировки и редактирования данных при выполнении проектных процедур.

Языки управления служат для представления управляющей информации для программно-управляемого исполнительного оборудования, например для устройств документирования.

Промежуточные и внутренние языки предназначены для представления информации на определенных стадиях ее переработки в ЭВМ.

Недостаток промежуточных узкоспециализированных языков – в необходимости существенной перестройки связанной с ними программной системы при изменении условий проектирования. Недостаток универсальных языков связан с их громоздкостью и, следовательно, с неудобствами применения конечным пользователем.

Устранение указанных выше недостатков осуществляется с помощью транслирующих программ-конверторов. Здесь пользователь составляет описание на входном языке, это описание переводится конвертором на промежуточный (специализированный) язык и далее работает основной транслятор, который переводит описание задачи с промежуточного языка в объектную программу.

Языки проектирования, предназначенные для описания развивающихся во времени процессов называют процедурными, а языки, предназначенные для описания статических структур проектируемых объектов, называют непроцедурными.

Различают пассивный и активный диалоговый режим работы оператора с ЭВМ и соответственно этому активные и пассивные диалоговые языки.

В пассивном диалоговом режиме инициатива диалога принадлежит ЭВМ. Прерывание вычислительного процесса и обращение к пользователю в нужных местах осуществляется с помощью диалоговых программных средств, включенных в мониторную систему САПР. Обращение ЭВМ к пользователю в этом случае может быть в виде запроса (исходных данных по шаблону или варианта дальнейшего проектирования по меню), информационного сообщения (для вывода промежуточных или окончательных результатов решения) или подсказки (сообщения об ошибках).

В активном диалоговом режиме инициатива начала диалога может быть двусторонней – возможности прерывания процесса имеются и у ЭВМ и у пользователя. Активные диалоговые языки, как правило, близки к естественному человеческому, но с ограниченным набором слов. Очевидно, что для реализации активного диалогового режима требуется более сложное программное обеспечение.

### 5.3 Порядок выполнения работы

5.3.1. Изучить краткие теоретические сведения. Рассмотреть для конкретной системы автоматизированного проектирования возможности ее лингвистического обеспечения. Выполнить задание, выданное преподавателем.

5.3.2. Составить отчет о работе.

## Практическое занятие № 6
## ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САПР

### 6.1 Цель работы

Изучение основных аспектов программного обеспечения САПР.

### 6.2 Краткие теоретические сведения

Структура ПО САПР зависит от следующих факторов:

- предметная область, аспекты и уровни создаваемых с помощью ПО описаний проектируемых объектов;
- степень автоматизации отдельных проектных операций и процедур;
- архитектура и состав технических средств, режим функционирования;
- ресурсы, отпущенные на разработку ПО.

Для варианта организации одноуровневой САПР программное обеспечение САПР может быть разделено на проектирующие и обслуживающие подсистемы.

К обслуживающим подсистемам ПО относятся: диалоговая подсистема; СУБД; инструментальная подсистема; монитор - обеспечивающий взаимодействие всех подсистем и управление их выполнением.

Диалоговая подсистема ПО организует интерактивное взаимодействие пользователя САПР с управляющей и проектирующими подсистемами ПО, подготовку и редактирование исходных данных, просмотр результатов проектирующих подсистем, функционирующих в пакетном режиме.

Подсистема управления базами данных (СУБД) реализует единообразный доступ к общей базе данных САПР. Назначение БД:

- хранение сведений нормативно- справочного характера;
- хранение результатов выполнения этапов текущего проекта;
- обеспечение информационной согласованности различных подсистем САПР.

Инструментальная подсистема программирования, основу которой составляет генератор прикладных программ, синтезирующий новые программы из унифицированных модулей и программ, разработанных пользователем, необходима для обеспечения открытости ПО САПР. Генератор прикладных программ включает в себя также сред-

ства автоматической разработки трансляторов для входных языков проектирующих подсистем САПР.

Проектирующие подсистемы ПО могут быть объектно-зависимыми (проблемно-ориентироваными) или объектно-независимыми (методо-ориентироваными).

Объектно-независимые подсистемы ПО ориентированы на решение задач проектирования при наличии предварительно выполненной математической постановки (например, подсистема решения уравнений в частных производных или обыкновенных дифференциальных уравнений и др.). Объектно-независимые подсистемы составляют основу для генерации проблемно-ориентированных подсистем САПР.

Проектирующими подсистемами ПО САПР могут быть простые программы, ориентированные на узкий класс объектов и использующих аналитические модели. Но чаще проектирующие подсистемы ПО представляют собой универсальные пакеты прикладных программ сложной структуры, обладающие своими мониторами, локальными БД и СУБД.

Подсистема интерактивной машинной графики занимает промежуточной место между проектирующими и обслуживающими подсистемами ПО САПР. С одной стороны, средства машинной графики обслуживают ряд проектирующих подсистем(например, для наглядного представления информации в виде графиков, гистограмм), а с другой стороны они входят во многие подсистемы конструкторского проектирования как основная часть.

Управление ходом вычислительного процесса и координация взаимодействия подсистем САПР осуществляется монитором. В рамках пакетов ПП аналогичные функции решаются локальными мониторами.

В функции мониторов входят:

- прием и интерпретация обращенных к ним команд пользователя;
- загрузка и активизация компонентов ПО, организация маршрутов их выполнения;
- установления взаимодействия между подсистемами;
- динамическое распределение памяти;
- обработка прерываний от дисплея пользователя;
- сервисные функции (регистрация пользователей, сбор статистики, обработка сбоев системы и др.);

Язык управления монитором САПР достаточно прост, в его основе лежат команды вызова необходимых подсистем ПО САПР и задания им управляющих параметров, а также команды, описывающие способ информационного обмена между подсистемами (через ОЗУ, через внешнюю память или БД). Средства этого языка должны составлять макрокоманды, определяющие маршруты выполнения проектирующих подсистем ПО САПР.

В общем случае загруженные проектирующие подсистемы ПО могут функционировать либо как обычные подпрограммы, подчиненные управляющей подсистеме ПО, либо как параллельные выполняемые подзадачи, способные соревноваться между собой и монитором за управление.

Взаимодействие управляющей подсистемы ПО и мониторов проектирующих пакетов осуществляется через стандартный интерфейс, представляющий собой формальные правила передачи фактических параметров.

В проектирующие подсистемы ПО передаются:

- параметры, задающие режим функционирования;
- адреса точек входа в обслуживающие подсистемы ПО;
- адреса динамически распределенных областей памяти, предназначенных для информационного обмена между различными подсистемами ПО.

Каждый проектирующий пакет, входящий в САПР, имеет паспорт, хранящийся в базе данных САПР. Паспорт содержит следующие сведения о проектирующем пакете:

- размер занимаемой области ОЗУ;
- имена требуемых обслуживающих подсистем;
- имена режимных параметров и их значения по умолчанию;
- имя языка программирования, в стандарте которого пакет использует представление структур данных;
- местонахождение в пакете обработчика прерываний от дисплея пользователя;
- указатели на возможные способы обмена информацией с другими проектирующими подсистемами ПО (ОЗУ, СУБД, файловая система).

Монитор САПР, получив команду на активизацию какой-либо проектирующей полсистемы ПО, считывает из базы данных ее паспорт, проверяет корректность команды и возможность загрузки подсистемы.

Далее он помещает в ОЗУ необходимые обслуживающие подсистемы, проектирующую подсистему, а затем в строгом соответствии с данными из паспорта строится обращение к этой подсистеме.

Важной функцией управляющей подсистемы САПР и мониторов проектирующих пакетов является динамическое распределение памяти, необходимое всегда, когда пакет работает с данными переменного объема. Средства динамического распределения памяти-обязательные компоненты всех современных языков программирования.

Для эффективной работы коллектива пользователей необходим множественный доступ к САПР. Эту проблему решает режим разделения времени, реализуемый с помощью ПО ОС ЭВМ.

### 6.3 Порядок выполнения работы

6.3.1. Изучить краткие теоретические сведения. Рассмотреть для конкретной системы автоматизированного проектирования возможности ее программного обеспечения. Выполнить задание, выданное преподавателем.

6.3.2. Составить отчет о работе.

## Практическое занятие № 7
## ОРГАНИЗАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САПР

### 7.1 Цель работы

Изучение основных аспектов организационного обеспечения САПР.

### 7.2 Краткие теоретические сведения

Организационное обеспечение САПР представляет собой 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, необходимых для выполнения проектирования.

При автоматизированном проектировании оптимальных технологических процессов механосборочного производства нужно учитывать следующие принципы:

- системность автоматизированного проектирования на основе характера и взаимосвязи факторов, влияющих на построение технологического процесса, определяющих обеспечение заданного качества изготовленных изделий и экономическую эффективность разрабатываемой технологии;
- оптимизацию проектируемого технологического процесса, предусматривающую комплексную взаимосвязь его структуры, параметров качества изготовляемого изделия и режимов обработки;
- рациональное сочетание типовых и индивидуальных технологических решений на всех уровнях проектирования.

Повышение уровня типизации, унификации и стандартизации при разработке технологических процессов во многом определяет эффективность автоматизированного проектирования.

### 7.3 Порядок выполнения работы

7.3.1. Изучить краткие теоретические сведения. Рассмотреть для конкретной системы автоматизированного проектирования возможности ее организационного обеспечения. Выполнить задание, выданное преподавателем.

7.3.2. Составить отчет о работе.

## Практическое занятие № 8
## УРОВНИ, АСПЕКТЫ И ЭТАПЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

### 8.1 Цель работы

Изучение основных уровней, аспектов и этапов автоматизированного проектирования.

### 8.2 Краткие теоретические сведения

8.2.1 Иерархические уровни описаний проектируемых объектов

В основе блочно-иерархического подхода к проектированию лежит принцип разделения описания объекта по степени детализации его отображаемых свойств и характеристик. Это приводит к появлению уровней абстрагирования.

На каждом иерархическом уровне используются свои понятия системы и элементов. На уровне 1 (верхнем уровне) объект $S$ рассматривается как система $S$ из $n$ взаимосвязанных и взаимодействующих элементов $S_i$.

Каждый из элементов в описании уровня 1 представляет собой также сложный объект, который в свою очередь рассматривается как система $S_i$ на уровне 2. Элементами систем $S_i$ являются объекты $S_{ij}$, $j$ =1, 2, ..., $m_i$ (где $m_i$ – количество элементов в описании системы $S_i$). Как правило, выделение элементов $S_{ij}$ происходит по функциональному признаку. Деление элементов на уровни происходит вплоть до появления элементов, которые дальнейшему делению не подлежат. Такие элементы по отношению к $S$ называются базовыми.

Примером иерархического описания объектов является структура технологического процесса изготовления детали с уровнями: маршрут - > операция -> переход -> проход; другим примером является декомпозиция конструкции изделия принятая в спецификации: изделие – узел – деталь.

Таким образом, принцип иерархичности означает структурирование представлений об объектах проектирования по степени детальности описаний, а принцип декомпозиции (блочности) – разбиение представлений каждого уровня на ряд составных блоков с возможностью раздельного поблочного проектирования.

8.2.2 Аспекты описаний проектируемых объектов

Кроме иерархического описания объекта используется описание по характеру отображаемых свойств, т.е. аспектов описаний. Наибо-

лее важными аспектами для технических объектов являются конструкторский и технологический и функциональный аспекты.

Функциональный аспект связан с отображением основных принципов функционирования, характера физических и информационных процессов, протекающих в объекте, и находит выражение в принципиальных, функциональных, структурных, кинематических схемах и сопровождающих их документах.

Конструкторский аспект связан с реализацией результатов функционального проектирования, т.е. с определением геометрических форм объектов и их взаимным расположением в пространстве.

Технологический аспект относится к реализации результатов конструкторского проектирования, т.е. связан с описанием методов и средств изготовления объектов.

Возможно более дифференцированное описание свойств объекта, а внутри каждого аспекта возможно специфическое выделение иерархических уровней.

8.2.3 Составные части процесса проектирования

Процесс проектирования расчленяется на стадии, этапы, проектные процедуры и операции.

Выделяют следующие стадии:

- предпроектные исследования;
- техническое задание;
- эскизный проект;
- технический проект;
- рабочий проект;
- испытание;
- внедрение в производство.

Этап проектирования – часть процесса проектирования, включающая в себя формирование всех требующихся описаний объекта, относящихся к одному или нескольким иерархическим уровням и аспектам.

Составные части этапа проектирования называют проектными процедурами. Проектная процедура – часть этапа, которая заканчивается получением проектного решения. Более мелкие составные части процесса проектирования, входящие в состав проектных процедур, называются проектными операциями. Например, для проектной процедуры оформления чертежа изделия проектной операцией может быть вычерчивание типового графического изображения зубчатого венца и т.п.

8.2.4 Нисходящее и восходящее проектирование

Если решение задач более высоких иерархических уровней предшествует решению задач более низких иерархических уровней, то проектирование называют нисходящим, в противном случае восходящим.

При нисходящем проектировании система разрабатывается в условиях, когда ее элементы еще не определены и, следовательно, сведения об их возможностях и свойствах носят предположительный характер. При восходящем проектировании элементы проектируются раньше и, следовательно, требования к системе имеют предположительный характер.

На практике, как правило, сочетают оба указанных вида проектирования.

Например, восходящее проектирование имеет место на всех уровнях, на которых используются унифицированные элементы, на остальных используется нисходящее.

8.2.5 Внешнее и внутреннее проектирование

При нисходящем проектировании формулировка ТЗ на разработку элементов *k*-го иерархического уровня относится к проектным процедурам этого же уровня. Однако разработка ТЗ на систему более высокого иерархического уровня или на систему унифицированных элементов универсального назначения является самостоятельным этапом проектирования, которое называют внешним. Соответственно, проектирование объекта по сформулированным ТЗ называют внутренним. На практике сочетание процессов внутреннего и внешнего проектирования образуют итерационный процесс корректировки ТЗ.

8.2.6 Унификация проектных решений и процедур

Использование унифицированных и типовых проектных решений упрощает и ускоряет процесс проектирования. Однако унификация целесообразна только в тех случаях, когда из сравнительно небольшого числа элементов проектируется большое разнообразие систем. В некоторых случаях(например, при многократном повторении одинаковых проектных процедур для различных объектов проектирования) возникает потребность в унификации не только самих объектов, но и собственно проектных процедур в рамках САПР.

**8.3 Порядок выполнения работы**

8.3.1. Изучить краткие теоретические сведения. Выполнить задание, выданное преподавателем.

8.3.2. Составить отчет о работе.

## Практическое занятие № 9
## ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ ТИПИЗАЦИИ

### 9.1 Цель работы

Изучение основных аспектов автоматизации проектирования технологических процессов.

### 9.2 Краткие теоретические сведения

9.2.1 Проектирование на основе методов типизации

Типовые процессы разрабатывают на основе анализа, систематизации и обобщения технологических решений, учитывают передовые достижения технологии машиностроения.

Для данного класса деталей устанавливают так называемый обобщенный маршрут обработки. Он включает перечень операций характерный для определенного класса деталей, имеет типовую их последовательность и содержание.

Если известно множество индивидуальных маршрутов M1, M2,... , Mn (1...n – номера индивидуальных маршрутов для группы деталей) для данной группы деталей, то обобщенный маршрут M* может быть формально описан следующим выражением (рис. 9.1)

$$M^* = \bigcup_{i=1}^{n} Mi,$$

где n -> max.

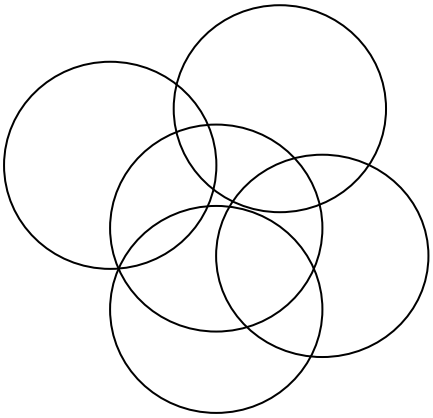

Рисунок 9.1 – Схема объединения индивидуальных технологических маршрутов в обобщенный технологический маршрут

Необходимым условием включения индивидуального маршрута в обобщенный является наличие области пересечения операций как непустого множества

$$Mi \bigcap Mj \neq \varnothing$$

Важной характеристикой (критерием эффективности) формирования обобщенного маршрута является мощность пересечения множеств операций индивидуальных маршрутов (Мпер), т.е. количество одинаковых операций, входящих в это множество без учета отношения порядка элементов (операций) множества:

$$\text{Мпер} = \bigcap_{i=1}^{n} Mi(i = 1...n) \mapsto max$$

Мощность пересечения в обобщенном маршруте должна стремиться к максимуму (рис. 9.2). Это будет основным условием объединения нескольких индивидуальных маршрутов в обобщенный. Тогда мощность обобщенного маршрута

$$M^{*} = \bigcup_{i=1}^{n} Mi(i = 1,2,...,n) \to min$$

должна стремиться к минимуму.

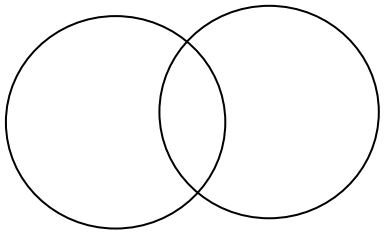

Рисунок 9.2 – Схема пересечения технологических маршрутов с образованием области пересечения операций

9.2.2 Логические условия назначения операции в маршруте

При проектировании маршрута обработки необходимо решать две задачи: определить перечень операций и последовательность их выполнения. Логическое условие выбора операций по своему назна-

чению можно разделить на ряд групп (рис. 9.3). В общем случае логическая функция выбора k-й операции

$$f_k = \vee_{j=1}^{n2} ( \wedge_{i=1}^{n1} A_i )_j ,$$

где $A_i$ - условие из справочника логических условий для группы деталей; $i$ – количество условий, связанных конъюнкцией; $j$ – количество сочетаний, связанных дизъюнкцией.

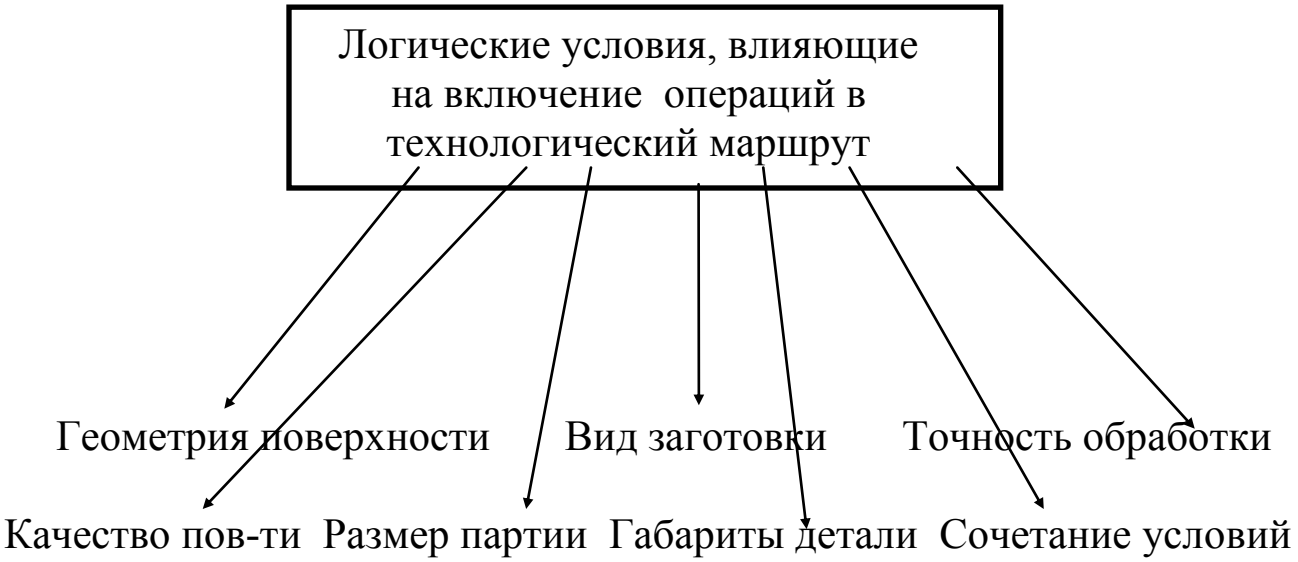


Рисунок 9.3 –Логические условия, влияющие на включение операций в технологический маршрут

9.2.3. Формирование обобщенного маршрута

Формирование обобщенного маршрута начитают в принципе с любого имеющегося *Mi*, принимаемого за базовый. В него последовательно вставляются недостающие операции всех присоединяемых *Mj* маршрутов.

Для этого производится поиск в базовом маршруте для каждой присоединяемой операции эквивалентных операций. Вставляемые недостающие операции занимают определенные места в базовом маршруте. Полученный маршрут принимается как очередной базовый, к нему присоединяется следующий маршрут и т.д. для рассматриваемого класса деталей.

Полученный обобщенный маршрут представляет собой перечень операций, каждая из которых имеет логическую функцию, кото-

рая определяет условия включения данной операции в индивидуальный маршрут обработки.

Синтез индивидуальных технологических маршрутов осуществляется путем выделения их из обобщенного маршрута.

### 9.3 Порядок выполнения работы

9.3.1. Изучить краткие теоретические сведения. Выполнить задание, выданное преподавателем.

9.3.2. Составить отчет о работе.

## Практическое занятие № 10
## САПР ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ С ЧПУ

### 10.1 Цель работы

Изучение основных аспектов САПР технологического оборудования с ЧПУ.

### 10.2 Краткие теоретические сведения

Совокупность команд на языке программирования, соответствующая заданному алгоритму функционирования станка, составляет управляющую программу (УП).

Программное обеспечение системы ЧПУ представляет собой совокупность программ и документации на них для реализации целей и задач, возлагаемых на устройство ЧПУ, выдающее управляющие коды воздействия на исполнительные органы технологического оборудования.

УП содержит информацию об инструменте(электроде) и скоростях его перемещений относительно заготовки, частоте вращения шпинделя, смене инструмента, вводе коррекции, подаче охлаждения, других командах исполнительным механизмам станка, записанным в последовательности технологического процесса обработки детали на станке.

В процессе подготовки управляющей программы решаются следующие задачи:

- диалог с пользователем;
- синтаксический контроль исходной информации на входном языке;
- проектирование элементов технологического процесса обработки;
- расчет траекторий движения инструмента;
- формирование и запись выходной информации на промежуточном языке;
- выдача диагностических сообщений о разных этапах обработки исходной информации;
- редактирование программ на уровнях входного, промежуточного и выходного языков;
- формирование УП на выходном языке для конкретного станка и выдача ее на программоносителе;
- распечатка УП и сопроводительной документации;

- хранение и тиражирование УП.

В комплект системы автоматизированного проектирования входит также сопроводительная документация – руководство технологу-программисту и оператору ЭВМ.

**10.3 Порядок выполнения работы**

10.3.1. Изучить краткие теоретические сведения. Выполнить задание, выданное преподавателем.

10.3.2. Составить отчет о работе.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авлукова, Ю.Ф. Основы автоматизированного проектирования [Электронный ресурс]: учебное пособие / Ю.Ф. Авлукова. - Электрон. текстовые данные. - Минск: Вышэйшая школа, 2013. - 221 с. - 978-985-06-2316-4. – Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/24071.html

2. Основы автоматизированного проектирования изделий и технологических процессов [Электронный ресурс]: учебное пособие / Н.Р. Галяветдинов [и др.]. – Электрон. текстовые данные. – Казань: Казанский национальный исследовательский технологический университет, 2013. – 112 с. – 978-5-7882-1567-9. – Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/62519.html

3. Сурина, Н.В. САПР технологических процессов [Электронный ресурс]: учебное пособие / Н.В. Сурина. – Электрон. текстовые данные. - М.: Издательский Дом МИСиС, 2016. – 104 с. – 978-5-87623-959-4. – Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/64196.html

4. Аверченков, В.И. Автоматизация проектирования технологических процессов [Электронный ресурс] : учебное пособие для вузов / В.И. Аверченков, Ю.М. Казаков. – Электрон. текстовые данные. – Брянск: Брянский государственный технический университет, 2012. – 228 с. – Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/6990.html